



PENGELOLAAN SUMBERDAYA MENUJU PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Editor:

Fadjry Djufri | Haryono Soeparno | Rusman Heriawan | Achmad Suryana
Effendi Pasandaran | Sri Asih Rohmani | Mewa Ariani

**PENGELOLAAN SUMBERDAYA
MENUJU PERTANIAN MODERN
BERKELANJUTAN**

**PENGELOLAAN SUMBERDAYA MENUJU
PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN**

IAARD PRESS

Pengelolaan Sumberdaya Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan
@2021 IAARD PRESS

Edisi 1: 2021

Hak cipta dilindungi Undang-undang
@IAARD PRESS

Katalog dalam terbitan (KDT)
Pengelolaan Sumberdaya Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan / Fadry
Djufry ... [dkk.].-Jakarta : IAARD Press, 2021.
xxii, 566 hlm.; 21 cm.
ISBN: 978-602-344-308-6

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1. Pengelolaan Sumberdaya | 2. Pertanian Modern Berkelanjutan |
| I. Judul | II. Djufry, Fadry |
| | III. Soeparno, Haryono |
-

Editor:

Fadry Djufry
Haryono Soeparno
Rusman Heriawan
Achmad Suryana
Effendi Pasandaran
Sri Asih Rohmani
Mewa Ariani

Perancang cover dan Tata Letak :
Tim Kreatif IAARD Press

Penerbit
IAARD PRESS
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jl, Ragunan No 29, Pasar Minggu, Jakarta 12540
Email: iaardpress@litbang.pertanian.go.id
Anggota IKAPI No: 445/DKI/2012

PENGANTAR EDITOR

Pembangunan pertanian ke depan telah digariskan dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 sebagai strategi terintegrasi dan landasan formal untuk bertransformasi mendukung struktur perekonomian yang produktif, mandiri dan berdaya saing. Arah pembangunan pertanian tersebut dimaknai dan akan dicapai sebagai visi pembangunan pertanian yang tertuang dalam Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024 yaitu: “Pertanian yang Maju, Mandiri, dan Modern untuk Terwujudnya Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri dan Berkepribadian Berlandaskan Gotong Royong”. Visi untuk bertransformasi menuju pertanian modern dalam berbagai perspektif sejalan dengan konsep dan kebijakan pembangunan pertanian modern berkelanjutan. Komitmen dan tekad tersebut akan diwujudkan sebagai pembelajaran bersama untuk melakukan transformasi ekonomi, transformasi pertanian dan transformasi digital sekaligus tonggak penting bagi skenario *Making Indonesia 4.0*.

Pengertian pertanian *maju* bersifat dinamik progresif dalam arti terus-menerus tumbuh berkembang semakin baik dalam mewujudkan kesejahteraan petani dan masyarakat secara umum. Dalam konsep pembangunan, *maju* adalah prinsip perbaikan terus menerus (*continuous improvement*) yang didukung oleh teknologi inovatif dan invensi yang mampu merespons kebutuhan untuk perbaikan berkelanjutan melalui efisiensi sistem produksi, peningkatan nilai tambah dan daya saing komoditas.

Mandiri atau kemandirian mencerminkan kedaulatan atau kebebasan dalam membuat keputusan. Kemandirian bernilai

intrinsik sehingga termasuk bagian dari tujuan pembangunan pertanian, dan bernilai instrumental dalam arti berfungsi sebagai strategi atau instrumen pembangunan. Dalam konteks pembangunan pertanian, *mandiri* dapat dicerminkan oleh kemandirian petani, kemandirian proses pembangunan pertanian, dan kemandirian dalam pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat. Kemandirian dalam proses pembangunan diartikan bahwa penetapan tujuan, sasaran, strategi, dan kebijakan pembangunan pertanian semata-mata didedikasikan untuk kepentingan nasional dan kesejahteraan masyarakat. Pelaksanaan pembangunan pertanian mengacu pada konsep *Sustainable Development Goals* (SDGs) atau Tujuan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan (TPB) dengan memperhatikan keselarasan dalam tiga aspek, yaitu sosial, ekonomi, dan biofisik/lingkungan dalam setiap kegiatan pembangunan.

Modern berarti terbaru, kekinian, dan sesuai dengan tuntutan kehidupan dalam pergaulan dunia yang terbuka. Modernisasi adalah proses pergeseran sikap dan mentalitas sebagai warga masyarakat untuk dapat hidup sesuai dengan tuntutan masa kini. Kata *modern* lazim digunakan sebagai penciri sikap dan mentalitas masyarakat yang memiliki kemampuan dalam penciptaan dan penguasaan teknologi inovatif. Modernisasi pertanian tercermin dari perubahan sikap dan mentalitas masyarakat pertanian dalam menguasai dan memanfaatkan kemajuan teknologi dan kelembagaan yang dipergunakan dalam proses produksi, pengolahan hasil, dan distribusi/pemasaran dalam suatu rangkaian alur sistem agribisnis. Fungsi utama modernisasi pertanian ialah sebagai instrumen untuk mewujudkan pertanian maju dan mandiri, yaitu yang mampu menciptakan inovasi dan memanfaatkan teknologi inovatif dan kelembagaan guna meningkatkan kapasitas, produktivitas, dan efisiensi usaha pertanian.

Mewujudkan pertanian maju, mandiri dan modern sejatinya sejalan dengan marwah mewujudkan pertanian modern berkelanjutan. Upaya pencapaiannya, sangat terkait erat dengan penciptaan, penyediaan, dan pemanfaatan teknologi dan invensi di bidang pertanian. Kegiatan tersebut merupakan salah satu fungsi utama Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan). Dalam rangka memerankan fungsi Balitbangtan dan meningkatkan kapasitas hasil penelitian agar berkontribusi nyata dalam mendukung keberhasilannya, pemikiran dan gagasan inovatif dari peneliti berbagai disiplin ilmu dihimpun untuk membahas pencapaian perwujudannya dalam sebuah buku Bunga Rampai **“Pengelolaan Sumberdaya Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan”**

Pada bagian awal buku ini membahas konsep dan kebijakan pertanian modern berkelanjutan. Bahasan yang terkait isu tersebut, disajikan dalam beberapa artikel yang membahas: konsep dan penerapan pertanian modern berkelanjutan, transformasi pengelolaan riset dan inovasi mendukung modernisasi pertanian berkelanjutan, kebutuhan dan pilihan sains dan teknologi serta kebijakan dan program pembangunan pertanian untuk mewujudkan pertanian modern berkelanjutan.

Modernisasi pertanian berkelanjutan tidak terlepas dari kemampuan pemanfaatan sumber daya unggul yang diperlukan dalam perwujudannya. Pemikiran responsif dari aspek hulu terkait hal ini antara lain disajikan dalam topik bahasan pemuliaan tanaman dan penciptaan teknologi inovatif sebagai frontier sistem produksi pangan, berorientasi pasar dan preferensi konsumen. Selanjutnya dibahas tantangan sumber daya manusia dan kelembagaan petani yang kompatibel mendukung modernisasi pertanian sebagai penentu keberhasilannya. Dua bahasan dalam aspek lebih hilir berupa membangun industri pangan merespons dinamika pasar dan pola produksi dan konsumsi pangan rumah tangga di era pertanian modern berkelanjutan.

Di bagian akhir buku disajikan beberapa contoh yang membahas topik menuju implementasi pertanian modern. Tujuan pertanian modern pencapaiannya menghendaki pendekatan terbangunnya tindakan kolektif antar berbagai stakeholders, dan digambarkan dalam bahasan teknologi digital sebagai platform inovasi mendukung modernisasi pertanian berkelanjutan. Beberapa bahasan selanjutnya menyajikan berbagai aspek digitalisasi pengelolaan sumber daya unggul dengan topik-topik bahasan meliputi digitalisasi pengelolaan sumber daya (lahan, air, iklim) dan sistem informasi pertanian, pengembangan *integrated intelligence system* dalam pengelolaan sumber daya lahan, serta teknologi alat dan mesin pertanian (alsintan) mendukung modernisasi pertanian.

Proses penyusunan buku melalui beberapa tahapan dan memakan waktu yang cukup panjang, hampir satu tahun penuh. Dimulai dengan penyusunan kerangka berpikir kemudian diterjemahkan ke dalam rancangan *outline* sebuah buku bunga rampai. Proses selanjutnya para penulis diminta menyusun *outline* naskah untuk didiskusikan bersama Tim Editor secara intensif dengan tujuan agar struktur setiap naskah sesuai yang diharapkan dan materi yang disajikan terfokus pada tema besar membangun pertanian modern berkelanjutan yang di dalam bahasannya mengandung unsur kebaruan (*novelty*). Draft naskah kembali dibahas bersama Tim Editor, kemudian baru difinalkan oleh para penulis. Sebagai salah satu sumbangan Balitbangtan, buku ini diharapkan bermanfaat sebagai bahan acuan bagi semua pemangku kepentingan pembangunan pertanian dalam merumuskan kebijakan dan menyamakan gerak dan langkah menuju tercapainya pertanian modern berkelanjutan.

DAFTAR ISI

PENGANTAR EDITOR	v
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
PROLOG	1
Mewujudkan Pertanian Modern Berkelanjutan.....	3
<i>Haryono Soeparno, Rusman Heriawan, Achmad Suryana</i>	
KONSEP DAN PENERAPAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN	9
Konsep dan Penerapan Pertanian Modern Berkelanjutan	11
<i>Fadjri Djufry, Haryono Soeparno, Rusman Heriawan, Mewa Ariani</i>	
Transformasi Pola Pengelolaan Riset dan Inovasi Mendukung Modernisasi Pertanian Berkelanjutan.....	39
<i>Haryono Soeparno, Maesti Mardharini, Ketut Gede Mudiarta, Arif Surachman</i>	
Kebutuhan dan Pilihan Teknologi Untuk Mewujudkan Pertanian Modern Berkelanjutan.....	63
<i>Agus Hermawan, I Nyoman Widiarta, Agus Somantri</i>	
Kebijakan dan Program Pembangunan untuk Mewujudkan Pertanian Modern Berkelanjutan	113
<i>Arif Surachman, Haris Syahbuddin, Rusman Heryawan, Hardiyanto, Sri Asih Rohmani</i>	

PEMANFAATAN SUMBERDAYA UNGGUL	145
Pemuliaan Tanaman Pangan Berbasis Teknologi <i>Frontier</i> dan Preferensi Konsumen	147
<i>Yudhistira Nugraha, Trias Sitaresmi, Puji Lestari, Untung Susanto, I Made Jana Mejaya, I Made Oka Adnyana</i>	
Memperkuat Penciptaan Teknologi Inovatif Sebagai <i>Frontier</i> Sistem Produksi Pangan dan Berorientasi Pasar	185
<i>Aris Hairmansis, Priatna Sasmita, Irsal Las</i>	
Tantangan Sumberdaya Manusia Mendukung Modernisasi Pertanian	203
<i>Adi Setiyanto, Vyta Wahyu Hanifah, Bambang Irawan</i>	
Inovasi Kelembagaan Pertanian Menghadapi Tantangan Pertanian Modern Berkelanjutan.....	255
<i>Adnan, Lutfi Humaedi, Kedi Suradisastra</i>	
Memperkuat Industri Pangan Merespon Dinamika Pasar di Era Pertanian Modern Berkelanjutan	277
<i>Hoerudin, S. Joni Munarso, Muhammad Prama Yufdy</i>	
Menuju Pola Konsumsi Pangan di Era Pertanian Modern Berkelanjutan.....	319
<i>Sri Hastuti Suhartini, Mewa Ariani, Achmad Suryana</i>	
MENUJU IMPLEMENTASI PERTANIAN MODERN	357
Teknologi Digital Sebagai Platform Inovasi Mendukung Pertanian Modern Berkelanjutan.....	359
<i>Sri Asih Rohmani, Effendi Pasandaran, Apri Wahyudi</i>	
Digitalisasi Informasi Sumberdaya Pertanian Mendukung Pertanian Modern	406
<i>Husnain, Erma Suryani, Yiyi Sulaiman, Irsal Las</i>	

Pengembangan <i>Integrated Intelligent System</i> Dalam Pengelolaan Sumberdaya Lahan Mendukung Pertanian Presisi	432
<i>Rizatus Shofiyati, Anny Mulyani, Wiwik Hartatik, Husnain, Fadjry Djufray</i>	
Digitalisasi Pengelolaan Sumber Daya Iklim dan Air Mendukung Pertanian Modern	467
<i>Setyono Hari Adi, Elza Surmaini, Harmanto, Haryono Soeparno</i>	
Teknologi Alat Dan Mesin Pertanian Mendukung Modernisasi Agroindustri Hulu Sampai Hilir	495
<i>Abi Prabowo, Agung Prabowo, Suparlan, Irsal Las</i>	
EPILOG	539
Lingkungan Strategis Mendukung Kebijakan Pertanian Modern Berkelanjutan.....	541
<i>Haryono Soeparno, Rusman Heriawan, Achmad Suryana</i>	
INDEKS.....	551
TENTANG PENULIS.....	557
TENTANG EDITOR.....	565

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Dimensi dan Indikator untuk Memastikan Kesejahteraan Manusia Tanpa Mengurangi Kapasitas Ekosistem Bumi dan Mengorbankan Kesejahteraan Orang Lain	17
Tabel 2.	Indikator Pertanian Berkelanjutan	18
Tabel 3.	Indikator 2.4.1 Sdgs (<i>Percentage Of Agricultural Area Under Productive And Sustainable Agriculture</i>) dengan Dimensi Pertanian Berkelanjutan	19
Tabel 4.	Peta Teknologi Pertanian Modern.....	22
Tabel 5.	Faktor Pendorong Revolusi Hayati	28
Tabel 6.	Perbandingan Budaya Analog dan Budaya Digital...	52
Tabel 7.	Identifikasi Elemen Kunci dalam Tansformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi	54
Tabel 8.	Jenis Peruntukan Teknologi dan Urgensi Pengembangan Inovasi	77
Tabel 9.	Katagori Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Subsistem Agribisnis	79
Tabel 10.	Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Katagori Pengguna Produk Pertanian	81
Tabel 11.	Klasifikasi dan Contoh Inovasi Serta Fokus Aspek/Dimensi pada Tiap Klasifikasi Pengembangan Teknologi Inovasi.....	89

Tabel 12. Perbandingan Antara Teknologi Pemuliaan Konvensional dan Teknologi Frontier Berdasarkan Tahap-Tahap Kegiatannya.	165
Tabel 13. Varietas Tanaman Pangan yang Telah Dilepas Menggunakan Teknologi Frontier Di Indonesia	167
Tabel 14. Pemanfaatan Teknologi Frontier dalam Sistem Produksi Pangan.....	194
Tabel 15. Perubahan Sistem Produksi dan Rantai Pasok Produk Pertanian Masa Kini Vs Masa Depan Sebagai Pengaruh dari Penerapan Pertanian Presisi (Pertanian 4.0)	214
Tabel 16. Peran Sumberdaya Manusia dalam Modernisasi Pertanian	218
Tabel 17. Agregasi Kompetensi Sumberdaya Manusia Era Industri 4.0 Berdasarkan Katagori dan Rincian dengan Menggunakan Kerangka Kompetensi Unesco Tahun 2016	221
Tabel 18. Jumlah Peneliti Berdasarkan Jenjang Jabatan di 10 Kementerian/Lembaga Lain	227
Tabel 19. Penetrasi Pengguna Internet Berdasarkan Umur (2018).....	229
Tabel 20. Persentase Penggunaan Internet Tiga Bulan Terakhir Pada Pemuda, 2019.....	231
Tabel 21. Tingkatan dan Indikator Kesiapterapan Teknologi Hasil Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian	299
Tabel 22. Perubahan Pangsa Pengeluaran Pangan Menurut Kelompok Pangan, 1999-2019	324

Tabel 23. Pangsa Pengeluaran Per Kapita Per Bulan Menurut Kelompok Pangan dan Kelompok Pengeluaran, 2019 (%)	326
Table 24. Perubahan Tingkat Partisipasi Konsumsi Menurut Kelompok Makanan, 2016 dan 2019.....	327
Tabel 25. Perubahan Tingkat Partisipasi Konsumsi Menurut Kelompok Makanan, 2016 dan 2019.....	328
Tabel 26. Faktor-Faktor Yang Mendorong Mengonsumsi <i>Fast Food</i>	331
Tabel 27. Sasaran Konsumsi Sehat Per Orang dengan Asupan 2100 Kalori/Hari di Indonesia	341
Tabel 28. Fungsi dan Aktivitas Platform Inovasi (Sumber: Homman Et Al. 2015)	373
Tabel 29. Daftar Design Sebagai Acuan Pemeliharaan Sistem yang Dibangun.....	425
Tabel 30. Status Perkembangan Data Sumberdaya Lahan di Indonesia.....	444
Table 31. Sebaran Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat yang Perlu Peremajaan.....	452
Tabel 32. Tipe Alsintan, Ukuran Daya dan Berbagai Parameter Penting Alsintan.....	499
Tabel 33. Konsep Pengembangan Mekanisasi Pertanian di Indonesia, 1950-2030 (Soedjatmiko 2003)	503
Tabel 34. Tantangan dan Peluang Penerapan Alsintan (Handewi Et Al. 2015)	517

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konsep Pertanian Berkelanjutan (Serageldin dan Steer 1994)	16
Gambar 2 . Sistem Pangan Berkelanjutan (Fao 2014a)	17
Gambar 3. Kerangka Aplikasi Teknologi dalam Pertanian Modern Menggunakan Industri Jasa Digital (Yang Et Al. 2016)	23
Gambar 4. Model “New Institutionalism” dalam Proses Transformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi	51
Gambar 5. Budaya dan Perilaku Organisasi Menjadi Faktor Penentu dalam Transformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi Secara Digital	52
Gambar 6. Keterkaitan Antara Aspek Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan pada Pertanian Berkelanjutan (Dimodifikasi dari Nguyen, 2015)	83
Gambar 7 . Tahapan dan Alur dari Penelitian Dasar Hingga Penerapan Inovasi di Lapangan (Modifikasi Dari Haryono 2020 dan Permentan Nomor 3 Tahun 2005)	97
Gambar 8. Proporsi Keterlibatan Stakeholder dan Tim Litbang pada Tiap Tahap Pengembangan Inovasi (Modifikasi dari Douthwite 2003)	98
Gambar 9. Perkembangan Varietas Unggul Padi dari 1985 – 2018	162

Gambar 10. Contoh Kuadran untuk Pemilihan Varietas Berdasarkan Karakter Yang Dihubungkan Dengan Preferensi Konsumen dan Pilihan Petani	173
Gambar 11. Empat Puluh Teknologi Kunci untuk Masa Depan (Sumber: Oecd 2016)	188
Gambar 12. <i>Agriculture War Room</i> (Awr) Kementerian Pertanian (Sumber: Kementan 2019)	235
Gambar 13. Kelembagaan Pertanian Padi Organik.	260
Gambar 14. Case Diagram Perusahaan <i>Start Up</i> (Binhaq, 2019).	271
Gambar 15. Keragaan Industri Pangan (Makanan dan Minuman) Di Indonesia (Sumber: Bps dan Kemenperin 2017 – Diolah)	281
Gambar 16. Industri Pangan (Makanan dan Minuman) Sebagai Prioritas Revolusi Industri 4.0 di Indonesia (Sumber A.T. Kearney, Bank Dunia, Badan Pusat Statistik, dalam Kemenperin 2018)	282
Gambar 17. Nilai Mpp Komoditas Strategis di Indonesia (Sumber: Bps 2020).....	286
Gambar 18. Peta Sebaran Contoh Implementasi Teknologi Pascapanen Pertanian Hasil Balitbangtan (Sumber: Bb-Pascapanen Diolah).....	294
Gambar 19. Produk Teknologi <i>Starter Kering Yoghurt</i> Probiotik Substitusi Impor (A) dan Pengolahan Beras dengan Indeks Glikemik Rendah untuk Penderita Diabetes (B) (Sumber: Bb-Pascapanen).....	294

Gambar 20. Penggunaan Lahan dan Air Serta Jumlah Emisi Gas (C02) dari Setiap Komoditas untuk Menghasilkan Satu Juta Kilokalori Energi (Kiri) dan Satu Ton Protein (Kanan) (Sumber: Ranganathan Et Al. 2016).....	338
Gambar 21. Tumpeng Gizi Seimbang (Nutrisi Bangsa, 2014)	343
Gambar 22. Isi Piriganku (Kemenkes Ri, 2018)	343
Gambar 23. Pilihan Jenis Pangan Sehat (Sumber: Komisi Eat, 2019)	346
Gambar 24. Keterkaitan Pembangunan Pertanian Modern dengan Upaya Transformasi Ekonomi (Sumber: Kemensesneg 2020; Kementan 2020)	365
Gambar 25. Kerangka Konseptual Jaringan Aplikasi Big Data dalam <i>Smart Farming</i> (Sumber: Lambert Dan Cooper 2000)	382
Gambar 26. Proporsi Rata-Rata Populasi di Daerah Pedesaan dan Perkotaan dengan Keterampilan Digital Tertentu, 2017 (Sumber: Fao 2019).....	384
Gambar 27. Komposisi Penduduk Menurut Generasi (Sumber: Susenas 2017)	385
Gambar 28. Struktur Sistem Pertanian Berbasis IoT (Li dan Niu 2020)	417
Gambar 29. Empat Komponen Sumberdaya Lahan dan Tiga Siklus Berperan: A) Nitrogen (Designau 2018a), B) Air (Water & Soil Ltd. 2016 Diolah), B) dan C) Carbon (Designau 2018b).....	434
Gambar 30. Empat Unsur yang Berperan dalam Keberlanjutan Empat Komponen Lahan	435
Gambar 31. <i>Integrated Intelligent System</i> dalam Pengelolaan Lahan Pertanian (Baseca Et Al., 2019, Diolah).....	438

Gambar 32. <i>Smart Soil Sensing Kit</i> dan Penggunaan Langsung untuk Deteksi Di Lapangan.....	440
Gambar 33. Peta Tipe Genangan Polder Alibio, Kalimantan Selatan [Setiawan dan Tim Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2015]	457
Gambar 34. Pola Tanam Padi pada Musim Kering 1 Tahun 2017 - 2020.....	459
Gambar 35. Tahapan Penyusunan Peta Sumber Daya Agroklimat untuk Pertanian	477
Gambar 36. Peta Sumberdaya Agroklimat Indonesia	477
Gambar 37. Contoh Tampilan Sistem Informasi Sumber Daya Air Pertanian Nasional	479
Gambar 38. Peta Prediksi Curah Hujan< 50 Mm/Dasarian untuk Dasarian Iii Agustus 2020 dan Prediksi Hari Tanpa Hujan Agustus 2020	483
Gambar 39. Alur Pengembangan Si Katam Terpadu	485
Gambar 40. Alur Data dan Informasi <i>Smart Farming</i> untuk Efisiensi Sumber Daya Air Pertanian	488
Gambar 41. Posisi dan Peran Alsintan dalam Pertanian Modern Berbasis Industri.....	519
Gambar 42. Alur Bagan Pertanian Cerdas Teknologi 4.0.....	519
Gambar 43. Penerapan Teknologi Digital pada Pertanian <i>Modern</i> oleh Balitbangtan.....	524
Gambar 44. Alur Rantai Nilai yang Terangkum dalam Big Data Pertanian Modern Padi.....	525
Gambar 45. Indeks Pertanaman Padi dalam Setahun dengan Penerapan Alsintan Berteknologi 4.0	526

Gambar 46. Alur Perberasan dari Petani Produsen Sampai Pedagang Pengecer	530
Gambar 47. Sinergitas Antara Bbsdmp, Ditjen Psp, Ditjen Tp dan Balitbangtan dalam Upaya Mengoptimalkan Bantuan Alsintan.....	533

PROLOG

MEWUJUDKAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Haryono Soeparno^{a1}, Achmad Suryana^{b2}, Rusman Heriawan^{c3}

a Binus University

b Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

c Kementerian Pertanian

1,2,3 Kontributor Utama

Pertanian modern berkelanjutan pada hakekatnya merupakan perpaduan konsep pertanian berkelanjutan dan pertanian modern, dengan dimensi dan tujuan yang sama yaitu menerapkan prinsip ekonomi, sosial, dan lingkungan berkelanjutan. Prinsip dimaksud menginginkan tercapainya efisiensi produksi melalui pemanfaatan sumber daya yang terukur sehingga dampak kerusakan lingkungan dapat diminimalkan. Lebih lanjut untuk mencapai efisiensi produksi dilakukan antara lain dengan mengakselerasi teknologi digital sejalan dengan kebutuhan teknologi pertanian di era Industri 4.0. Praktek pertanian berkelanjutan harus dapat menjamin bahwa pertumbuhan produktivitas dilakukan tanpa memaksakan eksploitasi berlebihan yang mengancam lingkungan alam dan keanekaragaman hayati di dalamnya. Dengan kata lain hubungan antara praktek pertanian dan keberlangsungan dukungan lingkungan harus berjalan secara seimbang dan dinamis (terbentuknya eko-sistem pertanian yang baik).

Modernisasi pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi yang dilaksanakan sesuai dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan sehingga memungkinkan pengurangan dampak negatif. Hal ini untuk memastikan pertumbuhan produktivitas tanpa memaksakan ancaman terhadap lingkungan alam dan kehidupan hewan atau dengan kata lain hubungan pertanian dan lingkungan akan mengalami perubahan dengan mempertimbangkan kepedulian terhadap lingkungan alam, dan tekanan pada peningkatan efisiensi produksi. Perubahan tersebut dilakukan dengan menerapkan teknologi produksi yang ramah lingkungan dan efisien, serta instrumen hukum yang mewajibkan produsen pertanian untuk melindungi lingkungan alam.

Pertanian modern berbasis revolusi hijau telah membawa kemajuan pesat bagi pembangunan pertanian. Dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan produksi pertanian yang cukup signifikan sebagai hasil dari revolusi hijau di atas, bahkan telah berhasil membawa Indonesia mencapai swasembada beras pada tahun 1984. Namun, di balik kesuksesannya, revolusi hijau juga membawa dampak negatif bagi lingkungan. Penggunaan pupuk anorganik, pestisida, herbisida, dan eksploitasi lahan yang berlebihan telah berdampak pada kerusakan lingkungan, termasuk struktur tanah dan jumlah mikroba tanah sehingga kondisi lahan pertanian menjadi semakin kritis. Praktik-praktik pertanian yang dilakukan secara tidak bijaksana mengakibatkan pencemaran lingkungan, keracunan, penyakit, dan kematian pada makhluk hidup. Pembangunan pertanian harus memperhatikan aspek lingkungan, tidak cukup hanya pada aspek ekonomi saja. Paradigma pembangunan berkelanjutan sudah lama dicanangkan, namun belum banyak negara termasuk Indonesia mengimplementasikan secara signifikan. Isu pembangunan berkelanjutan semakin menguat dan menjadi fokus perhatian dalam kebijakan ekonomi global. Pada tahun 2015 digulirkan

dokumen penting yang disepakati oleh hampir semua negara di dunia yang kemudian dikenal dengan Sustainable Development Goals (SDGs), 2015-2030. Kebijakan ini terlahir dari keprihatinan bahwa sumber daya alam dan lingkungan mengalami kerusakan di atas tingkat kewajaran (darurat lingkungan). Jika ini dibiarkan, akan mengurangi daya dukung alam dan lingkup terhadap produksi pertanian yang berpotensi menyebabkan krisis pangan dan kekurangan gizi yang serius.

Secara umum konsep pertanian berkelanjutan (sustainable agriculture) merupakan implementasi dari konsep pembangunan berkelanjutan (sustainable development). Seperti konsep pembangunan berkelanjutan, konsep pertanian berkelanjutan juga sudah lama diterapkan. Pada tahun 1988, FAO telah mendefinisikan pertanian berkelanjutan yang pada prinsipnya mengelola sumber daya alam dengan berbasis pada pemanfaatan teknologi dan penataan kelembagaan untuk memastikan keberlanjutan produksi guna memenuhi kebutuhan pangan dan energi bagi generasi sekarang dan yang akan datang. Banyak istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan pertanian berkelanjutan seperti: pertanian masukan rendah (low-input agriculture); pertanian rendah kimia (low-chemical agriculture); pertanian konservasi sumber daya alam dan lingkungan; serta teknologi pertanian yang efisien sumber daya. Dari sisi ekonomi kesejahteraan, pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat tani secara luas melalui peningkatan produksi pertanian. Itu sebabnya, aspek kesejahteraan dan lingkungan harus dilakukan secara seimbang dengan memperhatikan daya dukung ekosistem. Dengan keseimbangan ini diharapkan keberlanjutan produksi dapat terus dipertahankan dalam jangka panjang.

Konsep pertanian modern adalah pertanian yang digerakkan dengan melibatkan teknologi canggih atau teknologi digital yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan input

sumber daya alam, meningkatkan nilai tambah dan kualitas produk yang dihasilkan, meningkatkan produktivitas pertanian dan pada akhirnya tentu meningkatkan pendapatan petani. Pertanian modern ini mencakup kegiatan on farm dan off farm. Kegiatan on farm yang dicirikan dengan pertanian presisi yang dalam kegiatan budidaya digerakkan dengan teknologi tinggi (robot, drone, smart tractor, dan lainnya). Aplikasi digital digunakan untuk mengontrol tanaman dari jarak jauh sehingga kondisi tanaman dapat diketahui secara real time. Kegiatan off farm berbasis aplikasi digital digunakan untuk mendukung sistem logistik dan rantai pasok dari produsen sampai konsumen. Penerapan teknologi blockchain untuk menjamin transparansi dan rekam jejak aliran dan kualitas produk pertanian dari hulu hingga hilir. Penerapan teknologi digital ini juga dapat membantu produsen untuk pemasaran produk ke konsumen.

Pembangunan pertanian modern harus memperhatikan tiga hal, yaitu: (a) dapat menjamin akses petani terhadap lahan, air dan sarana penunjang lainnya secara adil dan merata; (b) sebagai basis dalam menciptakan ketahanan pangan nasional; dan (c) harus dapat menjembatani pemanfaatan sumberdaya yang ada untuk sebesar-besarnya kemakmuran bersama. Ketiga hal ini saling berkaitan dan memunculkan sistem pertanian baru yang pada akhirnya adalah meningkatnya kesejahteraan petani sebagai pelaku utama pembangunan pertanian. Berdasarkan batasan ini maka pembangunan pertanian modern minimal harus menjamin akses petani terhadap sumberdaya yang ada, sehingga mereka dapat melaksanakan kegiatan usahatani secara baik.

Konsep dan kebijakan pertanian modern berkelanjutan, pemanfaatan sumberdaya unggul, dan menuju implementasi pertanian modern, merupakan upaya adaptasi dan transformasi awal pemanfaatan seluruh potensi sumberdaya untuk mewujudkan pertanian modern berkelanjutan, dan arah transformasi pola pengelolaan riset dan inovasi mendukung

modernisasi pertanian berkelanjutan. Modernisasi pertanian berkelanjutan tidak terlepas dari penyediaan dan kemampuan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi serta teknologi digital. Tantangan yang dihadapi dan bagaimana beradaptasi serta upaya melakukan langkah-langkah transformasi adalah bagaimana pertanian modern mendorong terwujudnya ketangguhan ekonomi, sosial, ekologi sebagai refleksi kesejahteraan masyarakat petani.

Upaya meningkatkan kesejahteraan petani melalui pembangunan pertanian modern memerlukan dukungan inovasi pertanian secara berkelanjutan. Inovasi teknologi, inovasi kelembagaan, dan dukungan inovasi eksternal telah terbukti mampu mengubah sistem pertanian tradisional menjadi pertanian maju sebagaimana ditunjukkan dalam proses revolusi hijau yang memanfaatkan inovasi teknologi secara masif. Adopsi inovasi teknologi dapat terjadi melalui proses difusi atau melalui proses induksi. Adopsi inovasi dapat dilakukan melalui strategi pembelajaran kolektif yang diawali dengan proses fasilitasi terhadap kemampuan individu petani, dan diteruskan ke kelompok masyarakat menjadi pembelajaran kolektif. Strategi pembelajaran kolektif melalui jejaring kemitraan dapat menciptakan sistem masyarakat belajar yang memanfaatkan sarana belajar dari bahan lokal yang direkayasa secara dinamis sesuai dengan kebutuhan proses pembelajaran. Selain itu, inovasi teknologi konservasi dan pengelolaan sumber daya dapat memainkan peran penting guna menjaga keberlanjutan sistem pertanian modern yang diharapkan akan berkembang di Indonesia.

KONSEP DAN PENERAPAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

KONSEP DAN PENERAPAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

**Fadjri Djufry^{a1}, Haryono Soeparno^{b2}, Rusman Heriawan^{c3}
dan Mewa Ariani^{d4}**

^a Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian,

^b Binus University

^c Kementerian Pertanian

^d Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

^{1,2,3,4} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Pertanian modern berbasis revolusi hijau telah membawa kemajuan pesat bagi pembangunan pertanian. Dalam beberapa dekade terakhir telah terjadi peningkatan produksi pertanian yang cukup signifikan sebagai hasil dari revolusi hijau, yang telah berhasil membawa Indonesia mencapai swasembada beras pada tahun 1984. Namun, di balik kesuksesannya, revolusi hijau juga membawa dampak negatif bagi lingkungan (Sumarno 2018).

Pembangunan pertanian harus memperhatikan aspek lingkungan, tidak cukup hanya pada aspek ekonomi saja. Paradigma pembangunan berkelanjutan sudah lama dicanangkan, namun belum banyak negara termasuk Indonesia mengimplementasikan secara besar. Pembangunan berkelanjutan bergulir lagi dan menjadi kebijakan ekonomi global pada tahun

2015 yang secara eksplisit dituangkan dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs). Kebijakan ini terlahir dari keprihatinan bahwa sumber daya alam dan lingkungan mengalami kerusakan dan jika dibiarkan akan terjadi krisis pangan dan kekurangan gizi yang besar. Menurut De Clerca et al. (2018), secara global sekitar 25% lahan pertanian telah mengalami degradasi berat dan sekitar 44% mengalami degradasi ringan.

Perubahan iklim global juga merupakan ancaman yang sangat serius terhadap sektor pertanian dan berpotensi mendatangkan masalah baru bagi keberlanjutan produksi pangan dan sistem produksi pertanian. Akibat perubahan iklim, cadangan air bawah tanah di negara-negara berkembang menyusut hingga 50 persen dalam delapan tahun ke depan. Pada 2025, efek perubahan iklim akan berdampak besar terhadap planet ini, di mana cadangan air bawah tanah negara-negara berkembang akan berkurang 50% dan 18% di negara maju (FAO 2017a). Jika perubahan iklim ini tidak segera ditanggulangi, maka pada tahun 2050 diproyeksikan risiko kelaparan dan anak kurang gizi masing-masing sebesar 10-20% dan 20%.

Ada 17 target SDGs yang diharapkan mampu meniadakan kelaparan dan mencapai terjadinya *zero hunger* pada tahun 2030. Dari 17 target tersebut ada lima target yang berkaitan langsung dengan sumber daya alam yaitu energi bersih dan terjangkau; infrastruktur, industri dan inovasi, konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab/berkelanjutan, penanganan perubahan iklim dan menjaga ekosistem darat. Upaya untuk memenuhi target-target tersebut, maka berkembang konsep pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*). Di sisi lain, saat ini muncul revolusi industri 4.0 yang menerapkan konsep otomatisasi, dalam arti proses produksi dilakukan oleh mesin tanpa memerlukan tenaga manusia dalam pengaplikasiannya.

Hal ini merupakan kebutuhan penting oleh para pelaku industri untuk efisiensi waktu, tenaga kerja, dan biaya. Dalam era revolusi industri 4.0 terdapat banyak inovasi baru, diantaranya *internet of things* (IoT), *big data*, percetakan 3D, *artificial intelligence* (AI), kendaraan tanpa pengemudi, rekayasa genetika, robot dan mesin pintar. Sejalan dengan kemunculan industri 4.0, pembangunan pertanian juga diarahkan untuk mengembangkan pertanian modern dengan menjalankan beberapa inovasi yang dijalankan oleh industri 4.0.

Saat ini Indonesia juga seperti negara lain, jumlah penduduk terus meningkat dengan laju peningkatan yang masih positif walaupun cenderung menurun yaitu 1,0% pada tahun 2020-2025; 0,8% tahun 2025-2030 dan 0,62% pada tahun 2030-2035 atau dari 271,1 juta orang pada tahun 2020 menjadi 305,6 juta orang pada tahun 2035 (Bappenas, BPS dan UNPF. 2013). Dengan pertambahan penduduk ini, kebutuhan pangan yang harus dipersiapkan oleh pemerintah juga meningkat. Di sisi lain, Indonesia juga mengalami masalah sumber daya alam dan lingkungan seperti di negara lain. Menurut Pasandaran (2020), Indonesia diperkirakan mengalami degradasi berat yang lebih luas mengingat lahan terlantar semakin luas dan produktivitas lahan kering yang semakin menurun. Oleh karena itu diperlukan penajaman konsep dan analisis yang lebih mendalam dalam membangun usaha pertanian dengan memperhatikan prinsip-prinsip keberlanjutan dan modernisasi. Tujuan makalah ini adalah untuk menjelaskan konsep dan prinsip/ciri-ciri pertanian berkelanjutan dan pertanian modern serta apa yang dilakukan untuk mengimplementasikan kedua konsep tersebut.

KONSEP DAN KARAKTERISTIK PERTANIAN BERKELANJUTAN DAN PERTANIAN MODERN

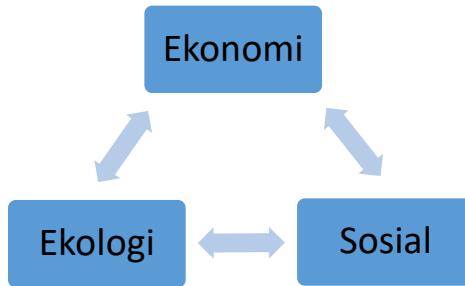
Konsep dan Prinsip Dasar Pertanian berkelanjutan

Usaha masyarakat Internasional untuk menanggulangi kemerosotan lingkungan hidup sudah lama dilakukan, mulai tahun 1972 di Stockholm, Swedia, dilanjutkan melalui sidang istimewa memperingati 10 tahun gerakan lingkungan dunia di Nairobi, Kenya pada tahun 1982 dan konferensi PBB di Rio de Janeiro tahun 1992. Kemudian KTT Johannesburg selain mencanangkan kembali komitmen politik seluruh lapisan masyarakat Internasional, juga telah meletakkan dasar-dasar yang patut dijadikan acuan dalam melaksanakan pembangunan berkelanjutan di semua tingkatan dan sektor atau aspek pembangunan (Alisjahbana dan Murniningtyas 2018).

Secara umum konsep pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) merupakan implementasi dari konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Seperti konsep pembangunan berkelanjutan, konsep pertanian berkelanjutan juga sudah lama diterapkan. Pada tahun 1988, FAO telah mendefinisikan pertanian berkelanjutan pada prinsipnya mengelola sumber daya alam dengan orientasi teknologi dan perubahan kelembagaan untuk memastikan pencapaian berkelanjutan atas kebutuhan manusia untuk generasi sekarang dan masa depan (Gennari dan Navarro 2019). Banyak istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan pertanian berkelanjutan seperti: pertanian masukan rendah (*low-input agriculture*); pertanian rendah kimia (*low-chemical agriculture*); pertanian konservasi sumber daya alam dan lingkungan; teknologi pertanian yang efisien sumber daya (Parr et al. 1990)

Pembangunan pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat tani secara luas melalui peningkatan produksi pertanian yang dilakukan secara seimbang dengan memperhatikan daya dukung ekosistem sehingga keberlanjutan produksi dapat terus dipertahankan dalam jangka panjang dengan meminimalkan terjadinya kerusakan lingkungan. Pertanian berkelanjutan berkontribusi pada semua pilar ketahanan pangan yang meliputi ketersediaan, akses, pemanfaatan/konsumsi dan stabilitas.

Keempat ini menjadi bahan pertimbangan dalam mengimplementasikan pertanian berkelanjutan dengan prinsip *profit* (ekonomi), *planet* (lingkungan), dan *people* (sosial) yang dilakukan secara terus menerus dan saling terkait antar prinsip seperti pada Gambar 1 (Serageldin dan Steer 1994). Tiga prinsip dasar keberlanjutan tersebut diterjemahkan sebagai berikut: 1) ekonomi, pembangunan pertanian yang mampu menghasilkan barang dan jasa secara kontinu untuk memelihara keberlanjutan pemerintahan dan menghindari ketidakseimbangan sektoral yang dapat merusak produksi pertanian dan industri; 2) ekologi/lingkungan merupakan usaha untuk memanfaatkan dan mengelola sumber daya alam secara bijaksana dengan tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan berlaku adil bagi generasi mendatang. Pertanian berkelanjutan dapat dicapai dengan melindungi, mendaur ulang, mengganti dan/atau mempertahankan basis sumber daya alam seperti tanah, air, dan keanekaragaman hayati yang memberikan sumbangan bagi perlindungan modal alami serta 3) sosial, sistem yang mampu mencapai keadilan dan kesetaraan akses terhadap sumber daya alam dan pelayanan publik baik dalam bidang kesehatan, gender, maupun akuntabilitas politik. Dalam pertanian berkelanjutan, keberlanjutan sosial berkaitan dengan kualitas hidup dan kesejahteraan dari mereka yang terlibat dalam sektor ini.



Gambar 1. Konsep Pertanian Berkelanjutan (Serageldin dan Steer 1994)

Dari ketiga prinsip dasar keberlanjutan muncul pengembangan prinsip dalam implementasinya yang disesuaikan dengan tujuan, karakteristik dan tingkat pendalamannya. Sehingga ukuran keberlanjutan juga bersifat dinamik dan spesifik lokasi. Oleh karena itu, FAO menyarankan setiap negara menyusun definisi sendiri untuk kegiatan dan praktek pertanian berkelanjutan. Dalam pengembangan sistem pangan yang berkelanjutan (*sustainable in food systems*), makna keberlanjutan harus dilakukan secara holistik. Atau dengan kata lain, pembangunan sistem pangan menghasilkan nilai positif dalam tiga dimensi (ekonomi, sosial dan lingkungan) secara bersamaan (sekaligus) yang indikatornya seperti dalam Gambar 2 (FAO 2014a). Kemudian FAO menyusun indikator dari masing-masing dimensi keberlanjutan yang bertujuan untuk memastikan kesejahteraan manusia tanpa menghabiskan atau mengurangi kapasitas ekosistem bumi dan tanpa mengorbankan kesejahteraan orang lain untuk mendukung kehidupannya (FAO 2014b). Indikator dan penciri keberlanjutan yang digunakan seperti pada Tabel 1.



Gambar 2 . Sistem Pangan Berkelanjutan (FAO 2014a)

Tabel 1. Dimensi dan Indikator untuk Memastikan Kesejahteraan Manusia tanpa Mengurangi Kapasitas Ekosistem Bumi dan Mengorbankan Kesejahteraan Orang Lain

No.	Dimensi	Indikator
1	Pemerintahan yang baik	Etika perusahaan, Akuntabilitas, Partisipasi, Aturan hukum, Manajemen komprehensif/holistik
2	Integritas lingkungan	Atmosfir, Air, Lahan, Biodiversitas hayati, Material dan energi, Kenyamanan hewan
3	Ketangguhan ekonomi	Investasi, Kerentanan, Kualitas produk dan informasi, Ekonomi lokal
4	Kesejahteraan sosial	Mata pencaharian yang layak, Praktek perdagangan yang adil, Hak tenaga kerja, Keadilan, Kesehatan dan keamanan manusia, Keragaman budaya

Sumber: SAFA Guedelines Versi 3 (FAO 2014b)

FAO dalam buku *Sustainable Food and Agriculture* menyebutkan ada lima prinsip kunci untuk keberlanjutan pangan dan pertanian yaitu: a) efisiensi penggunaan sumber daya, b) konservasi, proteksi dan pemanfaatan SDA yang bijaksana, c) peningkatan kesejahteraan masyarakat, khususnya masyarakat pedesaan, serta kesetaraan, d) peningkatan ketahanan penduduk, komunitas, dan ekosistem, serta e) efektifitas kebijakan pemerintah. Adapun indikator atau kriteria dari masing-masing prinsip kunci tersebut seperti pada Tabel 2 (FAO 2017). Terkait dengan target SDGs untuk nomor 2.4.1 (persentase luas lahan pertanian terhadap pertanian yang produktif dan berkelanjutan) yang dikaitkan dengan prinsip dasar pertanian berkelanjutan, FAO menyusun metodologi umum untuk mengukur target tersebut seperti pada Tabel 3 (FAO 2018). Dari ketiga publikasi FAO ini menunjukkan bahwa dimensi dalam prinsip pertanian berkelanjutan adalah sama, namun dalam penjabarannya menggunakan indikator yang berbeda tergantung dari tujuan dan penekanan seperti yang telah disebutkan terdahulu.

Tabel 2. Indikator Pertanian Berkelanjutan

No.	Perspektif	Indikator
1	Efisiensi sumber daya	Lahan air, Pupuk, Pestisida, Bibit
2	Konservasi lingkungan	Pencemaran sungai, Emisi GRK, Biodiversitas, Residu pada lahan/produk
3	Sosial ekonomi	Pendapatan keluarga, Lapangan Kerja Baru, Minat petani pada teknologi baru
4	Daya tahan terhadap komunitas dan lingkungan	Keturunan petani tidak meninggalkan pertanian, Koperasi petani tumbuh, Agribisnis pertanian muncul
5	Mekanisme pengelolaan yang efektif dan bertanggung jawab	Alokasi lahan dan tata ruang, Penyediaan infrastruktur, Data yang akurat dan tepat waktu, Monitoring, penyuluhan

Sumber: FAO (2017b)

Tabel 3. Indikator 2.4.1 SDGs (*percentage of agricultural area under productive and sustainable agriculture*) dengan Dimensi Pertanian Berkelanjutan

No.	Dimensi keberlanjutan	Indikator
1	Ekonomi	Nilai output pertanian per hektar, Pendapatan bersih hasil usahatani, Mekanisme mitigasi resiko
2	Lingkungan	Prevalensi degradasi lahan, Variasi ketersediaan air, Manajemen pemupukan, Manajemen pestisida, Praktek pemanfaatan keanekaragaman hayati
3	Sosial	Rata-rata upah pertanian, Skala pengalaman kerawanan pangan, menjamin hak kepemilikan atas tanah

Sumber: FAO (2018)

Indikator yang dikembangkan oleh FAO sudah banyak dilakukan di Indonesia dengan penyesuaian-penyesuaian per kasus sesuai dengan penekanannya. Nurmalina (2008) melakukan analisis sistem ketersediaan beras nasional berkelanjutan dengan menggunakan lima dimensi yaitu ekologi, ekonomi, sosial budaya, kelembagaan, teknologi. Widiatmaka et al. (2015) menggunakan enam dimensi yaitu ekologi, ekonomi, hukum, kelembagaan, sosial dan teknologi dalam menganalisis keberlanjutan penggunaan lahan sawah di Kabupaten Karawang. Demikian pula Linda et al. (2018) menggunakan enam dimensi, namun agak berbeda yaitu ekonomi, teknologi, infrastruktur, ekologi, sosio-budaya dan kelembagaan dalam penelitian keberlanjutan usahatani padi sawah di Subak Intaran Barat, Kota Denpasar. Pembelajaran dari ketiga kasus penelitian tersebut bahwa dimensi yang digunakan untuk pertanian berkelanjutan tidak hanya ekonomi, sosial dan lingkungan namun ditambah dengan pilihan dimensi yang relevan seperti teknologi, kelembagaan, hukum dan infrastruktur.

Konsep dan Penciri Pertanian Modern

Telah banyak publikasi yang mengaitkan perubahan yang terjadi pada sektor industri yang dikenal dengan industri 4.0 dan dampaknya pada sektor pertanian. Secara umum pembahasan untuk keterkaitan tersebut adalah sama namun kadang-kadang menekankan pada aspek spesifik sesuai fokus dan tujuannya. Komisi Eropa (*European Commission*) pada tahun 2017 menulis buku dengan judul *Industri 4.0 in agriculture: focus on IoT aspects*. Dalam buku tersebut disebutkan bahwa tren industri 4.0 dipandang sebagai upaya mentransformasikan kekuatan yang akan yang berdampak pada sektor industri. Kecenderungan tersebut adalah membangun berbagai teknologi digital seperti *internet of thing*, *big data*, kecerdasan buatan. Selain itu, juga digital secara praktis seperti kerjasama, mobilitas, keterbukaan inovasi. Trend industri 4.0 ini akan mengubah kemampuan produksi semua industri termasuk pada sektor pertanian. Di sektor pertanian, akan mengubah infrastruktur produksi seperti traktor dan mesin yang keduanya akan meningkatkan produktivitas dan kualitas serta keberlanjutan lingkungan. Selain itu, juga akan menghasilkan modifikasi dalam rantai nilai dan model bisnis dengan lebih banyak penekanan pada aspek pengumpulan pengetahuan, analisis dan pertukaran. Digitalisasi pertanian didasarkan pada pengembangan dan pengenalan alat dan mesin baru dalam produksi.

Penyebutan pertanian 4.0 juga bermacam-macam, terkadang disebut dengan *precision farming* (pertanian presisi) atau *smart farming* (pertanian cerdas) atau pertanian modern. Kementerian Pertanian sering menggunakan istilah pertanian modern yang dalam Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024 (Kementerian Pertanian 2020) diartikan pembangunan pertanian

berbasiskan inovasi sejalan dengan revolusi industri 4.0. Pertanian modern yang dikembangkan memiliki karakteristik: memproduksi sesuai kebutuhan, bernilai ekonomi tinggi, produktivitas tinggi serta bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pada waktu pertanian digerakkan dengan konsep revolusi hijau juga disebut pertanian modern karena mengubah beberapa cara berusahatani yang dilakukan oleh pertanian tradisional. Karakteristik sebagai penciri utama pertanian modern saat ini adalah pertanian yang berbasis teknologi digital, yang muncul sebagai respon dari permintaan pangan yang terus meningkat, disisi lain sumber daya lingkungan mengalami degradasi baik jumlah maupun kualitasnya termasuk sumber daya petani sehingga diperlukan efisiensi dalam pemanfaatannya.

Pertanian 4.0 sebagai evolusi pertanian dengan menyatukan ilmu dan teknologi yang canggih termasuk perangkat sensor, teknologi mesin dan informasi (De Clercq et al. 2018). Dampak implementasi teknologi modern adalah usaha akan lebih menguntungkan, efisien, aman dan ramah lingkungan. Dengan pertanian modern, keputusan usahatani tidak tergantung seberapa besar ketersediaan air, pupuk, pestisida di lapangan. Pembelajaran dari industri 4.0, ada tiga pemetaan penggunaan teknologi di pertanian modern yaitu: a) produksi yang berbeda dengan menggunakan teknologi baru, b) penggunaan teknologi baru untuk produksi pangan ke konsumen, peningkatan efisiensi rantai pangan dan c) teknologi industri silang dan berbagai aplikasinya. Adapun beberapa contoh penerapan dari ketiga pemetaan teknologi tersebut untuk pertanian modern diantaranya seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Peta Teknologi Pertanian Modern

No.	Teknologi di industri 4.0	Penerapan di Pertanian
1	Produksi yang berbeda dengan menggunakan teknologi baru	Hidroponik, Bioplastik, Bahan baku alga
2	Penggunaan teknologi baru untuk produksi pangan ke konsumen dan peningkatan efisiensi rantai pangan	Pertanian kota, Pertanian vertikal
3	Teknologi industri silang dan aplikasinya.	Pertanian presisi, Teknologi drone, Data analisis, <i>Internet of thing</i> (IoT)

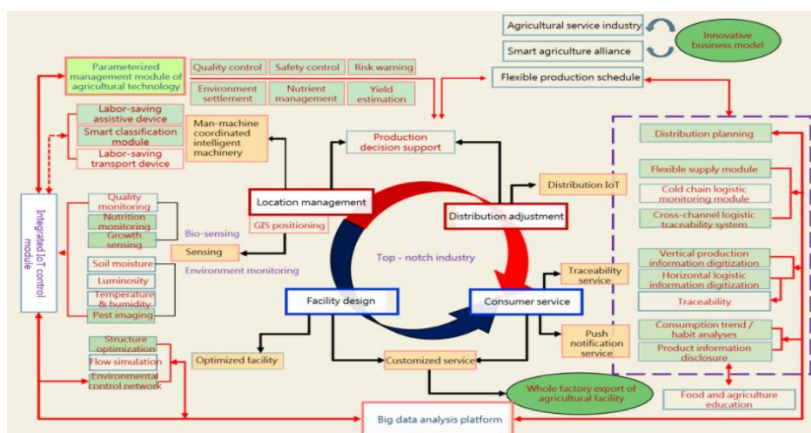
Sumber: De Clercq et al. (2018)

Atkociuniene dan Zemeckis (2015) melakukan penelitian karakteristik pertanian modern di Negara Lithuania, Eropa dengan melakukan wawancara sebanyak 180 responden yang berasal dari profesional (98 orang) dan petani (82 orang). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik utama pertanian modern adalah peralatan dan mesin yang baru, basis teknologi, bangunan produksi modern, pertanian menerapkan berbagai inovasi. Selain itu dicirikan dengan petani yang energik dan kreatif, berkeinginan menambah pengetahuan, tertarik pada inovasi, mengikuti pameran dan implementatif. Sementara itu persepsi responden terhadap manfaat menerapkan pertanian modern diantaranya adalah meningkatkan produktivitas tenaga kerja di pertanian dan pendapatan pertanian, memperkuat daya saing pertanian, memperbaiki kualitas lahan, pengurangan resiko bisnis, menghasilkan produk inovatif bernilai tambah tinggi dan konservasi keanekaragaman hayati.

Berdasarkan beberapa hasil review diatas menunjukkan bahwa konsep pertanian modern adalah pertanian yang digerakkan teknologi canggih atau teknologi digital yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya alam, meningkatkan nilai tambah dan kualitas produk yang berdampak

pada peningkatan produktivitas pertanian dan pendapatan petani. Pertanian modern ini mencakup kegiatan *on farm* dan *off farm*. Kegiatan *on farm* yang dicirikan dengan pertanian presisi yang dalam kegiatan budidaya digerakkan dengan teknologi tinggi (robot, drone, *smart tractor*, dan lainnya). Aplikasi digital digunakan untuk mengontrol tanaman dari jarak jauh sehingga kondisi tanaman dapat diketahui secara *real time*. Kegiatan *off farm* dengan menggunakan aplikasi digital untuk sistem logistik dari produsen sampai konsumen. Penerapan teknologi *blockchain* untuk menjamin transparansi dan rekam jejak aliran dan kualitas produk pertanian dari hulu hingga hilir. Penerapan teknologi digital ini juga dapat membantu produsen untuk pemasaran produk ke konsumen.

Apalagi sudah banyak konsumen yang memanfaatkan teknologi digital untuk pembelian produk pertanian secara *online*, sehingga apabila ada koneksi langsung antara produsen dan konsumen maka harga produk akan semakin kompetitif. Gambar 3 mengilustrasikan penerapan pertanian modern secara detail dari produksi sampai konsumen.



Gambar 3. Kerangka Aplikasi Teknologi dalam Pertanian Modern Menggunakan Industri Jasa Digital (Yang et al. 2016)

Konsep Pertanian Modern Berkelanjutan

Pertanian modern berkelanjutan pada hakekatnya memadukan konsep pertanian berkelanjutan dan pertanian modern (Kusz 2014). Pada kedua konsep tersebut terdapat dimensi dan tujuan yang sama yaitu menerapkan prinsip ekonomi, sosial, dan lingkungan dengan tujuan untuk mencapai efisiensi produksi dengan menggunakan sumber daya sedikit sehingga kerusakan lingkungan dapat dieliminir. Namun upaya efisiensi produksi tersebut digerakkan dengan memanfaatkan teknologi digital. Modernisasi pertanian berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi yang dilaksanakan sesuai dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan sehingga memungkinkan pengurangan dampak negatif. Hal ini untuk memastikan pertumbuhan produktivitas tanpa memaksakan ancaman terhadap lingkungan alam dan kehidupan hewan atau dengan kata lain hubungan pertanian dan lingkungan akan mengalami perubahan dengan mempertimbangkan kepedulian terhadap lingkungan alam, dan tekanan pada peningkatan efisiensi produksi. Perubahan tersebut dilakukan dengan menerapkan teknologi produksi yang ramah lingkungan dan efisien, serta instrumen hukum yang mewajibkan produsen pertanian untuk melindungi lingkungan alam. Sebagai contoh skenario penerapan pertanian modern di Taiwan (Yang et al. 2016) dan India (Nair A 2020) seperti pada Kotak 1 dan 2 berikut.

Kotak 1. Skenario penerapan pertanian modern di Taiwan: pesawat tak berawak dapat terbang di atas ladang untuk memantau pertumbuhan tanaman dan mengirimkan data ke cloud untuk analisis penggunaan pestisida, pupuk dan sumber daya air. Hasil analisis ini akan menurunkan biaya dan meminimalkan dampak lingkungan. Petani hanya terhubung ke cloud dengan menggunakan ponsel atau tablet sehingga petani akan mendapatkan pemahaman tentang tanamannya (unsur

mikro dan nutrisi di dalam tanah, jadwal irigasi, rotasi tanaman, dan kondisi lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman). Sensor baling-baling mengukur tekanan kelembaban tanaman sedangkan sensor tanah melacak pergerakan air, tingkat kelembaban tanah, dan perubahan suhu dan karbon, yang semuanya dapat digunakan untuk mengoptimalkan irigasi dan mengurangi kerusakan tanaman. Kemudian gambar tanaman dapat diunggah ke database untuk dijadikan referensi pembaruan harga harian. Konsumen dapat memindah kode QR pada paket untuk melihat proses dan prosedur produksi pangan (jamur tiram) di pabrik sayuran. Pengecer luar negeri dapat mengakses sistem rantai pasokan dari jarak jauh, misal distribusi produk pertanian yang diekspor dari Taiwan ke toko ritel internasional sehingga dapat diketahui perkiraan jadwal pemesanan. Jamur segar yang dipesan tujuh bulan sebelumnya dapat disiapkan untuk ekspor melalui sistem RFID (*Radio Frequency Identification* atau Pengenal Frekuensi Radio).

Kotak 2. Petani padi dan udang di India: sensor mengambil data lahan dan air, mengirimkannya ke *Smart Agri Platform* (SAP) di Village Knowledge Centre (VKC). SAP mengintegrasikan data lahan dan air dengan data cuaca dari satelit secara *real time*, terhubung dengan semua pemangku kepentingan (petani, perwakilan VKC, perusahaan rintisan, industri, pemerintah). Portal web berbahasa lokal sebagai sumber pengetahuan dan pembelajaran berbasis aplikasi seluler bertujuan memanfaatkan teknologi untuk menganalisis kesehatan tanaman, hasil panen, kesuburan tanah, kotoran, penggunaan air, cuaca, dan pola penyakit. Melalui VKC, petani dapat memperoleh pembaruan kebijakan pemerintah, nasihat,

harga pasar, video praktik terbaik, dan memanfaatkan pembiayaan yang disediakan pemerintah.

PENERAPAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN DI INDONESIA

Permasalahan dan Tantangan Penerapan Pertanian Modern Berkelanjutan

Indonesia sebagai salah satu negara dengan penduduk besar di dunia dengan laju pertumbuhan penduduk yang masih terus bertambah dari tahun ke tahun. Dengan demikian permintaan pangan untuk memenuhi kebutuhan penduduk juga akan semakin besar. Indonesia juga berkomitmen melaksanakan kebijakan atau program untuk memenuhi 17 target yang telah menjadi kebijakan perekonomian dunia diantaranya target mengurangi kelaparan dan melaksanakan pembangunan termasuk pertanian berbasis berkelanjutan seperti telah dicantumkan dalam RPJM 2020-2024. Pembangunan pertanian dilakukan melalui peningkatan produktivitas lahan, efisiensi produksi dan nilai tambah dengan menjaga kelestarian lingkungan. Pelaksanaan pembangunan ini dilakukan dengan memanfaatkan teknologi modern berbasis informasi dan digital yang berkembang saat ini. Menurut Pasandaran (2019), tantangan yang dihadapi adalah bagaimana pertanian modern mendorong terwujudnya ketangguhan ekonomi, sosial, ekologi sebagai refleksi kesejahteraan masyarakat petani.

Di sisi lain, Indonesia juga mengalami banyak permasalahan dalam memproduksi pangan. Pemenuhan kebutuhan pangan di Indonesia dihadapkan pada lima hal yaitu kendala sumber daya alam, perubahan iklim, dominasi usahatani dengan skala kecil, ketidakseimbangan produksi pangan antar wilayah dan proporsi

kehilangan hasil panen dan pemborosan pangan masih cukup tinggi (Suryana 2014). Dari segi sumberdaya manusia pertanian, berdasarkan data Sensus Pertanian selama kurun waktu 10 tahun (2003-2013), jumlah petani semakin berkurang sebanyak lima juta. Sekitar 60,8% petani berumur diatas 45 tahun dengan 73,97% berpendidikan sampai SD, dan kapasitas menerapkan teknologi baru yang rendah.

Jumlah generasi muda atau yang sering disebut milenial cukup banyak sekitar 90 juta, namun mereka kurang berminat bekerja di sektor pertanian (Ariani 2020). Padahal menurut Aoun (2017) dalam Haryono (2018) persyaratan sumber daya manusia untuk mengimplementasikan pertanian modern di era industri 4.0 harus mampu menguasai tiga literasi yaitu data (kemampuan membaca, menganalisis dan memanfaatkan informasi big data dalam dunia digital), teknologi (memahami cara kerja mesin, aplikasi teknologi dan manusia (*humanities*, komunikasi dan desain). Karakteristik seperti ini dimiliki oleh generasi milenial atau generasi Y seperti pendapat MCaulay and Weiner (2015), generasi milenial menyukai bekerja dalam suatu jaringan komunikasi dengan menggunakan multimedia. Selain itu, masih ada kesenjangan antara komunitas ilmuwan-peneliti dengan komunitas pembuat kebijakan, bisnis dan masyarakat umum berdampak negatif pada pelaksanaan pembangunan pertanian (Simatupang 2017).

Pembangunan pertanian selain penghasil utama bahan pangan, juga dituntut untuk menghasilkan bahan non-pangan pengganti bahan baku hidrokarbon yang berasal dari fosil bagi industri. Oleh karena itu, tindakan progresif dan komprehensif sangat dibutuhkan dan perlu segera diintensifkan untuk mengurangi ketergantungan pasokan energi dan bahan baku industri dari bahan fosil (Kementerian Pertanian 2014). Secara terinci urgensi menerapkan pertanian dengan memperhatikan aspek keberlanjutan menuju revolusi hayati pada Tabel 5.

Tabel 5. Faktor Pendorong Revolusi Hayati

No.	Kecenderungan	Konsekuensi
1	Kelangkaan energi asal fosil makin langka	Urgensi sumber energi baru dan terbarukan (bio-energi)
2	Peningkatan kebutuhan pangan, pakan, energi dan serat	<i>Trade off food-feed-fuel-fibre</i> berbasis bahan pangan dan petrokimia: urgensi pengembangan bio-produk, perubahan pola hidup, pola konsumsi
3	Perubahan iklim global dan internalisasi dalam sistem ekonomi politik	Peningkatan kapasitas adaptasi dan mitigasi sistem pertanian
4	Peningkatan kelangkaan sumber daya lahan dan air	Urgensi meningkatkan efisiensi dan konservasi: pengendalian konversi lahan dan perbaikan jaringan irigasi, pertanian dengan limbah minimal, pertanian dengan minimum input, pertanian ramah lingkungan
5	Peningkatan permintaan terhadap jasa lingkungan dan jasa <i>amenity</i>	Peluang pengembangan pertanian ekologis, kualitas lansekap pertanian (<i>landscape quality agriculture</i>)
6	Peningkatan jumlah petani marginal	Urgensi pengembangan <i>pluriculture</i> (sistem pertanian agroekologi/ <i>agroecological Farming</i> terpadu)

Sumber: Kementerian Pertanian (2014)

Kebijakan Strategi dan Langkah-langkah Operasional

Indonesia sebagai salah satu negara yang berkomitmen untuk mengimplementasi dan mencapai setiap tujuan yang tertuang dalam SDGs. Pemerintah mengambil peran aktif dengan meratifikasi SDGs melalui Peraturan Presiden No. 59 tahun 2017 tentang pelaksanaan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Melalui Peraturan Presiden tersebut, pemerintah menetapkan sasaran nasional periode tahun 2017 sampai tahun 2019 dalam RPJM 2015- 2019, yang kemudian dilanjutkan pada RPJM 2020-2024. Beberapa hal penting terkait dengan pertanian berkelanjutan dan pertanian modern dalam RPJM 2020-2024

diantaranya sebagai berikut: a) untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang berkualitas dilakukan dengan transformasi struktural yang salah satunya melalui transformasi pertanian untuk meningkatkan produktivitas lahan dan memperkuat nilai tambah pertanian, b) pertumbuhan ekonomi berwawasan lingkungan yang diarahkan untuk mempertahankan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, target penurunan dan intensitas emisi serta kapasitas daya dukung sumber daya alam dan daya tampung lingkungan hidup saat ini dan masa depan, c) salah satu prinsip dasar pembangunan nasional dengan menjaga keberlanjutan (keadilan antara generasi, perlindungan keanekaragaman hayati), d) meluncurkan gerakan *Making Indonesia 4.0* sejalan dengan era digitalisasi yang memfasilitasi pengintegrasian informasi untuk tujuan peningkatan produktivitas, efisiensi, dan kualitas layanan. Pembangunan ekonomi dan pertanian harus dilakukan dengan menggunakan sumber daya alam secara efisien dengan memanfaatkan inovasi modern yang sedang berkembang saat ini.

Kementerian Pertanian telah lama menerapkan pertanian berkelanjutan secara konsisten seperti program "*Go Organic*", bantuan pupuk organik, UPPO, pendampingan penerapan SLPHT, dan lainnya. Program tersebut masih berlanjut sampai saat ini dengan volume dan areal yang semakin besar. Pada tahun 2014, Kementerian Pertanian meluncurkan Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2015–2045. Pertanian: Bioindustri Berkelanjutan. Solusi pembangunan Indonesia masa depan (Kementerian Pertanian 2014). Dalam strateginya, paradigma biokultura yang digunakan dengan cakupan sistem usaha pertanian ekologis terpadu pada tingkat mikro, sistem rantai nilai terpadu pada tingkat industri atau rantai pasok dan sistem pertanian-bioindustri terpadu pada tingkat industri atau komoditas. Landasan yang digunakan adalah pemanfaatan berulang zat hara atau pertanian agroekologi seperti sistem

integrasi tanaman-ternak-ikan dan sistem integrasi usaha pertanian-energi (biogas, bioelektrik, biochar, dan sebagainya) atau sistem integrasi usaha pertanian *biorefinery* yang termasuk pertanian hijau. Seluruh biomassa yang dihasilkan usaha budidaya pertanian diolah pada *biorefinery* untuk menghasilkan beragam produk pangan, pakan, pupuk, energi dan bioproduk bernilai tambah tinggi. Pengembangan klaster rantai nilai dilaksanakan dengan mengembangkan industri pengolahan hasil pertanian dan komponen-komponen penunjangnya dalam satu kawasan guna memanfaatkan aglomerasi ekonomi.

Berdasarkan konsep ini, Badan Litbang Pertanian mengembangkan Model pertanian Bioindustri sejak tahun 2015 di seluruh provinsi. Dalam implementasinya, sebagian besar dilakukan dengan mengintegrasikan ternak dan tanaman sesuai dengan potensi di masing-masing wilayah, namun ada juga yang melakukan pertanian bioindustri secara monokultur. Program bioindustri yang mengedepankan pertanian berkelanjutan ini dikembangkan dengan memanfaatkan pertanian presisi dan digitalisasi pertanian. Untuk mendukung hal tersebut, Kementerian pertanian bekerjasama dengan Kementerian Komunikasi dan Informasi menginisiasi digitalisasi pada sektor strategis pertanian yaitu pertanian presisi, hub digital pertanian, keuangan mikro pertanian dan lelang pertanian digital. Digitalisasi pertanian ini diharapkan memberikan dampak positif pada pelaku pertanian diantaranya meningkatkan produktivitas pertanian dan akses permodalan, memperpendek rantai pasok pertanian dan meningkatkan kesejahteraan petani.

Walaupun diakui, penerapan pertanian modern berkelanjutan tidak dapat dilakukan secara masal untuk seluruh wilayah Indonesia. Hal ini dikarenakan karakteristik wilayah dan sumber daya manusia yang beragam, termasuk budayanya. Menurut Suradisastra (2017), dalam menerapkan pertanian modern berkelanjutan, arah perubahan tidak sepenuhnya mengabaikan

kearifan lokal dan nilai-nilai tradisional, namun memanfaatkan kearifan lokal tersebut sebagai salah satu elemen usahatani regeneratif dan sebagai rambu-rambu yang luwes dalam proses pembentukan sistem usahatani regeneratif berkelanjutan.

Penerapan pertanian modern ini membutuhkan modal yang banyak untuk penciptaan teknologi/invensinya terutama teknologi untuk usahatani sampai aplikasi digitalnya secara keseluruhan. Penguasaan dan penerapan teknologi ini akan dengan cepat diadopsi oleh generasi milenial. Penerapan pembangunan pertanian modern berkelanjutan dilakukan berbasis ekoregion terutama pada daerah DAS dan *agroforestry*. Secara prinsip pelaksanaannya dilakukan berbasis komunitas, tidak sendiri-sendiri, dalam kawasan dengan manajemen dan kelembagaan yang kuat serta bersinergi dan bermitra. Balitbangtan telah dan sedang mengembangkan teknologi pra dan pasca panen untuk beragam komoditas berbasis teknologi modern. Teknologi yang telah dikembangkan, diantaranya *autonomous tractor*, *autonomous riding transplanter*, *drone* untuk menyebar benih, pupuk dan penyemprot hama penyakit tanaman, *smart irrigation*, *smart UPJA*, *small soil sensing kit*, KATAM berbasis android dan web, teknologi mendeteksi aflatoxin pada jagung, pala dan kacang tanah berbasis android dan lainnya.

Pemerintah akan terus menciptakan *enabling environment* baik infrastruktur, insentif yang diperlukan dan regulasi yang memadai untuk mendorong proses transformasi secara kondusif, konsisten dan berkelanjutan (Rohmani dan Pasandaran 2020; Sumedi dan Heriawan 2017). Mengingat penerapan teknologi ini memerlukan proses yang lama, dari penciptaan/pengembangan teknologi (budidaya, produksi, distribusi serta pemasaran dan konsumen) dalam satu kesatuan pengembangan sehingga data dan informasi akan diperoleh secara *real time*. Selain itu juga penyiapan sumber daya pelaksana, penyediaan fasilitas, regulasi dan pengelolaan usahatani. Pemerintah menyusun *roadmap*

pengembangan pertanian modern berkelanjutan dan dijabarkan dalam rencana aksi yang dilakukan untuk setiap tahun. Dalam *roadmap* menyajikan tahapan kegiatan berdasarkan waktu, pelaksana, sumber dana, pewilayahan (tidak semua wilayah siap untuk menerapkan pertanian modern) dan lain-lainnya. Pengembangan teknologi harus dirancang dengan seksama. Badan Litbang Pertanian mempunyai kewenangan dan sumber daya akan terus merancang dan sekaligus mendesiminasikan inovasinya di lapangan. Pengembangan inovasi dilakukan bekerjasama dengan lembaga litbang lainnya, perguruan tinggi dan pihak swasta baik didalam negeri maupun luar negeri dengan spirit *open science open innovation* (Balitbangtan 2017, 2019).

Ada dua kategori generasi milenial yaitu *native milenial* yang menyukai teknologi dan *immigrants' milenial* yaitu generasi tua yang aktif menerapkan teknologi digitalisasi (Dalton 2012). Generasi tua ini berperan untuk mendorong generasi *native milenial* terlibat dalam pembangunan pertanian modern dan menularkan pengalamannya selama ini dalam melaksanakan pembangunan pertanian. Kebijakan pemerintah adalah memfasilitasi munculnya komunikasi efektif diantara kedua kategori milenial. Penyuluh pertanian yang sudah ada menjadi fasilitator komunikasi diantara petani generasi muda dan para *entrepreneur* pertanian (Pasandaran 2020). Kebijakan lain yang sangat penting adalah membangun kepribadian unggul generasi milenial dalam hal spiritual, akhlak, keilmuan dan profesional sehingga diharapkan mereka memiliki karakter sesuai norma dan etika dalam menjalankan mengembangkan dan bisnis pertanian (Munir 2018).

Membangun *rebranding* pembangunan pertanian melalui pertanian modern berkelanjutan secara terus menerus melalui berbagai saluran komunikasi dan lembaga pendidikan baik formal maupun non formal. Kegiatan ini bertujuan untuk merubah pola pikir generasi muda terhadap pertanian. Dukungan lain adalah

memberi kemudahan pada petani muda seperti akses pasar, layanan keuangan, lahan, pelatihan dan melibatkan mereka dalam berbagai dialog kebijakan (FAO 2014).

PENUTUP

Implementasi pertanian modern berkelanjutan membutuhkan Iptek yang khusus, yang berbeda dengan alsintan yang selama ini digunakan. Oleh karena itu, penerapan pertanian modern ini harus dipersiapkan sebaik mungkin tidak hanya inovasi berupa teknologi atau kelembagaan namun juga kebijakan dan regulasinya. Pemerintah sudah mencantumkan *Making Indonesia 4.0* dalam RPJM 2020-2024 yang dapat menjadi dasar untuk penyusunan kebijakan termasuk *roadmap* pembangunan pertanian modern. Kemudian dilengkapi dengan regulasi yang mengikat bagi pelaksana sesuai dengan keperluannya. Pelibatan generasi muda di bidang pertanian terus dilakukan seiring dengan upaya meningkatkan ketersediaan teknologi pertanian modern. Penerapan pertanian modern berkelanjutan dilakukan secara selektif wilayah dengan basis ekoregion, komunitas dan konektivitas, bermitra, serta dengan manajemen dan kelembagaan yang kuat. Selain itu dalam implementasi juga dilakukan tindakan secara progresif dan komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, M. 2020. "Mempersiapkan Generasi Milenial Mendukung Pertanian Presisi". Pasandaran, E; Djufri, F; Rohmani, S.A; Subandriyo, Damardjati, D.S; Syam, M dan Hendayana, R (Eds). *Buku Manajemen Kebijakan teknologi dan kelembagaan Mendukung Pertanian Modern*. Jakarta IAARD Press. hlm.377-400
- Bappenas, BPS dan UNPF. 2013. Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035. Jakarta.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2017. *Penguatan peran Litbang mendukung pembangunan pertanian modern dan berkelanjutan*. Jakarta. IAARD Press.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2017. Menuju Balitbangtan terdepan dalam penelitian pangan dan pertanian. IAARD Press.
- Dalton, K.M. 2012. "Bridging the Digital Divide and Guiding the Millennial Generation's Research and Analysis". Barry Law Review: Vol. 18(1): 1-24. Article 6. Available at: <https://lawpublications.barry.edu/barrylrev/vol18/iss1/6>
- De Clerca, M.D; Anshu, V; Alvaro, B. 2018. "Agriculture 4.0: The future of farming technology". World Food Summit in Collaboration with Olever Wyman.
- European Commission. 2017. "Digital transformation monitor industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT Aspects". European Commission.

- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014a. "Sustainable food systems Concept and framework". <http://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014b. "SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems Guidelines". Version 3.0. <http://www.fao.org/3/a-i3957e.pdf>.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014c. "Youth and agriculture: Key challenges and concrete solutions. FAO in collaboration with CTA and IFAD.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. Transforming food and agriculture to achieve The SDGs". 20 interconnected action to guide decision-makers. Rome (IT): Food and Agriculture Organization of United Nation.
- Gennari, P dan Dorian, K.N. 2019. "The Challenge of Measuring Agricultural Sustainability in All Its Dimensions". J Sustain Res. 1-15:e190013. <https://doi.org/10.20900/jsr20190013>.
- Yang, C. K; Shih, Y.Y; Yang, S.H. 2016. "Moving towards Agricultural 4.0 in Taiwan with Smart Technology". Agric. Policy Rev. 289: 6-11
- Kusz, D. 2014. "Modernization of Agriculture vs Sustainable Agriculture". Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development. Vol. 14: 170-177. Issue 1. PRINT ISSN 2284-7995
- Kementerian Pertanian. 2014. "Strategi Induk Pembangunan Pertanian 2015–2045. Solusi Pembangunan Indonesia Masa Depan Pertanian: Bioindustri Berkelanjutan". Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Munir, M. 2018. "Membingkai kepribadian ulul albab generasi milenial". Ta'limuna 7(1): 46-49.

- Parr, J.F; Papendick, R.I. Yoynberg, I.G. and Meyer, R.E. 1990. 'Sustainable Agriculture in The United States'. SCS.Ankeny. Iowa. USA.
- Pasandaran, E. 2020. "Perspektif Kebijakan Menuju Pertanian Masa Depan". Pasandaran, E; Djufri, F; Rohmani, S.A; Subandriyo; Damardjati; D.S; Syam; M; dan Hendayana, R. (Eds). *Buku Manajemen Kebijakan teknologi dan kelembagaan Mendukung Pertanian Modern*. Jakarta. IAARD Press. hlm.11-35
- Rohmani SA dan Pasandaran E. 2020. "Menyongsong Pertanian 4.0 yang Menyejahterakan" Pasandaran, E; Djufri, F; Rohmani, S.A; Subandriyo; Damardjati; D.S; Syam; M; dan Hendayana, R. (Eds). *Buku Manajemen Kebijakan teknologi dan kelembagaan Mendukung Pertanian Modern*. Jakarta. IAARD Press. hlm.3-8
- Serageldin, I. 1994. "Making Development Sustainable" Serageldin, I dan Steer, A. (eds). *Making Development Sustainable. From Concepts to Action*. Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series No. 2. file:[http://Makingdevelopmentsustainable. pdf](http://Makingdevelopmentsustainable.pdf)
- Suryana, A. 2014. "Menuju Ketahanan Pangan Indonesia Berkelanjutan 2015: Tantangan dan Penanganannya". Forum Penelitian Agro Ekonomi 32(2): 123-135.
- Sumedi dan Heriawan, R. 2017. "Memperkuat Kemampuan Menghasilkan Inovasi dalam Mewujudkan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan". Pasandaran, E; Syakir, M; Heriawan, R dan Yufdy, MP. (eds). *Buku Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan*. Jakarta. IAARD Press. hlm.126-144
- Simatupang, P. 2017. "Perspektif Implementasi Pertanian Berkelanjutan di Indonesia". Sudaryanto, T; Inounu, I; Las, I; Karmawati, E; Bahri, S; Husin, B.A; Rusastra I.W. *Buku Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan: Agenda Inovasi Teknologi dan Kebijakan*. Jakarta. IAARD Press. hlm.551-572.

- Suradisastra, K. 2017. "Pembangunan Sektor pertanian: Inovasi Teknologi atau Inovasi Sosial Kelembagaan" Pasandaran, E; Syakir, M; Heriawan, R dan Yufdy, MP. (eds). *Buku Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan*. Jakarta. IAARD Press. hlm.58-77.
- Sumarno. 2018. "Pertanian berkelanjutan: persyaratan pengembangan pertanian masa depan". Sudaryanto, T; Inounu, I; Las, I; Karmawati, E; Bahri, S; Husin, B.A; Rusastra I.W. *Buku Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan: Agenda Inovasi Teknologi dan Kebijakan*. Jakarta. IAARD Press. hlm.3-31.

TRANSFORMASI POLA PENGELOLAAN RISET DAN INOVASI MENDUKUNG MODERNISASI PERTANIAN BERKELANJUTAN

Haryono Soeparno^{a1}, Maesti Mardiharini^{b2}, Ketut Gede Mudiarta^{c3},
dan Arif Surahman^{d4}

^a Binus University

^b Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Pertanian

^c Balai Pengelola Alih Teknologi Pertanian

^d Sekretariat Badan Litbang Pertanian

^{2,3} Kontribur Utama,

^{1,4} Kontributor Anggota

PENDAHULUAN

Apa yang diharapkan dari suatu institusi penelitian seperti Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan)? Bila pertanyaan ini diajukan ke banyak orang, besar kemungkinan akan mendapatkan beragam jawaban, namun keberagaman itu akan mengelompok pada jawaban yang sama yaitu hasil penelitian yang dapat menjawab permasalahan yang dihadapi petani. Bila demikian adanya, pertanyaan selanjutnya adalah, apakah masalah yang dihadapi petani itu suatu yang statis atau tidak? dan jawabannya tentu tidak, karena

masalah yang ada akan berkembang sejalan dengan perubahan lingkungan yang ada, baik itu lingkungan alam atau fisik, dan juga lingkungan sosial, kelembagaan dan kebijakan.

Dibutuhkan adanya agenda riset yang juga dinamis untuk menjawab semua dinamika yang ada di tingkat petani dan lingkungannya, serta dapat merespon berbagai dinamika yang terjadi di tingkat petani. Hal lain yang dibutuhkan adalah kepercayaan terhadap hasil riset yang dihasilkan oleh suatu lembaga, dan ini mengait erat dengan reputasi lembaga riset tersebut. Untuk menyusun agenda riset yang dinamis dan membangun tingkat kepercayaan tinggi terhadap lembaga riset itu sendiri, membutuhkan adanya suatu sistem manajemen riset yang baik dan juga suasana kehidupan ilmiah yang baik. Penelitian yang dilakukan Dingerson (2006) pada lembaga riset universitas menunjukkan bahwa faktor kepemimpinan berpengaruh sangat besar dalam membangun suatu lembaga riset yang baik, yang ditandai oleh kemampuan hasil penelitian dalam menjawab permasalahan yang ada, dan juga tingkat kepercayaan terhadap hasil riset dimaksud.

Pentingnya kepemimpinan dan manajemen yang berbeda dalam lembaga penelitian ini juga diungkapkan Antes et al. (2016), menurutnya mengelola sebuah lembaga penelitian itu akan berbeda, karena harus berhadapan dengan para peneliti yang sangat independen dan sangat termotivasi dengan apa yang dikerjakan atau apa yang dianggapnya benar. Analisis yang dilakukan Sumarno dan Harnowo (2016) menegaskan bahwa pada kondisi seperti di atas, sangat dibutuhkan adanya kepemimpinan yang dapat mempengaruhi para peneliti dalam menekan egonya dan mendorong untuk menghasilkan sesuatu yang memang dibutuhkan oleh pengguna.

Beranjak dari beberapa rujukan di atas, untuk mewujudkan pertanian modern di Indonesia, yang ditandai antara lain dengan

dinamika yang tinggi di tingkat petani dan dapat memanfaatkan berbagai momentum perubahan untuk memaksimalkan nilai tambah, maka dibutuhkan dukungan riset yang dinamis dari lembaga yang dipercaya. Menjadi tantangan bagi Balitbangtan sebagai lembaga yang ada di bawah Kementerian Pertanian untuk dapat menjawab kondisi ini.

Transformasi pengelolaan riset dan inovasi oleh Balitbangtan yang dapat menciptakan iklim yang dinamis, diperlukan untuk membangun lembaga ini sebagai rujukan utama dan terpercaya untuk riset pertanian di Indonesia. Tantangan akan semakin berat karena belum terpadunya pemahaman antara para pihak terkait tentang modernisasi itu sendiri. Pada sisi lain juga belum tersedia kelembagaan yang dapat mewadahi upaya mewujudkannya. Di tengah lontaran tentang konsep industri 4.0 yang merupakan lompatan dalam pendekatan pelaksanaan pembangunan, pada tataran riil petani masih tertatih pada teknologi konvensional yang belum banyak tersentuh dengan hasil penelitian.

Diperlukan adanya transformasi pola pengelolaan riset pertanian yang lebih terbuka dan dapat secara cepat merespon berbagai tuntutan perubahan yang sejalan dengan upaya mewujudkan modernisasi pertanian. Transformasi yang diperlukan meliputi cara pandang dalam melihat peneliti dan juga keberadaan lembaga riset yang menaunginya, upaya menciptakan iklim kondusif bagi pelaksanaan riset yang dinamis serta manajemen perencanaan dan pembiayaan riset yang mengedepankan semangat kompetisi dalam kebersamaan untuk menghasilkan suatu hasil riset sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Tulisan ini bertujuan menganalisis model transformasi riset dan inovasi ke depan dan pola kepemimpinan yang diperlukan. Secara detil tujuan tulisan ini adalah: (a) Mengidentifikasi arah pengembangan modernisasi pertanian yang berkelanjutan; (b)

Memberikan gambaran singkat kelembagaan riset dalam satu wadah/badan pengelolaan; (c) Merumuskan model transformasi pengelolaan riset dan inovasi, serta model kepemimpinan yang dibutuhkan bagi upaya tersebut. Metoda yang digunakan dalam penyusunan tulisan ini adalah penelusuran data sekunder melalui studi referensi yang relevan, serta diskusi intensif bersama pakar.

ARAH PENGEMBANGAN MODERNISASI PERTANIAN BERKELANJUTAN

Keprihatian terhadap gejala pelambatan pembangunan pertanian selama dua dekade terakhir melahirkan berbagai gagasan atau konsep tentang pertanian modern yang perlu diterapkan dalam pembangunan pertanian di Indonesia. Salah satu indikator yang digunakan dalam menilai pelambatan pembangunan pertanian tersebut adalah rendahnya peran teknologi, terutama dalam upaya peningkatan produksi padi (Oktavia 2013; Apriani et al. 2018). Indikator lainnya yang diungkap oleh Kementerian Keuangan (2014) adalah pertumbuhan output sektor pertanian utamanya masih didukung oleh modal dan tenaga kerja, dan pada masa krisis ekonomi kontribusi *Total Factor Productivity* (TFP) terhadap pertumbuhan output bernilai negatif.

Paradigma pembangunan pertanian modern telah dimunculkan oleh Soetrisno (2002), bahwa penerapan pembangunan pertanian secara modern harus memperhatikan tiga hal, yaitu: (a) Pembangunan pertanian harus menjamin akses petani terhadap lahan, air dan sarana penunjang lainnya; (b) Pembangunan pertanian sebagai basis dalam menciptakan ketahanan pangan nasional; dan (c) Pembangunan pertanian harus dapat menjembatani pemanfaatan sumberdaya yang ada untuk sebesar-besarnya kemakmuran bersama. Ketiga hal ini saling berkaitan dan memunculkan sistem pertanian baru yang

pada akhirnya adalah meningkatnya kesejahteraan petani sebagai pelaku utama pembangunan pertanian. Berdasarkan batasan ini maka pembangunan pertanian modern minimal harus menjamin akses petani terhadap sumberdaya yang ada, sehingga mereka dapat melaksanakan kegiatan usahatani secara baik.

Di Indonesia, gagasan pertanian modern cenderung diterjemahkan dengan makin masifnya penggunaan alat dan mesin pertanian (alsintan). Bahkan pemerintah, pada periode 2016-2017 menyerahkan berbagai bantuan alsintan kepada petani di berbagai wilayah di Indonesia dengan menyebutkan bahwa mekanisasi pertanian sebagai komponen penting dalam modernisasi pertanian. Sementara itu, Yulida (2012) menterjemahkan pertanian modern sebagai respon petani terhadap tawaran perubahan yang diberikan kepada mereka melalui kegiatan penyuluhan, atau dapat diartikan sebagai keterbukaan sikap terhadap perubahan.

Berbeda dengan konsep pertanian modern di atas, Motes (2010) menggambarkan bahwa: *In modern agricultural systems farmers believe they have much more central roles and are eager to apply technology and information to control most components of the system. Modern agriculture tends to see its success as dependant on linkages – access to resources, technology, management, investment, markets and supportive government policies...*

Pernyataan Motes di atas memperkuat pernyataan Dohm (2005), bahwa pembangunan pertanian modern tidak hanya tentang bagaimana petani menggunakan teknologi terbaru dalam menopang peningkatan produktivitas usaha pertanian, namun yang lebih penting justru bagaimana kegiatan pertanian dikelola sebagai sebuah bisnis yang sukses.

Lebih rinci Mardiharini dan Jamal (2017) mendefinisikan modernisasi pertanian berkelanjutan sebagai: *Upaya menggerakkan seluruh komponen yang ada dalam suatu masyarakat, sehingga*

memungkinkan pelaku utama pembangunan pertanian atau petani dapat menjalankan usaha bisnis pertanian, yang dicirikan oleh kemampuan dalam menangkap peluang usaha atau momentum dalam menghasilkan suatu komoditi yang dibutuhkan pasar atau menciptakan pasar. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif, dan berkelanjutan terhadap sumberdaya yang ada, dan dibingkai oleh kelembagaan yang mengatur perilaku individu dan masyarakat ke arah keterbukaan terhadap perubahan yang lebih baik dan menyejahterakan secara individu dan bersama, dengan motor utama perubahan inovasi.

Modernisasi pertanian telah membawa perubahan pada sistem inovasi dalam dua dekade terakhir. Berbagai hasil kajian yang dilakukan oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO) di beberapa negara selama sepuluh tahun terakhir, juga menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran dalam sistem inovasi dan strategi kebijakan pertanian (FAO 2017, 2019a, 2019b, 2019c). Pergeseran atau perubahan tersebut antara lain mempunyai ciri dan komitmen, antara lain:

1. Meningkatnya efisiensi dalam penggunaan sumber daya
2. Adanya upaya melestarikan, melindungi dan meningkatkan ekosistem alam
3. Melindungi dan meningkatkan mata pencaharian dan kesejahteraan sosial masyarakat desa.
4. Meningkatnya ketahanan masyarakat, komunitas dan ekosistem
5. Upaya mendorong tata kelola yang baik, baik sistem alam maupun manusia
6. Penggunaan teknologi digital untuk usaha agribisnis, yang melibatkan dan memuaskan pelanggan serta *stakeholders*, contohnya:

- a. Penggunaan aplikasi seluler tentang informasi harga yang dapat mengurangi distorsi pasar dan membantu petani merencanakan proses produksi
 - b. Robot pertanian (“Agrobots”)
 - c. Teknologi untukantisipasi serangan hama dan penyakit tanaman (OPT), gagal panen, dan perubahan iklim.
 - d. Pertanian presisi, atau pertanian dengan penerapan internet
 - e. Pentingnya penggunaan *software Enterprise Resource Planning* (ERP), yang berpotensi membantu merampingkan setiap proses, mulai dari pengadaan, produksi, hingga distribusi sehingga akan menghemat biaya produksi.
7. Berbagai contoh lainnya, dalam pergeseran modernisasi pertanian hasil kajian FAO selama sepuluh tahun terakhir.

Mensintesis dari berbagai konsep dan batasan di atas, dapat disimpulkan bahwa tujuan akhir modernisasi pertanian adalah menyejahterakan para pelakunya, dalam hal ini petani. Ciri modernisasi pertanian secara dinamis dan berkelanjutan antara lain:

1. Kegiatan usahatani dijalankan sebagai sebuah entitas bisnis, dengan kemampuan dalam menangkap peluang usaha dan momentum pengembangan komoditi yang dibutuhkan pasar dan menyejahterakan pelaku usaha atau petani (orientasi program pada kesejahteraan petani dan bukan pemenuhan produksi semata).
2. Proses produksi dilaksanakan secara efisien, efektif, dan berkelanjutan terhadap sumberdaya yang ada

(menerapkan konsep pertanian presisi dan *smart farming*), dan memandang bahwa lahan bukan sebagai kendala

3. Mengembangkan kelembagaan yang mendukung pengembangan kemampuan personal dan kerja bersama, sehingga petani mendapatkan penghargaan secara wajar dari usaha yang dilakukannya. Kelembagaan ini juga mengoptimalkan pemanfaatan nilai tambah bagi petani.
4. Terbangun masyarakat yang melek teknologi melalui pengembangan sistem inovasi yang berkelanjutan dan terbuka (*open science and innovation management*)
5. Pengembangan sistem logistik pertanian digital (*blockchain*) serta sistem pemasaran melalui pengembangan pemasaran digital.

KELEMBAGAAN RISET PERTANIAN DALAM KERANGKA BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

Ramainya pembicaraan tentang kelembagaan riset pertanian di Indonesia dalam dua tahun terakhir seiring dengan diterbitkannya Peraturan Presiden No.74 Tahun 2019 tentang Badan Riset dan Inovasi Nasional, serta Undang-Undang No. 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi. Kedua peraturan di atas sebagai landasan untuk menjawab tiga tantangan besar yang dihadapi dalam pengembangan iptek saat ini. Ketiga tantangan tersebut yaitu: (1) meningkatkan dukungan nyata iptek terhadap peningkatan daya saing sektor-sektor produksi dan jasa, (2) meningkatkan dukungan iptek untuk keberlanjutan dan pemanfaatan sumberdaya alam baik hayati maupun nir-hayati, dan (3) meningkatkan dukungan iptek untuk penyediaan masyarakat

Indonesia menyongsong kehidupan global yang maju dan modern.

Kenyataan bahwa peringkat daya saing inovasi Indonesia yang dirilis *Global Competitiveness Index* (GCI) 2019 turun ke posisi 50 dari posisi 45 pada tahun sebelumnya (2018). Peringkat ini terus menurun dibandingkan periode 2016-2017 berada pada urutan ke-32 dari 138 negara (<https://katadata.co.id/>). Turunnya peringkat tersebut menjadikan Indonesia makin tertinggal jauh dari Singapura, Thailand, dan Malaysia. Nilai GCI yang diraih Indonesia tersebut, salah satu faktor penyebabnya adalah inovasi-inovasi yang dihasilkan masih terbatas atau belum banyak yang memiliki dampak langsung bagi masyarakat (Kemenristekdikti, 2019). Menurut laporan tersebut, faktor lain sebagai penyebab rendahnya nilai GCI di Indonesia adalah terbatasnya infrastruktur dan akses ke pendanaan, ketidakstabilan kebijakan, keterbatasan tenaga kerja yang pintar (terdidik), dan sebagainya. Upaya pemerintah untuk mengoptimalkan seluruh potensi yang dimiliki setiap wilayah di Indonesia, diawali dengan pemetaan dan pengukuran Indeks Daya Saing Daerah (IDSD). Melalui IDSD inilah sebagai dasar penyusunan dan penetapan kebijakan nasional dan daerah, mendorong sinergi program antar sektor untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kepemimpinan daerah yang inovatif.

Terkait isu keterbatasan inovasi, selama ini potensi riset dan inovasi yang ada di Indonesia tidak hanya ada di lembaga penelitian seperti Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dan Badan Pengembangan dan Penerapan Teknologi (BPPT), tapi juga di lembaga penelitian dan pengembangan setiap kementerian, perguruan tinggi, BUMN, perusahaan swasta, dan ada di masyarakat sendiri. Hal inilah yang mendorong dibentuknya Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), untuk menjalankan penelitian, pengembangan, pengkajian, dan penerapan (Litbangjirap), serta invensi dan inovasi yang

terintegrasi (Pasal 48, UU Nomor 11 Tahun 2019). Pada Raker Komisi VII DPR (2020) juga menyebutkan bahwa BRIN satu-satunya lembaga Litbangjirap serta invensi dan inovasi yang terintegrasi milik pemerintah. Lembaga tersebut akan menerapkan pola kelembagaan yang minim birokrasi dan lebih memberikan keleluasaan pada sumber daya manusia IPTEK yang lebih inovatif.

Struktur organisasi BRIN menempatkan seluruh Balitbang dari setiap kementerian sebagai Organisasi Pelaksana Litbangjirap (OPL). Dalam pemaparannya, Dimiyati (2020) menjelaskan ada 11 OPL dalam BRIN, yaitu LIPI, BPPT, BATAN, LAPAN, Pangan, Kesehatan, Pertahanan, Kemaritiman, Energi, Sosial-Hukum, dan Industri. Penataan organisasi direncanakan akan diselesaikan dalam satu tahun sejak berlakunya Peraturan Presiden tentang BRIN. Jangka satu tahun tersebut diharapkan telah dilaksanakan pengalihan: (a) **sumber daya manusia**; (b) **anggaran**, program dan kegiatan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menghasilkan invensi dan inovasi; dan (c) **prasarana dan sarana** penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menghasilkan invensi dan inovasi, kepada BRIN.

Kebijakan di atas mengharuskan Balitbangtan segera mengambil langkah untuk mempersiapkan sebagai lembaga yang dapat melakukan harmonisasi dan sinkronisasi riset dan inovasi pertanian di Indonesia. Pola yang ditempuh tetap harus mengacu kepada skema dan proses yang telah ditetapkan, serta mengikuti pentahapan integrasi dalam organisasi BRIN.

Paparan yang disampaikan oleh Brojonegoro (2020), bahwa ada tiga faktor utama yang harus dipersiapkan menghadapi perubahan kelembagaan riset, yaitu:

1. Sumber daya manusia (SDM) yang berdaya saing. SDM yang dibutuhkan adalah SDM yang kreatif dan inovatif, dengan

menciptakan ekosistem yang mendukung kebebasan berpikir, berekspresi, berkreasi, dan berusaha.

2. Modal Sosial. Memperkuat modal sosial dilakukan dengan mendorong toleransi, partisipasi, dan pengakuan dari seluruh komunitas di dalam negara agar muncul soliditas sosial-ekonomi.
3. Tata kelola berintegritas. Dibutuhkan *checks and balances* dalam pemerintahan, dan lebih banyak elemen untuk memperkuat kebijakan guna mendukung pertumbuhan ekonomi.

Tuntutan kesiapan untuk bergabung dalam kelembagaan riset nasional dalam satu wadah tentunya perlu penguatan keterampilan/skill dan kemampuan teknologi untuk peningkatan produktivitas sumberdaya maupun inovasi.

MODEL TRANSFORMASI PENGELOLAAN RISET DAN INOVASI SERTA POLA KEPEMIMPINAN KE DEPAN

Model Transformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi

Menyongsong modernisasi pertanian berkelanjutan dan kelembagaan dalam kerangka BRIN, maka diperlukan langkah-langkah transformasi dalam pengelolaan riset dan inovasi Balitbangtan. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, transformasi didefinisikan sebagai perubahan rupa, baik bentuk, sifat, maupun fungsinya. Menurut Nee (2005), transformasi suatu organisasi dapat dianalisis berdasarkan:

1. *Institution (the hole system* dalam kerangka eksosistem *riset and innovation*);
2. *Rule* (aturan formal dan informal rules yang bersinergi dalam kerangka *the New Institutinalism*); dan

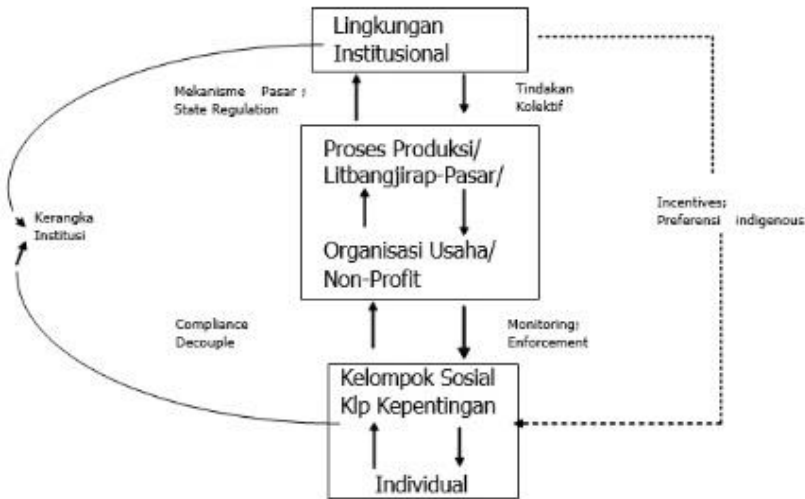
3. *Role* (peran dalam memainkan *Bonding*, khusus membahas *the weak in the tight bonding and the strong in the weak bonding*; dan juga peran-peran dalam memainkan *Bridging and Linking Program*)

Ketiga basis analisis di atas, menggunakan pendekatan model institusional baru yang dijelaskan pada Gambar 4.

Model multilevel pada *New Institutionalism* di atas menerangkan bahwa fungsi lingkungan institusional, yaitu regulasi formal yang diterapkan oleh pemerintah (*policy environment*) dalam menata hak-hak kepemilikan, menata pasar, dan perusahaan akan berpengaruh terhadap pola penataan atau pengelolaan Litbangjirap. Model ini memandang mekanisme institusional memiliki penyebab yang lebih dalam karena sangat menentukan insentif, dan menentukan proporsi insentif baik yang *tangible* maupun *intangible*. Dalam pandangan New Institutional Sosiologi Ekonomi, norma-norma yang ada akan berinteraksi dengan *formal rules* dalam merealisasikan kepentingan aktor.

Pandangan *new institutisionalism* sesungguhnya berposisi menengahi pemikiran teori institusional dalam analisis organisasional yang lebih menekankan tindakan non rasional. Hal ini sebagai akibat dari kepercayaan berorientasi kultural yang menunjukkan ciri lingkungan institusional. Pada level makro diatur regulasi negara diantaranya UU 11/2019 tentang Sistem Nasional IPTEK. Teori Nee (2005) juga mengemukakan adanya mekanisme integrasi hubungan formal dan informal pada setiap level kausal, yakni pada tataran mikro (individu), meso (kelompok ataupun organisasi), dan tataran makro berupa lingkungan kebijakan (*policy environment*), termasuk tentunya dalam pengembangan sistem Litbangjirap. Konsep Nee menekankan hubungan integrasi institusi formal dan informal pada tataran makro, meso, dan mikro. Rusaknya salah satu mekanisme integrasi akan menyebabkan terjadinya kegagalan integrasi

(*decoupling*), dan sebaliknya jika terjadi harmonisasi hubungan dari level makro (lingkungan kebijakan) kepada institusi informal, organisasi di level meso, sampai kepada tataran individu ataupun kelompok (level mikro), maka akan terjadi insentif keberhasilan kegiatan.

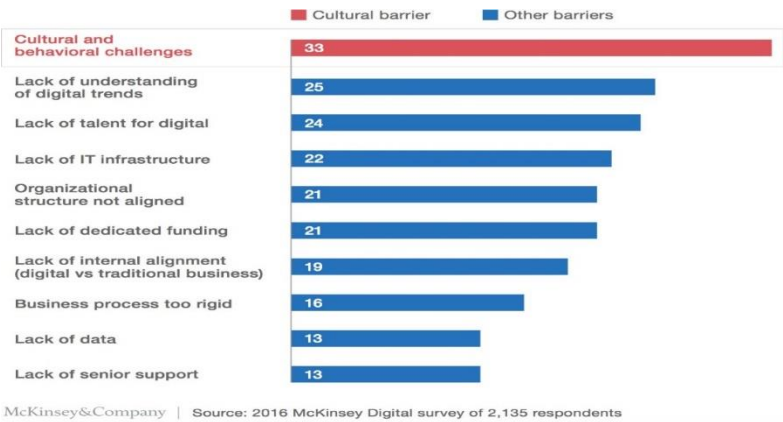


Sumber: Nee 2005 (h.56)

Gambar 4. Model “New Institutionalism” dalam Proses Transformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi

Menguatkan konsep Nee di atas, maka Capgemini (2017) mengemukakan bahwa perubahan paradigma organisasi dilakukan sebagai akibat timbulnya teknologi dan inovasi disruptif. Lebih lanjut Capgemini menjelaskan bahwa digitalisasi sebagai pendorong modernisasi, berhubungan dengan perspektif organisasi, cara kerja organisasi, dan *style* dari kepemimpinan. Sejalan dengan berbagai hasil penelitian di atas, Mc Kinsey (2016) melakukan penelitian terhadap 2.135 pemimpin senior, menunjukkan bahwa budaya dan perilaku organisasi merupakan

faktor utama dalam melakukan transformasi, dibandingkan faktor-faktor lainnya (Gambar 5).



Sumber: Mc Kinsey (2016)

Gambar 5. Budaya dan Perilaku Organisasi Menjadi Faktor Penentu dalam Transformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi secara Digital

Budaya bersifat abstrak, namun dapat tercipta dalam situasi sosial dan organisasi yang efektif berkaitan dengan kinerjanya. Organisasi yang memiliki kinerja yang baik, memiliki budaya perusahaan yang baik pula. Dari berbagai konsep dan hasil penelitian tentang budaya digital (*digital culture*), Miharjo et al. (2019) dan Miharjo (2020) membuat perbandingan dengan budaya analog, baik tentang pengguna/pelanggan, bentuk organisasi dan SDM-nya, maupun tentang perilaku dan cara kerjanya (Tabel 6).

Tabel 6. Perbandingan Budaya Analog dan Budaya Digital

Items	Budaya Analog	Budaya Digital
Pengguna/ Pelanggan (Demand)	Push produk ke pasar Ditentukan melalui pembelian dan supply	Pulls idea dari pasar Ditentukan dari kastamer

Items	Budaya Analog	Budaya Digital
Organisasi dan SDM	Hirarkhi yang kuat Pengambilan keputusan yang lambat Berorientasi pada proses dan tugas Pekerjaan sudah terdefinisi (<i>job description</i> jelas) Mengoptimalkan sumber daya yang ada Organisasi yang tetap	Hirarkhi flat Pengambilan keputusan cepat Orientasi hasil dan produk Mendayagunakan (<i>empowerment</i>) karyawan untuk mencapai tujuan Bertumpu pada talent-talent digital <i>Agile</i> organisasi
<i>Attitude</i> dan cara kerja	Mengerti apa yang menjadi kebutuhan jangka panjang kastamer dan bagaimana memenuhinya Berorientasi pada status quo, berdasarkan pada pembelajaran masa lalu, menerima keterbatasan <i>Risk averse</i> Berpengalaman dan pada kondisi stabil Tim homogen, bekerja berdasarkan silo-silo departemen Mengoptimalkan sumber daya sendiri <i>Career progressive</i> dengan jalur karier yang jelas Fokus pada perencanaan dan optimisasi	Mengerti kebutuhan digital pengguna dan bagaimana memberikan layanan baru berdasarkan trend Berorientasi pada inovasi, perbaikan dan mengatasi keterbatasan, <i>Risk taker</i> Fokus pada potensi, visi, rasa keingintahuan, motivasi, fleksibilitas, dan adaptasi perubahan Tim campuran yang terdiri dari cross-fungsi dan memiliki integrasi komunikasi Kolaborasi yang kuat Karier cepat, tidak bisa diprediksi Fokus pada kecepatan <i>launching</i> dan pembelajaran

Sumber: (Harshak et al. 2013; Hemerling, Kilmann, Danoesastro, Stutts, & Ahern 2018) dalam Miharjo 2019

Berpijak pada sintesis dari berbagai konsep dan hasil penelitian di atas, maka langkah awal melakukan transformasi pola pengelolaan riset dan inovasi adalah dengan mengidentifikasi elemen dasar yang diduga sangat berpengaruh dalam menyongsong pertanian modern berkelanjutan. Identifikasi elemen dan transformasi pola pengelolaan riset dan inovasi yang diharapkan ke depan, dapat dilihat pada Tabel 7. Dimulai dari sistem perencanaan yang harus terintegrasi dan saling bersinergi, serta berorientasi output dan outcome, alokasi sumberdaya berbasis kompetisi dan mengutamakan pengembangan riset yang akumulatif, pelaksanaan penelitian yang topikal menjawab permasalahan dan kebutuhan pengguna, manajemen penelitian yang didasarkan pada perencanaan riset inovatif kolaboratif dan menciptakan budaya kerja yang efektif dan efisien, serta kerja sama penelitian lintas bidang keahlian.

Tabel 7. Identifikasi Elemen Kunci dalam Tansformasi Pengelolaan Riset dan Inovasi

No.	Uraian	Sebelum Transformasi	Sesudah Transformasi
1.	Perencanaan	Cenderung <i>Top Down</i> dan mengikuti keberadaan institusi. Menyebabkan tumpang tindih dalam topik dan hasilnya lebih banyak sampai batas output	Integrasi <i>Top Down</i> dan <i>Bottom up</i> proses dengan orientasi ouput dan outcome. Mendorong sinergitas perencanaan di berbagai level dan memperhatikan aspek ketuntasan dari pelaksanaan penelitian sampai level <i>outcome</i>
2.	Alokasi Sumberdaya	Lebih memperhatikan aspek pemerataan dan bersifat parsial, serta kurang insentif terhadap inisiasi baru	Basisnya kompetisi dan mengutamakan pengembangan riset yang akumulatif serta mendorong lahirnya inisiasi baru, dengan tetap

No.	Uraian	Sebelum Transformasi	Sesudah Transformasi
3.	Pelaksanaan Penelitian	Topikal berbasis keberadaan lembaga dan pengelompokan peneliti. Tuntas sampai pada TKT level 4 berupa publikasi ilmiah	mempertimbangkan aspek proporsi insentif dalam kerangka kelembagaan baru Topikal berdasarkan permasalahan yang hendak dipecahkan. Bersifat berkelanjutan sampai TKT level 9
4.	Manajemen Penelitian	Terkotak kotak sejalan dengan penjenjangan lembaga baik menurut <i>subject matter</i> maupun komoditi	Berbasis <i>outcome</i> riset yang menyambungkan secara baik penelitian, pengkajian dan penerapan dalam satu alur yang jelas, diformulasikan dalam perencanaan riset inovatif kolaboratif, serta penerapan budaya kerja yang efektif dan efisien
5.	Kerjasama Penelitian	Kerjasama pada satu bidang keahlian dalam berbagai level	Kerjasama lintas bidang keahlian dengan memberi ruang yang lebih besar peran pelaku usaha dan pengguna

Model Kepemimpinan ke Depan

Berdasarkan model transformasi dan identifikasi di atas, maka model kepemimpinan yang tepat untuk mengelola riset dan inovasi ke depan harusnya mempunyai perspektif berikut:

1. Kesadaran akan dampak perubahan

Menyadari bahwa dampak perubahan sering berkontradiksi satu sama lain. Misalnya, eksekusi strategi yang baru akan memicu semangat pembaharuan yang bisa menimbulkan gejolak, hal ini bisa berkontradiksi dengan keinginan karyawan untuk bekerja dengan situasi yang stabil. Konflik lain yang bisa muncul

adalah keinginan untuk berinovasi dengan cepat dan kebutuhan karyawan untuk beroperasi dengan regulasi yang jelas. Digitalisasi dengan mempertimbangkan keseimbangan jumlah karyawan demi terciptanya keadilan sosial.

Berbagai situasi paradoks tersebut harus disikapi dengan komunikasi terus menerus yang terbuka dan transparan sehingga seluruh karyawan merasa terlibat dan diikutsertakan dalam mencari solusi terbaik. Proses ini tidak mudah dan tidak secara instan mengatasi ketegangan yang muncul tetapi karyawan akan merasa didengar, mempunyai informasi yang *up to date* sehingga bisa secara pro-aktif bekerja sama untuk mencapai tujuan organisasi.

2. Pendekatan “Top-Down”; “Bottom-up”-Down”; dan “Integrasi Top Down – Bottom-Up”

Pada dasarnya proses perencanaan hingga hilirisasi hasil riset berkarakteristik *top-down*, yakni sesuai kebijakan dan program yang digariskan di level makro dengan dominasi peran kepemimpinan yang cenderung sentralistik. Pendekatan ini relatif tumbuh pada kelembagaan yang belum matang dan program lebih berkarakter mengikat (*bonding* program). Dominasi kepemimpinan yang sentralistik pada pendekatan ini cenderung bersifat “power nexus”, yakni kekuatan kontrol yang ketat terhadap program oleh *leader*. Kelemahan *bonding* program yakni terabaikannya kekuatan ikatan lemah, yakni *power* dalam *networking*, tetapi sangat kuat menunjukkan kekuatan ikatan di dalam (*in feeling group*), sehingga cenderung proses *controlling* perencanaan oleh *leader* sangat dominan dalam mengedepankan *interest* kelompok.

Pada sisi lain, pendekatan *bottom-up* cenderung mengedepankan aspirasi lokal di level mikro dan meso, tanpa

mencermati integrasi aspek regulasi formal yang mengikat. Kuatnya pendekatan-pendekatan aspek *non formal rules* cenderung mengabaikan aspek *good administration* dalam proses perencanaan. Oleh karena itu, pola kepemimpinan yang perlu dihadirkan adalah tipe kepemimpinan yang akomodatif dan sinergis dengan mengemukakan *feedback* kepada pemimpin yang mengawal *formal rules* di level lingkungan kebijakan makro. Proses “Bottom-Up” yang memerlukan komunikasi antara pimpinan dan staf di semua level. Perlu mempelajari antara harapan, ekspektasi, dan kekhawatiran. Proses ini untuk mengetahui kelemahan, kekuatan dan potensi dari staf. Komunikasi dapat dilakukan dengan mengkombinasikan berbagai cara, misalnya membentuk *task force*, *survey focus group*, pertemuan *one-on-one*, dan sebagainya.

Pendekatan lain, yakni integrasi *top-down* dan *bottom up* diyakini lebih menunjukkan harapan dan sesuai dengan paradigma baru “*new institutionalism*” yang sangat mengedepankan sinergi *bonding*, *bridging* dan *linking* program dan mengandung aspirasi sinergi di level lingkungan kebijakan makro, meso, dan mikro. Dengan demikian akan muncul pola kepemimpinan yang akomodatif yang mengharmoniskan *interest* di segala level, dan tentu diharapkan akan bermuara pada terjadinya keselarasan perencanaan, output kegiatan, dan *outcome* yang secara proporsional menjadi insentif bagi seluruh aktor yang berperan.

3. Menciptakan Champion Team

Teori “*Structural Hole*” yang menjelaskan bahwa pemanfaatan *actor/local champion* di luar struktur (Teori dari Nan Ling, Taiwan). Pengelolaan riset dan inovasi tidak dapat bekerja sendiri, namun dalam kerangka pikir sistem inovasi. Organisasi yang besar diperlukan koordinasi untuk memastikan transformasi berjalan secara menyeluruh. Menciptakan *champion Team* di berbagai level

sebagai duta untuk mengkomunikasikan dan mengeksekusikan suatu strategi/program.

4. Meningkatkan kemampuan organisasi

Transformasi pola pengelolaan riset dan inovasi harus dibarengi dengan peningkatan sumber daya organisasi untuk bisa berhasil. Peningkatan sumber daya ini bisa berupa peningkatan kapital, perbaikan sistem dan proses, serta membangun potensi sumber daya manusianya dari sisi teknis maupun dalam hal mengelola emosi untuk dapat berkomunikasi dan berkolaborasi secara efektif.

5. Proses belajar yang berkesinambungan

Proses eksekusi memerlukan pemimpin yang mempunyai komitmen tinggi untuk terus menerus melakukan proses pembelajaran, yang melibatkan seluruh unsur organisasi. Secara konsisten dan rutin menganalisa keberhasilan dan kegagalan. Mengakui apabila terjadi kesalahan dan melakukan langkah-langkah perbaikan, bukan lari dari masalah dan bersikap defensif.

Perlu melakukan proses *“planning, acting, reflecting-and planning again”*. Langkah-langkah di atas harus melibatkan seluruh karyawan sebagai satu usaha bersama, sehingga menimbulkan sikap optimis dan daya juang yang tinggi dari seluruh jajaran organisasi dalam menghadapi tantangan selama proses transformasi pengelolaan riset dan inovasi berlangsung.

PENUTUP

Modernisasi pertanian secara nyata telah meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya, juga sebagai upaya melestarikan alam, meningkatkan kesejahteraan sosial-ekonomi

masyarakat, meningkatkan ketahanan pangan, serta mendorong tata kelola yang baik, baik sistem alam maupun manusia. Transformasi pola pengelolaan riset dan inovasi merupakan upaya mewujudkan modernisasi pertanian tersebut.

Harapan pola pengelolaan riset dan inovasi ke depan yang lebih terbuka dan dapat secara cepat merespon berbagai tuntutan perubahan nampaknya harus segera diwujudkan. Hal ini sejalan dengan tuntutan kesiapan untuk bergabung dalam kelembagaan riset nasional dalam satu wadah, tentunya perlu penguatan keterampilan/*skill* dan kemampuan teknologi untuk peningkatan produktivitas sumberdaya maupun inovasi.

Perubahan budaya kerja dan perilaku organisasi menjadi faktor utama dan kunci keberhasilan dalam menerapkan modernisasi pertanian yang berkelanjutan. Dimulai dari tataran tingkat atas, menengah, sampai ke tingkat bawah harus satu persepsi dan komitmen. Kepemimpinan yang tepat juga menjadi faktor kunci keberhasilan pengelolaan riset dan inovasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani, M, Rachmina, D, dan Rifin, A. 2018. *Pengaruh Tingkat Penerapan Teknologi Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) terhadap Efisiensi Teknis Usahatani Padi*. dalam *Jurnal Agribisnis Indonesia*. 6 (2): 121-132
- Antes, A.L., A. Mart, and J.M. DuBois 2016. *Are Leadership and Management Essential for Good Research? An Interview Study of Genetic Researchers*. Dilihat 12 September 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5182150/>
- Baker, W. 2003. *Building collaborate relationships*. dalam *Leader to Leader*, 28 (Spring), 11–15
- Capgemini Consulting 2017. *Digital Transformation Review: The digital culture journey: all on Board* (Vol. 10.), dilihat 15 Agustus 2020, https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2017/08/digital_transformation_review_10.pdf
- Dingerson, M. R. 2006. *Research administration and management*, (pp. 63-72). University research development and the role of the Chief Research Officer. In E.C. Kulakowski, & L.U. Chronister (Eds.), Sudbury, MA: Jones & Bartlett Publishers.
- Dohm, A. 2005. *Farming in a Modern Business. 21st Century in a Modern World*. Occupational Outlook Quarterly, dilihat 9 September 2020, <https://www.bls.gov/careeroutlook/2005/spring/art02.pdf>
- FAO. 2017. *The future of food and agriculture. Trends and challengers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. www.fao.org/global-perspectives-studies.

- FAO. 2019a. *Challenges and Opportunities in a Global World*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAO. 2019b. *Transforming the World Through Food and Agriculture*. FAO and the 2030 Agenda for Sustainable Development. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAO. 2019c. *Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas*. Briefing Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Kementerian Keuangan. 2014. *Analisis Daya Saing dan Produktivitas Indonesia Menghadapi MEA*. Riset Kajian PKRB.
- Lin, C., and Kunnathur, A. 2019. *Strategic Orientations, Developmental Culture, and Big Data Capability*. dalam *Journal of Business Research*, 105 (November 2018), 49–60. Dilihat 2 Desember 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.016>.
- Mardiharini, M dan Erizal J. 2017. *Menuju Pembangunan Pertanian Modern*. Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan. IAARC Press.
- McKinsey. 2017. *Culture for a Digital Age*. dalam *McKinsey*, 94 (4), 96–105, dilihat 10 Oktober 2020. <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/culture-for-a-digital-age>.
- Mihardjo, Leonardus W Wasono, Sasmoko, S., Alamsjah, F., and Elidjen, E. 2019. *The Influence of Digital Customer Experience and Electronic Word of Mouth on Brand Image and Supply Chain Sustainable Performance*. dalam *Uncertain Supply Chain Management*, 7, 691–702, dilihat 10 Oktober 2020, <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2019.4.00>.
- Miharjo, L.W.W. 2020. *Budaya Perusahaan di Era Digital berbasis Co-creation-Innovation*. Dilihat 2 Desember 2020, <https://www.researchgate.net/publication/343925450>

- Motes, W. C. 2010. *Modern Agriculture and Its Benefits—Trends, Implications and Outlook*. Global Harvest Initiative.
- Nee, Victor. 2005 dalam Smelser J. Neil and Richard Swedberg. 2005. *The New Institutionalisms in Economics and Sociology*. Princeton University Press. New Jersey
- Oktavia, I. B. P. 2013. *Analisis Total Factor Productivity (TFP) pada Pertanian Padi di Indonesia tahun 1960-2012*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Prince, K. 2018. *Digital Transformation and Corporate Culture Change*. In Asia Pacific Decision Science Institute 23rd International Conference, 16-20 July 2018, Bangkok, Thailand. (Vol. 0, pp. 1–18).
- Rieple, A., and Pisano, P. 2015. *Business Models in a New Digital Culture: The Open Long Tail Model*. Symphonya. *Emerging Issues in Management*, (2): 75–88. Dilihat 2 Desember 2020, <https://doi.org/10.4468/2015.2.06rieple.pisano>.
- Schein, E. H. 2004. *Organizational culture and leadership* (3rd edition). San Francisco: jossey-Bass A 16 Wiley Imprint.
- Soetrismo, L. 2002. *Paradigma Baru Pembangunan Pertanian Sebuah Tinjauan Sosiologi*. Kanisius. Jakarta
- Sumarno dan Harnowo 2016. *Manajemen Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. IAARD Press Jakarta
- Yulida, R., Kausar dan L. Marjelita 2012. *Dampak Kegiatan Penyuluhan Terhadap Perubahan Perilaku Petani Sayuran Di Kota Pekanbaru*. dalam *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAIE)*. Dilihat 9 September 2020, <https://media.neliti.com/media/publications/9034>

KEBUTUHAN DAN PILIHAN TEKNOLOGI UNTUK MEWUJUDKAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Agus Hermawan^{a1}, I Nyoman Widiarta^{b2}, Agus Somantri^{c3}

^a Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Tengah

^b Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

^c Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

^{1,2,3} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara tropis kepulauan terluas di dunia. Rata-rata suhu harian yang masih dalam toleransi untuk berkembangnya berbagai jenis tumbuhan maupun organisme, mendudukkan Indonesia dengan kekayaan biodiversitas terbesar di dunia setelah Brazil. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan, dengan 314 zone musim (BMG 2003; Otok 2010). Indonesia berada di daerah gunung berapi atau wilayah *Pacific Ring of Fire* dengan sumber air, hara berlimpah, memberikan kesuburan untuk budidaya tanaman.

Sebagai bagian dari pembangunan peradaban baru Indonesia, pembangunan pertanian tidak terbatas pada pembangunan infrastruktur fisik tetapi juga membangun kekuatan sumberdaya manusia pertanian berkualitas, untuk mencapai cita-cita Indonesia maju. Sinergi dengan Kementerian/Lembaga lain perlu

diwujudkan untuk: (1) peningkatan produksi dan produktivitas, (2) efisiensi usaha pertanian (rendah biaya); (3) ekspansi pertanian; dan (4) mekanisasi dan dukungan inovasi teknologi. Kawasan pertanian terintegrasi **maju, mandiri dan modern** disiapkan untuk menarik minat generasi milenial. Pengembangan pertanian modern dengan wawasan pertanian terintegrasi diharapkan mampu meningkatkan efisiensi biaya produksi dan produktivitas serta nilai tambah secara signifikan, sehingga kesejahteraan petani semakin meningkat.

Kemajuan teknologi dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Paska perang dunia kedua teknologi, introduksi teknologi **Revolusi Hijau** (RH) sebagai hasil dari Konsorsium Kelompok Penelitian Pertanian Internasional (CGIAR), khususnya untuk komoditas gandum, beras, dan jagung (Llewellyn 2018) telah meningkatkan produksi pertanian global secara dramatis. Hal ini mendorong pertumbuhan populasi dan urbanisasi, sehingga orang lebih banyak tinggal di kota dan lebih sedikit yang bekerja di pertanian karena introduksi teknologi dapat mengatasi kelangkaan tenaga kerja.

Di sisi lain, RH telah menimbulkan eksternalitas negatif. Pemberian air irigasi yang boros serta penggunaan pupuk dan pestisida yang tidak rasional, sebagai dampak dari RH, menyebabkan degradasi lahan, pencemaran, polusi dan eksploitasi hama yang memperlambat peningkatan produktivitas dan mengancam keberlanjutan sistem produksi (Pingali 2012). Penggunaan alat pertanian modern juga mendorong terjadinya bias gender pada kegiatan usaha tani, menyingkirkan peran wanita di pedesaan (Rahayu dan Kumalasari 2016). Muncul stratifikasi sosial, di mana kesejahteraan buruh tani tak bertanah tidak banyak berubah, yang kaya semakin kaya, dan tingkat kemiskinan tidak banyak berkurang (Pingali 2012; Kandar 2014). Jumlah petani gurem dan buruh tani meningkat, upah tenaga kerja rendah, dan tingkat *under employment* tinggi menyebabkan

tingginya tingkat kemiskinan di pedesaan (Kasryno 2016). Disamping itu modernisasi teknologi memerlukan agro-input yang mengakibatkan petani terjerumus hutang (Kandar 2014).

Terlepas dari eksternalitas negatif dari RH, pada masa-masa mendatang peran teknologi tetap menjadi kunci penentu pembangunan sektor pertanian. Ada tiga argumen tentang urgensi pengembangan teknologi di bidang pertanian. **Argumen pertama**, sebagaimana diingatkan oleh Mosher (1965) dalam bukunya *"Getting Agriculture Moving: Essential for development and Modernization"*, salah satu syarat mutlak pembangunan pertanian adalah teknologi yang selalu berkembang.

Argumen kedua, urgensi pengembangan teknologi sektor pertanian dapat diketahui dari fungsi produksi pertanian. Produksi pertanian merupakan resultan dari faktor-faktor produksi (Shinta 2011; Kurniasih 2013) berikut:

$$Q = f(H, L, K, E, T, M, S)$$

Dimana: Q = kuantitas produksi pertanian; H = kuantitas penggunaan tanah; L = tenaga kerja; K = modal; E = kualitas lingkungan usahatani; T = tingkat penerapan teknologi; M = manajemen/pengelolaan usahatani; S= Karakteristik sosial ekonomi.

Berdasarkan fungsi produksi di atas, produksi pertanian akan menurun karena sebagian besar faktor produksi mengalami penurunan. Luas lahan pertanian (H) semakin menurun akibat terjadinya alih fungsi dan degradasi lahan (Sutrisno dan Heryani 2013). Konversi lahan pertanian terus terjadi walaupun telah ada Undang-undang tentang perlindungan lahan pertanian pangan berkelanjutan (UU No. 41 tahun 2009). Ketersediaan tenaga kerja (L) produktif sebagai pengelola usahatani juga semakin menurun karena tenaga muda lebih tertarik untuk bekerja di luar sektor pertanian. Modal (K) merupakan faktor penentu produksi

pertanian. Masalahnya akses petani terhadap sumber-sumber modal formal masih sangat lemah. Perbankan kurang tertarik membiayai usaha pertanian karena berisiko tinggi (Hartono et al. 2013). Sementara itu, kondisi lingkungan (E) pertanian menjadi semakin tidak menentu. Degradasi lingkungan (Sutrisno dan Heryani 2013) dan perubahan iklim semakin tidak menguntungkan sektor pertanian (Surmaini, Runtunuwu dan Las 2010). Berdasarkan asumsi bahwa kondisi sosial ekonomi masyarakat (S) tetap/*ceteris paribus*, dapat dipastikan produksi pertanian pada masa mendatang akan semakin menurun apabila tidak ada perubahan teknologi dan manajemen. Oleh karena itu solusinya adalah melalui pengembangan dan penerapan teknologi baru (T) dan perbaikan manajemen usahatani (M).

Peran teknologi dalam meningkatkan produktivitas dapat dilihat dari revolusi hijau. Berkat revolusi hijau, dalam waktu 40 tahun produktivitas gandum Inggris telah meningkat dari 2 menjadi 6 ton per hektar, padahal sebelumnya dibutuhkan waktu hampir 1.000 tahun untuk meningkatkan produksi gandum dari 0,5 menjadi 2 ton per hektar (Norman et al., 1995). Contoh lain dari keberhasilan revolusi hijau di lahan irigasi dan sawah tadah hujan dapat dilihat di kawasan Asia dan Amerika Latin (IFPRI, 2002), khususnya pada komoditas padi dan gandum (Pinstrup-Andersen dan Hazell, 1985). Produktivitas padi di Indonesia juga dilaporkan meningkat tajam dari 2 ton/ha menjadi 4 ton/ha dalam rentang tahun 1967 hingga 1980 (De Wit et al., 1987 dalam Schiere et al., 1999).

Argumen ketiga dari pentingnya pengembangan teknologi di sektor pertanian dapat dilihat dari sejumlah faktor penentu keunggulan komparatif dan kompetitif. Menurut Syafa'at et al. (2003) ada tiga penentu keunggulan komparatif sektor pertanian, yaitu keberlimpahan sumberdaya lahan dan air, keberlimpahan tenaga kerja, dan keunikan agroekosistem lahan. Ketiga faktor tersebut pada dasarnya bersifat *given* atau berbasis alamiah

(*natural resource base*). Keunggulan teknologi dan manajemen, menjadi andalan agribisnis modern. Keduanya sangat diperlukan untuk mengubah ketiga faktor sumberdaya alamiah menjadi keunggulan kompetitif yang akan menentukan eksistensi sektor pertanian Indonesia di kancah dunia.

Tulisan ini menguraikan tentang kebutuhan teknologi untuk menyediakan pangan bagi lebih dari 260 juta penduduk Indonesia, memanfaatkan potensi keunggulan komparatif pertanian tropis, keragaman biologi yang tinggi, iklim dengan suhu yang relatif sesuai untuk pertanian guna mewujudkan pertanian modern berkelanjutan yang menghasilkan produk pertanian kompetitif. Setelah bagian pendahuluan, pada bagian kedua dibahas masalah, tantangan dan trend teknologi pada masa yang akan datang. Bagian ketiga menguraikan kebutuhan teknologi dan kategori teknologi untuk memecahkan masalah pembangunan pertanian sesuai dinamika sosial ekonomi dan lingkungan. Bagian keempat dan bagian kelima secara berurutan membahas pilihan sains/teknologi pertanian modern berkelanjutan Indonesia dan bab selanjutnya menguraikan peran Balitbangtan dalam pengembangan sains/ teknologi pertanian modern berkelanjutan, diakhiri dengan penutup pada bagian keenam.

MASALAH, TANTANGAN DAN TREND TEKNOLOGI PADA MASA MENDATANG

Masalah

Lahan, *infra-struktur, sarana produksi dan sumberdaya*. Sumber daya lahan Indonesia cukup luas, terdiri dari lahan kering seluas 148 juta ha dan lahan basah mencapai 40,2 juta ha, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai jenis usaha pertanian (Mulyani dan Las 2008). Akibat ketidakseimbangan antara laju pertumbuhan penduduk dengan laju pembukaan lahan baru,

jumlah petani gurem (kepemilikan lahan 0,5 ha) meningkat. Pada tahun 2010 jumlah petani gurem sudah mencapai 15 juta rumah tangga. Masalah yang dihadapi untuk mempertahankan luas lahan pertanian adalah konversi dan degradasi lahan. Laju konversi lahan sawah, terjadi terutama di Pulau Jawa dan kota-kota besar, tidak dapat diimbangi oleh laju pencetakan sawah di luar Pulau Jawa. Kendala pencetakan sawah ada pada faktor topografi dan faktor tanah yang menonjol seperti laju infiltrasi, drainase dan kesuburan tanah (Hikmatullah dan Suharta 2002). Degradasi lahan pertanian terutama diakibatkan oleh banjir, longsor, dan erosi tanah (Sutrisno 2013).

Salah satu faktor penting dalam meningkatkan produksi dan daya saing pertanian adalah adanya dukungan infrastruktur yang memadai, khususnya jaringan irigasi, drainase, serta jalan usaha tani. Menurut Kemenpupera (2016), total areal produksi pangan yang perlu mendapatkan irigasi di Indonesia sekitar 7,2 juta ha. Masalahnya saat ini tidak seluruh jaringan irigasi ber kondisi baik. Pembangunan, rehabilitasi, operasi, pemeliharaan jaringan irigasi, serta pengendalian sedimen diperlukan untuk mendukung ketahanan pangan.

Benih bermutu (bersertifikat) varietas unggul baru sangat menentukan produktivitas tanaman. Masalah yang terkait pada penyediaan bantuan benih adalah (i) skim bantuan benih langsung, bantuan program maupun subsidi benih seringkali tidak tepat waktu, dan (ii) sistem perbenihan komersial di pasar benih hanya menjangkau sebagian kecil kebutuhan benih dan hanya menyediakan benih varietas populer sesuai preferensi pasar. Akibatnya sebagian petani menggunakan benih kualitas asalan sehingga potensi hasil tidak tercapai (Widiarta *et al.* 2019). Selain itu kemampuan petani untuk mengakses sumber teknologi dan penerapannya masih lemah, sehingga memerlukan pembinaan secara berkesinambungan.

Regulasi, kelembagaan dan permodalan. Pengembangan komoditas, khususnya komoditas ekspor memerlukan investasi. Di sisi lain, kemampuan petani untuk mengakses permodalan formal masih sangat lemah karena kecilnya skala usaha, sehingga tidak mampu mengakumulasi modal (Sayaka dan Rivai 2011). Disamping itu apabila lahan usahatani menjadi persyaratan agunan, sebagian besar petani dapat dikategorikan tidak layak mendapatkan modal. Beratnya syarat agunan menyebabkan petani memanfaatkan sumber-sumber permodalan non-formal karena prosesedurnya sederhana dan persyaratannya mudah karena hanya mengandalkan kepercayaan.

Tantangan

Peningkatan *jumlah penduduk, peningkatan produktivitas, pengentasan kemiskinan dan ketimpangan.* Pada tahun 2035, penduduk Indonesia diproyeksikan mencapai 305 juta jiwa dan lebih dari setengahnya (167 juta) terkonsentrasi di Pulau Jawa (BPS 2014a). Laju peningkatan penduduk setiap tahun sebenarnya terus menurun. Pada periode 2010-2016 lajunya mencapai 1,36% (BPS 2017).

Adopsi RH, yang menandai modernisasi pertanian Indonesia, mengubah pandangan hidup masyarakat desa di mana pemenuhan kebutuhan hidup tidak harus didapatkan dari pertanian (Saleh 2020). Pandangan tersebut menyebabkan interkoneksi antara desa-kota dan meningkatkan urbanisasi. Sementara itu masih banyaknya petani gurem menyebabkan tingginya tingkat kemiskinan di pedesaan (Kasryno 2016). Satu keluarga digolongkan oleh BPS sebagai keluarga miskin jika keseluruhan pendapatannya tidak dapat memenuhi kebutuhan minimum fisik/tubuhnya (konsumsi pangan). Pada tahun 2013 di pedesaan diperkirakan ada sekitar 14,4 % penduduk miskin sementara di perkotaan hanya sekitar 8,5 % (BPS 2014b),

menunjukkan adanya ketimpangan pendapatan di kota dan di pedesaan. Dalam kurun waktu 17 tahun (2000-2017) perkembangan Indeks Kelaparan Global (IKG) Indonesia statis dan tergolong dalam kelompok kelaparan serius (Pakpahan 2018).

Pemanfaatan sumberdaya alam berkelanjutan, perubahan iklim dan strategi adaptasi, sistem pangan efisien dan tangguh. Kebijakan penerapan RH yang keliru telah mendorong penggunaan input produksi yang tidak rasional serta perluasan RH ke areal yang tidak mampu menopang intensifikasi seperti lahan dengan kemiringan tinggi dengan konsekuensi menghambat pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan (Pingali 2012). Kebijakan perlindungan harga produksi dan subsidi input, terutama pupuk dan pestisida, juga telah mendistorsi insentif praktek budidaya efisien input.

Perubahan iklim telah terjadi. Dampak negatif perubahan iklim (DPI) berupa kejadian iklim ekstrim La Nina atau El Nino yang menyebabkan banjir atau kekeringan, telah merusak lingkungan khususnya lahan pertanian (Surmaini *et al.* 2015). Sebaliknya intensitas curah hujan yang rendah menyebabkan meningkatnya jumlah hotspot kebakaran hutan atau areal perkebunan (Anggraini dan Trisakti 2011). Perubahan iklim berdampak nyata pada faktor produksi tanaman seperti luas areal tanam, luas areal panen, dan produktivitas. Pengembangan teknologi dibutuhkan untuk menciptakan kondisi yang kondusif bagi tanaman, meningkatkan toleransi dan daya adaptasi terhadap cekaman DPI sehingga dapat berproduksi optimum, menghasilkan emisi gas rumah kaca paling minimal, sekaligus memitigasi perubahan iklim (Widiarta 2016).

Efisiensi penggunaan input pertanian seperti penyaluran dan penggunaan air, pupuk dan pestisida masih rendah. Produksi pangan akan menurun akibat tidak adanya peningkatan efisiensi irigasi dan indeks pertanaman untuk mengimbangi konversi lahan

(Purwanto *et al.* 2019). Pemberian irigasi secara terus-menerus (*countinuous flow*) pada 7,9 juta ha lahan sawah membutuhkan peningkatan jumlah air irigasi hampir 3% dari jumlah ketersediaan air di Indonesia tiap tahunnya (Rejekiningrum 2013).

Produk pertanian multifungsi, distribusi dan pemasaran, pasar bebas. Produk pertanian setelah melalui proses pengolahan dapat berfungsi *three-in-one* sebagai bahan baku pangan, industri dan energy (Bantacut *et al.* 2015). Meskipun demikian tergantung jenis komoditas dan ketersediaan teknologinya, salah satu fungsi dapat lebih menonjol dari yang lain. Menipisnya cadangan energi fosil dan meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan, menyebabkan perhatian harus dialihkan pada sumber energi baru terbarukan dari komoditas dan limbah pertanian (Prastowo 2015).

Petani dapat memasarkan produk pertaniannya secara langsung atau melalui saluran pemasaran untuk sampai di tangan konsumen. Pedagang pengepul sebagai bagian dari rantai pasok produk pertanian berperan sentral dalam aliran material, uang dan informasi dengan risiko usaha lebih kecil dibandingkan petani (Rachman Jaya *et al.* 2019). Di era digital, konsumen mengubah kebiasaan dan perilakunya dalam memilih, memesan dan membeli produk pertanian yang dibutuhkan secara daring (Rohimah 2019). Kebijakan *social distancing* untuk mencegah penularan Covid-19 turut mendorong transaksi secara daring (Surico dan Galeotti 2020). Pada era perdagangan bebas kondisi ekonomi suatu Negara sangat dipengaruhi oleh kondisi perekonomian global. Krisis ekonomi disuatu Negara maju seperti Amerika Serikat dapat menular pada Negara lain (Maramis 2013), sebagaimana pada masa pandemi Covid-19 tahun 2020.

Trend Teknologi pada Masa yang Akan Datang

Pertanian ***organik dan pertanian lahan sempit***. Pola hidup sehat mendorong konsumen untuk memilih bahan pangan yang

aman bagi kesehatan, benutrisi tinggi, dan diproduksi secara ramah lingkungan yang mendorong meningkatnya permintaan produk organik (Mayrowani 2012). Indonesia memiliki keunggulan komparatif untuk mengembangkan pertanian organik, teknologi pupuk organik, pupuk hayati, serta pestisida hayati yang berfungsi sebagai penginduksi ketahanan tanaman dan pengendali hama-penyakit tular langsung maupun ditularkan oleh vektor.

Petani berlahan sempit (petani gurem) dengan kompetensi rendah jumlahnya terus meningkat di perkotaan. Untuk memaksimalkan keuntungan pertanian lahan sempit, perlu dikembangkan teknologi hidroponik untuk tanaman bunga-bunga, semak hiasan, perdu dan hiasan, serta sayuran dan buah-buahan. Lahan pekarangan rumah juga dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan pangan keluarga dengan vertiminaponik untuk budidaya sayuran dan ikan. *Vertical farming* yang memadukan teknik pertanian dan teknik asitektur untuk budidaya sayuran pada gedung bertingkat di Eropah, Amerika dan Asia juga dapat dikembangkan di perkotaan (Kalantari *et al.* 2017). Budidaya ini diyakini dapat mengurangi kemiskinan, meningkatkan keamanan pangan, keberlanjutan dan kemanusiaan.

Otomatisasi, artificial intelligent dan digitalisasi. Dunia industri telah memasuki revolusi industri 4.0 yang dalam aplikasi teknologinya mengkombinasikan sistem informasi, komunikasi, otomatisasi dan robotic. Agro-industri juga sudah mulai mengadopsi pola industri 4.0. bahkan di Negara berkembang seperti di Peru (Perez dan Risco 2020). Teknologi informasi dan otomatisasi mulai diaplikasikan di Indonesia, antara lain pada AWS telemetry untuk mendapatkan data iklim *real time* yang memungkinkan perencanaan tanam dapat disusun secara cepat (Unadi 2019). Otomatisasi juga telah dicoba diaplikasikan pada

irigasi kendi, irigasi tetes, perawatan tanaman hidroponik (Kiri dan Lapono 2017).

Pengamatan cekaman pada tanaman seperti serangan hama-penyakit, gulma, manajemen pengairan dan pemupukan memerlukan otomatisasi sistem monitoring dan pemecahan masalah yang dapat mengurangi penggunaan tenaga kerja, sekaligus meningkatkan produktivitas dan produksi (Jha *et al.* 2019). Seiring dengan kemajuan teknologi digital, *artificial intelligence* (AI) dikembangkan untuk membuat proses pemecahan masalah menjadi lebih simpel.

Berbagai teknologi pertanian dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan informasi teknologi (IT). Web atau *mobile based* IT dapat dikembangkan untuk mendukung pengambilan keputusan strategis maupun taktik dalam penerapan manajemen budidaya menghadapi DPI (Ayubu *et al.* 2013). Pengambilan keputusan berbasis IT telah diaplikasikan untuk berbagai aspek seperti kalender tanam, pengendalian hama terpadu, pengelolaan hara spesifik lokasi, dan pengelolaan air. Pertanian presisi yang didukung oleh sistem pengambilan keputusan berbasis IT untuk pengelolaan tanaman spesifik lokasi dalam hal pengelolaan variabilitas lahan, hama-penyakit, lanskap, iklim mikro dengan mengatur pemberian input untuk memaksimalkan keuntungan dan minimalisasi risiko lingkungan (Ayubu *et al.* 2013).

Blockchain dan global positional tracking traceability. *Blockchain* adalah tugas digital identifier untuk membuat produk dapat dilacak sepanjang *supply chains* tentang kondisi pertumbuhan, *batch* produksi dan masa kedaluwarsa. *Blockchain* menjamin konsumen mendapatkan informasi tentang keamanan pangan, menghindari terbuangnya makanan dan sistem distribusi pangan dari daerah surplus ke daerah yang membutuhkan, sehingga sangat mendukung tercapainya ketahanan pangan (Ahmed dan ten Broek 2017).

Konsep *traceability* dalam *supply chain* produk pertanian meliputi proses koleksi, dokumentasi dan informasi yang memberikan garansi kepada konsumen dan para-pihak lainnya tentang asal, lokasi dan riwayat produksi yang dapat membantu manajemen krisis bila terjadi perselisihan tentang keamanan pangan dan kualitas produk (Opara 2003). Secara integrasi penggunaan *geographic information systems* (GIS), *remote sensing* (RS) *global positioning systems* (GPS) memungkinkan untuk melakukan penelusuran perlakuan budidaya pertanian spesifik lokasi *on-farm* dan penanganan selanjutnya (Bossler 2001).

KEBUTUHAN TEKNOLOGI

Berdasarkan masalah, tantangan, dan tren perkembangan teknologi pertanian terkini, dapat disusun perkiraan kebutuhan teknologi untuk pengembangan pertanian modern berkelanjutan. Kebutuhan teknologi dapat dibagi menjadi beberapa katagori. Pertama kebutuhan teknologi disusun berdasarkan tujuan atau peruntukan pengembangan teknologi. Kedua, kebutuhan teknologi disusun berdasarkan subsistem agribisnis atau sistem usaha pertanian, dan ketiga peruntukan kebutuhan teknologi berdasarkan penggunaanya.

Kebutuhan teknologi berdasarkan tujuan pemecahan masalah

Berdasarkan *Sustainable Development Goals*/SDG. Enam dari 17 komponen SDG berkonsentrasi pada pertanian berkelanjutan, yaitu SDG ke-2 tentang kelaparan, nutrisi dan pertanian berkelanjutan, SDG ke-6 tentang efisiensi penggunaan air, SDG ke-12 pada produksi dan konsumsi yang bertanggung jawab, SDG ke-13 tentang memerangi perubahan iklim, SDG ke-14 tentang konservasi sumber daya laut, dan SDG ke-15 tentang ekosistem

darat, restorasi lahan dan keanekaragaman hayati (FAO 2017). Khusus untuk Indonesia, konservasi sumberdaya laut sebagai SDG ke-14 tidak menjadi bagian dari Kementerian Pertanian (Kementan) karena secara khusus ditangani oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Pengembangan teknologi perlu diarahkan pada pencapaian target SDG sekaligus menjawab permasalahan dan tantangan riil di lapangan. Jenis peruntukan pengembangan teknologi serta urgensinya secara rinci ditampilkan pada Tabel 8. Pengembangan teknologi untuk meningkatkan produktivitas pertanian sangat mendesak karena meningkatnya permintaan produk pertanian sejalan dengan pertumbuhan penduduk, sementara ketersediaan sumberdaya pertanian semakin menurun. Peningkatan produktivitas pertanian sekaligus dilakukan untuk pencapaian target SDG ke-2. Senjang hasil antara potensi hasil dan hasil aktual masih dapat dipersempit dengan penerapan teknologi dan pemecahan tantangan faktor bio-fisik dan sosial-ekonomi.

Dalam rangka pencapaian SDG ke-2, pengembangan teknologi untuk pertanian skala kecil juga diperlukan karena mayoritas pelaku usaha pertanian di Indonesia adalah pertanian rakyat berskala kecil dengan akses sumberdaya pertanian terbatas. Agro-industri skala kecil di pedesaan memerlukan dukungan kemitraan pemasaran, pengembangan sumber air, peningkatan kualitas infrastruktur, sarana pra-sarana, peningkatan penyuluhan pertanian, penataan zonasi dan pola tanam komoditas unggulan, serta pengembangan fasilitas pembibitan (Saragih 2017). Selanjutnya karena petani di pedesaan tingkat kesejahteraannya relatif tertinggal dibandingkan masyarakat industri di perkotaan, maka pengembangan teknologi pertanian sekaligus menjadi upaya pengentasan kemiskinan, kelaparan dan malnutrisi, dan kesenjangan. Pengembangan varietas padi nutrizink serta jagung dengan kandungan protein tinggi menjadi kontribusi riil inovasi

pertanian dalam memecahkan masalah malnutrisi dan stunting (Azrai 2017; Indrasari dan Kristamtini 2018).

Degradasi sumberdaya alam perlu diatasi untuk menjamin keberlanjutan sistem produksi pertanian (Sutrisno dan Heryani 2014). Upaya untuk mengatasi permasalahan lahan kritis yang semakin meluas hanya akan berhasil dan secara lestari diterapkan oleh petani apabila inovasi teknologi terjangkau untuk diterapkan (Simarmata 2007) dan memberikan keuntungan yang cukup bagi petani. Pengembangan inovasi untuk mengatasi degradasi lahan sekaligus menjadi upaya mencapai target SDG ke-15 tentang ekosistem darat, restorasi lahan dan keanekaragaman hayati.

Inovasi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya pertanian cukup mendesak dengan semakin menurunnya kualitas dan daya dukung lingkungan. Lahan dan ketersediaan untuk usaha pertanian yang semakin menurun mendorong perlunya kebutuhan pengembangan teknologi pertanian yang hemat lahan dan air (Salli dan Basri, 2019), sejalan dengan target SDG ke-6 tentang efisiensi penggunaan air.

Efisiensi penggunaan sumberdaya pertanian juga terkait erat dengan perubahan iklim ekstrim yang semakin kuat pengaruhnya terhadap sistem produksi pertanian. Inovasi teknologi sistem produksi yang mampu beradaptasi, memitigasi, dengan tingkat resiliensi tinggi terhadap perubahan iklim menjadi sangat penting (Surmaini *et al.* 2015; Widiarta 2016). Hal ini sejalan dengan SDG ke-13 tentang pentingnya upaya yang sistematis dalam rangka memerangi perubahan iklim.

Peran penting dari sektor pertanian adalah kontribusinya dalam penyediaan kebutuhan pangan. Inovasi untuk memperbaiki sistem pangan agar menjadi lebih efisien, inklusif dan tangguh menjadi sangat penting, sesuai dengan SDG ke-12 tentang sistem produksi dan konsumsi pangan dan produk pertanian yang bertanggung jawab (Hidayat *et al.* 2016).

Ketahanan pangan mencakup aspek ketersediaan, stabilitas, akses, dan penggunaan pangan.

Tabel 8. Jenis Peruntukan Teknologi dan Urgensi Pengembangan Inovasi

Jenis peruntukan teknologi	Urgensi
Peningkatan produktivitas	Permintaan produk pertanian untuk <i>food, feed, fiber</i> , dan <i>fuel</i> , makin meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan industri ditengah makin menipisnya cadangan bahan bakar fosil sementara ketersediaan sumberdaya pertanian (lahan dan air) semakin terbatas
Mengatasi degradasi sumberdaya alam	Lahan pertanian yang terdegradasi (a.l. lahan kritis) semakin luas dan mengancam keberlanjutan sistem pertanian dan kehidupan
Peningkatan efisiensi sumberdaya alam	Ketersediaan sumberdaya pertanian (khususnya lahan dan air) makin terbatas
Adaptasi/mitigasi/resiliensi perubahan iklim	Perubahan iklim ekstrim mengganggu sistem pertanian dan penyediaan pangan
Pertanian untuk petani kecil	Pertanian Indonesia didominasi oleh pertanian rakyat Ketersediaan sumberdaya dan akses petani terbatas
Pengentasan kemiskinan dan ketimpangan/kesenjangan	Kemiskinan banyak terjadi di perdesaan yang mayoritas adalah petani. Kesenjangan ketimpangan antar daerah dan antara sektor pertanian dengan non-pertanian masih tinggi
Perbaikan sistem pangan agar lebih efisien, inklusif dan tangguh	Ketahanan pangan mencakup aspek ketersediaan, stabilitas, akses, dan penggunaan pangan
Mengatasi kelaparan dan malnutrisi	Sebagian masyarakat rentan mengalami kelaparan dan stunting, sedangkan masyarakat lainnya berpotensi mengalami malnutrisi. Sektor pertanian dapat membantu mengatasi permasalahan.

Kategori Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Sub-Sistem Agribisnis

Sistem usaha pertanian atau agribisnis terdiri dari beberapa subsistem (Deptan 2002), yaitu subsistem agribisnis hulu (*upstream agribusiness*), subsistem produksi (*on-farm agribusiness*), subsistem agribisnis hilir (*down-stream agribusiness*), subsistem pemasaran hasil usahatani dan agroindustri, dan subsistem lembaga penunjang. Setiap subsistem membutuhkan inovasi teknologi yang berbeda. Peran inovasi teknologi menjadi semakin besar sejalan dengan berkembangnya agribisnis.

Teknologi yang diterapkan dan dikembangkan adalah teknologi yang terintegrasi dari hulu sampai hilir. Integrasi teknologi yang dibutuhkan adalah teknologi untuk memudahkan petani melakukan pengawasan dan pengendalian secara virtual, sehingga semua proses dalam setiap tahapan pekerjaan dapat berlangsung secara efektif dan efisien dengan memanfaatkan jaringan internet (*Internet of Things /IoT*) dan kecerdasan buatan (*Artificial intelligent/AI*) (Jha *et al.* 2019).

Upaya mewujudkan berkembangnya teknologi perbenihan, budidaya, panen dan pascapanen pangan dan pertanian yang melibatkan teknologi IoT, perlu didukung dengan penyiapan logistik, sarana dan sarana penunjangnya. Layanan saprodi, suku cadang, UPJA, perbengkelan tentunya mutlak diperlukan. Layanan pada subsistem on-farm, non-farm, dan off-farm dapat diintegrasikan dalam sebuah sistem besar berbasis IoT sehingga semua pekerjaan secara transparan bisa dikontrol. Gambaran kebutuhan teknologi pada setiap subsistem agribisnis dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Katagori Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Subsistem Agribisnis

Subsistem agribisnis	Kebutuhan teknologi
Subsistem agribisnis hulu (<i>upstream agribusiness</i>)	Varietas tanaman/rumpun ternak/galur unggul ternak/alsintan unggul; sistem produksi benih/bibit, saprotan/sapronak, alsintan dan obat yang efektif
Subsistem produksi/ usahatani (<i>on-farm agribusiness</i>)	Sistem penyediaan benih/ bibit unggul; saprotan/ sapronak, dan obat yang dapat memenuhi 6 tepat; Teknologi budidaya tanaman/ ternak dgn provitas tinggi
Subsistem agribisnis hilir (<i>down-stream agribusiness</i>)	Teknologi pengolahan produk primer, produk antara, produk akhir untuk industri pertanian (makanan, minuman, serat, biofarmaka/kecantikan, jasa boga, bioenergi, agrowisata, dan estetika)
Subsistem pemasaran hasil usahatani dan agroindustri	Model distribusi, promosi, informasi pasar, struktur pasar, market intelligence, dan kebijakan yang kondusif bagi perdagangan produk pertanian
Subsistem lembaga penunjang	Sistem pasok saprotan/ sapronak yg efisien; Sistem komunikasi, informasi, dan diseminasi teknologi yg efisien; Fasilitasi akses sumber modal, pasar, dan regulasi; Rumusan kebijakan untuk menciptakan sistem agribisnis yang efektif

Katagori Peruntukan Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Penggunanya

Inovasi teknologi dibutuhkan oleh pelaku utama, pelaku usaha, konsumen akhir, dan para penentu kebijakan dan lembaga pengaturan/layanan. Kebutuhan inovasi pada setiap kelompok sasaran akan berbeda. Pada Tabel 10 ditampilkan gambaran kebutuhan inovasi pada setiap kelompok sasaran tersebut.

Para pelaku utama (petani) membutuhkan inovasi dengan fokus pada sistem penyediaan bahan dan sarana produksi yang berkualitas, memenuhi kriteria enam tepat, komponen/paket teknologi budidaya/produksi, pengendalian sistem produksi dan produk, teknologi dan pengelolaan alsintan, serta jaminan stabilitas harga input dan output. Berbeda dengan petani, industri primer dan sekunder membutuhkan inovasi pengembangan sistem logistik dan teknologi seleksi pasokan bahan baku dengan standar tertentu, inovasi pergudangan dan pengemasan, produksi/olahan, alsintan, sistem transportasi dan distribusi, serta dukungan regulasi perijinan usaha.

Di sisi lain, konsumen akhir baik di tingkat lokal, nasional, serta global membutuhkan inovasi untuk menjamin tersedianya produk primer maupun olahan yang berkualitas dengan standar keamanan pangan tertentu (Ahmed dan ten Broek 2017). Produk tersebut juga aman dan sehat untuk digunakan dengan harga yang terjangkau dan tersedia sepanjang waktu. Inovasi yang memungkinkan diversifikasi dan diferensiasi produk juga sangat diharapkan untuk memberikan berbagai pilihan bagi konsumen.

Pemerintah sebagai fasilitator dan regulator berkewajiban menciptakan iklim usaha yang kondusif bagi tumbuh suburnya pembangunan pertanian modern berkelanjutan. Pemerintah melalui lembaga pengaturan/layanan/penentu kebijakan membutuhkan berbagai masukan inovasi bagi penyusunan kebijakan/regulasi alternatif. Inovasi dalam bentuk model/sistem/teknologi alternatif untuk mengembangkan sistem pertanian/agribisnis juga dibutuhkan, Termasuk sistem logistik produk primer dan olahan yang efisien untuk menjamin ketersediaan, stabilitas, akses, dan keamanan produk bagi kepentingan konsumen akhir dan industri.

Tabel 10. Kebutuhan Teknologi Berdasarkan Katagori Pengguna Produk Pertanian

Kelompok pengguna teknologi	Kebutuhan teknologi
Petani/peternak produk primer	Varietas/rumpun unggul/galur unggul, Saprotan/sapronak tersedia (bibit/benih, pupuk dan obat-obatan) yang memenuhi kriteria 6 tepat, sistem produksi yang efektif, efisien, dan berkualitas, sistem pengendalian kualitas alsintan yang murah dan mudah dioperasikan, serta biaya operasi murah, harga sarana produksi dan hasil produksi stabil
Industri olahan primer dan sekunder	sistem logistik pasokan bahan baku terstandar dan tersedia sepanjang waktu teknologi seleksi bahan baku dengan kriteria tertentu teknologi pergudangan/pengemasan dengan kehilangan/ penurunan kualitas rendah, daya simpan panjang teknologi produksi/olahan yang efektif, efisien, dan fleksibel sesuai permintaan konsumen/industri alsintan yang efisien dan efektif, sistem transportasi dan distribusi yang cepat, mudah, murah regulasi perijinan usaha dan sistem pajak yang rasional
Konsumen akhir (lokal, nasional, global)	jaminan produk berkualitas dengan standar tertentu, produk yang aman dan sehat harga terjangkau/kompetitif tersedia sepanjang waktu
Lembaga pengaturan/ layanan/penentu kebijakan	Bahan rumusan untuk kebijakan/regulasi alternatif model/sistem/teknologi alternatif untuk mengembangkan sistem pertanian/agribisnis modern berkelanjutan Sistem logistik yang efisien

PILIHAN SAINS/TEKNOLOGI

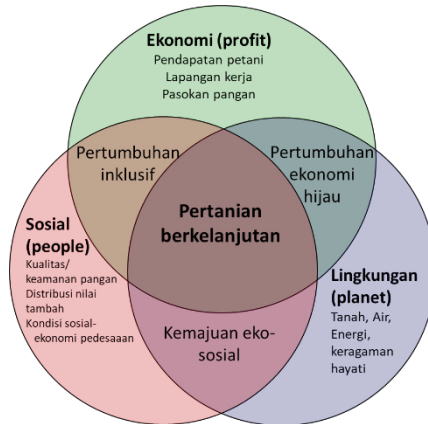
Prinsip Dasar

Pengembangan inovasi teknologi sangat penting bagi pembangunan sektor pertanian. Arah penelitian dan pengembangan inovasi teknologi perlu ditetapkan sesuai dengan kebutuhan inovasi. Berdasarkan pengalaman pada masa lalu dimana orientasi peningkatan produksi saja tidak cukup karena telah menimbulkan eksternalitas dan dampak negatif yang tidak diperhitungkan, maka berkembang pemikiran tentang teknologi pertanian modern berkelanjutan. Perubahan paradigma kearah pembangunan pertanian berkelanjutan memerlukan masa transisi karena secara radikal mengubah paradigma pembangunan pertanian status quo (FAO 2017).

Pertanian berkelanjutan terus dipromosikan oleh FAO. Pencapaian visi FAO bahkan dilakukan melalui sistem pertanian yang berkelanjutan secara ekonomi, sosial, dan lingkungan' (FAO 2017). Hal ini karena pertanian berkelanjutan menjadi bagian penting dari *Sustainable Development Goals/SDG*. Ada tiga aspek dasar dari pertanian berkelanjutan, yaitu keberlanjutan dari aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Sebutan lain dari ketiga aspek tersebut adalah 3 – P (*profit-people-planet*). Ketiga aspek tersebut saling berkaitan satu sama lain, sebagaimana digambarkan pada Gambar 6.

Modernisasi pertanian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi melalui penggunaan teknologi mekanisasi dan bahan-bahan kimia pada suatu tingkat output tertentu (Otchia 2014). Efisiensi biaya produksi, yang berdampak pada peningkatan keuntungan usaha, menjadi sangat penting karena menjadi pertimbangan utama bagi petani/pengguna teknologi dalam pengambilan keputusan adopsi teknologi (Scandizzo dan

Savastano 2010; Gonzalvo *et al.* 2020). Akan tetapi, keberlanjutan aspek ekonomi tetap perlu menjadi pertimbangan utama untuk menjamin kepentingan generasi mendatang.



Gambar 6. Keterkaitan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada pertanian berkelanjutan (dimodifikasi dari Nguyen, 2015)

Aspek sosial juga perlu dipertimbangkan. Salah satu kritik terhadap revolusi hijau adalah munculnya berbagai dampak sosial dalam bentuk meningkatnya kesenjangan pendapatan, kesenjangan distribusi asset, dan memperparah angka kemiskinan absolut (IFPRI 2002). Pertanian modern berkelanjutan dengan demikian tetap perlu berpihak pada petani miskin dan petani kecil (Otchia 2014).

Perhatian terhadap aspek lingkungan dan efisiensi sektor pertanian demi kepentingan generasi mendatang terus mengemuka (Kusz 2014). Otchia (2014) dalam penyusunan skema modernisasi pertanian, memasukkan pertanian organik untuk menjaga kesuburan tanah serta menghindari penggunaan bahan kimia yang berlebihan. Modernisasi bahkan mencakup penerapan rotasi tanaman atau rotasi tanaman-ternak terintegrasi, tumpangsari, penutup tanam atau pupuk hijau, dan bahan

kompos limbah (Otchia 2014). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa rehabilitasi dan konservasi sumberdaya berdampak positif. Misalnya Calle (2020) menunjukkan dampak positif dari *Payments for ecosystem services*/PES dengan membandingkan citra satelit tutupan lahan sebelum dan 13 tahun setelah implementasi PES. Upaya untuk mengatasi erosi tanah yang mengancam keberlanjutan kegiatan pertanian (Syabeera *et al.* 2020), salah satu diantaranya adalah program “*Grain for Green*” (GfG) di Dataran Loess, Cina sejak tahun 1999 yang disebut sebagai proyek konservasi terbesar di dunia (Tang *et al.* 2013).

Ketiga aspek utama pembangunan pertanian berkelanjutan juga dikembangkan pada sistem pangan (*sustainable food system*/SFS) (Nguyen 2015). SFS mampu menciptakan ketahanan pangan dan nutrisi untuk semua orang tanpa mengganggu basis ekonomi, sosial dan lingkungan bagi generasi mendatang. Konsep pangan berkelanjutan ini menguntungkan (aspek ekonomi), bermanfaat luas bagi masyarakat (aspek sosial), dan berdampak positif atau netral pada lingkungan (aspek kelestarian lingkungan) (Nguyen 2015).

Kriteria Teknologi

Berdasarkan pertimbangan ketiga aspek di atas FAO (2017) merumuskan lima prinsip pengembangan pertanian berkelanjutan, yaitu:

1. Meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya
2. Tindakan langsung untuk melestarikan, melindungi dan meningkatkan kapasitas sumber daya alam
3. Pertanian harus mampu melindungi dan mengembangkan sumber mata pencaharian masyarakat di pedesaan, menjamin terjadinya pemerataan dan kesejahteraan sosial masyarakat secara berkelanjutan

4. Meningkatkan ketahanan (resiliensi) masyarakat, komunitas, dan ekosistem sebagai kunci bagi pertanian berkelanjutan
5. Mekanisme tata kelola yang bertanggung jawab dan efektif untuk pemenuhan pangan dan pertanian berkelanjutan

Berdasarkan lima prinsip di atas, FAO mengembangkan tiga pilar pendekatan koordinatif yang saling terkait agar pertanian lebih produktif dan berkelanjutan (FAO 2017). Pendekatan tersebut meliputi:

1. **Efisien dalam penggunaan sumberdaya.** Paradigma intensifikasi pertanian perlu diarahkan pada intensifikasi pertanian berkelanjutan, yaitu upaya menghasilkan lebih banyak produk dengan meminimalkan dampaknya pada sumber daya. Peningkatan efisiensi dan produktivitas perlu dilakukan karena lahan semakin terbatas (Keating *et al.* 2010; FAO, 2017). Produksi pertanian diarahkan pada lahan pertanian eksisting karena penambahan lahan baru tidak mudah dilakukan. Keating *et al.* (2010) menyebutnya dengan eko-efisiensi, yaitu upaya meningkatkan produksi dengan sumber daya/input yang lebih sedikit baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Eko-efisiensi mencakup keterkaitan dan pertukaran antara produksi, konservasi, ekonomi, dan nilai-nilai sosial pada skala lanskap (Groot *et al.* 2007). Untuk itu perlu pendekatan multi-disiplin (Keating *et al.* 2010), khususnya untuk mengatasi tantangan perubahan iklim ekstrim dan munculnya berbagai gangguan penyakit baru.
2. **Perlindungan dan pelestarian lingkungan.** Upaya perlu ditujukan untuk merawat sumber daya sebaik-baiknya, berupa menjaga keanekaragaman hayati ekosistem, air, kesuburan tanah dan mengurangi polusi. Berbagai jasa ekosistem diperoleh dari sektor pertanian berupa kontribusi finansial, perbaikan kualitas lanskap, konservasi alam, dan kualitas lingkungan (Groot *et al.* 2007). Pertanian berkelanjutan juga

menjadi sumber bahan pangan bernutrisi, udara bersih, tanah yang sehat, hama dan penyakit terkendali, dan biodiversitas terjaga (FAO 2017). Di dalam pertanian ini, digunakan bahan genetik yang paling sesuai dengan kondisi agroekologi setempat.

3. **Penciptaan sistem pertanian yang resilien.** Pertanian sangat sensitif terhadap perubahan iklim. Pertanian berkelanjutan akan menjadikan sektor pertanian mampu beradaptasi dan memitigasi perubahan iklim. FAO mendorong pengembangan *Climate-Smart Agriculture* (CSA) sebagai pendekatan pertanian yang secara efektif dapat mendukung pembangunan dan memastikan ketahanan pangan dalam iklim yang berubah (FAO 2017).

Selain ketiga pilar di atas, berdasarkan karakter pertanian yang spesifik lokasi, pengembangan teknologi juga perlu dikembangkan dengan mengakomodasi kondisi agroekologi dan kebutuhan masyarakat di lokasi pengembangan yang bersifat spesifik lokasi. Orientasi penyediaan produk pertanian berskala nasional atau global tidak perlu mengalahkan kepentingan masyarakat lokal.

Pilihan teknologi untuk Pertanian Modern Berkelanjutan

Berdasarkan uraian di atas, pengembangan teknologi pertanian modern berkelanjutan perlu diarahkan pada teknologi yang menguntungkan secara ekonomi, layak secara sosial, dan menjamin keberlanjutan lingkungan atau mengembangkan pertanian yang selaras dengan ekosistem. Praktek pertanian tersebut harus dapat menjaga kesehatan tanah, menggunakan sumberdaya lahan dan air secara bijaksana, tidak berdampak negatif pada lingkungan dalam bentuk mencemari udara, air, dan iklim, serta memanfaatkan dan menjaga biodiversitas.

Kebutuhan inovasi untuk menciptakan pertanian modern berkelanjutan sangat luas. Keterbatasan sumberdaya mendorong perlunya penetapan prioritas. Teknologi dan inovasi yang dipandang perlu untuk dikembangkan dan mendapatkan prioritas tinggi oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) dapat diklasifikasikan menjadi lima bagian, yaitu:

1. Teknologi dan inovasi dengan fokus komoditas untuk tujuan tertentu, antara lain bahan pangan pokok nasional dan lokal, produk pertanian yang berdampak pada inflasi, bahan baku industri konvensional dan prospektif, produk energi pertanian, serta komoditas berorientasi ekspor dan atau substitusi impor.
2. Teknologi dan inovasi sistem usahatani/agribisnis untuk optimalisasi sumberdaya pertanian pada agroekosistem spesifik, antara lain agroekosistem lahan kering, lahan di sekitar kawasan hutan, lahan sawah, lahan rawa, dan lahan gambut baik di dataran tinggi, dataran rendah, beriklim basah maupun iklim kering.
3. Teknologi dan inovasi sistem usahatani untuk pengembangan, rehabilitasi, dan konservasi lahan dan air, antara lain di kawasan lahan potensial untuk pertanian, lahan kering berlereng, lahan bekas tambang, dan lahan terlantar. Hal ini diperlukan terkait dengan upaya penambahan lahan pertanian baru.
4. Teknologi dan inovasi teknologi pendukung, antara lain terkait dengan pengembangan alat dan mesin pertanian untuk mekanisasi budidaya pertanian, teknologi panen dan pasca panen untuk peningkatan nilai tambah dan pengembangan produk-produk olahan sesuai perubahan selera konsumen/industri, pengelolaan dan pemanfaatan biodiversitas, dan pengelolaan dan pengembangan sumberdaya pertanian.

- Teknologi dan inovasi sistem usaha pertanian modern/frontier. Lingkungan strategis, sains dan teknologi, serta masyarakat yang terus berkembang berimplikasi pada terbukanya peluang pengembangan teknologi dan inovasi baru. Teknologi frontier perlu diupayakan untuk menjamin ketersediaan inovasi pada saat dibutuhkan.

Matrik teknologi dan inovasi yang dapat dikembangkan oleh Balitbangtan serta besaran bobot aspek/dimensi berdasar klasifikasi inovasi ditampilkan pada Tabel 11. Sesuai dengan jenis teknologi dan inovasi yang dikembangkan, teknologi prospektif dipilih berdasarkan peluang dalam menyelesaikan masalah dan atau kemampuan menjawab tujuan yang ditetapkan, baik secara teknis, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Secara teknis inovasi dinilai prospektif apabila antara lain dapat meningkatkan produktivitas, menurunkan losses, mempertahankan mutu, memperpanjang umur simpan, meningkatkan, meningkatkan nilai tambah, mempercepat/memperlambat kematangan, rendah emisi, stabil, berdaya adaptasi luas, mudah dioperasikan dan perawatannya mudah, suku cadang tersedia, serta dapat diintegrasikan dengan teknologi lainnya.

Dari aspek ekonomi, inovasi dinilai prospektif apabila lebih menguntungkan, lebih efisien, berbiaya murah, dan meningkatkan daya saing. Sementara itu dari sisi sosial, inovasi prospektif apabila tidak bertentangan dengan nilai budaya masyarakat, bersifat inklusif dan bebas skala. Sedangkan dari aspek lingkungan, inovasi teknologi prospektif adalah inovasi yang hemat dalam penggunaan sumberdaya, bersifat rehabilitatif dan konservatif, tidak mendegradasi/membahayakan lingkungan, dan mencemari lingkungan.

Tabel 11. Klasifikasi dan Contoh Inovasi serta Fokus Aspek/Dimensi pada Tiap Klasifikasi Pengembangan Teknologi Inovasi

Klasifikasi teknologi dan inovasi	Contoh Inovasi	Fokus Aspek/Dimensi ^{a)}		
		ekonomi	lingkungan	Sosial
Inovasi dengan fokus komoditas (a.l. bahan pangan pokok nasional dan lokal, produk pertanian pengendali inflasi, bahan baku industri konvensional dan prospektif, produk energi pertanian, komoditas berorientasi ekspor dan substitusi impor)	• Pemuliaan untuk menghasilkan varietas/ rumpun unggul (provitass tinggi, tahan penyakit, hemat input, tahan cekaman biotik/abiotik) • Teknologi produksi benih/bibit unggul • <i>presision farming</i> • Pengelolaan tanaman/ ternak secara terpadu (komponen dan paket teknologi) • Teknik deteksi dini dan pengendalian hama/penyakit yang efektif dan terpadu (komponen dan paket teknologi) • Penanganan panen, pasca panen, pergudangan, dan distribusi • Alat mesin pertanian • Model kelembagaan SDM dan SDA • Pengelolaan SDM	***	**	**

Klasifikasi teknologi dan inovasi	Contoh Inovasi	Fokus Aspek/Dimensi ^{*)}		
		ekonomi	lingkungan	Sosial
	dan SDA di kawasan pertanian			
Inovasi sistem usahatani/agribisnis untuk optimalisasi sumberdaya pertanian pada agroekosistem spesifik (a.l lahan kering, lahan di kawasan hutan, lahan sawah, lahan rawa, lahan gambut)	• varietas/rumpun unggul spesifik • Pengelolaan sumberdaya hayati • Teknologi ramah lingkungan (rotasi/pola tanam, tanaman penutup tanah, teknologi minimum/tanpa olah tanah, tanam benih langsung, pengendalian hama terpadu/PHT) • Integrasi ternak-tanaman • Sistem pertanian bioindustri berkelanjutan • Praktik agroforestri • Pengelolaan ekosistem dan lanskap pertanian • Alat mesin pertanian spesifik • Model kelembagaan SDM dan SDA	**	**	**
Inovasi sistem usahatani untuk rehabilitasi dan konservasi lahan	• varietas/rumpun unggul spesifik • Pengelolaan dan perbaikan	*	***	**

Klasifikasi teknologi dan inovasi	Contoh Inovasi	Fokus Aspek/Dimensi ^{*)}		
		ekonomi	lingkungan	Sosial
dan air (a.l. lahan kering berlereng, lahan bekas tambang, lahan terlantar)	sumberdaya lahan dan air • Pengelolaan sumberdaya hayati • Rotasi tanaman dan tanaman penutup pada musim bera • Integrasi ternak – tanaman • Pertanian bioindustri berkelanjutan • Teknologi sistem usahatani konservasi • Pengelolaan ekosistem dan lanskap • pertanian • Alat mesin pertanian spesifik • Model kelembagaan SDM dan SDA			
Inovasi teknologi pendukung (mekanisasi, panen, pasca panen, biodiversitas, pengembangan sumberdaya pertanian)	Alat mesin pertanian otomatisasi pertanian Pemanfaatan Artificial Intelligence Teknologi deteksi mutu dan cemaran Teknologi panen dan pascapanen yang efisien, terpadu, susut hasil minimal, dan rendemen tinggi	***	**	*

Klasifikasi teknologi dan inovasi	Contoh Inovasi	Fokus Aspek/Dimensi ^{*)}		
		ekonomi	lingkungan	Sosial
	Teknologi packing/ penyimpanan/ pergudangan Teknologi olahan pangan yang aman dan dapat meningkatkan nilai tambah Teknologi modern untuk pengendalian mutu dan keamanan pangan Konservasi dan pemanfaatan dan sumberdaya hayati Karakteristik dan pemanfaatan potensi sumberdaya pertanian Model kelembagaan SDM lingkungan Otomatisasi pertanian <i>Artificial Intelligence</i>			
Inovasi sistem usaha pertanian modern dan atau frontier	• <i>Urban farming</i> • Pertanian lahan sempit (<i>greenhouse modern, vertical farming/ pertanian indoor</i>) • Pertanian presisi • Otomatisasi pertanian • <i>Internet of thing/artificial intelligence</i> • Pengembangan/p roduk pertanian alternatif • Pengembangan	***	**	*

Klasifikasi teknologi dan inovasi	Contoh Inovasi	Fokus Aspek/Dimensi ^{*)}		
		ekonomi	lingkungan	Sosial
	<i>blockchain</i> untuk ketahanan pangan dan <i>traceability</i> untuk keamanan pangan			

^{*)} semakin banyak tanda * semakin besar bobot aspek/dimensi tersebut.

POSISI DAN PERAN BALITBANGTAN DALAM PENYEDIAAN SAINS/TEKNOLOGI PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Undang-undang nomor 11 tahun 2019 tentang sistem nasional ilmu pengetahuan dan teknologi membagi penelitian menjadi dua, yaitu (i) penelitian dasar yang bertujuan mengembangkan teori ilmiah atau prinsip dasar suatu bidang ilmu untuk meningkatkan pemahaman atau kemampuan memprediksi fenomena alam dan (ii) penelitian terapan atau penelitian ilmiah berbasis ilmu pengetahuan yang telah dikuasai dan/atau hasil penelitian dasar untuk mendapatkan solusi atas permasalahan yang dihadapi dan/atau untuk dapat memenuhi kebutuhan manusia. Undang-undang tersebut juga memuat pengkajian, pengembangan, dan penerapan invensi dan inovasi serta para pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengembangan IPTEK di Indonesia. Berdasarkan pengertian dan cakupan kegiatannya, penelitian dasar hingga penerapan IPTEK secara luas membentuk satu kontinum yang tidak terpisahkan. Balitbangtan-Kementerian Pertanian (Kementan) menjadi salah satu lembaga yang secara langsung terlibat dalam kegiatan penelitian, pengkajian, pengembangan, dan penerapan inovasi teknologi.

Menurut Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia (Permentan) nomor 43 tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata

Kerja Kementerian Pertanian, Balitbangtan bertugas untuk menyelenggarakan penelitian, pengembangan dan inovasi di bidang pertanian dengan dua fungsi, yaitu (1) melaksanakan penelitian, pengembangan dan inovasi, dan (2) menyebarkan hasil penelitian, pengembangan dan inovasi di bidang pertanian. Alur penyediaan inovasi sejak penelitian hingga penerapan teknologi diatur dalam Permentan nomor 3 tahun 2005 tentang pedoman penyiapan dan penerapan teknologi pertanian. Permentan no 3 tidak memisahkan penelitian dasar dan penelitian terapan. Berbeda dengan lembaga penelitian di Perguruan Tinggi yang lebih banyak melakukan penelitian dasar, Balitbangtan lebih banyak melaksanakan penelitian terapan dengan harapan hasilnya dapat langsung diterapkan oleh pengguna.

Visi Balitbangtan adalah ‘menjadi lembaga penelitian terkemuka penghasil teknologi dan inovasi pertanian modern untuk mewujudkan kedaulatan pangan dan kesejahteraan petani’. Balitbangtan menetapkan misi untuk (1) Menghasilkan dan mengembangkan teknologi pertanian modern yang memiliki *scientific recognition* dengan produktivitas dan efisiensi tinggi, dan melakukan (2) Hilirisasi dan masalisasi teknologi pertanian modern sebagai solusi menyeluruh permasalahan pertanian yang memiliki *impact recognition*.

Sejalan dengan berkembangnya tren keterbukaan informasi, Balitbangtan juga berperan serta dalam mengembangkan prinsip *open science* dan *open innovation*. Sesuai prinsip *open science*, Balitbangtan berkerja kooperatif dengan berbagai lembaga penelitian dan mengembangkan strategi baru dalam diseminasi pengetahuan melalui penggunaan teknologi digital dan alat kolaborasi baru melalui sistem *open access* and *open source*. *Open science* dapat memperkuat dan meningkatkan ilmu pengetahuan melalui transparansi, keterbukaan, jejaring dan kolaborasi, dan penelitian antar-disiplin. Selanjutnya *open innovation* bermakna inovasi spesifik bukan lagi merupakan kegiatan inovasi mandiri

yang terisolasi, tetapi merupakan hasil dari proses penciptaan bersama yang kompleks yang melibatkan aliran pengetahuan di seluruh lingkungan ekonomi dan sosial. Dalam open innovation, proses inovasi melibatkan semua pemangku kepentingan sehingga pengetahuan beredar lebih cepat dan bebas sehingga dapat diubah menjadi produk dan layanan untuk menciptakan pasar baru dan memperkuat budaya kewirausahaan.

Secara umum, sesuai dengan tagline Balitbangtan “*scientific-innovation-network*”, Balitbangtan dalam menjalankan tugasnya berkoordinasi, bermitra, dan bekerja sama dengan berbagai lembaga penelitian lainnya baik yang berskala domestik, nasional, maupun global dengan tetap mengusung prinsip kemandirian, kedaulatan, *win-win solution* dan mengedepankan kepentingan nasional. Kerjasama dan kemitraan antar lembaga, selain sebagai upaya memperoleh *scientific* dan *impact recognition*, juga dikembangkan agar dapat segera memperoleh output penelitian (*quick harvest*) sesuai dengan prinsip anggaran berbasis kinerja (*performance based budgeting*). Kerjasama antar lembaga juga dikembangkan sesuai dengan prinsip pengembangan teknologi dan inovasi Balitbangtan yang “tidak harus mulai dari nol” dan sumber teknologi tidak harus berasal dari hasil penggalian/penggalian Balitbangtan sendiri dengan tetap memberikan kredit dan penghargaan kepada sumber teknologi awal.

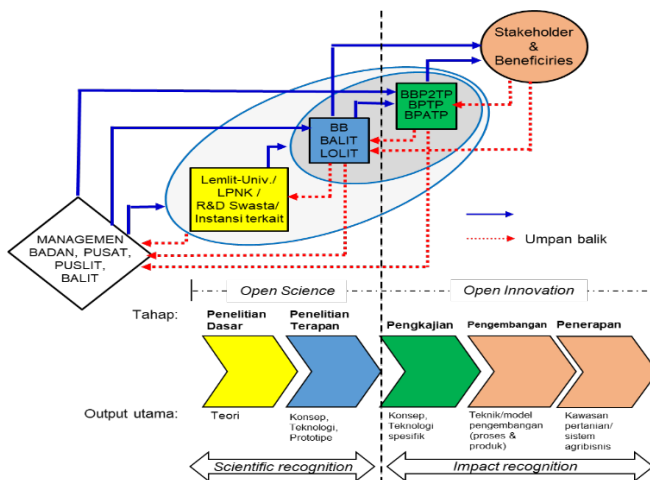
Misi pertama Balitbangtan dijalankan utamanya oleh Pusat dan Balai Penelitian komoditas berskala nasional. Teknologi yang dihasilkan memanfaatkan ilmu pengetahuan terbaru dari lembaga penelitian dasar, serta *open access* dan *open sources* yang selanjutnya digabungkan dengan kearifan lokal. Harapannya, keunggulan teknologi mendapat pengakuan dari masyarakat ilmiah dan diterima oleh petani sebagai pengguna utama. Misi kedua Balitbangtan untuk melakukan hilirisasi dan masalisasi teknologi pertanian, khususnya dijalankan oleh Balai Pengkajian Teknologi

Pertanian dengan wilayah kerja provinsi. Teknologi terapan hasil penelitian Puslit/Balitnas akan diuji adaptasikan dan dimodifikasi sesuai kondisi spesifik agar dapat digunakan oleh pengguna untuk mendorong pembangunan sektor pertanian, BPTP juga ditugaskan untuk melakukan pengkajian teknologi spesifik lokasi dan menjangkau umpan balik dari pengguna teknologi.

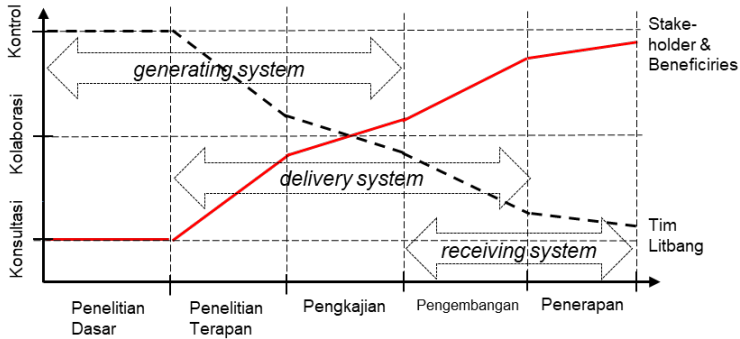
Jalinan kerjasama antara Balitbangtan dengan lembaga penelitian lain, khususnya lembaga penelitian dasar, dan antar unit kerja Balitbangtan serta alur dari penelitian dasar hingga penerapan teknologi secara luas dapat dilihat pada Gambar 7. Alur dari setiap tahap penelitian pada dasarnya merupakan kontinum dan saling berkaitan satu sama lain. Walaupun demikian setiap tahap mempunyai output utama yang berbeda.

Terkait dengan diseminasi teknologi kepada pengguna, Balitbangtan telah mengembangkan sistem diseminasi multi kanal (*system dissemination multi channel/SDMC*) (Syakir 2015), Dalam SDMC ada tiga sistem yang dikembangkan, yaitu *generating system*, *delivery system*, dan *recieving system*. SDMC perlu dikembangkan dan disempurnakan sesuai dengan perkembangan lingkungan strategis. Permentan nomor 11 Tahun 2019 tentang perubahan organisasi dan tata kerja BPTP, telah memperluas tugas BPTP. BPTP tidak lagi sekedar melaksanakan penelitian, pengkajian dan perakitan teknologi pertanian tepat guna spesifik lokasi, serta mengembangkannya, tetapi juga ditugaskan untuk melakukan perakitan materi penyuluhan, diseminasi hasil, dan sekaligus melaksanakan bimbingan teknis serta melakukan pendampingan penerapan teknologi mendukung pelaksanaan program dan kegiatan strategis pertanian yang dilaksanakan oleh Ditjen Teknis. Oleh karena itu alur penelitian hingga penerapan inovasi yang sebelumnya diatur dalam Permentan nomor 3 tahun 2005, perlu dimodifikasi.

Kesesuaian antara inovasi teknologi yang dihasilkan dengan kebutuhan riil lapangan perlu terus diupayakan. Untuk itu pemangku kepentingan dan pengguna teknologi sedapat mungkin sudah dilibatkan sejak awal proses, khususnya sejak tahap penelitian terapan dimulai (Gambar 8). Keterlibatan pemangku kepentingan meningkat sejalan dengan tahapan pengembangan inovasi. Pada tahap pengkajian, kolaborasi antara pemangku kepentingan dan tim Balitbangtan makin menguat. Kolaborasi ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk segera mengenali keunggulan inovasi teknologi yang dikaji dan segera mengembangkannya dalam skala yang lebih luas. Proporsi pemangku kepentingan ini akan semakin dominan pada tahap pengembangan dan penerapan inovasi. Di sisi lain, sebagai konsekuensi dari Permentan nomor 11 Tahun 2019, Balitbangtan juga tetap perlu berkontribusi walaupun inovasi yang dikembangkan telah sampai pada tahap penerapan teknologi. Bentuk kontribusi tim Balitbangtan pada tahap penerapan inovasi terutama dalam bentuk konsultasi/advokasi kepada pengguna.



Gambar 7. Tahapan dan Alur dari Penelitian Dasar Hingga Penerapan Inovasi di Lapangan (Modifikasi dari Haryono 2020 dan Permentan Nomor 3 tahun 2005)



Gambar 8. Proporsi Keterlibatan Stakeholder dan Tim Litbang pada Tiap Tahap Pengembangan Inovasi (modifikasi dari Douthwite 2003)

Peran Balitbangtan pada pembangunan sektor pertanian di Indonesia selama ini cukup besar. Sejumlah inovasi hasil Balitbangtan menjadi komponen teknologi utama pada program Ditjen Teknis. Yang menonjol di bidang pangan misalnya sebagian besar varietas padi yang ditanam petani merupakan varietas yang dihasilkan oleh Balitbangtan. Pendekatan Pengelolaan Tanaman secara Terpadu (PTT) yang awalnya digunakan untuk meningkatkan produktivitas padi, terus berkembang dan diterapkan pada komoditas lainnya. Inovasi pada sub sektor perkebunan, peternakan, dan hortikultura, serta inovasi pengelolaan sumberdaya pertanian, mekanisasi, dan kebijakan pertanian juga cukup signifikan mewarnai pembangunan pertanian Indonesia.

Peran Balitbangtan pada masa yang akan datang akan semakin strategis. Selain perannya dalam penyediaan inovasi pertanian yang makin besar, Balitbangtan akan berperan secara langsung di lapangan melalui tugas pendampingan program strategis Kementan yang dijalankan oleh Ditjen Teknis. Dalam pengembangan inovasi teknologi, selain memperhatikan

dinamika lingkungan strategis, tiga aspek atau dimensi yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan tetap perlu diakomodasi.

Dimensi sosial perlu diperhatikan karena Balitbangtan-Kementan merupakan lembaga publik yang dibiayai oleh APBN. Teknologi yang dikembangkan perlu lebih banyak diarahkan pada pengguna atau petani berskala kecil dan menengah. Lembaga pemerintah, sesuai dengan fungsinya sebagai regulator dan fasilitator, dibentuk untuk membantu dan berpihak pada golongan masyarakat yang lemah/aksesnya terbatas. Proporsi dimensi sosial dapat ditingkatkan dengan mengembangkan teknologi yang bebas skala dan eksplorasi sumberdaya genetik komoditas yang eksotik dan *distinctive*.

Terkait dengan risiko perubahan iklim, teknologi harus mempunyai daya adaptasi dan resiliensi terhadap perubahan iklim ekstrim (Srinivasa *et al.* 2020). Peran Balitbangtan diharapkan dapat lebih nyata dalam menghasilkan sistem pangan yang berkelanjutan, termasuk teknologi pengolahan pangan yang sehat dengan sejumlah dimensinya.

Pengembangan teknologi oleh Balitbangtan juga perlu lebih memperhatikan dan mengakomodasi revolusi digital yang tengah berlangsung agar inovasi yang dihasilkan tetap relevan dengan perkembangan jaman. Pemanfaatan teknologi sensor, kecerdasan buatan, dan robotika yang semakin murah, sangat memungkinkan menjadi sarana peningkatan efisiensi produksi pertanian serta meminimalkan penggunaan sumber daya (Rotz *et al.* 2019).

Di tengah fenomena semakin berkurangnya lahan pertanian, tekanan untuk meningkatkan produksi pertanian semakin besar. Pemanfaatan lahan sub optimal, upaya rehabilitasi dan konservasi sumberdaya lahan menjadi semakin mendesak untuk dilaksanakan. Pendekatan partisipatif dengan melibatkan masyarakat untuk menjamin keberlanjutan pemanfaatan dan penerapan inovasi semakin penting, misalnya melalui

pemberdayaan masyarakat di sekitar hutan sebagai upaya konservasi sumberdaya dan peningkatan kesejahteraan masyarakat sekitar hutan (Corbera *et al.* 2017). Pengembangan sistem usahatani konservasi di DAS Yangou di dataran Loess China dari tahun 1997 hingga 2006, menunjukkan hasil positif berupa peningkatan kualitas lahan dan pendapatan masyarakat (Tang *et al.* 2013). Dua kasus tersebut menunjukkan pertanian berkelanjutan tidak dapat dipisahkan dari dimensi sosial dan biofisiknya, serta tata kelola partisipatif dan kolaboratif dari para pemangku kepentingan (Bergsten *et al.* 2019).

Penerapan inovasi pertanian modern berkelanjutan secara luas oleh para pengguna tidak lepas dari upaya diseminasi. Balitbangtan perlu secara aktif berperan mendorong penyempurnaan sistem diseminasi. Sistem diseminasi multi kanal (*system dissemination multi channel/SDMC*) perlu disempurnakan dan dikembangkan agar lebih efektif sehingga para petani secara masif mempunyai kemampuan untuk mengenali keunggulan teknologi baru dalam waktu yang sesingkat-singkatnya (FAO 2017). Bahkan di era revolusi industri 4.0, adopsi teknologi yang mengintegrasikan IoT dalam sistem pertanian akan tetap memerlukan waktu (Digital_Transformation_Monitor 2017). Tantangan utamanya adalah standarisasi (Guillemin *et al.* 2013) agar inovasi baru kompatibel dengan peralatan yang sudah tersedia, kemampuan investasi petani untuk memodernisasi sistem pertaniannya, dan didukung oleh infrastruktur komunikasi di perdesaan terpencil (Digital_Transformation_Monitor 2017).

PENUTUP

Pembangunan sektor pertanian tidak terlepas dari inovasi teknologi hasil penelitian. Pengembangan teknologi dan inovasi perlu dilakukan secara berkesinambungan berdasarkan argumen:

(i) penerapan teknologi baru menjadi syarat mutlak bagi pembangunan pertanian, (ii) pembaharuan teknologi dan manajemen menjadi faktor kunci peningkatan produksi karena ketersediaan dan kinerja faktor-faktor produksi pertanian cenderung menurun, dan (iii) teknologi dan manajemen baru mampu mengubah keunggulan komparatif sektor pertanian Indonesia menjadi keunggulan kompetitif di pasar dunia.

Belajar dari penerapan teknologi pada masa lalu, perhatian pada aspek peningkatan produksi dan ekonomi yang berlebihan, berdampak negatif secara sosial dan membahayakan kelestarian alam. Pengembangan teknologi perlu memperhatikan prinsip keseimbangan antara aspek ekonomi (*profit*), sosial (*people*), dan lingkungan (*planet*) untuk mendorong terciptanya sistem pertanian Indonesia yang modern dan berkelanjutan.

Kebutuhan teknologi untuk menciptakan pertanian modern yang berkelanjutan dapat dibagi berdasarkan, yaitu (i) tujuan pengembangan teknologi yang selaras dengan pencapaian target SDG, (ii) sub-sistem agribisnis atau sistem usaha pertanian, dan (iii) peruntukan kebutuhan teknologi berdasarkan penggunaannya.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian menjadi salah satu sumber inovasi teknologi pertanian. Teknologi dan inovasi Balitbangtan perlu memenuhi kriteria mampu meningkatkan efisiensi, menjamin keberlanjutan, meningkatkan kesejahteraan sosial, meningkatkan ketahanan masyarakat dan lingkungan, dan dapat dikelola secara efektif. Teknologi yang dikembangkan juga perlu mengakomodasi kondisi spesifik masyarakat dan sumberdaya setempat, mampu menjawab tantangan, dan mengikuti tren perkembangan teknologi.

Ada lima katagori penelitian dan pengembangan inovasi teknologi pertanian yang dapat dikembangkan oleh Balitbangtan, yaitu teknologi dan inovasi komoditas untuk tujuan tertentu; sistem usahatani/agribisnis untuk optimalisasi sumberdaya

pertanian pada agroekosistem spesifik; sistem usahatani untuk pengembangan; rehabilitasi, dan konservasi lahan dan air; teknologi pendukung; dan teknologi dan inovasi sistem usaha pertanian modern dan atau frontier. Setiap katagori mempunyai bobot aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial yang berbeda.

Peran dan posisi Balitbangtan sebagai penyedia inovasi teknologi pertanian sangat strategis, karena berada pada posisi sebagai pelaksana penelitian, pengkajian, pengembangan, hingga penerapan teknologi oleh pengguna. Pada setiap tahap, Balitbangtan berkolaborasi dengan lembaga litkaji dan para pemangku kepentingan. Kontribusi pemangku kepentingan semakin ke hilir semakin dominan, sedang peran Balitbangtan semakin menurun.

Infrastruktur dan supra struktur yang sudah dibangun oleh Balitbangtan sangat baik, dalam wujud sumberdaya manusia, sarana prasarana, dan jejaring kerja sama luas di tingkat global dan nasional. Oleh karena itu Balitbangtan dapat berkontribusi signifikan dalam memberikan arah pembangunan pertanian Indonesia yang modern dan berkelanjutan.

Balitbangtan perlu berkontribusi dalam penyempurnaan metode diseminasi teknologi tanpa tatap muka. Hal ini terkait dengan keberadaan staf fungsional penyuluh dan tugas baru bagi Balitbangtan (melalui BPTP) untuk menyusun materi diseminasi, melakukan bimbingan teknis kepada para penyuluh, serta melakukan pendampingan program strategis. Sistem diseminasi yang baik akan menjadi pintu masuk bagi pengguna teknologi agar secara cepat mengenali keunggulan teknologi baru. Efektivitas diseminasi menentukan kecepatan adopsi teknologi pertanian modern berkelanjutan secara luas oleh para pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., & ten Broek, N. (2017). Blockchain could boost food security. *Nature*, 550 (7674), 43-43.
- Anggraini, N., & Trisakti, B. (2011). Kajian dampak perubahan iklim terhadap kebakaran hutan dan deforestasi di provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 8.
- Ayubu J. Churi, Malongo R. S. Mlozi, Henry Mahoo, Siza D. Tumbo, Respicius Casmir (2013). A decision support system for enhancing crop productivity of smallholder farmers in semi-arid agriculture. *International Journal of Information and Communication Technology Research*. 3 (8), 238-248.
- Azrai, M. (2017). Penampilan varietas jagung unggul baru bermutu protein tinggi di Jawa dan Bali. *Buletin Plasma Nutfah*, 10(2), 49-55.
- Bantacut, T., Firdaus, Y. R., & Akbar, M. T. (2015). Pengembangan Jagung untuk Ketahanan Pangan, Industri dan Ekonomi Corn Development for Food Security, Industry and Economy. *Jurnal Pangan*, 24(2), 135-148.
- Bergsten, A., Jiren, T. S., Leventon, J., Dorresteijn, I., & Schultner, J. (2019). Identifying governance gaps among interlinked sustainability challenges. *Environmental Science and Policy*, 91(October 2018), 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.007>

- BMG [Badan Meteorologi dan Geofisika]. (2003). *Pemilayahan Daerah Tipe Hujan dan Evaluasi Musim Kemarau 2003 serta Prakiraan Sementara Musim Hujan 2003/2004 Kabupaten Indramayu*. Jakarta.
- Bossler, J.D. (ed.). (2001). *Manual of geospatial science and technology*. Taylor & Francis Group plc, UK. 664 p.
- Badan Pusat Statistik. (2014a). *Proyeksi Penduduk*. [online], (<http://www.bps.go.id/subject/12/kependudukan.html#subjekViewTab3>, diakses tanggal 12 Mei 2020).
- Badan Pusat Statistik. (2014b). *Data Kemiskinan*. www.bps.go.id.
- Badan Pusat Statistik. (2017). *Laju Pertambahan Penduduk*. [online], (<http://www.bps.go.id/subject/12/kependudukan.html#subjekViewTab3>, diakses tanggal 12 Mei 2020).
- Calle, A. (2020). Can short-term payments for ecosystem services deliver long-term tree cover change? *Ecosystem Services*, 42, 101084. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101084>
- Corbera, E., Martin, A., Springate-baginski, O., & Villaseñor, A. (2017). Land Use Policy Sowing the seeds of sustainable rural livelihoods? An assessment of Participatory Forest Management through REDD + in Tanzania. *Land Use Policy*, (March), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.09.037>
- Deptan (Departemen Pertanian). (2002). *Pembangunan Sistem Agribisnis sebagai Penggerak Ekonomi Nasional*. 92 hal.
- Digital_Transformation_Monitor. (2017). Industry 4.0 in Agriculture: Focus on IoT aspects. *Digital Transformation Monitor Industry*, (July), 6.
- Douthwaite, B. (2006). Enabling Innovation: Technology- and System-Level Approaches that Capitalize on Complexity. *Innovations*, no. February 2006: 93–110. <https://doi.org/10.1162/itgg.2006.1.4.93>.

- FAO. (2017). *Strategic work of FAO for Sustainable Food and Agriculture*. Rome.
- Gonzalvo, C. M., Stella, M., Tirol, C., Moscoso, M. O., Querijero, N. J. V. B., & Aala, W. F. (2020). Critical factors influencing biotech corn adoption of farmers in the Philippines in relation with the 2015 GMO Supreme Court ban. *Journal of Rural Studies*, 74(November 2019), 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.007>
- Groot, J. C. J., Rossing, W. A. H., Jellema, A., Stobbelaar, D. J., Renting, H., & Ittersum, M. K. Van. (2007). Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agricultural profits and landscape quality — A methodology to support discussions on land-use perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120, 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.037>
- Guillemin, P., Berens, F., Arndt, M., Ladid, L., Thubert, P., Percivall, G., ... Carugi, M. (2013). Internet of Things Standardisation - Status, Requirements, Initiatives and Organisations. In O. Vermesan & P. Friess (Ed.), *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. (hal. 259–276). Aalborg, Denmark: River Publishers.
- Hartono, R. *et al.* (2013) Penyusunan Alternatif Model Kelembagaan Kredit Usaha Pertanian di Perdesaan, *Informatika Pertanian*, 22(2), pp. 121–135.
- Haryono, 2020. Konsep dan Makna Modernisasi Pertanian Berkelanjutan. Dipresentasikan pada *Pertemuan Analisis Kebijakan Balitbangtan*, di Balitbangtan, Jakarta, 11 Maret 2020.
- Hidayat, S., Suryani, E., & Hendrawan, R. A. (2016). Sistem Dinamik Spasial Untuk Meningkatkan Efektifitas Dan Efisiensi Logistik Pada Rantai Pasok Pangan. *INTEGER: Journal of Information Technology*, 1(2).43-52.

- Hikmatullah, S., & Suharta, N. (2002). Potensi dan kendala pengembangan sumber daya lahan untuk pencetakan sawah irigasi di luar Jawa. *Jurnal Litbang Pertanian*, 21(4), 115-123.
- IFPRI. (2002). *Green Revolution: Curse or Blessing?* Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Indrasari, S. D., & Kristamtini, K. (2018). Biofortifikasi Mineral Fe dan Zn pada Beras: Perbaikan Mutu Gizi Bahan Pangan melalui Pemuliaan Tanaman. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 37(1), 9-16.
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2, 1-12.
- Kalantari, F., Mohd Tahir, O., Mahmoudi Lahijani, A., & Kalantari, S. (2017). A review of vertical farming technology: A guide for implementation of building integrated agriculture in cities. In *Advanced Engineering Forum*, 24, 76-91. Trans Tech Publications Ltd.
- Kandar, I. R. 2014. Kondisi sosial ekonomi masyarakat gunungkidul masarevolusi hijau (1970-1974). Skripsi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan.
- Kasryno, F. (2016). Sumber daya manusia dan pengelolaan lahan pertanian di pedesaan Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 18(1-2), 25-51.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Bindraban, P. S., Asseng, S., Meinke, H., & Dixon, J. (2010). Eco-efficient Agriculture : Concepts , Challenges , and Opportunities. *Crop Science*, 50(March–April), 109–119. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.10.0594>

- Kemenpupera (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2016), Peletakan batu pertama pembangunan irigasi air lakitan, [online], (<http://www.pu.go.id/berita/3813/peletakan-batu-pertama-pembangunan-irigasi-air-lakitan>, diakses tanggal 10 Mei 2020).
- Kiri, S. V., & Laponi, L. A. (2017). Otomatisasi Sistem Irigasi Tetes Berbasis Arduino Nano. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 2(1), 44-49.
- Kurniasih, D. (2013). The Analysis of Land Carrying Capacity and Non Behavioural Causes Effects to Farmer's Behaviour on Wet Land Conservations in Kulon Progo Regency, *Widyariset*, 16(1), 59-70.
- Kusz, D. (2014). Modernization of Agriculture Vs Sustainable Agriculture. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 14(1), 171-177.
- Llewellyn, D. (2018). Does Global Agriculture Need Another Green Revolution?, *Engineering. Chinese Academy of Engineering*, 4(4), 449-451. doi: 10.1016/j.eng.2018.07.017.
- Maramis, C. N. (2013). Analisis Pertumbuhan Ekonomi, Konsumsi, Investasi, dan Ekspor Neto di Indonesia dan Sulawesi Utara Sebelum dan Sesudah Krisis Finansial Global Tahun 2008. *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 1(4).
- Mayrowani, H. (2012). Pengembangan pertanian organik di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 30 (2), 91 – 108.
- Mosher, A.T. (1965). *Getting Agriculture Moving: Essential for development and Modernization..* New York: Praeger Publisher for the Agricultural Development Council.

- Mulyani, A., & Las, I. (2008). Potensi sumber daya lahan dan optimalisasi pengembangan komoditas penghasil bioenergi di Indonesia. *Jurnal Litbang pertanian*, 27(1), 31-41.
- Nguyen, H. (2015). Sustainable food systems: Concept and framework. FAO.
- Norman, D.W., F.D. Worman, J.D. Siebert, E. Modiakgotla. (1995). *The Farming Systems Approach to development and appropriate technology generation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Opara, L. U. (2003). Traceability in agriculture and food supply chain: a review of basic concepts, technological implications, and future prospects. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 101-106.
- Otchia, C. S. (2014). Agricultural Modernization, Structural Change and Pro-poor Growth: Policy Options for the Democratic Republic of Congo. *Journal of Economic Structures*, 3(8), 1–43. <https://doi.org/10.1186/s40008-014-0008-x>
- Otok, B. W. (2010). Pendekatan Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) pada Pengelompokan Zona Musim Suatu Wilayah. *Statistika: Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, 10(2).
- Pakpahan, A. (2018). Pergeseran dalam Indeks Kelaparan Global (Global Hunger Index) 2000-2017: Implikasi terhadap Kebijakan Pertanian, Pangan, dan Kualitas Sumber Daya Manusia Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*. 35(2), 75-90.
- Perez, D. and Risco, R. (2020). Implementation of Lora and Lorawan As A Future Scenario of Industry 4.0 in Peruvian Agro-Industry Sector. https://www.usmp.edu.pe/campus/pdf/articulos/articulo_20.pdf.

- Pingali, P. L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12302-12308.
- Pinstrup-Andersen, P. and P.B.R. Hazell. (1985). *The Impact of the Green Revolution and Prospects for the Future*. Food Reviews International, 1(1): 1-25.
- Prastowo, B. (2015). Potensi sektor pertanian sebagai penghasil dan pengguna energi terbarukan. *Perspektif*, 6(2), 85-93.
- Purwanto, M. Y. J., Erizal, E., & Anika, N. (2019). Peningkatan Efisiensi dan Produksi Pangan dengan Pembangunan Sistem irigasi Pipa di Tingkat Tersier. *Jurnal Irigasi*, 7(2), 99-109.
- Rachman Jaya, M. I., Yusriana, I. M., Mehran, A., & Basri, A. B. (2019). analisis dan mitigasi risiko rantai pasok minyak pala Kabupaten Aceh Selatan menggunakan FMECA. *Journal of Agroindustrial Technology*, 29(1).79-87.
- Rahayu, Z. (2016). Revolusi hijau dan perubahan sosial ekonomi petani wanita di Kabupaten Sleman tahun 1970-1984. *Risalah*, 2(5).
- Rejekiningrum, P. (2013). Alokasi optimum kebutuhan air untuk pertanian dengan inovasi teknologi irigasi berselang (intermittent irrigation): studi kasus DAS Citarum, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, dan Teknologi*. Volume 4, Tahun 2013, D.23-B.37.
- Rohimah, A. (2019). Era Digitalisasi Media Pemasaran Online Dalam Gugurnya Pasar Ritel Konvensional. *KANAL: Jurnal Ilmu Komunikasi*, 6(2), 91-100.
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., ... Fraser, E. (2019). Automated pastures and the digital divide : How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68(February), 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.023>

- Saleh, A. (2020). Perubahan Sosial Budaya Masyarakat Pedesaan Pasca Revolusi Hijau. *Moderasi: Jurnal Studi Ilmu Pengetahuan Sosial*, 1(1), 71-93.
- Salli, M. K.& Basri, M. (2019). Penerapan teknologi hemat air pada budidaya tanaman semusim lahan kering di Desa Baumata Timur Kabupaten Kupang. *J-Dinamika*, 4(1).58-61.
- Saragih, J. R. (2017). Strategi pengembangan agribisnis hortikultura di wilayah pedesaan. *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Dies Natalis USU 64*, Medan, 18 – 19 Agustus 2016, 63 – 70.
- Sayaka, B., & Rivai, R. S. (2011). *Peningkatan Akses Petani terhadap Kredit Ketahanan Pangan dan Energi*. Bogor (ID): Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian.188-208.
- Scandizzo, P. L., & Savastano, S. (2010). The Adoption and Diffusion of GM Crops in United States: A Real Option Approach. *AgBioForum*, 13(2), 142–157.
- Schiere, J. B., J. Lyklema, J. Schakel, and K. G. Rickert. (1999). Evolution of Farming Systems and System Philosophy. *Systems Research and Behavioral Science*. 16: 375–390.
- Shinta, A. (2011). *Ilmu Usahatani I*. Malang: Universitas Brawijaya Press (UB Press).
- Simarmata, T. (2007). Revitalisasi kesehatan ekosistem lahan kritis dengan memanfaatkan pupuk biologis mikoriza dalam percepatan pengembangan pertanian ekologis di Indonesia. *Visi*, 15(3), 289-306.
- Srinivasa, C., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S., & Joshi, P. K. (2020). *Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India : A conceptual framework*. *Ecological Indicators*, 105(July 2018), 621–633.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.038>

- Surico, P., & Galeotti, A. (2020). *The Economics of a Pandemic: the Case of Covid-19*. Wheeler Institute for Business and Development, LBS. London: London Business School.
- Surmaini, E., Runtunuwu, E., & Las, I. (2015). Upaya sektor pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 30(1), 1-7.
- Sutrisno, N. and Heryani, N. (2013) 'Teknologi Konservasi Tanah dan Air untuk Mencegah Degradasi Lahan Pertanian Berlereng', *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 32(2), pp. 122–130.
- Syabeera, N., Nasir, B., Mustafa, F. B., Yusmah, S., Yusoff, M., & Gideon, D. (2020). *A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia*. International Soil and Water Conservation Research. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.001>
- Syafa'at, N. *et al.* (2003). Konsep pengembangan wilayah berbasis agribisnis dalam rangka pemberdayaan petani, *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 21(1), pp. 26–43.
- Syakir, M. (2015). Pemantapan Inovasi dan Diseminasi Teknologi dalam Memberdayakan Petani. In Syahyuti, S. H. Susilowati, A. Agustian, B. Sayaka, & E. Ariningsih (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Perlindungan dan Pemberdayaan Pertanian dalam Rangka Pencapaian Kemandirian Pangan Nasional dan Peningkatan Kesejahteraan Petani*. pp. 3–14. Jakarta: IAARD Press. Diambil dari http://pse.litbang.pertanian.go.id/ind/pdf/files/prosiding_2016/0_1.pdf
- Tang, Q., Bennett, S. J., Xu, Y., & Li, Y. (2013). Agricultural practices and sustainable livelihoods : Rural transformation within the Loess Plateau , China. *Applied Geography*, 41, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.007>

- Unadi, A. (2019). Aplikasi ICT dan otomatisasi di tanaman pangan. *Prosiding Seminar Nasional PERTETA 2018 29-31 Agustus 2018*, Institut Pertanian STIPER, Yogyakarta – Indonesia.
- Widiarta, I. N. (2016). Teknologi Pengelolaan Tanaman Pangan dalam Beradaptasi Terhadap Perubahan Iklim pada Lahan Sawah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(2), 91-102.
- Widiarta, IN., Wardana, IP., Patriyawaty. N.R. (2019). Sekolah lapang kedaulatan pangan terintegrasi desa mandiri benih. Dalam: *Dinamika Kebijakan Pertanian Merespon Kinerja Pembangunan Pertanian Jakarta*. IAARD Press.p.188-201.

KEBIJAKAN DAN PROGRAM PEMBANGUNAN PERTANIAN UNTUK MEWUJUDKAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Arif Surahman^{a1}, Haris Syahbuddin^{a2}, Rusman Heryawan^{b3}, Hardiyanto^{c4},
Sri Asih Rohmani^{a5}

a Sekretariat Badan

b Kementerian Pertanian

c Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Sub Tropik

1,2,3,4,5 Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Sebagai negara dengan jumlah penduduk peringkat ke-empat terbanyak di dunia, Indonesia dihadapkan pada permasalahan untuk mencukupi kebutuhan pangan bagi lebih dari 270 juta penduduknya. Namun disisi lain laju konversi lahan pertanian sudah dalam tahap yang mengkhawatirkan. Mulyani *et al* (2017) memprediksi bahwa pada tahun 2045 lahan pertanian akan menciut menjadi 5.1 juta hektar apabila laju konversi seperti 2000-2015 masih terjadi.

Seiring perkembangan kemajuan teknologi informasi dan komunikasi, pertanian dituntut menjadi semakin intensif pengetahuan. Petani harus membuat keputusan yang semakin kompleks tentang penggunaan lahan, komoditas yang ditanam, pasar untuk menjual produk pertanian, dan masalah utama lainnya yang mempengaruhi mata pencahariannya dan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan. Pertanian juga menghadapi banyak tantangan, termasuk yang ditimbulkan oleh dampak perubahan iklim seperti meningkatnya frekuensi bencana alam, hilangnya keanekaragaman hayati dan penipisan sumber daya alam, peningkatan volatilitas harga pangan serta tidak berfungsinya rantai pasokan (Hoff, 2011).

Lebih dari 90 persen permintaan produksi pangan global pada tahun 2050 akan dipenuhi dengan meningkatkan hasil dari lahan subur yang ada saat ini berdasarkan kemajuan dalam penelitian pertanian (FAO 2017). Menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi melalui keterkaitan penelitian dan penyuluhan akan memperkuat pengembangan “ekosistem inovasi pertanian” sebagai kunci untuk mencapai tingkat produksi yang diinginkan. Dengan kekuatan informasi, memberikan peluang lebih besar bagi petani untuk berubah dan mampu beradaptasi serta menghadapi tantangan yang dinamis terkait dengan mata pencaharian mereka.

Di sisi lain, dengan terobosan teknologi era industri 4.0 telah memberikan perubahan pada banyak aspek kehidupan. Di negara berkembang juga memberikan prospek yang semakin menjanjikan. Teknologi kunci industri 4.0 antara lain *Artificial Intelligence* (AI), mesin pintar, sensor jarak jauh, *Internet of Things* (IoT), *blockchain*, robot, dan bentuk otomatisasi baru telah diyakini

akan berperan bagi peningkatan efisiensi produksi, pemanfaatan sumber daya, dan menungknkan cara-cara baru dalam pengelolaannya.

Dalam perkembangannya, teknologi 4.0 dapat menjadi solusi untuk beberapa tantangan yang dihadapi sektor pertanian global. Dua tantangan utama untuk sektor pertanian adalah: (i) kondisi produksi yang lebih buruk karena menyusutnya luas lahan subur akibat dari urbanisasi dan industrialisasi, menyusutnya pasokan tenaga kerja sebagai akibat dari perubahan struktural dan penuaan populasi, serta perubahan iklim; dan (ii) Permintaan produk pertanian yang lebih tinggi baik dari volume, kualitas, dan keragaman karena tingkat pendapatan masyarakat yang lebih tinggi dan pertumbuhan penduduk (Zambon et al. 2019). Melalui penerapan teknologi modern diharapkan menjadi salah satu alternatif pemecahan permasalahan dan tantangan pembangunan pertanian ke depan.

Penerapan teknologi modern dalam sistem usaha pertanian bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, untuk mengimbangi laju konversi lahan dan kekurangan tenaga kerja sehingga peningkatan produksi untuk memenuhi kebutuhan pangan masih dapat dicapai. Perkembangan awal dari implementasi pertanian modern dicirikan dengan penggunaan alat mesin pertanian pada sistem usahatani. Konsep ini menekankan pada upaya mekanisasi dalam semua tahapan dalam usahatani mulai dari persiapan dan pengolahan lahan, budidaya tanaman, serta panen dan pasca panen. Perkembangan selanjutnya, proses modernisasi semakin pesat seiring dengan kemajuan *Information and Communication Technology* (ICT) era

industri 4.0, penerapan pertanian modern semakin mengarah pada pertanian yang intensif pengetahuan dan inovasi serta memiliki akses ke informasi secara tepat waktu dan akurat disesuaikan dengan lokasi dan kondisi agroekosistemnya. Penerapan konsep pertanian modern tersebut akan menjadi konstruksi pertanian di masa depan yang oleh FAO, disebutkan sebagai pertanian digital “*digital agriculture*” (FAO 2017).

Pertanian digital adalah implementasi pertanian presisi ke dalam sistem produksi pertanian berbasis pengetahuan. Pertanian digital disamping memanfaatkan teknologi *precision farming*, juga terhubung ke jaringan cerdas dan alat manajemen data, untuk dapat menggunakan semua informasi dan keahlian yang tersedia serta proses otomatisasi di bidang pertanian yang berkelanjutan. Pertanian digital tidak hanya mengubah cara petani melakukan proses bisnisnya mulai dari cara penyediaan input, sistem produksi, pengolahan, hingga pemasaran produk tetapi juga akan mengubah secara mendasar setiap bagian dari rantai nilai pangan pertanian. Dalam perkembangan implementasinya, pertanian digital menjadi bagian tidak terpisahkan dan salah satu bentuk evolusi bidang dan teknik pertanian presisi (*precision farming*) dan pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang saling terhubung dalam satu rantai produksi hulu-hilir (CEMA, 2017).

Bertransformasi menuju pertanian digital diperlukan sebuah proses untuk memahami, beradaptasi disertai dengan perubahan *mindset* (pola pikir) serta perilaku berbagai pihak dan pelaku pembangunan. Banyak hasil kajian menunjukkan bahwa transformasi pertanian digital telah memberikan manfaat bagi petani di berbagai negara maju dan berkembang. Pertanian digital

dapat meningkatkan transparansi pasar (Aker 2010; Fafchamps 2012; Tadesse 2015), peningkatan produktivitas pertanian (Al-Hassan *et al.* 2013), dan logistik lebih efisien (Karippacheril *et al.* 2014). Bahkan, dalam kondisi krisis kesehatan masyarakat karena pandemi COVID-19, pertanian digital telah membantu negara-negara berkembang mengurangi dampak buruk pandemi pada produksi pangan dan rantai pasokan (Willy *et al.* 2021). Digitalisasi meningkatkan konektivitas semua pelaku di sistem produksi pertanian, membantu petani mengakses informasi teknis, mendapatkan benih berkualitas, mengumpulkan data *real-time*, meningkatkan ketertelusuran makanan, dan meningkatkan daya saing (Ravis 2020). Dengan keunggulan dan manfaat tersebut, pertanian digital merupakan solusi inovatif untuk masalah sistem pangan global saat ini dan ke depan (FAO 2021).

Penerapan pertanian digital sebagai wujud pertanian modern di masa depan, mengakibatkan perubahan sistem usaha pertanian yang eksisting saat ini dengan penerapan teknologi terkini secara masif. Dalam hal ini, seluruh komponen yang ada dalam usahatani pertanian dari hulu sampai hilir dapat digerakkan sehingga memungkinkan petani dapat menjalankan usaha pertaniannya secara modern dan berkelanjutan mulai dari proses produksi, panen, pasca panen serta pemasaran hasil.

Pembangunan pertanian modern tersebut harus didukung oleh pengembangan inovasi teknologi dengan berpusat pada perancangan, pengembangan, dan penerapan teknologi inovatif era 4.0 dalam sektor pertanian dan pedesaan. Inovasi teknologi ini merupakan inovasi antisipatif berwawasan masa depan yang mampu mengatasi permasalahan pemenuhan kebutuhan pangan

serta mendorong pertumbuhan dan perkembangan sektor pertanian secara umum namun tetap ramah lingkungan. Pertanian digital memiliki potensi untuk berkontribusi pada pertanian yang lebih berkelanjutan secara ekonomi, lingkungan dan sosial, sekaligus memenuhi tujuan pembangunan pertanian secara lebih efektif dan berdaya saing.

Melalui implementasi pertanian digital pada berbagai aspek sistem usaha pertanian sangat penting untuk dilaksanakan sehingga permasalahan dalam pencapaian target swasembada berkelanjutan serta pemenuhan kebutuhan pangan masa datang dapat diatasi dengan tetap menempatkan aspek kelestarian lingkungan dalam semua tindakan. Perkembangan implementasinya di berbagai negara (baik negara maju maupun negara berkembang) menunjukkan bahwa pertanian digital menjadi bagian tidak terpisah dan salah satu evolusi dari penerapan pertanian presisi (*precision farming*) dan pertanian cerdas (*smart agriculture*) yang saling terhubung dalam satu rantai produksi hulu-hilir.

Dalam sepuluh tahun ke depan, pertanian digital diprediksi akan memiliki peran kunci sebagai *enabler* untuk mempercepat upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals-SDGs*). Pertanian digital memiliki kemampuan memfasilitasi upaya berbagai negara untuk mengakhiri kemiskinan dan kelaparan dunia pada tahun 2030, melalui sistem pangan yang lebih produktif, efisien dan berkelanjutan. Teknologi digital akan menjadi fondasi dalam mengembangkan strategi untuk dapat membangun ketahanan sosial dan ekonomi, terlebih di kala kondisi pandemi covid 19

yang juga belum jelas kapan akan berakhir. Untuk mewujudkannya, akan sangat mendesak dan menuntut pentingnya infrastruktur, layanan, dan keterampilan digital yang dapat menghadirkan banyak peluang mencapai kemajuan nyata secara cepat.

Mendukung hal tersebut, peran Kementerian Pertanian dalam hal ini Badan Litbang Pertanian sangat strategis untuk menghasilkan berbagai inovasi futuristik yang terintegrasi dengan penerapan pertanian digital. Badan litbang pertanian melalui UPT dibawahnya harus mampu menciptakan teknologi inovatif yang handal, menguntungkan, mudah digunakan oleh petani dan tetap berorientasi pada kelestarian lingkungan. Oleh karena itu dalam rangka pencapaian kondisi tersebut diperlukan kebijakan pembangunan pertanian modern baik dalam tataran nasional, sektoral maupun internal Badan Litbang Pertanian.

Dalam makalah ini akan dibahas arah pembangunan pertanian modern yang diejawantahkan dalam kebijakan dan program pertanian digital dan ditetapkan sebagai alternatif membangun pertanian modern yang menyejahterakan di masa depan. Pembahasan diawali dengan gambaran praktek dan implementasi pertanian digital sebagai harapan dalam menjawab tantangan dan permasalahan sektor pertanian di masa depan, dilanjutkan dengan pembahasan mengenai esensi pertanian digital menjadi bagian tidak terpisah dari tantangan yang harus dihadapi dalam mewujudkan pembangunan pertanian dan menjadi bagian terintegrasi dari kerangka kerja pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs).

Di Indonesia, komitmen tersebut digambarkan mulai dari kebijakan dan program pertanian modern dalam kerangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), tujuan pembangunan pertanian yang maju, mandiri dan modern yang tertuang dalam Rencana Strategis (Renstra) Kementerian Pertanian 2020-2024 dan berbagai kebijakan dan program yang dilakukan di Badan Litbang Pertanian. Bagian akhir adalah penutup dengan memberikan saran langkah kebijakan dan strategi ke depan dalam upaya mendorong implementasi pertanian digital di Indonesia.

IMPLEMENTASI PERTANIAN DIGITAL ALTERNATIF SOLUSI MENJAWAB TANTANGAN SEKTOR PERTANIAN

Dalam perkembangan kehidupan yang semakin digital, peran ICT semakin meningkat dalam mengatasi masalah dan tantangan pembangunan pertanian termasuk perubahan iklim dan menjadikan petani lebih tangguh untuk beradaptasi dan menghadapinya. Implementasi pertanian digital memberikan sebuah harapan untuk beberapa tantangan yang dihadapi sektor pertanian secara global saat ini dan ke depan. Hal ini telah ditunjukkan oleh berbagai kajian dan praktek implementasinya di beberapa negara baik negara maju maupun berkembang (FAO 2020).

Banyak teknologi di Industri 4.0 memberikan langkah-langkah solutif untuk mengatasi tantangan tersebut. Bentuk-bentuk baru robotika dan otomatisasi telah menggantikan sejumlah besar

pekerja di pertanian. Pemanfaatan sensor jarak jauh mampu menghasilkan dan menyediakan banyak data tentang kelembapan, suhu, dan arah angin yang sangat penting untuk memutuskan waktu penanaman, panen, penyiraman, dan pemupukan. Hal tersebut memberikan pengaruh positif dan produktivitas pertanian meningkat secara signifikan. Selain itu, perkembangan kemajuan rekayasa genetika juga telah berhasil memperkenalkan varietas baru dengan hasil lebih tinggi yang tahan terhadap kondisi buruk (cekaman lingkungan) dan mengandung lebih banyak nutrisi. Pemanfaatan teknologi inovatif dilakukan pada keseluruhan proses dan sistem produksi dari hulu hingga hilir untuk meningkatkan efisiensi, nilai tambah dan daya saing produk pertanian sehingga memiliki jangkauan pasar secara luas.

Pertanian digital tidak hanya mengubah cara petani melakukan proses bisnisnya mulai dari cara penyediaan input, sistem produksi, pengolahan, hingga pemasaran produk tetapi juga akan mengubah secara mendasar setiap bagian dari rantai nilai pangan pertanian. Pada aspek hulu, kekuatan teknologi informasi digunakan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik terkait proses dan produksi pertanian dengan berorientasi pada ketepatan perlakuan dan peningkatan efisiensi sehingga meningkatkan profitabilitas dan produktivitas serta memaksimalkan manfaat jangka panjang (Banu 2015). Sedangkan pada aspek hilir, penerapan pertanian digital lebih difokuskan pada siklus hidup suatu produk dan mewarnai proses operasi manufaktur (Crnjac *et.al.* 2017).

Keunggulan lain dari sistem manajemen pertanian digital adalah dapat dilakukan berbagai tindakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengelola variabilitas berbagai variabel sehingga mendapatkan keuntungan optimal, keberlanjutan dan perlindungan sumber daya lahan. Inovasi penting lainnya dari pertanian digital dapat dibangun sistem pelacakan (*treacing*) untuk perekaman data dan mengetahui tingkat presisi terkait dengan rantai transformasi produk dan nilai tambah objek (komoditas/produk pertanian) dari hulu ke hilir serta dokumentasi proses dan aktor yang terlibat pada rantai produksi tersebut. Sistem pelacakan memungkinkan integrasi hulu hilir serta analisis maju (*foreward tracing*) untuk perencanaan produk seperti produk kemana akan di pasok, nilai ekonomi dan daya jual produk, prediksi volume, dan harga, dan analisis mundur produk (*backward tracing*) untuk diagnosis produk antara lain dari mana asalnya, riwayat penyakit, diagnosa susut, dan kerusakan. Dengan keunggulan dan manfaat tersebut, pertanian digital merupakan solusi inovatif untuk masalah sistem pangan global saat ini dan ke depan (FAO 2021).

Untuk dapat mencapai kemajuan yang diharapkan tidak saja teknologi inovatif namun juga diperlukan dukungan seperti kebijakan dan insentif, model bisnis, dan kondisi yang mempromosikan transformasi digital. Mengadopsi teknologi inovatif adalah baru titik awal dari proses transformasi dan belum menjadi jaminan dapat mencapai hasil yang diharapkan. Kesuksesan transformasi digital tidak hanya sekedar sebagai implementasi, namun lebih jauh harus mampu mengukur hingga dampak yang dihasilkan.

Dua aspek penting manfaat dan dampak dari transformasi digital di bidang pertanian adalah sebagai upaya pencapaian *Sustainable Development Goals-SDGs* dan pengelolaan sumberdaya pertanian (FAO 2019). Berkaitan dengan **upaya pencapaian SDGs** pada tahun 2030, setidaknya dapat diidentifikasi tiga bidang yang menunjukkan hadirnya teknologi digital di bidang pertanian dan pedesaan, yaitu : a) **Ekonomi**: teknologi pertanian digital dapat berkontribusi untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya produksi dan logistik, mengurangi kehilangan dan pemborosan pangan, meningkatkan peluang pasar, keberlanjutan rantai nilai dan meningkatkan PDB; b) **Sosial dan budaya**: dengan pendekatan yang tepat, dapat menciptakan industri pada beragam tingkat sosial dan budaya; c) **Lingkungan**: pertanian digital memungkinkan untuk memantau dan mengoptimalkan proses produksi pertanian, penggunaan sumber daya alam yang terbaik, dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Elemen penting *aspek sumberdaya* yang memengaruhi kebutuhan dan pengembangan teknologi digital di bidang pertanian dan pedesaan, yaitu: a) Sumber daya alam sebagai elemen dasar pertanian; b) Sumber daya manusia, mencakup minat dan bakat, generasi milenial dan pengembangan kapasitas lokal; c) Kerangka regulasi (kebijakan) yang mendorong penggunaan teknologi digital dan insentif yang diperlukan; serta d) Kejelasan definisi tentang apa yang ingin dicapai (visi) dan mekanisme (strategi) untuk mencapainya, menggambarkan kemauan politik bagi pengembangan pertanian digital secara terarah dan berkelanjutan.

Hal penting dari aspek visi dan strategi pencapaian dalam mewujudkan pertanian digital adalah bahwa proses transformasi dilakukan dengan tetap mengedepankan dan berorientasi pada perwujudan kesejahteraan petani sebagai pelaku utama dan muara akhir dari pembangunan pertanian sekaligus amanah konstitusi (Rohmani dan Soeparno, 2018). Selain itu, dalam dinamika lingkungan strategis baik global dan nasional melibatkan serangkaian permasalahan dan tantangan, tidak saja aspek keterbatasan sumber daya alam, SDM, ketersediaan dan konsumsi pangan, namun juga aspek pengelolaan yang menuntut ketepatan dan akurasi data yang semakin tinggi. Diperlukan ketepatan dalam merumuskan alternatif strategi untuk menjawabnya. Penerapan pertanian presisi, diantaranya dengan pemanfaatan teknologi digital menjadi salah satu alternatif dan orientasi utama mendukung pertanian modern berkelanjutan yang diharapkan (FAO 2019; Seminar 2016).

Praktek pertanian digital yang relatif baru adalah ketersediaan beragam inovasi yang dapat dimanfaatkan oleh petani dalam berbagai cara dan strategi. Tindakan analisis, peralatan digital dan keputusan-keputusan agronomis berlangsung dalam pola interaktif, mengarahkan petani dalam mengambil keputusan apa yang harus dimanfaatkan di lahan mereka, dan bagaimana menerapkannya. Pertanian presisi dapat membantu petani sekaligus berurusan dengan sejumlah tantangan yang dihadapi seperti kelangkaan air, keterbatasan lahan, perhitungan pembiayaan dan permintaan kuantitatif pasar.

Suatu infrastruktur produksi yang ditransformasikan dalam pertanian digital untuk meningkatkan produktivitas, kualitas dan

perlindungan lingkungan berkembang dalam bentuk teknologi inovatif, pengenalan otomatisasi alat-alat produksi, panen, pasca panen hingga pemasaran. Dalam hal ini petani tidak lagi mempersiapkan media tanam atau masa tanam, perawatan lahan (pencegahan hama), pembajakan, pemilihan bibit, persemaian dengan pola lama yang konvensional, tetapi sudah beradaptasi dan digantikan dengan alat pertanian modern. Penggunaan traktor dan teknologi GPS akan mengoptimalkan pertanian karena ketepatan perlakuan dapat dihasilkan. Melalui monitor dan kontrol semua hal dapat diukur dengan sangat tepat dan cepat.

Penggunaan kemajuan teknologi informasi yang lebih baik dan terintegrasi dalam pertanian digital akan memberikan beberapa keunggulan, berupa : (i) mengoptimalkan input (bagian penting dari pertanian presisi), (ii) pengelolaan mekanisasi dan penggunaan sumber daya energi secara lebih efisien, (iii) meningkatkan teknik penyimpanan tanaman dan mengurangi *losses*, (iv) memberikan informasi yang lebih baik tentang permintaan pasar dan fluktuasi musiman, (v) meningkatkan layanan transportasi dan logistik, serta (vi) mengoptimalkan penyimpanan dan distribusi dengan lebih sedikit limbah.

Namun demikian, hasil implementasi pertanian digital di berbagai negara baik negara maju maupun berkembang, memberikan pelajaran "*lesson learned*" bahwa penerapan pertanian digital masih mengalami kekurangan dan membutuhkan banyak investasi (Zang et al. 2020). Ketika pertanian menjadi semakin intensif pengetahuan, memiliki akses ke informasi yang tepat waktu dan akurat sesuai dengan lokasi dan kondisi tertentu,

sangat penting dapat membantu petani meningkatkan efisiensi dalam produksi pertanian mereka. Pertanian digital berpusat pada perancangan, pengembangan, dan penerapan metode inovatif penggunaan ICT dalam sektor pertanian yang berkaitan erat kehidupan di pedesaan sehingga diperlukan strategi dan pendekatan yang tepat dalam penerapannya.

Banyak pemangku kepentingan telah lama menyadari perlunya strategi untuk pertanian digital. Namun sebagian besar negara belum mengadopsi atau menerapkan penggunaan ICT di sektor pertanian sebagai strategi nasional (FAO 2020). Strategi pertanian digital akan membantu merasionalisasi sumber daya keuangan dan manusia, mengatasi (secara holistik) peluang dan tantangan di sektor pertanian, menghasilkan sumber pendapatan baru dan meningkatkan kehidupan masyarakat di pedesaan.

Pembangunan pertanian dan pedesaan harus mengatasi berbagai tantangan dan mampu merubahnya menjadi sistem pangan berkelanjutan dan rantai nilai yang peka terhadap kebutuhan nutrisi. Tantangan-tantangan tersebut meliputi: (i) beban rangkap tiga dari kekurangan gizi yaitu kelebihan berat badan, obesitas, dan kekurangan zat gizi mikro; (ii) adaptasi perubahan iklim; (iii) peningkatan kehilangan dan pemborosan makanan; (iv) urbanisasi dan migrasi keluar kaum muda; dan (v) dominasi pertanian skala kecil.

KEBIJAKAN DAN PROGRAM PERTANIAN MODERN DALAM KERANGKA RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH NASIONAL (RPJMN)

Indonesia bertekad untuk dapat berkontribusi nyata mempercepat transformasi menuju pangan dan pertanian berkelanjutan mendukung pencapaian SDGs, melalui upaya pencapaian visi bersama membangun sistem pangan dan pertanian berkelanjutan (FAO 2018). Upaya dilaksanakan dalam berbagai aspek yang mencakup pangan dan pertanian, pembangunan pedesaan, mata pencaharian masyarakat dan pengelolaan sumber daya alam yang tidak hanya difokuskan pada pencapaian tujuan akhir tetapi juga pada metode dan cara yang digunakan untuk mencapainya. Komitmen tersebut secara nasional juga didorong implementasinya melalui Peraturan Presiden Nomor: 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Di satu sisi, terbitnya Undang-Undang Sistem Nasional (Sisnas) Iptek (UU Nomor: 11 tahun 2019) telah melahirkan ekosistem dan kebijakan riset dan inovasi nasional yang baru. Disertai adanya perubahan paradigma pembangunan nasional dalam RPJMN 2020-2024, Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017-2045 yang tertuang dalam Perpres No. 38/2018 dan pengadaan barang dan jasa (Perpres Nomor: 16 Tahun 2019) telah mendorong dinamika sistem riset nasional untuk bertransformasi melakukan perubahan dengan cepat, terutama dalam memacu invensi dan inovasi bermutu secara lebih produktif, efektif dan efisien. Kebijakan riset dan inovasi nasional, dalam UU Sisnas Iptek kegiatan Litbangjirap

harus dilaksanakan secara efisien dan efektif dengan pendekatan holistik, lintas institusi, lintas disiplin dan fokus pada prioritas strategis riset nasional. Transformasi sistem riset nasional sekaligus menjadi strategi terintegrasi dengan upaya mewujudkan pertanian modern berkelanjutan di era keberlimpahan ICT industri 4.0.

Berpijak pada komitmen tersebut, agenda dan transformasi membangun sistem pangan dan pertanian dengan penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan baik ekonomi, sosial dan ekologi harus dirancang terintegrasi dengan arah pembangunan nasional baik jangka panjang, menengah maupun kesinambungannya dari kegiatan yang dilaksanakan per tahun anggaran. Pertanian harus mampu beradaptasi dan mendapatkan manfaat keunggulan ICT era industri 4.0 untuk mendapatkan solusi mengatasi tantangan dan permasalahan yang dihadapi. Pemanfaatan *IoT* dan *Cloud Computing* dalam pertanian semakin mendorong berkembangnya *Smart Farming* (Sundmaecker et al. 2016) yang implementasi selanjutnya dipertajam dengan memperhitungkan keragaman dan analisis data beragam variabel secara *real time* di lapangan, dikenal sebagai *Precision Agriculture* atau pertanian presisi (Wolfert et al. 2014).

Sasaran pembangunan jangka menengah seperti yang tertuang dalam RPJMN 2020 – 2024 adalah “mewujudkan masyarakat Indonesia yang mandiri, maju, adil, dan makmur melalui percepatan pembangunan di berbagai bidang dengan menekankan terbangunnya struktur perekonomian yang kokoh berlandaskan keunggulan kompetitif di berbagai wilayah yang didukung oleh sumber daya manusia yang berkualitas dan berdaya saing”. Salah satu prioritas nasional (PN)

yang diagendakan yaitu Memperkuat Ketahanan Ekonomi untuk Pertumbuhan yang Berkualitas dan Berkeadilan, yang salah satu strategi pencapaiannya akan dilaksanakan melalui upaya bertransformasi menuju pangan dan pertanian berkelanjutan. Mendukung arah kebijakan yang ditetapkan dan capaian kinerja ke depan tersebut, pengelolaan sumber daya pangan, perlu ditingkatkan antara lain, (1) keterhubungan antara sentra produksi pangan dan wilayah dengan permintaan pangan tinggi masih perlu diperkuat, serta (2) kecukupan pasokan dan kualitas pangan di wilayah rentan kelaparan, *stunting*, kemiskinan dan perbatasan perlu lebih difokuskan dalam pengelolaan pangan.

Transformasi digital ditetapkan sebagai salah satu dari empat *mainstreaming* sebagai bentuk pembangunan inovatif dan adaptif. Transformasi digital ini diharapkan dapat menjadi katalis pembangunan inovatif dan adaptif dalam rangka mengoptimalkan peranan teknologi digital dalam meningkatkan daya saing bangsa dan sebagai salah satu sumber pertumbuhan ekonomi Indonesia ke depan. Strategi pengarusutamaan transformasi digital terdiri dari aspek pemantapan ekosistem (*supply*), pemanfaatan (*demand*) dan pengelolaan big data. Selanjutnya dalam RPJMN juga menyatakan bahwa penerapan kemajuan teknologi, terutama industri 4.0 dalam lima tahun mendatang dilaksanakan secara bertahap yang fokus pada lima subsektor yaitu makanan-minuman, tekstil dan pakaian jadi, otomotif, elektronik, dan kimia termasuk farmasi, namun akan diperluas untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas dan daya saing di sektor pertanian, perikanan dan kemaritiman, kehutanan, energi, pariwisata, ekonomi kreatif, transportasi, perdagangan, dan jasa keuangan.

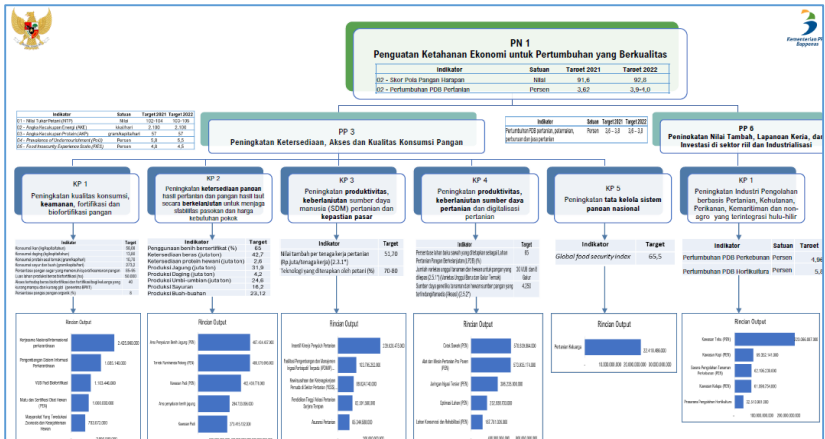
Melihat sasaran dan agenda pembangunan dalam RPJMN 2020 – 2024 maka pertanian modern sudah menjadi prioritas dalam pembangunan di Indonesia lima tahun ke depan. Revolusi industri 4.0 merubah tatanan industri menuju penggunaan alat-alat modern yang terintegrasi dengan jaringan internet. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan daya saing industri termasuk industri pertanian. Salah satu kunci dari perubahan ini adalah penggunaan internet oleh petani. Dari total petani Indonesia (33,4 juta petani), terdapat 4,5 juta petani menggunakan internet (13%). Berdasarkan data tersebut, era industri 4.0 yang salah satunya menggunakan keterhubungan semua perangkat dengan internet dapat dijadikan modal awal transformasi digital di pertanian.

Salah satu strategi pencapaiannya dapat dilakukan dengan mengembangkan inovasi pertanian presisi “*precision farming*” yang memiliki beberapa karakteristik antara lain memiliki daya saing tinggi, inklusif bagi perbaikan kesejahteraan petani, serta mampu mewujudkan keberlanjutan sistem pangan dan pertanian, sekaligus memperkuat ketahanan pangan, air dan energi (FAO 2017; FAO 2014). Melalui pertanian presisi dapat dipastikan terpenuhinya ketelitian dan ketepatan pada setiap perlakuan dan proses produksi sehingga dihasilkan nilai tambah (*added value*) produk pertanian yang optimal dari hulu hingga hilir untuk menghasilkan beragam produk pangan berkualitas, mudah dilacak (*traceable*) dan memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan (Seminar 2016).

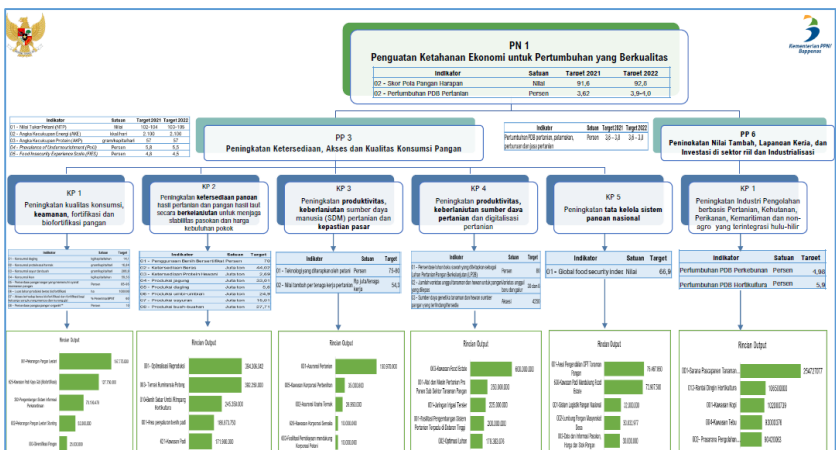
Precision farming didukung oleh pemanfaatan dan kemajuan otomatisasi penggunaan robot dan *Artificial Intelligence-AI* yang

dalam perkembangannya disertai dengan pemanfaatan big data beragam aspek, dianalisis dan digunakan untuk pengambilan keputusan. Pemanfaatan big data digunakan untuk memberikan wawasan dan pijakan dalam prediksi tindakan yang diperlukan, mendorong keputusan operasional secara *real-time*, dan mendesain ulang pengembangan proses bisnis. Sebaliknya, informasi *real time* dari lapangan akan memberikan pijakan kuat bagi petani untuk menyesuaikan strategi yang tepat dalam setiap proses rantai produksi setiap saat.

Pertanian presisi dikembangkan terintegrasi dan menjadi landasan formal untuk bertransformasi mendukung struktur perekonomian yang produktif, mandiri dan berdaya saing, melalui dua program : 1) Program Prioritas Peningkatan Ketersediaan, Akses dan Kualitas Konsumsi Pangan (PP3); dan 2) Peningkatan Nilai Tambah Lapangan Kerja dan Investasi di Sektor Riil, dan Industrialisasi (PP6). Secara lebih rinci, rangkaian strategi dan dukungan masing-masing program prioritas yang dijabarkan lebih lanjut dalam kegiatan prioritas dengan target sasaran dan indikatornya seperti disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 9. Rangkaian Strategi dan Dukungan Program Prioritas, Kegiatan Prioritas, Target Sasaran dan Indikator Keberhasilannya (Sumber: Kementerian Negara/Bappenas, 2021)



Gambar 10. Lanjutan Rangkaian Strategi dan Dukungan Program Prioritas, Kegiatan Prioritas, Target Sasaran dan Indikator Keberhasilannya (Sumber: Kementerian Negara/Bappenas, 2021)

Merujuk pada rangkaian strategi tersebut, peran pertanian presisi sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari implementasi pertanian digital sangatlah penting. Pertanian presisi potensial dalam menentukan keuntungan ekonomis dan lingkungan antara lain melalui pengurangan penggunaan air, pupuk, herbisida dan pestisida selain peralatan pertanian. Pendekatan pertanian presisi mengakui dan mempertimbangkan adanya perbedaan spesifik lokasi serta menyesuaikan tindakan pengelolaan yang tepat. Selain itu, pertanian presisi menawarkan kemampuan digitalisasi untuk mengotomatisasi dan menyederhanakan pengumpulan dan analisis informasi yang memungkinkan keputusan manajemen dapat dibuat dan diimplementasikan dengan cepat di area kecil dari luasan bidang yang besar.

PERTANIAN MODERN DALAM KERANGKA RENSTRA KEMENTERIAN PERTANIAN

Kementerian Pertanian berkomitmen dan bertekad untuk mendukung visi Presiden dan Wakil Presiden serta arahan Presiden menetapkan visi Pertanian Jangka Menengah 2020-2024 yakni : “Pertanian yang Maju, Mandiri dan Modern untuk Terwujudnya Indonesia Maju yang Berdaulat, Mandiri dan Berkepribadian Berlandaskan Gotong Royong”. Dalam upaya perwujudannya, Kementerian Pertanian (Kementan) telah menetapkan modernisasi pertanian sebagai salah satu Cara Bertindak (CB4) dalam pencapaian sasaran kinerja pembangunan pertanian maju, mandiri dan modern yang ditetapkan. Strategi tersebut sebagai perwujudan komitmen dan tekad Kementan menjalankan amanat Peraturan Presiden (Perpres) Nomor:18 tahun

2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2020-2024 yang menempatkan pembangunan pertanian berperan strategis bagi keberhasilan pencapaian salah satu Prioritas Nasional (PN) yang telah diagendakan, yaitu Penguatan Ketahanan Ekonomi untuk Pertumbuhan yang Berkualitas (PN1).

Pertanian yang maju ditandai dengan peningkatan produksi dan produktivitas komoditas pangan sehingga mampu memenuhi kebutuhan pangan dalam negeri serta meningkatkan pendapatan petani. Kemajuan dan kemandirian pangan akan dapat diwujudkan dengan peningkatan hasil pengembangan penelitian inovatif serta penggunaan teknologi modern berbasis teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Dalam pemanfaatan TIK dalam bidang pertanian, arah kebijakan dalam rangka mendukung transformasi digital adalah melalui adopsi pemanfaatan teknologi global berbasis IoT, AI serta Big Data untuk meningkatkan ketepatan perencanaan, kinerja pelaksanaan serta pengawasan pembangunan pertanian. Sedangkan Pertanian modern dapat diartikan sebagai pertanian berbasis inovasi yang sejalan dengan revolusi industri 4.0 sehingga pertanian modern yang dikembangkan memiliki karakteristik: memproduksi sesuai kebutuhan, bernilai ekonomi tinggi, produktivitas tinggi serta bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Sementara, krisis kehidupan karena dampak COVID-19 dalam jangka panjang akan dapat berimplikasi pada tidak berfungsinya sistem pangan, dengan demikian memiliki dampak terhadap ekonomi dan gangguan lingkungan maupun sosial (FAO 2020). Untuk mengurangi kedalaman dampak yang lebih luas terhadap berbagai hal tersebut, perlu dilakukan strategi dan langkah-

langkah terobosan baik jangka pendek, menengah maupun dan jangka panjang, mendukung transisi ke sistem pangan yang lebih berkelanjutan, lebih seimbang dengan alam dan yang mendukung pola makan sehat. Selain itu, rantai nilai pertanian peka nutrisi yang berkelanjutan juga sangat membutuhkan akses ICT bagi semua pemangku kepentingan.

Pandemi COVID-19 telah menjadi faktor penarik yang mempercepat penggunaan teknologi digital agar tetap bekerja dan tetap terhubung. Praktek di beberapa negara baik di Eropa dan Asia menunjukkan adopsi teknologi baru bagi petani kecil masih tertinggal, dikarenakan adanya kendala pada ketersediaan dan kualitas akses, biaya konektivitas, serta konten yang sesuai bagi kebutuhan. Hal ini juga mengungkapkan adanya kesenjangan digital antara mereka yang memiliki akses dan mereka yang tidak sehingga manfaat teknologi digital tidak otomatis dan serta merta semua orang mendapatkan keuntungan yang sama. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan kritis dilakukannya tindakan di tingkat kebijakan yang dapat memaksimalkan manfaat dan meminimalkan potensi risiko. Selain itu, pentingnya memastikan komitmen pemerintah untuk meningkatkan solusi baru dan menciptakan lingkungan pendukung secara terstruktur bagi pengembangan inovasi, sistem pendukung, dan pengembangan kapasitas yang relevan untuk menghasilkan perubahan pembangunan melalui penerapan teknologi digital di sektor pertanian.

Kegiatan strategis yang dibangun oleh Kementan saat ini, pengembangan kawasan menjadi kebijakan yang dapat didorong terintegrasi dengan transformasi menuju pertanian modern masa

depan. Dengan telah diterbitkannya Peraturan Menteri Pertanian (PERMENTAN) Nomor: 18 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Kawasan Pertanian Berbasis Korporasi Petani (yang saat ini juga sedang dilakukan revisi dan penyempurnaan) dapat sebagai pijakan dan memberikan makna sebagai *entry point* untuk membangun dan mewujudkan pembangunan pertanian modern di era industri 4.0 yang berkarakter di Indonesia ke depan.

Mendukung hal tersebut, salah satu kegiatan unggulan dan menjadi penciri program utama Badan Litbang Pertanian 2015-2019 yaitu penciptaan dan pengembangan teknologi inovatif pertanian bio-industri berkelanjutan juga memiliki peluang dan potensi untuk ditingkatkan kinerjanya, di-*upgrade* kesiapan teknologi dan kelembagaannya sehingga berkembang menjadi pertanian bioindustri spesifik lokasi berbasis digital yang berkelanjutan di masa depan. Agar konvergen dalam membangun pertanian modern yang diharapkan, implementasi pertanian bioindustri didorong untuk terintegrasi dengan pengembangan kawasan pertanian berbasis korporasi. Peran litbang mendukung perwujudan pembangunan modern selanjutnya, akan didorong melalui kegiatan Riset dan Pengembangan Inovatif Kolaboratif (RPIK) yang menjadi ruh dalam memperkuat sistem riset dan inovasi pertanian dengan pendekatan kolaborasi inter, multi dan trans disiplin baik secara internal maupun eksternal dengan lembaga riset di luar Badan Litbang Pertanian dan stakeholders lainnya.

Memperkuat proses transformasi tersebut, diperlukan langkah awal berupa pemetaan kondisi infrastruktur fisik dan konektivitas jaringan pertanian baik dalam pembangunan bioindustri maupun

pembangunan kawasan pertanian di Indonesia dan kapasitas pelakunya. Terlebih program strategis lintas Kementerian/ Lembaga yang juga digariskan oleh RPJMN 2020-2024 adalah pembangunan korporasi petani dan nelayan yang dalam periode lima tahun hingga 2024 ditargetkan akan dibangun dan dikembangkan 350 korporasi petani nelayan.

Tekad membangun pertanian maju, mandiri dan modern yang terintegrasi dengan pengembangan kawasan berbasis korporasi petani akan dihadapkan pada tantangan yang tidak mudah. Hal ini dikarenakan, bila dipetakan kinerja pembangunan pertanian di masing-masing kawasan, saat ini masih banyak yang masuk kategori teknologi industri 2.0, dan terdapat beberapa kawasan pertanian telah lebih maju dan mencapai kategori teknologi industri 3.0 dengan basis ICT/digitalisasi dan *precision farming*.

Inventarisasi tersebut sangat penting untuk menentukan arah pengembangannya ke depan yang antara lain akan ditujukan pada : 1) membangun dan meningkatkan infrastruktur teknologi bagi perbaikan dan peningkatan volume data, kekuatan komputasi dan konektivitas; 2) mendorong sistem pengetahuan yang mendukung kemampuan analisis dan kecerdasan bisnis; 3) Mempercepat terjadinya berbagai bentuk interaksi baru antara manusia dengan manusia (*man to man*), antar manusia dengan mesin (*man to machine*), dan antar mesin (*machine to machine*) pada berbagai model pertanian bioindustri dalam sebuah kawasan pertanian; serta 4) Menciptakan berbagai model perbaikan instruksi transfer digital ke dunia fisik. Peningkatan berbagai aspek tersebut akan menjadi pengungkit bekerjanya proses pembelajaran bagi seluruh pelaku

dan pemangku kepentingan dalam bertransformasi mewujudkan pertanian modern di Indonesia.

Membangun pertanian modern ke depan juga diarahkan untuk mempercepat implementasi pertanian presisi ke dalam keseluruhan sistem dan proses produksi pertanian. Penerapannya dilakukan dengan memanfaatkan teknologi pertanian digital secara cerdas dan bertahap mulai dari penyiapan lahan, produksi, pasca panen, penyimpanan, pengolahan dan pemasaran beserta tatanan pengelolaannya yang disertai dengan dukungan data dan informasi digital melalui penggunaan teknologi komputer dan sistem informasi. Keseluruhan proses dibangun dalam konstruksi keterkaitan sistem pertanian yang saling terkoneksi dari hulu-hilir dengan penerapan teknologi presisi, perlakuan tepat dan terkontrol sehingga keseluruhan proses dapat berjalan efisien, tidak terjadi pemborosan sumber daya serta mampu memberikan nilai tambah dan berdaya saing.

Dukungan infrastruktur dalam pertanian digital diarahkan untuk meningkatkan produktivitas, kualitas produk dan keberlanjutan usaha melalui pengenalan otomatisasi alat-alat produksi, panen, pasca panen hingga pemasaran. Selain itu, pengambilan keputusan presisi juga memerlukan sarana untuk menyimpan, mengolah, menganalisis dan pengelolaan *big data* yang berasal dari berbagai karakter agroekosistem, jenis-tipe-karakteristik komoditi, ciri sosial-ekonomi-budaya, dinamika situasi pasar, kebijakan, maupun sistem *value chain* yang dikembangkan. Aspek penting lainnya untuk mendorong kondisi kondusif implementasi pertanian digital adalah lingkungan kebijakan berupa: 1) regulasi yang mengatur hal-hal terkait

pemanfaatan teknologi digital, otomatisasi, dan robot di bidang pertanian; 2) mendorong investasi dan partisipasi pelaku secara luas; 3) perbaikan infrastruktur; 4) insentif finansial (permodalan) dan promosi; serta 5) program pelatihan dan peningkatan kualitas SDM.

Koordinasi diperlukan untuk mengatasi transformasi digital pertanian secara berkelanjutan, melalui: i) mempromosikan koordinasi dan memperkuat hubungan dengan berbagai pemangku kepentingan untuk mewujudkan pertanian dan ekonomi digital; ii) meningkatkan kesadaran masyarakat termasuk di wilayah pedesaan terhadap isu-isu digitalisasi sektor pangan dan pertanian; dan iii) menyusun rekomendasi kebijakan, praktik terbaik, dan pedoman yang dapat meningkatkan manfaat dari aplikasi teknologi digital pada sektor pertanian, sambil mengatasi potensi dampak negatif dan masalah baik dari segi ekonomi, sosial maupun budaya.

PENUTUP

Pertanian modern berupa implementasi pertanian digital memiliki potensi diterapkan di Indonesia untuk berkontribusi pada pertanian yang lebih berkelanjutan baik secara ekonomi, lingkungan dan sosial, sekaligus membangun pertanian secara lebih efektif dan berdaya saing. Hal tersebut dimungkinkan karena dari keunggulan digitalisasi pertanian yang mampu meningkatkan pengamatan dan perlakuan presisi di setiap tahapan dan sepanjang rantai pasok proses produksi dan hasil

pertanian. Selain itu, pijakan formal telah digariskan mulai dari arah kebijakan dan program yang tertuang dalam RPJMN 2020-2024 juga menjadi visi yang tertuang dalam Renstra Kementerian Pertanian 2020-2024, serta kebijakan strategis dalam implementasinya melalui Permentan Nomor 18 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Kawasan Pertanian Berbasis Korporasi Petani. Keberhasilan dalam implementasinya tidak saja ditentukan oleh strategi dan pendekatan yang dilakukan, namun juga diperlukan : (i) dukungan infrastruktur dan investasi, (ii) pengembangan layanan dan aplikasi terkait implementasi kebijakan pertanian, (iii) konten dan manajemen pertanian modern, (iv) kebijakan dan regulasi, serta (v) pengembangan tenaga kerja dan kapasitas berupa peningkatan literasi digital petani, pelatihan dan berbagai bimbingan teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hassan, R.; Egyir, I.; Abakah, J., 2013. Farm household level impacts of information communication technology (ICT)-based agricultural market information in Ghana. *J. Dev. Agric. Econ.*, 5, 161–167. [CrossRef]
- Aker, J. 2010. Information from markets near and far: Mobile phones and agricultural markets in Niger. *Am. Econ. J. Appl. Econ.* **2010**, 2, 46–59. [CrossRef]
- Banu, S., 2015. Precision Agriculture: Tomorrow's Technology for Today's Farmer. Department of Food Processing and Preservation Technology, Faculty of Engineering, Avinashilingam University for Women, Coimbatore, Tamil Nadu, India. *Journal of Food Processing & Technology*. ISSN: 2157-7110 JFPT. Volume 6 Issue 8

- CEMA, 2017 - Digital Farming: what does it really mean, and what is the vision of Europe's farm machinery industry for Digital Farming. European Agricultural Machinery.
- Crnjac, M., Veža, I., and Banduka, N., 2017. From Concept to the Introduction of Industry 4.0. International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM), Vol. 8 No 1, 2017, pp. 21-30 Available online at www.iim.ftn.uns.ac.rs/ijiem_journal.php ISSN 2217-2661
- FAO, 2014. The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2014.
- FAO, 2017. The Future of Food and Agriculture Trend and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- FAO, 2018. E-Agriculture in Action: Drone for Agriculture . Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2018
- FAO, 2019. Digital Technologies in Agricultural and Rural Areas. Briefing Paper. by Trendov, NM, Varas S., and Meng Zeng. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2019.
- FAO, 2020. Second Rapid Assessment of Food and Nutrition Security in the Context of Covid-19 in Bangladesh. May-July 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2020.
- FAO, 2021. Realizing the Potential of Digitalization to Improve the Agri-Food System: Proposing a New International Digital Council for Food and Agriculture. A Concept Note. Rome. Available online: <http://www.fao.org/3/ca7485en/ca7485en.pdf> (accessed on 27 January 2021).

- Fafchamps, M., Minten, B., 2012. Impact of SMS-based agricultural information on Indian farmers. *World Bank Econ. Rev.* 26, 383–414. [CrossRef]
- Hoff, H. 2011. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute (SEI).
- Karippacheril, T.G.; Rios, L.D.; Srivastava, L., 2011. Global markets, global challenges: Improving food safety and traceability while empowering smallholders through ICT. In *ICT in Agriculture Sourcebook*; World Bank: Washington, DC, USA.
- Kementan, 2020. Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024. Kementerian Pertanian. Republik Indonesia. Jakarta.
- Kementerian Negara PPN/Bappenas, 2020. Perspektif Pembangunan Modern dalam RPJMN 2020-2024 dan Konstruksi Strategi Pencapaiannya. Paparan Direktorat Pangan dan Pertanian pada Review Rencana Strategis Kementerian 2020-2024, di Jakarta.
- Mulyani, A, Dedi Nursyamsi dan Muhammad Syakir., 2017. Strategi Pemanfaatan Sumberdaya Lahan untuk Pencapaian Swasembada Pangan Berkelanjutan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 11 No. 1, Juli 2017.
- Ravis, T.; Notkin, B., 2020. Urban bites and agrarian bytes: Digital agriculture and extended urbanization. *Berkeley Plan. J.*,31, 100–122. [CrossRef]
- Rohmani dan Soeparno, 2018. Pertanian Digital Alternatif Solusi Terintegrasi dalam Membangun Pertanian Modern di Era Industri 4.0. dalam *Sinergi Inovasi Kebijakan dan Teknologi Menuju Kesejahteraan Petani*. IAARD Press.
- Seminar, KB., 2016. Sistem Pertanian Presisi dan Sistem Pelacakan Rantai Produksi untuk Mewujudkan Agroindustri

Berkelanjutan. Makalah Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap
Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

- Sundmaeker, H., Verdouw, C., Wolfert, S., Pérez Freire, L., 2016. Internet of food and farm 2020. In: Vermesan, O., Friess, P. (Eds.), *Digitising the Industry - Internet of Things Connecting Physical, Digital and Virtual Worlds*. River Publishers, Gistrup/Delft, pp. 129–151.
- Tadesse, G.; Bahiigwa, G., 2015. Mobile phones and farmers' marketing decisions in Ethiopia. *World Dev.* 68, 296–307. [CrossRef]
- Willy, D.K.; Yacouba, D.; Hippolyte, A.; Francis, N.; Michael, W.; Tesfamichael, W., 2021. COVID-19 Pandemic in Africa: Impacts on Agriculture and Emerging Policy Responses for Adaptation and Resilience Building. Available online: https://www.farm-d.org/app/uploads/2020/06/TAAT-Policy-Working-Paper-on-COVID19_FINAL-for-Dissemination_May-2020.pdf (accessed on 27 January 2021).
- Wolfert, S.; Ge, L.; Verdouw, C.; Bogaardt, M.J. Big data in smart farming—A review. *Agric. Syst.* **2017**, *153*, 69–80.
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M.G., Colantoni, A., 2019. *Review Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. Processes* **2019**, *7*, 36; doi: 10.3390/pr7010036
- Zhang, S.; Sun, Z.; Ma, W.; Valentinov, V., 2020. The effect of cooperative membership on agricultural technology adoption in Sichuan, China. *China Econ. Rev.*, *62*, 101334. [CrossRef]

PEMANFAATAN SUMBERDAYA UNGGUL

PEMULIAAN TANAMAN PANGAN BERBASIS TEKNOLOGI *FRONTIER* DAN PREFERENSI KONSUMEN

Yudhistira Nugraha^{a1}, Trias Sitaresmi^{b2}, Puji Lestari^{c3}, Untung Susanto^{d4}, I
Made Jana Mejaya^{e5}, I Made Oka Adnyana^{f6}

^{b,c,d} Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

^{a,e,f} Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

^{1,2,3,4} Kontributor Utama, ^{5,6} Kontributor Anggota

PENDAHULUAN

Perjalanan manusia dalam membentuk peradaban tidak terlepas dari pertanian. Manusia diberikan kemampuan berfikir untuk membuat pertanian menjadi semakin produktif dan semakin mudah. Intervensi manusia melalui perbaikan dan pengelolaan terhadap sumber daya genetik tanaman, lahan, air dan sumber daya lainnya menjadikan pertanian hingga saat ini mampu menghindarkan manusia dari bencana dan kemusnahan. Di antara upaya yang cukup fenomenal yang dilakukan manusia dalam memperbaiki garis hidupnya adalah mempercepat evolusi tanaman liar menjadi tanaman yang dibudidayakan melalui domestikasi dan seleksi (Pickersgill 2007). Proses perbaikan genetik tersebut kemudian berlanjut seiring dengan berkembangnya peradaban manusia.

Kekhawatiran akan terjadinya bencana kelaparan akibat laju pertumbuhan penduduk (Malthus 1809) pada jaman lampau, ternyata tidak terbukti. Surplus tanaman pangan dunia (padi,

jagung, dan gandum) bahkan sudah terjadi setengah abad sejak adanya revolusi hijau dimana pada tahun 1950-an produksi tanaman sereal dunia mencapai 630 juta ton dan meningkat menjadi 1,8 milyar ton pada tahun 1990 (Wik et al. 2008). Sejak tahun 1960, investasi penelitian dan pengembangan bidang pertanian yang dialokasikan sejumlah negara memberikan hasil yang cukup menggembirakan. Inovasi teknologi pertanian dalam pengelolaan sumber daya pertanian menjadi lebih produktif dan efisien ternyata tidak hanya mampu meningkatkan produksi, tetapi juga menurunkan harga pangan, dan memberikan akses kepada penduduk dunia untuk mencukupi kebutuhan pangannya (Alexandratos and de Haen 1995; Hedden 2003).

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dunia, tuntutan akan kualitas hidup yang lebih baik, maka semakin membutuhkan lebih banyak kapasitas produksi tanaman untuk pangan, pakan ternak dan bahan bakar nabati/biofuel (Batey 2017). Indonesia yang memiliki jumlah penduduk besar perlu program dalam bidang pertanian yang tepat, mengingat laju pertumbuhan penduduk sekitar 1,3% per tahun dan diproyeksikan pada tahun 2035 mencapai 305,65 juta jiwa (PPN/Bappenas 2019). Pangan merupakan kebutuhan dasar manusia, sehingga apabila ada ketidakstabilan penanganan masalah pangan maka akan berdampak pada banyak aspek penduduk dengan dimensi sosial yang luas. Ketahanan pangan, peningkatan nutrisi, penguatan kapasitas untuk adaptasi terhadap perubahan iklim global, dan pertanian yang berkelanjutan menjadi target yang harus diupayakan untuk dicapai. Dengan demikian pemuliaan tanaman berkaitan erat dengan pembangunan pertanian khususnya katahanan pangan dan konsumen. Karena itu potensi sumber daya genetik dan sumber daya manusia perlu dimaksimalkan kapasitasnya pada level nasional dan global.

Berbagai tantangan dalam pemuliaan tanaman yang dihadapi Indonesia saat ini memerlukan akselerasi perubahan teknologi

dan intensifikasi yang berkelanjutan dalam produksinya. Dukungan teknologi terkini dalam membantu menghasilkan varietas unggul sesuai harapan dan preferensi konsumen adalah langkah sangat penting yang harus diprioritaskan (Supyandi et al. 2016). Seiring dengan perkembangan era bioteknologi modern, inovasi teknologi pertanian terus berkembang termasuk dalam bidang pemuliaan tanaman. Perbaikan genetika tanaman pangan terus dilakukan untuk mendapatkan varietas tanaman yang lebih produktif dengan daya hasil tinggi, adaptif terhadap perubahan lingkungan, bernutrisi tinggi, dan efisien input. Saat ini pemanfaatan biologi komputasi dan informasi genomika tanaman untuk membantu dalam efisiensi dan efektivitas seleksi individu/populasi yang diinginkan dan didukung oleh data digital fenotipik telah berkembang pesat. Tulisan ini bertujuan untuk mendiskusikan tentang perkembangan perakitan varietas unggul tanaman pangan serta teknologi yang terdepan (frontier) sesuai dengan kebutuhan zaman dan sesuai dengan preferensi pengguna sehingga adopsi varietas unggul tersebut dapat luas dan berkelanjutan.

PERKEMBANGAN PERAKITAN VARIETAS UNGGUL TANAMAN PANGAN

Proses perakitan tanaman merupakan kegiatan yang dinamis dan berkelanjutan. Kegiatan pemuliaan berpacu dengan berbagai tantangan dan kondisi lingkungan yang cenderung berubah dan preferensi/selera konsumen terhadap pangan yang terus berkembang dinamis. Perakitan tanaman melalui pemuliaan memerlukan multidisiplin ilmu seperti agronomi, botani, fisiologi, patologi, entomologi, genetika, genetika, sitogenetik, biokimia, statistik, genomik (Gepts and Hancock 2006) dan bioinformatik (Hu et al. 2018). Sejak ditemukannya pupuk nitrogen sintesis, para peneliti berpikir untuk merancang varietas yang lebih respon

terhadap pemupukan dan lebih efisien dalam mengkonversi fotosintat. Pada kala itu varietas tanaman pangan, khususnya jenis serelia tidak memberikan respon ketika diberikan pupuk dosis tinggi karena tanaman akan cenderung rebah. Berdasarkan pemikiran tersebut maka dirancanglah arsitektur tanaman yang lebih pendek, untuk menghindari kerebahan. Pada tanaman gandum, misalnya dengan mengintroduksi gen *semi-dwarf* dari varietas Norin 10 untuk membuat tanaman gandum lebih pendek dan lebih respon terhadap pemupukan (Lupton 1987). Pendekatan yang sama juga dilakukan dilakukan pada tanaman padi dengan mengintroduksi gen *semi-dwarf* dari varietas Dee-geo-woo-gen kepada varietas padi asal Indonesia, Peta (Peng et al. 2010). Peran penting dilakukan oleh lembaga riset Internasional seperti The International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) untuk komoditas jagung dan gandum dan International Rice Research Institute (IRRI) untuk komoditas padi dalam mempercepat adopsi dan pertukaran varietas unggul baru serta sumber daya genetik lainnya ke beberapa negara berkembang di dunia, termasuk di Indonesia (Evenson and Gollin 2003a). Varietas padi yang dianggap sebagai cikal bakal Revolusi Hijau adalah IR8, yang kemudian diadopsi secara masif di Asia pada tahun 1970an. Varietas IR8 memiliki kelebihan dalam hal hasil produksi yang lebih tinggi dibanding dengan varietas eksisting yang dibudidayakan petani sebelumnya dimana berkisar 1-2 ton per ha, termasuk di Indonesia (Chandler 1972).

Peran lembaga internasional tersebut kemudian diikuti pula dengan investasi riset pertanian yang dilakukan Indonesia. Lembaga Pusat Penelitian Pertanian didirikan pada tahun 1968, yang kemudian bertransformasi pada tahun 1974 menjadi Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan), Kementerian Pertanian. Dalam perkembangannya secara struktural Balitbangtan mendirikan balai penelitian berbasis komoditas tanaman pangan seperti Balai Penelitian Padi

(kemudian bertransformasi menjadi Balai Besar Penelitian Tanaman Padi), Balai Penelitian Tanaman Serelia (Balitserelia), dan Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi (Balitkabi). Mandat balai penelitian yang berbasis komoditas di bawah Balitbangtan tersebut didukung oleh balai penelitian yang basisnya pendekatan bioteknologi yaitu Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian. Dengan demikian sebagian besar program pemuliaan tanaman pangan di Indonesia dilakukan oleh institusi pemerintah dibawah koordinasi Balitbangtan. Selain itu, Sebagian perguruan tinggi dan perusahaan perbenihan/pembibitan juga aktif melakukan serangkaian kegiatan pemuliaan. Dengan sumberdaya penelitian yang dimiliki oleh balai penelitian tanaman pangan didukung pemangku kepentingan terkait yang keberkelanjutan dari revolusi hijau, program perakitan tanaman pangan yang dinamis di Indonesia terus dilaksanakan dengan menghasilkan bermacam varietas unggul yang sesuai dengan kebutuhan petani di Indonesia.

Perkembangan varietas unggul padi dimulai pada awal revolusi hijau cukup dinamis. Pada awal periode tahun 1970an ini dilakukan introduksi varietas dari IRRI, selain IR8 (PB8) diintroduksi pula IR26, IR32, dan IR36. Kemudian varietas yang dirakit dari pemuliaan sendiri seperti varietas Serayu, Asahan, Brantas, Citarum, Cisadane, Cipunagara, Krueng Aceh, Sadang, dan Cikapundung. Di antara varietas tersebut, Cisadane tahan terhadap hama wereng coklat biotipe 1 dan 2, yang merupakan perbaikan dari IR8 dan menjadi kontributor utama bagi tercapainya swasembada beras pada tahun 1984. Namun kemudian, popularitas varietas Cisadane menurun bersamaan dengan berkembangnya hama wereng coklat biotipe 3. Untuk mengatasi hama wereng coklat biotipe 3 dilakukan introduksi beberapa galur dari IRRI, satu di antaranya adalah varietas IR64 yang dilepas pada tahun 1986. Penanaman IR64 secara terus-

menerus dalam kurun waktu yang lama menjadikan tingginya tekanan seleksi terhadap hama dan penyakit, sehingga meningkatkan peluang munculnya biotipe hama dan strain penyakit baru. Untuk mempertahankan stabilitas hasil dan mutu produk yang tinggi dari IR64 diupayakan perbaikan karakternya. Pada masa ini telah dilepas varietas Ciliwung (1989), Way Seputih (1989), Barumun (1991), Memberamo (1995), Way Apo Buru (1998), Widas (1999), Ciherang (2000), Konawe (2001), Cigeulis (2003), Tukad Unda, Tukad Petanu, dan Tukad Balian (2000), Kalimas dan Bondoyudo (2001), Batang Gadis (2002), Cimelati dan Gilirang (2002), Ciapus (2003), Cibogo (2003), Fatmawati (2003), dan Mekongga (2004).

Selanjutnya, varietas yang paling fenomenal yang dilepas pada tahun 2000-an adalah varietas unggul baru (VUB) Ciherang. Varietas ini sampai saat ini mendominasi pertanaman padi di Indonesia lebih dari 15 tahun terakhir. Data terakhir dari Dirjen Tanaman Pangan (2018) menunjukkan bahwa varietas Ciherang masih menduduki urutan pertama dengan luas tanam 3 juta ha atau 30% dari total luas tanam 15 juta ha pada tahun 2018/2019. Ciherang sangat diminati petani karena selain produktivitasnya tinggi dan tahan terhadap hama penyakit, juga memiliki rendemen beras yang tinggi. Seiring dengan perkembangan strain, ras dan patotipe hama dan penyakit, ketahanan varietas Ciherang tidak dapat mengatasi perubahan tersebut. Di samping itu perubahan iklim mengakibatkan lebih sering terjadi banjir, kekeringan dan intrusi air laut ke daratan sehingga dibutuhkan daya adaptasi yang lebih baik yang tidak dimiliki oleh varietas Ciherang. Tahun 2012 dilepas Ciherang yang tahan rendaman dengan diberi nama Inpari 30 Ciherang Sub1 (Nugraha et al. 2017, Septiningsih et al. 2014). Tahun 2020, Balitbangtan baru saja menghasilkan VUB (Bioni 63 Ciherang Agritan) hasil perbaikan Ciherang melalui silang balik dengan peningkatan karakter ketahanan penyakit dominan di padi (Fatimah et al. 2015). Jadi

upaya untuk memperbaiki performa varietas Ciherang terus dilakukan dengan mengintroduksi gen unggul yang tidak dimiliki oleh Ciherang.

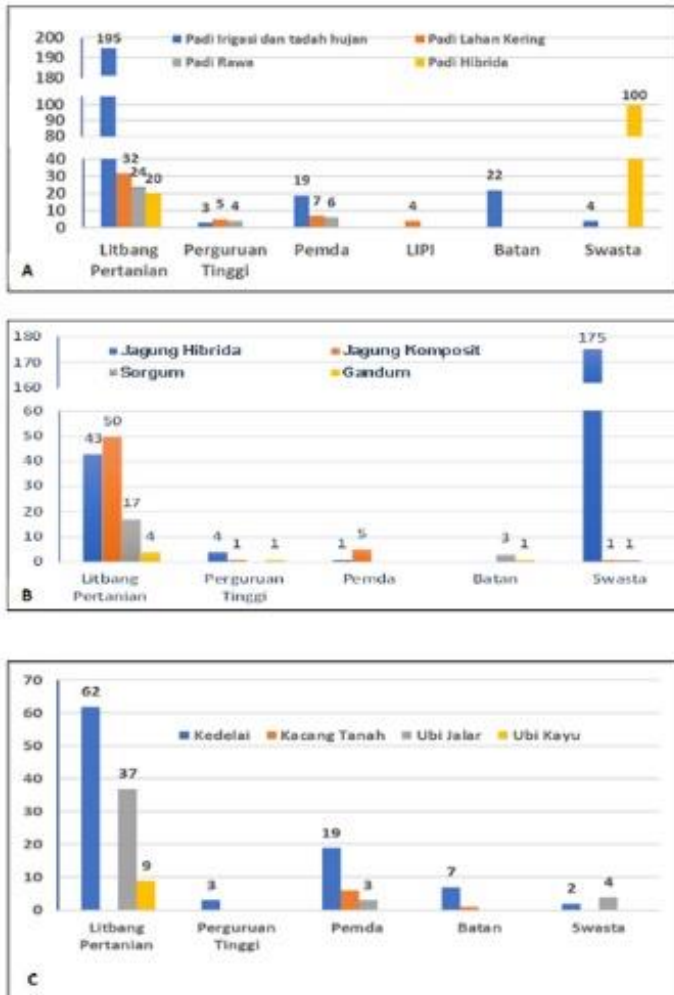
Sejarah pengembangan jagung di Indonesia mengalami pasang surut mengikuti kebijakan dan kebutuhan pangan nasional. Sebelum tahun 1970-an beberapa wilayah di Indonesia menggunakan jagung sebagai pangan utama, seperti sebagian Jawa Tengah dan Timur, Madura, dan Nusa Tenggara. Namun demikian pada tahun 1980-an kebijakan nasional untuk meningkatkan produksi beras menggeser lahan pertanaman jagung pangan menjadi tanaman padi, sedangkan sebagian petani yang tetap menanam jagung beralih ke pakan ternak. Pada tahun 2000-an, pasar jagung mulai bergairah lagi karena kebutuhan pakan ternak semakin meningkat, hal tersebut berdampak pada alih tanam kacang-kacangan di lahan kering ke tanaman jagung. Permintaan jagung dari tahun ke tahun semakin meningkat di lain pihak kondisi pasokan pangan ke pasar dunia cenderung berkurang, menjadi pendorong untuk memacu produksi jagung di dalam negeri. Terlebih dengan produktivitas tanaman jagung semakin meningkat dengan berkembangnya varietas jagung hibrida.

Pemerintah Indonesia sejak tahun 1983 meningkatkan program pengembangan jagung hibrida yang didukung oleh organisasi perbenihan yang lebih baik, partisipasi perusahaan swasta, pengetahuan petani tentang budidaya jagung hibrida yang semakin tinggi, dan didukung anggaran penelitian dan pengembangan oleh pemerintah yang lebih tinggi. Peran swasta dalam pengembangan varietas jagung hibrida memiliki andil besar. Hibrida pertama yang dilepas di Indonesia yaitu hibrida Silang Puncak introduksi varietas C1 (dilepas tahun 1983) yang dihasilkan oleh PT Cargill. Hibrida Silang Tiga Jalur pertama yang dilepas di Indonesia yaitu varietas Pioneer-1 yang dihasilkan oleh PT Pioneer dan dilepas tahun 1985 dengan hasil rata-rata 5,5

ton/ha. Hibrida Silang Tunggal pertama yang dilepas di Indonesia yaitu varietas IPB-4 yang dihasilkan oleh Institute Pertanian Bogor (IPB) dan dilepas tahun 1985 dengan hasil rata-rata 5,4 ton/ha. Varietas jagung hibrida yang pertama dilepas oleh Balitbangtan yaitu varietas Semar-1 pada tahun 1992 yang merupakan hibrida Silang Tiga Jalur. Sedangkan hibrida Silang Tunggal yang pertama dilepas yaitu varietas Bima-1 (tahun 2001). Hingga tahun 2016 sebanyak 39 varietas jagung hibrida telah dilepas oleh Balitbangtan yang terdiri dari 12 varietas hibrida Silang Tiga Jalur dan 27 varietas hibrida Silang Tunggal. Beberapa varietas unggul jagung hibrida yang memiliki daya hasil tinggi dan tahan hama/penyakit utama. Di samping itu Balitbangtan juga merakit hibrida jagung khusus awal yaitu tahun 2000an dan beberapa telah dilepas varietas unggul hibrida jagung khusus (*specialty corn*) antara lain jagung berkualitas protein tinggi (Quality Protein Maize, QPM), jagung dengan kadar vitamin A tinggi (*Beta Carotene*), serta jagung pulut dengan kandungan amilopektin tinggi (Yasin et al. 2007).

Hampir 600 varietas unggul baru tanaman pangan telah mendapat rekomendasi oleh Kementerian Pertanian dimanfaatkan oleh petani melalui pelepasan varietas unggul tanaman pangan (Gambar 9). Dari sekian banyak institusi yang melepas varietas unggul tanaman pangan, Balitbangtan merupakan yang terbanyak melepas varietas unggul tersebut. Untuk tanaman padi dari semua agroekosistem dan jenis padi sudah dilepas 446 varietas dengan dominansi varietas padi sawah. Pada tanaman padi, peran swasta dalam mengembangkan varietas padi hibrida cukup dominan dengan jumlah varietas 100 buah. Demikian halnya pula pada varietas unggul jagung hibrida, 175 varietas unggul telah dilepas oleh perusahaan swasta. Sampai tahun 2018, jumlah varietas unggul tanaman serealia lainnya juga masih sangat terbatas (< 5 VUB). Namun 2019 minimal 3 VUB tanaman serealia khususnya sorgum melalui pemuliaan mutasi

yang dibantu pendekatan in vitro berhasil dilepas Balitbangtan, yang dapat berkontribusi sebagai pangan maupun bahan baku energi.



Gambar 11. Jumlah Varietas Unggul Tanaman Pangan Padi (A), Serealia (B), dan Kacang serta Aneka Umbi (C) yang Dilepas dari Tahun 1940–2018 (Sumber: Ditjen Tanaman Pangan 2018)

PERMASALAHAN DAN TANTANGAN PEMULIAAN TANAMAN PANGAN DI INDONESIA

Indonesia secara geografi merupakan negara kepulauan dan penduduknya berasal dari migran dari Asia Timur ribuan tahun yang silam. Bersamaan dengan migrasi ke Indonesia, mereka membawa benih tanaman makanan pokoknya, dalam hal ini padi untuk dibudidayakan ditempat baru (Kovach et al. 2007). Demikian pula tanaman seperti jagung, kedelai, ubi jalar, ubi dan lainnya bukan merupakan asli dari Indonesia. Tanaman tersebut merupakan introduksi dari wilayah lain seiring dengan perpindahan manusia dan kebutuhan, terutama ketika periode kolonialisme di Indonesia.

Pendapat bahwa Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki biodiversitas tanaman yang cukup luas memang ada benarnya namun tidak untuk tanaman pangan. Indonesia bukanlah *center of origin* dari tanaman bahan makanan pokok yang dikonsumsi penduduk Indonesia saat ini seperti, padi, jagung, gandum, kedelai, dan tanaman lainnya. Implikasi dari keadaan tersebut adalah adaptasi terhadap lingkungan tropis menyebabkan potensi hasil tidak akan setinggi di tempat aslinya. Beberapa komoditas seperti padi dan jagung potensi hasilnya sudah mendekati wilayah asalnya, namun untuk komoditas gandum dan kedelai yang membutuhkan suhu dan panjang hari yang berbeda sampai saat ini belum dapat menyamai potensi yang ada di wilayah asalnya daerah subtropis. Di samping itu sumber gen yang dimiliki untuk perbaikan sifat pada umumnya hanya ditemukan pada tanaman yang berasal dari wilayah asalnya. Sebagai contoh dari ribuan plasma nutfah padi yang di skringing untuk ketahanan terhadap hama wereng coklat secara vertikal, tidak ada donor gen ketahanan yang berasal dari varietas asli Indonesia. Demikian pula untuk ketahanan terhadap hama wereng hijau, ketahanan terhadap hama ganjur, ketahanan

terhadap rendaman (*Sub1*), perkecambahan anaerob (AG), ketahanan terhadap salinitas dan lainnya. Namun untuk sifat seperti adaptasi cekaman edafik seperti toleran terhadap kekeringan, keracunan besi dan aluminium karena telah diseleksi oleh petani secara lama maka banyak ditemukan pada padi lokal Indonesia. Dengan adanya jejaring internasional dalam pertukaran plasma nutfah hambatan tersebut sudah bukan permasalahan lagi. Namun adanya kesadaran bahwa plasma nutfah sebagai suatu kekayaan dan dianggap sebagai aset suatu negara hal tersebut menjadikan hambatan dalam perakitan varietas unggul.

Tanaman, seperti halnya makhluk hidup lainnya secara alami ada batas dalam kemampuannya dalam tumbuh, berkembang dan berproduksi. Sejumlah tanaman budidaya penghasil pangan telah mencapai potensi maksimum dalam berproduksi. Sebagai contoh tanaman padi dengan model simulasi konversi karbon tipe C3 dengan kondisi radiasi matahari paling maksimum di 20-24 MJ/m²/hari diproyeksikan secara maksimal hanya dapat menghasilkan gabah sebesar 14.5 ton/ha (Espe et al. 2016), meskipun secara aktual di Indonesia tidak akan melebihi 9.1- 11,6 t/ha (Agustiani et al. 2018). Stagnasi potensi hasil padi dilaporkan di China dan Jepang (Cassman et al. 2010) demikian halnya juga potensi hasil jagung dan gandum di sebagai besar eropa tidak mengalami peningkatan selama beberapa dekade terakhir (Brisson et al. 2010).

Upaya peningkatan potensi tanaman dapat dilakukan melalui pendekatan *ideoplant type* dengan mengubah arsitektur tanaman dan heterosis dengan memanfaatkan fenomena vigor hibrida terutama pada tanaman menyerbuk silang (Nugraha and Sitaresmi 2018), serta kemungkinan menggunakan pendekatan bioteknologi dengan memanfaatkan informasi genom yang berhubungan dengan hasil gabah. Perubahan secara dramatis model arsitektur dan fisiologis tanaman yang dapat mengkoversi

lebih banyak karbon menjadi karbohidrat yang dapat dipanen. Strategi lain adalah dengan mendapatkan genotipe yang mampu merespons teknik budi daya yang optimum. Secara teoritis, hasil tanaman merupakan fungsi dari jumlah biji/buah yang dipanen, ukuran biji, serta jumlah batang per tanaman dalam satuan luas yang ditanam (populasi tanaman). Hasil panen yang tinggi tersebut dapat terpenuhi jika arsitektur tanaman cukup ideal untuk mendukung pertumbuhan untuk setiap komponen hasil dalam tubuh tanaman yang diupayakan berkembang secara optimal melalui teknik budidaya (Qian et al. 2016; Zeng et al. 2017)

Tantangan lainnya dalam program pemuliaan di Indonesia adalah beberapa sifat yang dibutuhkan tidak terdapat pada tanaman spesies budidaya maupun *wild type*. Sebagai contoh penggerek batang pada padi dan jagung maka perlu rekayasa genetik untuk menginsersi gen dari spesies lain. Penggunaan gen dari spesies lain masih menjadi kontroversi terkait dengan keamanan pangan dan hayati. Seiring dengan perkembangan teknologi ekspresi suatu sifat dapat dimanipulasi sedemikian rupa melalui pendekatan pengeditan genom (genom editing). Perubahan susunan basa pada DNA melalui pendekatan genom editing memungkinkan terjadinya perubahan dalam pembentukan asam amino, protein, enzim, yang pada akhirnya merubah biokimia sehingga terbentuknya mutan baru yang memiliki karakter yang tidak dimiliki oleh individu aslinya.

Seiring dengan tuntutan jaman khususnya peningkatan produksi, produk yang dihasilkan oleh tanaman pangan juga dituntut untuk lebih berkualitas dalam hal kandungan gizi dan sehat untuk dikonsumsi manusia ataupun hewan ternak. Saat ini lebih dari dua milyar penduduk di dunia yang utamanya adalah anak-anak dan para wanita menderita kekurangan nutrisi mikro (besi, seng, vitamin A) yang disebabkan rendahnya kandungan gizi tersebut di dalam makanan yang dikonsumsi (Tulchinsky 2010). Pendekatan melalui fortifikasi, suplementasi dan

diversifikasi sumber makan kurang begitu efektif diterapkan di negara-negara berkembang karena faktor ekonomi dan sosial (Saltzman et al. 2017). Pendekatan biofortifikasi, dilakukan untuk mempermudah akses kecukupan nutrisi terutama di negeri-negara yang berkembang. Pendekatan ini dilakukan dengan meningkatkan kandungan nutrisi tanpa merubah sifat penting lainnya melalui perakitan varietas pada tanaman pangan seperti beras, gandum dan jagung sehingga tidak ada resistensi dari petani dan konsumen. Dengan biofortifikasi yang diperlukan adalah sistem perbanyak benih untuk dapat diakses petani sehingga akan terjamin keberlanjutan peningkatan akses nutrisi masyarakat karena tidak memerlukan investasi yang banyak.

Disamping kemajuan signifikan dalam pemuliaan tanaman pangan secara konvensional dan hibrida yang didesain berdasarkan variasi genetik, tidak dapat dipungkiri bahwa sebagian karakter genetik kompleks yang ditargetkan masih menjadi pekerjaan rumah para pemulia dan peneliti yang harus diselesaikan. Khususnya seperti karakter fenotipe yang diinginkan telah merevolusi produk pangan namun gen/alel yang bertanggung jawab baru diidentifikasi kemudian. Sebagian besar karakter agronomi khususnya potensi hasil, memiliki sifat genetik yang kompleks yang dikontrol banyak gen dengan interaksinya. Hal lebih buruk lagi adalah sebagian besar gen tersebut mempunyai efek *pleiotropic* sehingga memperbaiki karakter satu sifat akan merugikan karakter penting lain (Anonim 2018). Perlu ditekankan bahwa, pemuliaan sebaiknya selalu diintegrasikan sebagai strategi peningkatan produktivitasnya.

Berdasarkan berbagai permasalahan dan tantangan dalam perakitan varietas unggul yang dihadapi sampai saat ini, upaya untuk menembus batas potensi hasil dan karakter penting lainnya baik kuantitatif maupun kualitatif pada tanaman pangan perlu didorong dengan sentuhan teknologi pemuliaan terkini. Saat ini diperlukan percepatan pemuliaan (*speed breeding*) misalnya

melalui teknologi seleksi genomik, *high-throughput genotyping*, introgresi gen dan genom editing yang dapat mendukung pemuliaan konvensional (Nadeem *et al.* 2017). Pengembangan ide dan teknologi terkini berkembang pesat dalam bidang genetika dan omik/*omics* (genomic, transkriptomik, metabolomik, proteomik) yang berkontribusi dalam elusidasi karakter di fase-fase perkembangan tanaman. Namun demikian ada permasalahan bagaimana menerjemahkan teknologi dan ilmu pengetahuan tersebut dalam praktik pemuliaan. Tantangannya tidak hanya menjembatani kesenjangan secara ilmiah namun juga secara administratif. Selain itu, teknologi tinggi ini (*high-tech*) membutuhkan kapitalisasi dan investasi yang cukup besar, karena di Indonesia aplikasi teknologi tersebut sangat terbatas pada institusi penelitian yang memiliki kecukupan pendanaan dan sumber daya manusia dengan penguasaan teknologi tinggi. Kondisi saat ini juga didukung dengan tidak sebandingnya jumlah dan jenis komoditas tanaman pangan yang harus dikembangkan untuk memenuhi ketahanan pangan saat ini dan di masa mendatang, dengan jumlah pemulia di Indonesia.

PEMULIAAN BERBASIS TEKNOLOGI *FRONTIER* DAN PREFERENSI KONSUMEN

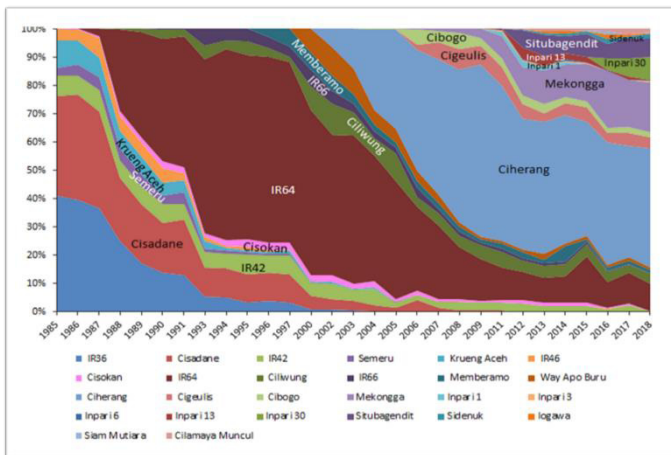
Pentingnya Pergantian Varietas Unggul Sesuai Kebutuhan

Pemahaman terhadap preferensi/selera konsumen dan kekuatan yang mendorong pilihan sebuah varietas tanaman oleh petani sangat penting dalam membantu desain perakitan VUB. Berdasarkan studi di tujuh negara di Asia, termasuk Indonesia diketahui bahwa pemuliaan tanaman pangan seperti padi yang penting dalam ketahanan pangan seringkali hanya menitik beratkan pada pasokan. Oleh karena itu perlu pergeseran persepsi bahwa pemuliaan berbasis konsumen seharusnya

menggabungkan preferensi konsumen dalam perakitan VUB sehingga bermanfaat terhadap a) konsumen karena pangan yang tersedia sesuai dengan preferensinya, dan b) petani dengan memfasilitasi akses pasar dan keleluasaan dalam menangkap surplus pasar. Preferensi konsumen cukup heterogen antar negara dan bahkan di beberapa daerah di Indonesia (Asrat et al. 2009, Custodio et al. 2019)

Tingkat adopsi sebuah varietas tanaman oleh petani dipengaruhi oleh faktor sosio-ekonomi, kondisi alam dan institusional (Bezabih 2003). Secara umum petani menginginkan varietas tanaman dengan hasil panen tinggi yang stabil dan adaptasi tinggi pada lingkungan yang berubah terutama karena hama dan penyakit, disamping rasa yang dapat diterima konsumen sehingga bersaing di pasar dan memberi keuntungan pada petani. Kondisi di Indonesia menunjukkan bahwa jumlah varietas unggul yang dilepas oleh berbagai institusi pemuliaan ternyata hanya sebegian kecil saja yang terus dikembangkan oleh petani. Tuntutan untuk pergantian varietas dikarenakan dinamika perkembangan hama dan penyakit menjadi faktor utama, disamping adanya perbaikan produktivitas, mutu dan karakter lainnya yang lebih baik dibandingkan varietas unggul lama. Namun demikian beberapa varietas unggul tanaman pangan dapat bertahan lama dikarenakan karena keunggulan varietas tersebut sulit digantikan oleh varietas unggul baru yang baru dilepas. Sebagai contoh adalah varietas padi IR64, mampu bertahan sampai sekarang sejak dilepas tahun 1985, meskipun dalam perkembangannya varietas tersebut menurun memasuki tahun 2000an. Demikian halnya varietas pengganti IR64, yaitu varietas padi Ciherang yang merupakan varietas paling dominan hingga saat ini sejak dilepas tahun 2000 (Gambar 10).

Pertanyaan akan timbul kemudian, akankah varietas Ciherang tergeser oleh varietas yang lebih baik? Secara teoritis degradasi hasil akan terjadi seperti yang dilapor pada varietas IR8 yang mengalami penurunan akibat perubahan iklim (Peng et al. 2010), varietas yang dirakit harus dapat beradaptasi terhadap peningkatan temperatur dan peningkatan laju respirasi (Kinose et al. 2020) dan faktor-faktor teknis lainnya seperti yang dijelaskan di atas. Oleh karena itu sangat penting adanya pergantian varietas yang dapat menyesuaikan perubahan-perubahan tersebut namun dengan tetap mempertahankan kualitas mutu sesuai dengan preferensi yang berkembang seiring dengan perkembangan waktu. Untuk mendukung konsep diatas, aplikasi teknologi terkini yang tidak hanya berbasis potensi sumber daya genetik namun juga kecanggihan teknis pemuliaan presisi dalam menghasilkan varietas dengan karakter target yang diinginkan sangat diperlukan.



Gambar 9. Perkembangan Varietas Unggul Padi dari 1985 – 2018

Teknologi Pemuliaan Tanaman Frontier

Sesuai dengan perkembangan teknologi dan tantangan yang ada, ilmu dan aplikasi pemuliaan tanaman terus berkembang. Teknologi yang telah terbangun sebagai akumulasi *building block* pengetahuan dan telah banyak digunakan selanjutnya disebut dengan teknologi konvensional. Selanjutnya teknologi-teknologi temuan terbaru yang mulai diterapkan atau disebut dengan teknologi frontier diterapkan dalam teknik konvensional di atas. Jadi trend bioteknologi dimulai dari pemuliaan konvensional ke pemuliaan dengan teknik baru yang mampu menghasilkan jumlah data besar dari fenotipe dan genotipe yang perlu untuk akselerasi perakitan varietas tanaman. Pengembangan teknik genomik dan omik lainnya diikuti kemajuan molekuler sel, prediksi fenotipe dapat diotomatisasi (Furbank and Tester 2011). Teknologi-teknologi baru tersebut diharapkan dapat memberikan keuntungan yang tidak ada dalam teknologi konvensional yang telah ada, ataupun dapat melakukan hal-hal yang tidak dapat dilakukan menggunakan teknologi konvensional (Watson et al. 2018). Aplikasi teknologi terbaru juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan presisi aktivitas pemuliaan yang dilakukan, sesuai dengan tantangan yang semakin kompleks dari waktu ke waktu.

Teknologi pemuliaan tanaman konvensional yang telah terbangun diantaranya adalah persilangan (hibridisasi) serta mutasi menggunakan energi radiasi dan kimia yang dilanjutkan dengan seleksi fenotipik di lapangan. Selanjutnya berkembang teknik seleksi menggunakan teknik molekuler yang diaplikasikan terhadap bibit/biji sebelum ditanam ataupun ketika pertanaman telah tumbuh di lapang yang dilakukan secara simultan dengan seleksi secara fenotipik. Marka molekuler tersebut diantaranya adalah marka *amplified fragment length polymorphisms* (AFLP), *random amplified polymorphic DNAs* (RAPD), *sequence tagged sites*

(STS), *restriction fragment length polymorphisms* (RFLP), *simple sequence repeats* (SSR), hingga single nucleotide polymorphisms (SNP) yang berbasis pada sekuensing genom (Garcia et al. 2004; Mishra et al. 2018). konversi SNP menjadi marka berbasis PCR (*single nucleotide amplified polymorphism/* SNAP) pada karakter terkait mutu rasa padi juga telah dikembangkan untuk mempermudah pemanfaatannya (Lestari and Koh 2013)

Teknik marka molekuler berbasis PCR ini sudah berkembang sejak 1980an dan makin maju seiring dengan perkembangan teknologi, sedangkan SNP muncul setelah ada platform sekuensing dan telah banyak diaplikasikan dalam pemuliaan tanaman. Meskipun biaya pengaplikasian teknologi molekuler dapat dikatakan semakin murah, namun belum serta merta dapat dilakukan secara masif oleh berbagai lembaga yang melakukan kegiatan pemuliaan. Sarana, pra sarana, dan biaya operasional terkadang masih menjadi kendala riil yang dihadapi dalam pengaplikasian teknologi molekuler ini. Teknologi molekuler ini dapat dikatakan sebagai teknologi frontier untuk saat ini. Teknologi terbaru yang juga terus dikembangkan seperti berbagai metode transformasi genetik dan *genome editing* yang semakin presisi dapat diterapkan hanya terhadap gen target saja tanpa menyisipkan transgene pengiring dalam genom varietas yang diperbaiki (Araki and Ishii 2015, Nadeem et al. 2017, Li et al. 2020). Perbandingan antara teknologi pemuliaan konvensional dan frontier berdasarkan tahapan pemuliaan dari mulai pre breeding sampai hilirisasi produk hasil pemuliaan ditampilkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan Antara Teknologi Pemuliaan Konvensional dan Teknologi Frontier Berdasarkan Tahap-Tahap Kegiatannya.

Tahapan pemuliaan	Konvensional	Frontier (Novelties)	Pustaka
1. <i>Pre Breeding</i>	Kebutuhan masyarakat pada waktu itu (<i>demand driven</i>)	<i>Market Intelegant</i> , kebutuhan sekarang dan kedepan serta menciptakan pasar (market creation)	(Kenei and Imtiaz 2010, Ceccarelli and Grando 2007)
2. Pembentukan populasi	Rekombinasi menggunakan persilangan atau mutasi tanpa diketahui arah rekombinan	Hasil rekombinasi terarah menggunakan persilangan satu spesies bahkan antara genus dan mutasi gen terarah (<i>gen editing</i>)	(Nadeem et al. 2017, Araki and Ishii 2015)
3. Seleksi	Menggunakan karakter fenotipik yang teridentifikasi secara visual, bersifat acak dan menggunakan peluang nilai subyektivitas pemulia tinggi berdasarkan perasaan. Pembentukan galur murni dan silang balik berdasarkan keseragaman fenotipik membutuhkan waktu yang lama (>10 generasi)	Berdasarkan karakter fenotipik yang diidentifikasi secara digital, peran pemulia lebih obyektif. Pembentukan galur murni dan silang balik lebih cepat karena alel homozigot sudah diketahui secara molekular sehingga mempersingkat waktu (3-5 generasi)	(Busemeyer et al. 2013, Araus and Cairns 2014, Fahlgren et al. 2015)

Tahapan pemuliaan	Konvensional	Frontier (Novelties)	Pustaka
4. <i>Breeding value</i> dan Kemajuan genetik	Berdasarkan <i>phenotypic value</i> , kemajuan genetik ditentukan berdasarkan indeks seleksi, adanya “kompensasi” seleksi dimana satu sifat terjadi peningkatan sifat lain menurun (<i>economical-weight</i>)	Berdasarkan <i>genomic value</i> , kemajuan genetik secara simultan mencakup semua aspek sasaran gen (tidak ada <i>economical weight</i>). Penggunaan big data dalam seleksi DNA dan fenotipik	(Crossa et al. 2017, Akdemir et al. 2018, Soeparno 2020)
5. Pasca <i>Breeding</i>	Adanya mekanisme pasar (varietas yang dominan dan varietas mati tidak berkembang)	Beragam varietas, spesifik kebutuhan dan lokasi tergantung preferensi petani	(Custodio et al. 2019)
6. Rasa and preferensi	Citra rasa dan preferensi adalah.	Citra rasa dan preferensi adalah faktor penentu pada rantai nilai	(Calingacion et al. 2014)
7. <i>Farmers’Willingss to Acept</i> (WTA) dan <i>Consumers’ Willingness to Pay</i> (WTP).	Harga dikendalikan oleh pasar, petani mengadopsi varietas berdasarkan keumuman pasar	Konsumen sebagai faktor diskriminasi yang berani membayar harga lebih tinggi dengan kualitas produk prima	(Manikmas 2012)

Balitbangtan telah menginisiasi pemanfaatan teknologi frontier dalam perakitan varietas tanaman pangan sejak tahun 2000an. Sejumlah varietas telah dihasilkan menggunakan seleksi molekuler yang merupakan bagian dari teknologi frontier (Tabel 13). Di samping itu penelitian genomika telah diinisiasi sejak ada program konsorsium genom 2011. Padi, Jagung dan

kedelai termasuk komoditas yang menjadi target prioritas analisis genom. Minimal 12 komoditas pertanian termasuk ketiga komoditas tersebut telah dintegrasikan data genom hasil reskuensingnya maupun analisis *de novo* dan *genome-wide genytping*nya di data base genom Balitbangtan, namanya Pusat Genom Pertanian Indonesia/PGPI (<http://genom.litbang.pertanian.go.id>). Konten utama PGPI adalah penjelajah genom yang berisi sekuen genom dengan informasi varian dan posisinya di genom, dan data base yang mudah diakses. Dalam database terdapat varian misalnya SSR dan SNP dengan sekuen pengapit yang sebagian dilengkapi prediksi gennya, maupun primer SSR, SNAP, SNP, Indel hasil desain maupun konfirmasi di laboratorium dapat diakses di PGPI (Anonim 2015). Pengguna dapat akses sekuen untuk didesain primenya sesuai kebutuhan. Database genomik PGPI yang telah mendapat hak cipta ini merupakan sumber informasi genom dan marka molekuler yang bermanfaat bagi peneliti dan pemulia. Jadi teknologi frontier menunjukkan betapa *big data* dari sekuensing genom dapat diakmodir dalam sebuah website yang mudah diakses, dan tentunya menjadi modal kolaborasi Balitbangtan baik nasional maupun internasional (Soeparno 2020).

Tabel 13. Varietas Tanaman Pangan yang Telah Dilepas Menggunakan Teknologi Frontier di Indonesia

Komoditas/ Varietas	Tahun dilepas	Metode Seleksi	Karakteristik Unggul	Pustaka
Padi:				
Code	2001	MABC	Tahan penyakit hawar daun bakteri donor gen <i>Xa7</i>	(Lubis et al. 1999)
Angke	2001	MABC	Tahan penyakit hawar daun bakteri donor gen <i>xa5</i>	(Lubis et al. 1999)

Inpara 4	2010	MABC	Toleran rendaman dengan donor gen <i>Sub1</i>	(Suwarno et al. 2012)
Inpara 5	2010	MABC	Toleran rendaman dengan donor gen <i>Sub1</i>	(Suwarno et al. 2012)
Inpari 30 Ciharang Sub 1	2012	MABC	Toleran rendaman dengan donor gen <i>Sub1</i>	(Nugraha et al. 2017, Septiningsih et al. 2014)
Inpari Blast	2013	MAS	Toleran penyakit blast dengan donor gen <i>Pir 7</i>	(Utami et al. 2016)
Inpari HDB		MAS	Tahan penyakit hawar daun bakteri donor gen <i>xa5</i>	(Utami et al. 2016)
Bio Patenggang	2018	MABC	Tahan penyakit blast	(Yuriyah et al. 2019)
Bioni 63 Ciharang Agritan	2020	MABC	Tahan wereng batang coklat gen donor bph6	(Fatimah et al. 2015)
Kedelai				
Biosoy	2019	MAS	Gen ketahanan terhadap karat, penggerek polong	(Asadi et al. 2020)
Jagung				
Komposit QPM Srikandi kuning-1	2005	MAS	Gen protein tinggi <i>opaque-2</i>	(Yasin et al. 2007)
Komposit QPM Srikandi Srikandi putih-1	2005	MAS	Gen protein tinggi <i>opaque-2</i>	(Yasin et al. 2007)

MAS: Marker assisted selection, MABC: Marker assisted Backcrossing

Pengukuran fenotipe karakter kompleks seperti pertumbuhan, hasil panen, adaptasi terhadap cekaman lingkungan memerlukan akurasi dan presisi tinggi pada skala yang berbeda dari organ sampai kanopi tanaman (Cabrera-Bosquet et al. 2012). Ekspresi fenotipik secara presisi tinggi *high-throughput phenotyping platform* (HTPP) yang melibatkan sensor kamera yang menghasilkan citra digital, robotics, aeronotics dan komputer untuk mengumpulkan data pertumbuhan tanaman yang diolah menjadi data digital dan presisi tinggi (Fahlgren et al. 2015). Selain meminimalisir subjektivitas dalam memilih materi pemuliaan, HTPP juga dapat memberikan keuntungan lain dibandingkan dengan sistem konvensional dimana karakter tanaman tidak diperlukannya pengamatan destruktif misalkan pengamatan biomasa, luas areal daun (*leaf area index*), dan lainnya. Hal tersebut tentunya akan menguntungkan peneliti dalam meningkatkan kualitas percobaan dengan memperbanyak ulangan percobaan dan mengurangi jumlah sampel untuk percobaan destruktif (Furbank and Tester 2011). Dikatakan high throughput karena pengamatan yang dilakukan oleh sistem ini 1) secara relatif dapat menghasilkan jumlah yang banyak dan dalam jangka waktu yang singkat, karena menggunakan citra digital dan diolah oleh processor berkecepatan tinggi dan 2) pengukuran high throughput, yang berfungsi untuk skrining banyak genotipe pada kondisi serupa. Hasil genotiping dan fenotiping merupakan kumpulan *big data* yang kompleksitasnya membutuhkan analisis penggunaan supercomputer, untuk menghasilkan kesimpulan dengan akurasi tinggi yang akan menjadi pengarah bagi pemulia untuk menentukan proses breeding selanjutnya sehingga pada akhirnya menghasilkan varietas yang diinginkan.

Disamping varietas, sejumlah galur harapan hasil seleksi marka molekuler terkait beberapa sifat penting tanaman pangan mutu rasa padi (Lestari and Koh 2014), kandungan gizi Fe dan Zn (Susanto et al. 2010), ketahanan keracunan besi (Nugraha et al.

2016), ketahanan terhadap penyakit blast (Utami et al. 2008), toleran terhadap keracunan Aluminium dan kawat Fosfat (Alfi et al. 2019), kekeringan (Trijatmiko et al. 2014) akan dilanjutkan untuk perakitan varietas padi di Indonesia. Aplikasi bioteknologi khususnya teknologi CRISPR yang dapat menghasilkan mutase sesuai keinginan. Misalnya genome editing tiga homoeoalleles secara simultan direkayasa di gandum heksaploid untuk meningkatkan ketahanannya terhadap embun tepung/powdery mildew (Wang et al. 2014). Untuk karakter kompleks, gen atau sekuen regulator yang dikarakterisasi CRISPR dapat digunakan dalam kombinasi dengan desain genetik untuk menghasilkan serangkaian alel yang sejalan dengan fenotipe untuk skrining. Saat ini telah diaplikasikan teknologi *genome editing* untuk mendukung berbagai tujuan pemuliaan seperti pemendekan tinggi tanaman untuk mencegah kerebahan dan perakitan padi rawa toleran keracunan Fe

Pendekatan transgenik juga telah menghasilkan galur-galur yang memiliki kandungan Fe dan Zn yang tinggi, yaitu berturut-turut 15 ppm Fe dan 45,7 ppm Zn pada pengujian lapang. Gen yang diinsersikan adalah *nicotianamine synthase* (OsNAS2) dari padi dan ferritin (SferH-1) dari kedelai (Trijatmiko et al. 2016). Perakitan padi dengan kandungan pro vitamin A melalui insersi gen pengatur akumulasi beta karotene pada butir biji pada tanaman padi. Even GR2E mampu mengakumulasi total karotenoid sebesar 5,8 ppm dalam biji padi yang tidak terdapat sama sekali pada varietas PSBRc 82 (Swamy et al. 2019). Materi-materi genetik hasil *genome editing* dan transgenik tersebut telah ada di Indonesia dan saat ini tengah dilengkapi persyaratan-persyaratan yang diperlukan untuk pelepasannya sebagai varietas unggul baru. Beberapa persyaratan tersebut diantaranya adalah keamanan pangan, keamanan pakan, dan keamanan lingkungan.

Berdasarkan perkembangan-perkembangan tersebut, dapat diketahui bahwa kegiatan pemuliaan di Indonesia telah

menerapkan Sebagian besar teknologi- teknologi terbaru yang ada dan kolaborasi dengan dunia internasional dalam hal ini telah terjalin dengan baik. Teknologi-teknologi terbaru tersebut telah ada di Indonesia dan beberapa produksi telah dilepas ke publik. Laboratorium molekuler telah tersedia dan berjalan aktif di lembaga-lembaga penelitian padi di Indonesia dengan kapasitas yang beragam. Alat sekuensing genom telah tersedia di BB Biogen dan Balitsereal. Disamping itu, biaya sekuensing fragmen genome juga semakin murah. Hal ini memberikan peluang yang besar pemanfaatan teknologi frontier dalam pemuliaan tanaman pangan di Indonesia.

Pemuliaan Frontier Berbasis Preferensi Konsumen

Pada awal pengembangan konsep interaksi genotipe x lingkungan hanya terbatas pada faktor lingkungan berupa karakteristik tanah, iklim, lokasi, musim tanam. Seiring dengan perkembangan pertanian dan preferensi konsumen, program pemuliaan harus mengadopsi faktor lingkungan yang lebih luas melalui pengelolaan tanaman (modifikasi lingkungan biofisik) (Desclaux et al. 2016) dan lebih kompleks melalui pengelolaan di hilir seperti lingkungan hidup, industri, konsumen, pemerintahan, dan sosial lainnya (Chiffolleau and Desclaux 2006, efisiensi program pemuliaan yang melibatkan pihak-pihak yang berkepentingan (konsumen, industri, penyedia jasa industri, penyuluh, dan kelompok tani) atas hasil pemuliaan dalam mengambil keputusan disebut dengan istilah pemuliaan tanaman partisipatif (Witcombe et al. 2016, Ragot et al. 2018, Ceccarelli and Grando 2020).

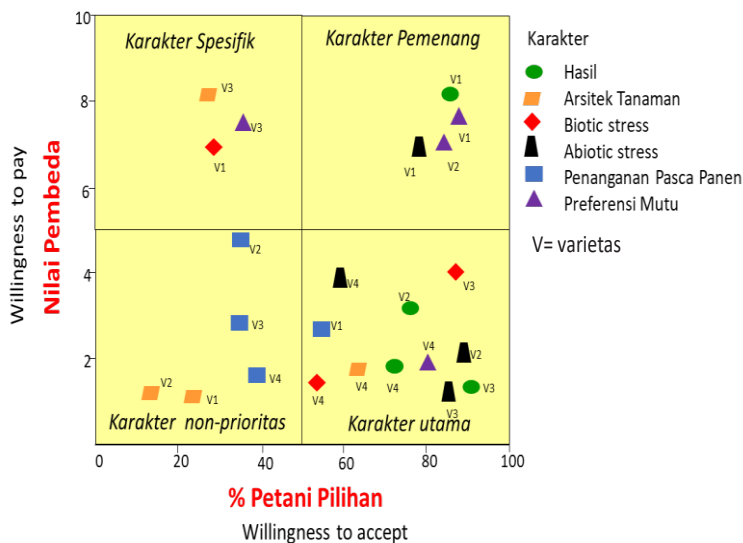
Pola kemitraan baik pemuliaan partisipatif membantu program pemuliaan merancang pengembangan produk yang sesuai bagi kepentingan masyarakat dan lingkungan. Oleh karena itu, keberhasilan program pemuliaan partisipatif ini memerlukan

dukungan jangka panjang dari sektor publik (Brummer et al. 2011). Produk yang dihasilkan melalui program perakitan varietas tidak akan berarti jika produk tersebut tidak diterima oleh petani dan konsumen pengguna lainnya. Dengan demikian pendekatan teknologi yang diimplementasikan dalam proses perakitan varietas harus disertai dengan pendekatan sosial yang dari mulai penyusunan rencana sampai hilirisasi produk pemuliaan yang dihasilkan. Partisipasi peneliti, petani, konsumen, penyuluh, industri dan korporasi pedesaan dalam penyusunan program pemuliaan sangat diperlukan untuk menjaring kebutuhan dan preferensi terhadap produk pemuliaan itu sendiri.

Dalam era *market driven economy* saat ini, pemenuhan terhadap harapan dan preferensi konsumen merupakan tujuan produksi pertanian. Keunggulan suatu varietas diukur dari sejauh mana varietas tersebut dapat memenuhi kebutuhan dan harapan konsumen. Produk yang sesuai dengan kebutuhan konsumen akan sangat ditentukan oleh sejauh mana varietas unggul yang dihasilkan dapat diadopsi di tingkat usahatani sesuai dengan agroekosistem dan sosial budaya, serta karakteristik benih yang dibutuhkan. Petani memilih untuk mengadopsi varietas baru menunjukkan bahwa manfaat atau keuntungan bersih yang diperoleh dari pada varietas lokal apabila penerimaan dari varietas unggul baru tersebut lebih besar (Evenson and Gollin 2003b)

Oleh karena itu, mengidentifikasi harapan dan kebutuhan konsumen pada merupakan langkah penting dalam pembentukan varietas. Karakteristik varietas yang dibutuhkan dapat ditelusuri dari pengguna, dari tingkat petani pengguna benih sampai pada konsumen akhir produk usahatani. Dilihat dari konsumen akhir, mutu rasa selain ditentukan oleh mutu fisik maupun mutu tanak, juga dipengaruhi oleh selera masing-masing konsumen, kebiasaan, lingkungan, pendidikan, pekerjaan, dan tingkat pendapatan (Munarso *et al.* 2020). Dengan demikian posisi

pemilihan varietas berdasarkan pendekatan preferensi konsumen (*consumer willing to pay*) dan adopsi varietas oleh petani (*farmer willing to accept*) dan digambar sebagai kuadran yang berhubungan dengan karakter yang diinginkan (Gambar 11).



Gambar 10. Contoh Kuadran untuk Pemilihan Varietas Berdasarkan Karakter yang Dihubungkan dengan Preferensi Konsumen dan Pilihan Petani

Pendekatan pemuliaan partisipatif dan preferensi konsumen diharapkan menjadi feed back kepada para pemulia untuk merancang program pemuliaan sehingga lebih tepat sasaran dan cepat diadopsi oleh petani. Melalui pemanfaatan teknologi frontier pemuliaan dalam pembentukan atau perbaikan karakter dapat dilakukan lebih cepat dan presisi. Teknologi frontier memberikan fasilitas terhadap teknologi konvensional dari segi prosesnya lebih cepat (hemat waktu, jumlah generasi untuk fiksasi pemuliaan lebih kecil), lebih presisi (tepat terhadap karakter yang

dituju tanpa mengubah karakter yang lain), lebih efisien dalam pengujian lapang (dapat mengurangi kebutuhan jumlah populasi seleksi), serta lebih yakin teruji (dipastikan sifat yang muncul karena gen ekspresi gen target yang yakin telah ada pada tanaman yang diuji, bukan karena faktor lingkungan). Kemajuan teknologi memungkinkan kapasitas pengujian lebih besar dengan waktu yang lebih cepat, teknologi IT memungkinkan analisa data fenotipe, genotipe, bahkan sekuens genom lebih komprehensif dan terintegrasi secara internasional, sehingga lebih mudah untuk saling akses capaian yang telah diperoleh antar lembaga pelaku pemuliaan tanaman.

PENUTUP

Pengembangan varietas unggul merupakan kegiatan inovasi produk, yang diawali dari perekayasa teknologi dan diakhiri oleh adopsi teknologi oleh pengguna. Pemuliaan tanaman yang didukung oleh pemanfaatan teknologi modern serta pendekatan terintegrasi *Participatory Plant Breeding* dan preferensi konsumen akan meningkatkan proses seleksi yang efektif dan efisien serta mempermudah proses adopsi teknologi varietas unggul yang lebih luas dan berkelanjutan. Jadi teknologi maju berbasis genom dan *omics* lainnya, bioinformatik dan digitalisasi seleksi sensori *phenotyping* perlu diinisiasi bersama-sama antar lembaga riset dan perguruan tinggi serta swasta, serta semua elemen yang mendukung percepatan dan penyebaran varietas unggul. Masalah dan solusi kebijakan yang diperlukan dalam mengimplementasikan teknologi frontier yang sesuai dengan preferensi konsumen adalah sebagai berikut:

1. Balitbangtan, Kementerian Pertanian sebagai *corenya*, perlu melakukan pendekatan strategis, integrasi, berkelanjutan dengan harmonisasi melalui kolaborasi antar multi disiplin keilmuan baik secara individu, organisasi maupun antar

negara. Selain itu, implikasi dari pemanfaatan teknologi frontier adalah selain varietas yang dihasilkan juga dapat berupa *big data* pada level genomik/genetik, ataupun produk teknologi baru seperti kit marka DNA diagnostik pada karakter target. Karena itu pengelolaan kekayaan intelektual terhadap produk teknologi atau informasi genetik dalam bentuk paten, hak cipta, *trade secret*, *sui generis* mulai perlu dibudayakan.

2. Penanganan aspek sumber daya manusia (SDM), anggaran dan infrastruktur perlu menjadi prioritas dalam program perakitan varietas tanaman pangan. Untuk mengatasi minimalisnya pemulia tanaman, penambahan SDM dalam bidang pemuliaan genetika perlu difasilitasi melalui program pendidikan di perguruan tinggi baik dalam maupun luar negeri. Hal penting lagi adalah, pemeliharaan infrastruktur dan pelatihan agar ruang intelektual antara ilmu fundamental dan aplikasi pemuliaan dapat diakomodir.
3. Untuk efektivitas dan efisiensi anggaran, terutama pada level nasional terhadap aplikasi teknologi berskala rendah (*low tech*) diarahkan untuk pemuliaan tanaman pangan dimana siklus biologinya yang hanya satu musim yang diprediksi mudah dicapai tanpa harus berkompetisi dengan penelitian hulu (*upstream*). Sebaliknya teknologi frontier (*high tech*) dikhususkan untuk menyelesaikan masalah perakitan varietas dengan karakter *fenotipe* target yang tidak dapat diselesaikan dengan *low tech* maupun pemuliaan konvensional.

Teknologi *frontier* tidak dapat begitu saja menggantikan teknologi konvensional. Teknologi frontier pada akhirnya tetap memerlukan uji di lapang dengan pengamatan visual dan penilaian keragaan pertanaman termasuk daya hasil dan karakter-karakter lain yang penting terkait dengan besarnya penerimaan konsumen pada akhirnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiani, N., N. Deng, J. I. Rattallino, S. S. Girsang, T. Sitaresmi, J. M. C. Pasuquin, F. Agus, and P. Grassini. 2018. Simulating rice and maize yield potential in the humid tropical environment of Indonesia. *Eur. J. Agron.* 101: 10–19.
- Akdemir, D., W. Beavis, and J. Isidro-sánchez. 2018. Multi-objective optimized genomic breeding strategies for sustainable food improvement. *Heredity (Edinb)*. 122: 672–683.
- Alexandratos, N., and H. de Haen. 1995. World consumption of cereals: will it double by 2025? *Food Policy* 20: 359–366.
- Alfi, R., J. Prasetyono, W. B. Suwarno, and H. Aswidinnoor. 2019. Agronomic performance of BC3F5 rice lines introgressed with *pup1* and *ALT LOCI*. *Sabao J. Breed. Genet.* 51: 311–324.
- Anonim. 2015. Pusat Genom Pertanian Indonesia (PGPI).
- Anonim. 2018. Technologies to boost breeding. *Nat. Plants* 4: 1.
- Araki, M., and T. Ishii. 2015. Towards social acceptance of plant breeding by genome editing. *Trends Plant Sci.* 20: 145–149.
- Araus, L., and J. E. Cairns. 2014. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. 19.
- Asrat, S., M. Yesuf, Carlsson F, and E. Wale. 2009. Environment for Development: Farmers' preferensi for crop varoety traits. *JSTOR* 1: 172–289.
- Batey, I. 2017. The Diversity of Uses for Cereal Grains, pp. 41–53 in *Cereal Grains*, Woodhead Publishing.

- Bezabih, E. 2003. Determinants of multiple technology adoption: defining adopters and empirical analysis. *Ethiop. J. Agric. Econ.* 5: 1–22.
- Brisson, N., P. Gate, D. Gouache, G. Charmet, F.-X. Oury, and F. Huard. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *F. Crop. Res.* 119: 201–212.
- Brummer, E. C., W. T. Barber, S. M. Collier, T. S. Cox, R. Johnson, S. C. Murray, R. T. Olsen, R. C. Pratt, and A. M. Thro. 2011. Plant breeding for harmony between agriculture and the environment. *Front. Ecol. Environ.* 9: 561–568.
- Busemeyer, L., D. Mentrup, K. Möller, E. Wunder, K. Alheit, V. Hahn, H. P. Maurer, J. C. Reif, T. Würschum, J. Müller, F. Rahe, and A. Ruckelshausen. 2013. Breedvision - A multi-sensor platform for non-destructive field-based phenotyping in plant breeding. *Sensors (Switzerland)* 13: 2830–2847.
- Cabrera-Bosquet, L., J. Crossa, J. von Zitzewitz, M. D. Serret, and J. Luis Araus. 2012. High-throughput Phenotyping and Genomic Selection: The Frontiers of Crop Breeding Converge. *J. Integr. Plant Biol.* 54: 312–320.
- Calingacion, M., A. Laborte, A. Nelson, A. Resurreccion, J. C. Concepcion, V. D. Daygon, R. Mumm, R. Reinke, S. Dipti, P. Z. Bassinello, J. Manful, S. Sophany, K. C. Lara, J. Bao, L. Xie, K. Loaiza, A. El-hissewy, J. Gayin, N. Sharma *et al.* 2014. Diversity of Global Rice Markets and the Science Required for Consumer-Targeted Rice Breeding. *PLoS One* 9: e85106.
- Cassman, K. G., P. Grassini, and J. van Wart. 2010. Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate.
- Ceccarelli, S., and S. Grando. 2007. Decentralized-participatory plant breeding: An example of demand driven research. *Euphytica* 155: 349–360.

- Ceccarelli, S., and S. Grando. 2020. Participatory plant breeding: Who did it, who does it and where? *Exp. Agric.* 56: 1–11.
- Chandler RF. 1972. The impact of the improved tropical plant type on rice yields in South and Southeast Asia, pp. 77–85 in *In Rice Breeding*, International Rice Research Institute.
- Chiffolleau, Y., and D. Desclaux. 2006. Participatory plant breeding: the best way to breed for sustainable agriculture? *Int. J. Agric. Sustain.* 4: 119–130.
- Crossa, J., P. Pérez-rodríguez, J. Cuevas, O. Montesinos-lópez, D. Jarquín, G. D. L. Campos, J. Burgueño, J. M. Camacho-gonzález, S. Pérez-elizalde, Y. Beyene, S. Dreisigacker, R. Singh, X. Zhang, M. Gowda, M. Roorkiwal, J. Rutkoski, and R. K. Varshney. 2017. Genomic Selection in Plant Breeding: Methods, Models, and Perspectives. *Trends Plant Sci.* xx: 1–15.
- Custodio, M. C., R. P. Cuevas, J. Ynion, A. G. Laborte, M. L. Velasco, and M. Demont. 2019. Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? *Trends Food Sci. Technol.* 92: 122–137.
- Desclaux, D., H.-Y. Huang, B. Bernazeau, and P. Lavène. 2016. Agroforestry: new challenge for field crop breeding?, pp. 466–p in 3. *European Agroforestry Conference (EURAF 2016)*,.
- Espe, M. B., K. G. Cassman, H. Yang, N. Guilpart, P. Grassini, J. Van Wart, M. Anders, D. Beighley, D. Harrell, S. Linscombe, K. Mckenzie, R. Mutters, L. T. Wilson, and B. A. Linquist. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *F. Crop. Res.* 196: 276–283.
- Evenson, R. E., and D. Gollin. 2003.a. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science* 300: 758–62.
- Evenson, R. E., and D. Gollin. 2003.b. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* (80-). 300: 758–762.

- Fahlgren, N., M. A. Gehan, and I. Baxter. 2015. Lights, camera, action: high-throughput plant phenotyping is ready for a close-up. *Curr. Opin. Plant Biol.* 24: 93–99.
- Furbank, R. T., and M. Tester. 2011. Phenomics—technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends Plant Sci.* 16: 635–644.
- Gepts, P., and J. Hancock. 2006. The future of plant breeding. *Crop Sci.* 46: 1630–1634.
- Hedden, P. 2003. The genes of the Green Revolution. *Trends Genet.* 19: 5–9.
- Hu, H., A. Scheben, and D. Edwards. 2018. Advances in integrating genomics and bioinformatics in the plant breeding pipeline. *Agriculture* 8: 75.
- Keneni, G., and M. Imtiaz. 2010. Demand-driven breeding of food legumes for plant-nutrient relations in the tropics and the sub-tropics: Serving the farmers; not the crops! *Euphytica* 175: 267–282.
- Kinose, Y., Y. Masutomi, F. Shiotsu, K. Hayashi, D. Ogawada, M. Gomez-Garcia, A. Matsumura, K. Takahashi, and K. Fukushi. 2020. Impact assessment of climate change on the major rice cultivar ciherang in Indonesia. *J. Agric. Meteorol.* 76: 19–28.
- Kovach, M. J., M. T. Sweeney, and S. R. McCouch. 2007. New insights into the history of rice domestication. *TRENDS Genet.* 23: 578–587.
- Lestari, P., and H. J. Koh. 2013. Development of New CAPS/dCAPS and SNAP Markers for Rice Eating Quality. *HAYATI J. Biosci.* 20: 15–23.
- Lestari, P., and H.-J. Koh. 2014. Prediction of physicochemical properties of Indonesian indica rice using molecular markers. *HAYATI J. Biosci.* 21: 76–86.

- Lupton, F. G. H. 1987. History of wheat breeding, pp. 51–70 in *Wheat Breeding*.
- Malthus, T. R. 1809. An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society. Roger Chew Weightman, Pennsylvania, United State.
- Manikmas, M. O. A. 2012. Farmers Willingness to Accept (WTA) for submergence rice varieties at flash flood and flood prone affected rice area. *Indones. J. Agric. Sci.* 13: 68–79.
- Munarso, S. J., S. I. Kailaku, and R. Indriyani. 2020. Mutu fisik beberapa segmen beras: subsidi, non-subsidi dan impor. *J. Stand.* 22: 85–94.
- Nadeem, M. A., M. A. Nawaz, M. Qasim, Y. Doğan, G. Comertpay, M. Yıldız, R. Hatipoğlu, F. Ahmad, A. Alsaleh, N. Labhane, H. Özkan, G. Chung, M. Azhar, M. A. Nawaz, Q. Shahid, Y. Doğan, G. Comertpay, M. Yıldız, R. Hatipoğlu *et al.* 2017. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 32: 261–285.
- Nugraha, Y., N. Hidayatun, and D. Yuliani. 2017. Phenotypic performance of Ciherang Sub1 Near Isogenic Line as adaptive variety for flooding conditions. *Indones. J. Agric. Sci.* 18: 7–16.
- Nugraha, Y., and T. Sitaresmi. 2018. Upaya peningkatan produktivitas padi dari sisi pendekatan genetik. *Bul. Iptek Tanam. Pangan* 13: 1–10.
- Nugraha, Y., D. W. Utami, I. Rosdianti, S. W. Ardie, M. Ghulammahdi, S. Suwarno, and H. Aswidinnoor. 2016. Markers-traits association for iron toxicity tolerance in selected Indonesian rice varieties. *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 17: 753–763.

- Peng, S., J. Huang, K. G. Cassman, R. C. Laza, R. M. Visperas, and G. S. Khush. 2010. The importance of maintenance breeding: A case study of the first miracle rice variety-IR8. *F. Crop. Res.* 119: 342–347.
- Pickersgill, B. 2007. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics. *Ann. Bot.* 100: 925–940.
- PPN/Bappenas. 2019. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015-2019. Rencana Pembang. Jangka Menengah Nas. 2020-2024 313.
- Qian, Q., L. Guo, S. M. Smith, and J. Li. 2016. Breeding high-yield superior-quality hybrid super-rice by rational design. *Natl. Sci. Rev.* 3: 1–30.
- Ragot, M., M. Bonierbale, E. Weltzein, and N. F. Genetics. 2018. Working Paper 2 From Market Demand to Breeding Decisions: A Framework Author affiliation: CGIAR Gender and Breeding Initiative Working Paper Editing: 2.
- Saltzman, A., E. Birol, A. Oparinde, M. S. Andersson, D. Asare-Marfo, M. T. Diressie, C. Gonzalez, K. Lividini, M. Moursi, and M. Zeller. 2017. Availability, production, and consumption of crops biofortified by plant breeding: current evidence and future potential. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1390: 104–114.
- Septiningsih, E. M., D. L. Sanchez, Y. Nugraha, J. Carandang, and A. M. Pamplona. 2014. Accelerating the development of new submergence tolerant rice varieties: the case of Ciherang-Sub1 and PSB Rc18-Sub1. *Euphytica* 202: 259–268.
- Soeparno, H. 2020. The fourth industrial revolution and embracing the latest technologies to support crop production systems and sustainable agriculture, pp. 413 in *Boosting the Big Data of Plant with Digital Identifiers*, edited by Sabran, M., P. Lestari, D. Satyawan, T. Hadianto, R. T. Mastur, and Terryana. IAARD PRESS Jakarta.

- Supyandi, D., Y. Sukayat, and M. Rachmadi. 2016. Integrasi participatory plant breeding dan preferensi konsumen: Peluang penerapannya dalam pengembangan varietas kedelai baru di Indonesia. *AGRICORE-Jurnal Agribisnis dan Sos. Ekon. Pertan.* 1: 86–93.
- Susanto, U., V. Lopena, H. Aswidinnoor, and P. S. Virk. 2010. Mapping of quantitative trait loci for high iron and zinc content in polished rice (*Oryza sativa* L) grain and some agronomic traits using simple sequence repeats markers, pp. 1–10 in *3rd International Rice Congress*, Hanoi Vietnam.
- Swamy, B. P. M., M. Samia, R. Boncodin, S. Marundan, D. B. Rebong, R. L. Ordonio, R. T. Miranda, A. T. O. Rebong, A. Y. Alibuyog, and C. C. Adeva. 2019. Compositional analysis of genetically engineered GR2E “Golden Rice” in comparison to that of conventional rice. *J. Agric. Food Chem.* 67: 7986–7994.
- Trijatmiko, K. R., C. Dueñas, N. Tsakirpaloglou, L. Torrizo, F. M. Arines, C. Adeva, J. Balindong, N. Oliva, M. V Sapasap, and J. Borrero. 2016. Biofortified indica rice attains iron and zinc nutrition dietary targets in the field. *Sci. Rep.* 6: 19792.
- Trijatmiko, K. R., J. Prasetyono, M. J. Thomson, C. M. V. Cruz, S. Moeljopawiro, and A. Pereira. 2014. Meta-analysis of quantitative trait loci for grain yield and component traits under reproductive-stage drought stress in an upland rice population. *Mol. Breed.* 34: 283–295.
- Tulchinsky, T. H. 2010. Micronutrient deficiency conditions: global health issues. *Public Health Rev.* 32: 243–255.
- Utami, D. W., S. Moeljopawiro, I. Hanarida, and D. Tharreau. 2008. Fine mapping of rice blast QTL from *Oryza rufipogon* and IR64 by SNP markers. *SABRAO J. Breed. Genet.* 40.

- Wang, Y., X. Cheng, Q. Shan, Y. Zhang, J. Liu, C. Gao, and J.-L. Qiu. 2014. Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew. *Nat. Biotechnol.* 32: 947–951.
- Watson, A., S. Ghosh, M. J. Williams, W. S. Cuddy, J. Simmonds, M.-D. Rey, M. A. M. Hatta, A. Hinchliffe, A. Steed, and D. Reynolds. 2018. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nat. plants* 4: 23–29.
- Wik, M., P. Pingali, and S. Brocai. 2008. *Global Agricultural Performance: Past Trends and Future Prospects*. Washington, DC: World Bank.
- Witcombe, J. R., K. Khadka, R. R. Puri, N. Khanal, A. Sapkota, and K. D. Joshi. 2016. Adoption of rice varieties. 2. Accelerating uptake. *Exp Agric* 1–7.
- Yasin, H. G. M., M. J. Mejaya, and F. Kasim. 2007. Development of quality protein maize (QPM) in Indonesia, pp. 282 in *Proceedings of the ninth Asian Regional Maize Workshop*. Beijing, China.
- Zeng, D., Z. Tian, Y. Rao, G. Dong, Y. Yang, L. Huang, Y. Leng, J. Xu, C. Sun, G. Zhang, J. Hu, L. Zhu, Z. Gao, X. Hu, L. Guo, G. Xiong, Y. Wang, J. Li, and Q. Qian. 2017. Rational design of high-yield and superior-quality rice. *Nat. Plants* 3: 4–8.

MEMPERKUAT PENCIPTAAN TEKNOLOGI INOVATIF SEBAGAI *FRONTIER* SISTEM PRODUKSI PANGAN DAN BERORIENTASI PASAR

Aris Hairmansis^{a1}, Priatna Sasmita^{b2}, Irsal Las^{c3}

^aBalai Besar Penelitian Tanaman Padi

^bPusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

^cBalai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian

^{1,2,3} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Keberlanjutan sistem produksi pertanian menjadi tujuan bersama semua negara untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat dunia yang terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Isu ini menjadi salah satu agenda utama dalam Sustainable Development Goals (SDGs) yang disepakati oleh 193 negara anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada 25 September 2015. SDG menjadi suatu rencana aksi global yang misi utamanya adalah untuk mengakhiri kemiskinan dan memulihkan serta menjaga kelestarian sumber daya alam. Dalam SDG butir kedua secara jelas disebutkan tujuan bersama masyarakat global adalah untuk mengakhiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan dan nutrisi yang lebih baik dan mendukung pertanian berkelanjutan. Indonesia sebagai salah satu negara yang

menyepakati agenda ini memiliki peran yang strategis tidak hanya untuk mencapai ketahanan pangan dalam negeri namun juga dibutuhkan kontribusinya dalam pencapaian ketahanan pangan di tingkat global. Pemerintah Indonesia telah mencanangkan untuk menjadi salah satu lumbung pangan dunia pada tahun 2045 (Kementan 2015).

Upaya bersama seluruh negara untuk memenuhi misi SDG tidaklah mudah. Banyak tantangan yang harus dihadapi dalam usaha menjaga keberlanjutan produksi pangan. Produksi pertanian di masa mendatang harus ditingkatkan dengan kondisi sumber daya lahan dan air yang semakin terbatas. Lahan-lahan pertanian subur yang menjadi penyangga produksi pangan semakin berkurang baik luasan maupun tingkat kesuburannya (Mulyani dan Agus 2017). Perluasan areal tanam dianggap sebagai usaha yang paling potensial untuk meningkatkan hasil pertanian karena potensi genetik tanaman pangan yang stagnan setelah terjadinya revolusi hijau (Suwarno 2010). Namun upaya untuk meningkatkan areal tanam dengan membuka lahan pertanian baru berjalan lambat dan mengalami banyak kendala. Adanya persaingan pemanfaatan lahan antara pertanian dan non-pertanian di daerah strategis seperti di Pulau Jawa juga mempersulit upaya peningkatan produksi. Diperkirakan laju konversi lahan sawah ke non-sawah berkisar 96.512 ha/tahun (Mulyani et al. 2016).

Daya dukung sumber daya alam terhadap pertanian yang semakin rendah di masa mendatang semakin diperburuk dengan adanya perubahan iklim global. Perubahan iklim menyebabkan kenaikan temperatur udara, perubahan pola hujan, peningkatan frekuensi dan tingkat keparahan cuaca ekstrim (Wheeler and von Braun 2013). Meskipun pertanian dianggap sebagai salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim (Vermeulen et al. 2012), namun pertanian menjadi sektor yang paling sensitive terhadap dampak perubahan

iklim tersebut. Pengaruh langsung yang dapat dirasakan akibat perubahan iklim antara lain meningkatnya luas areal yang mengalami kekeringan, salinitas dan banjir. Upaya adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim menjadi salah satu agenda dalam SDG yang membutuhkan kerjasama lintas sektor.

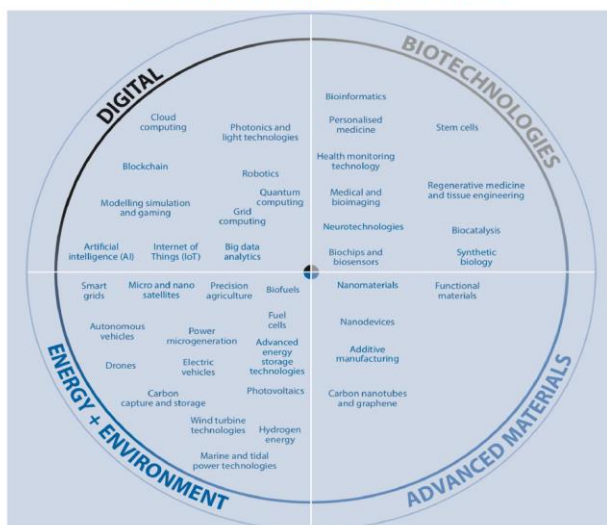
Tantangan lain dalam pencapaian keberlanjutan produksi pangan adalah daya dukung sumber daya manusia di sektor pertanian. Jumlah rumah tangga usaha tani padi cenderung mengalami penurunan dari 14.15 juta pada 2013 menjadi 13.16 juta rumah tangga pada tahun 2018 (BPS 2013, 2018). Selain itu profil petani di Indonesia cenderung didominasi oleh kelompok usia tua dan berpendidikan rendah. Minat generasi muda cenderung kurang untuk bekerja di sektor pertanian. Keengganan generasi muda untuk bergerak di sektor pertanian salah satunya menurut Susilowati (2016) karena sektor ini seringkali hanya dipersepsikan sebagai aktivitas *on farm* yang kurang bergengsi dengan tingkat resiko yang tinggi.

Dalam agenda SDG 2030, inovasi teknologi dijadikan sebagai salah satu kunci pendukung tercapainya misi global tersebut. Di sektor non-pertanian, telah banyak teknologi frontier yang secara cepat berkembang dalam beberapa dekade terakhir seperti teknologi manufaktur, teknologi robotic, dan teknologi informasi. Di sektor pertanian perkembangan teknologi yang mendukung sistem produksi sejatinya telah berjalan cukup panjang khususnya sejak dimulainya mekanisasi pertanian dan revolusi hijau setelah perang dunia kedua berakhir. Pesatnya perkembangan teknologi frontier di sektor non-pertanian berpeluang untuk dimanfaatkan untuk mendukung sektor pertanian dalam menghadapi berbagai tantangan di masa mendatang. Konsep pertanian 4.0 sebagai revolusi pertanian modern menempatkan inovasi teknologi sebagai pendukung utama untuk mencapai sasaran produksi yang lebih menguntungkan, efisien, aman dan ramah lingkungan (De Clercq 2018).

KLASIFIKASI DAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI FRONTIER

Klasifikasi Teknologi *Frontier*

Teknologi *frontier* dicirikan dengan teknologi maju yang berpotensi untuk dapat membuat perubahan dari keadaan *status quo*, merubah cara hidup dan bekerja manusia, merubah nilai dan menghasilkan produk dan layanan yang sama sekali baru (Asia Foundation 2017). Teknologi frontier umumnya merupakan teknologi yang berfungsi umum (*general purpose technologies*), yang berpotensi untuk merubah struktur ekonomi dan mempercepat produktivitas lintas sektor dan industri (ESCAP 2018). OECD (2016) membuat daftar 40 teknologi frontier dan memetakannya kedalam empat kuadran yang mewakili bidang 1) bioteknologi, 2) material lanjut (*advanced materials*), 3) teknologi digital, dan 4) energi dan lingkungan (Gambar 12).



Gambar 11. Empat Puluh Teknologi Kunci untuk Masa Depan (Sumber: OECD 2016)

Meskipun masing-masing teknologi frontier memiliki karakter dan fungsi yang berbeda, namun antar teknologi seringkali saling terkait (ESCAP 2018). Sebagai contoh teknologi *big data* merupakan bagian penting dalam teknologi lain seperti internet of things (IoT) dan *blockchain*. Dan sebaliknya teknologi IoT dan *blockchain* dapat memperkuat teknologi *big data*. Selain itu beberapa teknologi dapat digunakan secara bersamaan untuk memecahkan suatu permasalahan. Di sektor tanaman pangan, teknologi frontier seperti bioteknologi, IoT, *artificial intelligence* (AI), *robotic*, *drones*, *precision agriculture* dan *nanomaterials* berpotensi untuk secara simultan digunakan untuk menghadapi tantangan peningkatan produksi pangan di masa mendatang. Teknologi tersebut dibutuhkan baik dalam mendukung produksi *on-farm* maupun untuk meningkatkan efisiensi dan nilai ekonomi produk pertanian setelah panen (*off farm*) seperti pada Tabel 1. Di dalam pembahasan berikutnya akan diuraikan pemanfaatan teknologi frontier dalam sistem produksi pangan *on-farm* maupun *off-farm*.

Teknologi Frontier dalam Sistem Produksi Tanaman Pangan

Pemanfaatan teknologi frontier dalam sistem produksi tanaman pangan tidak terlepas dari upaya untuk mengantisipasi empat tantangan utama produksi pangan yaitu: 1) Peningkatan produktivitas; 2) Keterbatasan sumber daya alam; 3) Adaptasi perubahan iklim; dan 4) Keterbatasan sumber daya manusia. Produksi tanaman ditentukan oleh interaksi antara genetik dan lingkungan. Lingkungan dapat diuraikan lebih detail sebagai lokasi dan cara budidaya (*management*). Oleh karenanya peningkatan produktivitas dapat diupayakan melalui peningkatan potensi genetik tanaman, pemilihan lokasi yang sesuai dan perbaikan teknologi budidaya. Ketiga komponen tersebut saling terkait dan saling mempengaruhi.

Peningkatan produktivitas tanaman pangan utama seperti padi, jagung dan gandum yang dicapai melalui revolusi hijau telah menyelamatkan dunia dari ancaman kelaparan. Teknologi pemuliaan tanaman kuantitatif yang diaplikasikan pada tanaman pangan secara genetik mampu meningkatkan potensi hasil tanaman. Sebagai contoh, introduksi gen *semidwarf* (*Sd*) pada padi yang menjadikan varietas unggul padi menjadi lebih responsif terhadap pemupukan dan berumur genjah, mampu meningkatkan produksi padi secara nyata dibandingkan sebelum revolusi hijau. Namun potensi hasil padi yang dicapai melalui revolusi hijau menjadi sulit untuk ditingkatkan. Beberapa upaya dilakukan untuk meningkatkan potensi hasil padi seperti melalui pembentukan padi tipe baru dan perakitan padi hibrida, namun belum menunjukkan lompatan hasil yang signifikan. Program pemuliaan konvensional yang dilakukan lebih terlihat hasilnya pada perbaikan ketahanan hama penyakit yang mampu menjaga stabilitas hasil padi ditengah dinamika perubahan lingkungan (Suwarno 2010).

Kemajuan di bidang bioteknologi membuka peluang perbaikan genetik tanaman pangan melalui penggunaan teknologi kultur jaringan *in vitro* dan molekuler. Potensi hasil pada tanaman merupakan sifat kuantitatif yang bersifat kompleks. Dengan bantuan marka molekuler, pemulia dapat menggabungkan sifat-sifat pendukung potensi hasil tinggi yang telah dipetakan di beberapa kromosom padi. Beberapa karakter penting yang merupakan komponen hasil seperti jumlah malai per rumpun, panjang malai, jumlah gabah per malai, dan bobot gabah telah diidentifikasi lokus-lokus pengendali sifat kuantitatifnya (*Quantitative Trait Loci*=QTL) (Guo et al. 2014). Penggabungan beberapa QTL pendukung hasil tersebut dengan bantuan marka molekuler berpotensi untuk meningkatkan potensi hasil padi.

Selain dengan teknologi marka molekuler, peningkatan potensi hasil tanaman dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi

rekayasa genetika. Kelebihan utama dari teknologi rekayasa genetika adalah sumber genetik untuk perbaikan sifat tidak terbatas pada satu *gene pool*, namun bisa diperoleh di luar *gene pool* suatu spesies. Dengan rekayasa genetika para peneliti padi berusaha untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis pada padi dengan mengubah dari lintasan C3 di padi menjadi C4 seperti yang dimiliki jagung dan sorghum (c4rice.com). Peningkatan efisiensi fotosintesis diharapkan dapat meningkatkan potensi hasil padi yang sulit diperoleh dengan cara konvensional.

Peran bioteknologi dalam mendukung peningkatan produksi semakin efisien dan presisi dengan ditemukannya sistem CRISPR-Cas9 (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats and CRISPR-Associated Protein 9*) yang dapat digunakan untuk mengedit genom tanaman. Dengan teknologi genom editing ini, modifikasi DNA tanaman untuk perbaikan sifat semakin terarah. Para peneliti saat ini sedang mencoba mengaplikasi teknik genome editing ini untuk memperbaiki potensi hasil tanaman (Abdelrahman et al. 2018).

Peningkatan potensi hasil tanaman (*genetic*) juga harus diimbangi dengan perbaikan lingkungan (*environment*). Interaksi yang spesifik antara genotipe dan lingkungan membutuhkan informasi yang detail tentang lokasi yang menjadi target adopsi suatu varietas unggul. Kemajuan di bidang satelit dan teknologi komputer seperti penggunaan *remote sensing* dan GIS dapat dimanfaatkan dalam sistem produksi untuk memetakan lokasi yang sesuai untuk produksi pangan (Habibie et al. 2019).

Sebagai bagian dari “lingkungan”, teknologi budidaya (*management*) berperan penting dalam aktualisasi potensi genetik tanaman. Pertanian presisi yang menjadi salah satu ciri Pertanian 4.0 membutuhkan adanya inovasi teknologi frontier yang tepat. Berbagai inovasi teknologi frontier telah dikembangkan untuk mendukung peningkatan hasil dan meningkatkan efisiensi

produksi dari sejak pengolahan lahan hingga panen. Pengolahan lahan menggunakan *autonomous tractor*, penggunaan drone untuk tanam benih langsung, pemupukan, dan penyemprotan pestisida, serta penggunaan autonomus mesin panen yang saat ini sedang dalam pengembangan tidak akan lama lagi akan menjadi bagian utama dalam sistem produksi pangan.

Pemanfaatan inovasi teknologi dalam sistem produksi pangan harus dilakukan secara bertanggung jawab untuk menjaga kelestarian lingkungan dan keberlanjutan produksi. Penciptaan teknologi frontier harus mampu memulihkan dan melestarikan sumber daya alam. Konsep *sustainable intensification* perlu diterapkan untuk dapat meningkatkan produksi dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan (Gunton et al. 2016). Di sisi lain, meskipun sulit dilaksanakan, perluasan areal lahan pertanian tidak mungkin dielakkan untuk mendukung produksi pangan. Pemanfaatan lahan-lahan suboptimal untuk produksi pangan menjadi pilihan tepat. Teknologi *frontier* dibutuhkan untuk mendukung pertanian di lahan suboptimal seperti lahan rawa dan lahan kering.

Persaingan dalam penggunaan sumber daya air untuk pertanian dan non-pertanian di masa mendatang juga akan semakin tinggi. Air laut yang jumlahnya tidak terbatas dapat menjadi alternatif untuk mendukung sektor pertanian. Meskipun masih dalam tahap model, potensi penggunaan air laut dalam pertanian sangat menjanjikan, dan inovasi teknologi untuk mendukung upaya ini perlu terus dikembangkan (Beltrán and Koo-Oshima 2006).

Strategi adaptasi terhadap dampak perubahan lingkungan dapat dilakukan dengan merakit varietas tanaman yang toleran terhadap pengaruh cuaca ekstrim seperti toleran kekeringan, toleran salinitas dan rendaman. Bioteknologi telah banyak dimanfaatkan dalam membantu pemulia merakit varietas adaptif

perubahan iklim. Varietas padi Inpara 5 dan Inpari 30 Ciherang Sub1 yang merupakan varietas toleran rendaman dirakit dengan menggunakan bantuan marka molekuler dengan memasukkan gen toleran rendaman *Sub1* ke dalam varietas populer IR64 dan Ciherang (Hairmansis 2010; Nugraha 2017).

Sektor pertanian selain menjadi sektor yang secara langsung terdampak oleh perubahan iklim, juga menjadi salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca. Produksi padi menjadi salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca CH₄ dan N₂O. Pertanian presisi (Gebbers and Adamchuk 2010) selain meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk juga sekaligus dapat menekan emisi gas rumah kaca (Li et al. 2018). Penciptaan inovasi teknologi yang mengarah pada pertanian presisi dibutuhkan dalam upaya mitigasi terhadap perubahan iklim.

Pertanian modern yang memanfaatkan teknologi frontier berpeluang untuk dapat menarik minat generasi muda untuk bergerak dalam bidang pertanian. Penggunaan mesin-mesin pertanian modern yang didukung dengan teknologi *IoT*, *drone*, dan kendaraan autonomous dapat mengubah paradigma bahwa pertanian merupakan pekerjaan kotor yang hanya membutuhkan tingkat pendidikan yang rendah.

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa inovasi teknologi tidak hanya berperan penting dalam peningkatan produktivitas tanaman pangan (*on-farm*), namun juga dibutuhkan dalam pengelolaan hasil produksi hingga produk akhir sampai di konsumen (*off-farm*). Teknologi bioproses dibutuhkan untuk meningkatkan nilai tambah produk pangan yang dikonsumsi dalam bentuk olahan seperti susu kedelai (Queiros et al 2016) atau pemanis buatan berbahan dasar jagung (Lima et al. 2011). Pemanfaatan tanaman pangan dalam industri bioethanol juga membutuhkan bioproses yang melibatkan reaksi enzimatis. Penciptaan inovasi bioproses masih terus dibutuhkan untuk

meningkatkan efisiensi produksi ethanol berbasis tanaman pangan seperti ubi kayu (Wangpor et al. 2017).

Tabel 14. Pemanfaatan Teknologi Frontier dalam Sistem Produksi Pangan

Teknologi frontier	Pemanfaaaan dalam sistem produksi pangan	
	<i>on-farm</i>	<i>off-farm</i>
Bioteknologi	Seleksi varietas berbasis marka molekuler <i>Genome editing</i> untuk perbaikan sifat	Pengolahan pangan
<i>Internet of things</i>	Layanan aplikasi untuk budidaya tanaman spesifik lokasi Monitoring hama penyakit	Manajemen retail Pemasaran produk pertanian <i>online</i>
<i>Big data</i>	<i>Genome sequencing</i> untuk pemuliaan Peta kesesuaian lahan Kalender tanam	Pengelolaan rantai pasok pangan
<i>Drone</i>	Tabur benih langsung Aplikasi pupuk dan pestisida Monitoring status air dan hara tanaman	
<i>Cloud computing</i>	Layanan aplikasi untuk budidaya tanaman spesifik lokasi Penginderaan jauh untuk kesesuaian lokasi	Pengelolaan rantai pasok
<i>Blockchain</i>		Pengelolaan rantai pasok pangan

Dalam hal pengelolaan rantai pasok bahan pangan, penggunaan teknologi IoT telah menjadi hal rutin. Penjualan produk pertanian melalui sistem online mampu memotong rantai distribusi dan meningkatkan efisiensi produksi. Teknologi blockchain saat ini mulai diintroduksi dalam sistem rantai

pasok produk pertanian untuk memperkuat sistem informasi yang dapat diakses oleh semua pihak yang berkepentingan dari produsen, distributor, dan konsumen. Informasi umpan balik dari pihak konsumen ke produsen menjadi lebih cepat sampai sehingga perbaikan terhadap kualitas produk akan menjadi lebih cepat. Akses terhadap produk pangan juga sudah tidak dibatasi oleh batas wilayah.

Orientasi Pasar dalam Penciptaan Teknologi Frontier

Peran inovasi teknologi *frontier* dalam mendukung keberlanjutan sistem produksi pangan sangat tergantung pada tingkat adopsi inovasi oleh penggunanya. Oleh karena itu, penciptaan inovasi teknologi harus didorong agar selaras dengan kebutuhan pasar. Selain itu peningkatan taraf hidup dan pengetahuan sebagian besar penduduk menuntut upaya pemenuhan pangan kedepan tidak hanya dari segi kuantitas namun juga harus mampu memberikan jaminan kualitas dan keamanan pangan. Sebagai contoh saat ini mulai terjadi pergeseran pola konsumsi bahan pangan pokok dari yang berbasis sereal ke arah bahan pangan yang lebih kaya protein dan nutrisi lainnya.

Untuk menjamin diadopsinya teknologi yang dihasilkan dibutuhkan keterpaduan antara lembaga penelitian, penyuluhan dan penerima teknologi dalam suatu sistem inovasi (Mardianto 2014). Sistem inovasi berkembang pesat pada beberapa dekade terakhir sebagai dampak dinamika perubahan preferensi konsumen dan pasar yang menginginkan kualitas dan produk yang lebih spesifik. Perubahan tersebut menuntut agar sistem inovasi melibatkan lebih banyak pelaku dan lembaga yang berinteraksi secara dinamis dan fleksibel (Mardianto 2014). Sejumlah studi menunjukkan masih lemahnya interaksi antara lembaga penelitian di Indonesia yang menghasilkan teknologi

inovatif dengan pihak pengguna. Salah satu hasil kajian terhadap sistem penyaluran teknologi pada padi menunjukkan bahwa hubungan antara lembaga penghasil teknologi dan pengguna seringkali bersifat satu arah, sehingga pengguna sulit memberikan umpan baliknya terkait dengan perubahan preferensi konsumen terhadap jenis dan mutu beras (Mulatsih dan Fatony 2006). Oleh karena itu dalam penciptaan teknologi *frontier* perlu menempatkan pengguna teknologi sebagai pelaku aktif yang dapat menggerakkan dinamika inovasi melalui umpan balik yang efektif (Mardianto 2014, Sirnawati dan Syahyuti 2018).

PENUTUP

Inovasi teknologi menjadi kunci keberhasilan dalam menghadapi tantangan keberlanjutan produksi pangan di masa mendatang. Potensi pemanfaatan teknologi *frontier* harus dimanfaatkan oleh negara Indonesia agar dapat bersaing dengan negara lain. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) sebagai salah satu lembaga penghasil teknologi pertanian utama di Indonesia telah merespon perkembangan inovasi teknologi *frontier* melalui program risetnya antara lain pemanfaatan bioteknologi dalam perakitan varietas unggul, pemanfaatan nano-teknologi di bidang pangan, penciptaan alat mesin pertanian modern dan pemanfaatan teknologi satelit dalam sistem produksi pangan. Diseminasi inovasi teknologi *frontier* yang telah dihasilkan oleh Balitbangtan perlu dipercepat agar dapat diadopsi secara luas oleh pengguna. Kemampuan dalam negeri dalam penciptaan teknologi *frontier* perlu untuk ditingkatkan khususnya yang menunjang sistem produksi pangan agar Indonesia tidak hanya menjadi pengguna teknologi. Peran Lembaga litbang baik pemerintah maupun swasta menjadi sangat strategis dalam mengembangkan inovasi teknologi yang dapat bersaing dengan produk dari negara luar. Peluang keterbukaan

ilmu pengetahuan perlu dimanfaatkan secara optimal agar penciptaan teknologi tidak harus dimulai dari dasar sehingga bisa lebih cepat mendapatkan inovasi yang siap pakai. Beberapa hal penting yang perlu ditempuh oleh lembaga riset seperti Balitbangtan dalam kerangka penguatan sistem inovasinya antara lain peningkatan akses terhadap teknologi frontier melalui penguatan jejaring kerjasama, peningkatan kapasitas sumber daya manusia khususnya peneliti dan perekayasa serta penajaman program-program penelitian agar mengarah pada penciptaan inovasi teknologi frontier yang beorientasi pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, M., A.M. Al-Sadi, A. Pour-Aboughadareh, D.J. Burritt and L.S.P. Tran. 2018. "Genome editing using CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis: An opportunity for yield improvements of crop plants grown under environmental stresses". in *Plant Physiology and Biochemistry*, 131: 31-36.
- Asia Foundation. 2017. "Six Stories, Six Paths to Development: Online Platforms as Drivers of Inclusive Growth". 20 Februari 2017 < <https://asiafoundation.org/publication/six-stories-six-paths-to-development/> >
- Beltrán, J.M. and S. Koo-Oshima. 2006. "Water desalination for agricultural applications". in *FAO Land and water discussion paper*, 5, p.48.
- BPS. 2013. *Statistik Indonesia 2013*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2018. *Statistik Indonesia 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- De Clercq, M., A. Vats and A. Biel. 2018. "Agriculture 4.0: The future of farming technology". in *Proceedings of the World Government Summit*, Dubai, UAE, pp.11-13.
- de Queirós, L.D., J.A. Macedo, and G.A. Macedo. 2016. "A new biotechnological process to enhance the soymilk bioactivity". in *Food science and biotechnology*, 25 (3):763-770.
- ESCAP. 2018. *Frontier Technologies for Sustainable Development in Asia and the Pacific*. ESCAP
- Gebbers, R. and V.I. Adamchuk. 2010. "Precision agriculture and food security". in *Science*, 327(5967): 828-831.

- Gunton, R.M., L.G. Firbank, A. Inman and D.M. Winter. 2016. "How scalable is sustainable intensification?". in *Nature Plants*, 2(5):1-4.
- Guo, L.B. and G.Y. Ye. 2014. "Use of major quantitative trait loci to improve grain yield of rice". in *Rice Science*, 21(2):65-82.
- Habibie, M.I., R. Noguchi, M. Shusuke, and T. Ahamed. 2019. "Land suitability analysis for maize production in Indonesia using satellite remote sensing and GIS-based multicriteria decision support system". in *GeoJournal* (2019).
- Hairmansis, A., Supartopo, B. Kustianto, Suwarno, dan H. Pane. 2012. Perakitan dan pengembangan varietas unggul baru padi toleran rendaman air Inpara 4 dan Inpara 5 untuk daerah rawa banjir". dalam *Jurnal Litbang Pertanian*, 31(1):1-7
- Li, J., Y. Wan, B. Wang, M.A. Waqas, W. Cai, C. Guo, S. Zhou, R. Su, X. Qin, Q. Gao, and A. Wilkes, A. 2018. "Combination of modified nitrogen fertilizers and water saving irrigation can reduce greenhouse gas emissions and increase rice yield". in *Geoderma*, 315: 1-10.
- Lima, D.M., P. Fernandes, D. Sampaio Nascimento, R. de Cássia L Figueiredo Ribeiro, and S.A. De Assis. 2011. "Fructose syrup: a biotechnology asset". in *Food Technology and Biotechnology*, 49(4): 424-434.
- Mardianto, S. 2014. *Reformasi sistem inovasi pertanian di Indonesia*. dalam Haryono, E. Pasandaran, M. Rachmat, S. Mardianto, H.P. Salim, A. Hendriadi, ed. *Reformasi kebijakan menuju transformasi pembangunan pertanian*. Jakarta: IAARD Press.
- Mulatsih, S. dan A. Fatony. 2006. *Peran Delivering Subsistem Dalam Sistem Inovasi Pertanian: Difusi Varietas Unggul Padi*. Pusat Penelitian Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Jakarta: LIPI Press

- Mulyani A, D. Kuncoro, D. Nursyamsi, and F. Agus. 2016. "Analisis konversi lahan sawah: penggunaan data spasial resolusi tinggi memperlihatkan laju konversi yang mengkhawatirkan". dalam *J Tanah dan Iklim*. 40(2):43-55.
- Mulyani, A. and F. Agus. 2017. "Kebutuhan dan ketersediaan lahan cadangan untuk mewujudkan cita-cita Indonesia sebagai lumbung pangan dunia tahun 2045". dalam *Analisis Kebijakan Pertanian*, 15(1).
- Nugraha, Y., N. Hidayatun, T. Trisnaningsih, and D. Yuliani. 2017. "Phenotypic performance of Ciherang SUB1 near isogenic line as an adaptive variety for flooding conditions. in *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 18(1): 7-16.
- OECD 2016. "OECD Science, Technology and Innovation outlook 2016". 8 December 2016 < https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en >
- Sirnawati dan Syahyuti. 2018. "Evolusi inovasi pembangunan pertanian di badan litbang pertanian: Dari transfer teknologi ke sistem inovasi". dalam *Forum Penelitian Agro Ekonomi* 36 (1): 13-22
- Susilowati, S.H. 2016. "Fenomena penuaan petani dan berkurangnya tenaga kerja muda serta implikasinya bagi kebijakan pembangunan pertanian". dalam *Forum Penelitian Agro Ekonomi* (34) 1.
- Suwarno, S. 2016. "Meningkatkan produksi padi menuju ketahanan pangan yang lestari". dalam *Jurnal Pangan*, 19(3): 233-243.
- Vermeulen, S.J., B.M. Campbell, and J.S. Ingram. 2012. "Climate change and food systems". in *Annual Review of Environment and Resources*, 37.

- Wangpor, J., P. Prayoonyong, C. Sakdaronnarong, A. Sungpet, and W. Jonglertjunya. 2017. "Bioethanol production from cassava starch by enzymatic hydrolysis, fermentation and ex-situ nanofiltration". in *Energy Procedia*, 138: 883-888.
- Wheeler, T. and J. Von Braun. 2013. "Climate change impacts on global food security". in *Science*, 341(6145): 508-513.

TANTANGAN SUMBERDAYA MANUSIA MENDUKUNG MODERNISASI PERTANIAN

Adi Setiyanto^{a1}, Vyta Wahyu Hanifah^{b2}, Bambang Irawan^{c3}

^{a,c} Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

^b Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Pertanian

^{1,2,3} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Penggunaan internet di bidang pertanian yang didukung oleh teknologi industri 4.0 seperti traktor otonom, sensor dan drone yang berkembang pesat di negara-negara maju akhir-akhir ini telah mengubah metode produksi pertanian terutama pada produksi pangan. Revolusi pertanian keempat (Pertanian 4.0) saat ini sedang berlangsung dan beberapa ahli di dunia bahkan menyatakan sedang menuju ke revolusi pertanian kelima (Saiz-Rubio and Roviro-Mas 2020) mengikuti perkembangan di sektor manufaktur yang sudah bergerak menuju Industri 5.0 (Zambon et al. 2019).

Modernisasi pertanian yang dicirikan dengan penggunaan teknologi industri 4.0 yang semakin intensif tidak mungkin dihindari dan akan membawa pengaruh terhadap sektor pertanian di Indonesia. Dalam kaitan ini, pertanian di Indonesia harus siap menghadapi tantangan tersebut. Sistem pendidikan

dan pelatihan untuk mengembangkan petani dan produsen, maupun para pelaku ataupun pemangku kepentingan yang terkait produksi pangan, baik dalam bentuk mentah maupun olahan yang mampu berkembang dalam ekonomi yang sangat terhubung dan didorong oleh data dan informasi dengan perubahan sangat dinamis, maka perlu menyesuaikan diri. Ketika sumberdaya manusia di sektor pertanian didominasi oleh generasi tua dan gelombang pensiun harus terjadi, maka generasi muda harus mengisi kekosongan itu dan harus mampu diandalkan. Hal ini merupakan suatu keharusan, jika tidak, kedaulatan pangan dan kemampuan pertanian dalam menyangga perekonomian nasional dipertaruhkan.

Perkembangan kemajuan teknologi saat ini mengubah konsep dan ciri pertanian yang mengharuskan modernisasi pertanian dilaksanakan dengan menggunakan model pertanian generasi baru untuk menjaga keberlanjutan dalam usaha pertanian. Mengarahkan pertanian menjadi lebih pintar (*Smart Farm*), lebih efisien, lebih aman, dan lebih ramah lingkungan perlu dilakukan, karena kombinasi dan integrasi teknologi dan perangkat produksi, sistem informasi dan komunikasi, data dan layanan dalam infrastruktur jaringan informasi dan teknologi merupakan suatu kebutuhan.

Pertanian masa depan adalah Pertanian Presisi yang merupakan solusi terhadap dampak negatif dari evolusi pertanian generasi Revolusi Hijau. Pertanian Presisi mengalami kemajuan pesat akibat revolusi Industri 4.0, dimana teknik aplikasi dan keputusan manajerialnya tidak hanya berdasarkan variabilitas dan ketepatannya di lapangan, tetapi juga pada kesadaran konteks untuk menerapkan jumlah input dengan tepat, di lokasi yang tepat dan pada waktu yang tepat. Dengan demikian, akan dapat meningkatkan produksi dan meningkatkan kualitas, sekaligus profitabilitas, proporsionalitas nilai pada setiap pelaku rantai pasok komoditas dari subsistem hulu hingga hilir, termasuk

keberlanjutannya. Teknik dan manajemen Pertanian Presisi berkembang berkat pengenalan teknologi baru seperti sensor dan aktuator yang ditingkatkan, sistem teknologi, informasi dan komunikasi berbasis *cloud* dan *big data* analitik peran dan kompetensi sumberdaya manusia yang ada saat ini harus menyesuaikan diri.

Paper ini bertujuan untuk membahas tantangan sumberdaya manusia pertanian untuk mendukung modernisasi pertanian Indonesia ke depan. Konsep, ciri, definisi, dan tantangan dalam modernisasi pertanian menjadi pijakan awal untuk mengetahui peran dan kebutuhan kompetensi sumberdaya manusia dalam modernisasi pertanian. Dalam merumuskan strategi penguatan sumberdaya manusia pertanian melalui peningkatan kompetensi dan pemberdayaan generasi muda (milenial), perbandingan antara peran dan kebutuhan dengan kondisi kompetensi dan potensi generasi milenial saat ini merupakan bagian dari pembahasan.

MODERNISASI PERTANIAN DAN TANTANGAN SUMBERDAYA MANUSIA PERTANIAN

Pengertian Modernisasi Pertanian

Modernisasi pertanian dapat dimaknai sebagai proses pembaharuan atau transformasi pertanian dengan tujuan agar sesuai dengan tuntutan perkembangan zaman (Pranadji dan Simatupang 1999). Pengertian modernisasi seringkali bervariasi menurut disiplin ilmu dan dapat berubah menurut perkembangan zaman (Weiner 1980), serta sering diterjemahkan sebagai pembangunan untuk tiga istilah yang berbeda yaitu *growth*, *modernization*, dan *development* (Thomas 1993). Modernisasi memiliki makna tersendiri yaitu suatu proses pembaharuan atau penyesuaian suatu masyarakat untuk mencapai dan menyamai

atau menandingi suatu masyarakat pada lingkungan perekonomian yang dinilai lebih baik (Riggs 1985). Modern merupakan istilah yang memiliki makna sesuatu yang sesuai atau adaptif dengan perkembangan zaman terbaru atau *up to date* (Harrison 1988), dan yang bersifat kekinian atau *present or recent times* (Neufeldt and Guralnik 1988). Mengacu kepada hal tersebut, maka modernisasi dapat diartikan melakukan pencapaian suatu pola baru yang dianggap lebih mutakhir atau canggih (*sophisticated*) dan superior, serta terkini sesuai dengan zamannya dibanding pola sebelumnya yang sudah dianggap mapan, tertinggal dan lebih inferior.

Pertanian 4.0

Saat ini sektor pertanian di dunia telah dipengaruhi dan memasuki babak baru mengikuti perkembangan teknologi pada era Industri 4.0. Globalisasi mempengaruhi sektor pertanian dan situasi tersebut menyebabkan banyak digunakan teknologi baru pada sektor pertanian (Byerlee et al. 2009). Konsep Industri 4.0 pada dasarnya didorong oleh pesatnya perkembangan teknologi seperti: (a) kemampuan komputerisasi yang tumbuh secara eksponensial, kecepatan komunikasi yang meningkat signifikan, (b) kapasitas penyimpanan data yang semakin besar, (c) teknologi sensor dan robotik yang semakin berkembang, (c) kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence, AI*) yang semakin meningkat, (d) berkembangnya teknologi Printer 3D, (e) inovasi di bidang Neroteknologi, Bioteknologi, Nanoteknologi dan masih banyak teknologi lainnya (Schwab 2017). Berkembangnya teknologi informasi dan komunikasi (*Information and Communications Technologies, ITC*) yang semakin banyak digunakan masyarakat, teknik produksi dan proses bisnis yang semakin terintegrasi, teknologi pemetaan digital dan virtualisasi dunia nyata yang semakin berkembang dan berkembangnya *smart factory* atau

pabrik pintar dalam proses produksi yang menghasilkan *smart products* atau produk pintar (Rojko 2017), juga menjadi pendorong lahirnya Industri 4.0.

Mengintegrasikan teknologi sensor, teknologi internet, manajemen data dan teknologi digital lainnya pada berbagai bidang industri merupakan ide pokok industri 4.0 (Qin et al 2016, Rojko 2017). Semua perkembangan ini mengharuskan modernisasi pertanian dilaksanakan dengan menggunakan model pertanian generasi baru daripada metode pertanian tradisional atau metode sebelumnya untuk menjaga keberlanjutan dalam usaha pertanian.

Model pertanian generasi baru ini dikenal dengan Pertanian 4.0 yang evolusinya terjadi bersamaan dengan revolusi Industri 4.0 pada sektor manufaktur. Revolusi pertanian 4.0 tersebut memberikan peluang untuk meminimalkan variabilitas dan ketidakpastian pada seluruh rantai produksi pertanian mulai dari input produksi yang dibutuhkan hingga produk akhir, dan mengarahkan pertanian menjadi lebih pintar (*Smart Farm*), lebih efisien, lebih aman, dan lebih ramah lingkungan. Perkembangan teknologi komunikasi seperti *Cloud Computing* (CC) dan *Internet of Things* (IOT) yang dikombinasikan dengan perkembangan lain seperti kecerdasan buatan, teknologi robotik, dan analisis data besar (*Big Data*) memungkinkan dimulainya revolusi keempat di sektor pertanian menjadi pertanian digital (Dong et al. 2013; Tan. 2016). Sementara itu, perkembangan satelit, GPS (*Global Positioning System*), GIS (*Geographical Information System*) dan teknologi komunikasi lainnya telah mendorong munculnya implementasi Pertanian Presisi (López-Riquelme et al. 2016).

Pertanian Presisi: Pertanian Modern pada Era Industri 4.0

Banyak negara di dunia yang proaktif dalam mempromosikan penerapan teknologi modern terbaru di bidang pertanian, khususnya teknologi Industri 4.0. Konsep Pertanian Presisi atau

Pertanian Cerdas (*Smart Farming*) telah populer sebelum dimulainya "Pertanian 4.0". Konsep Pertanian Presisi pertama kali datang dari Dewan Perwakilan AS pada tahun 1997 yang menjelaskan Pertanian Presisi sebagai sistem pertanian berbasis produksi dan informasi terintegrasi yang dirancang untuk meningkatkan secara jangka panjang, spesifik lokasi, dan efisiensi produksi, produktivitas dan profitabilitas pertanian, sambil meminimalkan dampak yang tidak diinginkan pada satwa liar dan lingkungan. Dalam uraian yang paling sederhana Pertanian Presisi dapat diartikan sebagai cara untuk “menerapkan pengobatan yang tepat di tempat yang tepat pada waktu yang tepat” (Gebbers and Adamchuk. 2010).

Pada periode 2018-2020, Uni Eropa berkomitmen untuk mengeluarkan dana sekitar EUR 100 juta untuk mempromosikan penerapan teknologi digital di bidang pertanian (EU 2018). Anggaran ini akan digunakan untuk program pelatihan bagi petani untuk menggunakan teknologi baru, mengembangkan alat analisis data, berinvestasi dalam infrastruktur digital, membangun ekosistem inovasi, dan membangun platform digital dan data untuk pertanian. Di Asia, Thailand menempatkan “Pertanian 4.0” sebagai salah satu dari tiga pilar inisiatif “Thailand 4.0” (PRD. 2017). Republik Korea Selatan mulai mengikuti strategi Pertanian Cerdas pada tahun 2013 untuk menyebarkan penggunaan teknologi informasi dan telekomunikasi dan model pertanian cerdas di seluruh negeri. Di Taiwan, “*Productivity 4.0 Initiative*” periode 2016-2024 telah disetujui pada tahun 2015, dimana salah satu komponen pentingnya adalah program Produktivitas Pertanian 4.0 yang difokuskan pada dua orientasi utama yaitu Produksi Pintar dan Layanan Digital (Dien and Thuy. 2020).

Pertanian Presisi berkembang dari konsep yang diterapkan dalam mengantisipasi dampak negatif yang pernah muncul para era Revolusi Hijau, yaitu *Site-specific management* (SSM) dan *Site-*

specific crop management (SSCM) atau manajemen spesifik lokasi dan manajemen pengelolaan tanaman spesifik lokasi. Lahirnya konsep tersebut didorong oleh beberapa pemikiran yaitu (Irawan 2019): (a) terjadinya degradasi sumberdaya lahan dan air sehingga kedua sumberdaya pertanian tersebut cenderung semakin terbatas dalam kuantitas dan kualitas, (b) adanya variasi spasial dan temporal kondisi sumberdaya lahan dan air, (c) adanya kebutuhan tanaman yang bervariasi menurut jenis tanaman, lokasi lahan garapan dan menurut tahap pertumbuhan tanaman, dan (d) dengan ketiga kondisi tersebut maka kegiatan usahatani dan pemanfaatan sumberdaya pertanian hendaknya dilakukan secara spesifik lahan garapan, tidak berlebihan dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman dalam rangka mendukung pertanian berkelanjutan. SSM dan SSCM merupakan konsep yang dapat diterapkan untuk mengantisipasi dampak negatif yang muncul pada era Revolusi Hijau (Dwivedi et al. 2017, Mandal and Maity 2013). Pengelolaan usahatani untuk melakukan tindakan yang tepat, pada tempat yang tepat, dan pada waktu yang tepat (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer 2004, Dwivedi et al. 2017) merupakan inti dari konsep Pertanian Presisi.

Pembangunan pertanian senantiasa didasarkan pada perspektif jangka panjang dan tidak hanya berupaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat pada masa kini, tetapi juga pada masa mendatang. Untuk itu, modernisasi pertanian pada era Pertanian 4.0 harus dirancang terencana dan diikordinasikan secara bertahap dan berkelanjutan agar dapat berkontribusi pada perbaikan efisiensi pemanfaatan sumber daya dan memperkuat ketangguhan sistem pangan dalam rangka menjamin ketahanan pangan dan gizi untuk semua generasi dan antar generasi yaitu generasi saat ini dan yang akan datang (FAO 2014). Pembangunan pertanian berkelanjutan memiliki prinsip yang meliputi lima aspek yang merupakan ciri sekaligus orientasi pembangunan pertanian berkelanjutan yang menyeimbangkan

dimensi sosial, ekonomi dan lingkungan (FAO 2014) yaitu: (1) meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya; (2) melestarikan, melindungi dan meningkatkan ekosistem alam; (3) melindungi dan meningkatkan mata pencaharian pedesaan dan kesejahteraan sosial; (4) meningkatkan ketahanan masyarakat, komunitas dan ekosistem; dan (5) mempromosikan tata kelola yang baik dari sistem alam dan manusia.

Konsep Dasar dan Manfaat Penerapan Pertanian Presisi

Pertanian Presisi pada dasarnya merupakan suatu konsep untuk mengoperasionalkan SSM dan SSCM dengan memanfaatkan teknologi informasi dan teknologi lain yang berkembang pada era Industri 4.0. Konsep SSM dan SSCM bukanlah merupakan konsep yang benar-benar baru. Konsep ini telah lama dikenal namun tidak mengalami perkembangan dan penyebaran secara luas. Salah satu penyebabnya adalah adanya tekanan ekonomi yang kuat untuk menggarap lahan pertanian yang luas dengan menggunakan mesin-mesin pertanian menyebabkan praktek-praktek agronomi yang dilakukan cenderung seragam dan tidak bersifat spesifik lokasi (Bongiovanni dan Lowenberg-Deboer 2004). Penyebab lainnya adalah pada masa lalu belum banyak teknologi yang mampu memetakan dengan mudah dan murah variasi spasial lahan usahatani, kondisi iklim, ketersediaan pasokan air dan kebutuhan input tanaman pertanian menurut spasial lahan usahatani dan menurut waktu (Irawan 2019).

Pertanian Presisi merupakan konsep yang mampu menyediakan metode untuk mengoperasionalkan SSM dan SSCM dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi, teknologi sensor dan berbagai teknologi lainnya sehingga membuat SSM dan SSCM menjadi lebih praktis untuk diterapkan. Pertanian Presisi mencakup semua kegiatan produksi pertanian

yang menggunakan berbagai teknologi, baik untuk menyesuaikan penggunaan input agar mencapai hasil yang diinginkan maupun untuk memantau output yang dihasilkan (Bongiovanni dan Lowenberg-Deboer 2004). Pada perkembangan selanjutnya, dengan berkembangnya berbagai teknologi pada era Industri 4.0, penerapan konsep Pertanian Presisi lebih memungkinkan (De Clercq et al 2018). Teknologi drone dapat dimanfaatkan untuk pemetaan dan analisis tanah, memantau pertumbuhan tanaman, memantau serangan hama dan penyakit tanaman, dan sebagainya, merupakan teknologi yang berkembang pada era industri 4.0 dibutuhkan dalam penerapan Pertanian Presisi.

Pengembangan Pertanian Presisi tidak hanya baik untuk pertanian tetapi juga untuk pembangunan berkelanjutan (Zambon et al 2019). Penerapan manajemen Pertanian Presisi dapat memberikan beberapa manfaat bagi: (1) Pemilihan tanaman yang tepat yang disesuaikan dengan variasi kondisi spasial lahan garapan dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara keseluruhan, terutama jika dibandingkan dengan pengelolaan tanaman yang seragam pada seluruh lahan garapan, (2) Meningkatkan efisiensi tenaga kerja karena kegiatan usahatani dilakukan sesuai dengan kebutuhan, (3) Menurunkan biaya produksi akibat penggunaan input usahatani yang tidak berlebihan dan disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, (4) Tersedianya data dan informasi yang akurat memungkinkan petani untuk melakukan aplikasi yang tepat dalam pengolahan tanah, penanaman benih, pemupukan, pemeliharaan tanaman, pengairan dan kegiatan pasca produksi, dan (5) Seluruh data yang tercatat dalam menerapkan Pertanian Presisi dapat meningkatkan pengetahuan petani dan dimanfaatkan untuk memperbaiki kegiatan usahatani pada periode siklus produksi berikutnya (Dwivedi et al. 2017).

Pada penerapan manajemen Pertanian Presisi manfaat lebih besar yang terkait dengan lingkungan adalah penggunaan input

yang sesuai dengan kebutuhan tanaman dan tidak berlebihan. Aplikasi pupuk dan pestisida yang bervariasi dan disesuaikan dengan kebutuhan pada setiap tahap pertumbuhan tanaman berpotensi mengurangi penggunaan input tersebut sehingga menghemat biaya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penggunaan bahan kimia yang tepat jumlah pada tempat dan waktu yang tepat memberikan manfaat bagi tanaman, memperkecil polusi tanah dan air, dan dengan demikian bermanfaat bagi seluruh siklus tanaman (McBratney et al. 2005, Dwivedi et al. 2017). Pertanian presisi juga dapat mengurangi tekanan lingkungan dan pertanian sejalan dengan meningkatnya efisiensi dalam penggunaan bahan kimia pada sarana produksi pertanian dan pada penggunaan mesin pertanian (Schieffer and Dillon 2015). Berdasarkan hal tersebut maka Pertanian Presisi dapat dijadikan sebagai landasan bagi pembangunan pertanian berkelanjutan.

Tantangan Penerapan Pertanian Presisi

Kemajuan dalam Pertanian Presisi, penginderaan jauh, robot, sistem informasi manajemen pertanian, dan sistem pendukung keputusan (agronomi) telah membuka jalan bagi transformasi digital yang luas dalam pertanian dan pangan (Pedro et al. 2019). Perkembangan teknologi terkini seperti *Cloud Computing*, *Internet of Things*, *Big Data*, *Blockchain*, *Robotics* dan *Artificial Intelligence* memungkinkan integrasi jalur pengembangan kedalam sistem yang saling terhubung dan cerdas (Lezoche et al. 2020). Teknologi tersebut akan memungkinkan pertanian berkembang dalam sistem yang terhubung dengan data-driven, *intelligent* (cerdas), gesit/cepat (*agile*) dan otonom. Operasi setiap proses pertanian akan secara otomatis diintegrasikan dalam rantai pasokan pertanian dan pangan melalui teknologi yang aktif secara semantik hingga ke konsumen akhir (integrasi dari hulu hingga

hilir/dari lahan hingga konsumen akhir). Teknologi Industri 4.0 mungkin dapat menjadi solusi untuk beberapa tantangan yang dihadapi sektor pertanian diantaranya: (a) Kondisi produksi yang lebih buruk (akibat menyusutnya luas lahan pertanian akibat urbanisasi dan industrialisasi; menyusutnya pasokan tenaga kerja akibat perubahan demografi dan penuaan populasi penduduk, dan akibat perubahan iklim); (b) Permintaan produk pertanian yang lebih tinggi dalam volume, kualitas, dan keragaman akibat tingkat pendapatan yang lebih tinggi dan pertumbuhan penduduk (Matthieu et al. 2018).

Tabel 15 mengilustrasikan penerapan teknologi Industri 4.0 pada Pertanian Presisi yang akan menyebabkan pergeseran signifikan pada sistem produksi dan rantai pasok produk pertanian dan pangan. Perubahan tersebut meliputi dua aspek yaitu: perubahan teknologi yang digunakan dan perubahan pola pengelolaan usaha pertanian. Pada sistem produksi pertanian penerapan teknologi Industri 4.0 dapat mendukung petani untuk memantau dan mengantisipasi serangan hama, gagal panen, dan perubahan iklim melalui pesan peringatan agro berbasis cuaca yang tepat waktu. Penggunaan sensor yang memantau kandungan unsur hara tanah juga bermanfaat dalam menentukan aplikasi pemupukan yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Aplikasi IoT juga akan berguna sebagai sistem bimbingan waktu tanam yang tepat dan jumlah benih yang dibutuhkan sehingga dapat menghemat biaya benih. Selanjutnya *Variable Rate Technologies* (VRT) dan *drone* (UAV) dalam pemantauan gangguan hama/ penyakit tanaman dan ketersediaan kandungan air dalam tanah juga dapat menghemat penggunaan air dan pestisida serta mengurangi biaya tenaga kerja.

Dari sisi rantai pasok, perangkat lunak di bidang informasi dan komunikasi berpotensi membantu petani dalam memantau informasi pasar menurut lokasi pasar, volume dan kualitas produk yang dibutuhkan pasar. Penggunaan sensor juga dapat

dimanfaatkan dalam memantau kualitas produk dan keamanan produk pangan yang dihasilkan dan dipasarkan petani. Begitu pula pola perdagangan berbasis virtual yang pada intinya bertumpu pada pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi akan memudahkan konsumen dalam mendapatkan informasi harga secara transparan, menentukan pilihan produk yang dibeli sesuai dengan kebutuhan kualitas dan daya beli konsumen dan memantau pergerakan produk yang dibeli dalam proses transportasi sedangkan bagi petani produsen akan memudahkan pemantauan kualifikasi produk yang dibutuhkan konsumen yang diperlukan sebagai umpan balik dalam menyempurnakan proses produksi pada siklus produksi berikutnya.

Tabel 15. Perubahan Sistem Produksi dan Rantai Pasok Produk Pertanian Masa Kini vs Masa Depan sebagai Pengaruh dari Penerapan Pertanian Presisi (Pertanian 4.0)

Karakteristik	Kondisi Saat Ini	Masa Depan
A. Sistem produksi		
1. Teknologi		
Pengolahan tanah	Mekanik/manual	Mekanik/robotic
Penanaman	Manual	Mekanik
Dosis dan aplikasi pupuk	Manual	Sensor+drone
Dosis dan aplikasi pestisida	Manual	Sensor+drone
Waktu dan aplikasi panen	Manual/mekanik	Drone+sensor+mekanik
Pamantauan tanaman	Manual	Drone+sensor/satelit
Pengairan	Manual	Robotik
2. Pengelolaan		
Skala usaha	Kecil (< 2ha)	Luas (kawasan)
Pola usaha	Individual	Kolaborasi usaha/ korporasi
Biaya tenaga kerja	Tinggi	Rendah
Biaya investasi teknologi	Rendah	Tinggi

Karakteristik	Kondisi Saat Ini	Masa Depan
B. Rantai Pasok Produk		
1. Teknologi Sortasi, grading, packing, penyimpanan Informasi pasar	Manual ICT	Sensor kualitas produk Sensor keamanan produk ICT
2. Pengelolaan Pola usaha	Individual	Kolaborasi usaha/korporasi
Keterkaitan pasokan: petani- pedagang- konsumen	Parsial/tersekat	Terintegrasi
C. Implikasi Penerapan		
1. Sistem Produksi	Input berlebih/tidak efisien (pupuk, pestisida, air) Keamanan produk rendah (residu pestisida tinggi) Daya saing rendah Dampak lingkungan tinggi Keberlanjutan rendah	Input efisien (pupuk, pestisida, air) Keamanan produk tinggi (residu pestisida rendah) Daya saing meningkat Dampak lingkungan rendah Keberlanjutan tinggi
2. Rantai Pasok Produk	Biaya pasokan mahal Tidak efisien Pembagian nilai tambah tidak proporsional	Biaya pasokan lebih murah Efisien Pembagian nilai tambah lebih proporsional

Petani memiliki peran kunci dalam menerapkan teknologi Pertanian Presisi dan memberikan peluang baru bagi mereka untuk berkolaborasi dan berinovasi. Namun demikian, perlu diingat bahwa the "Law of Disruption" menyatakan teknologi berubah secara eksponensial, tetapi sistem ekonomi dan sosial berubah secara progresif dan kesulitan mengikutinya (Downes 2009). Implikasinya adalah terdapat potensi manfaat lingkungan, ekonomi dan sosial yang signifikan namun terdapat pula

tantangan yang harus dihadapi. Berbagai teknologi modern yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung penerapan Pertanian Presisi pada dewasa ini sudah banyak tersedia namun penerapan teknologi tersebut juga dihadapkan pada banyak tantangan. Disamping itu, infrastruktur komunikasi yang dibutuhkan untuk memanfaatkan berbagai teknologi terkait dengan penggunaan teknologi komunikasi umumnya sangat terbatas di pedesaan, padahal merupakan salah satu faktor kunci untuk dapat menerapkan Pertanian Presisi. Di negara-negara berkembang penerapan Pertanian Presisi juga dihadapkan pada masalah lahan garapan petani yang umumnya relatif sempit sehingga variasi spasial lahan garapan sulit dideteksi (Irawan 2019). Tantangan lainnya adalah terbatasnya kemampuan petani untuk melakukan investasi dan melakukan modernisasi kegiatan usahataniya mengingat kemampuan modal dan akses petani terhadap kredit umumnya lemah (European Commission 2017).

Peran Sumberdaya Manusia Dalam Mendorong Modernisasi Pertanian

Pembangunan pertanian modern adalah suatu rangkaian panjang dari perubahan atau peningkatan kapasitas, kualitas, profesionalitas dan produktivitas tenaga kerja pertanian, disertai dengan penataan dan pengembangan lingkungan fisik dan sosialnya, sebagai manifestasi dari akumulasi dan aplikasi kemajuan teknologi dan kekayaan material serta organisasi dan manajemen (Adjid 2001). Definisi ini menggambarkan betapa pentingnya peran sumberdaya manusia sejalan dengan kemajuan teknologi, manajemen, organisasi dan lingkungan fisik dan sosial di dalam modernisasi pertanian. Sumberdaya manusia pertanian tidak hanya petani atau pekerja yang beroperasi di bidang pertanian, namun juga sumberdaya manusia lainnya, diantaranya yang berkecimpung di dalam penelitian dan

pengembangan, pengelolaan organisasi dan manajemen baik di pemerintahan maupun swasta, pendidikan dan penyuluhan pertanian, dan lain sebagainya.

Modernisasi pertanian di Indonesia, sejak era Bimas hingga kini, telah menunjukkan kemajuan dalam pengembangan industri benih, pupuk dan mesin-mesin yang memungkinkan petani subsisten untuk berspesialisasi dan melakukan usaha secara komersial. Penyebaran traktor dan alsintan secara besar-besaran belakangan ini tentunya akan mengubah keadaan petani untuk mengoperasikan pertanian lebih mekanis. Selanjutnya mulai saat ini ke depan, revolusi keempat dalam teknologi pertanian sedang berlangsung dan semuanya sangat terkait dengan data, sistem informasi dan Pertanian Presisi. Pertanian 4.0 perlu fokus pada strategi dan sistem untuk meninggalkan teknologi masa lalu yang kurang sesuai menuju generasi baru dengan penggunaan teknologi dan mesin-mesin pintar yang lebih sesuai. Saat ini, Kementerian Pertanian telah mengembangkan *Agriculture War Room* (AWR) yang mengendalikan data dan terhubung dengan semua institusi sampai ke kecamatan. Seluruh institusi lingkup Kementan harus mempunyai pusat data yang link dengan WAR. Berkaitan dengan hal ini, Kementerian Pertanian melakukan pemusatan data untuk mendukung perumusan kebijakan menjadi tepat dan merupakan kebijakan tata kelola data pemerintahan untuk menghasilkan data yang akurat, mutakhir, terpadu, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Kementerian Pertanian telah mengembangkan infrastruktur teknologi Industri Era 4.0 dengan sumber informasi internal dan eksternal, terdiri perangkat keras dan lunak, mencakup komponen *Big Data Center* dan teknologi *Agriculture Intelligence*. Pada sisi mekanisasi, Kementerian Pertanian telah melakukan mekanisasi pertanian secara besar-besaran, baik mekanisasi pengolahan tanah, penanaman, panen dan pasca panen terutama untuk pertanian tanaman pangan. Sementara dari sisi pemanfaatan

teknologi informasi dan komunikasi, telah dikembangkan sistem pemasaran online melalui Program Toko Tani Indonesia (TTI). Disamping itu, Kementerian Pertanian saat ini juga sedang mendorong terciptanya model bisnis berkelanjutan yang memberikan solusi yang layak untuk melibatkan petani skala kecil dalam proses transformasi pertanian pada Era Industri 4.0 dalam bentuk kawasan dan korporasi pertanian.

Mengawali pembahasan mengenai peran sumberdaya manusia dalam modernisasi, maka langkah pertama perlu kembali kepada definisi Pertanian 4.0 dan selanjutnya melihat peran sumberdaya manusia dibutuhkan dimana. Kembali kepada definisi bahwa Pertanian 4.0 adalah evolusi Pertanian Presisi, yang diwujudkan melalui pengumpulan otomatis, integrasi, dan analisis data besar dan beragam, yang sebelumnya terpisah yang berasal dari lapangan, sensor peralatan, dan sumber pihak ketiga lainnya, yang dimungkinkan oleh penggunaan teknologi cerdas dan digital dari Industri 4.0. Cara ini memungkinkan pembangkitan pengetahuan, untuk mendukung petani dalam proses pengambilan keputusan dalam usaha pertanian dan ketika berhadapan dengan pemain yang berbeda dalam rantai nilai pertanian, sehingga pertanian dapat melampaui batas-batas usaha pertanian tunggal dan menjangkau dari hulu hingga hilir, dengan tujuan akhirnya adalah untuk meningkatkan profitabilitas dan keberlanjutan ekonomi-lingkungan-sosial pertanian. Peran sumberdaya manusia dalam modernisasi pertanian di Indonesia disajikan Tabel 16.

Tabel 16. Peran Sumberdaya Manusia dalam Modernisasi Pertanian

Pelaku	Peran
Ristek/Litbang/Universitas	Pengembangan invensi dan inovasi pertanian (teknologi, kelembagaan)
	Mendidik dan menyiapkan SDM ahli dan terampil
	Memperkenalkan teknologi, penelitian, atau model bisnis baru

Pelaku	Peran
Produsen/Pengolah/ Pedagang	Memproduksi seacaramasal Menyampaikan atau mentransfer teknologi dan manajemen Berinvestasi dalam rantai nilai, dan membantu penciptaan peluang untuk berinovasi dengan pelanggan baru, teknologi atau model bisnis baru dan membuka pasar baru Mengembangkan dan menerapkan kemitraan jangka panjang
Direktorat Jenderal Teknis	Mobilisasi pendukung adopsi teknologi (bantuan sarana dan prasarana, modal, subsidi, asuransi, dsb)
Badan Pengembangan Sumberdaya Manusia Pertanian	Bimbingan, Asistensi dan Pendampingan Teknologi (informasi teknologi, kelembagaan petani, dsb)
Petani Yang Tergabung Dalam Kelompok Tani	Penerapan dan Pemanfaatan teknologi
Pengelola Kawasan/Korporasi Usaha Pertanian	Mengintegrasikan pendekatan kemitraan ke dalam strategi bisnis jangka panjang Mengembangkan keberlanjutan dan stabilitas operasi bisnis dalam jangka panjang Membantu mengatur dalam pelatihan bagi petani dan penerapan teknologi Memfasilitasi tersedianya informasi bagi investor dan peningkatan kapasitas petani Membantu menciptakan mekanisme dukungan yang efektif bagi petani dan investor.
Penanggungjawab AWR	Memelihara, meningkatkan kapasitas dan mengelola data dan sistem informasi pertanian digital dan sistem pendukung keputusannya Mengintegrasikan seluruh perangkat keras dan lunak Berkontribusi pada kompilasi pengetahuan, dukungan nasehat dan jaringan di bidang keahlian yang relevan Mendukung penyelenggaraan pertemuan

Pelaku	Peran
	komunikasi multipihak dengan data dan informasi yang disajikan secara cepat dan akurat

Kebutuhan Kompetensi Sumberdaya Manusia Dalam Mendorong Modernisasi Pertanian

Saat ini, masih sangat sedikit literatur dan konsep yang membahas kompetensi sumber daya manusia, terutama di bidang pertanian. Bagi para pengusaha maupun organisasi, kompetensi merupakan faktor penting dalam pencapaian hasil kerja individu dalam mendukung pencapaian kinerja dan tujuan perusahaan atau sebuah organisasi. Kompetensi merupakan atribut dalam diri karyawan yang menjadi modal bagi karyawan tersebut untuk memperoleh kinerja yang maksimal (Kock 2008). Kompetensi sumberdaya manusia menjadi sangat penting karena tingkat kemajuan teknologi dan persaingan usaha sangat tinggi. Selain pencapaian tujuan perusahaan atau organisasi, kompetensi sumberdaya manusia sangat dibutuhkan agar setiap individu, perusahaan maupun organisasi mampu beradaptasi dengan tantangan dan peluang yang muncul dari perkembangan dunia usaha saat ini. Kompetensi merupakan kombinasi dari karakteristik tenaga ahli yang memiliki andil dalam meningkatkan kinerja dalam mencapai tujuan organisasi yang telah ditetapkan sebelumnya (Yamali 2017).

Banyak peneliti mengidentifikasi empat kategori utama untuk mengklasifikasikan kompetensi (Hecklau et al. 2016). Kategori pertama adalah kompetensi teknis, yang menghubungkan pekerjaan dengan pengetahuan dan keahlian. Kategori kedua adalah kompetensi metodologis yang mencakup semua keterampilan dan kemampuan untuk pemecahan masalah dan pengambilan keputusan secara umum. Kategori ketiga adalah

kompetensi sosial, yaitu keterampilan dan kemampuan berperilaku kooperatif dalam bekerja serta keterampilan komunikasi yang baik yang diterapkan dalam dunia kerja. Kompetensi kategori keempat adalah kompetensi pribadi, yang terdiri dari kemampuan individu untuk bersosialisasi, motivasi positif yang dimiliki dan perilaku baik yang dibalik dalam dunia kerja. Peneliti lain menyatakan pentingnya kompetensi professional dalam era industri 4.0. Kompetensi profesional adalah pengetahuan, keterampilan dan kemampuan yang dikembangkan selama kehidupan pendidikan seseorang untuk menyelesaikan masalah dalam suatu profesi atau jabatan (Garcdía 2015). Secara agregatif (UNESCO 2016) kompetensi sumber daya manusia dalam menghadapi revolusi Industri 4.0 dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu kompetensi nilai inti (*core value competence*), kompetensi inti (*core competence*), dan kompetensi managerial (*managerial competence*) seperti pada Tabel 17.

Tabel 17. Agregasi Kompetensi Sumberdaya Manusia Era Industri 4.0 Berdasarkan Katagori dan Rincian dengan Menggunakan Kerangka Kompetensi UNESCO Tahun 2016

Kategori	Kebutuhan Kompetensi	Konteks
<i>Value Core Competencies</i>	1. Profesionalisme	Terkait dengan keahlian dan perilaku karyawan yang profesional
	2. Inovatif dan kreatif	Dengan perkembangan dan perubahan yang terjadi menuntut kreativitas karyawan untuk menghasilkan inovasi dalam bekerja
	3. Pola Pikir Berkelanjutan	Keyakinan dalam sikap dan harapan untuk membuat tindakan standar di tempat kerja yang menggunakan sumber daya dengan hati-hati,

Kategori	Kebutuhan Kompetensi	Konteks
		penuh perhatian, dan terkait dengan keadilan sosial.
<i>Core Competencies</i>	1. Keterampilan komunikasi dan kerjasama 2. Orientasi Hasil 3. Mampu berbagi ilmu dan terus melakukan perbaikan 4. Penguasaan digital dan jaringan 5. Perbarui Pengetahuan	Kemampuan membangun komunikasi yang positif untuk dapat bekerja sama dan mencapai tujuan Bekerja secara produktif dan fokus untuk mencapai hasil di tempat kerjanya Kemampuan berbagi pengetahuan dan mampu meningkatkan hasil kerja secara berkelanjutan Memiliki pengetahuan dan keahlian yang berkaitan dengan penggunaan media digital, teknologi informasi, coding dan sistem informasi Kemampuan dan kemauan untuk menambah pengetahuan seiring dengan perkembangan dan perubahan dunia terkait dengan bidang pekerjaan yang digelar
<i>Managerial Competencies</i>	1. Keterampilan pemecahan masalah yang kompleks 2. Pengambilan keputusan yang berkualitas 3. Keterampilan antar budaya dan bahasa	Kemampuan dan keahlian berpikir kritis dan analitis untuk memecahkan masalah Terkait dengan peningkatan tugas dan tanggung jawab membutuhkan kemampuan pengambilan keputusan yang berkualitas dan bermanfaat Mampu memahami perbedaan budaya dan bahasa di dunia kerja

Kategori	Kebutuhan Kompetensi	Konteks
	4. Mampu mengelola perubahan	Fleksibel dan adaptif terhadap perubahan dan mampu bekerja di bawah tekanan
	5. Kemampuan kepemimpinan	Dengan struktur yang lebih datar, setiap karyawan harus memiliki keahlian dan kemampuan untuk menjadi seorang pemimpin

Sumber: Hecklau et al. (2016)

Implikasi dari Tabel 16 dan 17 adalah bahwa sumberdaya manusia pertanian harus kreatif dan inovatif, sangat terampil, dan mengandalkan data dan pengalaman (*data-driven*). **Kreatif dan inovatif** menunjukkan karakteristik sumberdaya pertanian selalu mencari pendekatan baru untuk meningkatkan kemajuan, menguji pendekatan baru tersebut dan bekerja dengan mitra-mitra potensial yang sudah ada maupun mitra-mitra baru. **Sangat terampil** menunjukkan karakteristik dimana sumberdaya pertanian memiliki prinsip untuk selalu belajar dengan fokus pada komunikasi, ketrampilan digital dan global serta menerapkannya pada bidang pekerjaannya. **Mengandalkan data dan pengalaman** (*data-driven*) menunjukkan karakteristik sumberdaya manusia pertanian dalam pengambilan keputusan, yaitu selalu mengandalkan data, informasi dan pengalaman dalam membuat keputusan.

POTENSI SUMBERDAYA MANUSIA PERTANIAN

Kompetensi SDM Pertanian

Menjawab tantangan modernisasi pertanian berarti pula menjawab tantangan SDM pertanian sebagai pelaku utamanya. Cakupan SDM pertanian telah diuraikan pada sub bab sebelumnya yang meliputi pelaku di level *grassroot* (petani dan penyuluh) hingga pelaku di level riset, swasta dan kebijakan. Transformasi ke arah pertanian modern sudah pasti akan mengubah kebutuhan kompetensi SDM di dalamnya. Konsepsi pertanian modern muncul seiring adanya disrupsi di era revolusi industri 4.0 yang menuntut kecepatan dan ketepatan informasi karena seluruh entitas di lingkungan industri 4.0 saling terhubung. Oleh karena itu, digitalisasi pertanian menjadi hal mutlak yang perlu dilakukan untuk menangkap peluang atas perubahan di era industri 4.0. Digitalisasi pertanian berarti mengubah tata cara pertanian konvensional ke arah digital menggunakan teknologi kunci dalam penciptaan produk, proses, dan prosedur yang cerdas. Teknologi kunci tersebut mencakup *Artificial Intelligence (AI)*, *Internet of Things (IoT)*, *wearable (Augmented/Virtual Reality)*, *Advance Robotic*, and *3D Printing* (Crnjac et al. 2017).

Pertanian digital memang menerapkan konsep industri 4.0 dengan teknologi kunci di atas, tetapi implementasi kegiatan pertanian *on farm* sangat ditentukan oleh faktor lingkungan dan biologis. Pertanian digital merupakan penerapan teknik pertanian presisi (*precision farming*) dan pertanian cerdas (*smart agriculture*) dalam suatu rantai produksi dari hulu sampai hilir (CEMA 2017). Sebagai contoh, di rantai hulu pertanian presisi menggunakan remote sensing, sistem informasi geografis dan *global positioning system* untuk mendapatkan data spasial dari suatu wilayah (seperti luasan lahan, karakteristik nutrisi lahan, sumberdaya air,

dll). Kemudian ditindaklanjuti dengan pertanian cerdas yang menggunakan hasil analisis data dari drone, sensor dan perangkat lain yang secara otomatis mengoptimalkan pengelolaan sumberdaya pertanian. Di rantai hilir, penerapan pertanian cerdas dapat dilihat pada siklus hidup suatu produk akhir yang terintegrasi dengan semua informasi di rantai hulu dan terhubung dengan sistem komunikasi cerdas yang menjamin kualitas produk tersebut.

Kehadiran teknologi dalam pertanian digital dapat membawa tantangan seperti dua sisi mata pedang, yang tajam menjadi peluang, yang tumpul menjadi hambatan. Untuk itu, kesiapan SDM pertanian diarahkan agar mampu mengubah tantangan menjadi peluang dan bukan menjadi hambatan. SDM pertanian yang menangani penciptaan produk/teknologi dapat dikategorikan sebagai peneliti, baik di lingkup Balitbangtan, Ristek, Perguruan Tinggi maupun perusahaan swasta bidang pertanian. Kategori kedua adalah SDM pengguna produk/teknologi pertanian, dalam hal ini adalah petani, termasuk SDM penyuluh yang berperan menjembatani proses transfer teknologi dari produsen ke pengguna.

Transformasi SDM menghadapi pertanian modern harus didukung kompetensi yang ditunjukkan oleh empat peran sebagai berikut: (i) *enhancers*, sebagai penyedia data, informasi, dan layanan atas penggunaan IoT namun belum tentu sebagai pemilik; (ii) *engagers*, sebagai penghasil produk jaringan dan layanan IoT; (iii) *embedders*, sebagai pengguna IoT dalam proses produksi, rantai nilai, layanan, dan penjualan; serta (iv) *enablers*, sebagai penyedia teknologi IoT dan platform untuk menghasilkan layanan dan produk jaringan (Naijok et al. 2016). Secara kolektif, kompetensi individu sesuai empat peran di atas akan memperkuat kompetensi organisasi riset penghasil teknologi di era digitalisasi pertanian. Kompetensi individu dalam organisasi riset mencakup pengetahuan teknis dan keterampilan kinerja yang harus

memenuhi hal-hal berikut: kolaborasi manusia dengan robot, kemampuan dalam kontrol dan kendali jarak jauh, manajemen kinerja digital, dan otomasi pengetahuan kerja (Heriawan et al 2019). Hal lain yang juga disebutkan terkait transformasi SDM adalah implementasi keempat peran (*enhancers, engagers, embedders, enablers*) ke dalam visi pemimpin (*leadership*) sehingga tercipta *learning process* yang memungkinkan penerapan keempatnya dalam manajemen kelembagaan.

Data Statistik Balitbangtan 2019 menunjukkan total pegawai yang tersebar di UK dan UPT se-Indonesia sebanyak 5.981 orang. Diantara jumlah tersebut, fungsional peneliti Balitbangtan berjumlah 1.656 orang dengan komposisi: 204 peneliti utama, 390 peneliti madya, 455 peneliti muda, dan 607 peneliti pertama. Diantara peneliti utama, sebanyak 141 orang bergelar profesor riset dengan 65 bidang kepakaran, dimana jumlah terbanyak terdapat pada bidang budidaya tanaman pangan (10 orang), pemuliaan dan genetika tanaman (10 orang), dan teknologi pascapanen (8 orang). Dibandingkan dengan jumlah SDM di eselon I lingkup Kementan lainnya, Balitbangtan memiliki SDM tertinggi, diikuti oleh Badan Karantina Pertanian sebanyak 3.832 (Pusdatin, 2019). Sementara itu, menurut sumber data tersebut, jumlah SDM penyuluh pertanian tahun 2019 tercatat sebagai berikut: 28 ribu penyuluh PNS, 17 ribu THL-TB, 27,6 ribu penyuluh swadaya dan 96 penyuluh swasta. BPS mencatat jumlah kepala rumahtangga sektor pertanian tahun 2018 (21.145.395 KK) lebih rendah dibandingkan tahun 2017 (21.476.057 KK). Sebagai gambaran perbandingan mengenai besarnya potensi SDM peneliti pertanian dibandingkan dengan SDM peneliti di Kementerian/Lembaga lain disajikan pada Tabel 4 berikut. Dapat dilihat bahwa secara kuantitas, SDM pertanian menempati peringkat pertamaa dibandingkan K/L lainnya. Hal ini tentu menjadi *human capital* yang perlu mendapat perhatian khusus untuk digarap dalam rangka mewujudkan digitalisasi pertanian.

Tabel 18. Jumlah Peneliti Berdasarkan Jenjang Jabatan di 10 Kementerian/Lembaga Lain

No.	Instansi	Peneliti Pertama	Peneliti Muda	Peneliti Madya	Peneliti Utama	Jumlah
1.	Kementan	515	437	599	299	1850
2.	LIPI	459	591	409	256	1715
3.	Kemendikbud	217	269	279	54	819
4.	KKP	99	241	133	65	538
5.	Kemenkes	226	181	89	19	515
6.	Kemen LHK	114	118	172	56	460
7.	BATAN	70	102	145	76	393
8.	Kemenperin	177	152	135	13	477
9.	Kemendagri	218	90	54	12	374
10.	LAPAN	88	79	95	18	280

Sumber: Pusbindiklat LIPI, diakses 22 Januari 2021 (<http://pusbindiklat.lipi.go.id/id/data-peneliti/>)

Sejumlah angka tersebut tentu bukanlah jumlah SDM yang kecil untuk digarap menuju digitalisasi pertanian. Pertanyaannya adalah, apakah semua SDM tersebut memiliki kemampuan untuk dapat menerapkan pertanian digital? Ketika digital identik dengan teknologi rumit yang memerlukan alat dan skill, maka seleksi alam menyisakan SDM-SDM yang pada akhirnya dapat menerapkan pertanian digital. Mengapa? Karena SDM-SDM tersebut memiliki kompetensi sehingga mampu mengimbangi disrupsi yang terjadi akibat kemajuan teknologi. SDM yang bagaimanakah yang seperti itu? Pertanian modern yang ditandai penerapan perangkat digital dalam budidaya pertanian menunjukkan pentingnya penguasaan teknologi informasi dan komunikasi berbasis internet. Maka salah satu prasyarat kompetensi SDM pertanian adalah mampu menyesuaikan kemampuan diri dengan perkembangan dunia teknologi, salah satunya teknologi internet yang menghilangkan batas ruang, waktu dan tempat, sehingga dunia terasa tanpa batas.

Survey yang dilakukan Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) tentang penetrasi dan profil perilaku pengguna internet Indonesia menunjukkan peningkatan penetrasi pengguna internet tahun 2018 menjadi 64,8 persen dari hasil survey sebelumnya 54,7 persen. Artinya terjadi pertumbuhan pengguna selama satu tahun sebesar 10%. Peningkatan ini menunjukkan semakin banyak orang yang memanfaatkan internet. Hal ini berarti pula terbuka peluang di sektor pertanian untuk mendorong terwujudnya modernisasi pertanian.

Kontribusi pengguna internet paling tinggi berpusat di pulau Jawa (55%), diikuti Sumatra (21%), Sulawesi-Maluku-Papua (10%), Kalimantan (9%), dan Bali & Nusa Tenggara (5%). Pulau Jawa dengan sistem pertanian intensif membuka peluang penerapan pertanian digital sejak tahap produksi hingga konsumsi. Hasil survey juga menunjukkan penggunaan internet di wilayah urban lebih tinggi (74%) dibandingkan di wilayah rural (62%). Persentase ini justru menunjukkan adanya peluang penerapan teknologi pertanian modern di wilayah perdesaan karena penggunaan internet mencapai lebih dari 50 persen. Apalagi didukung oleh hasil survey pengguna internet berdasarkan umur yang menunjukkan tingginya dominasi milenial (Tabel 19), memungkinkan pemberdayaan generasi milenial untuk terjun di sektor pertanian.

Survey tersebut juga menunjukkan bahwa pengguna internet menjangkau kalangan pendidikan rendah bahkan terdapat 13% diantara pengguna belum/tidak pernah sekolah. Hal ini berarti teknologi informasi telah secara massif mempengaruhi kehidupan seseorang terutama jika berkaitan dengan pekerjaan. Banyak pekerja yang saat ini menggantungkan operasional pekerjaannya pada penggunaan internet, apalagi dalam kondisi pandemi COVID-19 sejak awal tahun 2020. Survey mencatat sebanyak 100% responden yang bekerja sebagai wirausaha besar, guru dan pedagang *online shop* adalah pengguna aktif internet. Di posisi tiga

terbawah pengguna internet adalah petani lahan sendiri (33,5%), buruh tani (25,7%), dan petani penggarap (20,3%). Meskipun komposisinya kecil, angka tersebut memberikan ruang edukasi utamanya bagi petani milenial untuk mengembangkan kemampuan teknis dan manajerial berbasis teknologi informasi dan komunikasi.

Tabel 19. Penetrasi pengguna internet berdasarkan umur (2018)

Rentang usia (tahun)	Pengguna internet (%)	Bukan pengguna internet (%)
5-9	25,2	74,8
10-14	66,2	33,8
15-19	91,0	9,0
20-24	88,5	11,5
25-29	82,7	17,3
30-34	76,5	23,5
35-39	68,5	31,5
40-44	51,4	48,6
45-49	47,6	52,4
50-54	40,9	59,1
55-59	40,0	60,0
60-64	16,2	83,8
>65	8,5	91,5

Sumber: APJII 2019

Potensi SDM Pertanian Masa Depan: Generasi Milenial

Indonesia sedang memasuki bonus demografi dari kelahiran generasi Y yang saat ini berusia produktif. Hal ini ditandai dengan menurunkan rasio ketergantungan (*dependency ratio*) karena lebih dua per tiga jumlah usia produktif dari jumlah penduduk keseluruhan. Rasio ketergantungan adalah perbandingan antara jumlah penduduk nonproduktif (usia <15 tahun dan >65 tahun) terhadap jumlah penduduk produktif (usia 15-64 tahun). Bonus demografi ini membawa Indonesia pada meningkatnya suplai angkatan kerja (*labour supply*), tabungan (*saving*), dan kualitas

sumberdaya manusia. Bonus ini juga dapat dinikmati oleh sektor pertanian dengan catatan SDM pertanian benar-benar dipersiapkan untuk mampu menguasai dan menerapkan teknologi digital dalam kegiatan *on farm* maupun *off farm*.

Dari berbagai literatur (Tapscott 1998; Martin & Tulgan 2002; Zemke et al 2000; Bencsik, Csikos, Juhes 2016; Oblinger 2005; Lancaster & Stillman, 2002; Hoe & Strauss 2000; Ali & Purwandi 2017) yang disitir dalam Profil Generasi Milenial Indonesia 2019, pada akhirnya disepakati kesimpulan bahwa periode kelahiran generasi Y atau milenial adalah penduduk yang lahir pada tahun 1980-2000. Generasi sebelumnya disebut generasi X, yaitu penduduk yang lahir pada tahun 1960-1980 dengan masih melekatnya pola asuh dari generasi *Baby Boom* yang lahir pada 1946-1960. Disamping ketiga generasi tersebut, ada generasi setelah gen Y yang disebut gen Z yaitu yang lahir pada rentang 2001-2010 dimana teknologi sedang berkembang pesat, akan tetapi generasi ini belum banyak berkontribusi mengisi bonus demografi tahun 2020-2024. Generasi termuda saat ini disebut gen Alpha yang lahir tahun 2010 hingga sekarang, ditandai dengan sudah mengenal dan berpengalaman memanfaatkan kecanggihan teknologi sejak usia dini.

Generasi Y atau dikenal dengan generasi milenial mengisi sebagian besar angkatan kerja yang sekaligus menjadi sumber kekuatan ekonomi baru, terutama di pedesaan dengan persentase generasi milenial yang tercatat aktif bekerja di bidang pertanian sebanyak 42,4%, sedangkan di perkotaan persentasenya sangat kecil, yaitu 5,24% (Survei Angkatan Kerja Nasional, BPS dalam Profil Generasi Milenial Indonesia, 2018). Angkatan kerja generasi milenial di pedesaan membuka peluang pemberdayaan untuk mendorong modernisasi pertanian. Hadirnya teknologi informasi dan komunikasi menuntut kompetensi generasi milenial untuk memiliki pengetahuan dan keterampilan agar dapat memanfaatkan kehadiran teknologi tersebut. Pendidikan menjadi

modal utama untuk membekali pengetahuan dan keterampilan teknis bidang pertanian. Sekolah Polbangtan merupakan salah satu penyedia sarana pembelajaran dan pengasahan ilmu pertanian. Berdasarkan Permentan 25/2018 tentang Organisasi Tata Kelola Polbangtan, kelembagaan Polbangtan berlaku untuk 6 institusi, yaitu Polbangtan Medan, Polbangtan Yogyakarta-Magelang, Polbangtan Malang, Polbangtan Gowa, dan Polbangtan Manokwari.

Oleh karena itu, upaya menuju modernisasi pertanian sebenarnya mendapat keuntungan dari bonus demografi yang sedang terjadi. BPS (2020a) mencatat cukup tingginya pengguna teknologi komunikasi berupa HP dari kalangan gen Y, yaitu 95% berdomisili di perkotaan dan 88% di perdesaan. BPS (2020) mencatat hal serupa bahwa meskipun kepemilikan HP di perkotaan lebih tinggi 10% dibandingkan di perdesaan, tingkat penggunaan HP di dua tipe wilayah tersebut sama-sama tinggi, yaitu di atas 90%. Dilihat dari kemampuan akses internet, hasil survey dalam BPS (2020a) menyebutkan sebagian besar (92%) sudah mengakses dari rumah sendiri. Merujuk pada Tabel di atas, pengguna internet didominasi kalangan usia pemuda (16-30 tahun), hal ini sejalan dengan publikasi BPS (2020) seperti pada Tabel 20.

Tabel 20. Persentase Penggunaan Internet Tiga Bulan Terakhir pada Pemuda, 2019

Kelompok umur	Pengguna internet (%)	
	Ya	Tidak
Pemuda		
16 - 18	84,66	15,34
19 - 24	84,32	15,68
25 - 30	76,23	23,77
Total	81,22	18,78
Perkotaan	89,62	n/a
Perdesaan	69,66	n/a

Sumber: Susenas Maret 2019 dalam BPS (2020)

Tabel di atas menunjukkan lebih rendahnya penggunaan internet oleh pemuda di perdesaan, diasumsikan karena adanya dominasi angkatan kerja di perdesaan oleh gen X, bahkan hasil survey dalam BPS (2020a) menyebutkan lapangan kerja bidang pertanian masih didominasi generasi *Baby Boom* sebanyak 52% sementara gen Y hanya 22%. Ironisnya, komposisi gen Y yang bekerja di pertanian, menurun dalam tiga tahun periode 2015-2017, yaitu secara berturut-turut dari 26% turun ke 24% dan terakhir 22%. Sebaliknya di industri pengolahan, perdagangan dan jasa, gen Y mendominasi dua generasi pendahulunya.

BPS (2020) mencatat hal sama, yaitu paling sedikitnya persentase pemuda yang bekerja di sektor pertanian dibandingkan sektor manufaktur dan jasa, masing-masing secara berurutan 18,43%; 26,37% dan 55,20%. SDM pemuda desa masih cukup banyak yang bekerja di sektor pertanian (36,78%) hampir menyamai persentase pemuda desa yang bekerja di sektor jasa (39,80%). Fenomena ini harus dijadikan kesempatan untuk memberdayakan pemuda desa melalui penguasaan teknologi yang dapat menghubungkan sektor pertanian secara langsung dengan industri jasa agar dapat mengungkit potensi pengembangan ekonomi wilayah. Selama ini yang dipahami adalah bahwa input teknologi pertanian masih konvensional sehingga tidak perl keterampilan tinggi. Data hasil Sakernas Agustus 2019 dalam BPS (2020) menunjukkan pertanian didominasi pemuda berpendidikan rendah (51% tidak tamat SD), dengan level paling tinggi tamat universitas hanya 3%. Kemanakah pemuda berpendidikan tinggi yang lainnya? Mereka lebih memilih bekerja di sektor jasa-jasa (mencapai 85,46%).

Maka, tantangan pembangunan pertanian di masa depan adalah menarik minat gen Y/generasi milenial/pemuda, baik yang berdomisili di perkotaan maupun di perdesaaa, untuk menggeluti bidang pertanian melalui teknologi modern dan digitalisasi pertanian, yang disesuaikan dengan karakteristik milenial

berpendidikan tinggi. Studi di Amerika menyebutkan generasi milenial adalah generasi yang teredukasi paling tinggi karena berhasil menamatkan level pendidikan di universitas (DeVaney 2015). Pendidikan tinggi merupakan faktor pendorong terjadinya perubahan metode berpikir untuk terjun dan mengikuti perkembangan jaman. Salah satu karakteristik milenial adalah keinginannya yang kuat menamatkan pendidikan tinggi sebagai *pathway* untuk kesuksesan berkarir (Stafford and Griffis, 2008). Selain itu, nilai positif dan karakteristik lain dari generasi milenial disebutkan oleh Smith and Nichols (2015), antara lain bahwa milenial:

- Memiliki kepercayaan diri tinggi sebagai akibat dari pembinaan yang dibentuk oleh generasi X, didukung pula oleh hasil studi yang menyimpulkan level harga diri dan ketegasan milenial lebih tinggi dibandingkan generasi sebelumnya di usia sama (Deal, Altman, dan Rogelberg 2010);
- Memiliki fokus tinggi pada pencapaian target dan bertanggungjawab sampai target tercapai, serta sangat menyukai kesempatan belajar hal baru. Bahkan hasil studi menyebutkan generasi milenial mau mengorbankan waktu sosial demi mendukung kesuksesan organisasi (Hauw dan Vos 2010);
- Menyukai kerja secara tim dan bersikap lebih toleran dibandingkan generasi sebelumnya, sehingga mendapatkan perspektif baru yang lebih beragam dalam penyelesaian pekerjaan (DeVaney 2015);
- Memiliki fokus pada keluarga sehingga menginginkan keseimbangan dalam kehidupan dan pekerjaan, dimana fokus keluarga ini muncul sebagai pembelajaran yang diperoleh dari pengalaman orangtua generasi X yang mengalami guncangan ekonomi bahkan perceraian (Ng, Schweitzer, dan Lyons 2010);

- Menyukai penggunaan teknologi canggih bahkan tergantung pada keberadaan teknologi di dunia kerja, dan cenderung menyukai budaya kerja dengan aturan dan regulasi yang lebih sedikit mengatur namun memberikan ruang berkreasi yang besar (Kaifi et al. 2012).

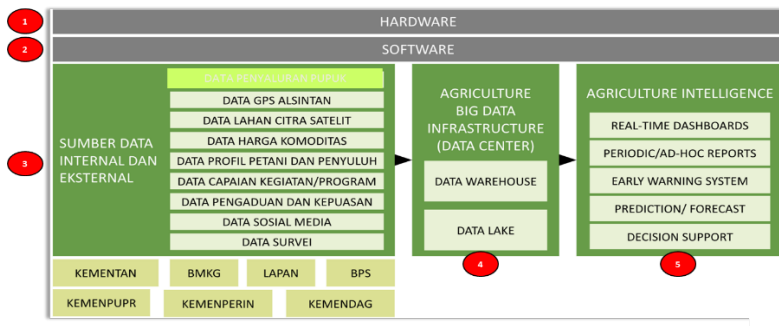
Disamping nilai positif dan karakteristik di atas, terdapat pula penilaian negatif terhadap generasi milenial. Diantaranya, milenial dikenal mudah menciptakan konflik pekerjaan terutama dengan generasi *Baby Boomer*, terkait dengan antusiasme dan keaktifan yang seringkali dinilai sebagai arogansi anak muda (Myers and Sadaghiani 2010). Dalam hasil studi ini, milenial juga dinilai sebagai pribadi yang egois dan pemalas sehingga memicu konflik dengan generasi di atasnya terutama dikaitkan dengan komitmen dan dedikasi pada perusahaan tempat bekerja. Akan tetapi, studi ini menyebutkan hal pertentangan dengan studi Ng, Schweitzer, dan Lyons (2010) yaitu bahwa milenial lebih fokus pada kesenangan di luar kehidupan pribadi tanpa mempertimbangkan pengorbanan untuk pencapaian karir seperti yang dilakukan Baby Boomer.

Nilai negatif lainnya muncul justru dari salah satu nilai positif yang telah disebutkan di atas yaitu terkait dengan tingginya ketergantungan pada penggunaan teknologi sehingga membentuk generasi milenial menjadi pribadi yang ingin serba cepat dan instan, tidak bersabar dalam suatu proses, kurang beretika dan tidak loyal di dunia kerja (Smith dan Nichols 2015). Tentunya hal ini menjadi tantangan bagi pemberdayaan SDM milenial di bidang pertanian digital masa depan.

STRATEGI PENGUATAN SUMBERDAYA MANUSIA PERTANIAN

Peningkatan Kompetensi Sumberdaya Manusia Pertanian

Berangkat dari sistem digital yang telah dikembangkan oleh Kementerian Pertanian, yaitu WAR seperti disajikan pada Gambar 13, implikasi dari penerapan Pertanian Presisi adalah dilanjutkan dengan komponen lain yang menyangkut sistem informasi di dalamnya terkait dengan teknologi yang seharusnya dibutuhkan pada operasional di lapangan. Terdapat enam aspek yang dinilai penting sebagai tindak lanjut dari AWR ini.



Gambar 12. *Agriculture War Room* (AWR) Kementerian Pertanian (Sumber: Kementan 2019)

1. Peningkatan *Big Data Center* menuju *Big Data Analysis*. *Big Data* menunjukkan pemrosesan data dalam jumlah besar yang dikumpulkan dari Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK/ICT) yang mengarah pada data pengambilan keputusan yang cepat untuk meningkatkan produktivitas. Kecerdasan Buatan (AI) ini, dikembangkan di bawah Industri 4.0, menggunakan data yang disimpan sebelumnya untuk pengambilan keputusan dan kebutuhan sektor pertanian dengan persiapan jadwal kegiatan sesuai aktivitas kegiatan

pada rantai nilai usaha pertanian. Peningkatan yang perlu dilakukan adalah ke arah: (a). Pada kegiatan sebelum tanam hingga sebelum panen. Informasi yang terkandung di dalamnya diantaranya: (i) Manajemen perbenihan dan perencanaan penanaman komoditas; (ii) Prediksi Curah Hujan dan Cuaca/Iklim; (iii) Perkembangan dan prediksi permintaan dan penawaran komoditas; (iv) Perkembangan dan prediksi harga output dan input komoditas; (v) Perkembangan hukum, perundangan dan peraturan; (vi). Kebijakan Pemerintah terkait skema, fasilitas, dan sarana dan prasarana (pupuk, benih, irigasi, kredit, subsidi, asuransi, teknologi, dsb); (vii) petani sukses, dan informasi penting lainnya; (b). Pada kegiatan selama proses produksi. Informasi yang terkandung di dalamnya diantaranya: (i) Pembiayaan dan anggaran keuangan; (ii) Program bantuan, bimbingan dan asistensi keuangan, finansial dan kredit; (iii) Fasilitas asuransi; (iv) proses budidaya dan pemeliharaan tanaman dan ternak, dan kebutuhan akan pelatihan; (v) informasi tentang memenuhi permintaan pasar dan mengekspor, dsb; (c). Pada kegiatan panen dan pasca panen. Informasi yang terkandung di dalamnya diantaranya: (i) panen dan kebutuhan akan bimbingan dan pelatihan, dan aktivitas menekan kehilangan hasil dan peningkatan kualitas; (ii) pengeringan, pengemasan, pengolahan dan aktivitas-aktivitas peningkatan nilai tambah; (iii) alternatif sumber-sumber pendapatan bagi petani, (iv) kontrak farming, kemitraan dan kerjasama dalam rantai pasok hulu hingga hilir.

2. Penambahan infrastruktur dan *interface* teknologi *Internet of Things* (IoT). Perangkat teknologi ini berbasis sensor yang digunakan untuk mengukur data mengenai Atmosfir, Struktur Tanah, Kandungan Unsur Hara, Serangan OPT, Penggunaan Pestisida, Intensitas Pupuk dan Efeknya pada Tanaman. IoT meminimalkan kesenjangan antara dunia virtual dan dunia

nyata. IoT memungkinkan objek fisik di dunia menjadi cerdas dengan komunikasi online. Pada kegiatan sebelum panen teknologi ini dapat digunakan membantu persiapan lahan dan pengujian tanah. Pada aktivitas proses dapat membantu memberikan informasi tentang kebutuhan pemeliharaan tanaman seperti pengairan, pemupukan, penggunaan pestisida dan perencanaan panen. Pada aktivitas pasca panen membantu menginformasikan fasilitas pergudangan dan penyimpanan dan fasilitas transportasi atau logistik.

3. Pemanfaatan Teknologi *Drone*. Teknologi drone memberi pertanian untuk perubahan dengan kapasitas lebih tinggi. Drone dapat berguna selama siklus tanaman dalam analisis Tanah dan Lahan, Penanaman, Penyemprotan, Pemantauan tanaman, Irigasi dan penilaian Kesehatan pada manusia, tanaman dan ternak. Drone menggunakan berbagai sensor untuk menjalankan aktivitas ini, dan hasilnya diteruskan melalui peta *orthomosaic* untuk dianalisis. Manajemen perbenihan, perencanaan penanaman, aplikasi pupuk, pengendalian hama, kegiatan usahatani dan panen akan terbantu dengan teknologi ini. Bimbingan dan asistensi sangat diperlukan terkait ada pengurangan dalam upaya atau kegiatan secara manual.
4. Pemanfaatan Robot-Pertanian. Teknologi robot dapat beroperasi di berbagai bidang pertanian seperti produksi, pemrosesan, dan distribusi. Robot yang saat ini telah dirancang khusus di bawah Pertanian 4.0 adalah, robot lapangan terbuka yang melakukan operasi seperti irigasi dan budidaya tanaman, robot fasilitas yang digunakan untuk memantau hasil tanaman dan mengendalikan aktivitas pertanian, dan robot peternakan yang digunakan untuk pemberian pakan, mengambil dan perawatan hewan. Robot ini meningkatkan produktivitas melalui otomatisasi, pertanian dengan mesin tanpa awak, dan promosi pertanian ramah lingkungan.

5. Implementasi Teknologi *Block-chain*. Teknologi ini mengacu pada sistem yang digunakan untuk membuat catatan pertukaran dan pemrosesan yang kekal, konstan, dan jelas. Teknologi *Block-Chain* di bidang pertanian sangat berguna dalam pengembangan rantai pasok yang melibatkan kontrak pintar dari para pelaku yang memungkinkan penyimpanan data dari asalnya hingga akhir dari pelanggan terakhir memastikan keabsahan dan asal setiap transaksi yang membantu menghilangkan ketidakjujuran di beberapa pelaku dalam rantai pasokan. *Blockchain* dapat mengurangi ketidakefisienan dengan meningkatkan ketertelusuran dalam rantai pasokan.
6. Pertanian Presisi juga didorong oleh bioteknologi dan terutama teknologi nano. Dari teknologi nano, pemberian nutrisi, pupuk, pestisida, dan bahkan air ke tanaman dilakukan secara perlahan dan berkelanjutan, sehingga menghasilkan dosis yang tepat untuk tanaman. Dengan bantuan sensor, AI, dan analitik, kebutuhan air dapat dikurangi dikurangi dan didengan dengan *virtual rate application* (VRA), penggunaan pupuk dan pestisida bahkan lebih dapat dihemat.

Sejalan dengan enam aspek tersebut penguatan sumberdaya manusia pertanian dapat dipilah-pilah berdasarkan kelompok-kelompok diantaranya kelompok petani dan pengusaha pertanian, penyuluh dan penasehat, peneliti dan spesialis, pengambil keputusan, tenaga-tenaga pendukung aplikasi (*enabler*), teknisi dan operator alat dan mesin sebagainya yang bekerja pada bidang dan keahlian masing-masing.

1. Petani dan pengusaha pertanian. Kelompok ini merupakan pemilik usaha pertanian dan inti dari wirasusawan pertanian di bidang produksi mulai dari petani kecil hingga petani yang berskala luas atau besar namun tidak berstatus perusahaan.

Mereka adalah penerap dan pemanfaat teknologi. Mereka membutuhkan ketrampilan digital, kemampuan kepemimpinan, dan keterampilan berpikir kritis untuk mengelola operasi pertanian mereka yang semakin luas cakupannya dan kompleks. Para petani dengan kompetensi kepemimpinan yang baik perlu diperlengkapi dengan pembekalan dengan lebih baik untuk mengelola operasi pertanian yang semakin kompleks. Para petani ini perlu dibina oleh pihak lain yang memiliki kompetensi untuk menciptakan dan mengkomunikasikan visi; mengembangkan rencana strategis dan menetapkan tujuan dan prioritas kegiatan usaha; membangun sebuah kelompok kerja yang efektif yang menggerakkan petani; memberdayakan mereka untuk mencapai hasil yang diinginkan, mendampingi para petani sebagai operator; dan menerapkan kepemimpinan situasional. Berdasarkan tingkat aplikasi teknologi saat ini, nampaknya fokus binaan adalah kepada petani yang usianya muda.

2. Kelompok tenaga-tenaga pendukung aplikasi (*enablers*). Kelompok ini merupakan para pekerja terampil yang melayani peralatan pertanian perlu berfokus pada mesin yang semakin pintar, yang berarti mereka harus mengembangkan keterampilan teknologi untuk melengkapi robot dan menulis kode, dengan pengetahuan perangkat lunak, kecerdasan bisnis, dan keterampilan komunikasi. Mereka adalah pemasok, melayani dan memprogram mesin dan peralatan digital yang memungkinkan pertanian berfungsi. Mereka menilai kebutuhan peralatan operator dan memasang mesin dan teknologi yang menambah atau menggantikan tenaga manusia. Kelompok ini memainkan peran penting karena pertanian menjadi lebih otomatis, menyediakan pengetahuan teknis untuk pertanian yang diaktifkan secara digital. Keterampilan di bidang ini berkembang dalam permintaan termasuk perangkat lunak dan antarmuka pengguna (*user interface*),

kepemimpinan dan ketajaman bisnis, dan kemampuan untuk memasang dan memperbaiki peralatan. Mereka juga akan membutuhkan keterampilan untuk selalu berpikir kritis dan memiliki kemampuan memantau teknologi kompleks dan mengelola berbagai kelompok orang, mengingat di Indonesia petani pemanfaat teknologi tergabung dalam kelompok tani dan pengaktif atau pengadaan alat mesinnya masih didukung oleh pemerintah, di samping terdapat pengguna lainnya seperti perusahaan pertanian yang bergerak dalam bidang perkebunan, hortikultura dan peternakan yang mandiri tanpa fasilitasi pemerintah. Lembaga riset, perguruan tinggi dan badan litbang memainkan peranan penting dalam pembinaan kelompok ini.

3. Kelompok peneliti dan spesialis, yang pengetahuan dan keahlian tertentu di bidang ilmiah seperti genetika, *blockchain*, dan kecerdasan buatan, teknologi nano dan sebagainya. Kelompok ini diibaratkan sebagai pistonnya di mesin produktivitas sektor pertanian. Mereka berasal dari lembaga riset, litbang dan pusat-pusat penelitian di Universitas. Kelompok ini berkisar dari ilmuwan tanaman, ternak dan management yang pengetahuan teknisnya sangat penting dalam upaya meningkatkan kemampuan untuk tingkat yang mampu bersaing secara internasional. Mereka harus dibekali tambahan ilmu dan dimanfaatkan secara tepat. Mereka memiliki peranan yang penting untuk mengamankan produksi komoditas melalui inovasi secara berkelanjutan. Selain sebagai spesialis yang mereka juga membutuhkan ketrampilan lebih dari materi pokok keahlian yang dimilikinya karena mereka harus terampil dalam analisis data dan pertanian presisi, dengan kemampuan untuk berkomunikasi dan berkolaborasi dengan spesialis dari nonpertanian bidang seperti *blockchain*, kecerdasan buatan dan hak kekayaan intelektual, dan sebagainya.

4. Kelompok penyuluh dan penasehat dan bahkan konsultan. Mereka adalah orang-orang yang berpendidikan tinggi dan berpengalaman konsultan dan pemikir strategis (contohnya ahli agronomi dan penasihat keuangan) yang membantu operator pertanian untuk mengambil keputusan penting dalam segala hal mulai dari alokasi modal hingga ekspansi bisnis dan strategi ekspor. Dalam era Industri 4.0, bisnis atau usaha dibidang pertanian menjadi lebih besar dan lebih kompleks, permintaan untuk konsultan luar dengan keahlian mendalam yang didorong oleh data yang semakin berkembang. Untuk berprestasi, kelompok ini membutuhkan dasar keterampilan yang meliputi berpikir kritis, komunikasi antar bahasa dan budaya dan matematika, dan kemampuan transfer ilmu dan memberikan nasehat kepada para operator dan pengguna teknologi. Keterampilan khusus yang dibutuhkan mencakup sistem digital agronomi, iklim dan cuaca, keuangan, sensor dan sebagainya, dan analisis data yang umumnya jarang tersedia di mana-mana. Kelompok ini sangat dibutuhkan persebarannya baik di Badan SDM Pertanian, maupun Direktorat Jenderal teknis.
5. Kelompok operator alat dan mesin di pusat data dan alat mesin pertanian di lapangan. Mereka adalah kunci beroperasinya peralatan digital dan otomatisasi pertanian. Mereka harus terampil dalam memenuhi kebutuhan terbesar dari para pelaku usaha dalam mesin-mesin cerdas, penilai proses dan hasil, memiliki ketangkasan yang baik dalam mengoperasikan alat dan memiliki keterampilan interfacing digital. Mereka bekerja dibawah supervisor dari kelompok spesialis, *enabler*, penasehat dan para praktisi di bidang usaha produksi dan jasa-jasa pertanian. Disamping berada pada Direktorat Jenderal teknis, kelompok ini penting untuk juga ditempatkan didaerah-daerah.

Pemberdayaan Generasi Milenial: Pelajaran di Negara Lain

Keberlimpahan perangkat teknologi di era disrupsi seiring dengan dimulainya era bonus demografi Indonesia merupakan peluang strategis untuk memberdayakan generasi milenial dalam pembangunan pertanian. Tentu saja wadah pemberdayaan ini berupa organisasi yang mau menampung aspirasi dan kreativitas tanpa batas para gen Y tersebut. Saratovsky dan Feldmann (2015) menyarankan bahwa organisasi harus melibatkan milenial menggunakan empat pendekatan. Pendekatan *pertama* adalah memberikan akses kepemimpinan dan memungkinkan generasi milenial untuk berperan aktif dalam pengembangan peran kepemimpinan mereka sendiri. Pendekatan *kedua* adalah transparan dan memungkinkan kaum milenial mengakses informasi tentang bagaimana organisasi dapat mempengaruhi masyarakat dalam mengumpulkan dan membelanjakan uang. Pendekatan *ketiga* adalah mengembangkan platform keterlibatan yang bersifat sosial dan memungkinkan diskusi yang lebih besar baik secara online maupun offline. Pendekatan *keempat* adalah menciptakan lingkungan di mana milenial dapat mengembangkan solusi dan menjalankan strategi untuk mewujudkan solusi tersebut.

Termasuk pula organisasi yang melakukan penelitian dan pengembangan di era industri 4.0, dimana terjadi proses perubahan berkelanjutan yang berawal dari model tradisional menuju serba digital. Pemberdayaan generasi milenial dalam organisasi riset menurut Naujok et al (2016) harus memenuhi empat dimensi dalam digital ekonomi sebagai berikut: *Data analysis and Big Data*, *Digital products and services*, *Digital value chains* dan *Digital business models*. Penggunaan serba digital dalam sebuah organisasi memaksa dijalankannya revolusi digital dalam *human capital management*. Dengan kemampuan milenial sebagai

penguasa teknologi, revolusi tersebut bukanlah hal yang tidak mungkin terjadi.

FAO (2014a) dalam publikasinya berjudul *Youth and Agriculture: Key challenges and concrete solutions* telah mengidentifikasi tantangan dan solusi bagi generasi muda untuk dapat meningkatkan kontribusinya dalam pembangunan pertanian. Hasil identifikasi ini dapat dijadikan bahan pembelajaran bagi implementasi program pemberdayaan generasi milenial Indonesia terutama di era bonus demografi sampai 10 tahun ke depan. Terdapat enam prinsip utama dalam upaya pemberdayaan generasi muda di dunia pertanian, yaitu:

1. Membuka akses pada sumber ilmu pengetahuan, informasi dan pendidikan yang layak. Upaya pemberdayaan telah dijalankan berdasarkan pengalaman dari negara-negara berkembang: Kamboja, Uganda, Pakistan, Madagaskar, Ghana, Kenya, Rwanda dan Zambia, yaitu berupa pembelajaran jarak jauh, *on the job training*, teknologi informasi dan komunikasi (ICT) untuk penyuluh, pelatihan pertanian bagi *middle-up career* bergelar doktor dan pembukaan sekolah bagi generasi muda perempuan.
2. Membuka akses pada penguasaan lahan pertanian. Upaya pemberdayaan terkait prinsip ini telah dijalankan di Filipina, Burkina Faso, Ethiopia, Meksiko, Mesir dan Uganda berupa pemberian hak pemilikan lahan untuk berusaha bagi kaum muda yang tidak memiliki lahan, reklamasi lahan untuk petani muda, program ayah angkat antara petani tua dan petani muda, serta program sewa lahan jangka pendek.
3. Membuka akses untuk memberikan layanan keuangan, seperti telah diterapkan di Perancis, Kanada, Kamboja, Bangladesh dan Uganda dalam mempromosikan produk layanan keuangan khusus untuk generasi muda termasuk bimbingan untuk mendapatkan pendanaan awal. Mereka juga didorong

untuk berkelompok antar sesamanya dalam rangka memperkuat modal bersama dalam berusaha ternak.

4. Membuka kesempatan besar pada pekerjaan teknis di lapangan melalui peningkatan kompetensi lulusan sekolah vokasi pertanian. Dalam hal ini, organisasi pendidikan vokasi memegang peran penting mencetak generasi muda terampil. Pengalaman dari Zanzibar, Rwanda, China, Bahama, Kenya dan Uganda berhasil menunjukkan peningkatan keterampilan kaum muda melalui program *junior farmer field and life school*, pelatihan teknik kejuruan tertentu, program magang, dan *agro-edutourism*.
5. Membuka akses untuk pemasaran produk yang lebih luas. Pengalaman yang telah diterapkan untuk prinsip kelima ini antara lain: membangun koneksi dengan petani dalam distribusi dan penjualan produk, memperpendek jalur hubungan produsen dan konsumen, mendorong sertifikasi bisnis kaum muda termasuk komitmen untuk berbisnis secara mandiri. Studi kasus dari pengalaman ini diperoleh dari Kenya, Ghana, Kolombia, Tanzania dan Benin.
6. Membuka ruang diskusi yang lebar untuk membahas isu kebijakan sekaligus menyuarakan aspirasi kaum muda. Fasilitas yang secara formal menjadi kendaraan menyuarakan aspirasi adalah perhimpunan para petani muda atau semacam federasi petani muda yang bentuk dan namanya disesuaikan dengan kondisi negara setempat, hal ini sesuai pengalaman secara regional dari negara-negara Afrika dan Eropa.

Merujuk kembali pada karakteristik generasi milenial di sub bab sebelumnya, baik sisi positif maupun negatif dari gen Y tersebut, keenam prinsip di atas menawarkan solusi bagi pemberdayaan generasi milenial Indonesia, terutama di periode awal terjadinya bonus demografi saat ini. Dilihat dari kemampuan kaum milenial terhadap penguasaan teknologi, sudah tidak

diragukan lagi. Kelebihan positif ini harus diarahkan melalui sistem pemberdayaan yang dapat mewadahnya dengan baik. Namun perlu pula dicatat, Stafford dan Griffis (2008) menemukan bahwa tidak semua kelompok milenial mempunyai akses yang sama terhadap teknologi karena adanya perbedaan etnik, ras dan pendapatan. Oleh karena itu, mengacu kembali ke prinsip pertama dan keempat, penyediaan sarana pengembangan kapasitas diri bagi milenial adalah strategi mutlak untuk pemberdayaan yang terarah dengan memanfaatkan bonus demografi Indonesia.

PENUTUP

Pertanian modern yang dicirikan oleh Pertanian Presisi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya pertanian, produksi pertanian, kualitas produk, profitabilitas dan ramah lingkungan serta lebih berkelanjutan. Pada intinya pertanian presisi adalah konsep pengelolaan sumberdaya pertanian berbasis data aktual untuk melakukan tindakan yang tepat, dengan cara yang tepat, pada lokasi dan waktu yang tepat melalui pemanfaatan berbagai inovasi teknologi Industri 4.0.

Dalam mendorong modernisasi pertanian menuju pertanian presisi peningkatan kompetensi SDM pertanian yang sejalan dengan kemajuan teknologi, manajemen dan organisasi memiliki peranan penting. Peningkatan kompetensi SDM tersebut bukan hanya meliputi para petani tetapi meliputi pula sumberdaya manusia pertanian lainnya yang berkecimpung di dalam penelitian, pendidikan, penyuluhan pertanian, pengelolaan organisasi pemerintahan maupun swasta. Peningkatan kompetensi yang dibutuhkan terutama terkait dengan kompetensi teknis, kompetensi metodologis, kompetensi sosial dan kompetensi individual. Disamping itu, pemahaman tentang pertanian presisi, baik yang menyangkut proses maupun inovasi

teknologi dan inovasi sosial yang dibutuhkan, perlu diperkuat pada seluruh sumberdaya pertanian.

Pada masa yang akan datang generasi milenial merupakan potensi sumberdaya manusia yang perlu diberdayakan untuk mempercepat proses modernisasi pertanian. Generasi milenial yang umumnya dicirikan dengan pengenalan dan kemampuan teknologi informasi dan komunikasi relatif baik akan lebih mudah beradaptasi dengan pertanian presisi yang utamanya bertumpu pada pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi. Beberapa pendekatan yang dapat ditempuh untuk memberdayakan generasi tersebut di sektor pertanian adalah dengan membuka akses pada sumber ilmu pengetahuan, informasi dan pendidikan terkait pertanian presisi, membuka akses penguasaan lahan pertanian dan pelayanan modal usaha, membuka kesempatan pekerjaan teknis lapangan melalui peningkatan kompetensi lulusan sekolah vokasi pertanian, membuka akses untuk pemasaran produk pertanian, dan membuka akses komunikasi dengan pengambil kebijakan terkait isu modernisasi pertanian. Pendekatan tersebut telah diterapkan di banyak negara dan mampu memotivasi generasi milenial untuk berkecimpung di sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adjid, D. A. 2001. *Membangun Pertanian Modern*. Yayasan Pengembangan Sinar Tani. Jakarta.
- [APJII] Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia. 2018. "Penetrasi dan Profil Perilaku Pengguna Internet Indonesia". *Asosiasi Penyelenggaraan Jasa Internet Internet*, dilihat 10 November 2020.
- [Balitbangtan]. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2019. *Statistik Balitbangtan 2019*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Pemuda Indonesia 2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020a. *Profil Generasi Milenial Indonesia 2019: Statistik Gender Tematik*. Jakarta: Kementerian Pemberdayaan Perempuan dan Perlindungan Anak dan Badan Pusat Statistik.
- Byerlee, D., A. de Janvry, E. ve Sadoulet. 2009. "Agriculture for Development: Toward a New Paradigm". *Annual Review of Resource Economics*, 1, h. 15-31.
- CEMA. 2017. "Digital Farming: what does it really mean?" *European Agricultural Machinery*, dilihat 10 November 2020].
- [CAHRC] Canadian Agriculture Human Resource Council. 2012. "Strengthening Human Resources in Agriculture". Annual Report 2011-12. Ottawa: Canadian Agricultural Human Resource Council.

- Crnjac, M., I. Veza, dan N. Banduka. 2017. "From Concept to the Introduction of Industry 4.0". *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, 8(1), h. 21-30.
- Deal, J., D. Altman, dan S. Rogelberg. (2010). "Millennials at Work: What We Know and What We Need to Do (if anything)". *Journal of Business & Psychology*, 25(2), h. 191-199
- De Clercq M, A. Vats dan A. Biel. 2018. "Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology". *World Government Summit*. February 2018.
- DeVaney, SA. 2015. "Understanding the Millennial Generation". *Journal of Financial Service Professional*, November 2015, h. 11-14.
- Diem, H.X, dan D.T.T Thuy. 2020. "Prospects for Agriculture 4.0 in Developing Countries: Case Studies from Vietnam. Sakata, Shozo (ed.) 2020. *Structural Changes of Agriculture in the CLMTV Countries and their Socio-Economic Impacts*, BRC Research Report, Bangkok Research Center, JETRO Bangkok / IDE-JETRO. 102-116
- Dong, X., M. C. Vuran, dan S. Irmak. 2013." Autonomous Precision Agriculture Through Integration of Wireless Underground Sensor Networks with Center Pivot Irrigation Systems", *Ad Hoc Networks*, 11(7), h. 1975-1987.
- Dung L.T dan N. Thi Kim Hiep. 2017. "The Revolution of Agriculture 4.0 and Sustainable Agriculture Development in Vietnam". *International Conference Proceedings Emerging Issues in Economics and Business in the Context of International Integration*, h. 317-328.
- Dwivedi A, R.K. Naresh, R. Kumar, R. Singh Yadav dan R. Kumar. 2017. *Precision Agriculture*. Parmar Publishers & Distributors. Dhanbad. Jharkhand.

- [EU]. European Commission. 2018. "Farming 4.0: The future of agriculture", dilihat 01/10/2019 <<https://euagenda.eu/upload/publications/untitled-62960-ea.pdf>>.
- [EU] European Commission, 2017. "Digital Transformation Monitor Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects". <<https://ec.europa.eu/digital-singlemarket/en/news/european-digital-progress-report-reviewmember-states-progress-towards-digital-priorities>>
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014. "Building a common vision for sustainable food and agriculture: Principles and Approaches". Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014a. "Youth and Agriculture: Key challenges and concrete solutions". FAO in collaboration with CTA and IFAD. Rome (IT): Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gebbers, R. dan V.I. Adamchuk. 2010. "Precision agriculture and food security", *Science*, vol. 327 (5967), DOI: 10.1126/science.1183899.
- Harrison, D. 1988. *The Sociology of Modernization and Development*. Unwin Hyman. London.
- Hauw, S., dan A. Vos, A. 2010. "Millennials' career perspective and psychological contract expectations: does the recession lead to lowered expectations? *Journal of Business & Psychology*, 25(2), h. 293- 302.
- Heriawan R, Soeparno H, Las I, Suryana A, dkk. 2019. *Menuju Balitbangtan Terdepan dalam Penelitian Pangan dan Pertanian*. Jakarta: IAARD Press.
- Huu-Sheng Lur. 2016. *Toward a Taiwan Agriculture 4.0 Era with Smart Science and Technologies*. National Taiwan University.

- Irawan, B. 2019. "Pengelolaan Pertanian Pangan Lahan Kering Pada Era Revolusi Industri 4.0". Buku Manajemen Sumber Daya Alam dan Produksi Mendukung Pertanian Modern. Djufry F, Pasandaran E, Irawan B, Ariani M (ed.). IAARD Press. h. 47-90.
- Kaifi, B. A., W. A. Nafei, N. M. Khanfar, dan M. M. Kaifi. 2012. "A multi-generational workforce: managing and understanding millennials". *International Journal of Business & Management*, 7(24), h. 88-93.
- [Kementan] Kementerian Pertanian. 2019. "Laporan Kinerja 100 Hari Menteri Pertanian". Powerpoint Presensetation. Jakarta: Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian.
- Keogh, M. 2010. "The Current and Future Human Resource Needs of Australian Agriculture". Towards a Better Understanding of Current and Future Human Resource Needs of Australian Agriculture. Number: AH07026. Australian Farm Institute, NSW, Australia.
- Lezoche, M., J. Hernandez, M. del Mar Alemany Diaz, H. Panetto, dan J. Kacprzyk. 2019. "Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture". *Computers in Industry*, 117:103187, 10.1016/j.compind. 2020.103187. hal-02395411
- López-Riquelme, J.A., Pavón-Pulido, N., Navarro-Hellín, H., Soto, F. Torres, dan Roque. 2016. "A software architecture based on FIWARE cloud for Precision Agriculture". November 2016. *Agricultural Water Management*, 183. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.10.020
- McBratney A, B. Whelan dan T. Ancev. 2005. "Future Directions of Precision Agriculture". *Precision Agriculture*, 6, h. 7-23.

- Myers, K., dan K. Sadaghiani. 2010. "Millennials in the workplace: a communication perspective on millennials' organizational relationships and performance". *Journal of Business & Psychology*, 25(2), h. 225-238.
- Naujok N, G. Nowak, C. Foltz, A. Timmer, T. Wolf dan T. Johnson. 2016. "Research and Development 4.0: The mutual benefits of digitization and R+D", dilihat tanggal 10 November 2020 <www.strategyand.pwc.com>.
- Neufeldt, V. dan D.B. Guralnik. 1988. *Webster's New World Dictionary of American English*. Webster's New World. New York.
- Ng, E., Schweitzer, L., dan Lyons, S. 2010. "New generation, great expectations: a field study of the millennial generation". *Journal of Business & Psychology*, 25(2), h. 281-292.
- Pedro, M., dan J. L. Gonzalez-Andujar. 2019. "Evaluation of a decision support system for crop protection in apple orchards". *Computers in Industry*. 107, h. 99-103. Doi: 10.1016/j.compind.2019.02.005
- Pranadji, T dan P. Simatupang. 1999. "Konsep Modernisasi dan Implikasinya terhadap Penelitian dan Pengembangan Pertanian". *Forum Agro Ekonomi*, 17(1), Juli 1999, h. 1-13.
- [PRD] The Public Relation Department of Thailand. 2017. "Intelligent SMES and smart agriculture in response to Thailand 4.0 policy", dilihat 01/10/2019 <<https://thailand.prd.go.th/main.php?filename=index>>
- [Pusbindiklat LIPI]. 2021. "Data Peneliti", dilihat 22 Januari 2021 <<http://pusbindiklat.lipi.go.id/id/data-peneliti/>>
- [Pusdatin] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2019. *Statistik SDM Pertanian dan Kelembagaan Petani 2019*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.

- Qin J, Y. Liu dan R. Grosvenor. 2016. "A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond". *Procedia*, CIRP 52 (2016)h. 173 – 178.
- RBC, 2018. *Farmer 4.0. How the Coming Skills Revoultion Can Transfor Agriculture*. RBC Thought Leaderships. Canada.
- RBC, 2018. "The Coming Skills Revolution. Humans Wanted. How Canadian youth can thrive in the age of disruption". Published by RBC Office of the CEO, March 2018. Canada. rbc.com/humanswanted
- Riggs, F.W. 1985. "Modernisasi dan Persoalan-persoalan Pelatih: Beberapa Pra Syarat Pembangunan" dalam Belling dan Totten (Ed.). *Modernisasi: Masalah Model Pembangunan*. Jakarta: C.V. Rajawali, h. 31 - 89.
- Rojko A. 2017. *Industry 4.0 Concept: Background and Overview*. ECPE European Center for Power Electronics e.V., Nuremberg, Germany.
- Saratovsky, Kari Dunn and Feldmann, Derrick. 2013. *Cause for Change: The Why and How of Nonprofit Millennial Engagement*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Saiz-Rubio, V., dan Roviro-Mas, F. 2020. "From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management". *Agronomy* 2020, 10, 207: h. 1-21. doi:10.3390/agronomy10020207. www.mdpi.com/journal/agronomy
- Schwab K. 2017. *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
- Smith, T. J. dan T. Nichols. 2015. "Understanding the millennial generation". *Journal of Business Diversity*, 15(1), h. 39-47.
- Stafford, D.E. dan H.S. Griffis. 2008. "A review of millennial generation characteristics and military workforce implications". www.dtic.mil

- Tan, L. 2016. "Cloud-based Decision Support and Automation for Precision Agriculture in Orchards", *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), h. 330-335.
- TOBB (2013), Türkiye Tarım Sektörü Raporu 2013, TOBB Yayınları, https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2014/turkiye_tarim_meclisi_sektor_raporu_2013_int.pdf
- Thomas, K.D. 1993. "Pembangunan Ekonomi Indonesia: Sebuah Kajian Alternatif". Makalah Seminar, 4-6 Februari 1993, Yogyakarta: Lembaga Studi Realino.
- UNIDO, 2017. "Industry 4.0. Opportunities behind the Challenge". Background Paper. Unido Conference 27 November – 1 December 2017. Austria: Vienna.
- van Es, H.M., J.D. Woodard, M. Glos, L.V. Chiu, T. Dutta, dan A. Ristow. 2016. *Digital Agriculture in New York State: Report and Recommendations*. Cornell University, Ithaca, NY.
- Verhagen, J.; Bouma, J. Modeling soil variability. 1997. "In The State of Site Specific Management for Agriculture". Pierce, F.J., Sadler, E.J., (eds.). ASA Publ.: Madison, WI, USA.
- Weiner, M. 1980. *Modernisasi: Dinamika Pertumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Zambon, Illria, Gianluca Egidi, Massimo Cecchini, Maria Grazia Saporito and Andrea Colantoni. 2019. Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs, *Processes* 2019, 7(36), h. 1-16; doi:10.3390/pr7010036 www.mdpi.com/journal/processes

INOVASI KELEMBAGAAN PERTANIAN MENGHADAPI TANTANGAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Adnan^{a1}, Lutfi Humaedi^{b2}, Kedi Suradisastra^{c3}

^a Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Papua

^b Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kepri

^c Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

^{1,2,3} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Pertanian modern berkelanjutan mengandung dua konsep yang saling berkelindan, yaitu pertanian modern dan pertanian berkelanjutan. Berdasarkan salah satu definisi, pertanian modern merupakan kegiatan usahatani yang dinamis dan menyejahterakan petani dengan mengusahakan komoditi yang diminta pasar, efisien dalam penggunaan sumberdaya serta didukung oleh kelembagaan yang memaksimalkan nilai tambah bagi petani dan secara sistematis didukung oleh teknologi yang selalu diperbaharui (Jamal et al., 2018). Sedangkan pertanian berkelanjutan adalah sebuah sistem praktek produksi tanaman dan ternak yang terintegrasi dengan prinsip: 1) Memenuhi kebutuhan pangan dan serat manusia; 2) Meningkatkan kualitas lingkungan; 3) Mendorong efisiensi penggunaan sumber daya

yang tidak terbarukan; 4) Mempertahankan sistem pertanian yang keberlanjutan secara ekonomi; dan 5) Meningkatkan kualitas hidup (Mulyandari et al., 2018). Dengan demikian, pertanian modern berkelanjutan diarahkan untuk menjamin kesejahteraan petani dengan menggunakan teknologi yang selalu diperbarui dalam sistem pertanian yang berkelanjutan secara sosial, ekonomi dan ekologi.

Sektor pertanian masih menghadapi tantangan klasik seperti percepatan peningkatan produksi pertanian. Percepatan produksi pertanian penting untuk mengimbangi dan melebihi laju konsumsi di pasar di dalam negeri. Produksi pertanian merupakan fungsi dari faktor-faktor produksi. Faktor produksi seperti pupuk, bibit, alsintan, modal, dan tenaga kerja, serta prasarana pertanian lainnya seperti irigasi cenderung makin berkurang, mahal, langka, dan tidak efisien. Kondisi ini akan menyebabkan produksi pertanian tidak akan meningkat, mahal, dan sulit diperoleh untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, apalagi memenuhi kebutuhan ekspor (Saragih, 2016).

Seakan tantangan klasik tersebut belum cukup, pertanian pada masa saat ini yang memasuki era revolusi industri 4.0 menuntut proses pertanian modern yang berkaitan dengan jumlah data besar, perencanaan cerdas dan proses penjadwalan, akses yang fleksibel, pengamanan arus data berkelanjutan, konstruksi moduler, mudah digunakan (user-friendly) dan seluruhnya terintegrasi dalam sistem internet (Internet of Things/IoT) (Braun et al., 2018). Sistem tersebut memungkinkan petani berpartisipasi dalam e-commerce, sehingga konsumen dapat dengan mudah terhubung ke penyuplai dan masuk dalam rantai distribusi (Prisecaru, 2016).

Selanjutnya, inovasi ekonomi meliputi kegiatan pengenalan produk baru, cara berproduksi baru, pembukaan daerah-daerah pasar baru, penemuan sumber-sumber bahan mentah baru, serta

perubahan organisasi industri sehingga meningkatkan efisiensi industri (Istifadah & Tjaraka, 2017). Sedangkan inovasi ekologi pertanian berdasarkan pada sistem dan siklus ekologi pertanian. Inovasi ekologi berusaha untuk meniru dan memelihara sistem dan siklus ekologi alam (Ahmad, 2016).

Makalah ini memfokuskan pada inovasi kelembagaan pertanian, bukan terbatas pada kelembagaan petani, untuk menghadapi tantangan pertanian modern berkelanjutan. Inovasi kelembagaan merupakan bagian tidak terpisahkan dari proses alih fungsi inovasi lainnya seperti inovasi teknologi. Inovasi kelembagaan mengatur proses difusi, adopsi, dan keberlanjutan inovasi teknologi. Oleh karenanya, faktor pendampingan yang diberikan dalam proses alih teknologi tidak hanya berhenti pada ketika petani telah tahu dan mengadopsi teknologi itu sendiri, namun perlu adanya pendampingan yang berkelanjutan agar petani mampu menempatkan teknologi tersebut sebagai bagian dari budaya. Inovasi kelembagaan juga perlu ditumbuhkan bersamaan dengan inovasi teknologi. Penumbuhan inovasi kelembagaan dapat dilakukan dengan memperhatikan struktur masyarakat, jaringan sosial masyarakat, dan eksternalitas dari munculnya teknologi tersebut (Raya & Untari, 2016; Wahyudi & Wulandari, 2019).

Pengembangan kelembagaan pertanian merupakan implementasi dari *Sustainable Development Goals* (SDGs) no 16 yaitu mempromosikan masyarakat yang damai dan inklusif untuk pembangunan berkelanjutan, menyediakan akses keadilan bagi semua dan membangun institusi yang efektif, akuntabel, dan inklusif di semua tingkatan. SDGs merupakan kesepakatan dunia untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat global. SDGs merupakan transformasi yang ambisius dari Millenium Development Goals (MDGs) yaitu menuntaskan seluruh target dari tujuan global seperti tanpa kemiskinan dan tanpa kelaparan pada tahun 2030, yang diistilahkan sebagai *Zero Goal* (Desa, 2016).

Tujuan makalah ini adalah: 1. Mengeksplorasi perkembangan kelembagaan pertanian, 2. Mengurai proses pembentukan kelembagaan pertanian 3. Mengidentifikasi dan merancang kelembagaan petani modern berkelanjutan.

PERKEMBANGAN KELEMBAGAAN PERTANIAN

Kelembagaan pertanian mengalami perkembangan dan perubahan seiring dengan perubahan waktu, lokasi, komoditi dan teknologi. Perubahan tersebut merupakan suatu keniscayaan karena tidak ada bentuk kelembagaan pertanian yang tepat untuk semua waktu dan lokasi. Permasalahan pertanian yang dihadapi bisa dalam cakupan sederhana pada komoditi dan lokasi tertentu. Namun, permasalahan bisa juga memiliki spektrum dan dimensi yang lebar (Syahyuti et al., 2014).

Inovasi kelembagaan pertanian yang diinisiasi oleh Badan Litbang Pertanian dapat dibagi menjadi enam (6) periodisasi, yaitu: 1. 1970-1979, 2. 1980-1989, 3. 1990-1999, 4. 2000-2009, 5. 2010-2013, dan 6. 2014-2020. Periodisasi tersebut mengikuti perubahan permasalahan yang dihadapi pertanian, serta inovasi teknologi dan kelembagaan untuk mengatasinya. Dari kelembagaan pertanian yang diinisiasi Badan Litbang Pertanian tidak tertutup kemungkinan terdapat kelembagaan pertanian lainnya yang mengakar pada masyarakat lokal di luar yang diinisiasi Badan Litbang Pertanian.

Sebagai contoh, pada periode 1970-1979 terdapat permasalahan pertanian di daerah aliran sungai (DAS) di bagian hulu. Erosi pada lahan kering dan penurunan kesuburan lahan menjadi permasalahan pokok. Melalui kelembagaan Model Sistem Pengelolaan DAS Hulu, inovasi diformulasikan untuk menentukan teknologi dan sistem usaha tani yang menguntungkan sekaligus melakukan konservasi terhadap

lingkungan. Namun, produksi lahan cenderung menurun kembali karena tidak dilakukan pendampingan setelah program selesai.

Pada periode 2010-2020, permasalahan pertanian makin kompleks dengan adanya Internet of Thing (IoT), generasi milenial, urban farming dan perdagangan bebas. Beberapa inovasi kelembagaan yang dilakukan pada periode ini adalah sistem diseminasi inovasi pertanian berbasis teknologi informasi, model kawasan rumah pangan lestari, pertanian bioindustri, sampai lumbung pangan berorientasi ekspor wilayah perbatasan. Setiap model memiliki kekuatan dan kekurangannya sendiri untuk menghadapi permasalahan yang berbeda-beda.

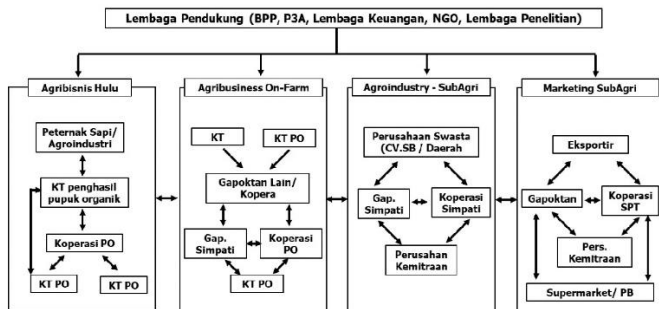
berbagai inovasi kelembagaan untuk adopsi teknologi yang telah dijalankan Balitbangtan mulai tahun 1970-2020, ada lima karakter pokok sebagai berikut: 1. menggunakan inovasi teknologi sebagai *leverage point* untuk memperbaiki sistem usahatani dan agribisnis yang dijalankan petani; 2. dalam tahap persiapannya, selalu dilakukan studi untuk memahami lokasi secara lebih detail; 3. dalam prakteknya peneliti terlibat langsung di lapangan sebagai pendamping dan konsultan teknologi; 4. menggunakan pendekatan *research action*; 5. sebagai model dalam skala yang terbatas (Syahyuti et al., 2014).

Berdasarkan uraian tersebut, inovasi kelembagaan pertanian akan selalu mengikuti perkembangan permasalahan dan tantangan yang selalu dinamis pada waktu dan lokasi berbeda. Selain itu, setiap model kelembagaan pertanian memiliki kekuatan dan kekurangannya. Dengan fakta tersebut, kelembagaan pertanian untuk menghadapi tantangan pertanian modern berkelanjutan perlu diinisiasi pada beberapa model dengan memperhatikan lokasi, teknologi yang tersedia, komoditas dan kualitas sumberdaya manusia yang menjalankannya.

PROSES PEMBENTUKAN KELEMBAGAAN PERTANIAN

Terminologi kelembagaan mencakup dua hal, yaitu 1. norma dan konvensi, 2. peraturan. Kelembagaan bisa diakui secara formal melalui pengesahan oleh pemerintah, tetapi kelembagaan juga dapat terwujud tidak tertulis secara formal seperti pada aturan adat dan norma yang dianut masyarakat. Kelembagaan umumnya dapat diprediksi dan cukup stabil, serta dapat diaplikasikan pada situasi berulang, sehingga sering diartikan sebagai seperangkat aturan main atau tata cara untuk kelangsungan sekumpulan kepentingan (Nuraini et al., 2016).

Secara umum, kelembagaan pertanian merupakan basis terbentuknya modal sosial yang dapat memfasilitasi kerjasama dalam aktivitas pertanian. Dukungan kelembagaan dalam pengembangan sistem pertanian mempunyai peranan penting dalam setiap aktivitas masing-masing subsistem agribisnis. Modal sosial petani yang meliputi jaringan kerjasama dengan pemangku kepentingan lainnya, saling percaya dalam kerjasama, dan norma kerjasama dalam sistem pertanian akan mempengaruhi keberhasilan pertanian. Salah satu contoh bentuk kelembagaan pertanian pada era saat ini adalah kelembagaan pertanian padi organik (Gambar 14) (Nuraini et al., 2016).



Sumber: (Nuraini et al., 2016)

Gambar 13. Kelembagaan Pertanian Padi Organik.

Dalam pertanian pra-milenial, atau pertanian konvensional, dipahami bahwa peran inovasi teknologi konservasi tidak akan pernah menurun, mengingat usaha pertanian demikian adalah suatu *land-based enterprise* (Imani et al., 2018; Sardiana, 2017). Di sisi lain, kelembagaan lokal di sektor pertanian berfungsi sebagai mesin pendorong pertumbuhan, pendorong bentuk dan sifat/karakter usaha pertanian ke arah usahatani dan pertanian yang lebih modern. Kelembagaan lokal terkait kegiatan pertanian pada umumnya berupa kelompok tani atau kelompok pengguna sumber daya lokal. Lembaga lokal tradisional seperti itu memiliki struktur organisasi dan pola komunikasi dari yang bersifat sederhana sampai bentuk organisasi terstruktur. Kelembagaan konvensional lokal petani pada umumnya diikat oleh kebutuhan komunal dengan faktor pengikat sumber daya alam (Santosa, 2018). Contoh Lembaga lokal yang disatukan oleh sumber daya alam antara lain adalah lembaga organisasi subak di Bali yang diikat oleh sumber daya air dari danau dan sungai yang bertebaran di wilayah itu (Komin & Sedana, 2019).

Petani pra-milenial pada umumnya masih terfokus pada kegiatan *on-farm*, padahal margin keuntungan lebih tinggi dapat diperoleh dari kegiatan *off-farm*. Dari sisi pengelolaan, kemampuan petani konvensional masih belum memadai. Hal ini turut menyumbang terjadinya berbagai konflik kepentingan petani dengan rekan yang bergabung kelembagaan lokal. Dari sisi sosial, masyarakat petani konvensional masih kurang terdedah kepada informasi terkait kelembagaan yang dapat membantu dan mendukung kegiatan berusahatani seperti lembaga-lembaga penelitian, penyuluhan dan pemodalan (Deviana & Matufajar, 2018; Mahanani et al., 2020; Sukmana et al., 2017).

Struktur organisasi lembaga lokal petani pada umumnya sangat sederhana. Ketua kelompok biasanya hanya didampingi oleh bendahara, dilengkapi dengan sekretaris. Periode kepengurusan pada umumnya tidak secara definitif ditentukan.

Di berbagai kasus sering terjadi pergantian pengurus atau ketua lembaga lokal dilakukan bila yang bersangkutan meninggal dunia, atau bermasalah (masalah finansil atau masalah sosial lainnya). Dalam khazanah kelembagaan lokal tradisional dikenal pula tokoh-tokoh kunci yaitu para sesepuh atau tetua desa/masyarakat yang memiliki pengaruh karena pengalaman dan/atau pengetahuannya. Mereka dituakan dan berfungsi sebagai sumber informasi bagi masyarakat sekitar dan bagi pihak lain. *Informal leader* seperti ini tidak dipilih, namun diterima secara aklamasi. Posisi dituakan tersebut tidak dibatasi waktu (Djalil, 2016).

Sebaliknya, pertanian modern selain menggunakan lahan secara terbatas dan teliti, juga terfokus pada kegiatan *off-farm*. Petani modern bebas memilih komoditas pertanian yang menurut visinya akan memberikan keuntungan yang lebih baik dengan dukungan keterampilan manajemen dan penerapan teknologi yang sesuai dengan kondisi ekosistem mikro, teknologi, modal, dan visi yang dimilikinya. Konsekuensi lebih jauh lagi adalah terbukanya peluang peningkatan keragaman jenis komoditas dan strategi manajemen yang sesuai dengan komoditas eksklusif yang dikembangkan oleh petani-petani lain.

Timbulnya keragaman komoditas yang diusahakan oleh masyarakat petani akibat keragaman pengetahuan dan visi kedepan diperkirakan akan menjadi tantangan bagi lembaga penyuluhan dan sumber informasi lainnya dalam melaksanakan kewajibannya sebagai sumber dan penyalur informasi baru. Kondisi seperti itu dapat saja terjadi karena petani modern masa depan memiliki kebebasan dalam menggali informasi dari manapun. Petani masa depan akan telah menguasai teknologi komunikasi digital dan virtual yang memungkinkan mereka mencari informasi dan berkomunikasi dengan berbagai pihak yang dapat membantu kelancaran kegiatan bisnis pertanian mereka.

Dalam kondisi demikian patut diingat bahwa teknologi masa depan dapat memberikan dampak yang sangat dalam terhadap aspek manajemen dan pengorganisasian lembaga usahatani dan kelembagaan petani. Teknologi tidak hanya berdampak pada wilayah keorganisasian dan manajemen, namun juga berkorelasi dengan kemudahan dan efisiensi. Secara esensial, perkembangan teknologi pada umumnya menjamin peningkatan efisiensi dalam setiap kegiatan atau proses, baik dalam tahap perancangan dan perencanaan, maupun dalam pelaksanaannya (Ramin Shamshiri et al., 2018; Snyder et al., 2020).

Peralihan sistem usahatani dan pertanian dari pertanian konvensional ke bentuk pertanian modern berbasis teknologi internet tidak akan berbentuk pergantian mutlak dari pola lama ke pola baru. Dalam prosesnya akan terjadi peralihan secara berangsur-angsur dari teknik konvensional ke teknik presisi. Komunikasi dan pertukaran informasi antara petani konvensional dan petani presisi harus terjadi dengan mempertimbangkan rumpang (*gap*) teknologi dan rumpang wawasan antara kedua generasi tersebut.

Secara umum, aspek-aspek yang dicakup dalam penumbuhan lembaga organisasi petani dan pertanian adalah aspek teknis, ekonomi dan sosial yang dapat membantu pertumbuhan dan keberhasilan lembaga tersebut. Dalam upaya membangun kelembagaan pertanian masa depan masih harus digali *entry-point* yang tepat, serta dicari pula figur agen perubahan dalam pelaksanaan perancangan lembaga organisasi petani milenial. Salah satu strategi pendekatan adalah pendekatan individualis yang dianggap mampu mengarahkan agripreneur untuk mengembangkan peluang-peluang bisnis.

Salah satu agen perubahan yang diharapkan adalah generasi milenial. Generasi milenial yang menggeluti bisnis pertanian disebut agripreneur. Agripreneur memiliki beberapa sifat yang

berbeda dibandingkan generasi pendahulunya, diantaranya adalah sebagai berikut (Addo, 2018; Antony & Thomas, 2020; Mubeena et al., 2020):

1. Memiliki sikap *entrepreneur* tinggi. Mereka sangat berorientasi pada keuntungan, mengubah paradigma usahatani dan pertanian sebagai cara hidup menjadi suatu kegiatan bisnis yang meningkatkan harkat para pekerja pertanian.
2. Berani dan eksploratif. Sikap ini tumbuh untuk menghindari beban pandangan bahwa mereka terlalu dimanjakan. Sikap eksploratif mereka diterapkan untuk mengungkap jawaban atas pertanyaan mengapa, dimana, dan bagaimana. Dan mereka memperoleh kepuasan bila mampu menjawabnya.
3. Intensif menggunakan teknologi. Para *agripreneur* milenial tidak hanya turun ke kegiatan pertanian, mereka juga membawa serta keterampilan digital mereka ke perdesaan. Dengan keterampilannya dalam menggunakan dan memanfaatkan aplikasi digital secara teliti dan akurat, generasi penggilai teknologi digital ini mampu mengubah wajah pertanian.

Secara hipotetis, langkah-langkah mengembangkan kelembagaan organisasi petani milenial adalah sebagai berikut:

1. Fase diagnostik: Langkah penumbuhan dan pengembangan kelembagaan petani milenial dimulai dengan fase diagnostik untuk menganalisis situasi lintas-sektor. Aktor utama dalam langkah perekayasaan model kelembagaan terdiri atas beberapa fasilitator dari berbagai bidang keilmuan dan kepakaran, termasuk tokoh generasi *agripreneur* itu sendiri. Aktor pendukung dalam fase ini adalah petani sebagai *stakeholder* utama yang diposisikan sebagai narasumber utama dalam mendiagnosa masalah dan tantangan dalam

pembentukan suatu lembaga organisasi atau kelompok agripreneur masa depan.

2. Fase rancang bangun. Dalam hal partisipasi merancang-bangun bentuk kelompok agripreneur, para katalis mengemban porsi terbesar sebagai ujung tombak kegiatan di tahap ini. Calon anggota kelompok agripreneur mulai meningkat perannya sebagai narasumber dan analisis informasi.
3. Tahap uji-coba. Dalam tahap uji coba dilakukan evaluasi dinamika komponen struktur organisasi dan pemantauan proses pertumbuhan kelembagaan agripreneur tersebut. Tahap uji coba juga merupakan fase dimana strategi penyusunan struktur dipilih oleh petani untuk dikaji dan diterapkan. *Entry-point* strategi penyusunan struktur organisasi adalah teknologi yang dikaji dan disepakati dalam fase ini setelah kemampuannya dianalisis secara lintas keilmuan. Dalam fase ini hendaknya dilakukan sosialisasi rancangan struktur organisasi baru tersebut kepada lembaga dan aparat terkait program pembangunan pertanian setempat. Tahap berikutnya adalah mengembangkan bentuk struktur organisasi sesuai dengan karakteristik agri-enterprise setempat dan tujuannya.
4. Fase implementasi dan verifikasi merupakan tahap terakhir dimana anggota kelembagaan atau kelompok agripreneur memikul tanggung jawab besar dalam pengembangan dan kemajuan organisasi tersebut. Peran pihak eksternal kini berada dalam porsi kecil. Fase ini merupakan tantangan besar bagi anggota kelompok atau organisasi tersebut dalam mengembangkan dan mengarahkan tujuan organisasinya. Setiap perkembangan yang dialami dalam tahap ini akan menjadi input bagi anggota kelompok baru tersebut dalam mengantisipasi masalah dan mengembangkan kegiatan agri-enterprisinya.

5. Tahap monitoring dan evaluasi dilaksanakan sejalan dengan proses perkembangan dan verifikasi bentuk dan struktur organisasi yang diterapkan. Semakin lancar perputaran roda organisasi tersebut, akan semakin meningkat loyalitas anggota kelompok terhadap kualitas lembaganya. Performa organisasi yang kurang menggembirakan selayaknya ditindak-lanjuti dengan proses iterasi (pengulangan) dari awal (tahap diagnostik). Sifat proses rancang bangun lembaga organisasi adalah seperti lingkaran tak berujung yang diawali dengan fase diagnostik sampai ke monitoring dan evaluasi, dan kembali ke tindakan diagnosa permasalahan baru.

Kelembagaan pertanian masa depan dan modern akan memiliki struktur organisasi yang berbeda dengan struktur organisasi petani konvensional. Kehadiran figur pimpinan (*leadership*) mungkin masih diperlukan, namun kekuatan posisi kepemimpinannya disesuaikan dengan bentuk dan pola struktur kelembagaan saat itu. Kebebasan menggunakan teknologi presisi di jaman milenial sangat besar sehingga akan sulit untuk mengontrol seseorang dalam mencari informasi eksternal. Posisi *leadership* dalam kelembagaan organisasi petani akan bergeser dari mengontrol menjadi menata, memetakan, menginformasikan kondisi dan lokasi digital sumber informasi yang diperlukan. Kehadiran seorang sekretaris atau pembantu administratif mungkin masing diperlukan. Kelembagaan pertanian masa depan yang modern tidak lagi harus memiliki struktur organisasi yang rumit, tetapi sangat mungkin berupa kelembagaan datar atau *flat organization*.

Kepemimpinan kelembagaan datar bersifat desentralisasi sehingga tidak ada peran dan tanggung jawab di hierarki manajemen tengah. Model ini dikembangkan dengan gagasan bahwa staf pelaksana dan pekerja akan bekerja lebih produktif bila mereka terlibat langsung dalam proses dan dinamika

berorganisasi dibandingkan dengan bekerja dibawah pengawasan beberapa lapisan manajemen. Kelembagaan datar pada umumnya berbentuk kerucut atau piramida lebar dibandingkan dengan organisasi terstruktur yang membentuk kerucut tinggi. Pola melebar pada kelembagaan datar diisi oleh berbagai bagian yang dikepalai oleh petani yang juga berfungsi sebagai manajer-manajer pemasaran, enjineri, keuangan, dan lain-lain. Di hierarki ini para pekerja bergantung kepada manajernya untuk dukungan, bimbingan, bantuan dan arahan. Tipologi struktur seperti ini juga diciptakan untuk memberi kebebasan para pekerja dalam mengambil keputusan secara bebas. Struktur kelembagaan seperti ini sesuai untuk memulai membangun kelembagaan yang dirancang untuk mengurangi sifat birokrasi.

Dari sisi komunikasi multi-arah, kelembagaan modern petani milenial mungkin akan lebih berbentuk *consultative* atau *communication group*. Tindakan kolektif dan proses pengambilan keputusan untuk kepentingan kolektif akan berkurang intensitasnya; sedangkan yang akan meningkat intensitasnya adalah pertukaran informasi secara virtual terkait masalah-masalah teknis, finansial dan pemasaran. Proses menggali informasi akan dilakukan secara *on-line*. Pertemuan atau diskusi secara fisik akan digantikan oleh pertemuan *virtual*. Seluruh kemudahan dan kelancaran pertukaran informasi yang akurat dalam mendukung kegiatan usahatani akan mengubah proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan kegiatan pertanian. Proses pengambilan keputusan sejak awal kegiatan awal produksi sampai kegiatan pemasaran akan cenderung berupa keputusan mutlak, atau setidaknya sebagian besar merupakan keputusan si petani sendiri.

Proses penumbuhan dan pematapan kelembagaan kelompok petani mandiri di era milenial akan sangat berbeda dengan mengembangkan lembaga organisasi pertanian konvensional. Lembaga petani masa depan tidak akan sepenuhnya mencari

faktor kohesi ekosistem. Faktor kohesi pertanian presisi akan bersifat ekonomi, permodalan dan teknologi. Namun demikian, menumbuhkan lembaga organisasi masa depan masih akan membutuhkan kehadiran *fasilitator* atau *katalis* guna meningkatkan motivasi dan interest petani pengusaha, meningkatkan visi bisnis dan keuntungan serta efisiensi industri pertanian. Secara ringkas, menumbuhkan kelembagaan petani dalam wahana industri pertanian presisi akan merupakan suatu tindakan *re-inventing* atau *re-discovering agriculture industry*.

Keleluasaan mencari informasi dalam jangkauan yang hampir tidak terbatas, secara teoritis, memungkinkan untuk melakukan kegiatan usahatani dan memilih komoditas yang akan diusahakan sesuai dengan visi bisnis seorang *agripreneur*. Seorang *agripreneur* akan mengelola usahatani atau perusahaan pertaniannya dengan sedikit atau tanpa konsultasi dengan petugas penyuluhan ataupun dengan individu petani tetangganya. Bentuk kegiatan pertanian modern akan lebih berupa pertanian komoditas tunggal atau pertanian aneka-komoditas yang dilakukan oleh para individu petani yang bekerja sendiri-sendiri di satu wilayah administratif atau wilayah ekosistem. Mereka akan menjadi *pionier* dalam kegiatan dalam bisnis usahatani dan pertaniannya. Mereka juga adalah pemilik atau penguasa ekosistem mikro yang dikelola sebagai lahan kegiatan usahatani. Sebagai pemilik kegiatan usaha pertanian, petani tersebut dapat juga mempekerjakan beberapa buruh atau karyawan dalam melaksanakan kegiatan produktif pertaniannya. Seorang *agripreneur* secara bebas dapat memilih jenis komoditas yang akan diusahakan berikut strategi pengelolaan usaha dari awal kegiatan sampai pemasaran. Iapun berperan sebagai manajer bisnis pertanian yang dimilikinya.

Buruh atau karyawan yang dipekerjakan dalam kegiatan *agri-enterprise* berada di hierarki lebih rendah dari pemilik bisnis tersebut. Setiap buruh melakukan pekerjaan yang sesuai dengan skill dan pengetahuannya, tergantung pada keragaman jenis

komoditas yang dikembangkan. Apabila usahatani tersebut hanya mengusahakan satu komoditas saja, pembagian tugas karyawan dapat berupa pembagian tugas (*task*) menurut urutan segmen-segmen proses kegiatan produktif.

Pola struktur kelembagaan usaha individu seperti diatas akan terdiri atas beberapa sel status dan fungsional. Hierarki teratas diduduki oleh pemilik sekaligus manajer kegiatan usahatani tersebut. Hierarki kedua dapat berupa satu sel atau lebih, bergantung kepada jumlah buruh atau karyawan yang tersedia. Hierarki kedua terdiri atas sel-sel berstatus posisi (buruh/karyawan) dan fungsional berdasar skill masing-masing.

ALTERNATIF KELEMBAGAAN PERTANIAN MODERN

Salah satu alternatif kelembagaan pertanian modern adalah dengan mengembangkan perusahaan startup pertanian. Investasi di bidang pertanian cenderung menurun karena rendahnya minat investor pada proyek-proyek pertanian. Padahal, pendapatan masyarakat dan negara tetap tergantung pada pendapatan pada sektor pertanian. Rendahnya minat investor terjadi karena minimnya informasi yang relevan mengenai usaha di bidang pertanian. Perusahaan startup dapat menjadi penghubung mengisi gap dalam industri pertanian dengan membangun platform yang berisi informasi dan analisis, sehingga investor mendapat pilihan terbaik dalam berinvestasi di bidang pertanian (Binhaq, 2019).

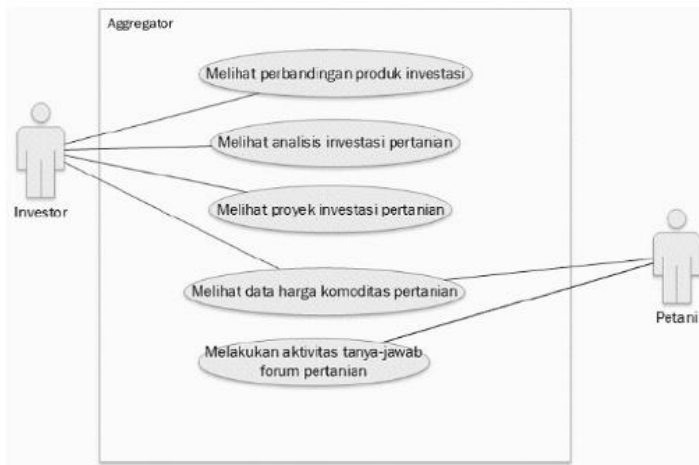
Pada fase diagnostik, ditemukan permasalahan pertanian modern pada beberapa hal utama (Binhaq, 2019):

1. Investor. Minat investasi rendah karena ketidakpercayaan pada manajemen pertanian, minim informasi untuk dapat mengamankan modalnya

2. Produksi. Produksi pertanian dipengaruhi cuaca dan penyakit, menyebabkan ketidakpastian hasil
4. BUMDes. Kurang pengetahuan dan keterampilan pihak manajemen yang menyebabkan investor enggan mendanai proyek
5. Pemasaran. Minim pendanaan karena kurangnya pemasaran dalam skala besar. Selain itu biaya pemasaran yang besar dan kurangnya distribusi informasi teknologi pada proyek pertanian.
6. Pendidikan. Kurangnya tenaga terdidik pada bidang pertanian. Kurangnya informasi mengenai pertanian yang efektif dan efisien menyebabkan alih fungsi lahan.
7. Petani. Kurangnya pelatihan dalam bidang manajemen produksi pertanian atau metode yang tepat untuk melakukan pertanian yang efektif dan efisien.

Berdasarkan hal tersebut, pada fase rancang bangun, perusahaan startup dapat membuat platform berbasis internet untuk memenuhi kebutuhan konsumen, dalam hal ini investor dan petani. Platform dirancang untuk mudah dirubah dengan penambahan, pengantian atau pengurangan sistem. Platform merupakan tempat yang memiliki teknologi dengan fitur yang dapat dioperasikan mengikuti standar dan membolehkan terjadinya transaksi antar stakeholder. Teknologi yang digunakan bisa berupa sistem mobile seperti handphone, komputer dekstop, webside atau device. Para staheholder yang terlibat adalah finansial agregator, yang didefinisikan sebagai kumpulan proyek kecil untuk mencapai skala ekonomi yang menarik bagi investor. Investasi ini dapat dilakukan melalui perusahaan financial technology (fintech), sebuah industri yang menjalankan fungsi dan menyediakan jasa finansial seperti pembayaran, mengirim uang, meminjamkan uang dan investasi; stake holder lainnya adalah petani. Hubungan antara stakeholder sederhana seperti pada Gambar 15. Peran stakeholder lain seperti lembaga riset,

perguruan tinggi, pemda, lembaga penyuluhan, lembaga pemasaran dan lainnya dapat terlibat jika dibutuhkan oleh investor dan atau petani.



Gambar 14. Case Diagram Perusahaan *Start up* (Binhaq, 2019).

Pada fase uji coba, sistem dibagi menjadi dua interface. Interface pertama merupakan halaman utama yang menampilkan informasi proyek investasi, analisis data investasi pertanian dan harga komoditas. Halaman kedua menampilkan perbandingan beberapa proyek investasi berdasarkan kriteria tertentu. Selain itu, ada halaman forum petani untuk diskusi dan berbagi pengetahuan dalam bidang pertanian. Uji coba pada sistem tersebut dapat dinilai berhasil (Binhaq, 2019).

Pada fase implementasi, terdapat perusahaan yang sudah menjalankan sistem ini seperti crowde, tanifund dan igrow. Setiap perusahaan tidak menampilkan informasi atau fitur yang sama, tetapi akan selalu ada informasi keuntungan dan waktu investasi. Untuk kepentingan pendanaan, crowde dan tanifund menyediakan data, sedangkan igrow menyediakan data unit terjual dan harga minimum per unit. Informasi yang disediakan

dapat membantu investor untuk membuat keputusan (Binhaq, 2019).

PENUTUP

Inovasi kelembagaan pertanian akan selalu dibutuhkan mengikuti perkembangan zaman. Di era Internet of Thing (IOT), pandemi Covid-19 dan permasalahan pertanian klasik dan modern, kelembagaan pertanian dituntut untuk melakukan penyesuaian agar dapat menghasilkan produk pertanian yang efektif dan efisien secara berkelanjutan. Kelembagaan pertanian modern berkelanjutan yang dikembangkan diharapkan dapat diterima secara sosial, ekonomi dan ekologi. Inovasi penggunaan platform teknologi oleh perusahaan startup diharapkan dapat mengisi gap antara investor dan petani, yang kemudian akan melibatkan stakeholder lain seperti lembaga riset, perguruan tinggi, pemda, lembaga penyuluhan, lembaga pemasaran dan lainnya untuk bersama-sama menghadapi tantangan pertanian modern berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Addo, L. K. (2018). Factors influencing Agripreneurship and their role in Agripreneurship Performance among young Graduate Agripreneurs. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 3(6), 2051–2066. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.6.14>
- Ahmad, Y. (2016). Pengaruh Karakteristik Inovasi Pertanian Terhadap Keputusan Adopsi Usaha Tani Sayuran Organik. *Journal of Agrosience*, 6(2), 1–14.
- Antony, R. R., & Thomas, A. (2020). Entrepreneurial Behaviour of Agripreneurs in Agro Food Parks. *Journal of Extension Education*, 32(1), 6448. <https://doi.org/10.26725/jee.2020.1.32.6448-6454>
- Binhaq, A. A. (2019). Design Platform Financial Aggregator in Agriculture. *Jurnal Sistem Cerdas*, 2(1), 34–46. <https://doi.org/10.37396/jsc.v2i1.16>
- Braun, A. T., Colangelo, E., & Steckel, T. (2018). Farming in the Era of Industrie 4.0. *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 72, 979–984. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.176>
- Desa, U. N. (2016). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*.
- Deviana, A., & Matufajar, G. (2018). Pemberdayaan Pertanian Modern Melalui Analisis Kebutuhan Irigasi Tanaman Tembakau Berbasis Aplikasi Cropwat 8.0, Studi Kasus: Kecamatan Trucuk Kabupaten Klaten. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Geografi FKIP UMP 2018*, 313–323.

- Djalil, B. (2016). Model Penguatan Lembaga Petani Sebagai Prime Mover Nilai Tambah Produk Pertanian. *Jurnal Lentera*, 14(2), 265–278.
- Fatchiya, A., Amanah, S., & Kusumastuti, Y. I. (2016). Penerapan Inovasi Teknologi Pertanian dan Hubungannya dengan Ketahanan Pangan Rumah Tangga Petani. *Jurnal Penyuluhan*, 12(2), 190. <https://doi.org/10.25015/penyuluhan.v12i2.12988>
- Imani, F., Charina, A., Karyani, T., & Mukti, G. W. (2018). Penerapan Sistem Pertanian Organik Di Kelompok Tani Mekar Tani Jaya Desa Cibodas Kabupaten Bandung Barat. *MIMBAR AGRIBISNIS: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 4(2), 139. <https://doi.org/10.25157/ma.v4i2.1173>
- Istifadah, N., & Tjaraka, H. (2017). Kreativitas Dan Inovasi Pada Industri Kreatif Untuk Meningkatkan Daya Saing Dan Kestinambungan Pertumbuhan Ekonomi. *Conference on Management and Behavioral Studies*, 89–99.
- Jamal, E., Suryana, A., Soedjana, T. D., Rohmani, S. A., & Hanifah, V. W. (2018). Perspektif Sistem Penelitian Dan Inovasi Pangan Dan Pertanian. In R. Heriawan, I. Las, T. D. Soedjana, & H. Soeparno (Eds.), *Sinergi Sistem Penelitian dan Inovasi Pertanian Berkelanjutan* (pp. 37–87). IAARD PRESS.
- Komin, W., & Sedana, G. (2019). Sustainable Agricultural Tehcnologies on Rice Farming: Case of Subaks' in Bali Province, Indonesia. *Journal of Sustainable Development Science*, 1(1), 18–26. <https://doi.org/10.46650/jsds.1.1.793.18-26>
- Mahanani, A. P., Verawati, L. Q. A., & Wiendi, N. M. A. (2020). Optimalisasi Pengembangan Pertanian Modern melalui Program " Ngariung Tani " (Studi Kasus : Desa Sindangsari , Kecamatan Ciranjang , Kabupaten Cianjur). *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*, 2(3), 348–352.

- Mubeena, M., Lakshmi, T., Praveena, P., Nagavani, A. V, & Murthy, B. R. (2020). Profile characteristics of rural youth agripreneurs of Andhra Pradesh. *The Pharma Innovation Journal*, 9(6), 314–319.
- Mulyandari, R. S. H., Husnain, H., Widowati, L. R., Ariani, M., & Wulandari, S. (2018). Tantangan Inovasi Pangan Dan Pertanian Berkelanjutan. In R. Heriawan, I. Las, T. D. Soedjana, & H. Soeparno (Eds.), *Sinergi Sistem Penelitian dan Inovasi Pertanian Berkelanjutan* (pp. 9–35). IAARD PRESS.
- Nuraini, C., Hadi Darwanto, D., Masyhuri, M., & Jamhari, J. (2016). Model Kelembagaan pada Agribisnis Padi Organik Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal AGRARIS*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/10.18196/agr.2121>
- Prisecaru, P. (2016). Global challenges of the fourth industrial revolution. *Knowledge Horizons - Economics*, 8(1), 57–62. <https://doi.org/10.23683/2073-6606-2019-17-2-6-22>
- Ramin Shamshiri, R., Weltzien, C., A. Hameed, I., J. Yule, I., E. Grift, T., K. Balasundram, S., Pitonakova, L., Ahmad, D., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 1–11. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>
- Raya, A. B., & Untari, D. W. (2016). Model Inovasi Kelembagaan Petani Lahan Pasir Pantai Di. *Pemantapan Inovasi Dan Diseminasi Teknologi Dalam Memberdayakan Petani. Seminar Nasional Pemberdayaan Dan Perlindungan Pertanian 2015*, 127–137.
- Santosa, I. (2018). Pemberdayaan Masyarakat Pedesaan Melalui Penguatan Kelembagaan Lokal Dalam Pemasaran Produk Olahan Hasil Pertanian. *The 8 Th University Research Colloquium 2018 Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, 367–371.

- Saragih, J. P. (2016). Tantangan Kebijakan Pengembangan Sektor Pertanian Di Masa Datang. *Kajian*, 21(2), 105–123.
- Sardiana, I. K. (2017). Strategi Transisi dari Pertanian Konvensional ke Sistem Organik Pada Pertanian Sayuran di Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan, Bali. *Jurnal Bumi Lestari*, 17(1), 49–57.
- Snyder, K. A., Sulle, E., Massay, D. A., Petro, A., Qamara, P., & Brockington, D. (2020). “Modern” farming and the transformation of livelihoods in rural Tanzania. *Agriculture and Human Values*, 37(1), 33–46. <https://doi.org/10.1007/s10460-019-09967-6>
- Sukmana, R. I., Suminah, & Ihsaniyati, H. (2017). Kinerja Usaha Pelayanan Jasa Alsintan (Upja) Menuju Pertanian Modern Di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Agritexts*, 41(1), 70–78.
- Syahyuti, Sutater, T., Istriningsih, & Wuryaningsih, S. (2014). 40 Inovasi Kelembagaan Diseminasi Teknologi Pertanian, Catatan Perjalanan 40 Tahun Balitbangtan. IAARD PRESS.
- Wahyudi, A., & Wulandari, S. (2019). Inovasi Teknologi Dan Inovasi Kelembagaan Mendukung Keberlanjutan Usahatani Lada Di Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 25(2), 108. <https://doi.org/10.21082/jlitri.v25n2.2019.108-124>

MEMPERKUAT INDUSTRI PANGAN MERESPON DINAMIKA PASAR DI ERA PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Hoerudin^{a1}, S. Joni Munarso^{b2}, Muhammad Prama Yufdy^{c3}

^{a,b} Balai Besar Penelitian Pascapane

^c Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura

^{1,2,3} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Menurut *New World Encyclopedia* (Anonymous 2020) terminologi industri pangan diartikan sebagai serangkaian aktivitas usaha produksi pangan yang dapat meliputi aspek budidaya, panen, penanganan, pengolahan, pengemasan, penyimpanan, pemasaran, distribusi, konsumsi, regulasi, pendidikan, penelitian dan pengembangan. Sadiku et al. (2019) menyebutkan bahwa industri pangan di dalam entitasnya bukanlah satu industri melainkan kumpulan dari sejumlah industri yang memproduksi atau terkait beragam produk pangan. Undang-Undang Pangan nomor 18 tahun 2012 menjelaskan yang dimaksud dengan pangan adalah segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan, dan air, baik yang diolah maupun tidak diolah yang diperuntukkan sebagai makanan atau

minuman bagi konsumsi manusia, termasuk bahan tambahan pangan, bahan baku pangan, dan bahan lainnya yang digunakan dalam proses penyiapan, pengolahan, dan/atau pembuatan makanan atau minuman.

Berdasarkan definisi di atas, pemahaman industri pangan secara sederhana dapat dipilah menjadi industri pangan hulu (*upstream food industry*) dan industri pangan hilir (*downstream food industry*). Pada tulisan ini pembahasan difokuskan pada industri pangan hilir dan penggunaan kata industri pangan pada penjelasan berikutnya merujuk pada industri pascapanen pertanian yang secara spesifik mencakup pemanfaatan teknologi penanganan bahan baku, pengolahan, pengemasan, dan penyimpanan.

Industri pangan merupakan industri strategis dan vital bagi setiap negara. Urgensi industri pangan dalam agenda nasional juga disebutkan di dalam Peraturan Presiden nomor 18 tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 bahwa arah kebijakan dalam rangka peningkatan nilai tambah ekonomi mencakup peningkatan nilai tambah, lapangan kerja, dan investasi di sektor riil, dan industrialisasi yang dilaksanakan dengan strategi meningkatkan industrialisasi berbasis pengolahan komoditas pertanian, kehutanan, perikanan, kemaritiman, dan nonagro yang terintegrasi hulu-hilir.

FAO (2018) menyebutkan bahwa industri pangan merupakan bagian inti dari roda sistem pangan. Industri pangan yang mampu memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan turut mendorong terwujudnya sistem pangan berkelanjutan yang dapat berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), diantaranya tujuan nomor tiga (kehidupan sehat dan sejahtera) dan nomor delapan (pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi).

Tiga pilar penting industri pangan yaitu bahan baku, pelaku usaha, dan pasar (Munarso 2017). Industri pangan yang kuat memerlukan sistem pertanian yang mampu menyediakan bahan baku industri pangan secara berkesinambungan dengan kualitas yang memenuhi standar industri (Fagi 2017). Diantara tantangan utama peningkatan nilai tambah dan daya saing produk pertanian sebagai bahan baku industri pangan yaitu sifatnya yang mudah rusak dan musiman. Disinilah peran teknologi pascapanen untuk menjawab tantangan tersebut, sehingga tersedia produk pangan sepanjang tahun dengan kualitas dan keamanan pangan yang terjamin.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) telah menghasilkan sejumlah teknologi pascapanen yang berhasil meningkatkan nilai tambah dan daya saing produk pangan. Akan tetapi, tidak sedikit teknologi pascapanen yang diterapkan di mitra industri pangan masih belum optimal kinerjanya. Hal ini memerlukan analisis/evaluasi permasalahan dan upaya perbaikan untuk mengoptimalkan kinerja teknologi Pascapanen dalam memperkuat industri pangan.

Industri pangan modern dituntut senantiasa mampu merespon dinamika pasar, dimana preferensi konsumen menjadi salah satu rujukan utamanya. Saat ini dan ke depan masyarakat tidak hanya menginginkan pangan sehat (bergizi, fungsional dan aman), namun juga tetap segar/alami, lezat (*tasty*), mudah/siap dikonsumsi, serta mudah dan cepat diperoleh. Konsumen juga lebih menginginkan produk pangan yang memiliki transparansi dan kejujuran label, produk yang lebih peduli sosial dan kelestarian lingkungan, serta tidak bertentangan dengan kepercayaan yang diyakininya (Cairns et al. 2018; Olayanju 2019).

Pada awal tahun 2020 telah terjadi pandemi COVID-19 yang melanda banyak negara, termasuk Indonesia, dan berpengaruh pada pertumbuhan industri pangan dan preferensi konsumen.

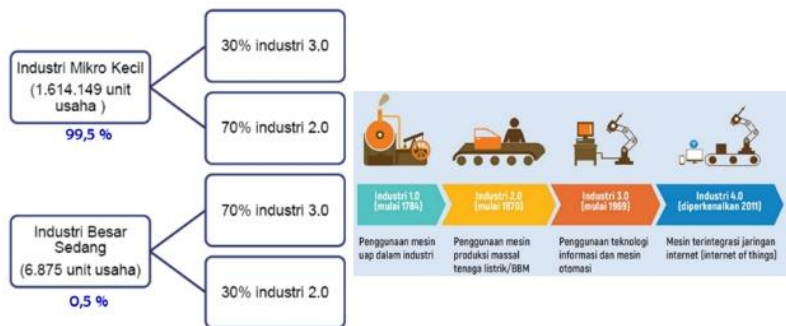
Kondisi pandemi Covid-19 telah mengganggu ketersediaan dan rantai pasok bahan baku, ingredien dan bahan pendukung pangan (Hariyadi & Dewanti-Hariyadi 2020). Hal ini telah berdampak terjadinya pelambatan pertumbuhan industri pangan. RPJMN 2020-2024 menargetkan pertumbuhan industri pangan pada tahun 2020 sebesar 8,09-8,22%, sementara itu pertumbuhan industri pangan tahun 2020 diprediksi hanya sekitar 4–5% (Novika 2020). Pandemi Covid-19 juga telah mengubah preferensi konsumen, pola permintaan pangan di pasaran, pemanfaatan teknologi pascapanen di industri pangan, dan jenis produk pangan yang dipasarkan. Paradigma pola hidup sehat juga bergeser dari model kuratif menjadi model preventif (Ayseli et al. 2020).

Untuk itu, paradigma industri pangan modern harus mampu merespon dinamika pasar dan mampu mengatasi masalah yang dihadapi sepanjang rantai produksi sebagai implikasi dari pemenuhan tuntutan tersebut melalui berbagai inovasi (Chatterjee dan Abraham 2018). Makalah ini bertujuan menganalisis kondisi industri pangan Indonesia saat ini, mengkaji keragaan dan kinerja teknologi pascapanen yang dikembangkan Balitbangtan pada industri pangan, tantangan dan tren saat ini dan ke depan, serta merumuskan/merekomendasikan arah kebijakan untuk memperkuat industri pangan nasional, diantaranya dengan mengoptimalkan kinerja teknologi pascapanen di era pertanian modern berkelanjutan.

POTRET INDUSTRI PANGAN

Selama ini industri pangan (makanan dan minuman) menjadi sektor andalan karena mampu memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional, baik melalui peningkatan investasi, penyerapan tenaga kerja, maupun capaian nilai ekspor. Berdasarkan data Kemenperin, produk makanan dan minuman Indonesia mampu mencatatkan nilai ekspor tertinggi di kelompok

manufaktur, dengan capaian USD27,28 miliar sepanjang tahun 2019. Selain itu, industri makanan dan minuman juga sebagai penyector terbesar terhadap nilai investasi pada periode Januari-September 2019 sebesar Rp41,43 triliun. Selanjutnya, industri makanan dan minuman menyerap paling banyak tenaga kerja di sektor manufaktur dengan jumlah 4,74 juta orang hingga Agustus 2019 (Suhud 2020). Industri makanan dan minuman berperan penting terhadap pemerataan usaha di Indonesia. Hal ini disebabkan industri makanan dan minuman didominasi (sekitar 99,5%) oleh para pelaku usaha yang sebagian banyak adalah berskala industri mikro dan kecil yang 70% diantaranya terkategori industri 2.0. Sebaliknya, untuk industri pangan besar dan sedang dengan proporsi sekitar 0,5% didominasi (70%) oleh industri 3.0 (Gambar 16).



Gambar 15. Keragaan Industri Pangan (makanan dan minuman) di Indonesia (sumber: BPS dan Kemenperin 2017 – diolah)

Pemerintah telah menetapkan industri pangan, khususnya makanan dan minuman menjadi salah satu dari lima sektor manufaktur yang diprioritaskan pengembangannya menjadi industri 4.0 sesuai peta jalan *Making Indonesia 4.0* (Kemenperin, 2018). Sektor ini dipilih menjadi fokus setelah melalui evaluasi dampak ekonomi dan kriteria kelayakan implementasi yang

mencakup ukuran PDB, perdagangan, potensi dampak terhadap industri lain, besaran investasi, dan kecepatan penetrasi pasar (Gambar 17). Melalui implementasi industri 4.0 ini diharapkan industri makanan dan minuman Indonesia lebih berdaya saing hingga kancah global.



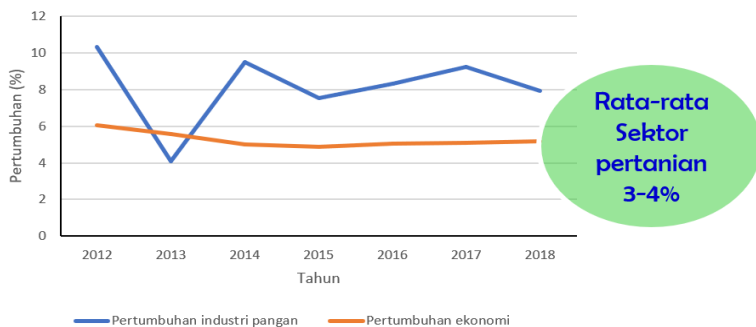
Gambar 16. Industri Pangan (makanan dan minuman) sebagai Prioritas Revolusi Industri 4.0 di Indonesia (Sumber A.T. Kearney, Bank Dunia, Badan Pusat Statistik, dalam Kemenperin 2018)

Jika dibandingkan dengan negara lain, sektor makanan dan minuman Indonesia memiliki potensi pertumbuhan yang besar karena didukung oleh sumber daya pertanian yang berlimpah dan permintaan domestik yang besar. Strategi untuk industri makanan dan minuman 4.0 diantaranya: (1) mendorong produktivitas di sektor hulu yaitu pertanian, peternakan, dan perikanan, melalui penerapan dan investasi teknologi canggih seperti sistem monitoring otomatis dan *autopilot drones*. (2) membantu UMKM di sepanjang rantai nilai untuk mengadopsi teknologi yang dapat meningkatkan hasil produksi dan pangsa pasar karena lebih dari 80% tenaga kerja di industri pangan ini bekerja di UMKM, termasuk petani dan produsen skala kecil, (3) berkomitmen untuk

berinvestasi pada produk makanan kemasan untuk menangkap seluruh permintaan domestik di masa datang seiring dengan semakin meningkatnya permintaan konsumen, dan (4) meningkatkan ekspor dengan memanfaatkan akses terhadap sumber daya pertanian dan skala ekonomi domestik (Kemenperin 2018). Berdasarkan kondisi di atas, sektor pertanian memiliki peran sangat penting sebagai penyedia bahan baku industri. Dengan kata lain, kemajuan dan pertumbuhan industri pangan harus diikuti juga kemajuan dan pertumbuhan di sektor pertanian (Fagi 2017). Pada Gambar 18 terlihat bahwa selama periode tahun 2012–2018 rata-rata pertumbuhan industri pangan sekitar 7-8% per tahun atau hampir selalu di atas rata-rata pertumbuhan ekonomi yang mencapai 5 - 6% (kecuali tahun 2013). Sementara itu, rata-rata pertumbuhan sektor pertanian sekitar 3–4% per tahun.

Namun demikian, terjadinya pandemi COVID-19 di Indonesia pada awal tahun 2020 membuat banyak industri terdampak negatif, salah satunya adalah industri pangan (makanan dan minuman). Berdasarkan data survey GAPMMI, diprediksi penjualan industri pangan menurun sekitar 20-40% (Hamdani 2020). Penurunan penjualan tersebut disebabkan oleh penerapan *physical distancing*, pembatasan sosial berskala besar (PSBB), dan lain sebagainya yang menyebabkan mobilitas orang dan barang menjadi terbatas. Demikian pula, pertumbuhan industri pangan tahun 2020 yang semula ditarget dalam RPJMN sekitar 8,09-8,22%, diprediksi hanya mencapai 4–5% (Novika 2020). Kondisi tersebut diperburuk sejumlah permasalahan klasik yang masih terjadi di industri pangan antara lain (i) industri sangat terfragmentasi (didominasi IMK, 80% tenaga kerja IMKM), (ii) penguasaan dan penerapan teknologi masih terbatas, (iii) penyediaan bahan baku 70-80% dari impor, (iv) infrastruktur rantai dingin masih kurang, (v) meningkatnya masalah keamanan

pangan, (vi) fasilitas penyimpanan belum memadai, dan (vii) rantai pasok yang belum efisien.



Gambar 20. Rata-rata Pertumbuhan Industri Pangan Dibandingkan Pertumbuhan Ekonomi (Sumber: BPS, Kemenperin, Kementan – diolah)

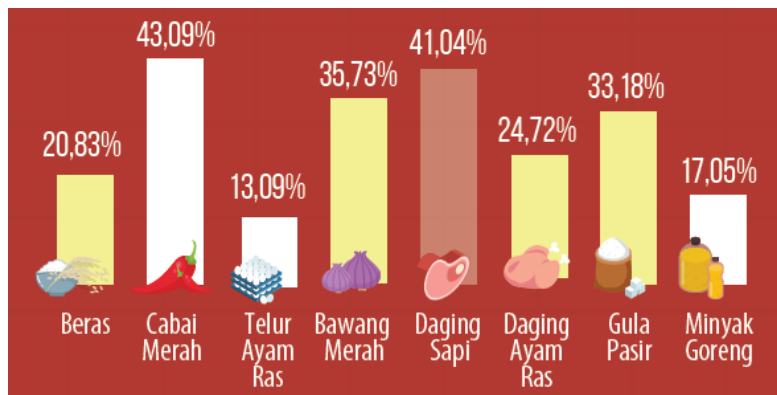
Permasalahan belum efisiennya rantai pasok untuk sebagian besar komoditas pangan (segar dan olahan) sejalan dengan hasil survei pola distribusi perdagangan komoditas strategis yang dilaporkan Badan Pusat Statistik (BPS 2020). Pada Gambar 19 terlihat bahwa pola utama distribusi perdagangan sebagian besar komoditas strategis (beras, cabai merah, bawang merah, daging sapi, gula pasir, dan minyak goreng) memiliki jumlah rantai tiga atau lebih. Sementara itu, pola utama distribusi perdagangan telur dan daging ayam ras memiliki rantai yang lebih pendek.

Efisiensi pola distribusi perdagangan suatu komoditas pangan juga dapat tergambar dari nilai Margin Perdagangan dan Pengangkutan (MPP). MPP menggambarkan selisih antara nilai penjualan dengan nilai pembelian yang mengikutsertakan biaya pengangkutan (BPS 2020). Nilai MPP sejumlah komoditas strategis disajikan pada Gambar 20. Berdasarkan hasil survei pola distribusi perdagangan, cabai merah dan daging sapi memiliki nilai MPP tertinggi, berturut-turut 43,09% dan 41,04%. Telur ayam ras

memiliki nilai MPP terendah (13,09%), disusul minyak goreng (17,05%). Nilai MPP yang tinggi dapat disebabkan oleh sejumlah kemungkinan, diantaranya (i) adanya tambahan rantai perdagangan ataupun pelaku baru dalam rantai perdagangan, (ii) peningkatan biaya angkutan, logistik atau lainnya, dan/atau (iii) para pelaku yang terlibat dalam rantai distribusi meningkatkan besaran keuntungannya. Secara umum, peningkatan nilai MPP dapat memicu peningkatan inflasi harga pangan pokok di tingkat konsumen, walaupun pada kondisi tersebut keuntungan di tingkat petani tidak berubah.



Gambar 21. Pola Utama Distribusi Perdagangan Komoditas Strategis di Indonesia (Sumber: BPS 2020)



Gambar 17. Nilai MPP komoditas strategis di Indonesia (Sumber: BPS 2020)

TREN DAN KEBUTUHAN TEKNOLOGI PADA INDUSTRI PANGAN

Dinamika Preferensi Konsumen dan Pasar

Kaidah umum yang berlaku bahwa tren industri pangan akan senantiasa merespons dinamika pasar. Sementara itu, dinamika pasar akan sangat dipengaruhi oleh tren preferensi konsumennya. Oleh karena itu, industri pangan dituntut untuk mampu mendeteksi dinamika preferensi konsumen sehingga dapat bersaing saat ini dan ke depan. Demikian pula, faktor-faktor atau dinamika lingkungan global yang mempengaruhi preferensi konsumen juga akan turut mempengaruhi tren dan kebutuhan teknologi di industri pangan.

Banyak studi dan survei telah melaporkan sejumlah tren global preferensi konsumen yang diprediksi mempengaruhi arah perkembangan industri pangan saat ini dan ke depan (Ayseli et al. 2020; Eftimov et al. 2020). Beberapa contoh tren tersebut antara lain, masyarakat global menginginkan konsumsi pangan yang

lebih sehat (bergizi, fungsional dan aman), tetap segar/alami, lezat (*tasty*), mudah/siap dikonsumsi, serta mudah dan cepat diperoleh. Permintaan terhadap pangan asal tanaman (*plant-based foods*) diperkirakan akan tetap tinggi. Ke depan, terdapat tiga kategori utama dalam tren pengembangan produk pangan baru berkaca pada preferensi konsumen. Pertama, pangan sehat yang terkait dengan manajemen berat badan, termasuk di dalamnya seperti alternatif pengganti gula, kesehatan pencernaan, performa tubuh, dan energi relaksasi. Kedua, fungsionalitas bahan-bahan natural, termasuk di dalamnya pangan berbasis nabati, klaim natural, dan pengayaan zat gizi. Ketiga, eksplorasi produk pangan, seperti pengembangan perisa (*flavor*) baru, sensasi baru, tingkat kenyamanan, hingga kemasan yang unik (Mustijab 2019).

Konsumen pangan saat ini dan ke depan makin “melek” label kemasan seiring meningkatnya tuntutan transparansi dan kejujuran label. Permintaan juga diprediksi makin meningkat terhadap produk pangan yang mengedepankan kepedulian sosial dan kelestarian lingkungan, serta tentunya pangan yang tidak bertentangan dengan kepercayaan yang diyakini konsumennya (Cairns et al. 2018; Olayanju 2019). Permintaan terhadap *convenience foods* atau *tertiary processed foods*, pangan yang sudah diolah untuk kemudahan konsumsi, seperti pangan siap saji (*ready-to-eat*) diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan peningkatan pendapatan dan mobilitas penduduk.

Awal tahun 2020 ditandai suatu peristiwa global yang berdampak pada seluruh aspek kehidupan, tak terkecuali aspek produksi dan konsumsi pangan. Peristiwa tersebut diawali sejumlah kasus pneumonia yang merebak di China pada bulan Desember 2019, yang kemudian teridentifikasi sebagai penyakit pernafasan yang disebabkan oleh virus corona jenis baru, *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2), dan kemudian dikenal dengan sebutan *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19) (Tan et al. 2020). Penyakit ini menyebar dengan cepat

ke seluruh dunia, termasuk Indonesia, dan pada tanggal 11 Maret 2020 *World Health Organisation* (WHO) menyatakan terjadinya pandemi COVID-19 (Laguna et al. 2020).

Pandemi COVID-19 telah menyebabkan resesi global dan mendorong terbitnya peraturan-peraturan protokol kesehatan, seperti Peraturan Pemerintah (PP) tentang Pembatasan Sosial Berskala Besar, yang kemudian berpengaruh terhadap perilaku konsumen dalam memilih dan mengonsumsi pangan. Beberapa perubahan preferensi konsumen sebagai pelajaran dari pandemi COVID-2019 dan kebiasaan baru “*stay at home*”, antara lain konsumen (i) lebih memperhatikan keamanan pangan dan sanitasi, (ii) lebih memilih pangan fungsional dan produk *nutraceutical* yang dapat meningkatkan imunitas, (iii) lebih memilih makanan siap masak dengan umur simpan lama (*frozen foods, instant foods*), (iv) lebih memilih cara masak sendiri di rumah, (v) lebih memperhatikan pemasok bahan/produk makanan (ketertelusuran), (vi) lebih memilih pangan dalam kemasan tertutup, dan (vii) lebih memilih pemesanan pangan melalui daring (Aday dan Aday 2020; Munarso 2020). Dalam hal ini, pandemi COVID-19 telah menggeser paradigma kesehatan publik dari model/pendekatan kuratif (pengobatan) menjadi model/pendekatan preventif (pencegahan).

Perubahan preferensi konsumen tersebut juga tercermin dari perubahan jenis pangan yang dipilih dan dikonsumsi. Ayseli et al. (2020) melaporkan secara global permintaan terhadap produk pangan segar seperti buah, sayur, daging dan ikan mengalami peningkatan seiring preferensi konsumen yang cenderung memilih memasak di rumah. Hasil studi Laguna et al. (2020) di Spanyol menunjukkan konsumen lebih memilih pangan yang dapat meningkatkan kesehatan, seperti sayur, buah dan pasta, serta memperbaiki *mood* (suasana hati), seperti aneka kacang, kakao, dan keju. Lebih lanjut disebutkan konsumen mengurangi konsumsi pangan yang dapat meningkatkan berat badan, seperti

rerotian dan makanan dengan kandungan gula tinggi. Di Indonesia, menurut GAPMMI beberapa produk yang mengalami peningkatan permintaan selama pandemi COVID-19, antara lain susu, tepung, minyak goreng, dan biskuit (Hamdani 2020).

Kebutuhan Teknologi di Industri Pangan

Dalam merespons dinamika preferensi konsumen dan pasar tersebut di atas, industri pangan perlu melakukan penyesuaian-penyesuaian, termasuk bagaimana cara memproduksi, menyimpan, memasarkan dan mendistribusikan produk pangannya agar dapat memenuhi permintaan pasar dan preferensi konsumennya. Secara umum, reorientasi industri pangan untuk memenuhi preferensi baru konsumen antara lain terkait jaminan ketertelusuran bahan baku, jaminan proses produksi yang baik, jaminan produk aman dan sehat. Sementara itu, tantangan pasokan bahan baku meliputi jaminan konsistensi kuantitas, kualitas, kontinuitas.

Perubahan preferensi konsumen dan dinamika pasar tersebut juga memberikan banyak tantangan bagi UMKM yang jumlahnya mendominasi industri pangan di Indonesia. Tantangan tersebut antara lain meliputi tiga aspek, yaitu produksi, akses dan kelembagaan. Pada aspek produksi ketertelusuran, kuantitas, kualitas dan kontinuitas bahan baku harus terjamin. Penerapan dan penegakkan sistem jaminan keamanan pangan, seperti cara produksi pengolahan pangan yang baik, harus menjadi prioritas karena produk pangan tidak akan bernilai jika tidak aman. UMKM pangan juga harus mampu melakukan efisiensi proses produksi dan inovasi pengembangan produk pangan sehat/fungsional yang memiliki umur simpan lebih lama, kemasan yang menarik nyaman, dan ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah pangan pasca produksi merupakan tantangan tersendiri bagi UMKM dalam mewujudkan konsep *zero waste* sekaligus upaya

peningkatan nilai tambah. Pada aspek akses, UMKM pangan situntut dapat melakukan metode pemasaran dan promosi kekinian yang efektif seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta menawarkan harga produk pangan yang kompetitif. Pada aspek kelembagaan, UMKM pangan perlu membangun dan memperkuat sinergi/kemitraan dengan seluruh *stakeholders* terkait, khususnya untuk mempermudah akses dan memperkuat permodalan, serta pengembangan usaha dan pasar.

Menurut Hariyadi dan Dewanti-Hariyadi (2020) industri pangan juga perlu mengidentifikasi populasi konsumen yang sensitif atau rentan terhadap serangan penyakit. Sebagian besar produk pangan yang dihasilkan industri dijual kepada masyarakat umum. Namun, ada juga jenis produk pangan tertentu yang memang diproduksi khusus untuk populasi tertentu yang sensitif atau yang rentan, khususnya populasi YOPI (*Young/muda, Old/tua/Lansia, Pregnant/wanita hamil, dan Immunocompromised*/kelompok populasi dengan sistem imun rentan). Terkait dengan kelompok konsumen rentan, industri perlu berhati-hati ketika merancang rencana dan membuat keputusan terkait keamanan pangan produknya. Seperti telah diketahui dengan COVID-19, kelompok yang paling sensitif adalah lansia, terutama yang memiliki pra-kondisi yang mungkin membahayakan sistem kekebalan mereka (*Immunocompromised*). Kondisi-kondisi ini termasuk penyakit jantung, masalah pernapasan seperti asma, dan diabetes. Dalam kondisi pandemi COVID-19, produk pangan untuk konsumen demikian perlu mendapat perhatian khusus pula. Dalam kondisi normal, industri tetap perlu memperkuat rencana keamanan pangan (dan mutu) untuk populasi YOPI ini, misalnya yang berkaitan dengan kandungan alergen, gula, garam, lemak, dan lain-lain.

Perubahan preferensi konsumen dan dinamika pasar juga menuntut adanya reorientasi kebutuhan dan penerapan teknologi pascapanen di industri pangan. Sebagai contoh, diketahui bahwa

virus COVID-19 dapat bertahan pada permukaan selama beberapa jam sampai beberapa hari, tergantung pada jenis permukaan, suhu, sinar, pH, dan lain-lain. Namun demikian, virus ini dapat inaktivasi oleh panas dan sanitaiser, terutama sanitaiser berbasis klorin, etanol, dan hidrogen peroksida (Hariyadi dan Dewanti-Hariyadi 2020; Mohan et al. 2021). Beberapa teknologi pascapanen yang dibutuhkan industri pangan ke depan antara lain teknologi sterilisasi melalui penggunaan *sanitizer*, pengeringan, *infra-red*, *microwave*, dan *hot water/vapor treatment*, teknologi ekstraksi dan produksi senyawa bioaktif, teknologi fermentasi, teknologi produksi probiotik, teknologi fortifikasi, teknologi pengolahan pangan fungsional, teknologi penyimpanan, serta teknologi kemasan aktif, antimikrobal, pintar dan ramah lingkungan untuk memperpanjang umur simpan dan mempertahankan mutu pangan (Ayseli et al. 2020). Teknologi-teknologi tersebut dibutuhkan untuk (i) meningkatkan nilai pangan yang merupakan resultan dari keamanan, gizi dan karakteristik mutu pangan lainnya (seperti umur simpan), serta (ii) menjamin kesehatan konsumen. Teknologi modifikasi proses juga diperlukan untuk menghasilkan bahan/produk pangan analog, seperti alternatif pengganti lemak, pengganti daging, dan sejenisnya (Mustijab 2019).

Era digitalisasi membawa dampak pada perubahan pola bekerja dan berpotensi menghilangkan pekerjaan yang bersifat sederhana dan repetitif. Di sisi lain, pola perdagangan dan penyediaan layanan berbasis daring serta penggunaan pembayaran nontunai menjadikan banyak model usaha konvensional tidak lagi relevan. Kondisi ini mengharuskan pola adaptasi yang menyeluruh dalam pemanfaatan transformasi digital bagi keberlanjutan industri pangan. Oleh karena itu, ke depan industri pangan dituntut untuk mengembangkan otomatisasi proses produksi dan inovasi melalui *pemanfaatan big data*. Pemanfaatan *big data* dan *Artificial Intelligence* (AI) untuk

mendukung penggunaan teknologi robotik sangat diperlukan dalam transformasi proses penanganan, pengolahan, pengemasan, penyimpanan, dan penyajian pangan. Penggunaannya akan meningkatkan produktivitas dan efisiensi industri pangan (Iqbal et al. 2017). *Block chain* dapat digunakan untuk mendeteksi/mengidentifikasi penundaan atau limbah yang terjadi di sepanjang rantai pasok pangan. Pemanfaatan *big data* juga memungkinkan perancangan produksi pangan dengan komposisi gizi berdasarkan kebutuhan target konsumennya. Penjelasan di atas menunjukkan bahwa dukungan dan peran teknologi pascapanen memiliki peran penting dalam memperkuat industri pangan, terutama jika harus berhadapan dengan kondisi pandemi atau kondisi darurat sejenis di masa depan.

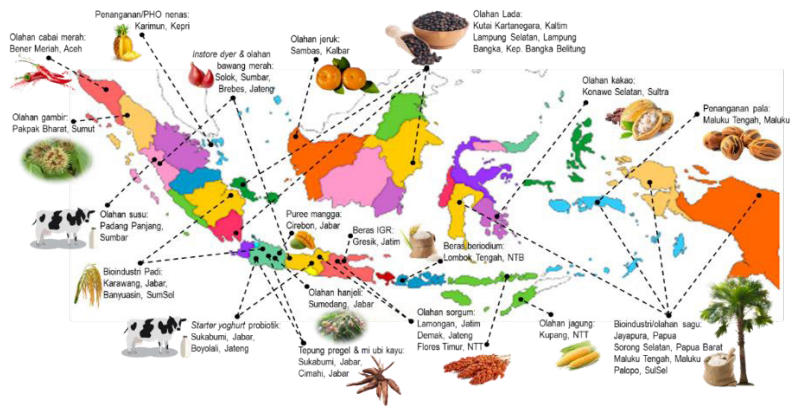
KERAGAAN DAN KINERJA TEKNOLOGI PASCAPANEN PADA INDUSTRI PANGAN

Menurut Soewono (2005) teknologi yang diterapkan pada industri penanganan dan pengolahan pangan merupakan teknologi pascapanen, dengan cakupan ragam teknologi yang sangat luas. Dijelaskan lebih lanjut, bahwa teknologi Pascapanen tersebut dapat digolongkan ke dalam 3 kelompok, yaitu kelompok teknologi pengolahan awal (*pre-processing*), teknologi pengolahan, dan teknologi pengolahan lanjut. Teknologi pengolahan awal mencakup teknologi pengeringan, sortasi/grading, penyimpanan, proses minimal dan sebagainya. Teknologi pengolahan mencakup teknologi proses penghasil produk setengah jadi (seperti teknologi fermentasi, ekstraksi, distilasi) dan teknologi penghasil produk jadi (misal teknologi penggorengan, pemanggangan/baking, pengukusan, dan lainnya), sedangkan teknologi pengolahan lanjut menghasilkan produk derivat dari komponen aktif yang terkandung dalam bahan baku, seperti *catechin*, *theobromine*, senyawa aktif terenkapsulasi, dan sebagainya.

Badan Litbang Pertanian melalui Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian (BB Pascapanen) telah banyak menghasilkan teknologi untuk pengembangan industri pangan. BB Pascapanen (2005) mencatat paling tidak sudah terdapat 171 teknologi penanganan dan pengolahan prospektif untuk mendukung usaha peningkatan nilai tambah dan daya saing hasil pertanian. Secara umum, teknologi penanganan dan pengolahan yang dihasilkan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu (i) perbaikan teknologi *indigenous* (lokal), (ii) modifikasi teknologi introduksi, dan (iii) teknologi baru (Munarso 2013).

Kinerja atau kontribusi dari sebuah teknologi terhadap pertumbuhan ekonomi hanya akan terjadi apabila teknologi baru tersebut disebarkan, diterapkan/diadopsi, dan memberikan manfaat secara berkelanjutan. Sejumlah teknologi pascapanen pertanian yang dihasilkan Balitbangtan telah coba diterapkan di sejumlah provinsi di Indonesia, baik dalam bentuk model industri pangan lokal atau pun introduksi komponen teknologi tertentu (Gambar 21), melalui kegiatan kerjasama antara BB Pascapanen dengan UK/UPT lingkup Balitbangtan, Direktorat Jenderal teknis lingkup Kementan, pemerintah daerah dan/atau kelompok tani/industri/pelaku usaha (*public and private domain*).

Sejumlah teknologi yang diintroduksi/diterapkan tersebut telah menunjukkan kinerja yang baik dengan memberikan manfaat bagi penggunaanya, serta sejalan dengan tren dan kebutuhan teknologi yang dibutuhkan di masa depan. Sebagai contoh teknologi yang telah diadopsi yaitu teknologi *starter* kering *yoghurt* probiotik substitusi impor (Gambar 22a) dan teknologi pengolahan beras fungsional dengan nilai indeks glikemik rendah untuk penderita diabetes (Gambar 22b).



Gambar 18. Peta Sebaran Contoh Implementasi Teknologi Pascapanen Pertanian Hasil Balitbangtan (Sumber: BB-Pascapanen diolah)



Gambar 19. Produk Teknologi Starter Kering Yoghurt Probiotik Substitusi Impor (a) dan Pengolahan Beras dengan Indeks Glikemik Rendah untuk Penderita Diabetes (b) (Sumber: BB-Pascapanen diolah)

Contoh teknologi pascapanen Balitbangtan yang telah berkinerja baik di ranah publik dalam pengembangan industri pangan lokal yaitu teknologi starter kering yoghurt probiotik substitusi impor di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat bekerja sama dengan salah satu UKM setempat. Penggunaan starter kering yoghurt yang diintroduksi mampu meningkatkan pendapatan pengolah yoghurt. Beberapa keunggulannya yaitu (i) harga starter hasil invensi tersebut lebih murah dibandingkan produk

komersial yang biasa digunakan sebelumnya, (ii) *starter* bisa diturunkan dan dikembangkan hingga turunan ke-5 (F5), (iii) sekali produksi mampu menghasilkan *yoghurt* dalam jumlah banyak (hingga 500 L), (iv) lebih menghemat energi/efisien dalam penggunaan listrik karena inkubasi dapat dilakukan pada suhu ruang, serta (v) tekstur *yoghurt* kental dan gurih sehingga disukai konsumen. Dampak ikutan lainnya adalah UKM mempunyai kesempatan untuk melakukan diversifikasi usaha melalui olahan turunan dari *yoghurt* probiotik yang dihasilkan, antara lain, bolu *yoghurt*, *nugget yoghurt*, sabun *yoghurt*, es krim *yoghurt*, dan lainnya). Selain itu, UKM tersebut juga memperoleh pendapatan tambahan melalui penjualan bibit hasil rehidrasi kepada konsumen pengolah *yoghurt* lain di sekitarnya (Syamsuri et al. 2019).

Di ranah *private*, contoh teknologi yang telah diadopsi yaitu pengolahan beras fungsional dengan nilai indeks glikemik rendah. Teknologi ini telah dilisensi oleh salah satu perusahaan nasional. Indeks glikemik (IG) merupakan suatu ukuran yang dikembangkan untuk mengklasifikasikan pangan berkarbohidrat berdasarkan pengaruh fisiologisnya terhadap kadar glukosa darah (Hoerudin 2012). Pangan yang memiliki nilai IG rendah direkomendasikan untuk dikonsumsi oleh penderita diabetes. Teknologi pengolahan beras fungsional ini mampu menurunkan nilai IG 16-32%. Teknologi pengolahan yang dikembangkan bersifat unik, aman dan universal karena proses dimulai dari bahan baku gabah kering giling, tanpa menggunakan bahan kimia, serta dapat diterapkan pada varietas padi apapun jenisnya (Widowati 2014). Tidak dapat dipungkiri bahwa terdapat sebagian teknologi pascapanen yang telah dihasilkan tersebut di atas tidak/belum berkinerja baik. Hal tersebut dapat disebabkan oleh sejumlah faktor, antara lain (i) secara substantif tidak sesuai dengan kebutuhan pengguna, (ii) kurang siap terap, (iii)

kolaborasi kurang, (iv) pendekatan hilirisasi tidak tepat, serta (v) tidak adanya umpan balik dan reinovasi.

Hal mendasar yang harus dipenuhi agar invensi pascapanen dapat diterapkan oleh pengguna, baik teknologi maupun hasil produknya yaitu secara substantif invensi tersebut harus sesuai dengan kebutuhan pengguna. Jika prasyarat ini tidak terpenuhi, maka invensi tersebut akan sulit berkembang lebih lanjut dan sulit bertransformasi menjadi inovasi. Bagaimana hal ini dapat terjadi? Salah satunya karena ide/gagasan penelitian yang dilakukan tidak berdasarkan pada informasi kebutuhan inovasi dari calon/target pengguna invensi. Minimnya keterlibatan para pelaku usaha industri pangan pada saat perancangan, pelaksanaan, serta monitoring dan evaluasi hasil antara penelitian menyebabkan invensi teknologi/produk pascapanen yang dihasilkan tidak/kurang berorientasi kepada kebutuhan pengguna, apalagi untuk menciptakan pasar. Pada kondisi tersebut invensi yang dihasilkan akan “mati sebelum berkembang”.

Faktor lain yang menyebabkan kurang baiknya kinerja/kegagalan adopsi teknologi pascapanen yang telah dihasilkan yaitu kurang siap terap. Pada kasus ini, teknologi yang dihasilkan secara substantif sudah sesuai dengan kebutuhan pengguna, akan tetapi masih dijumpai sejumlah permasalahan dalam penerapannya, sehingga belum berkinerja dengan baik dan belum dapat bertransformasi menjadi sebuah inovasi yang diadopsi secara berkelanjutan. Menurut Munarso (2017) jarang sekali didapatkan pada saat uji terap teknologi pascapanen langsung sesuai dan tepat (*proper and fit*) industri pangan. Sebaliknya, beragam keluhan muncul, seperti teknologi terlalu rumit, produk yang dihasilkan kurang baik, susah mengoperasikan, rendemen rendah, boros, dan sebagainya. Kondisi semacam ini disebabkan oleh teknologi yang dibawa tidak memperhatikan keadaan penerima teknologi, atau teknologi yang

dikenalkan belum sepenuhnya siap ditransfer atau dengan tingkat kesiapterapan yang masih relatif rendah.

Secara spesifik kekurangsiapan tersebut terutama disebabkan teknologi yang diintroduksi kurang efisien/layak secara teknoekonomi sehingga kurang berdaya saing. Munarso (2013) menjelaskan bahwa teknologi yang kurang efisien bisa dikarenakan spektrum penerapannya yang terbatas. Sebagai contoh, tidak jarang teknologi pengolahan puree atau sari buah hasil penelitian hanya spesifik untuk pengolahan jenis buah tertentu, sehingga rentang pemanfaatan unit proses tersebut pendek (5-6 bulan), dan sisa waktu per tahunnya dalam keadaan “idle” (menganggur). Mengingat bahan baku asal pertanian umumnya bersifat musiman, maka teknologi ataupun unit proses yang diintroduksi harus dirancang sejak awal agar mampu mengolah variasi bahan baku sejenis pada musim berbeda sehingga memiliki rentang pemanfaatan sepanjang tahun. Masalah efisiensi rendah juga terjadi akibat pengadaan alat yang kurang tepat, sehingga kapasitas terpasang melebihi volume bahan baku yang akan ditangani, atau sebaliknya.

Hal ini sejalan dengan pendapat Mardiharini dan Jamal (2017) bahwa hasil penelitian yang kurang mengacu pada *best practices* dan lemah dalam model bisnis akan memiliki kinerja penerapan yang kurang baik dan akan gagal diadopsi. Menurut Soewono (2005) teknologi yang akan mampu beradaptasi dengan kebutuhan pengguna adalah teknologi dengan (a) proses operasi yang sederhana, (b) kebutuhan investasi untuk peralatan dan utilitas relatif rendah, (c) penggunaan energi dan biaya produksi yang rasional, (d) reproduibilitas yang baik, dan (e) peralatan relatif mudah dibersihkan dan dipelihara. Hal-hal tersebut makin penting untuk dipertimbangkan sebelum mengintroduksi suatu teknologi dimana sebagian besar industri pangan didominasi skala mikro dan kecil. Secara umum dapat disimpulkan bahwa suatu teknologi akan diadopsi jika

memberikan manfaat ekonomi, sosial dan lingkungan yang merupakan resultan dari kinerja positif teknologi tersebut. Adapun kinerja positif tersebut akan terjadi jika teknologi yang diintroduksikan pada kondisi yang siap terap. Selanjutnya, Nzomoi et al. (2007) menambahkan bahwa adopsi teknologi pada sektor pertanian akan dipengaruhi secara positif oleh tingkat pendidikan dan profesionalisme pengguna teknologi, akses terhadap permodalan, serta keterlibatan pemerintah.

Sejauh ini sebagian besar teknologi pascapanen yang telah dihasilkan masih belum diketahui status kesiapterapan. Sejatinya setiap invensi teknologi yang dihasilkan dari suatu kegiatan penelitian dan pengembangan perlu dilakukan pengukuran dan penetapan tingkat kesiapterapannya sebagaimana diamanatkan dalam Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi (Permenristekdikti) Nomor 42 tahun 2016 tentang Pengukuran dan Penetapan Kesiapterapan Teknologi (TKT). Menurut Permenristekdikti tersebut, pengertian TKT adalah tingkat kondisi kematangan atau kesiapterapan suatu hasil penelitian dan pengembangan teknologi tertentu yang diukur secara sistematis dengan tujuan untuk dapat diadopsi oleh pengguna, baik oleh pemerintah, industri maupun masyarakat. Secara lebih rinci, pengukuran dan penetapan TKT bertujuan untuk (i) mengetahui status kesiapterapan teknologi, (ii) membantu pemetaan kesiapterapan teknologi, (iii) mengevaluasi pelaksanaan program atau kegiatan penelitian dan pengembangan, (iv) mengurangi risiko kegagalan dalam pemanfaatan teknologi, dan (v) meningkatkan pemanfaatan hasil penelitian dan pengembangan. Secara umum, TKT setiap jenis penelitian dan pengembangan dibagi menjadi sembilan tingkatan dengan masing-masing memiliki indikator-indikator yang berbeda. Prinsip dasar pengukuran TKT ini menggunakan tingkat kesiapterapan hasil penelitian dan pengembangan dengan indikator-indikator yang

disesuaikan masing-masing jenis penelitian dan pengembangan di Indonesia.

Adapun tingkatan dan indikator kesiapterapan teknologi hasil penelitian dan pengembangan pascapanen pertanian disajikan pada Tabel 21. Balitbangtan melalui Balai Pengelola Alih Teknologi Pertanian (BPATP) telah memfasilitasi pengukuran TKT secara daring. Saat ini pengukuran TKT telah menjadi persyaratan dalam pengusulan paten atas suatu hasil invensi lingkup Balitbangtan.

Tabel 21. Tingkatan dan Indikator Kesiapterapan Teknologi Hasil Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

TKT	Tahapan Teknologi	Indikator Kesiapterapan
1	Prinsip Dasar dari Teknologi telah Diteliti dan Dilaporkan (Proposal RTP)	Studi literatur yang mencakup teori dasar, hasil penelitian terdahulu dan penelusuran paten sudah dilakukan Hipotesis sudah ditetapkan sebelum dilakukan penelitian
2	Formulasi Konsep dan/atau Aplikasi Formulasi (Rancangan dan Metode Penelitian, Sub Kegiatan)	Metodologi yang akan digunakan, telah teridentifikasi, mencakup rancangan percobaan, bahan dan alat, metode, serta pengamatan/karakterisasi Kerangka teoritis dan empiris telah teridentifikasi termasuk literatur (teoritis/empiris) teknologi pascapanen yang akan dikembangkan memungkinkan untuk digunakan Peralatan dan bahan yang akan digunakan telah teridentifikasi Metode dari teknologi pascapanen yang akan dikembangkan telah dikuasai dan dipahami Kinerja dari masing-masing elemen yang digunakan untuk mengembangkan teknologi-teknologi pascapanen telah diprediksi Analisis awal menunjukkan bahwa fungsi utama teknologi pascapanen yang

TKT	Tahapan Teknologi	Indikator Kesiapterapan
		dibutuhkan dapat bekerja dengan baik Analisa/karakterisasi digunakan untuk menguji kebenaran prinsip dasarnya Komponen-komponen teknologi pengolahan dan pascapanen yang akan dikembangkan, secara terpisah dapat bekerja dengan baik Peralatan yang digunakan harus <i>valid</i> dan <i>reliable</i> Tahapan eksperimen yang akan dilakukan telah diketahui
3	Pembuktian Konsep, Fungsi dan/atau Karakteristik Penting dalam Analisis dan Eksperimental (Mulai Pelaksanaan Kegiatan Penelitian)	Studi analitik digunakan untuk mendukung prediksi kinerja elemen-elemen teknologi pascapanen Karakteristik/sifat dan kapasitas unjuk kerja sistem dasar telah diidentifikasi dan diprediksi Model dan simulasi digunakan untuk mendukung prediksi kemampuan elemen-elemen teknologi pascapanen tertentu Penelitian laboratorium digunakan untuk memperediksi kinerja tiap elemen teknologi pascapanen Secara teoritis, empiris dan eksperimen telah diketahui komponen-komponen sistem teknologi pascapanen dapat bekerja dengan baik Teknologi pascapanen yang dihasilkan layak secara ilmiah (simulasi, analitik, dan eksperimen)
4	Validasi Komponen/Subsistem Dalam Lingkungan Laboratorium (Optimasi Teknologi Pascapanen)	Uji laboratorium masing-masing komponen teknologi sudah dilakukan dan dapat beroperasi Penyusunan formula produk pascapanen telah disesuaikan dengan kebutuhan pengguna Prototipe teknologi pascapanen skala laboratorium telah dibuat Penelitian formula pascapanen telah dimulai dan telah dimuat disain proses

TKT	Tahapan Teknologi	Indikator Kesiapterapan
5	Validasi Komponen/Subsistem dalam Suatu Lingkungan yang Relevan (Validasi Pascapanen dalam Lingkungan Target)	pada skala laboratorium Proses manufaktur telah diidentifikasi dan dikaji di laboratorium Persiapan penggandaan skala (<i>scaling up</i>) teknologi pascapanen telah dilakukan Peralatan dan mesin pendukung telah diujicoba dalam laboratorium Penghitungan penggandaan skala digunakan untuk menentukan proses fabrikasi Disain proses penggandaan skala teknologi pascapanen telah dibuat Validasi rekayasa proses telah dilakukan
6	Demonstrasi Model atau Prototipe Sistem/Subsistem dalam Suatu Lingkungan yang Relevan (Uji Multi Lokasi/Validasi Lapang) (Demonstrasi Model Skala Pilot dan Uji Kelayakan Tekno Ekonomi)	Kondisi lingkungan operasi sesungguhnya telah diketahui Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja teknologi pascapanen pada lingkungan relevan (mirip dengan kondisi lingkungan industri yang sebenarnya) Prototipe telah teruji dengan akurasi tinggi di laboratorium padasimulasi lingkungan yang relevan Analisis kelayakan teknoekonomi sudah dilakukan Kebutuhan investasi untuk peralatan dan proses fabrikasi teknologi pascapanen telah teridentifikasi Uji preferensi konsumen sudah dilakukan

TKT	Tahapan Teknologi	Indikator Kesiapterapan
7	Demonstrasi Prototipe Sistem dalam Lingkungan Sebenarnya (Validasi Model dalam Lingkungan Sebenarnya)	Disain proses pilot plant sudah dibuat Proses dan prosedur fabrikasi peralatan mulai diujicobakan Perlengkapan dan peralatan test/inspeksi diujicobakan di dalam lingkungan produksi Draft gambar desain telah lengkap Peralatan, proses, metode dan desain teknik telah dikembangkan dan mulai diujicobakan Perhitungan perkiraan biaya telah divalidasi Proses fabrikasi secara umum telah dipahami dengan baik Semua fungsi dapat berjalan dalam lingkungan/kondisi operasi melalui uji coba produksi di lapangan Prototipe lengkap telah didemonstrasikan pada lingkungan operasional Teknologi pascapanen telah siap untuk uji coba produksi skala <i>pilot plant</i> Prototipe teknologi pascapanen telah siap untuk didaftarkan paten
8	Sistem Telah Lengkap dan Handal Melalui Pengujian dan Demonstrasi dalam Lingkungan yang Sebenarnya. Model Telah Lengkap dan Handal Melalui Pengujian dan Demonstrasi dalam Lingkungan Sebenarnya	Bentuk, kesesuaian dan fungsi komponen telah kompatibel dengan sistem operasi Mesin dan peralatan telah diuji dalam lingkungan produksi Proses replikasi model telah dilakukan dalam skala pilot Uji proses replikasi menunjukkan hasil dan tingkat produktivitas yang layak Semua bahan/material dan peralatan tersedia untuk digunakan dalam produksi Sistem telah memenuhi standar mutu produk Teknologi pascapanen siap untuk produksi skala komersial

TKT	Tahapan Teknologi	Indikator Kesiapterapan
9	Sistem Benar Benar Teruji/Terbukti Melalui Keberhasilan Pengoperasian Model Pilot Benar-benar Teruji/Terbukti Melalui Keberhasilan Pengoperasian	Konsep operasional telah dapat diterapkan dalam sistem produksi komersial Perkiraan investasi teknologi pascapanen sudah dibuat Tidak ada perubahan desain yang signifikan Teknologi pascapanen telah teruji pada kondisi sebenarnya Kestabilan produk pascapanen telah teruji pada periode yang telah ditentukan Semua dokumentasi telah lengkap (termasuk dokumen hasil-hasil penelitian dan HKI) Prospek bisnis produk pascapanen telah dibuat

Sumber : Balitbangtan (2020)

Berdasarkan tahapan TKT (Tabel 1), kegiatan riset dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu (i) riset dasar (TKT 1, 2, 3), (ii) riset terapan (TKT 4, 5, 6), dan (iii) riset pengembangan (TKT 8, 7, 9) (Kemenristekdikti 2016). Namun demikian, pada praktiknya tidak sedikit teknologi yang dihasilkan langsung diintroduksi tanpa melalui evaluasi/pengukuran kesiapterapannya. Hal ini dapat terjadi karena (i) belum tersedianya fasilitas inkubator pengembangan teknologi, (ii) keterbatasan anggaran untuk melaksanakan proses pengembangan, dan/atau kebutuhan penerapan yang mendesak. Pada Tabel 1 terlihat bahwa indikator kesiapterapan teknologi yang diselaraskan dengan kebutuhan pengguna baru mulai diukur pada TKT 4. Ke depan perlu dipertimbangkan penambahan indikator kesiapterapan pada TKT 1, yaitu teridentifikasinya dengan baik kebutuhan pengguna sejak penyusunan proposal. Hal ini penting untuk menjamin kesesuaian

teknologi yang akan dihasilkan dengan kebutuhan pengguna dan pendekatan ilmiah yang akan dilakukan.

Sejumlah teknologi pascapanen yang telah diterapkan di masyarakat tidak dapat berkinerja baik secara berkelanjutan akibat kurangnya kolaborasi dengan instansi terkait. Sebagai contoh, pada kegiatan pengembangan pangan lokal mi ubi kayu dan beras analog ubi kayu (rasi) di Kampung Adat Cireundeu, Cimahi, Jawa Barat secara teknis teknologi pascapanen yang diintroduksi telah menghasilkan produk yang baik serta disukai masyarakat setempat dan juga wisatawan. Namun demikian, meningkatnya permintaan produk pangan olahan tersebut, kurang diikuti dukungan kerja sama yang erat dengan instansi yang menangani pengembangan areal bahan baku ubi kayu. Pada kondisi tersebut, industri pangan lokal yang dikembangkan tidak jarang berhenti berproduksi karena kekurangan bahan baku yang menyebabkan “idle”-nya unit proses pengolahan yang diintroduksi. Selain itu, kurangnya kerja sama dengan instansi yang kompeten dalam hal kelembagaan menyebabkan industri pangan lokal yang dibangun kurang berkembang pesat karena minimnya inovasi kelembagaan (Syamsuri et al. 2019).

Lambatnya adopsi teknologi pascapanen juga dapat disebabkan kurang tepatnya pendekatan hilirisasi yang ditempuh. Jika diadopsi oleh pengguna, suatu teknologi hasil invensi akan berujung pada inovasi di ranah publik atau *private*. Setiap teknologi yang dihasilkan memiliki karakteristik tersendiri yang dapat mencerminkan pendekatan hilirisasi yang harus ditempuh. Suatu produk invensi dengan muatan teknologi tinggi tentu saja memerlukan persyaratan-persyaratan khusus dalam masalisasinya, seperti kecukupan modal investasi awal, skala ekonomi produksi, sumber daya manusia berkualitas, jangkauan pasar, sehingga dapat berujung pada inovasi yang berkelanjutan. Teknologi seperti ini harus dikembangkan melalui pendekatan

ranah *private* atau dengan kata lain melalui kerja sama dengan industri pengguna teknologi dan/atau pengguna produk. Masalisasi teknologi/produk tersebut melalui pendekatan publik, dimana umumnya terdapat berbagai keterbatasan sumber daya, akan menghambat kecepatan adopsi dan transformasinya menjadi inovasi. Sebagai contoh, teknologi proses produksi kemasan ramah lingkungan, seperti biofoam dari jerami padi yang dikembangkan Balitbangtan, akan lebih cepat inovasinya jika difabrikasi melalui pendekatan ranah *private* (bukan publik), sekalipun bahan bakunya murah dan melimpah.

Menurut Munarso (2017) masalah lainnya terkait kinerja teknologi adalah tersumbatnya umpan balik (*feedback*) dari konsumen serta ketiadaan program dan anggaran untuk perbaikan teknologi (reinovasi). Umpan balik dari konsumen sangat diperlukan untuk mengukur kinerja sekaligus bahan perbaikan teknologi. Mekanisme umpan balik dimulai jika teknologi dicoba diterapkan dan dilakukan evaluasi terhadap kesesuaian mutu produk, penerimaan konsumen, efektivitas proses dan efisiensinya. Pada pratiknya seringkali lembaga riset merasa telah melepas teknologi, sementara itu penerima teknologi tidak mempunyai kemampuan untuk mengukur dan melakukan perbaikan, sedangkan pembina wilayah menganggap bahwa kinerja teknologi merupakan tanggung jawab penghasil teknologi.

ARAH KEBIJAKAN

Fakta menunjukkan bahwa industri pangan Indonesia didominasi oleh UMKM dan 70-80% bahan baku industri pangan tersebut dipenuhi dari impor. Pandemi COVID-19 telah memberikan pelajaran berharga bahwa pondasi industri pangan Indonesia masih rapuh yang ditandai anjloknya pertumbuhan industri pangan. Bercermin dari kondisi tersebut, upaya memperkuat industri pangan merespon dinamika pasar di era

pertanian modern berkelanjutan memerlukan kebijakan pengembangan industri pangan lokal berbasis UMKM disertai kebijakan-kebijakan pendukungnya. Kebijakan ini sejalan dengan arah kebijakan nasional dalam rangka pengelolaan sumber daya ekonomi seperti tertuang dalam dokumen RPJMN tahun 2020-2024 yang mencakup peningkatan ketersediaan, akses dan kualitas konsumsi pangan.

Pengembangan industri pangan lokal berbasis UMKM, sebaiknya diarahkan untuk (i) mengembangkan kluster industri, yaitu industri pangan (penanganan dan pengolahan) yang terintegrasi dengan sentra bahan baku dan sarana penunjangnya dalam kawasan skala ekonomi (kondisi ideal), (ii) mengembangkan industri pangan skala rumah tangga dan kecil yang didukung industri pangan skala menengah dan besar, dan (iii) mengembangkan industri pangan dengan daya saing tinggi untuk meningkatkan ekspor maupun pemenuhan kebutuhan dalam negeri. Pengembangan industri pangan lokal merupakan pilihan strategis untuk meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan, ketahanan pangan, penyediaan lapangan pekerjaan, serta mendorong pertumbuhan ekonomi wilayah. Upaya pengembangan industri pangan lokal tersebut perlu didukung kebijakan peningkatan produksi bahan baku pangan lokal, baik melalui ekstensifikasi maupun intensifikasi (peningkatan produktivitas).

Selanjutnya, seiring tuntutan preferensi konsumen dan dinamika pasar, beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mengembangkan industri pangan lokal berbasis UMKM, yaitu dengan melaksanakan upaya substitusi, diversifikasi dan diferensiasi, efisiensi, kolaborasi, korporasi, edukasi, dan digitalisasi. Salah satu pelajaran berharga dari Pandemi COVID-19 bagi industri pangan yaitu pentingnya memperkuat ketersediaan bahan baku industri dari sumber daya lokal. Banyak industri pangan yang pemenuhan bahan bakunya dari impor

mengalami keterpurukan. Substitusi bahan baku industri pangan asal impor dengan bahan baku dari sumber daya lokal merupakan langkah strategis untuk memperkuat pondasi rantai pasok industri pangan nasional. Untuk mendukung upaya substitusi bahan baku impor, peningkatan ketersediaan bahan baku industri yang diproduksi sektor hulu (pertanian) harus terus didorong. Demikian pula, pengembangan industri ekstraksi atau ingredien pangan dari bahan/sumber daya lokal untuk substitusi impor harus dilakukan. Kebijakan penetapan muatan lokal untuk pemasaran produk pangan setempat di gerai *retailer modern* mungkin dapat dipertimbangkan, mengingat aksesibilitas kios *retailer modern* yang cukup mudah bagi konsumen. Kebijakan ini juga melengkapi atau bisa dilengkapi dengan kebijakan pemasaran produk pangan lokal di area obyek wisata maupun di berbagai pusat keramaian (Munarso 2017).

Untuk dapat bersaing dalam skala nasional dan bahkan global, industri pangan lokal berbasis UMKM harus difasilitasi untuk melakukan diversifikasi dan diferensiasi produk. Pengembangan usaha pangan lokal harus diarahkan dan mampu menangkap sinyal dan potensi permintaan pasar dengan memperkuat akses terhadap permodalan. Upaya mengembangkan kemampuan dalam memilih komoditas yang tepat dalam kuantitas dan kualitas untuk memenuhi permintaan pasar pada saat yang tepat perlu dilakukan. Dalam upaya mencapai kondisi demikian, maka dukungan teknologi dan inovasi lainnya akan memegang peran krusial. Perlu *sense of pioneering* yang kuat dalam mengembangkan industri pangan lokal, sehingga produk yang dihasilkan terkesan baru, bukan meniru produk yang sudah beredar di pasar.

Industri pangan lokal tidak akan mampu berdaya saing atau kuat jika teknologi penanaman dan teknologi pengolahan yang digunakan tidak efisien. Upaya memacu efisiensi usaha dan peningkatan daya saing, hanya mungkin bila orientasi produksi pangan adalah pada pemenuhan pasar global. Untuk itu, orientasi

ekspor adalah sesuatu yang menjadi keharusan dalam proses produksi pangan lokal. Orientasi ekspor ini tidak hanya berkaitan dengan masalah devisa, namun yang paling pokok adalah persoalan daya saing. Bila produk yang dihasilkan dapat diterima di pasar global, dapat dipastikan masalah daya saing sudah jadi perhatian, dan efisiensi dalam pemanfaatan sumber daya juga dengan sendirinya akan terwujud (Mardiharini dan Jamal 2017). Perubahan paradigma *all you can eat* menjadi *all you can use* juga sangat diperlukan dalam pengembangan industri pangan lokal yang efisien dengan menerapkan konsep pengelolaan *zero waste*. Hal ini ditempuh melalui pemanfaatan hasil samping atau limbah menjadi produk pangan baru/lain yang berbeda dari produk pangan utama atau pun untuk produk/bahan produk bernilai jual tinggi. Penguatan industri pangan lokal perlu dilakukan dalam suatu kawasan pertanian yang memiliki keunggulan komparatif dan kompetitif dengan sepenuhnya memanfaatkan sumber daya lokal. Kebijakan fasilitasi yang mempermudah akses terhadap sumber daya lokal yang dibutuhkan industri pangan akan berdampak pada peningkatan efisiensi yang merupakan prasyarat daya saing.

Untuk meningkatkan efisiensi distribusi perdagangan/rantai pasok produk pangan lokal, strategi yang dapat dilakukan antara lain (i) penataan/pembinaan pelaku usaha melalui penguatan/inovasi kelembagaan petani, misalnya pengembangan korporasi, (ii) perbaikan infrastruktur untuk mengurangi biaya logistik, termasuk angkutan, (iii) mengembangkan sistem logistik nasional, (iv) mendorong pelaku usaha baru dan mengurangi monopolistik, serta (iv) pemanfaatan teknologi digital (digitalisasi) dalam perdagangan produk pangan lokal. Digitalisasi informasi dari produsen ke konsumen dan sebaliknya dapat meningkatkan transparansi harga dan nilai. Dengan demikian, kegiatan yang tidak memberi nilai tambah pada rantai pemasaran/perdagangan dapat dikurangi. Sebagai contoh,

perlunya digitalisasi informasi harga harian komoditas pangan di semua pasar yang mudah diakses melalui *smartphone*. Pengembangan atau pemanfaatan *direct outlet* produk pangan dari produser, seperti keberadaan toko tani atau pun *marketplace* diharapkan dapat mengefisienkan distribusi perdagangan/pemasaran.

Pengembangan industri pangan lokal berbasis UMKM perlu dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak, seperti pemerintah daerah, sektor swasta, kelompok tani, dan pihak terkait lainnya. Saat ini perhatian pemerintah terhadap pengembangan usaha berskala UMKM cukup besar, dimana program dan anggarannya tersebar di 17 Kementerian. Namun banyaknya lembaga yang terkait nampaknya belum cukup, tetapi lebih diperlukan adanya komitmen dan mekanisme yang saling menguntungkan (Munarso 2013). Oleh karena itu, kolaborasi dan sinergi merupakan keniscayaan. Secara nasional, perlu adanya program atau *pilot project* yang merupakan sinergi dari seluruh kementerian dan stakeholders terkait dalam pengembangan industri pangan lokal berbasis UMKM. Indonesia perlu menetapkan model pengembangan/penguatan industri pangan lokal di suatu negara yang berhasil sebagai *benchmark*, kemudian menyusun suatu roadmap dan mengimplementasikannya ke arah itu dengan melibatkan para pemangku kepentingan terkait dan bekerja sama dengan negara yang menjadi *benchmark* tersebut. Dalam konteks hulu hilir, industri pangan yang kuat memerlukan sistem pertanian yang tangguh, yaitu sistem pertanian yang mampu menyediakan bahan baku industri pangan secara berkesinambungan dengan kualitas memenuhi standar yang ditetapkan (Fagi 2017). Untuk meningkatkan daya saing global UMKM pangan lokal, perlu difasilitasi sinerginya dengan industri pangan multinasional. Kolaborasi *marketing* misalnya dapat diwujudkan dalam bentuk ekspor bersama antara produk

perusahaan pangan multinasional yang sudah terjamin dengan produk UMKM.

Penguatan industri pangan lokal berbasis UMKM tidak terlepas dari penguatan inovasi teknologi. Kegiatan penelitian dan pengembangan dengan output teknologi inovatif seharusnya merupakan kelanjutan dari apa yang dipikirkan dan dibutuhkan industri pangan atau para pelaku usaha, tentang jenis dan aspek komoditas yang dibutuhkan pasar. Oleh karena penyusunan program dan kegiatan penelitian pengembangan, khususnya pascapanen pertanian, harus diawali dengan kegiatan *market intelligence* kebutuhan produk dan teknologi inovatif, termasuk perlunya mengetahui informasi terkait spesifikasi bahan baku industri yang diimpor serta industri pengimpornya. Hal ini penting sebagai masukan dalam penyusunan target output/produk inovasi dan mitra risetnya. *Market intelligence* juga penting untuk mengetahui perkembangan standar dan regulasi yang terkait dengan produk atau teknologi inovatif yang akan dihasilkan.

Belajar dari pengalaman penerapan dan kinerja teknologi pascapanen selama ini dalam mendukung pengembangan industri pangan lokal, ke depan perlu didorong dan diarahkan kegiatan penelitian dan pengembangan dengan output teknologi pascapanen inovatif yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a. Sesuai dengan kebutuhan pengguna yang berorientasi pada pasar lokal, nasional, dan global (ekspor). Oleh karena itu, mutlak harus dimiliki penguasaan teknologi penanganan hasil panen, pengolahan, pengemasan, penyimpanan, serta teknologi informasi yang terkait.
- b. Berbasis sumber daya lokal sehingga keunggulan komparatif yang dimiliki dapat dioptimalkan, untuk diubah menjadi keunggulan kompetitif. Oleh karena itu, sumber daya

unggulan daerah yang telah ditetapkan harus ditransformasikan menjadi produk yang kompetitif.

- c. Mampu menghasilkan keragaman produk dan usaha yang besar secara efisien sehingga mendorong pertumbuhan ekonomi wilayah. Teknologi Pascapanen yang dikembangkan tidak hanya untuk memproduksi produk pangan utama yang aman, bergizi, fungsional, berkemasan inovatif dan memiliki umur simpan yang sesuai target pasar, tetapi juga untuk pemanfaatan hasil samping menjadi produk pangan lain ataupun nonpangan yang memiliki nilai tambah dan membuka peluang usaha baru.
- d. Modern dan mampu dikuasai oleh sumber daya manusia (SDM) setempat (lokal), sehingga mendorong pengembangan SDM unggul yang mampu menghasilkan inovasi tepat terap dan tepat sasaran.
- e. Memiliki kelayakan tekno-ekonomi, sosial dan lingkungan

Peran strategis teknologi hanya dapat terwujud jika teknologi inovatif secara luas menyebar dan diadopsi (Wulandari et al. 2011). Hal ini membutuhkan strategi diseminasi yang efektif dan efisien. Sudah saatnya, pada setiap akhir kegiatan penelitian dan pengembangan dilakukan pengukuran dan penetapan tingkat kesiapterapannya. Demikian pula, setiap output teknologi yang dihasilkan harus dapat diidentifikasi karakteristiknya apakah akan didiseminasikan melalui pendekatan *public* atau *private domain*. Informasi tersebut diharapkan dapat mendorong percepatan diseminasi yang terarah dan adopsi yang diharapkan.

PENUTUP

Industri pangan yang dikembangkan dalam upaya pencapaian kesejahteraan petani atau masyarakat belum sepenuhnya kokoh dan berkinerja dengan baik, khususnya di masa pandemi COVID-

19. Demikian pula, perubahan pola konsumsi, tren permintaan pangan dan dinamika pasar perlu direspon dengan baik. Jika tidak ada upaya-upaya khusus merespon dinamika yang terjadi, kondisi pelemahan pertumbuhan industri pangan akan berlangsung lama. Oleh karena itu, pemerintah, Balitbangtan, dan industri pangan perlu menarik pelajaran dari berbagai kondisi/ dinamika tersebut. Pelajaran ini penting untuk dapat memperkuat industri pangan ke depannya, sehingga dapat berkinerja lebih baik, terutama jika harus berhadapan dengan kondisi pandemi atau kondisi darurat sejenis di masa depan.

Kebijakan pengembangan industri pangan lokal berbasis UMKM yang didukung peningkatan produksi bahan baku pangan lokal secara berkelanjutan merupakan keniscayaan. Industri pangan modern dicirikan oleh adanya inovasi-inovasi yang bersifat dinamis sesuai dengan tantangan yang dihadapi. Untuk itu, industri pangan lokal berbasis UMKM harus melakukan upaya substitusi, diversifikasi dan diferensiasi, efisiensi, kolaborasi, korporasi, edukasi, dan digitalisasi.

Penguatan industri pangan modern harus didukung oleh penciptaan invensi dan inovasi antisipatif yang berpandangan masa depan. Jika hasil penelitian dan pengembangan pertanian harus berorientasi pada pasar, maka kegiatan penelitian dan pengembangan pascapanen pertanian sejatinya dapat menjadi acuan dan didukung oleh kegiatan penelitian dan pengembangan komoditas di hulu, sehingga terjadi sinergi yang terpadu. Kegiatan penelitian dan pengembangan pertanian yang berorientasi pada dinamika pasar seharusnya merupakan suatu kegiatan bersama yang diorkestra oleh Badan Litbang Pertanian. Untuk itu, gagasan *flagship* Riset Inovatif Kolaboratif yang dicanangkan Badan Litbang Pertanian, merupakan langkah tepat dan harus didukung implementasinya. Pendekatan *pentahelix innovation* (pemerintah, akademisi, komunitas, bisnis, dan media massa) dapat menjadi salah satu alternatif yang dapat ditempuh

Badan Litbang Pertanian dalam pelaksanaan kerja sama penelitian dan pengembangan untuk menghasilkan *output* dan *outcome* inovatif secara efisien,

DAFTAR PUSTAKA

- Aday, S. dan M.S. Aday. "Impacts of COVID-19 on Food Supply Chain". dalam *Food Quality and Safety*, 4(4). 2020.
- Anonimous. 2020. "Food Industry". *New World Encyclopedia*, dilihat 17 September 2020. https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Food_industry.
- Ayseli, Y.I., N. Aytekin, D. Buyukkayhan, I. Aslan, dan M.T. Ayseli. "Food policy, nutrition and nutraceuticals in the prevention and management of COVID-19: Advice for healthcare professionals". dalam *Trends in Food Science & Technology*, 105:186–199. 2020.
- Balitbangtan. 2020. *Petunjuk Teknis Operasionalisasi Aplikasi TKT Online Balitbangtan*. Jakarta: IAARD Press.
- BPS. 2020. "Pola Distribusi Perdagangan Komoditas Strategis". dalam *Berita Resmi Statistik* No. 05/01/Th XXIII. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Cairns, A., P. Lopez, dan A. Felde. 2018. "Consumption Behavior and Trends: Understanding the shift required towards healthy, sustainable and enjoyable diet". dalam *FreSH Insight Report*. Geneva: World Business Council for Sustainable Development.
- Chatterjee, A. dan J. Abraham. 2018. *Chapter 2 - Microbial Contamination, Prevention, and Early Detection in Food Industry*. dalam A. M. Holban dan A. M. B. T. Grumezescu (ed.). *Handbook of Food Bioengineering*, h. 21–47. Cambridge: Academic Press.

- Eftimov, T., G. Popovski, M. Petković, B.K. Seljak, dan D. Kocev. "COVID-19 pandemic changes the food consumption patterns". dalam *Trends in Food Science & Technology*, 104:268–272. 2020.
- Fagi, A.M. 2017. "Inovasi Mewujudkan Agribisnis Komoditas Pangan di Pedesaan". dalam E. Pasandaran, M. Syakir, R. Heriawan, dan M. P. Yufdy (ed.), *Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan*. Jakarta: IAARD Press.
- FAO. 2018. *Sustainable food systems. Concept and framework*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Hamdani, T. 2020. "Corona Hantam Industri Makanan dan Minuman, Ini Datanya". *Detik.Com*, dilihat 18 September 2020. <https://finance.detik.com/industri/d-4993012/corona-hantam-industri-makanan-dan-minuman-ini-datanya>.
- Hariyadi, P. dan R. Dewanti-Hariyadi. "Covid-19 dan Keamanan Pangan: Sepuluh Pelajaran untuk Industri Pangan". dalam *FoodReview Indonesia*, XV(5): 21–27. 2020.
- Hoerudin. "Indeks Glikemik Buah dan Implikasinya dalam Pengendalian Kadar Glukosa Darah". dalam *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 8(2):80–98. 2012.
- Iqbal, J., Z.H. Khan, dan A. Khalid. "Prospects of robotics in food industry". dalam *Food Science and Technology (Campinas)*, 37:159–165. 2017.
- Kemenperin. 2018. "Indonesia's Fourth Industrial Revolution-Making Indonesia 4.0", dilihat 16 Juni 2020. <https://www.kemenperin.go.id/download>.
- Kemenristekdikti. 2016. "Pedoman Umum Pengukuran dan Penetapan TKT". dalam *Lampiran Permenristekdikti Nomor 42 Tahun 2016*.

- Laguna, L., S. Fiszman, P. Puerta, C. Chaya, dan A. Tárrega. "The impact of COVID-19 lockdown on food priorities. Results from a preliminary study using social media and an online survey with Spanish consumers". dalam *Food Quality and Preference*, 86: 104028. 2020.
- Mardiharini, M. dan E. Jamal. 2017. "Menuju Pembangunan Pertanian Modern". dalam E. Pasandaran, M. Syakir, R. Heriawan, & M. P. Yufdy (ed.), *Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan*. Jakarta: IAARD Press.
- Mohan, S.V., M. Hemalatha, H. Kopperi, I. Ranjith, dan Kumar, A. K. "SARS-CoV-2 in environmental perspective: Occurrence, persistence, surveillance, inactivation and challenges". dalam *Chemical Engineering Journal*, 405:126893. 2021.
- Munarso, S.J. 2013. "Dukungan Teknologi Pengolahan dalam Percepatan Diversifikasi Pangan". dalam *Buku Diversifikasi Pangan*. Jakarta: Badan Litbang Pertanian.
- Munarso, S.J. 2017. "Mencermati Kinerja Teknologi Pengolahan dalam Pengembangan Agroindustri". dalam E. Pasandaran, M. Syakir, R. Heriawan, & M. P. Yufdy (ed.), *Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan*. Jakarta: IAARD Press.
- Munarso, S.J. 2020. "Prospek Pengembangan Usaha Pengolahan Pangan Lokal Pasca COVID-19". Makalah pada Sharing Hasil Penelitian dan Kajian Kebijakan Reorientasi Usaha Kecil dan Mengah Menuju Tatanan Baru Industri Pangan Pasca Pandemi COVID-19 16 Juni 2020. Jakarta: Universitas Sahid Jakarta.
- Mustijab, N.R. "Industri Pangan Menghadapi Era Disrupsi". dalam *FoodReview Indonesia*, XIV(11):25–27. 2019.
- Novika, S. 2020. "Skenario Terburuk Dampak Corona ke Bisnis Makanan". *Detik.Com*, dilihat 18 September 2020. <https://finance.detik.com/industri/d-5022722/skenario-terburuk-dampak-corona-ke-bisnis-makanan>

- Nzomoi, J.N., J.K. Byaruhanga, H.K. Maritim, dan P.I. Omboto. "Determinants of Technology Adoption in the Production of Horticultural Export Produce in Kenya". dalam *African Journal of Business Management*, 1(5):129–135. 2007.
- Olayanju, J.B. 2019. "Top Trends Driving Change in The Food Industry". Forbes, dilihat 18 September 2020. <https://www.forbes.com/sites/juliabolayanju/2019/02/16/top-trends-driving-change-in-the-food-industry/?sh=588d74d86063>.
- Sadiku, M., S. Musa, dan T.J. Ashaolu. "Food Industry: An Introduction". dalam *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3:128–130. 2019.
- Soewono, L. 2005. "Pemanfaatan Teknologi Pascapanen Dalam Pengembangan Agroindustri". dalam S. J. Munarso, S. Prabawati, Abubakar, Setyadjit, Risfaheri, F. Kusnandar, dan F. Suaib (ed.), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pascapanen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian*. Bogor: Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian.
- Suhud, R. 2020. "Pertumbuhan Industri Makanan Minuman Dipacu". *Mediaindonesia.Com*, dilihat 18 September 2020. <https://mediaindonesia.com/read/detail/285848-pertumbuhan-industri-makanan-minuman-dipacu>
- Syamsuri, P., Abubakar, Hoerudin, N. Richana, S. Usmiati, Miskiyah, A.B. Arief, A. Budiyanto, C. Winarti, S. Yuliani, P. Luna, S. Widowati, H. Herawati, T. Hidayat, S.I. Kailaku, M. Hayuningtyas, dan T.K.S. Mahardika. 2019. "Analisa Kebijakan Inovasi Teknologi Pascapanen Pertanian". Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. (Tidak diterbitkan).

- Tan, W., X. Zhao, X. Ma, W. Wang, P. Niu, W. Xu, G.F. Gao, dan G. Wu. "A Novel Coronavirus Genome Identified in a Cluster of Pneumonia Cases — Wuhan, China 2019–2020". dalam *China CDC Weekly*, 2(4):61–62. 2020.
- Widowati, S. 2014. "Pengembangan Beras dengan Indeks Glikemik Rendah untuk Diet bagi Penderita Diabetes Mellitus". Makalah pada Anugerah Kekayaan Ilmiah Luar Biasa 15 Oktober 2014. Jakarta: Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi.
- Wulandari, S., E. Eriyatno, M.S. Rusli, dan B.S. Kusmuljono. "Model Proses Adopsi Teknologi di AgroIndustri Lada dengan Fuzzy Inference System". dalam *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 2:145–153. 2011.

MENUJU POLA KONSUMSI PANGAN DI ERA PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Sri Hastuti Suhartini^{a1}, Mewa Ariani^{b2}, Achmad Suryana^{c3}

a,b,c Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian

1,2,3 Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Mengonsumsi makanan tidak hanya sekedar menghilangkan rasa lapar, namun mempunyai fungsi lain selain yang terkait dengan aspek gizi dan kesehatan serta sosial budaya yang terjadi di dalam masyarakat. Hal ini akan berdampak pada apa, kapan dan jenis makanan yang akan dimakan oleh seseorang, yang lambat laun akan menjadi pola kebiasaan makan di dalam suatu wilayah. Menurut Nurti (2017) kebiasaan makan sebagai suatu bentuk tingkah laku berpola yang sangat terkait dengan kebudayaan, yang mencakup kepercayaan dan pantangan makan yang berkembang dalam sekelompok masyarakat, serta faktor lingkungan sebagai sumber perolehan bahan pangan yang utama. Secara lebih detail Maligan (2013) menyebutkan bahwa pola makan seseorang dipengaruhi oleh preferensi individu, rasa lapar dan nafsu makan, kesehatan, budaya, agama dan status ekonomi dan sosial.

Walaupun banyak faktor yang membentuk pola kebiasaan makan, namun faktor utama yang muncul sebagai pertimbangan dalam menentukan pilihan makanan dapat berubah sesuai perubahan waktu dan kondisi tertentu. Hal ini dapat dilihat dari pola pangan masyarakat pada abad 1900an, jenis pangan pokok yang dikonsumsi masyarakat sesuai dengan yang dihasilkan di wilayahnya sebagai konsekuensi model pertanian subsisten yang berkembang pada masa tersebut. Kemudian, perubahan jaman ditunjukkan dengan adanya globalisasi yang berkembang pesat pada awal abad ke-20, yang ditandai dengan ditemukan teknologi komunikasi, informasi dan transportasi. Penggunaan internet dan telepon genggam (*handphone/HP*) dengan segala fasilitasnya telah berkembang pesat tidak hanya di perkotaan namun juga perdesaan. Sebagai gambaran, pada Statistik Pemuda tahun 2018, sekitar 87,44 persen pemuda telah memiliki HP, namun yang menggunakannya lebih besar lagi yaitu 93,02% (BPS, 2018a) dan petani yang menggunakan internet sebesar 13,4% (BPS, 2018b).

Globalisasi berdampak pada semua sendi kehidupan masyarakat. Nurhaidah dan Musa (2015), dampak globalisasi di Indonesia ada yang positif dan negatif dalam kehidupan bangsa Indonesia. Dampak positif diantaranya adalah pergeseran nilai dan sikap masyarakat yang semula dominan irasional menjadi rasional; ilmu pengetahuan dan teknologi lebih mudah diakses, berpikir lebih maju dan kehidupan masyarakat lebih sejahtera dengan dibukanya industri di berbagai bidang. Dampak negatifnya adalah dengan melimpahnya barang dengan berbagai pilihan, masyarakat menjadi bersifat konsumtif, sikap individualistik dan gaya hidup kebarat-baratan. Harara (2016), masyarakat yang konsumtif adalah masyarakat yang eksistensinya dilihat hanya dengan perbedaan komoditas yang dikonsumsi. Eksistensinya dijalankan dan dipertahankan hanya dengan semakin dan terus meneruskannya mengkonsumsi.

Situasi dunia sejak tahun 2000-an ditandai dengan isu penipisan sumber daya alam, kerusakan lingkungan, perubahan iklim, perlindungan sosial, ketahanan pangan dan energi, serta pembangunan yang lebih berpihak pada kaum miskin maka diluncurkan konsep pembangunan baru dunia yang disebut *Sustainable Development Goals* (SDGs). Penekanan dalam konsep ini adalah pembangunan berkelanjutan melalui 17 target utama, diantaranya adalah target nomor 12 yaitu *production and consumption responsible*. Target ini menekankan dalam memproduksi barang dan jasa serta mengonsumsi makanan dilakukan secara bertanggung jawab dengan prinsip tidak merusak sumber daya alam agar dapat dimanfaatkan oleh generasi mendatang secara berkelanjutan. Indonesia sebagai salah satu negara yang berkomitmen mengimplementasikan setiap target yang tertuang dalam SDGs dengan menerbitkan Peraturan Presiden No. 59 tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Pada awal tahun 2020 terjadi pandemi Covid-19 secara global termasuk Indonesia, oleh karena itu pemerintah mengeluarkan kebijakan untuk menghentikan/menghambat proses penyebaran Covid-19 yang salah satunya dengan menjaga jarak satu sama lain (*physical distancing*) dengan membatasi transportasi umum, belajar dan bekerja di rumah, dan banyak kegiatan lainnya. Tidak semua pasar swalayan diperbolehkan buka seperti semula, demikian pula restoran dan rumah makan hanya boleh menjual makanan yang dibawa pulang. Pembatasan-pembatasan tersebut dituangkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 21 Tahun 2020 tentang Pembatasan Sosial Berskala Besar Dalam Rangka Percepatan Penanganan *Corona Virus Disease* 2019 (Covid-19) yang ditandatangani pada 31 Maret 2020 (https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176085/PP_Nomor_21_Tahun_2020.pdf).

Perubahan zaman dan peristiwa seperti yang diungkap di atas tidak hanya mengubah kehidupan masyarakat namun diyakini

juga mengubah gaya makan (*eating style*). Disisi lain penekanan pembangunan pertanian modern berkelanjutan diarahkan agar proses produksi pangan yang dikonsumsi oleh masyarakat tidak merusak sumberdaya lingkungan dengan berbasis modernisasi. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk menganalisis perubahan konsumsi masyarakat akibat pengaruh globalisasi dan pandemi Covid-19. Dengan mengetahui pola perubahan tersebut dapat disusun alternatif kebijakan konsumsi pangan ke depan dengan memperhatikan modernisasi dan aspek lingkungan sehingga diharapkan akan terbangun pola produksi dengan menggunakan teknologi modern namun sekaligus juga memperhatikan aspek lingkungan.

PERUBAHAN POLA KONSUMSI PANGAN MASYARAKAT

Pada era modern yang diikuti dengan keterbukaan informasi, teknologi dan perdagangan mengakibatkan tidak ada batas-batas antar Negara sehingga produk barang, jasa dan informasi akan dengan mudah diperoleh di Indonesia. Demikian pula pengembangan industri untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi juga terus terjadi. Kesemuanya tersebut merubah pola kehidupan masyarakat yang ditandai dengan perubahan pola kebiasaan makan rumah tangga dan anak-anak terutama para remaja. Pola makan global berubah secara cepat seiring dengan adanya globalisasi, peningkatan urbanisasi dan pendapatan, seseorang mengalami perubahan lingkungan baru dalam hal makan, memperbanyak pilihan makanan serta mendiversifikasikan pola makanannya kearah positif dan negatif.

Liberalisasi perdagangan mengakibatkan tumbuhnya pasar modern yang menjual aneka makanan dan minuman khas luar negeri dengan berbagai jenis, rasa dan harga. Selain itu juga tumbuh dengan pesat aneka jenis makanan siap saji (*fast food*)

dengan berbagai merk dan produk makanan serta beragam restoran yang ditata apik dan menarik. Di sisi lain, dengan terbukanya kesempatan kerja, peningkatan pendidikan wanita dan tuntutan ekonomi rumah tangga mengharuskan wanita turut serta berkontribusi untuk membantu keuangan rumah tangga. Peningkatan pendidikan orang tua dan pendapatan keluarga juga dapat meningkatkan kesadaran untuk mengonsumsi makanan yang menyehatkan. Demikian pula pandemi Corona-19 yang diikuti dengan berbagai peraturan juga berdampak pada pola kebiasaan makan masyarakat. Beberapa kemungkinan dampak dari globalisasi dan pandemi covid-19 terhadap perubahan pola kebiasaan makan akan diuraikan lebih lanjut.

Mengonsumsi Makanan Jadi dan Pangan Lokal

Perubahan pola kebiasaan makan dapat dilihat dari pangsa pengeluaran pangan dan tingkat partisipasi konsumsi makanan. Dari hasil Survei Sosial Ekonomi Pertanian (Susenas) yang dilakukan BPS, dalam kurun waktu 10 tahun terakhir telah terjadi perubahan pangsa pengeluaran pangan dan pangsa pengeluaran kelompok pangan (Tabel 22). Pangsa pengeluaran pangan adalah rasio pengeluaran untuk belanja pangan terhadap pengeluaran total. Pangsa pengeluaran pangan mencerminkan ketahanan pangan rumah tangga, ketahanan pangan mempunyai hubungan yang negatif dengan pangsa pengeluaran pangan (Rachman dan Ariani, 2002). Jika dibandingkan dengan total pengeluarannya, pada tahun 1999 diketahui bahwa penduduk lebih banyak mengalokasikan pengeluarannya untuk kebutuhan makanan dibandingkan bukan makanan. Sebaliknya terjadi pada tahun 2019, dimana alokasi pengeluaran bukan makanan lebih banyak dibandingkan makanan. Pangsa pengeluaran pangan tersebut mengalami penurunan dari 62,94% pada tahun 1999 menjadi 49,14% pada tahun 2019. Pada tahun 2019, pangsa pengeluaran

pangan di perdesaan (55,59%) lebih tinggi dibandingkan di perkotaan (45,90%). Hal ini mengindikasikan bahwa secara umum ketahanan penduduk semakin meningkat, dan ketahanan penduduk perkotaan lebih baik dibandingkan penduduk perdesaan.

Tabel 22. Perubahan Pangsa Pengeluaran Pangan Menurut Kelompok Pangan, 1999-2019

Kelompok Pangan	1999	2005	2010	2015	2019
Padi-padian	16,78	8,54	8,89	7,7	5,57
Umbi-umbian	0,78	0,58	0,49	0,51	0,51
Ikan	5,58	4,66	4,34	3,69	3,89
Daging	2,29	2,44	2,10	2,08	2,13
Telur dan susu	2,91	3,12	3,20	3,06	2,78
Sayur-sayuran	6,23	4,05	3,84	3,15	3,25
Kacang-kacangan	2,33	1,70	1,49	1,15	0,97
Buah-buahan	2,07	2,16	2,49	2,32	2,36
Minyak dan lemak	3,04	1,93	1,92	1,51	1,13
Bahan minuman	3,12	2,23	2,26	1,7	1,44
Bumbu-bumbuan	1,65	1,33	1,09	0,96	0,93
Konsumsi lainnya	1,29	1,34	1,29	1,04	0,86
Makanan dan minuman jadi	9,53	11,44	12,79	12,66	17,26
Tembakau dan sirih	5,33	6,18	5,25	5,94	6,05
% pengeluaran makan	62,94	51,37	51,43	47,47	49,14

Sumber: BPS (diolah)

Dengan perubahan pangsa pengeluaran pangan juga dapat dikatakan telah terjadi peningkatan kesejahteraan masyarakat. Diiringi dengan adanya perubahan lingkungan yang lain, pola makan masyarakat juga mengalami perubahan yang ditunjukkan dengan penurunan pada kelompok padi-padian, sebaliknya

peningkatan untuk kelompok makanan/minuman jadi. Pangsa pengeluaran padi-padian menurun dari 16,8% (1999) menjadi 5,6% (2019), sedangkan pangsa pengeluaran makanan jadi pada periode yang sama, dari 9,5% menjadi 17,3%. Proporsi pengeluaran makanan jadi mencapai hampir tiga kali lipat proporsi pengeluaran kelompok padi-padian. Pergeseran ini juga dimaknai terjadi pergeseran dari pola masak di rumah menjadi dominan membeli makanan jadi untuk dimakan di rumah.

Pada Tabel 23 dapat dilihat pangsa pengeluaran per kapita per bulan menurut kelompok pangan dan kelompok pengeluaran pada tahun 2019. Penduduk dikelompokkan ke dalam lima kelompok yang sama besar setelah diurutkan mulai pengeluaran yang terkecil (kuintil 1) hingga terbesar (kuintil 5). Semakin tinggi kuintil pengeluaran menunjukkan semakin sejahtera. Berdasarkan data pada Tabel 23, menunjukkan bahwa semakin sejahtera rumah tangga maka pangsa pengeluaran beberapa kelompok pangan semakin kecil yaitu kelompok padi-padian, sayur-sayuran, minyak dan kelapa, bahan minuman, bumbu dan bahan lainnya. Sebaliknya, dengan meningkatnya status ekonomi tersebut, maka pangsa pengeluaran beberapa kelompok pangan semakin besar yaitu pada kelompok ikan, daging, telur dan susu, serta makanan dan minuman jadi. Makanan dan minuman jadi dikonsumsi oleh semua penduduk, di semua kuintil pengeluaran dengan proporsi pengeluaran yang paling besar. Penduduk pada kuintil pertama menghabiskan lebih dari seperempat dari total pengeluaran makanan (26,67%) untuk makanan dan minuman jadi, sedangkan penduduk pada kuintil kelima, proporsi pengeluarannya mencapai 41,7 persen.

Tabel 23. Pangsa Pengeluaran per Kapita per Bulan Menurut Kelompok Pangan dan Kelompok Pengeluaran, 2019 (%)

No.	Kelompok pangan	Kelompok pengeluaran				
		I	II	III	IV	V
1	Padi-padian	21,5	15,9	12,8	10,4	6,8
2	Umbi-umbian	1,2	1,0	1,0	1,1	1,0
3	Ikan/ Udang/ Cumi/ Kerang	6,9	7,7	8,1	8,1	8,0
4	Daging	2,7	3,3	3,8	4,4	5,4
5	Telur dan Susu	4,6	4,8	5,2	5,7	6,4
6	Sayur-sayuran	8,2	7,7	7,2	6,6	5,5
7	Kacang-kacangan	2,7	2,4	2,2	2,0	1,5
8	Buah-buahan	3,1	3,7	4,1	4,8	6,0
9	Minyak dan Kelapa	3,2	2,9	2,6	2,3	1,7
10	Bahan Minuman	4,2	3,6	3,2	2,9	2,3
11	Bumbu+bahan makan lainnya	4,1	4,1	3,9	3,7	3,1
12	Makanan dan Minuman Jadi	26,6	29,7	32,0	34,1	41,7
13	Rokok dan Tembakau	10,9	13,1	14,0	13,9	10,5

Keterangan: Pengeluaran rumah tangga dikelompokkan menjadi lima (kuintil), (I= 20% terbawah dan V= 20% teratas) Sumber: BPS (diolah)

Tingkat partisipasi konsumsi menunjukkan banyaknya rumah tangga yang mengonsumsi suatu komoditas atau kelompok komoditas makanan. Kelompok padi-padian serta kelompok makanan dan minuman jadi mempunyai tingkat partisipasi konsumsi tertinggi, berkisar antara 97%-99% (Tabel 24). Sejalan dengan pembahasan pangsa pengeluaran pangan, tingkat partisipasi kelompok padi-padian mengalami penurunan sedangkan tingkat partisipasi konsumsi kelompok makanan jadi mengalami peningkatan. Pada tahun 2019, tingkat partisipasi kelompok makanan jadi mencapai 99,21%. Artinya hampir seluruh rumah tangga mengonsumsi makanan dan minuman jadi. Angka tersebut merupakan yang tertinggi, bahkan lebih tinggi dibandingkan tingkat partisipasi konsumsi padi-padian (97,01%).

Dari kelompok komoditas makanan dan minuman jadi, makanan gorengan memiliki tingkat partisipasi konsumsi tertinggi (Tabel 25). Pada tahun 2019 sebanyak 82,5% rumah tangga mengonsumsi makanan gorengan, meningkat dari 74,4% pada tahun 2016. Sementara itu dari kelompok komoditas padi-padian, beraslah yang tingkat partisipasi konsumsinya tertinggi sebesar 96,8% (2019) menurun dari 97,1% (2016). Meskipun sampai sekarang masih menjadi makanan pokok penduduk Indonesia, tetapi konsumsi beras cenderung mengalami penurunan. Beberapa jenis makanan yang mengalami peningkatan partisipasi diantaranya tepung terigu, nasi campur, mie bakso, ayam/daging matang dan minuman jadi.

Table 24. Perubahan Tingkat Partisipasi Konsumsi Menurut Kelompok Makanan, 2016 dan 2019

Kelompok pangan	Tingkat partisipasi (%)	
	2016	2019
Padi-padian	97,20	97,01
Umbi-umbian	44,97	50,42
Ikan/udang/cumi/kerang	85,48	86,81
Daging	51,54	58,47
Telur dan susu	87,02	91,12
Sayur-sayuran	94,97	94,43
Kacang-kacangan	81,53	84,31
Buah-buahan	71,44	84,27
Minyak dan kelapa	95,66	95,41
Bahan minuman	95,13	95,57
Bumbu-bumbuan	95,70	95,67
Konsumsi lainnya	75,42	78,81
Makanan dan minuman jadi	97,33	99,21
Rokok dan tembakau	63,93	63,11

Sumber: BPS (2016 dan 2019)

Tabel 25. Perubahan Tingkat Partisipasi Konsumsi Menurut Kelompok Makanan, 2016 dan 2019

Jenis makanan	Tingkat partisipasi (%)	
	2016	2019
Beras	97,11	96,82
Jagung pipilan kering	4,36	4,56
Tepung terigu	28,51	34,03
Ketela pohon	18,31	21,55
Ketela rambat	12,04	12,25
Gaplek	0,62	0,48
Mie instan	72,43	72,74
Makanan gorengan	74,37	82,50
Nasi campur	37,34	49,13
Mie bakso, mie rebus, mie goreng	58,88	66,49
Ayam/daging matang	19,35	25,98
Minuman jadi	49,55	56,89
Rokok dan tembakau	63,93	63,11

Sumber: BPS (2016 dan 2019)

Pada beberapa tahun yang lalu, konsumsi pangan lokal seperti umbi-umbian dan jagung mengalami penurunan dari tahun ke tahun, sebagai contoh untuk ubikayu dari 9,6 kg/kapita pada tahun 2009 menjadi 6,8 kg/kapita pada tahun 2013. Demikian pula pada periode yang sama untuk jagung, dari 2,2 kg/kapita menjadi 1,6 kg/kapita. Tingkat konsumsi ubijalar dan sagu sangat kecil hanya 0,4 kg/kapita per tahun dan relatif tetap dari tahun ke tahun (BKP 2014). Kementerian Pertanian terus berupaya untuk meningkatkan konsumsi pangan lokal melalui pengolahan makanan pokok yang berbasis tepung, diantaranya program Model Pengembangan Pangan Pokok Lokal (MP3L) yang saat ini menjadi Pengembangan Industri Pangan Lokal (PIPL). Disisi lain, pemerintah juga menggerakkan Industri Makanan dan Minuman

(IKM) untuk menghasilkan berbagai produk olahan termasuk pangan lokal. Data BPS, pertumbuhan industri makanan pada Industri Besar-Sedang (IBS) sebesar 7,4% lebih tinggi dibandingkan industri manufaktur. Berbagai terobosan tersebut berdampak positif pada peningkatan tingkat partisipasi konsumsi pangan lokal seperti pada Tabel 25. Makanan lokal yang umumnya dikonsumsi dengan pengolahan sederhana seperti direbus atau digoreng, berubah dalam bentuk keripik atau yang lainnya. Walaupun demikian, partisipasi makanan lokal masih rendah dibandingkan dengan makanan berbasis gandum seperti tepung terigu, mi instan.

Mengonsumsi Makanan Asing dan Perilaku Makan di Luar Rumah

Mengonsumsi makanan tidak hanya semata-mata untuk menghilangkan rasa lapar namun juga bertujuan meningkatkan keeratan hubungan diantara anggota keluarga dan *leisure* memanfaatkan waktu luang dengan bertemu teman atau kerabat. Perubahan ini terjadi sejalan dengan maraknya waralaba asing yang menyajikan berbagai jenis makanan. Menurut Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri Kementerian Perdagangan (2017) di Indonesia terdapat 700 jenis waralaba dengan 25.000 gerai yang tersebar di Indonesia. Dari jumlah tersebut 63 persen merupakan waralaba lokal dan sisanya asing. Apalagi dengan adanya peraturan Menteri Perdagangan yang baru melalui Peraturan Menteri Perdagangan (Permendag) No 71/2019 tentang Penyelenggaraan Waralaba, yang tidak membatasi jumlah gerai baik gerai ritel maupun gerai makanan atau minuman dan tidak mewajibkan tingkat komponen dalam negeri (TKDN) hanya himbauan untuk menggunakan komponen dalam negeri. Peraturan sebelumnya pemilik gerai makanan hanya boleh

memiliki maksimal 250 gerai dan toko modern dibatasi maksimal 150 gerai serta TKDN sebesar 80%.

Waralaba asing ini menyediakan makanan dan minuman yang dikenal dengan *fast food* (makanan siap saji) atau kadang-kadang disebut *junk food* (makanan tidak bergizi/sampah) yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Jenis *fast food* diantaranya adalah KFC dan CFC yang menyediakan makanan berbasis ayam goreng, Pizza Hut, Paparon's Pizza, Domino's Pizza berbasis terigu dan StarBuck yang menyajikan minuman kopi yang menjadi ciri khasnya. Makanan dan minuman yang disajikan di gerai tersebut adalah makanan/minuman yang dapat disiapkan dengan cepat, praktis dalam penyajian, kebersihan dan kehalalan terjamin. Selain itu faktor kenyamanan gerai termasuk yang ada di supermarket dan toko swalayan dengan ruangan ber AC dan menyediakan internet dengan WIFI.

Maraknya gerai ini mempengaruhi kebiasaan makan terutama para remaja, yang sebelumnya banyak makan di dalam rumah bersama keluarga berubah kebiasaan makan di luar rumah bersama dengan teman-temannya. Kecenderungan pola makan dari makanan tradisional ke makanan impor (modern) terlihat pada masyarakat perkotaan, khususnya di kalangan remaja (Hadi, 2005). Banyak faktor yang mempengaruhi rumah tangga dan remaja mengonsumsi makanan *fast food* seperti faktor kondisi sosial ekonomi orang tua, pengaruh lingkungan terutama teman dan karakteristik makanan *fast food* itu sendiri. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nondzor dan Tawiah (2015) menyimpulkan bahwa pertumbuhan makanan cepat sebagai akibat dari pengaruh urbanisasi, orang-orang yang bekerja seharian, tumbuh minat dalam makanan eksotis, iklan, ketersediaan bangunan komersial dan peningkatan pendapatan. Konsumen tidak menganggap makanan siap saji merupakan makanan yang tidak sehat, mahal dan terlalu asing, namun beranggapan makanan yang lezat,

nyaman, hemat waktu, cocok untuk bersenang-senang dan mengekspos mereka ke lingkungan yang menyenangkan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Qraved pada 13.890 responden di Jakarta menyimpulkan bahwa 92% responden menyadari kalau *fast food* tidak memiliki nilai gizi dan manfaat bagi tubuh, tapi mereka terus mengonsumsi makanan tersebut karena praktis dan mudah untuk mendapatkannya, rasanya enak dan kesibukan kerja mereka. Bahkan 52% responden di Jakarta menjadikan *fast food* sebagai alternatif makanan untuk sarapan pagi (Indriani, 2016). Secara detail beberapa hasil penelitian dan review dari luar negeri dan Indonesia tentang faktor-faktor yang mempengaruhi masyarakat mengonsumsi makanan *fast food* disajikan pada Tabel 26.

Tabel 26. Faktor-faktor yang Mendorong Mengonsumsi *Fast Food*

No.	Sumber	Faktor yang mendorong mengonsumsi fast food
1.	Bharat dan Rawal (2019)	Rasa, suasana dan lokasi waralaba
2.	Kumar et al. (2013)	Iklan, peran orang tua dan penyaji (petugas asrama)
3.	Pamelia (2018)	Pengetahuan, teman sebaya, tempat nyaman untuk berkumpul, cepat dan praktis, uang saku, harga yang murah
4.	Aulia et al. (2018)	Pendapatan, pekerjaan dan pendidikan orang tua

Penyebutan *fast food* dengan *junk food* oleh masyarakat ini menunjukkan anggapan bahwa makanan *fast food* tidak ada nilai gizinya sehingga seolah-olah mengonsumsi *fast food* hanya akan menghilangkan rasa lapar saja, tidak berdampak positif terhadap kesehatannya. Sebagian besar *fast food* banyak mengandung asam lemak jenuh, lemak trans, karbohidrat, dan natrium yang merupakan zat yang berhubungan dengan hipertensi, penyakit kardiovaskular, diabetes dan obesitas. Mengonsumsi makanan ini secara terus menerus tanpa diimbangi dengan upaya lain yang menyehatkan badan seperti berolah raga, konsumsi sayuran dan

buah-buahan maka dikhawatirkan terkena penyakit degeneratif dan obesitas dan berdampak negatif pada upaya pemerintah untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia terutama pada generasi muda yang jumlahnya relatif banyak (bonus demografi).

Mengonsumsi Pangan Organik

Seiring dengan peningkatan pendidikan dan kesadaran akan kesehatan, sebagian masyarakat Indonesia dan dunia menyadari akan pentingnya memilih makanan yang menyehatkan. Gaya hidup sehat dengan slogan *“Back to Nature”* telah menjadi trend baru dengan meninggalkan atau mengurangi bahan pangan yang diproduksi dengan menggunakan pupuk dan pestisida secara kimia. Pilihan hidup sehat dengan mengonsumsi makanan yang bergizi tinggi (*nutritional attributes*), aman (*food safety attributes*) dan ramah lingkungan (*eco-labelling attributes*) menjadikan masyarakat memilih pangan organik yang proses produksinya tanpa menggunakan bahan-bahan kimia seperti pupuk dan pestisida.

Preferensi konsumen seperti ini menyebabkan permintaan produk pertanian organik terus meningkat pesat. Produsen pertanian organik yang tergabung dari 186 negara sebesar 2,8 juta, India sebagai produser terbesar diikuti Uganda dan Ethiopia. Sementara pasar terbesar negara Amerika Serikat, diikuti dengan German dan Perancis (FIBL and IFOAM, 2020). Pada tahun 2010, Indonesia mencanangkan pengembangan pertanian organik yang dikenal dengan *“Go Organic 2010”*. Konsumen yang mengonsumsi pangan organik semakin tinggi yang terlihat dari pertumbuhan pasar organik sekitar 15-20%. Banyak jenis produk organik seperti beras, susu, kopi, coklat yang merupakan produk organik, yang banyak dikonsumsi masyarakat selain juga diekspor. Pada akhir-akhir ini masyarakat banyak menanam aneka sayuran organik

pada lahan pekarangan dengan mengembangkan teknologi vertikultur dan lainnya dengan kreasi model dan bahan. Berkembangnya pemanfaatan lahan pekarangan ini tidak lepas dari implementasi program yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian yang awalnya dikenal dengan Kawasan Rumah Pangan Lestari (KRPL).

Pola kebiasaan mengonsumsi makanan organik tidak hanya dilakukan oleh generasi tua yang berumur sekitar 50-an tahun namun sudah merambah ke anak muda/milenial. Alasan memilih pangan ini terkait dengan aspek kesehatan karena makanan yang dihasilkan melalui proses produksi secara organik lebih sehat dan mutu gizi lebih tinggi dibandingkan dengan nonorganik (bebas pestisida dan GMO). Selain itu juga terkait dengan kesadaran masyarakat terhadap isu lingkungan dan kesehatan hewan (Handayani, 2019). Hasil penelitian yang dilakukan pada masyarakat di Kota Malang bahwa perempuan yang sudah berumah tangga merupakan faktor penentu pembuat keputusan dalam hal pemenuhan kebutuhan rumah tangga. Faktor yang mempengaruhi kesediaan konsumen mau membayar sayur organik adalah usia, pendidikan, pendapatan, kualitas produk dan dampak Kesehatan (Rofiatin dan Bariska, 2018).

Ada perbedaan komposisi signifikan secara nutrisi antara makanan organik dan konvensional, yang ditunjukkan dengan antioksidan tinggi dan kandungan Cadmium dan pestisida rendah pada tanaman organik. Konsentrasi asam lemak omega-3 lebih tinggi dalam daging organik dan produk susu. Hasil penelitian kohor pada manusia menunjukkan bahwa ada hubungan positif antara konsumsi makanan organik dengan pengurangan resiko kejadian penyakit akut (Baranski et al. 2017).

Memasak dan Makan di Rumah Bersama Keluarga serta Membeli Pangan Secara Online/*E-Commerce*

Pandemi Covid-19 mengubah sendi-sendi kehidupan dalam masyarakat, tidak hanya terkait dengan kesehatan namun juga krisis ekonomi. Publikasi FAO yang diterbitkan secara seri menunjukkan bahwa pandemi Covid-19 berdampak pada resiko terjadinya kerawanan pangan dan peningkatan gizi buruk serta sistem pangan dan gizi. Dampak tersebut seperti adanya gangguan logistik pangan terutama akses pemasaran hasil petani kecil ke pasar, sehingga masyarakat kota kesulitan mengakses buah-buahan dan sayuran, susu, daging dan ikan dalam bentuk segar. Selain itu masalah keamanan pangan yang dihasilkan petani dan dikonsumsi oleh masyarakat dan perolehan pendapatan terutama pada pekerja informal di perkotaan dan petani di perdesaan. Penurunan pendapatan paling parah dirasakan oleh masyarakat miskin. Dengan keterbatasan tersebut, mereka mengurangi keragaman makanan dan mengonsumsi makanan pokok yang harganya lebih murah dan kualitas lebih rendah (FAO 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e). Hasil penelitian yang dilakukan pada tanggal 2-6 April 2020 oleh Accenture COVID-19 Consumer Research (2020) diantaranya menyebutkan bahwa konsumen berusaha untuk mengurangi pemborosan makanan dan membeli barang yang menyehatkan serta membeli pada toko tetangga yang terdekat.

Menurut Yuswohady et al. (2020) terjadi empat perubahan besar (*megashift*) yang dialami oleh konsumen sebagai dampak dari pandemi ini yaitu; 1) gaya hidup baru tinggal di rumah dengan aktivitas *working-living-playing* karena adanya pembatasan sosial; 2) mengacu ke piramida Maslow, konsumen bergeser kebutuhannya dari “puncak piramida” yaitu aktualisasi diri dan ke “dasar piramida” yaitu makan, kesehatan, dan keamanan jiwa-raga; 3) konsumen beralih menggunakan media virtual/digital dan

4) masyarakat baru yang penuh empati, welas asih, dan sarat solidaritas sosial. Dari keempat perubahan tersebut diantaranya ada perubahan yang dikaitkan dengan perubahan konsumen dalam hal konsumsi pangan yaitu membeli makanan secara *online* dan hanya pada barang yang dibutuhkan, bukan yang diinginkan; kembali memasak sendiri; nyaman dengan makanan beku; jamu menjadi ekspresi baru; dan memperhatikan kehalalan makanan.

Sementara dari Widyawati (2020) yang mengambil laman *Reader's Digest* menyampaikan bahwa ada sembilan kebiasaan makan yang berubah setelah adanya pandemi Covid-19 yaitu: 1) Memasak di rumah selain karena mempunyai waktu luang, menyehatkan dan menekan pengeluaran, 2) Lebih banyak membeli makanan kalengan, beku dan instan dikarenakan konsumen mengurangi berpergian untuk membeli makanan di pasar/ supermarket, 3) Konsumsi daging menurun dan pengganti sebagai sumber protein adalah makanan berbasis makanan laut dan bukan daging, 4) Kebiasaan berbelanja melalui *online/e-commerce*, 5) Memilih makanan yang diproduksi oleh petani lokal (domestik), 6) Perubahan kebiasaan makan di tempat kerja, dari mengonsumsi makanan pada saat makan siang di kantin dengan sesama pegawai menjadi makanan yang dikemas dalam kotak dan dimakan di meja masing-masing. Kantor menyediakan makan siang gratis dengan harapan para pegawai tetap di kantor, tidak ke luar kantor untuk makan siang, 8) Lebih banyak makan bersama di rumah bersama keluarga yang sama-sama melaksanakan bekerja, belajar dari rumah, dan 9) Nama merek dagang/makanan menjadi kurang penting, konsumen lebih memilih apa yang ada di pasaran akibat terganggunya pasokan makanan. Beberapa pola kebiasaan ini diprediksi akan tetap dilakukan walau pandemi Covid-19 sudah selesai.

Perubahan-perubahan tersebut di atas juga terjadi pada masyarakat Indonesia. Pembatasan fisik/sosial yang masih terjadi sampai saat ini menjadikan masyarakat lebih menitikberatkan

faktor ekonomi dan kesehatan dalam memilih makanan yaitu memilih makanan yang menyehatkan dengan harga yang terjangkau. Perubahan ini menurut FAO (2020f) mendukung untuk membuat produksi dan konsumsi pangan yang selaras dengan pembangunan berkelanjutan. Beberapa pola kebiasaan ini diprediksi akan tetap dilakukan walau pandemi Corona-19 sudah selesai.

POLA KONSUMSI PANGAN DAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Pola Konsumsi Pangan Mempengaruhi Intensitas Penggunaan Sumber Daya Lingkungan

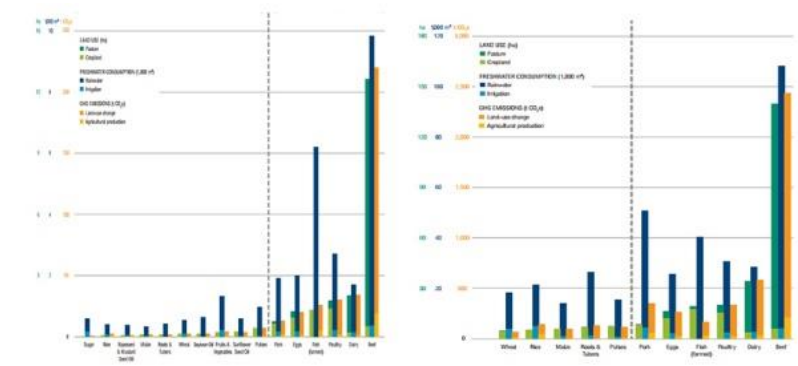
Pangan diproduksi dengan menggunakan sumber daya alam yang intensitas, besaran dan dampak kerusakan tergantung dari tanaman yang ditanam. Menurut United Nation (2010), proses memproduksi pangan adalah proses mengonsumsi sumberdaya sekaligus menekan lingkungan yang dalam hal ini seperti emisi gas rumah kaca, penggunaan lahan, air dan energi. Besaran berapa penggunaan sumber daya alam untuk proses produksi setiap komoditas adalah berbeda. Dengan prinsip ini, jenis dan volume pangan yang dikonsumsi yang merupakan bagian dari pola konsumsi pangan masyarakat akan menentukan seberapa besar tingkat penggunaan sumber daya alam dan sekaligus seberapa besar dampak negatif yang ditimbulkannya.

Menurut Baroni et al. (2007) dan Almendros et al. (2013), pangan berbasis hewani memerlukan sumber daya lahan, energi dan jejak karbon lebih tinggi dibandingkan dengan pangan berbasis sayuran dan buah-buahan. Gambar 23 mendukung pendapat tersebut, bahwa untuk menghasilkan energi atau protein dari pangan sumber protein hewani memerlukan lebih banyak lahan dan air. Demikian pula emisi gas (CO₂) yang dihasilkan dari

proses produksi pangan hewani juga lebih besar dibandingkan pangan nabati seperti padi-padian dan kacang-kacangan. Almendros et al. (2013) melakukan penelitian dengan membandingkan pola pangan masyarakat Spanyol, (*the Spanish dietary pattern*) dengan pola pangan Mediteran dan Kebaratan (*the Mediterranean and western dietary patterns*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola pangan Mediteran memerlukan lebih sedikit lahan, air dan energi dibandingkan kedua pola makan lainnya. Pola pangan Mediteran adalah pola pangan dominan sayuran, buah-buahan, kacang-kacangan dan biji-bijian, sebaliknya konsumsi unggas, susu dan produknya relatif sedikit apalagi daging merah. Menurut Ranganathan et al. (2016) kecenderungan pola pangan global mengarah ke pola '*western diet*', yang bercirikan mengkonsumsi lebih banyak kalori dan protein dengan berbasis pangan hewani. Untuk memproduksi daging sapi memerlukan lahan dan air yang paling banyak diantara pangan lainnya, yaitu untuk memproduksi 1 ton protein dari daging memerlukan pemanfaatan lahan usaha 135 hektar dan 110 ribu m² air; sementara untuk 1 ton produksi protein dari daging unggas menggunakan sekitar 15 hektar lahan dan 30 m² air.

Pemborosan makanan (*food waste*) yang dilakukan oleh konsumen juga berdampak negatif pada sumber daya alam. Besaran kehilangan dan pemborosan pangan (*food lost and waste*) berbeda antar negara dan komoditas, namun secara umum mengakibatkan 1,3 miliar ton makanan per tahun terbuang percuma (FAO 2019). Jejak karbon dari makanan yang diproduksi dan tidak dimakan diperkirakan 3,3 juta ton setara dengan CO₂, sedangkan jumlah air yang sia-sia sekitar 250 km³ dan hampir 1,4 miliar hektar lahan yang digunakan untuk memproduksi makanan yang terbuang tersebut. Pemborosan makanan di Eropa dan Amerika Latin masing-masing dapat memenuhi kebutuhan pangan 200 dan 300 juta orang. Bahkan menurut FAO, 25% dari semua makanan yang terbuang secara global cukup untuk

memenuhi kebutuhan pangan 870 juta orang yang kelaparan di seluruh dunia. Berdasarkan data *Economist Intelligence Unit* (EIU) sampah makanan Indonesia sebesar 300 kg/orang/tahun. Sampah makanan ini berasal dari pangan yang terbuang sebelum mencapai konsumen, dan pangan yang terbuang setelah dibeli dan dimakan oleh konsumen. Pengurangan pemborosan makanan pada skala global dan nasional akan memiliki efek positif yang substansial pada sumber daya alam dan sosial. Apalagi ke depan dengan peningkatan penduduk dunia akan ada tambahan produksi pangan 60 persen untuk memenuhi permintaan penduduk 2050.



Gambar 20. Penggunaan Lahan dan Air serta Jumlah Emisi Gas (CO₂) dari Setiap Komoditas untuk Menghasilkan Satu Juta Kilokalori Energi (kiri) dan Satu Ton Protein (kanan) (Sumber: Ranganathan et al. 2016)

Mengonsumsi Pangan yang Ramah Lingkungan Otomatis Mendukung Pertanian Modern Berkelanjutan

Sumber daya lingkungan seperti sumberdaya lahan dan air yang sarana utama untuk menghasilkan pangan mengalami kerusakan. Hal ini dialami oleh banyak negara (secara global) termasuk Indonesia. Menurut FAO (2017), sekitar 33% lahan

petani di dunia dalam kategori degradasi tingkat sedang sampai tinggi. Demikian pula perubahan iklim merupakan salah satu ancaman yang sangat serius terhadap sektor pertanian dan potensial mendatangkan masalah baru bagi keberlanjutan produksi pangan dan sistem produksi pertanian pada umumnya. Akibat perubahan iklim, cadangan air bawah tanah di negara-negara berkembang menyusut hingga 50 persen dalam 8 tahun ke depan. Pada 2025, efek perubahan iklim akan berdampak besar terhadap planet ini, di mana cadangan air bawah tanah negara-negara berkembang akan berkurang 50% dan 18% di negara maju.

Di Indonesia, lahan pertanian terutama lahan sawah semakin sempit akibat dikonversi ke pemanfaatan nonpertanian dan lahan perkebunan, sementara pencetakan sawah baru semakin sulit karena keterbatasan lahan. Selama tahun 1995-2015 luas lahan sawah berkurang rata-rata 0,24%/tahun atau sekitar 20 ribu ha/tahun. Menyikapi hal ini, pembangunan pertanian sudah seharusnya memperhatikan aspek lingkungan, yang kemudian muncul konsep pertanian berkelanjutan. Produksi pangan dengan memperhatikan daya dukung ekosistem sehingga keberlanjutan produksi dapat terus dipertahankan dalam jangka panjang dengan meminimalkan terjadinya kerusakan lingkungan. Hal ini yang menjadi salah satu target SDGs nomor 12, bahwa produksi dan konsumsi merupakan dua elemen yang saling mempengaruhi satu dengan yang lain, apa yang diproduksi akan menjadi arah jenis pangan yang dikonsumsi, sebaliknya apa yang dikonsumsi akan berdampak pada jenis dan jumlah komoditas apa yang akan diproduksi (*supply creates its own demand*). Mengarahkan masyarakat dalam pola konsumsi pangannya untuk mempertimbangkan aspek kelestarian ekosistem lingkungan dalam pola konsumsi pangannya (Suryana dan Ariani, 2018). Dengan demikian mengembangkan konsumsi pangan berkelanjutan secara otomatis akan menerapkan pertanian berkelanjutan.

Pada prinsipnya tujuan utama dalam konsumsi pangan berkelanjutan untuk melaksanakan keempat dimensi sekaligus yaitu dimensi ekonomi, kesehatan, sosial dan ekologi (Lefin, 2009). Sementara itu, prinsip-prinsip dalam pertanian berkelanjutan mencakup tiga dimensi pembangunan berkelanjutan yaitu dimensi ekonomi, sosial dan ekologi. Dalam konsep ini upaya untuk meningkatkan produksi dan pendapatan petani namun tetap mampu memelihara sumber daya alam agar generasi mendatang menikmati seperti apa yang dialami oleh generasi saat ini. Implementasi pertanian berkelanjutan ini dengan menggunakan teknologi modern yang relevan sehingga sumber daya yang digunakan untuk proses produksi pangan sangat efisien dengan peningkatan nilai tambah termasuk kualitas produk.

KEBIJAKAN MENGUBAH POLA KONSUMSI PANGAN MASYARAKAT MENDUKUNG PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Perspektif Mengubah Pola Konsumsi Pangan

Kebijakan menuju pola konsumsi pangan yang ramah lingkungan dapat berbeda antara negara maju dan negara berkembang seperti Indonesia karena pola konsumsi pangannya juga berbeda sehingga strategi kebijakan yang disusun juga berbeda. Menurut Hertwich (2005), perbedaan keduanya adalah di negara maju harus mengurangi konsumsinya terutama konsumsi pangan hewani, sebaliknya di negara berkembang masih harus meningkat konsumsinya.

Pola konsumsi pangan masyarakat Indonesia saat ini masih dominan pada makanan sumber karbohidrat dengan pola makanan pokok utama adalah beras. Pangan lokal seperti jagung dan umbi-umbian tidak menjadi makanan pokok lagi, namun

makanan ini dikonsumsi dalam bentuk produk olahan seperti keripik sebagai makanan selingan. Sementara itu, konsumsi pangan hewani serta sayur dan buah-buahan masih rendah, sebaliknya peningkatan signifikan konsumsi makanan/minuman jadi. Sebagian masyarakat terutama anak-anak dan remaja (generasi milenial) banyak mengonsumsi makanan asing. Disisi lain masyarakat dewasa memilih mengonsumsi makanan sehat seperti makanan organik dan diperkirakan akan terus bertambah dengan adanya kesadaran masyarakat akan kesehatan dengan adanya pandemi Covid-19.

Dengan mengacu pada karakteristik konsumsi pangan tersebut, hal ini bukan kendala untuk menerapkan pertanian modern dengan memperhatikan aspek lingkungan (berkelanjutan). Namun karena jumlah penduduk Indonesia adalah besar dengan laju pertumbuhan yang masih positif, maka jumlah pangan yang disediakan terus bertambah. Disisi lain, sumber daya alam di Indonesia sudah terbatas dalam jumlah dan kualitas. Berdasarkan hal ini, maka menerapkan pola konsumsi pangan yang ramah lingkungan menjadi keharusan, apalagi pemborosan makanan Indonesia menduduki ranking kedua tertinggi di dunia dan masalah *stunting* juga masih tinggi.

Indonesia mempunyai model pola pangan yang dikenal dengan Pola Pangan Harapan (PPH) dengan sasaran angka kecukupan energi (AKE) sebesar 2100 Kalori/kapita/Hari (BKP 2019). Berdasarkan PPH dan AKE tersebut kemudian diterjemahkan kedalam kebutuhan setiap kelompok pangan seperti pada Tabel 27.

Tabel 27. Sasaran Konsumsi Sehat per Orang dengan Asupan 2100 Kalori/hari di Indonesia

No.	Kelompok pangan	Gram	Kalori
1	Padi-padian	296	1000

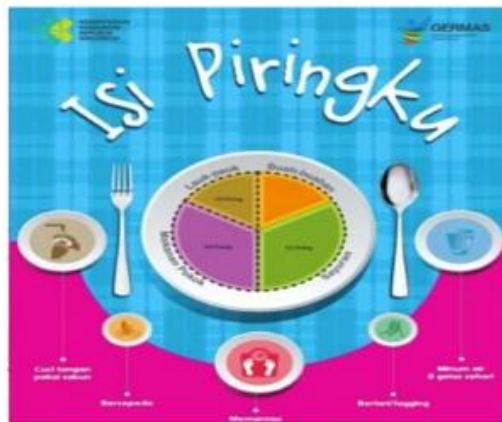
No.	Kelompok pangan	Gram	Kalori
2	Umbi-umbian	108	120
3	Pangan hewani	161	240
4	Minyak dan lemak	22	200
5	Buah dan biji berminyak	11	60
6	Kacang-kacangan	38	100
7	Gula	32	100
8	Sayur dan buah	269	120
9	Lain-lain	-	52

Sumber: BKP (2019)

Pada prinsipnya, makanan sehat yang tertuang dalam Tabel 6 adalah pilihan makanan dengan memperhatikan kaidah pola konsumsi pangan yang beragam, bergizi, seimbang dan aman (B2SA). Untuk menterjemahkan lebih lanjut dari pola makan tersebut, pemerintah menyusun pedoman yang lebih operasional untuk bahan sosialisasi dan advokasi kepada masyarakat, yang divisualisasi dengan pedoman Tumpeng Gizi Seimbang (Gambar 24) dan Isi Piringku (Gambar 25). Pedoman ini harus menjadi pegangan oleh semua masyarakat Indonesia untuk dapat hidup sehat, produktif dan aktif sehingga dapat secara optimal untuk melakukan pekerjaan sehari-hari. Secara lebih luas, dengan pola ini diharapkan akan diperoleh sumber daya manusia yang berkualitas dan mampu berdaya saing global. Prinsip dasar pola makan yang diperkenalkan tersebut mempertimbangkan keragaman jenis pangan yang diproduksi dengan basis spesifik lokasi, dan sesuai kebutuhan akan zat gizi seseorang. Pola ini juga menjadi pedoman dalam menuju pola konsumsi pangan yang ramah lingkungan dengan pilihan komoditas dan jumlah makanan yang dikonsumsi tidak berdampak negatif terhadap kelestarian sumber daya alam dan lingkungan.



Gambar 21. Tumpeng Gizi Seimbang (Nutrisi Bangsa, 2014)



Gambar 22. Isi PiriGangku (Kemenkes RI, 2018)

Alternatif Kebijakan dan Langkah Operasional

Masalah pangan adalah masalah nasional yang juga dapat mempengaruhi ketahanan nasional. Beberapa peraturan yang sudah ada untuk pijakan penyusunan arah kebijakan dan program, diantaranya UU No. 18 tahun 2012 tentang Pangan,

Peraturan Presiden No. 22 tahun 2009 tentang Kebijakan Percepatan penganekaragaman Konsumsi Pangan berbasis Sumber Daya Lokal, UU No. 8 tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen dan Peraturan Presiden No. 59 tahun 2017 tentang pelaksanaan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

Kebijakan pemerintah terkait perberasan dan pengembangan industri makanan berbasis gandum yang mampu mengubah konsumsi pangan masyarakat dari pangan lokal yang beragam menjadi hanya beras dan makanan olahan dari terigu menjadi pelajaran bagi pemerintah untuk dapat menyusun kebijakan serupa yang mampu mengubah masyarakat untuk mengonsumsi makanan sehat dengan memperhatikan kelestarian lingkungan. Kebijakan perubahan pola pangan ini harus dilakukan secara komprehensif, masif dan berkelanjutan, sedangkan implementasinya, pemerintah menugaskan pemerintah daerah, Kemenko Perekonomian dan Kemenko Pembangunan Manusia dan Kebudayaan (PMK), industri pangan, distributor pangan, organisasi produsen serta masyarakat dan individu sendiri. Dengan memperhatikan ciri-ciri pola pangan yang terjadi dan memperhatikan pola makan ke depan dengan basis pertanian modern yang ramah lingkungan maka usulan kebijakan sebagai berikut:

1. Penyusunan roadmap menuju pola konsumsi pangan berbasis pertanian modern berkelanjutan

Sebetulnya peraturan terkait produksi pangan dan konsumsi pangan yang ramah lingkungan, pertanian modern baik secara langsung maupun tidak langsung telah ada, namun peraturan tersebut masih bersifat parsial sehingga kebijakan yang disusun oleh masing-masing kementerian/lembaga dimungkinkan tidak saling mendukung. Sebagai contoh kebijakan yang dirasakan tumpang tindih adalah kebijakan terkait diversifikasi konsumsi pangan. Seperti dalam undang-undang tentang pangan dan

peraturan pemerintah tentang kebijakan percepatan penganekaragaman konsumsi pangan berbasis sumber daya lokal, yang keduanya mengarahkan kepada perlunya menerapkan diversifikasi konsumsi pangan termasuk diversifikasi produksi pangan. Namun dalam implementasinya, kebijakan pangan masih dominan pada penyediaan beras yang cukup mengarah ke swasembada beras, sebaliknya kebijakan yang mengarah kepada keragaman produksi dan konsumsi pangan relatif kecil termasuk pendanaannya. Berdasarkan hal tersebut, sangat penting untuk menyusun *roadmap* kebijakan Menuju Pola Konsumsi Pangan Berbasis Pertanian Modern Berkelanjutan yang bersifat jangka menengah atau panjang. Roadmap ini selanjutnya menjadi pedoman bagi kementerian/lembaga di pusat dan di daerah, pelaku usaha pangan, BUMN, masyarakat, individu dan *stakeholder* lainnya.

2. Peningkatan kesadaran masyarakat untuk mengonsumsi makanan yang menyehatkan sesuai prinsip B2SA dan kebutuhan tubuh

Untuk menerapkan pola konsumsi pangan yang ramah lingkungan diperlukan perubahan *mindset* dalam pola konsumsi makanan individu atau dalam rumah tangga. Perubahan tersebut adalah pertimbangan: (a) dari aspek kuantitas ke kualitas yaitu perilaku membeli dan mengonsumsi makanan sesuai dengan kebutuhan sehingga tidak ada pemborosan makanan (*food waste*), (b) dari berpikir jangka pendek, yaitu masa pemanfaatan pangan yang pendek atau kegunaan hanya sesaat/satu kali menjadi berpikir jangka panjang, dapat didaur ulang, berdampak pada kehidupan panjang, (c) dari kepentingan individu yaitu nilai ekonomi untuk diri sendiri menjadi kepentingan bersama yang memperhatikan nilai sosial, lingkungan, politik, ekonomi (Suryana dan Ariani, 2018). Konsumen harus bergerak ke arah *green consumer* (Susanti, 2010).

Upaya penyadaran ini harus diperlukan secara komprehensif, masif dan berkelanjutan melalui kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah pusat dan daerah yang implementasinya dilakukan secara berkelanjutan dalam arti merupakan kebijakan jangka menengah-panjang. Hal ini mengingat merubah *mindset* dan kebiasaan (*behavior*) seseorang relatif sulit, demikian pula merubah kebiasaan dalam pilihan jenis makanan yang sebaiknya dikonsumsi.

Menurut Sari (2017), menerapkan pola konsumsi pangan yang sehat dengan konsep berkelanjutan tidak berarti harus meninggalkan berbagai kemudahan dan kenyamanan dalam mengonsumsi makanan. Walaupun diakui, pemahaman prinsip-prinsip konsumsi tersebut sebenarnya sederhana, namun mungkin penerapannya dirasakan tidak mudah. Oleh karena itu, setiap individu harus bertanggung jawab terhadap dirinya sendiri untuk mau mengubah kebiasaan konsumsi pangannya terutama mereka yang selama ini dalam memilih makanan belum banyak memperhatikan aspek kesehatan dan kelestarian lingkungan. Individu dan masyarakat harus mengetahui apakah produk yang dipilih untuk dikonsumsi adalah produk yang ramah lingkungan, baik dari segi kandungan zat gizinya, cara pembuatan dan limbahnya. Adapun pilihan-pilihan jenis pangan yang menyehatkan sesuai konsep B2SA yang memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan seperti pada Gambar 26.



Gambar 23. Pilihan Jenis Pangan Sehat (Sumber: Komisi Eat, 2019)

Selain itu, perubahan *mindset* individu dan keluarga untuk mengonsumsi makanan sesuai kebutuhan sehingga tidak ada makanan yang terbuang. Demikian pula kaum ibu membeli bahan pangan sesuai dengan kebutuhan, jika harus melakukan penyimpanan bahan makanan harus diperhitungkan umur kelayakan bahan tersebut untuk digunakan/dimasak. Mengonsumsi makanan *fast food* yang berasal dari luar negeri tentu tidak dilarang, namun frekuensi konsumsinya harus dikurangi mengingat makanan tersebut dapat berdampak negatif terhadap kesehatan jika dikonsumsi secara berlebihan. Peranan ibu/perempuan sangat penting dalam perubahan *mindset* perilaku konsumsi pangan dalam keluarganya, mengingat perempuan menjadi penentu pilihan menu dan mendidik anak dan anggota keluarganya. Hasil menarik terkait karakteristik yang mengonsumsi makanan sehat adalah laki-laki mengonsumsi pangan yang lebih banyak menghasilkan jejak karbon dibandingkan perempuan. Konsumen berpendapatan tinggi lebih banyak mengonsumsi makanan sehat seperti buah-buahan dan sayuran, sedikit daging sehingga kurang menghasilkan jejak karbon dibandingkan dengan konsumen berpendapatan sedang (Mozner, 2013).

3. Fasilitasi kepada pelaku usaha pangan

Selain dalam bentuk regulasi, pemerintah memberikan fasilitasi kepada pelaku usaha yang meliputi produsen pangan (petani, UMKM, industri pangan, dan lainnya) dan pedagang pangan. Dalam UU tentang Pangan No. 18 tahun 2012, pangan mencakup pangan sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan dan air yang diolah maupun tidak diolah yang diperuntukkan untuk makanan atau minuman bagi konsumsi manusia termasuk bahan tambahan pangan dan bahan baku pangan. Oleh karena itu cakupan kebijakan dan fasilitasi kepada pelaku pangan juga memperhatikan hal tersebut agar keinginan untuk mewujudkan

pola konsumsi pangan sehat dan ramah lingkungan dapat terwujud. Fasilitasi yang diperlukan diantaranya struktur insentif (pajak, subsidi, penalti), peralatan daur ulang limbah pabrik, pasar dan rumah tangga. Dalam konteks kelembagaan meliputi aturan, peraturan, struktur pasar. Praktik bisnis harus memperhatikan dampaknya terhadap konsumen dan karyawan dan membantu masyarakat untuk membantu diri mereka sendiri serta kinerja lingkungan/sosialnya. Dengan demikian dalam bisnis produk tidak hanya mengejar keuntungan semata tetapi pelaku usaha mempunyai tanggung jawab untuk menjaga lingkungan dan mendorong konsumen mengonsumsi makanan yang sehat dan ramah lingkungan. Produsen menyajikan berbagai produk pangan sehat yang disesuaikan dengan pilihan konsumen yang juga mengonsumsi makanan sehat. Organisasi produsen dan konsumen secara bersama-sama didorong untuk memantau praktik-praktik yang melanggar peraturan yang telah ditetapkan kepada produsen dan konsumen pangan.

4. Orientasi kebijakan pertanian mengarah ke produksi pangan sehat

Selama ini orientasi kebijakan dominan pada peningkatan produksi pangan secara besar-besaran. Ke depan, orientasi tersebut harus diubah yaitu upaya meningkatkan produksi pangan beriringan dengan upaya menjaga sumber daya lingkungan, dengan prinsip sehat orangnya dan sehat pula lingkungannya. Kebijakan produksi pangan harus berubah dari orientasi produksi dalam jumlah besar secara bertahap ke arah produksi pangan sehat dengan mempertimbangkan kelestarian sumber daya alam dan lingkungan. Kebijakan ini tentu harus dilakukan secara konsisten dan jangka panjang oleh pemerintah, dalam hal ini Kementerian Pertanian. Identifikasi wilayah dilakukan untuk melaksanakan kebijakan ini dan implementasinya dapat dilakukan secara bertahap dengan

memperhatikan kesiapan wilayah termasuk sumber daya alamnya.

Keputusan Menteri Pertanian No. 472/Kpts/RC.040/6/2018 tentang Lokasi Kawasan Pertanian Nasional dapat menjadi pijakan untuk menentukan lokasi kawasan produksi pangan sehat dengan menggunakan teknologi modern yang saat ini mulai berkembang termasuk teknologi hasil Balitbangtan. Pengembangan Kawasan pertanian ini menjadi percontohan penerapan teknologi modern dengan menggunakan *internet of things* dan teknologi pertanian 4.0 yang paling mungkin dilaksanakan pada keseluruhan sistem pangan, dari produksi, distribusi/pemasaran ke konsumen. Pengembangan kawasan yang dilakukan oleh Kementerian Pertanian diarahkan untuk menerapkan revolusi hijau baru yang dapat menghasilkan pangan sehat atau mengarah ke pangan organik. Menurut Baroni et al. (2007) metode produksi pertanian konvensional memiliki dampak lingkungan yang lebih besar daripada metode organik. Program pengembangan pangan organik yang selama ini sudah berkembang perlu terus ditingkatkan seiring dengan upaya untuk meningkatkan konsumsi pangan organik dalam negeri. Demikian pula program pengembangan pangan lestari yang sudah menjadi bagian dari kehidupan masyarakat terutama yang berada di kota dengan lahan sempit terus dilakukan. Kelompok-kelompok di masyarakat yang terbentuk dengan kesadaran kesehatan dan hobi yang sama seperti kelompok menanam sayuran secara hidroponik menjadi bagian untuk mengubah perilaku produksi dan konsumsi makanan sehat.

PENUTUP

Pola konsumsi pangan dapat berubah mengikuti perubahan waktu dan kondisi, seperti globalisasi dan adanya pandemi covid-19 yang terjadi saat ini. Pola konsumsi pangan akan

mempengaruhi pola produksi, selanjutnya akan berdampak pada penggunaan sumber daya alam. Pola makan saat ini menjadi faktor pendorong untuk membangun pangan dan pertanian dengan memperhatikan aspek lingkungan. Apalagi pemborosan makanan masyarakat Indonesia masih besar sehingga makanan yang diproduksi dengan memanfaatkan sumber daya alam yang besar menjadi sia-sia. Orientasi produksi pangan dengan memanfaatkan teknologi modern yang ramah lingkungan diharapkan untuk meningkatkan efisiensi dalam rantai makanan. Hal ini juga amanat dari SDGs yaitu *production and consumption sustainability*. Kebijakan menuju konsumsi pangan yang sehat dan ramah lingkungan harus dilakukan secara komprehensif, masif dan jangka panjang dengan melibatkan berbagai stakeholder seperti kebijakan perberasan dan gandum/terigu yang mampu mengubah pola konsumsi pangan masyarakat. Pemerintah menyusun *roadmap* dan menetapkan kebijakan dan program yang kreatif untuk produsen, pasar dan konsumen melalui peraturan, fasilitasi, pendampingan dan kebijakan lain agar upaya untuk menerapkan pola produksi dan konsumsi pangan secara berkelanjutan dapat terwujud dengan baik. Kesadaran masyarakat untuk mengonsumsi makanan yang menyehatkan sesuai prinsip B2SA dan kebutuhan tubuh untuk setiap individu dan keluarga menjadi keharusan. Upaya diversifikasi konsumsi pangan, meningkatkan pangan organik dan mengurangi pemborosan makanan menjadi pilihan utama. Bagi Kementerian Pertanian, orientasi kebijakan tidak hanya mengarah kepada peningkatan produksi secara besar-besaran, namun juga diarahkan meningkatkan produksi pangan dengan menggunakan teknologi modern dan memperhatikan berkelanjutan sumber daya alam, dengan prinsip sehat orangnya sehat pula lingkungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Accenture COVID-19 Consumer Research. 2020. "COVID-19 will permanently change consumer behavior". cited 2020 July 2. <https://www.accenture.com/sk-en/insights/consumer-goods-services/coronavirus-consumer-behavior-research>.
- Almendros, S.A.; Obrador, Bach-Faig, Serra-Majem. 2013. "Environmental Footprints of Mediterranean versus Western Dietary Patterns: Beyond the Health Benefits of the Mediterranean Diet", *Environmental Health*. 12(118):1-8.
- Aulia, S.G.B.; Makmur; A.H. Hamid. 2018. "Perilaku Konsumsi Fast Food Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Kota Banda Aceh". *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*. 3(1):30-139.
- Baranski, M.; L. Rempelos; P.O. Iversen; C. Leifert. 2017. "Effects of organic food consumption on human health; the jury is still out!" *Food Nutr Res*. 61(1):1287333. doi: 10.1080/16546628.2017.1287333.
- Bharat and Rawal. 2019. "Consumers' Preference of Fast Food Items in Kathmandu Valley" cited 2020 August 2. <https://www.nepjol.info/index.php/NCCJ/article/view/24730>.
- Baroni L.; L. Cenci; M. Tettamanti; M. Berati. 2007. "Evaluating the Environmental Impact of Various Dietary Patterns Combined with Different Food Production Systems", *European Journal of Clinical Nutrition*. 61(2):279-286.
- Badan Ketahanan Pangan. 2014. *Direktori Perkembangan Konsumsi Pangan*. Jakarta: Badan Ketahanan Pangan.

- Badan Ketahanan Pangan. 2019. *Direktori Konsumsi Pangan*. Jakarta: Badan Ketahanan Pangan.
- Badan Pusat Statistik. 2018a. *Statistik Pemuda Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. 2018b. *Hasil Survey Pertanian Antar Sensus (SUTAS) 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Direktorat Perdagangan Dalam Negeri, Kementerian Perdagangan [Internet]. 2017. "Bisnis Waralaba Sangat Menjanjikan di Indonesia". dilihat 2 Juli 2020. <https://www.beritasatu.com/ekonomi/431693-bisnis-waralaba-sangat-menjanjikan-di-indonesia>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. *The Future of Food and Agriculture. Trends and Challenges*. FAO. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/3/a-i6881e.pdf>
- Food Agriculture Organization. 2019. *The state of food and agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction*. cited 2020 July 4. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020a. *Legal considerations in the context of responses to COVID-19 to mitigate the risk of food insecurity*. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1275277/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020b. *Responding to the impact of the COVID-19 outbreak on food value chains through efficient logistics*. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1270169/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020c. *Impact of COVID-19 on informal workers*. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/3/ca8560en/CA8560EN.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020d. *COVID-19 and smallholder producers' access to markets*. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8657en/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020e. *Food safety in the time of COVID-19*. cited 2020 July 4. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8623en/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020f. *Policy Brief: The Impact of COVID-19 on Food Security and Nutrition*. cited 2020 July 4. <https://www.tralac.org/documents/resources/covid-19/3813-the-impact-of-covid-19-on-food-security-and-nutrition-un-policy-brief-june-2020/file.html>
- FIBL and IFOAM 2020. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2020*. cited 2020 August 3. <https://www.fibl.org/en/shop-en/5011-organic-world-2020.html>
- Hadi, H. 2005. "Beban Ganda Masalah Gizi dan Implikasinya Terhadap Kebijakan Pembangunan Kesehatan Nasional, dalam Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar". Yogyakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada.
- Handayani, I. 2019. "Tren Konsumsi dan Gaya Hidup Organik di Indonesia Makin Meningkat". dilihat 5 Juli 2020. <https://investor.id/lifestyle/tren-konsumsi-dan-gaya-hidup-organik-di-indonesia-makin-meningkat>
- Harara, A. 2016. "Budaya Hedonisme dalam Masyarakat Era Global" dilihat 26 Juni 2020. <https://www.academia.edu/7277965>
- Hertwich, E.G. 2005. "Consumption and industrial ecology". *Journal of Industrial Ecology*. 9:1-6.

- Indriani, R. 2016. "52 Persen Warga Jakarta Jadikan "Junk Food" Alternatif Sarapan". dilihat 3 Agustus 2020 . <https://www.suara.com/lifestyle/2016/08/17/074026/52-persen-warga-jakarta-jadikan-junk-food-alternatif-sarapan>
- Komisi Eat. *Ringkasan Laporan Komisi EAT-Lancet. Pola Makan Sehat dari Sistem Pangan Berkelanjutan. Pangan Planet Bumi Kesehatan.*
- Kumar, H.; R. Palaha; and A. Kaur. 2013. "Study of Consumption, Behavior and Awareness of Fast Food among University Hostlers". *Asian Journal of Clinical Nutrition*. 5:1-7.
- Lefin, A.L. 2009. "Food consumption and sustainable development: an introduction". Working Paper for the CONSENTSUS Project, IDD, Ottginies, Work Package 4
- Maligan, M. 2013. "Indonesian Gastronomy (Food, Culture & Local Wisdom)". Laboratorium Nutrisi Pangan dan Hasil Pertanian Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian FTP - UB 2013. dilihat 28 Juni 2020. <http://maharajay.lecture.ub.ac.id/files/2013/06/INDONESIAN-GASTRONOMY-2013.pdf>.
- Móznér, Z.F. 2013. "Towards Sustainable Food Consumption? The Ecological Footprint of Food Consumption in Hungary". Dissertation. Department Of Environmental Economics And Technology. Budapest : Corvinus University Of Budapest.
- Nondzor, H.E. and Y.S. Tawiah. 2015. "Consumer Perception and Preference of Fast Food: A Study of Tertiary Students in Ghana". *Science Journal of Business and Management*. 3(1):43-49. doi: 10.11648/j.sjbm.20150301.16
- Nurhaidah; M.I. Musa. 2015. "Dampak Pengaruh Globalisasi Bagi Kehidupan Bangsa". *Jurnal Pesona Dasar*. 3(3):1-14.
- Nurti, Y. 2017. "Kajian Makanan dalam Perspektif Antropologi". *Jurnal Antropologi*. 19(1):1-10

- Nutrisi Bangsa. 2014. "13 Pedoman Umum Gizi Seimbang".
<https://www.sarihusada.co.id/Nutrisi-Untuk-Bangsa/Kesehatan/Umum/13-Pedoman-Umum-Gizi-Seimbang>
- Pamelia, I. 2018. "Perilaku Konsumsi Makanan Cepat Saji Pada Remaja Dan Dampaknya Bagi Kesehatan". Jurnal IKESMA. 14(2):145-157.
- Kemenkes RI. 2018. "Isi Piringku Sekali Makan".
<http://www.p2ptm.kemkes.go.id/infographic-p2ptm/obesitas/page/14/isi-piringku-sekali-makan>
- Rachman, H.P.S. dan M. Ariani. 2002. "Ketahanan Pangan: Konsep, Pengukuran Dan Strategi". FAE. 20(1):12-24.
- Ranganathan, J.; D. Vennard; R. Waite; B. Lipinski; Tim Searchinger; Globagri-WRR Model Authors. 2016. "Shifting diets for a sustainable food future". Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- Rofiatin, U dan H.F. Bariska. 2018. "Pola Willingness To Pay (WTP) dan Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi terhadap Pilihan Sayur Organik dan Anorganik Masyarakat Kota Malang". Jurnal OPTIMA. II(1):18-26
- Sari, M.E.P. 2017. "Peran Masyarakat dalam Mencapai Pola Konsumsi Berkelanjutan". Jurnal Trias Politika. 1(2):1-15.
- Suryana, A dan M. Ariani. 2018. "Faktor yang mempengaruhi dan arah perubahan pola konsumsi pangan berkelanjutan". Dalam: Sudaryanto T.; I. Inouu; I. Las; E. Karmawati; S. Bahri; B.A. Husin; I.W. Rusastra (eds). *Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan: Agenda Kebijakan ke Depan*. Jakarta: IAARD Press. hlm. 367-401.

- Susanti, C.E. 2010. "Sustainable consumption and production model (3-gmodel): green consumer, green company, and green environment". In: The 4th National Conference Faculty of Business Towards a New Indonesia Business Architecture, Desember 2010. Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala.
- United Nation. 2010. "Trends In Sustainable Development Towards Sustainable Consumption and Production". New York: United Nation
- Widyawati, R. 2020. "Kebiasaan dan Cara Makan yang Berubah Setelah Pandemi Virus Corona". dilihat 6 Jui 2020. <https://superapps.kompas.com/read/246432/9-kebiasaan-dan-cara-makan-yang-berubah-setelah-pandemi-virus-corona>
- Yuswohady; F. Fatahillah; A. Rachmaniar dan I. Hanifah. 2020. "Consumer Behavior New Normal After Covid-19. The 30 Predictions". cited 2020 July 15. <https://www.yuswohady.com/2020/04/18/consumer-behavior-in-the-new-normal-the-30-predictions/>

MENUJU IMPLEMENTASI PERTANIAN MODERN

TEKNOLOGI DIGITAL SEBAGAI PLATFORM INOVASI MENDUKUNG PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Sri Asih Rohmani^{a1}, Effendi Pasandaran^{b2}, Apri Wahyudi^{c3}

^{a,b,c} Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

¹ Kontributor Utama, ^{2,3} Kontributor Anggota

PENDAHULUAN

Lompatan kemajuan teknologi dan informasi “*Information and Communication Technology-ICT*”, diakui berperan memberikan kemajuan sektor pertanian utamanya perbaikan produktivitas dan kualitas produk sehingga mampu memenuhi kebutuhan pangan (*feed the world*) bagi penduduk dunia (FAO, 2017; 2018; 2019). Dengan semakin kompleksnya tantangan dan permasalahan pembangunan pangan dan pertanian ke depan kemajuan yang dicapai disertai dengan timbulnya biaya sosial dan lingkungan “*externalitas*”. Meskipun hasil pertanian saat ini cukup memenuhi kebutuhan pangan dunia, namun masih terdapat 821 juta orang menderita kelaparan (FAO 2018) akibat pertumbuhan populasi global dari 7,6 miliar pada 2018 menjadi lebih dari 9,6 miliar pada tahun 2050, sementara pada waktu yang bersamaan tanah subur yang produktif semakin terbatas.

Beberapa permasalahan pangan dan pertanian sekaligus menjadi tantangan untuk keberlanjutannya, antara lain penurunan potensi produktif pertanian berbasis sumber daya alam, kelangkaan air (*water scarcity*) dan kompetisi pemanfaatan air berbagai sektor pembangunan (FAO 2014), degradasi tanah, cekaman ekosistem, hilangnya keanekaragaman hayati, serta tingkat emisi gas rumah kaca yang semakin tinggi (FAO 2018). Permasalahan tidak hanya pada aspek produksi, laju urbanisasi yang cepat juga berimplikasi pada pola produksi pangan dan konsumsi, disamping sektor pertanian tetap memiliki peran penting sebagai mata pencaharian dan lapangan pekerjaan banyak tenaga kerja. Lebih dari 570 juta rakyat di seluruh dunia bergelut dan menggantungkan kehidupannya dari pertanian dan menyumbang 28% produksi makanan dari total seluruh tenaga kerja global (Lowder et al. 2016).

Tantangan terbesar di sektor pertanian saat ini adalah menumbuhkan pangan dalam situasi sumber daya pertanian yang semakin terbatas (FAO 2019). Kondisi keterbatasan daya dukung sumber daya alam dan daya tampung lingkungan hidup secara spesifik diakui sebagai batasan pembangunan "*development constraint*" dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 yang ditetapkan melalui Perpres Nomor: 18 Tahun 2020. Dengan mempertimbangkan aspek ketersediaan dan kualitasnya, keterbatasan SDA dapat diberdayakan secara inovatif sebagai modal pembangunan dengan memberikan perlakuan yang tepat sehingga dapat menunjang pembangunan secara berkelanjutan.

Alternatif solutif dan strategi penyelesaian permasalahan dan tantangan pangan dan pertanian ke depan tersebut, telah menjadi perhatian, komitmen dan tekad masyarakat internasional untuk diwujudkan dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan "*Sustainable Development Goals-SDGs*" pada tahun 2030. Pencapaian SDGs dilakukan dengan menetapkan 17 tujuan,

diantaranya yang berkaitan erat dengan sektor pertanian dan pangan adalah tertuang pada tujuan pertama dan kedua, yaitu untuk mengakhiri kemiskinan dan kelaparan (*no poverty, zero hunger*), serta menjamin tercapainya kesejahteraan hidup (Anderson 2016).

Keberhasilan pencapaian “dunia tanpa kelaparan’ membutuhkan beragam strategi dan terobosan menuju sistem pangan yang tangguh, produktif, efisien, inklusif dan berkelanjutan (FAO 2017b) sebagai visi bersama mewujudkan pangan dan pertanian berkelanjutan (FAO 2018). Rangkaian tindakan untuk mempercepat transformasi menuju pangan dan pertanian berkelanjutan dalam mencapai SDGs dilaksanakan mencakup berbagai aspek, mencakup pangan dan pertanian, mata pencaharian masyarakat dan pengelolaan sumber daya alam yang memfokuskan tidak hanya pada tujuan akhir tetapi juga pada sarana dan cara yang digunakan untuk mencapainya. Komitmen tersebut secara nasional juga didorong implementasinya melalui Peraturan Presiden Nomor: 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.

Berpijak pada perspektif tersebut, memberikan pesan kuat bahwa proses transformasi dari kondisi sistem pangan dan pertanian saat ini mendesak dilakukan, diiringi dengan penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan dan penanggulangan akar penyebab kemiskinan dan kelaparan. Pencapaiannya akan membutuhkan lompatan teknologi dan inovasi serta kemampuan dalam optimalisasi pemanfaatan sumber daya yang dimiliki, termasuk air irigasi. Kemajuan dan kekuatan teknologi yang digerakkan oleh teknologi informasi komunikasi memiliki peran penting untuk dimanfaatkan bagi pengambilan keputusan melalui informasi yang akurat, dapat diandalkan dan tepat waktu.

Pertanian harus mampu beradaptasi dan mendapatkan manfaat keunggulan ICT yang muncul untuk mendapatkan solusi

mengatasi tantangan dan permasalahan yang dihadapi. Inovasi dan teknologi digital seperti *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligent (AI)* dan pemanfaatan big data dapat menjadi bagian dari bauran strategi yang diperlukan. Pemanfaatan *IoT* dan *Cloud Computing* dalam pertanian mendorong berkembangnya *Smart Farming* (Sundmaecker et al. 2016) yang implementasi selanjutnya dipertajam dengan memperhitungkan keragaman dan analisis data beragam variabel secara *real time* di lapangan, dikenal sebagai *Precision Agriculture* atau pertanian presisi (Wolfert et al. 2014). Komitmen mewujudkan pangan dan pertanian berkelanjutan dengan membangun infrastruktur kuat, mempromosikan industrialisasi berkelanjutan dan mendorong inovasi, secara eksplisit menjadi upaya pada tujuan ke-9 dari SDGs.

Upaya bertransformasi menuju pangan dan pertanian berkelanjutan, semakin *urgent* dan strategis secara nasional karena telah ditetapkan menjadi arah kebijakan dalam “Memperkuat Ketahanan Ekonomi untuk Pertumbuhan yang Berkualitas” sebagaimana digariskan dalam RPJMN 2020-2024 dan penjabarannya dituangkan dalam Rencana Strategis (Renstra) Kementerian Pertanian 2020-2024. Pembangunan ekonomi akan dilaksanakan melalui dua pendekatan, yaitu: pengelolaan sumber daya ekonomi, dan peningkatan nilai tambah ekonomi yang menjadi landasan bagi sinergi dan keterpaduan kebijakan lintas sektor termasuk sektor pangan dan pertanian. Memperbaiki capaian kinerja ke depan, pengelolaan sumber daya pangan, perlu ditingkatkan antara lain, (1) keterhubungan antara sentra produksi pangan dan wilayah dengan permintaan pangan tinggi masih perlu diperkuat, serta (2) kecukupan pasokan dan kualitas pangan di wilayah rentan kelaparan, *stunting*, kemiskinan dan perbatasan perlu lebih difokuskan dalam pengelolaan pangan.

Melalui review hasil kajian dan referensi (*desk study*), penulisan makalah ini bertujuan untuk membahas bagaimana teknologi digital mampu berperan sebagai kekuatan transformatif dalam

sistem pangan dan pertanian berkelanjutan, sehingga menjadi platform inovasi mendukung pertanian modern berkelanjutan. Secara spesifik, pembahasan dimulai dengan gambaran tantangan dan permasalahan pembangunan pangan dan pertanian ke depan, arah pembangunan pertanian modern di Indonesia, teknologi digital sebagai platform inovasi mendukung pertanian modern serta tantangan dan kendala pemanfaatan teknologi pertanian digital sebagai proses pembelajaran untuk beradaptasi dan bertransformasi mewujudkan pertanian modern di masa depan sebagai kunci mewujudkan kesejahteraan.

ARAH PEMBANGUNAN PERTANIAN MASA DEPAN DI INDONESIA

Esensi arah pembangunan pertanian di masa depan sejatinya untuk mewujudkan pembangunan pertanian modern dan berkelanjutan yang menyejahterakan. Perspektif implementasi pembangunan pertanian modern dan berkelanjutan telah dirumuskan sebagai arah pembangunan pertanian jangka panjang dalam **Strategi Induk Pembangunan Pertanian (SIPP) 2013-2045**, yaitu membangun pertanian bioindustri berkelanjutan. Wujud pembangunan pertanian bioindustri adalah pembangunan industri pertanian (agroindustri) yang terintegrasi dalam sebuah sistem keterkaitan secara menyeluruh dari hulu hingga hilir (*from land to table*) secara berkesinambungan (Rohmani dan Soeparno 2018). Implementasi pembangunan pertanian bioindustri berkelanjutan dibangun dalam keterpaduan siklus bioindustri yang berorientasi pada keberlanjutan ekologis dan *bio-services* (OECD, 2008) sehingga terpenuhi keterkaitan tiga dimensi keberlanjutan lingkungan, ekonomi dan sosial, yang lebih dikenal sebagai "*triple bottom line*" (Elkington 1997).

Arah pembangunan pertanian modern dan berkelanjutan dijawabantahkan melalui arah pembangunan pertanian jangka

menengah 5 tahunan pada Renstra Kementerian Pertanian (2015-2019), dan diperkuat dalam Renstra Kementerian Pertanian 2020-2024. Arah pembangunan pertanian yang akan dituju tersebut merupakan penjabaran pembangunan bidang pangan dan pertanian yang telah digariskan dalam RPJMN 2015-2019 dan 2020-2024, searah dengan Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) Tahun 2005-2025. Pembangunan pertanian masa depan dimaksud dirumuskan dalam visi yang akan dicapai pada periode 2015-2019 melalui **Pertanian Bioindustri** untuk Terwujudnya Kedaulatan Pangan dan Kesejahteraan Petani, dan dilanjutkan pada periode 2020-2024 untuk mencapai **Pertanian Maju, Mandiri dan Modern**, yang dalam berbagai perspektif sejalan dengan pelaksanaan SDGs (ketetapan Perpres Nomor: 59 Tahun 2017).

Mewujudkan pembangunan pertanian modern berkelanjutan ke depan menjadi strategi terintegrasi sekaligus landasan filosofis transformasi ekonomi mendukung **struktur ekonomi yang produktif, mandiri dan berdaya saing** yang telah dicanangkan oleh Pemerintah (RPJMN 2020-2024). Transformasi ekonomi dilakukan dari ketergantungan sumber daya alam menjadi daya saing manufaktur dan jasa modern yang mempunyai nilai tambah tinggi bagi kemakmuran bangsa demi keadilan sosial bagi seluruh rakyat Indonesia. Pembangunan pangan dan pertanian sekaligus juga menjadi sarana strategis bagi pencapaian agenda peningkatan sumber daya manusia yang berkualitas dan berdaya saing. Komitmen pembangunan pertanian modern dalam hal ini telah memiliki kerangka regulasi, acuan dan posisi yang kuat serta menjadi proses pembelajaran bersama untuk melakukan transformasi ekonomi, transformasi pertanian dan transformasi digital sekaligus tonggak penting bagi skenario *Making Indonesia 4.0*. Keterkaitan arah pembangunan pertanian modern dengan upaya transformasi ekonomi yang dibangun disajikan pada Gambar 27.

Pembangunan pertanian modern dirancang mendukung keberhasilan salah satu prioritas pembangunan nasional (PN1) yang tertuang dalam RPJMN 2020-2024, **Memperkuat Ketahanan Ekonomi untuk Pertumbuhan Berkualitas dan Berkeadilan**. Pencapaiannya akan dilakukan melalui **Program Prioritas Peningkatan Ketersediaan, Akses dan Kualitas Konsumsi Pangan (PP3)** dan **Peningkatan Nilai Tambah Lapangan Kerja dan Investasi di Sektor Riil, dan Industrialisasi (PP6)**. Kedua program prioritas secara konvergen dibangun untuk mencapai sasaran akhir yang bermuara pada peningkatan kesejahteraan petani (Kementan 2020).



Gambar 24. Keterkaitan Pembangunan Pertanian Modern dengan Upaya Transformasi Ekonomi (Sumber: Kemensesneg 2020; Kementan 2020)

Hadirnya kemajuan revolusi industri 4.0 yang telah mendigitalisasi seluruh aspek manufaktur, transformasi untuk membangun pertanian modern dan berkelanjutan menuju agorindustri 4.0 akan menjadi spirit dan arah ideal pembangunan pertanian ke depan. Transformasi dilakukan dengan tetap berorientasi pada penguatan kemampuan pertanian rakyat menuju pada kesejahteraan petani sebagai pelaku utama pembangunan pertanian sebagai muara akhir dari pembangunan pertanian (Rohmani dan Soeparno 2018). Konsep pertanian masa depan yang diusulkan FAO 2019 untuk dibangun melalui proses transformasi adalah *digital agriculture* (pertanian digital) yaitu suatu evolusi inovasi berbasis *precision farming* dengan memanfaatkan semua pengetahuan yang tersedia didukung oleh perangkat teknologi yang semakin canggih, termasuk kekuatan teknologi industri 4. Pertanian digital di banyak referensi sering dikenal juga sebagai *digital farming*. Marwah utama implementasi pembangunan pertanian modern adalah kemampuan dan kekuatan inovasi, sehingga produk pertanian memiliki keunggulan efisiensi dan daya saing (Pasandaran 2017).

Pengalaman dari berbagai negara, pertanian digital selain memanfaatkan teknologi pertanian inovatif presisi, dibangun terintegrasi dengan jaringan cerdas dan alat manajemen data sehingga dapat menggunakan semua informasi dan keahlian yang tersedia untuk memungkinkan otomatisasi keseluruhan proses produksi pertanian secara berkelanjutan. Pertanian digital secara struktural mirip dengan konsep industri 4.0, dengan parameter dalam proses produksi pertanian agak berbeda dari proses industri, dikarenakan pertanian sangat ditentukan oleh faktor alam dan biologis. Kompleksitas proses produksi pertanian memerlukan keterlibatan banyak mitra bisnis dan sumber informasi, sehingga variasi lanskap pertanian digital ditemukan dengan struktur komunikasi yang luas dan berbeda dengan proses industri. Dua prasarat utama yang memungkinkan pertanian

digital dapat berfungsi adalah: (1) Mesin pintar, yang dapat menerima, mengirim, menghasilkan dan memproses data (melalui sensor); dan (2) Mesin yang saling terhubung untuk memungkinkan pertukaran data antar mesin, dengan mitra bisnis, dan antar portal data (CEMA 2017).

Merujuk arah pembangunan pertanian ke depan, dengan memperhatikan berbagai perspektif untuk mewujudkan pembangunan pangan dan pertanian berkelanjutan serta mencermati dinamika lingkungan strategis baik global dan nasional (termasuk pandemic covid-19), semakin dituntut ketepatan dalam merumuskan alternatif strategi untuk menyelesaikan permasalahan dan menjawab tantangan yang dihadapi. Secara spesifik isu pangan dan pertanian yang dihadapi tidak saja mencakup aspek keterbatasan sumber daya alam, SDM, ketersediaan dan konsumsi pangan, namun juga aspek pengelolaan yang menuntut ketepatan dan akurasi data yang semakin tinggi. Penerapan pertanian presisi, menjadi salah satu alternatif dan orientasi utama mendukung pertanian modern berkelanjutan yang diharapkan (FAO 2018; Seminar 2016).

Agar pembangunan pertanian berkontribusi bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat petani, harus dipastikan bahwa dalam setiap proses produksi dari hulu hingga hilir mampu memberikan kepastian diperolehnya peningkatan efisiensi, nilai tambah dan daya saing. Terdapat dua pilihan dan menjadi tantangan bagi bangsa Indonesia untuk beradaptasi dan atau memperkuat kapasitas bertransformasi mewujudkan pertanian modern berkelanjutan di masa depan (Soeparno 2019). Transformasi menuju agroindustri 4.0 sebagai wujud implementasi pertanian modern dan evolusi lebih dari pertanian presisi dengan kekuatan teknologi industri 4.0 yang saling terhubung dalam satu rantai produksi hulu-hilir (CEMA 2017). Agroindustri 4.0 memberikan banyak manfaat seperti meningkatkan efisiensi, produktivitas dan profitabilitas sekaligus meminimalkan dampak yang tidak

diinginkan dari sistem produksi pertanian Berkembangnya teknologi baru seperti sensor nirkabel "*wireless sensors*" berkinerja tinggi, mikro-prosesor, komunikasi seluler *bandwidth* tinggi, *cloud computing*, dan analisis *big data*, pertanian presisi mampu mengotomatisasi, menyederhanakan pengumpulan dan analisis informasi yang dapat membantu pengambilan dan implementasi keputusan manajemen secara cepat. Dengan demikian, upaya menerapkan dan mengembangkan pertanian presisi menuju agroindustri 4.0 akan memberikan peluang perbaikan tiga dimensi keberlanjutan baik secara ekonomi, sosial maupun lingkungan.

TEKNOLOGI DIGITAL SEBAGAI PLATFORM INOVASI Mendukung PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Pemanfaatan dan penggunaan teknologi digital (inovasi digital) terus berkembang dalam setiap proses bisnis dan pengelolaan sektor apapun tak terkecuali untuk memajukan pembangunan pertanian. Secara umum, teknologi digital berkaitan dengan alat, sistem, perangkat, dan sumber daya elektronik yang memiliki kemampuan menghasilkan, menyimpan, atau memproses data. Media sosial, *game on line*, multimedia, dan ponsel seluler dengan berbagai aplikasinya (jual beli *on line*, televisi digital, *streaming video*, maupun musik digital) adalah contoh teknologi digital yang sangat akrab dalam kehidupan saat ini. Internet adalah fungsi dari banyak bagian teknologi digital, dan situs web adalah salah satu cara paling umum yang digunakan untuk mengaksesnya.

Untuk mengatasi tantangan pertanian presisi dengan ekosistem pertanian yang kompleks, multivariat dan tidak dapat diprediksi perlu dianalisis dan dipahami dengan lebih baik sehingga berkelanjutan. Teknologi digital dengan keunggulan dan cakupan aplikasinya mampu memantau dan mengukur berbagai

aspek lingkungan fisik secara terus-menerus (Sonka 2016), menghasilkan big data dalam kecepatan tinggi (Chi, et al. 2016) sehingga terbukti berkontribusi menjawab tantangan dan upaya mewujudkan pertanian modern berkelanjutan. Pengumpulan data dalam skala besar, penyimpanan, pemrosesan, pemodelan dan beberapa aplikasi analisis big data seperti cuaca, kondisi pertanaman, hara tanah, pemantauan gangguan hama penyakit dan beragam variabel lain secara *real time* sebagai gambaran praktek pertanian baru (Kempenaar, et al. 2016; Sonka 2016). Kemampuan menangkap data, menemukan perubahan yang terjadi dan analisis dengan kecepatan tinggi dirancang agar petani dan lembaga terkait dapat memanfaatkan nilai ekonomi bagi kemajuan proses bisnisnya (Waga dan Rabah 2014; Lokers, et al. 2016). Mendigitalkan setiap operasi (proses) bisnis dilakukan untuk diperolehnya efisiensi, menjadi trend baru untuk melibatkan pengguna dan membawa produk dan layanan baru ke pasar.

Penggunaan dan pemanfaatan teknologi digital dapat diibaratkan **menciptakan platform inovasi** yang mampu memberikan jalur dan tanggapan cepat dalam proses bisnis dan bertindak sebagai inkubator yang mendorong nilai tambah dan daya saing. Teknologi digital mampu mempromosikan inklusi yang lebih besar dalam ekonomi yang lebih luas, meningkatkan efisiensi dengan melengkapi faktor produksi yang lain, serta menumbuhkan inovasi secara progresif akan mengurangi biaya transaksi (Deichmann et al. 2016). Penerapan teknologi digital dengan menggunakan ICT untuk layanan penyuluhan pada petani kecil di Afrika terbukti dapat menghemat biaya dan waktu serta menunjukkan hasil yang signifikan bagi pencapaian keberhasilan pembelajaran dan adopsi (Aker 2011). Dari spektrum produktivitas, pertanian modern skala besar akan sangat menuntut pertanian presisi dengan pemanfaatan teknologi digital seperti GPS, satelit dan drone, serta informasi cuaca dan iklim

yang semakin rinci dan tersedia secara instan (Oliver, Robertson, dan Wong 2010).

Konsep platform inovasi dalam perspektif sistem inovasi pertanian berkembang cepat, dan menjadi **mantra penelitian** untuk berbagai program dan kegiatan sehingga terbukti berkontribusi nyata pada hasil pembangunan pertanian. Platform inovasi bertujuan untuk mengatasi kelemahan dalam sistem inovasi pertanian dengan membangun interaksi di antara berbagai jenis aktor dan organisasi, mempromosikan perubahan dalam praktik, institusi dan kebijakan dan untuk secara efektif mengoptimalkan sumber daya manusia dan keuangan yang tersedia untuk menyelesaikan masalah dan memanfaatkannya menjadi peluang (Davies et al. 2018). Prinsip dasar sebuah platform inovasi adalah bahwa para pemangku kepentingan saling bergantung satu sama lain untuk mencapai hasil pembangunan pertanian, oleh karenanya membutuhkan ruang di mana mereka dapat belajar, berdiskusi dan berkoordinasi untuk mengatasi tantangan dan menangkap peluang inovasi melalui proses yang difasilitasi (Schut, M., et al. 2018). Esensi platform inovasi tersebut relevan dengan definisi yang diberikan oleh Homman S. et al. (2015) dan Soeparno et al. (2018), sebagai forum fisik atau virtual yang menciptakan lingkungan di mana untuk berbagi dan mendiskusikan ide, mendengarkan, belajar, berpikir dan berkolaborasi dengan pandangan untuk berinovasi.

Platform Inovasi Pendekatan Membangun Tindakan Kolektif Mencapai Perubahan dalam Pembangunan

Karakteristik pembangunan pertanian sebagai laboratorium biologis, melibatkan beragam komponen (faktor biofisik, sosial ekonomi dan politik, lembaga formal dan informal), sumber daya serta menghadapi tantangan dan permasalahan yang semakin kompleks. Platform inovasi akan sangat berguna dalam

memajukan pertanian, melalui efektivitas pelaksanaan dan keberhasilan program pembangunan. Dengan menyatukan para pemangku kepentingan di berbagai sektor dan dari berbagai tingkatan, platform inovasi pertanian akan dapat mengidentifikasi dan mengatasi masalah bersama secara lebih efektif. Platform inovasi dipromosikan untuk mempertemukan kelompok individu yang sering mewakili organisasi dengan latar belakang, keahlian dan minat berbeda (multi pemangku kepentingan), memberi mereka ruang untuk belajar, bertindak dan berubah (Bank Dunia 2006).

Kelompok pemangku kepentingan yang sebelumnya bertindak masing-masing (*independent*), bersatu untuk mendiagnosis masalah pertanian dan mata pencaharian yang lebih luas, mengidentifikasi peluang dan menemukan cara untuk mencapai tujuan bersama adalah salah satu manfaat utama platform inovasi (Klerkx et al. 2012). Sebagaimana tercermin dari namanya, platform inovasi memiliki “inovasi” obyektif, yaitu, pengenalan dan pemanfaatan pengetahuan baru (teknologi atau lainnya) dalam proses ekonomi atau sosial (OECD 1999). Homman S. (2015) menegaskan bahwa platform inovasi memiliki prinsip-prinsip sebagai berikut: (i) Platform inovasi inklusif dan mengikuti proses partisipatif; (ii) Ada kesamaan visi dan seperangkat modalitas operasi yang disepakati; (iii) Anggota berkomitmen dan memiliki insentif yang memadai untuk berpartisipasi; (iv) Keragaman kapasitas anggota, sumber daya, keterampilan, pengetahuan, minat dan kebutuhan diakui; dan (v) Terdapat proses komunikasi yang efisien dan efektif, *sharing* pengetahuan dan informasi.

Tiga elemen penting dalam platform inovasi: (1) komponen sistem, terutama para pelaku; (2) hubungan dan interaksi antara komponen-komponen; dan (3) kompetensi, fungsi, proses, dan hasil dari berfungsinya komponen-komponen tersebut (Soeparno et al, 2018). Melalui platform inovasi akan menyediakan forum yang baik bagi pelaku untuk berinteraksi dan memainkan peran

mereka dalam proses inovasi. Dalam upaya menciptakan ruang untuk pembelajaran, tindakan dan perubahan, platform inovasi dapat memenuhi serangkaian fungsi dan aktivitas, disajikan dalam Tabel 28.

Pendekatan platform inovasi secara khusus dianut sebagai model untuk mencapai hasil pembangunan melalui tindakan partisipatif (Chave et al. 2012; Ottosson 2003). Referensi kajian yang ada terutama berfokus pada penyediaan saran langkah demi langkah tentang cara mengimplementasikan dan memfasilitasi platform inovasi untuk teknologi atau perubahan kelembagaan.

Meskipun operasional pertanian berpusat dari rangkaian proses dan kegiatan di lapangan terutama di wilayah pedesaan, namun keberhasilannya dipengaruhi oleh kekuatan manajemen mulai dari kebijakan dan program yang dikoordinasikan dan dirancang secara nasional dan regional. Oleh karena itu, platform inovasi pertanian diperlukan di berbagai tingkat manajemen dan tata kelola, yang secara umum dan fungsional platform inovasi bekerja pada dua tingkatan yaitu platform inovasi pada tataran strategis dan tataran operasional (Tenywa, et al. 2010). Platform inovasi di tingkat strategis adalah platform yang disiapkan di tingkat pemerintahan (nasional) dan hierarki manajemen yang lebih tinggi sebagai domain strategi pembangunan pertanian. Platform Inovasi strategis dapat disiapkan di tingkat nasional atau sub-nasional (daerah) dari propinsi sampai dengan kecamatan atau dalam sub sektor. Platform inovasi strategis menargetkan kepala eksekutif organisasi dan pemangku kepentingan (lembaga penelitian, universitas/ perguruan tinggi, swasta dan pengguna) mendiskusikan strategi untuk mempromosikan sistem inovasi sesuai target komoditas dan memfasilitasi pengoperasian platform inovasi di level yang lebih rendah (tataran operasional).

Tabel 28. Fungsi dan Aktivitas Platform Inovasi (Sumber: Homman et al. 2015)

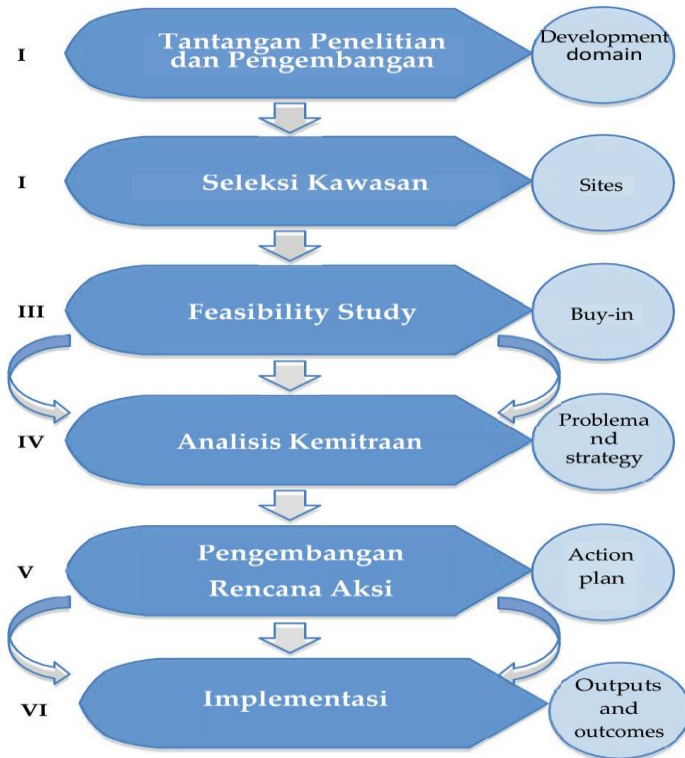
Fungsi	Aktivitas
Menggali ilmu pengetahuan	Eksperimen, pembelajaran, pengembangan dan pertukaran pengetahuan, sebagai pusat elemen inovasi dengan integrasi dan sinergi (teknis, opsi pengelolaan dan kelembagaan) yang lebih baik
Fasilitasi arus informasi banyak arah	Pertukaran informasi dan pandangan berbagai pihak melalui jaringan, identifikasi dan menghubungkan berbagai aktor, dan merangsang hubungan baru
Penciptaan atau Peningkatan momentum untuk perubahan	Menghasilkan solusi menuju harapan dan visi bersama, menciptakan komitmen dan legitimisasi untuk inovasi yang dihasilkan sehingga memotivasi tindakan kolektif untuk mengembangkan dan menguji inovasi lebih lanjut
Bimbingan penelitian, prioritas kebijakan dan investasi	Penetapan prioritas tantangan dan pilihan inovasi (mencakup akses ke informasi, teknologi, keuangan atau kesenjangan institusional) berdasarkan preferensi atau harapan para pemangku kepentingan sesuai alokasi sumber daya
Formasi Pasar	Fasilitasi memberikan gambaran peluang pasar, menciptakan kepercayaan, dan jangkauan pasar yang lebih luas
Pengembangan kapasitas dan membangun keterampilan kewirausahaan	Menciptakan peluang bisnis dengan teknologi baru, pembelajaran dan jaringan pasar. Mengembangkan kapasitas sistem belajar inheren dan berinovasi, menginkubasi bentuk organisasi baru, memelihara keterampilan (kewirausahaan, representasi, koordinasi dan komunikasi) anggotanya
Pengembangan kebijakan dan advokasi	Dukungan kelembagaan: penciptaan peluang bisnis dengan teknologi baru, pembelajaran dan jaringan pasar
Mobilisasi Sumberdaya	Aktivitas memberdayakan sumber daya yang beragam (finansial, manusia, sosial dan fisik) untuk memanfaatkan perubahan

Pembentukan dan pengoperasian platform inovasi pertanian dilakukan melalui pendekatan partisipatif dalam beberapa fase disertai dengan tindakan pembelajaran, melibatkan kombinasi dari proses iteratif dan partisipatif yang terintegrasi dengan pemodelan dan kegiatan di lapangan (Tenywa, et al. 2011). Secara umum terdiri dari tiga tahap, preformasi, formasi dan pra pembentukan. Fase pra-pembentukan dilakukan melalui tahapan : (a) eksplorasi terbuka (b) investigasi, analisis penelitian dan pengembangan metodologi, (c) konfrontasi argumentasi yang dimediasi, (d) eksplorasi tentatif, menuju konsensus pembentukan dan, (e) evaluasi kembali sebagai proses pembelajaran siklus pembentukan platform inovasi untuk implementasinya di lapangan (Van den Bor et al. 1999).

Selanjutnya, fase pembentukan berproses melalui langkah-langkah iteratif yang disajikan pada Gambar 28 (Tenywa, et al. 2011; Soeparno et al. 2018). Mobilisasi semua pemangku kepentingan akan memfasilitasi kolaborasi, kerjasama, jaringan dan mobilisasi modal sosial, untuk berkreasi dan berbagi pengetahuan. Para pemangku kepentingan terlibat dalam pertemuan konsultatif dengan para peneliti untuk memahami sifat kegiatan penelitian dan pengembangan serta pengaturan biofisik, sosial ekonomi, teknologi, kebijakan dan kelembagaan.

Berdasarkan kajian Fatunbi O. (2010), terdapat sembilan langkah penting untuk membuat platform inovasi menjadi operasional, yaitu : 1) Lokasi kegiatan, dengan melakukan analisis dan identifikasi peluang, tantangan dalam produktivitas pertanian di lokasi, situs atau komunitas; 2). Identifikasi fokus komoditas, sistem dan analisis rantai pasarnya; 3). Identifikasi/validasi pemangku kepentingan sebagai mitra dalam platform inovasi dan memiliki kepentingan kuat dalam platform; 4) Keterlibatan peneliti di setiap platform inovasi penting, karena berkontribusi terhadap pengembangan teknologi di sepanjang rantai nilai komoditas; 5) Pengembangan pedoman tata kelola dan

manajemen; 6) Fasilitasi interaksi para pemangku kepentingan; 7) Pengembangan rencana bisnis bersama pemangku kepentingan; 8) Penerapan rencana bisnis; dan 9) Penetapan langkah-langkah pemantauan, monitoring dan evaluasi serta *review* implementasi dan pembelajaran yang diperoleh.



Gambar 30. Langkah-langkah Menyusun Platform Inovasi Pertanian
(Sumber: Tenywa et al. 2011; Soeparno et al. 2018)

Digitalisasi Kekuatan Transformatif dalam Sistem Produksi dan Rantai Nilai Pangan

Membangun pertanian modern di era digital (pertanian digital) esensinya adalah mempercepat implementasi pertanian presisi ke dalam sistem produksi pertanian dengan berbasis informasi dan pengetahuan. Pertanian digital selain memanfaatkan teknologi pertanian, sekaligus terkait dengan jaringan cerdas dan alat manajemen data sehingga dapat menggunakan semua informasi dan keahlian yang tersedia untuk memungkinkan otomatisasi (digitalisasi) keseluruhan proses di bidang pertanian secara berkelanjutan (CEMA 2017).

Dalam perspektif dan implementasi pertanian digital, kegiatan pertanian dilakukan dengan praktek dan perlakuan yang semakin efisien, kreatif dan berdaya saing karena ketersediaan beragam inovasi yang dapat dimanfaatkan oleh petani dalam berbagai cara dan strategi. Hadirnya teknologi digital menciptakan peluang baru untuk mengintegrasikan petani kecil dalam sistem usaha pangan dan pertanian berbasis digital (USAID 2018). Implementasinya akan menghadapi tantangan dan proses transformasi dilakukan secara hati-hati agar tidak terjadi peningkatan “kesenjangan digital” antar sektor ekonomi dan antar pelaku yang memiliki kemampuan berbeda dalam mengadopsi teknologi baru tersebut (OECD, nd).

Pertanian digital akan menciptakan sistem yang sangat produktif, antisipatif dan mudah beradaptasi dengan perubahan termasuk perubahan iklim, yang akhirnya dapat mengarah pada keamanan pangan, profitabilitas, dan keberlanjutan yang lebih besar. Proses digitalisasi pada setiap bagian dari rantai makanan dan pertanian, pengelolaan sumber daya di seluruh sistem sangat optimal, individual, cerdas dan antisipatif. Sistem akan berfungsi secara *real time* dengan cara *hyper-connected* dan didorong oleh kekuatan analisis big data. Berbagai proses dalam rantai nilai dari

bidang yang berbeda akan menjadi terlacak “*traceability*” dan terkoordinasi dengan tingkat paling detail sehingga pengelolaan berjalan akurat untuk menghasilkan produk yang optimal.

Peralatan digital, tindakan analisis dan keputusan-keputusan agronomis berlangsung dalam pola interaktif, mengarahkan petani dalam mengambil keputusan apa yang harus dimanfaatkan di lahan mereka, dan bagaimana menerapkannya. Pertanian presisi, sebagai spirit utama dari implementasi pertanian digital dapat membantu petani memperbaiki sistem usahanya sekaligus mengatasi sejumlah tantangan yang dihadapi seperti kelangkaan air, keterbatasan lahan, perhitungan pembiayaan dan permintaan kuantitatif pasar.

Dalam konteks Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, pertanian digital memiliki potensi untuk menghasilkan **manfaat ekonomi** melalui peningkatan produktivitas pertanian, efisiensi biaya dan peluang pasar, **manfaat sosial** dan budaya melalui peningkatan komunikasi dan inklusivitas serta **manfaat lingkungan** melalui pemanfaatan sumber daya yang optimal dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Potensi manfaat dari digitalisasi sektor pangan dan pertanian sangat meyakinkan tetapi akan membutuhkan transformasi besar dari sistem pertanian, ekonomi pedesaan, masyarakat dan pengelolaan sumber daya alam. Dalam konteks inilah untuk mencapai potensi manfaat secara penuh, **berfungsinya platform inovasi akan menjadi tantangan sekaligus menjadi pendekatan sistematis dan holistik** yang dibutuhkan.

Teknologi digital dapat membantu tiga bidang utama sebagai fokus intervensi yang bertujuan untuk meningkatkan pertanian di negara berkembang. Hasil kajian Deichmann et al. (2016) menunjukkan bahwa manfaat digitalisasi dalam mentransformasi sistem pangan dan pertanian berpengaruh pada tiga hal utama, yaitu : peningkatan produktivitas lahan, transparansi pasar, dan

sistem logistik yang lebih efisien. Peningkatan produktivitas lahan terjadi karena proses adopsi teknologi inovatif lebih efektif melalui *eExtension* dan terintegrasi dalam sebuah sistem yang saling terkoneksi. Petani dapat saling berinteraksi dalam menemukan dan menyelesaikan permasalahan yang dihadapi, tanpa adanya asimetri informasi. Alat-alat digital telah memberikan kebangkitan pertanian dan layanan konsultasi penyuluhan dan dapat ditindaklanjuti dengan informasi dan saran kepada petani dengan biaya yang jauh lebih rendah dari pada layanan tradisional (Nakasone, Torero dan Minten 2014). Cole dan Fernando (2012) menunjukkan bahwa di pedesaan India, informasi yang diberikan melalui ponsel pintar kepada petani mampu meningkatkan pengetahuan mereka tentang opsi input yang tersedia seperti benih dan pupuk serta pilihan tanaman yang berbeda yang mengarah pada perubahan dalam keputusan investasi dengan menetapkan pengusahaan komoditi yang lebih menguntungkan.

Pengalaman baik penerapan digitalisasi lainnya adalah kajian *Grameen Foundation* mampu mendorong perubahan pada petani kecil (Hollingworth, S. 2018). Dengan pemanfaatan ponsel dikombinasikan data penginderaan jauh, komputasi terdistribusi, dan kemampuan penyimpanan data berbasis *cloud* telah menciptakan peluang baru penerapan pertanian presisi oleh petani kecil dan mengintegrasikannya ke dalam sistem pangan dan finansial yang lebih luas. Beragam *big data* dengan berbagai macam variabel ditangkap, dianalisis dan digunakan untuk pengambilan keputusan. Perubahan dan kemajuan dimulai dari pengembangan profil petani yang melibatkan serangkaian informasi, antara lain: demografi petani dan rumah tangga, pendidikan, praktik pertanian, aset keuangan dan layanan yang digunakan, kondisi lingkungan pertanian, ukuran lahan, kepemilikan lahan, komoditas yang diusahakan, sumber pendapatan, pendapatan, disertai dimensi gender terhadap berbagai aspek tersebut.

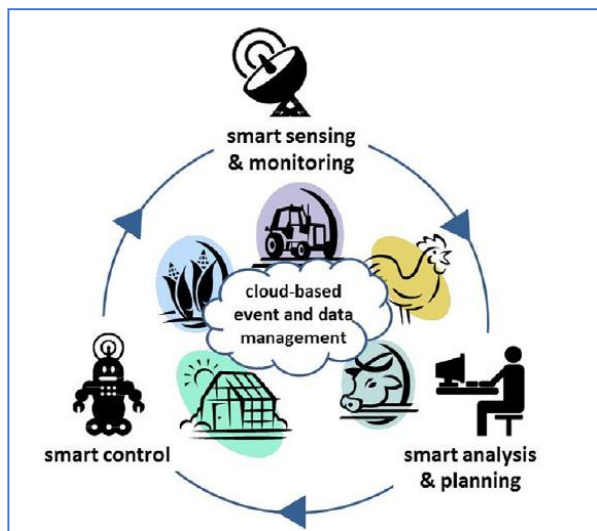
Menggunakan profil petani tersebut, berbagai keputusan penting dapat diambil antara lain lembaga pemerintah, perusahaan, dan berbagai lembaga lainnya dapat memastikan layanan dan informasi paling berguna yang diperlukan untuk mendukung produktivitas petani, akses layanan keuangan yang sesuai, dan integrasi ke pasar pertanian formal. Transparansi pasar dapat dicapai karena digitalisasi mampu memberikan kekuatan sebagai sumber informasi dan akses yang lebih baik ke informasi pasar, jaminan peningkatan harga yang diterima petani sehingga meningkatkan pendapatan dan membantu petani membuat keputusan produksi yang lebih baik. Selain itu, dengan pasar produk pertanian yang terintegrasi akan meningkatkan efisiensi pasar melalui penurunan biaya pencarian, menurunkan kompetisi dan menciptakan alokasi barang yang tidak efisien di seluruh pasar (Banerjee dan Munshi 2004).

Teknologi digital memiliki dampak penting dalam menghubungkan petani dengan pasar dan tahap-tahap penting dari rantai nilai. Sebuah studi yang dilakukan di Bangladesh, Cina, India, dan Vietnam menemukan bahwa 80 persen petani memiliki ponsel dan menggunakannya terhubung dengan agen dan pedagang untuk memperkirakan permintaan pasar dan harga jual, serta lebih dari 50 persen petani akan mengatur penjualan melalui telepon (Reardon et al. 2012). Kecanggihan dan pengetahuan yang berkembang tentang rantai nilai menjadikan petani dapat bekerja langsung dengan perantara yang lebih besar, menangkap lebih banyak nilai produk, dan petani dapat memperluas jaringan dan melakukan transaksi dengan pembeli lain.

Adanya teknologi digital juga meningkatkan manajemen rantai pasok pertanian dan efisiensi sistem logistik. Tren sistem pangan global menuntut jaminan dan kepastian keamanan pangan yang lebih kompleks dan memerlukan katalisasi inovasi untuk melacak pasokan makanan dari produsen ke konsumen, serta pengembangan pasar ekspor baru. Teknologi digital

digunakan untuk memperbaiki proses pengumpulan, transportasi, dan kontrol kualitas produk sehingga akan berdampak pada peningkatan perlindungan konsumen dan mata pencaharian petani. Teknologi digital tidak hanya memperluas mekanisme pasar, tetapi juga mampu menembus lokasi di mana keberadaan pasar secara fisik membatasi pembeli dan penjual melakukan transaksi jual beli dan berguna dalam memfasilitasi akses petani pedesaan (dengan infrastruktur publik kurang memadai) ke pasar lokal dan global (Cunden dan van Heck 2004).

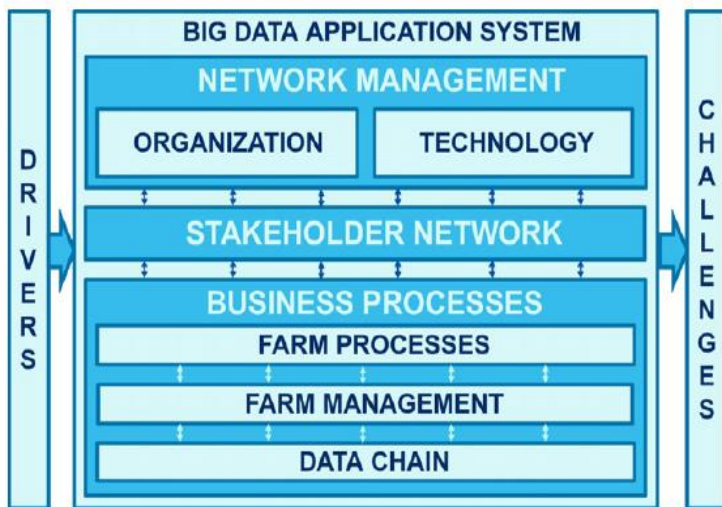
Digitalisasi membawa banyak perubahan terhadap sistem kontrol dari setiap proses siklus manajemen usaha. Peran manusia dalam analisis dan perencanaan semakin dibantu oleh mesin-mesin cerdas sehingga menjadi siklus *cyber* fisik yang otonom. Manusia akan selalu terlibat dalam keseluruhan proses tetapi akan semakin meninggalkan sebagian besar kegiatan operasionalnya dan akan digantikan oleh mesin. Berfungsinya manajemen jaringan siklus aplikasi *cyber* fisik *smart farming* (Gambar 29) membutuhkan kolaborasi antara banyak pemangku kepentingan dengan peran berbeda dalam rantai nilai, yang secara vertikal dan horizontal saling bekerja sama untuk menambah nilai sebuah produk bagi pelanggan dengan memanfaatkan berbagai analisis dan manajemen *big data* (Wolfert et al. 2014). Lambert dan Cooper (2000) telah memberikan kerangka konseptual yang menjelaskan peran *big data* dalam *smart farming*, para *stakeholders* (pemangku kepentingan) yang terlibat dan pengorganisasiannya, perubahan yang diharapkan serta tantangan yang perlu diatasi, disajikan pada Gambar 30.



Gambar 31. Siklus Manajemen Cyber-Fisik *Smart Farming* Berbasis *Cloud* dan Manajemen Data (Sumber: Wolfert et al. 2014)

Dalam kerangka konseptual tersebut, dijelaskan komponen manajemen jaringan dibagi menjadi teknologi dan komponen organisasi, sedangkan proses bisnis (lapisan bawah) fokus pada generasi dan penggunaan big data di dalam pengelolaan proses pertanian yang berkaitan dengan rantai data, manajemen dan proses pertanian. Rantai data berinteraksi dengan proses pertanian dan proses manajemen pertanian melalui berbagai proses pembuatan keputusan dimana informasi memainkan peran penting. Jaringan *stakeholders* (lapisan tengah) terdiri dari semua pemangku kepentingan yang terlibat dalam proses pertanian dan proses manajemen pertanian. Jaringan *stakeholders* tidak hanya pengguna big data tetapi juga melibatkan lembaga/perusahaan yang mengelola big data, peraturan dan aktor kebijakan. Adapun lapisan jaringan manajemen melambangkan struktur organisasi dan teknologi dalam jaringan yang memfasilitasi koordinasi dan proses manajemen yang dilakukan oleh para aktor di lapisan

jaringan pemangku kepentingan. Komponen teknologi manajemen jaringan (lapisan atas) berfokus pada infrastruktur informasi yang mendukung rantai data. Komponen organisasi berfokus pada tata kelola dan model bisnis dari rantai data. Berdasarkan rangkaian proses tersebut, dapat diidentifikasi beberapa faktor sebagai pendorong utama dan tantangan untuk pengembangan big data pada *smart farming*. Aplikasi big data akan memberikan wawasan prediksi hasil pertanian masa depan, mendorong pengambilan keputusan operasional *real-time*, dan menemukan proses bisnis yang lebih cepat, inovatif, dan membangun keseimbangan peran baru serta diharapkan membawa perubahan pembangunan pangan dan pertanian, utamanya peramalan waktu, pelacakan fisik, dan menciptakan kembali proses bisnis baru (Pope et al. 2015).

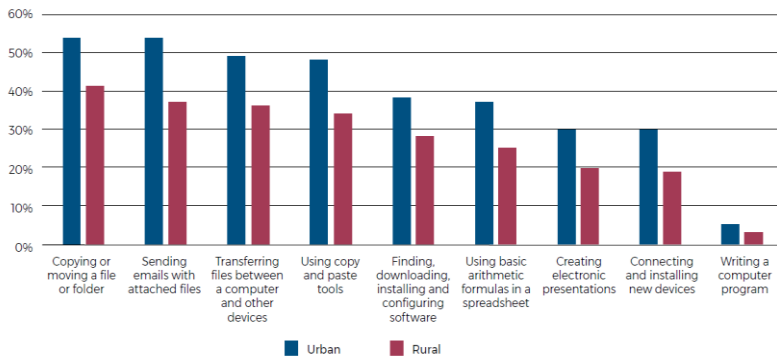


Gambar 25. Kerangka Konseptual Jaringan Aplikasi Big Data dalam *Smart Farming* (Sumber: Lambert dan Cooper 2000)

TANTANGAN DAN KENDALA PEMANFAATAN TEKNOLOGI PERTANIAN DIGITAL DI INDONESIA

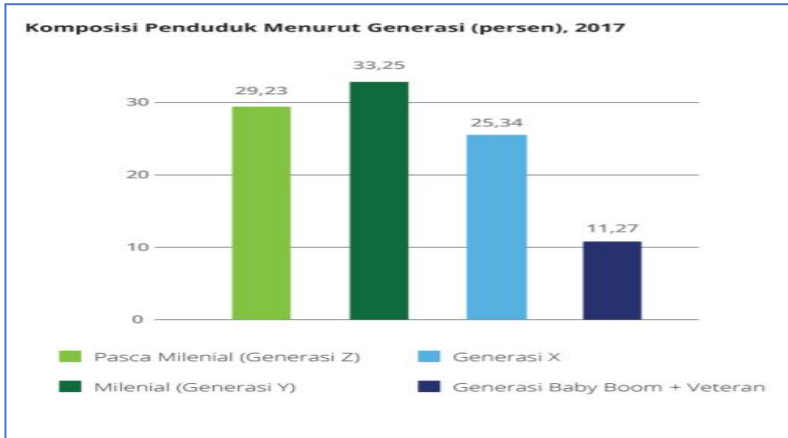
Searah dengan kerangka transformasi ekonomi dan transformasi pembangunan pertanian ke depan, penerapan teknologi digital dirancang untuk mendorong penguatan peran petani dalam keseluruhan rantai dan proses produksi sehingga kesejahteraannya meningkat. Strategi implementasinya dilaksanakan melalui upaya adaptasi dan transformasi secara bertahap dan terintegrasi dengan pengembangan kawasan pertanian, yang pelaksanaannya diatur dalam Permentan Nomor: 18 Tahun 2018 tentang Pengembangan Kawasan Berbasis Korporasi Petani (utamanya pada Pasal 5 dan 6). Pembangunan dilaksanakan sesuai dengan kondisi kawasan yang telah dibangun, kesiapan sumber daya manusia dan infrastruktur pendukungnya. Dari kawasan pertanian yang ada dapat dipetakan, kawasan pertanian yang potensial untuk bertransformasi menuju pertanian 4.0 (diperkirakan masih terbatas), kawasan potensial pendukung dan kawasan pertanian yang masih tertinggal (yang relatif mayoritas). Pemetaan kawasan untuk dapat bertransformasi menuju pertanian modern dan memanfaatkan teknologi digital masih diperlukan kajian mendalam sehingga dapat dipastikan strategi tepat dalam pengembangannya.

Kondisi keragaman kawasan secara obyektif juga menunjukkan sebagai realitas global saat ini bahwa 15% penduduk dunia (sekitar 1,2 milyar jiwa) masih belum mencapai industri 2.0 (tanpa listrik) dan 50%-nya masih belum mencapai industri 3.0 (tanpa dan belum terhubung dengan internet). Proporsi ketrampilan digital rata-rata populasi di daerah perdesaan dan perkotaan dalam berbagai bidang (yang ditunjukkan pada Gambar 31), menunjukkan bahwa populasi perkotaan lebih maju dari pada penduduk pedesaan (FAO 2019)



Gambar 26. Proporsi Rata-rata Populasi di Daerah Pedesaan dan Perkotaan dengan Keterampilan Digital Tertentu, 2017 (Sumber: FAO 2019)

Generasi milenial diharapkan mampu berperan dan menjadi penetrasi dalam mewujudkan pertanian modern di masa depan. Melalui Kementerian Pertanian juga telah dirancang program inisiatif pengembangan SDM pertanian, dituangkan dalam Renstra Kementan 2020-2024 dengan arah untuk mewujudkan sumberdaya manusia pertanian yang profesional, mandiri, dan berdaya saing untuk mewujudkan kedaulatan pangan dan kesejahteraan petani. Menurut Susenas (Survei Sosial Ekonomi Nasional) tahun 2017, generasi milenial yang lahir antara tahun 1981-2000 berjumlah 88 juta (33,25% dari jumlah penduduk Indonesia). Keberadaan generasi milenial digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 27. Komposisi Penduduk menurut Generasi (Sumber: SUSENAS 2017)

Transformasi pertanian didorong melalui implementasi pertanian presisi hulu-hilir dan mencakup manajemen *on farm* dan *off farm*. Dengan kemajuan ICT dan teknologi digital dalam keseluruhan proses dan sistem produksi pangan dan pertanian diharapkan dapat membawa berbagai kemajuan antara lain : 1) tercapainya efisiensi, nilai tambah dan daya saing; 2) produk petani dapat diakses langsung dan dikenal lebih luas; 3) mendekatkan petani dengan konsumen dan memotong rantai pemasaran; serta 3) banyak peran dan pelaku usaha baru yang berkembang sehingga secara keseluruhan bermuara pada peningkatan kesejahteraan petani. Pertanian presisi di era teknologi 4.0, membuat pertanian masa depan lebih produktif dan efisien dengan penerapan tujuh kemajuan teknologi utama yaitu : 1) perangkat lunak manajemen pertanian, 2) analisis data produksi, 3) sensor membantu petani mengumpulkan data dan memantau kesehatan tanaman, cuaca dan kondisi (kualitas) tanah; 4) perangkat keras dan lunak untuk tujuan mulai *breeding* sampai dengan genomics; 5) robotik dan *drone*; 6) *smart irrigation*; dan 7)

platform teknologi yang menghubungkan petani secara langsung dengan pemasok atau konsumen tanpa ada perantara (FAO 2018b).

Dalam bab sebelumnya, berbagai hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi digital telah memberikan banyak manfaat dan dampak untuk perubahan dan kemajuan di sektor pertanian. Pelajaran baik dari hasil kajian telah memberikan ulasan tentang dampak teknologi digital baru pada pembangunan sektor pedesaan di negara berkembang. Kemajuan ICT terbukti mendukung tujuan pembangunan terutama dengan memungkinkan lebih banyak pelaku, *stakeholders* dan perusahaan berpartisipasi inklusif dalam pengembangan pasar, membuat faktor-faktor yang berpengaruh lebih produktif dan efisien serta berkontribusi mendukung skala ekonomi besar karena model bisnis baru (inovasi).

Pemanfaatan teknologi digital mendukung pertanian modern dan berkelanjutan akan menghadapi beberapa kendala dan tantangan. Praktek pertanian yang berlangsung di daerah pedesaan, masih tetap menghadapi permasalahan klasik petani, antara lain kepemilikan lahan sempit, akses terhadap informasi pasar dan permodalan rendah, pendidikan petani dan ketrampilan terbatas serta secara umum tergolong miskin. Di Indonesia, secara spesifik kondisi SDM pertanian menunjukkan bahwa 13% petani berusia tua "*aging farmer*" (>65 tahun), 66% hanya pendidikan dasar, tingkat adopsi teknologi dan tingkat resiliensi rendah, kelembagaan ekonomi petani baru 1,7%, akses permodalan dan informasi rendah, serta penguasaan lahan sempit <0,5 ha. Meski tingkat pendidikan penyuluh relatif memadai (S1/D4 63%; S2 3% dan S3 21 orang) dari jumlah 64.329 orang, namun rasio penyuluh dalam satu desa 0,5 (1 penyuluh membina 2 desa), sehingga layanan penyuluhan belum berjalan optimal (Kementerian Pertanian 2020).

Berpijak dari beberapa kajian yang dilakukan di negara berkembang (termasuk Indonesia), penerapan dan pemanfaatan teknologi digital akan menghadapi berbagai kendala dan tantangan, yang dapat dijabarkan ke dalam beberapa aspek sebagai berikut:

1. Infrastruktur dan jangkauan jaringan di pedesaan

Infrastruktur digital yang baik di daerah pedesaan, merupakan prasyarat untuk pertanian dan sistem pangan digital. Meski diakui bahwa kemajuan teknologi dan reformasi peraturan telah meningkatkan akses ICT hingga ke daerah pedesaan namun kesenjangan digital (seperti internet) belum tersedia di seluruh tingkat pendapatan, dan masyarakat pedesaan masih relatif tertinggal dari akses teknologi baru tersebut. Infrastruktur telekomunikasi yang tidak memadai di wilayah pedesaan menjadikan mayoritas peralatan pertanian saat ini masih belum memenuhi peralatan yang dibutuhkan dalam teknologi digital dan belum saling terkoneksi. Hal ini juga disebabkan banyak petani belum memiliki atau menggunakan ponsel dan distribusi kepemilikan yang belum merata. Akses dengan *smartphone* yang mendukung web, internet 3G atau 4G masih sangat terbatas di pedesaan. Perlu ada upaya khusus untuk mengatasi kesenjangan ini dan memfasilitasi kepemilikan dan penggunaan ponsel cerdas di pedesaan yang masih sangat kurang.

2. Regulasi yang menjadi acuan dan payung hukum bagi berbagai pihak dan pelaku usaha

Untuk memfasilitasi dan membuka potensi transformasi pertanian digital, perlu dukungan lingkungan regulasi "*policy environment*" dari pemerintah. Merancang dan mengelola program digital memerlukan kapasitas administrasi tingkat tinggi yang

secara umum berada di luar kemampuan pemerintah (utamanya bagi negara berkembang dan kurang maju). Mengatasi kesenjangan digital harus menjadi kebijakan dan prioritas pemerintah, penting mempertimbangkan aspek sosial ekonomi untuk proses digitalisasi yang dibangun baik bagi petani kecil, calon investor, pebisnis pemula dan *stakeholders* lainnya. Misalnya terkait pengumpulan, analisis dan layanan data yang luas akan mendorong penggunaan mesin-mesin cerdas dan *Artificial Intelligence* (AI) dan model-model baru perlu dikembangkan untuk menjadikan big data bermanfaat. Sangat diperlukan kemitraan untuk mengubah pertanian petani kecil menjadi bisnis digital yang berkelanjutan. Peraturan juga harus memberikan keputusan tentang kepemilikan, perlindungan dan penggunaan data, pengumpulan data oleh produsen (dengan perangkat yang dimiliki) dan peluang pemanfaatannya, termasuk bagaimana petani agar dapat saling memberikan dan *sharing* data.

3. Tingkat pendidikan, literasi digital dan kondisi pekerjaan petani

Kewirausahaan berbasis digital menghadirkan opsi yang menjanjikan untuk pengembangan bisnis bagi masyarakat pedesaan. Meskipun pertumbuhan teknologi pertanian digital pesat, namun sebagian besar solusi ICT yang dimungkinkan belum tersedia pada berbagai skala. Perusahaan (terutama UMKM dan *start-up* kecil) sering kesulitan untuk bergerak mengembangkan aplikasi bisnis, karena kurangnya bimbingan pengusaha dalam hal strategi penskalaan dan kurang terlayani pasar.

Untuk mendorong *agripreneurship* digital, perusahaan perlu memiliki karyawan yang terampil secara digital. Menemukan generasi milenial potensial dengan keterampilan yang relevan dan mengidentifikasi bagaimana agar mereka dapat tertarik dan

termotivasi bergelut dalam kewirausahaan pertanian, serta mengenali bakat karyawan yang bisa dipupuk serta investasi dalam pengembangan keterampilan digital menjadi strategi yang sangat penting untuk dilakukan.

Tingkat literasi dan pendidikan masyarakat pedesaan di negara berkembang yang relatif rendah akan menjadi hambatan untuk penggunaan teknologi digital, karena petani untuk dapat menggunakan teknologi baru memerlukan perluasan kompetensi teknologi. Dalam hal ini, pendidikan menjadi faktor terpenting untuk mempercepat inovasi dan transformasi digital. Selain itu, tingkat pengangguran kaum muda di pedesaan seringkali lebih tinggi dari pada rata-rata nasional juga akan menjadi kendala *agripreneurship* digital. Kurangnya e-literacy dan keterampilan digital di daerah pedesaan menyebabkan populasi pedesaan akan tertinggal di pasar tenaga kerja modern. Mengatasi hal ini diperlukan kurikulum pelajaran digital di sekolah untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan di kalangan guru dan untuk meningkatkan ketersediaan teknologi digital di Indonesia.

4. Dukungan kebijakan dan program (Pusat dan Daerah) yang mendorong pertanian digital

Kebijakan dan program untuk mengaktifkan pertanian digital baik di Pusat dan Daerah sangat diperlukan sebagai salah satu kekuatan pendorong keberhasilan digitalisasi. Kebijakan dan program pertanian digital (kerangka kerja pemerintah) akan menciptakan lingkungan yang memungkinkan pasar dan layanan elektronik digital lebih kompetitif, berkembangnya *e-government* di berbagai bidang (kesehatan, pendidikan, lingkungan, dan pekerjaan). Negara-negara berkembang sering memiliki kapasitas terbatas untuk mengelola proses dan memberikan keberhasilan bervariasi berdasarkan sektor. Di banyak negara, keberhasilan

sektor pertanian sebagai pemberi lapangan kerja utama di daerah pedesaan tertinggal di belakang, karena kurangnya penelitian kebijakan digitalisasi yang dipublikasikan dan kecenderungan kurangnya pemerintah menyediakan layanan elektronik dan kebijakan terkait konektivitas dan data.

LANGKAH KEBIJAKAN DAN AGENDA KE DEPAN

Strategi untuk bertransformasi menuju pertanian digital di negara-negara berkembang termasuk Indonesia harus dimulai dengan perencanaan matang, hati-hati dan cermat serta dilaksanakan terintegrasi, menggabungkan infrastruktur teknologi informasi dengan perubahan sosial, organisasi dan kebijakan. Pemanfaatan teknologi digital bagi pertanian modern berkelanjutan di masa depan, menjadi urgent dan relevan dengan komitmen SDGs.

Teknologi digital dimanfaatkan dalam kerangka membangun infrastruktur kuat, mempromosikan industrialisasi berkelanjutan dan mendorong inovasi (tujuan 9). Terkait mewujudkan pertanian modern berkelanjutan, digitalisasi diarahkan untuk mengakhiri kemiskinan dan kelaparan (tujuan 1 dan 2), serta menjamin tercapainya kesejahteraan hidup (tujuan 8) melalui pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dan inklusif, lapangan pekerjaan dan pekerjaan yang layak. Lebih spesifik, pemanfaatan teknologi digital bagi peningkatan proses bisnis pertanian dan keberlanjutan usaha, dirancang sebagai strategi yang menempatkan petani sebagai mitra setara dalam sistem inovasi sehingga diperlukan pembinaan dan partisipasi aktif petani. Proses pembelajaran petani dalam sistem inovasi didorong untuk perubahan ke arah yang lebih baik dan maju, menempatkan pertanian digital sebagai ekosistem pertanian kompleks, multivariat yang *unpredictable* sehingga perlu dianalisis dan dipahami dengan lebih baik.

Mewujudkan visi pembangunan pertanian masa depan tersebut, diperlukan langkah strategis dan kebijakan untuk memberikan kondisi kondusif dan kepastian regulasi yang mendorong agribisnis dan *agripeneurship* berbasis digital. Dengan mempertimbangkan kondisi pembangunan pertanian saat ini dan visi mewujudkan pertanian modern berkelanjutan di era industri 4.0, dapat diusulkan langkah-langkah strategis dan arah kebijakan yang dirumuskan baik dalam jangka panjang, menengah maupun jangka pendek. Langkah strategi jangka pendek dilakukan dalam kerangka membangun persamaan persepsi dan pandangan terkait dengan transformasi digital menuju pertanian 4.0, terdapat beberapa hal untuk dilakukan antara lain :

- a) Sosialisasi secara berjenjang dan berkelanjutan komitmen implementasi SGDs (Peraturan Presiden Nomor: 59 tahun 2017), arah pembangunan nasional (RPJMN 2020-2024) yang akan diwujudkan melalui pengarusutamaan dan tiga jalur transformasi (ekonomi, digital dan pertanian) secara terintegrasi dalam pembangunan pertanian dari hulu-hilir.
- b) Inisiasi penyusunan *roadmap* transformasi menuju pertanian maju, mandiri dan modern di era industri 4.0 (pertanian 4.0) sebagai acuan bersama dalam bertransformasi mewujudkan pertanian modern berkelanjutan di masa depan;
- c) Pengembangan *human capital management* untuk melahirkan generasi milenial (generasi Y) dan pasca milenial (generasi Z) yang kompeten dan profesional dalam memasuki dan menekuni pertanian digital;
- d) Melaksanakan investasi pembangunan infrastruktur dan jaringan untuk meningkatkan dan memperkuat konektivitas dan mengurangi kesenjangan digital di daerah pedesaan (dan sentra produksi pertanian). Konektivitas yang memadai (kekuatan akses *broadband* untuk komunikasi informasi, selular

dan kecepatan transmisi data) akan mendorong percepatan adopsi dan pemanfaatan teknologi digital di wilayah pedesaan sebagai instrumen teknologi pertanian presisi dan meluasnya penggunaan teknologi sensor;

Strategi dan kebijakan jangka menengah dilakukan untuk mendorong penelitian dan pengembangan (litbang) dan pendidikan inovatif melalui:

- a) Penguatan investasi litbang dan sistem inovasi pertanian yang melibatkan dan berkolaborasi luas dengan mitra (pendekatan platform inovasi);
- b) Program kolaborasi dan dukungan finansial perlu didorong untuk menembus pasar *agripreneur* sekaligus menarik investasi dan menciptakan peluang bagi investor dan *start-up*;
- c) Membangun insentif dan penghargaan bagi inovasi unggul, pemikiran kritis, serta meningkatkan literasi digital.
- d) Pengembangan bisnis dan perluasan pekerjaan sehingga *agripreneur* muda memiliki peran kunci dalam digitalisasi sektor pertanian.
- e) Implementasi pertanian presisi oleh banyak petani dan pelaku agroindustri sehingga menawarkan peluang bisnis, kesempatan kerja yang baik dan akan menghasilkan manfaat dan efisiensi lingkungan, serta otomatisasi dan penerapan teknologi digital untuk mengurangi tantangan penggunaan tenaga kerja bagi pertanian;

Selanjutnya, dalam kerangka memberikan kepastian hukum dan regulasi bagi berbagai pihak dalam pemanfaatan teknologi digital untuk agroindustri dan berkembangnya *agripreneur*, menjadi urgen disusunnya **arah kebijakan membangun perekonomian jangka panjang** yang berkualitas melalui transformasi ekonomi, transformasi digital dan transformasi pertanian yang efisien, ramah lingkungan dan berdaya saing

dalam keseluruhan proses dan sistem produksi hulu sampai hilir secara berkelanjutan. Arah kebijakan jangka panjang, tidak saja fokus pada peningkatan produktivitas, efisiensi dan daya saing namun strategi dibangun dalam kerangka menciptakan **budaya agripreneur digital berkelanjutan** sebagai sebuah proses pembelajaran "*learning process*" kontinum jangka panjang, dimulai dari pendidikan formal dengan kurikulum yang sesuai. Strategi disertai dengan lingkungan kebijakan yang memungkinkan pengambilan risiko, hubungan berbasis kepercayaan antara pemangku kepentingan, berfungsinya layanan secara profesional dan ekosistem digital berkelanjutan, serta ketersediaan keterampilan yang sesuai dan berkembang dalam sistem "inovasi terbuka".

Agar pelaksanaan berbagai strategi pemanfaatan teknologi digital dalam pembangunan pertanian modern berkelanjutan dapat dilaksanakan secara efektif, memerlukan dukungan sejumlah prasyarat sebagai faktor *enabler* "*enabling environment*" yaitu dukungan politik pembangunan dan kebijakan publik yang berorientasi pada transformasi pertanian menuju pertanian digital. Tiga *enabler* utama yang memfasilitasi transformasi pertanian digital adalah: (1) penggunaan internet, seluler dan jejaring sosial di antara petani dan petugas penyuluh pertanian, (2) keterampilan digital bagi populasi pedesaan, dan (3) budaya yang mendorong *agripreneurship* dan inovasi digital.

Penggunaan teknologi digital di antara petani dan penduduk pedesaan. Di daerah pedesaan dengan tingkat pendidikan dan melek huruf secara umum lebih rendah, telepon seluler cenderung digunakan hanya untuk komunikasi dan media sosial. Pengenalan aplikasi pertanian digital akan menjadi sebuah tantangan dan membutuhkan keterampilan digital yang lebih maju. Dengan rendahnya tingkat kepemilikan *smartphone* di daerah pedesaan disertai tingginya biaya internet dan jangkauan jaringan terbatas juga menghadirkan tantangan untuk penggunaan aplikasi

pertanian *mobile* dan membatasi ruang lingkup penggunaan jejaring sosial untuk memfasilitasi dukungan pertanian dan arus informasi antar petani. Ketersediaan informasi mendukung petani membuat keputusan pertanian yang lebih baik yang dapat berkontribusi untuk meningkatkan hasil, mengurangi dampak lingkungan dan peningkatan mata pencaharian. Keragaman teknologi yang tersedia dan kurangnya standardisasi teknologi dan kompatibilitas di antara penduduk pedesaan (misalnya untuk pertukaran data) juga menciptakan penghalang penggunaan teknologi digital oleh petani.

Keterampilan digital di antara populasi pedesaan. Digitalisasi menciptakan permintaan akan keterampilan digital dan membutuhkan orang-orang kompeten dalam menggunakan perangkat digital, memahami keluaran dan mengembangkan program dan aplikasi. Hal ini tidak hanya membutuhkan literasi dasar, tetapi juga penanganan data dan keterampilan berkomunikasi. Dalam populasi dimana keterampilan yang dibutuhkan tersebut kurang, pendidikan harus dipacu cepat, berkembang dengan kecepatan dan laju pembelajaran yang luar biasa mengikuti kemajuan ICT. Bersamaan dengan hal tersebut, akan diikuti dengan peningkatan investasi teknologi, mengimbangi meningkatnya kebutuhan investasi dalam pengembangan keterampilan dan pengetahuan digital multidisiplin.

Transformasi digital dalam bidang pangan pertanian akan mengubah struktur pasar tenaga kerja dan sifat pekerjaan sehingga diperlukan reorientasi peran petani dan *agripreneur* serta keahlian yang diperlukan dalam sektor pertanian. Dalam perspektif gender juga banyak mempengaruhi cakupan peran pekerja wanita dan pria yang berbeda karena perbedaan dalam keterampilan digital dan penggunaan teknologi. Untuk meningkatkan keterampilan digital di daerah pedesaan, memerlukan pengembangan model pelatihan keterampilan digital

bagi petani sehingga mereka dapat belajar untuk menilai dan mengimplementasikan praktik dan teknologi digital yang terbaik dan sesuai untuk bisnis pertaniannya.

Agripreneurial dan budaya inovasi digital. Kewirausahaan digital melibatkan transformasi bisnis melalui teknologi digital baru, dan penciptaan perusahaan inovatif baru yang ditandai dengan: penggunaan teknologi digital untuk meningkatkan operasi bisnis, penemuan model bisnis (digital) baru dan terlibat dengan pelanggan dan pemangku kepentingan melalui saluran digital yang baru. Peningkatan jumlah inisiatif pengembangan aktivitas kewirausahaan digital semakin berkembang terkait dengan penciptaan, pengembangan dan peningkatan '*start-up digital*', termasuk di sektor pertanian dan pangan. Petani modern lebih mampu melakukan kegiatan kewirausahaan dengan mendesain rencana bisnis, mencari pendanaan, memanfaatkan usaha tani 'inkubator' dan menghadiri pertemuan ilmiah, serta cenderung lebih berani mengambil risiko dalam manajemen pertaniannya.

PENUTUP

Pertanian modern berkelanjutan menjadi harapan besar untuk diwujudkan bersama, karena telah menjadi komitmen dan arah pembangunan pertanian yang digariskan dalam RPJMN dan Renstra Kementan 2020-2024. Pemanfaatan teknologi digital untuk mewujudkan pertanian masa depan tersebut relevan dengan konsep keberlanjutan karena memiliki tiga potensi untuk menghasilkan "manfaat ekonomi" melalui peningkatan produktivitas pertanian, efisiensi biaya dan peluang pasar, "manfaat sosial" dan budaya melalui peningkatan komunikasi dan inklusivitas serta "manfaat lingkungan" melalui pemanfaatan sumber daya yang optimal dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Optimalisasi manfaat digitalisasi pada pembangunan

pertanian membutuhkan proses transformasi besar mencakup sistem pertanian, ekonomi pedesaan, masyarakat dan pengelolaan sumber daya alam. Keberhasilannya memerlukan pendekatan pentingnya langkah-langkah *iterative* sebuah platform inovasi dalam membangun tindakan kolektif semua *stakeholders*, memfasilitasi kolaborasi, dan berfungsinya modal sosial menuju kemajuan yang diharapkan. Sebagai strategi terintegrasi bertransformasi menuju pertanian modern berkelanjutan, berfungsinya platform inovasi akan menjadi tantangan sekaligus pendekatan sistematis dan holistik yang dibutuhkan. Agar pemanfaatan teknologi digital berjalan efektif memerlukan dukungan “*enabling environment*” berupa penggunaan jaringan informasi-komunikasi dan jejaring sosial di antara pelaku usaha pertanian, petani, petugas penyuluhan, keterampilan digital bagi penduduk pedesaan, serta budaya yang mendorong *agripreneurship* dan inovasi digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Aker J. 2011. Dial “A” for Agriculture: Using ICTs for Agricultural Extension in Developing Countries. *Agricultural Economics*. 42(6):631-47.
- Anderson, Pamela. 2016. *Roots and Tubers: Serving People, the Planet, and Prosperity. The First World Congress on Root and Tuber Crops*. Nanning, Guangxi, China 18-22 January 2016.
- BAPPENAS, 2019. *Rancangan Teknokratik Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024. Indonesia Berpenghasilan Menengah-Tinggi yang Sejahtera, Adil, dan Berkesinambungan*. Kementerian PPN/Bappenas, 2019.
- Balitbangtan, 2020. *Rencana Strategis Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2020-2024*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta
- Banerjee, A. dan Munshi, K., 2004. How efficiently is capital allocated? Evidence from the knitted garment industry in Tirupur. *The Review of Economic Studies*, 71(1), pp.19-42.
- Chave, M., Ozier-Lafontaine, H., Noel, Y. and Noël, Y. (2012). Towards agricultural innovation systems: Designing an operational interface. *Outlook on Agriculture* 41(2):81–86.
- CEMA, 2017 - *Digital Farming: what does it really mean, and what is the vision of Europe’s farm machinery industry for Digital Farming*. European Agricultural Machinery.

- Chi, M., Antonio Plaza, JA. Bennediktsson, Z. Sun, J. Shen, and Y. Syu, 2016. Big Data for Remote Sensing: Challenges and Opportunities This paper analyzes the challenges and opportunities that big data can bring in the context of remote sensing applications.
- Coldiretti, 2018. Report for the agri-food forum of Cernobbio 2018. Trieste: Istituto Ixe Srl [In Italian].
- Cole S, Fernando A. 2012. *The Value of Advice: Evidence from Mobile Phone-Based Agricultural Extension*. Working Paper 13-047, Harvard Business School, Harvard University.
- Cunden, M., Van Heck, E., 2004. Bargaining Power and Information Technology in African–European Business Relationships:: Case of the Dutch Flower Auctions. *European Management Journal*, 22(5), pp.573-587.
- Davies, J., Maru, Y., Hall, A., Abdourhamane, I. K., Adegbidi, A., Carberry, P., Dorai, K., Ennin, S. A., Etwire, P. M., McMillan, L., Njoya, A., Ouedraogo, S., Traoré, A., Traoré-Gué, N. J. and Watson, I. (2018). Understanding innovation platform effectiveness through experiences from west and central Africa. *Agricultural Systems*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16309180>.
- Deichmann U, Goyal A, and Mishra D. 2016. Will Digital Technologies Transform Agriculture in Developing Countries?. World Development Report Team & Development Research Group Environment and Energy Team May 2016.
- Elkington, John, 1994. Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development, *California Management Review* 36, no. 2 (1994): 90-100.

- FAO, 2019. 2019. Digital Technologies in Agricultural and Rural Areas. Briefing Paper. by Trendov, NM, Varas S., and Meng Zeng. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2019.
- FAO, 2018. A New Guidelines 2018. Transforming Food and Agriculture to Achieve the SDGs. 20 interconnected action to Guide decision makers. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018.
- FAO, 2018b. The State of Food Security and Nutrition in the World: Building Resilience for Peace and Food Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2018 (available at: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1152031/icode/>)
- FAO, 2017. The Future of Food and Agriculture Trend and Challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- FAO, 2017b. The State of Food and Agriculture. Leveraging Food Systems for Inclusive Rural Transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017.
- FAO, 2015. A data portrait of smallholder farmers: An introduction to a dataset on small-scale agriculture.<http://www.fao.org/economic/esa/esa-activities/esa-smallholders/dataportrait/en/>.
- FAO, 2014. The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2014
- Fatunbi O. 2010. How to Set up An Innovation Platform Sub Saharan Afrika Challenge Programme (SSA CP) What is An Innovation Platform. Forum for Agricultural research in Africa. FARA. 12 Anmeda Street, Roman Ridge PMB CT 173, Cantonment, Accra, Ghana

- Homann S.-Kee Tui, Hendrickx S., Manyawu G., Rao KP and Robinson L. 2015. Implementing Innovation Platforms: A guideline for Dryland Systems Research. Research Program in Dryland Systems. CGIAR
- Kementan, 2020. Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024. Kementerian Pertanian. Republik Indonesia. Jakarta.
- Kemensesneg, 2020. Perpres Nomor 18 Tahun 2020 tentang RPJMN 2020-2024. Jakarta: Kementerian Sekretaris Negara RI.Kementan. (2020). Kepmentan Nomor 259 Tahun 2020 tentang Renstra Kementerian Pertanian 2020-2024.
- Kempenaar, C. et al., 2016. Big data analysis for smart farming, s.l.: Wageningen University & Research (Vol. 655).
- Klerkx, L., Emma Jaku, Pierre Labarthe, 2019. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *Agric. Syst.* 103, 390–400.
- Klerkx, L., Aarts, N., Leeuwis, C., 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: the interactions between innovation networks and their environment. *Agric. Syst.* 103, 390–400.
- Klerkx, L., Schut, M., Leeuwis, C. and Kilelu, C. (2012). Advances in knowledge brokering in the agricultural sector: Towards innovation system facilitation. *IDS Bulletin* 43(5):53–60.
- Lokers, R. et al., 2016. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling & Software*, Volume 84 , pp. 494-504.
- Lambert, D. M. dan Cooper, M. C. , 2000. "Issues in Supply Chain Management," *Industrial Marketing Management*, Vol. 29, No. 1, 2000, pp. 65-84. doi:10.1016/S0019-8501(99)00113-3.

- Lowder SK., Jacob Scoet and Terri Raney, 2016. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwid. World Development Vol. 87, pp. 16–29, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- Nakasone, E., Torero, M., Minten, B.. 2014. The power of information: The ICT revolution in agricultural development. Annual Review of Resource Economics 6, 533-550.
- OECD. 2008. OECD Contribution to the United Nations Commission on sustainable development 16-Towards sustainable agriculture.
- OECD. nd. Bridging the Digital Divide (available at: <https://www.oecd.org/site/schoolingfortomorrowknowledgebase/themes/ict/bridgingthedigitaldivide.htm>).
- OECD, 1999. Managing National Innovation Systems. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).
- Oliver, Y., Robertson M.J., Wong M.T.K., 2010. Integrating Farmers Knowledge Precision Agriculture Tools and Crop Simulation Modelling to Evaluate Management Option for Poor Performing Patches in Cropping Fields. European Journal of Agronomy. 32:40-50
- Ottosson, S. (2003). Participation action research: A key to improved knowledge of management. Technovation 23(2):87–94.
- Pasandaran, E dan Syakir, M., 2017. Memperkuat Kemampuan Sistem Inovasi Pertanian, dalam Menuju Pertanian Modern Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian. IAARD Press. Jakarta.

- Poppe, K.J., Wolfert, J., Verdouw, C.N., Renwick, A., 2015. A European perspective on the economics of Big Data. *Farm Policy Journal* 12, 11–19.
- Reardon T., Chen K., Minten B., Adriano, L. 2012. *The Quiet Revolution in Staple Food Value Chains. Enter the Dragon, the Elephant, and the Tiger*. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank (ADB); International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Rohmani dan Soeparno, 2018. *Pertanian Digital Alternatif Solusi Terintegrasi dalam Membangun Pertanian Modern di Era Industri 4.0. dalam Sinergi Inovasi Kebijakan dan Teknologi Menuju Kesejahteraan Petani*. IAARD Press.
- Schut M., Kamandas J., Gramzow A., Dubois T., Stoian D., Anderson JA., Dro I., Sartas M., Mur R., Kassam S., Brouwer H., Devaux A., Velasco C., Flor RJ., Gummert M., Buizer D., McDougal C., Davis K., Kee Tui SH., and Mark Lundy 2018. *Innovation Platform in Agricultural Research for Development. Ex-ante Appraisal of the Purposes and Conditions Under Which Innovation Platforms can Contribute to Agricultural Development Outcomes*. *Expl Agric.* (2019), volume 55 (4), pp. 575–596 C _ Cambridge University Press 2018.
- Seminar, KB., 2016. *Sistem Pertanian Presisi dan Sistem Pelacakan Rantai Produksi untuk Mewujudkan Agroindustri Berkelanjutan*. Makalah Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
- Slaper, Timothy F. and Hall, Tanya J. (2011). "The Triple Bottom Line: What Is It and How Does It Work?" *Indiana Business Review*. Spring 2011, Volume 86, No. 1.

- Soeparno H, Tjeppy DS, Idha Widi Arsanti dan Nuning Argosubekti (2018). Memperkuat Sinergi dalam Sistem Inovasi Pertanian dalam Sinergi Sistem Penelitian dan Inovasi Pertanian Berkelanjutan. IAARD Press.
- Sundmaeker H., Verdouw C., Sjaak Wolferd and Luiz Perez Freire. 2016. Internet of Food and Farm 2020. "Surprise: Agriculture is doing more with IoT Innovation than most other industries" Jahangir Mohammed.
- Sonka, Steven T., 2016. Big Data: Fueling the Next Evolution of Agricultural Innovation. Journal of Innovation Management JIM 4, 1 (2016) 114-136
- Tenywa, M.M., Rao, KPC., Tukahirwa, J.B., Buruchara, R., Adekunle, A.A., Mugabe, J., Wanjiku, C., Mutabazi, S., Fungo, B., Kashaija, N.I., M., Pali, P., Mapatano, S., Ngaboyisonga, C., Farrow, A., Njuki, J. and Abenakyo, A. 2011. Agricultural Innovation Platform As a Tool for Development Oriented Research: Lessons and Challenges in the Formation and Operationalization. Learning Publics Journal of Agriculture and Environmental Studies Vol 2 (1). 117-146
- UNDP. 2015. Work for Human Development: Human Development Report 2015. New York: UNDP.
- USAID, 2018. Digital farmer profile: Reimagining Smallholder Agriculture. Washington D.C.: USAID.
- Van den Bor, Bawden, R. and R. Macadam (1991). Action Researching Systems: Extension reconstructed. Papers prepared for the workshop on Agricultural Knowledge Systems and the role of Extension held at the University of Hohenheim, Stuttgart, Germany 21-25 May, 1991. Education and Training for Integrated Rural Development.

- Waga, D. dan Rabah, K., 2014. Environmental conditions' big data management and cloud computing analytics for sustainable agriculture. *World Journal of Computer Application and Technology*, 2(3), pp. 73-81.
- World Bank (2006). Enhancing agricultural innovation: how to go beyond the strengthening of research systems. 135
- Washington DC, USA: The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank.
- Wolfert, S., Lan Je, Cor Verdouw, Marc Jeroen Bogaardt, 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/agsy

DIGITALISASI INFORMASI SUMBERDAYA PERTANIAN MENDUKUNG PERTANIAN MODERN

Husnain^{a1}, Erna Suryani^{b2}, Yiyi Sulaeman^{c3}, Irsal Las^{d4}

^{a,b,d} Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian

^c Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa

^{1,2} Kontributor Utama,

^{3,4} Kontributor Anggota

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan sektor yang sangat strategis bagi perekonomian nasional, karena disamping sebagai penyedia bahan pangan, sekitar 35 juta rumah tangga petani berkerja serta menggantungkan hidupnya pada sektor ini (BPS 2018). Selain itu, sektor pertanian juga merupakan sektor unggulan penghasil devisa negara, serta sering menjadi penyangga utama perekonomian nasional di kala krisis atau bencana, seperti halnya resesi ekonomi dan pandemik Covid-19. Data menyebutkan, pada masa pandemic covid 19 saat ini, sektor pertanian terutama subsektor tanaman pangan masih tumbuh positif. Dilaporkan pada kuartal kedua dan ketiga tahun 2020, subsektor tanaman pangan tumbuh masing-masing 9,23% dan 7,14%. Posisi strategis tersebut menuntut dinamika dan perbaikan berkesinambungan terkait arah dan kebijakan pembangunan pertanian berikut sistem atau model usaha pertanian (sistem/model farming), sesuai

dengan dinamika tuntutan dan tantangan serta perkembangan IPTEK secara global.

RPJMN Sektor Pertanian serta RENSTRA Kementerian Pertanian 2020-2024, menetapkan bahwa arah dan sasaran program ditujukan untuk pengembangan pertanian yang lebih maju, mandiri dan modern (baca: pertanian modern) sejalan dengan tuntutan pada era industri dan pertanian 4.0. Salah satu titik ungkit (*entry point*) sekaligus sebagai basis utama pertanian modern adalah ketersediaan, keragaan dan pemanfaatan data dan informasi pertanian, terutama data dan informasi sumberdaya pertanian sebagai penentu potensi, peluang dan tantangan pembangunan pertanian ke depan. Selain itu, sesuai dengan keragaman dan dinamika agroekosistem Indonesia, data dan informasi sumber daya sangatlah jamak dan beragam, dinamis dan terus berkembang secara cepat, sehingga perlu dikelola dalam suatu sistem yang terpadu dan efektif.

Sesuai dengan keragaman faktor yang berperan, sektor pertanian berkaitan erat atau beririsan dengan berbagai aspek, baik secara biofisik maupun sosial dan ekonomi yang dengan sendirinya akan bersentuhan dan berkaitan pula dengan berbagai sektor pembangunan. Diperkirakan sekitar 70% urusan pertanian ditentukan, dikelola dan atau melibatkan berbagai kementerian/lembaga (K/L) di luar Kementerian Pertanian, seperti KLHK, ATR/BPN, PUPR, KDTrans, Kemenko Perekonomian, BRG, dan BIG, serta Pemerintah Daerah (Pemda). Keterlibatan K/L dan Pemda tersebut dengan sendiri juga berkaitan dengan sistem pengelolaan data dan informasi sumber daya sesuai dengan tugas dan fungsinya. Pembangunan pertanian dengan tantangan yang semakin kompleks, seperti halnya industri 4.0 sebagai salah satu sasaran sekaligus arah pembangunan pertanian berbasis pertanian modern. Salah satu icon utamanya adalah dukungan dan pemanfaatan “Big Data”, terutama data sumber daya pertanian.

Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi (*Information and communication Technology, ICT*) yang sangat pesat dan terus berkembang membuka peluang dan bahkan mendorong kemajuan yang pesat pula dalam sistem pengelolaan dan pemanfaatan, serta pengolahan data dan informasi pertanian, terutama data dan informasi sumber daya pertanian. Salah satu kunci keberhasilan sekaligus *entry point* atau pengungkit utama dalam pengelolaan data dan informasi tersebut adalah “digitalisasi”. Secara sederhana, Bacco et al. (2019) mengemukakan digitalisasi data dan informasi pertanian adalah pengumpulan, penyimpanan, pemrosesan (pengelolaan dan pengolahan), penyajian dan pemanfaatan data dan informasi secara digital dan *numerical* yang dapat dimonitor dan dikomunikasikan dengan pihak pemangku kepentingan dan lembaga pengelola serta pengguna data dan informasi. Menurut Saleh (2015) dan DESIRA (2020) digitalisasi adalah suatu proses mengalihkan bentuk fisik atau sistem analog ke dalam bentuk digital yang memberikan keuntungan dari segi efisiensi ruang dan biaya, *multiple* akses dan tidak dibatasi ruang dan waktu. Lebih lanjut FAO (2020) menjelaskan bahwa digitalisasi pertanian sangat berpotensi dalam aplikasi berbagai teknologi seperti sensor, drone, robotic yang dapat dimanfaatkan untuk implementasi precision farming dan smart farming, pertanian berkelanjutan dan peningkatan kesejahteraan petani.

Pertanian modern dapat dinilai sebagai simpul dari pengembangan sistem pertanian presisi (*agriculture precision/precision farming*) dan pertanian cerdas (*smart farming*) yang dalam perancangan dan pengelolaannya berbasis inovasi dan teknologi, baik budidaya maupun mekanisasi. Kedua basis tersebut bertitik tolak pada Big Data, terutama data dan informasi sumber daya, sehingga peran dan penggunaan ICT dan digitalisasi menjadi sangat penting dan strategis (Beluhova-Uzunova et al. 2019). Pengembangan Big Data berbasis *database*

memerlukan penggunaan IoT (*Internet of Things*), AI (*Artificial Intelligence*) dan perangkat ICT lainnya, baik dalam menganalisis data dan informasi maupun dalam mensintesisnya menjadi sebuah keputusan (*decission*) serta memberikan *feed back* berupa data informasi pertanian untuk disimpan dalam Big Data (Saiz-Rubio et al. 2020).

Pengelolaan data dan informasi pertanian di Indonesia, sebagian masih bersifat konvensional, manual dan parsial, belum terintegrasi dengan baik. Kementerian Pertanian memiliki 11 unit eselon satu dengan beberapa satker dibawahnya, seperti Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) dengan 64 satker pelaksana penelitian dan pengembangan pertanian. Masing-masing satker tersebut berperan sebagai sumber dan pengelola, bahkan sekaligus sebagai pengguna data dan informasi sumber daya dalam berbagai bidang dan aspek serta berbagai sistem pengelolaan. Salah satu data dan informasi yang menonjol adalah data dan informasi sumber daya pertanian, dengan keragaman dan dinamika yang tinggi.

Makalah ini menyajikan peran informasi sumberdaya mendukung pertanian modern, kebutuhan data dan informasi serta status informasi sumberdaya pertanian saat ini. Kebijakan penyediaan informasi sumberdaya digital, langkah-langkah percepatan dan arah serta strategi percepatan penyediaan data sumberdaya ke depan.

SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA DAN PERTANIAN MODERN

Banyak para ahli Sistem Informasi, seperti Ralph dan George (2010), Riasetiawan (2005), Lucas (1982) dan Nash dan Martin (1984), sepakat mendefinisikan bahwa Sistem Informasi adalah kumpulan kegiatan mengoleksi, memanipulasi, menyimpan dan menyebarkan data dan informasi serta prosedur untuk mencapai tujuan. Dalam konteks sumberdaya, besarnya jumlah dan beragamnya data dan informasi sumberdaya secara spasial (dan temporal) terutama sumberdaya lahan (lahan-tanah-iklim-air, dll) serta luasnya wilayah dan beragamnya agroekosistem (jenis/sifat tanah dan iklim, demografi, dll.) menuntut agar data dan informasi disusun dan dikelola dalam suatu sistem informasi digital. Apalagi data dan informasi tersebut terkait pula dengan berbagai sektor pembangunan dan para pihak (K/L) dan stakeholder, baik sebagai pengelola maupun sebagai pengguna (end user).

***State of the art* Sistem Informasi Sumberdaya Pertanian**

Informasi sumberdaya pertanian memegang peranan penting dalam pembangunan pertanian yang lebih maju, mandiri dan modern. Pembangunan pertanian yang melibatkan banyak kementerian/lembaga (K/L) menghasilkan banyak data dan informasi sumberdaya, dan juga dibutuhkan oleh berbagai pihak, namun dalam pengelolaannya masih bersifat parsial, belum terintegrasi dan terkoneksi dengan baik satu sama lain. Pada umumnya data dan informasi sumber daya diperoleh dari berbagai cara, utamanya melalui berbagai kegiatan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan (litbangjirap) yang dilakukan dengan berbagai pendekatan dan metodologi, seperti halnya percobaan dan pengamatan, survey, pemetaan,

pencacahan atau sensus dan lain-lain. Secara umum data dan informasi tersebut, terutama sumber daya pertanian dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu data spasial dan data tabular yang keduanya bisa dikelola, disimpan dan disajikan dalam berbagai format serta selalu berkembang sesuai dengan aktifitas penelitian dan perkembangan IPTEK, terutama inovasi ITC.

Keragaman data dan informasi merupakan modal dasar dalam membangun pertanian modern yang membutuhkan data besar (Big Data) dan terintegrasi satu sama lain, baik dalam hal teknis maupun dalam penyusunan program dan kebijakan. Pengelolaan Big Data memerlukan suatu sistem *database* yang dapat menampung data beragam dan dinamis seperti halnya data dan informasi sumber daya pertanian, seperti sumber daya lahan, karakteristik tanaman, teknologi dan lain-lain secara terintegrasi ke dalam suatu *platform* yang dapat menyimpan sekaligus dapat menghasilkan analisis guna membentuk informasi komprehensif berikut keputusan yang akan diambil selanjutnya (GFAR, 2018). Semuanya hanya dapat dilakukan jika data dan informasi tersebut sudah dikelola secara digital atau berbentuk numerik.

Sistem pengelolaan data dan informasi sumber daya saat ini pada umumnya masih bersifat parsial, antara lain karena: (a) banyaknya para pihak yang terkait, baik sebagai sumber dan pengelola maupun sebagai pengguna, dan (b) pada umumnya dikelola secara konvensional, beragam pendekatan dan tidak terkoneksi satu sama lain, sehingga tidak jarang terjadi adanya ketidaksinkronan data antar pengelola. Contoh menarik, beberapa waktu yang lalu, terjadinya perdebatan berbagai pihak terkait data pertanian. Khususnya data luas baku sawah yang beririsan dengan berbagai hal seperti proyeksi produksi, kebutuhan saprodi, program dukungan/bantuan dan lain-lain. Sejatinya, keterpaduan pengumpulan dan pengelolaan data pertanian sudah dimulai sejak diterbitkannya Instruksi Menteri Negara Ekonomi,

Kepres No. 1/2008, dan Industri No. IN/05/MENKUIIN/1/1973. Aturan ini mengatur penyeragaman data dalam perhitungan produksi padi dan palawija nasional, terutama dalam pengumpulan dan pengelolaan data luas panen dan estimasi produksi.

Seiring dengan kemajuan teknologi ICT, khususnya penginderaan jarak jauh (*remote sensing*), penentuan luas panen mulai dilakukan menggunakan analisis citra satelit berdasarkan kondisi tegakan pertanaman di lapangan (*standing crop*). Citra satelit yang digunakan terus mengalami perkembangan, mulai dari resolusi rendah (30 x 30 m) sampai resolusi tinggi (1,5 x 1,5 m). Dengan menggunakan citra yang sama, prediksi produktivitas padi juga terus dibangun berbasis verifikasi dan model prediksi luas panen dan produktivitas menggunakan teknologi inderaja dapat dijadikan solusi penentuan luas panen secara *real time* dan dalam skala luas. Informasi *standing crop* tersebut juga dimanfaatkan dalam prediksi potensi luas tanam dan luas panen secara periode dan musim melalui Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu.

Sebenarnya upaya menyeragamkan, perbaikan dan penyatuan sistem dan informasi sumberdaya nasional sudah dilakukan sejak lebih satu dekade terakhir, terutama dalam pengelolaan dan pemanfaatan data dan informasi sumberdaya alam dan ruang. Secara bertahap data dan informasi sumber daya alam dan ruang, termasuk informasi sumber daya lahan pertanian dalam bentuk Informasi Geospasial (IG) terus digagas untuk disatukan sejalan dengan diterbitkannya UU No. 11/2011 tentang Informasi Geospasial. Data dan informasi sumberdaya pertanian di lingkup Kementerian Pertanian pada dasarnya dikembangkan, dikelola dan dibutuhkan oleh seluruh unit kerja atau satker, namun secara terstruktur dan fungsional hanya dilakukan oleh beberapa unit kerja atau satker, seperti Pusat Data dan Informasi Pertanian (Pusdatin), Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDL) dengan 4 Balit, dan BB Biogen.

Kementerian Pertanian (cq BBSDLP) sebagai salah satu penghasil data dan informasi sumber daya secara geospasial dalam bentuk peta sumberdaya tanah dan peta-peta tematik turunannya seperti peta kesesuaian lahan berbagai komoditas pertanian pada berbagai skala, mulai dari skala kecil (skala 1:1.000.000) sampai skala besar (skala 1:10.000-25.000). Peta tanah tersebut dihasilkan melalui kegiatan survey dan pemetaan tanah di lapangan yang disimpan berupa polygon (spasial) maupun data fisika-kimia (tabular) dalam sistem database sumber daya lahan kemudian dapat digunakan sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan pertanian tingkat nasional sampai kabupaten/kota di Indonesia. Dalam konteks pengembangan pertanian modern data sumber daya lahan yang dibutuhkan tentu skala yang lebih detail dan dengan parameter yang lebih lengkap.

One Map Policy dan Penyediaan Informasi Sumberdaya Digital

Menyadari betapa kompleks dan beragamnya data dan informasi sumber daya, khususnya informasi geospasial yang salah satu komponen utamanya adalah informasi sumber daya lahan, baik dalam penghimpunannya maupun pengelolaan dan pemanfaatannya, mendorong upaya dan kebijakan agar sistem informasi geospasial berada dalam satu sistem manajemen secara nasional. Melalui Perpres No. 9/2016 (Perpres KSP 2016), pemerintah mengeluarkan Kebijakan Satu Peta (KSP, *one map policy*) untuk menghindari ketidakefektifan sistem pengelolaan data dan informasi serta tidak terjadinya tumpang tindih kepentingan pemanfaatan ruang. Perpres tersebut juga bertujuan untuk mempercepat penyediaan peta tematik pada ketelitian peta skala 1:50.000 untuk penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) di tingkat kabupaten/kota, dan berhasil menghimpun 85 peta tematik yang berasal dari 19 K/L dalam satu sistem

manajemen data, satu referensi geospasial, satu standar, satu basis data, dan satu geoportal (Nurwajedi 2016).

KSP hadir sebagai suatu regulasi atau aturan yang mengharuskan penyatuan informasi geospasial, sehingga tumpang tindih kepentingan pemanfaatan ruang dapat dihindari. Menurut Perpres KSP (2016) BBSDLP ditetapkan sebagai penanggung jawab Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1:50.000 untuk Peta Tanah dan Peta Lahan Gambut. Surat Keputusan Badan Informasi Geospasial (SK BIG) No 54/2015 tentang wali data informasi geospasial tematik menetapkan BBSDLP sebagai wali data Peta Kesesuaian Lahan Berbagai Komoditas Pertanian. Untuk itu, pada tahun 2016-2019, BBSDLP menyelesaikan pemetaan tanah termasuk lahan gambut berbasis kabupaten/kota di Indonesia, dan peta kesesuaian lahan dan peta arahan 9 komoditas pertanian strategis, yaitu padi, jagung, kedelai, bawang merah, cabai, tebu, kakao, kelapa sawit dan hijauan pakan ternak (BBSDLP 2016-2019).

Salah satu implementasi dari KSP adalah mendukung kebijakan pemerintah dalam penyediaan bahan pangan nasional, mengantisipasi krisis pangan yang mungkin timbul akibat pandemik covid-19 dan atau iklim ekstrim. Pemerintah mencanangkan pengembangan *Food Estate* (FE) di beberapa lokasi di Indonesia dengan melibatkan berbagai K/L terkait. Untuk mendukung kebijakan strategis tersebut, BBSDLP dengan beberapa K/L yang tergabung dengan KSP yang dikoordinir oleh Kemenko Perekonomian melakukan kajian potensi sumberdaya, arah dan strategi pengembangan sumber daya lahan, terutama di Provinsi Kalimantan Tengah dan Sumatera Utara. Kajian tersebut menghasilkan data dan informasi yang lebih detail dan komprehensif sebagai acuan pengembangan sumber daya lahan pertanian di kedua lokasi tersebut. Penghimpunan data sumber daya melalui KSP dari berbagai K/L penghasil data sumber daya menghasilkan data dalam volume yang sangat besar (Big Data).

Big Data merupakan kumpulan data yang berukuran sangat besar (volume), sangat cepat berubah/tumbuh (*velocity*), berbagai macam format (*variety*), serta memiliki nilai tertentu (*value*) dengan sumber yang akurat (*veracity*) (Toba 2015). Dijelaskan Saiz-Rubio et al. (2020), jumlah data yang semakin bertambah membuat pemrosesan secara otomatis untuk memperoleh informasi menjadi sangat penting, dan otomatisasi membutuhkan data dalam format digital. Sebagai contoh, mekanisasi dari berbagai proses di bidang pertanian membuat banyak kemajuan. Setelah mesin dan sensor diperkenalkan pada bidang pertanian, maka data yang didapatkan dari masing-masing sensor akan semakin banyak baik dalam kuantitas ataupun ruang lingkupnya. Untuk hal tersebut, dibutuhkan manajemen basis data sebagai wadah dari hasil-hasil baik pengukuran maupun statistik dari data lapangan yang baik untuk mendapatkan perumusan kebijakan yang baik. Basis data adalah sebuah koleksi data dan informasi yang terorganisir yang biasanya tersimpan dalam bentuk elektronik, sehingga mudah untuk diakses, diatur, serta diperbaharui.

Wolfert et al. (2017) mengemukakan terdapat tiga hal penting dalam pengelolaan Big Data pada sistem pertanian, yaitu jaringan, *stakeholder* dan proses bisnis. Pemangku kebijakan berkaitan dengan peran dan hubungan masing-masing pemegang informasi, proses bisnis berkaitan dengan aktivitas menghasilkan informasi yang sesuai dengan keinginan pengguna, sedangkan jaringan merupakan variabel-variabel untuk mengintegrasikan masing-masing proses bisnis. Proses bisnis dalam pertanian meliputi proses pertanian (aktivitas budidaya), manajemen pertanian (agribisnis), dan rangkaian proses. Aktivitas budidaya sangat bergantung pada produksi (peternakan dan pertanian) di lapangan. Proses agribisnis adalah sebuah proses untuk memastikan agar tujuan akhirnya tercapai, meliputi monitoring dan evaluasi, analisis dan pengambilan keputusan, serta intervensi.

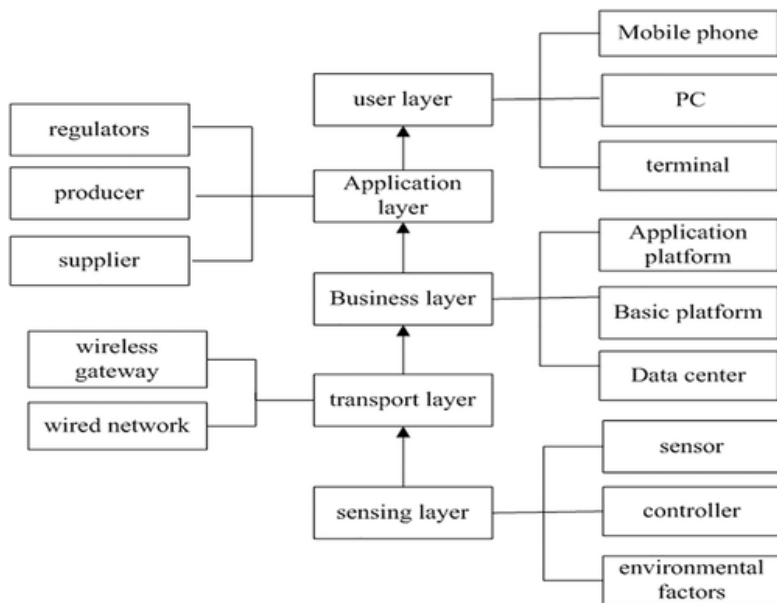
Pertanian Modern dan Kebutuhan Data dan Informasi Sumberdaya

Pertanian modern merupakan sistem pertanian yang menerapkan teknologi maju berbasis *bioscience*, *bioengineering* dan *bioprocess*, termasuk ICT dan alsintan, dengan beberapa sifat dan ciri, antara lain: (a) dikelola secara profesional dan inovatif serta memiliki jejaring usaha yang luas, (b) berorientasi produksi, keuntungan dan keberlanjutan, (c) efisiensi input dan mutu produk dengan *brand* tertentu, (d) adaptif terhadap perubahan iklim. Banyak pakar menyarankan bahwa basis utama pertanian modern adalah pertanian presisi (*precision agriculture* atau *precision farming*) dan pertanian pintar (*smart farming*). Pertanian presisi adalah sistem pertanian berbasis sistem informasi sumber daya (terutama tanah dan air) dan parameter utama kebutuhan tanaman yang didukung oleh teknik (*near and remote sensing*) penginderaan dekat dan jauh menggunakan sensor berbasis internet (IoT) untuk memonitor tahapan pertumbuhan dan kesehatan tanaman dalam suatu hamparan (Shafi et al. 2019; Beluhova-Uzunova et al. 2019). Lebih lanjut dijelaskan sasaran pertanian presisi adalah produksi yang terintegrasi, efisiensi produksi, produktivitas, dan keuntungan dalam jangka panjang, dan menyeluruh dengan efek terhadap lingkungan minimum (berkelanjutan dan ramah lingkungan).

Jika dibandingkan pertanian presisi dengan konvensional/tradisional antara lain adalah, (a) skala manajemen yang dipilah dalam petak-petak yang lebih sempit, fokus/sangat spesifik dikelola secara presisi, (b) lebih mengoptimalkan kuantitas dan kualitas produk serta meminimalkan biaya, (c) intervensi manusia terhadap variasi dan fluktuasi iklim dan gejala alam lain yang tidak terduga, (d) melibatkan aplikasi dari teknologi dan prinsip agronomi untuk mengatur variasi temporal dan spasial (Beluhova-Uzunova et al. 2019). ICT sebagai salah satu

basis elemen dasar pertanian presisi berfungsi sebagai *receiver* GPS, monitoring dan pemetaan sumber daya lahan dan air, hasil produksi, pengambilan sampel tanah dan pupuk (VRT), penginderaan jauh, *crop scouting* (kondisi tanaman), GIS, dan manajemen informasi (Beluhova-Uzunova et al. 2019; Saiz-Rubio 2020). Dengan demikian jelas bahwa pertanian modern dan derivasinya membutuhkan Big Data, terutama data dan informasi sumber daya, utamanya sumber daya lahan pertanian. Wolfert et al. (2017) mengemukakan terdapat tiga hal dalam pengelolaan Big Data pada sistem pertanian, yaitu pengelolaan jaringan, *stakeholder*, dan proses bisnis. Lebih lanjut dikemukakan jika Big Data dimanfaatkan dalam aktivitas pertanian, maka *State of the Art* (SoA) dan potensi permasalahan yang akan ditimbulkan dalam pengaplikasiannya dapat diminimalisir.

Li dan Niu (2020), struktur pertanian pintar (*smart farming*) terdiri dari lima layer, yaitu sensor, transport, bisnis, aplikasi, dan pengguna. Layer sensor digunakan untuk mengumpulkan informasi dari lingkungan tumbuh tanaman, monitoring, harga, penyimpanan, dan iklim. Layer transport merupakan lapisan sistem informasi baik melalui kabel maupun nirkabel. Layer bisnis digunakan untuk memantau faktor lingkungan ataupun faktor-faktor yang mendukung pertumbuhan tanaman. Layer ini meliputi basis data lingkungan, informasi manajemen bisnis, geografis, dan lain sebagainya. Layer aplikasi meliputi portal-portal dengan yang terbagi berdasarkan peran, seperti pengawas (supervisor), produsen, penyuplai, konsumen, dan lain sebagainya. Sedangkan layer pengguna meliputi penyimpanan data dan akses terhadap data, termasuk keamanan dan penjagaan integritas data. Struktur layer dari *smart farming* dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 28. Struktur Sistem Pertanian Berbasis IoT (Li dan Niu 2020)

DIGITALISASI INFORMASI SUMBERDAYA PERTANIAN

Pengertian Digitalisasi Informasi

Tidak terbayangkan betapa rumit dan kompleksnya sistem pengelolaan data dan informasi sumber daya pertanian yang maha besar dan beragam (Big Data) tanpa dibantu oleh suatu sistem pengelolaan yang efektif, seperti halnya digitalisasi. Digitalisasi sistem pengelolaan data dan informasi sumber daya pertanian perlu diterapkan sejak proses hingga penyajian, bahkan kebijakan secara digital sehingga dapat dimonitor dan dikomunikasikan dengan pihak pemangku kepentingan dan lembaga pengelola data dan pengguna. Digitalisasi dapat pula diartikan sebagai proses untuk konversi dari format konvensional

seperti cetak ke format elektronik sebagai salah satu bentuk pemanfaatan komponen ICT dalam pengembangan pertanian modern, yaitu sensor dan citra, robotik dan automasi, digitalisasi dan Big Data, dan aspek biologis sebagai dasar perancangan dan perencanaan (Saleh 2015; Pandit 2007). Lebih lanjut FAO (2020) menjelaskan bahwa digitalisasi pertanian sangat berpotensi dalam aplikasi berbagai teknologi seperti sensor, drone, robotic yang dapat dimanfaatkan untuk implementasi precision farming dan smart farming, pertanian berkelanjutan dan peningkatan kesejahteraan petani.

Dalam cakrawala digitalisasi informasi, Indonesia menduduki Peringkat 8 Dunia Pengguna Internet Terbesar (4) dan pada tahun 2013 pengguna internet mencapai 71 juta orang (5), kemudian pada tahun 2014 meningkat hingga mencapai 88 juta (6). Hal ini membuktikan bahwa mayoritas warga Indonesia sesungguhnya sudah terbiasa dalam menggunakan sistem informasi digital yang tersebar di internet, bahkan Ujian Nasional 2015 sudah dilakukan secara *on line* (7). Selain itu, perkembangan digitalisasi informasi, membawa dampak hadirnya perpustakaan *on line* sebagai salah satu bentuk digitalisasi informasi dari buku analog menjadi buku-e. Buku yang pada awalnya dikenal melalui media bacanya diatas kertas atau cetak mengalami penambahan seiring perkembangan teknologi yang ada.

Perkembangan alat elektronik dengan berbagai kelebihan dan kemampuannya memberikan *option* tambahan dari media untuk membaca buku. Media elektronik ini, mulai dari komputer, *kindle*, *ipad* sampai *smartphone* menyajikan buku-e sebagai alternatif lain dalam membaca buku. Dengan kehadiran digitalisasi informasi ke dalam buku dan ditunjang dengan berkembangnya jaringan perpustakaan *on line* yang menyimpan lebih banyak buku-e, jika digunakan dengan cerdas bisa menjadi alternatif yang baik dan solusi bagi pengembangan dan penunjang pendidikan di Indonesia. Kehadiran media digital dan meningkatnya

dokumentasi digital dan itu dapat diindikasikan sebagai hal yang positif dari peningkatan minat membaca.

Salah upaya untuk menuju digitalisasi adalah pengumpulan data dan informasi yang mungkin masih berserakan yang berupa: data tekstual, tabular, foto, citra, dan/atau peta. Semua data dikumpulkan dalam satu tempat yang telah didesain agar memudahkan penyortiran dan berada pada temperatur dan kelembaban yang memadai untuk menghindari kerusakan dokumen. Data tersebut bisa berwujud *hard copy* atau berupa *file* elektronik dalam *flask disc*, *compact disc* atau *external drive* lainnya. Data-data yang sudah dalam bentuk elektronik dapat langsung dikopikan pada *hard drive* computer dan dibuat folder khusus menurut asal data. Data yang dikumpulkan lebih baik dibuat daftarnya dan mencantumkan tanggal pengumpulan atau penyeteroran, nama data dan nama pengirim dan nama peneliti. Informasi ini penting untuk verifikasi data di kemudian hari. Tahap berikutnya adalah pemilah-milahan data. Kegiatan ini adalah kegiatan yang menyita banyak perhatian dan waktu apalagi data yang banyak.

Revitalisasi Database

Basis data sebagai pilar utama dalam digitalisasi pengelolaan informasi sumber daya pertanian yang terdiri dari kumpulan data berbasis komputer yang terstruktur dan terorganisasi dengan baik sehingga memudahkan pencarian, daya simpan yang baik dan lestari yang dikelola dengan suatu sistem manajemen basis data (*database manajemen system*). Menurut Pertiwi et al. (2002) database sendiri hanya terbatas pada fisik data dan beberapa algoritma untuk pencarian dan meta data, dan istilah manajemen perlu ditambahkan untuk memastikan bahwa tiga aspek manajemen lainnya bisa dikelola dengan baik yaitu aspek sumber daya insani

(man), sumber daya keuangan (*money*), dan struktur tata kelolanya (manajemen).

Basis data yang sudah dibangun jika tanpa perhatian pada ketiga aspek ini, maka basis data akan menjadi sia-sia. Pembangunan basis data di BBSDLP telah dimulai tahun 1990-an seiring dengan kegiatan inventarisasi dan pemetaan pada proyek LREP di Sumatera dan proyek LREP II. Pada waktu itu. Pembangunan basis data mengkombinasikan keempat aspek tersebut. Namun, karena adanya perubahan kebijakan anggaran dan tata kelola maka basis data yang ada tidak berkerja secara optimal. Revitalisasi basis data mulai dilakukan tahun 2013 seiring dengan pemetaan AEZ skala 1:50.000 yang melibatkan BPTP dan pemerintah daerah serta pembangunan laboratorium IGAS.

Revitalisasi database terdiri dari 4 pilar utama yaitu: 1) Peremajaan perangkat keras dan perangkat lunak, 2) penambahan dan peremajaan sumber daya insani pengelola data, 3) pengembangan aplikasi pendukung, 4) penguatan pendanaan.

Pilar 1. Peremajaan perangkat keras dan perangkat lunak.

Basis data terkomputerisasi melekat dengan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Komponen perangkat keras yang perlu disiapkan dan senantiasa dipantau perkembangannya adalah kondisi CPU, Display, dan Storage. CPU (*central procesing unit*) menentukan kecepatan pemrosesan data.

Pilar 2. Penambahan dan peremajaan pengelola data (SDM).

Penguatan sumber daya insani (SDM) pengelola data merupakan faktor kunci dalam pengelolaan data. Terdapat empat aspek penting dalam penguatan SDM pengelolaan, yaitu: Pertama, sumberdaya insani yang memahami konsep data spasial, basis data spasial dan berkemampuan mengoperasikan perangkat

lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Kemampuan yang dimiliki termasuk input, proses dan penyajian output data-data spasial. Kedua, adalah sumber daya insani (SDM) yang memahami konsep data tabular dan basis data tabular, mempunyai kemampuan pemrograman, pengelolaan data tabular di berbagai piranti sistem manajemen basis data dan dapat mengoperasikan *software* dan database dan menguasai bahasa pemrograman SQL, Basic atau operasi-operasi query lainnya. Ketiga, sumber daya insani yang mempunyai kemampuan jaringan atau komunikasi antara jaringan dan internet. Komunikasi data dan alat di era web ini sangat penting sehingga sumber daya insani ini siap memecahkan permasalahan dengan segera. Keempat adalah sumber daya insani yang menguasai kemampuan kesekretariatan dan *design* karena kegiatan dokumentasi sering dilakukan yang akan meningkatkan jumlah kinerja.

Pilar 3. Pengembangan aplikasi pendukung

Basis data ini berbasis computer sehingga perangkat lunak ini perlu tersedia dan selalu kompatibel dengan kemajuan teknologi dan keperluan yang senantiasa berubah. Seperti di BBSDLP, beberapa aplikasi basis data yang digunakan tahun 1990-an tidak kompatibel lagi dengan kemajuan teknologi saat ini. SSA dan Shfox merupakan aplikasi untuk mengelola data hasil analisis laboratorium yang berbasis DOS tidak dapat digunakan secara lebih baik pada komputer yang saat ini berbasis windows. Selain itu, banyak analisis-analisis data yang rutin memerlukan aplikasi-aplikasi sederhana yang akan berperan ampuh untuk pemrosesan data yang banyak. Tabel 3 memberikan contoh aplikasi-aplikasi pendukung yang dibuat sendiri untuk mendukung kegiatan-kegiatan rutin.

Pilar 4. Dukungan dan penguatan pendanaan

Pengelolaan basis data dalam konteks digitalisasi membutuhkan berbagai perangkat dan sarana ICT yang pada umumnya merupakan *high tech* (teknologi tinggi) dan mahal. Oleh sebab itu keberhasilan dan kelanggengan pengembangan digitalisasi pengelolaan data dan informasi sumber daya pertanian harus didukung dengan pendanaan yang kuat dan cukup, baik untuk investasi dalam perancangan dan pengadaan perangkat serta sarana, maupun untuk operasionalisasi secara berkesinambungan.

AWR Mendukung Digitalisasi Informasi Sumber Daya Pertanian

Agricultural War Room (AWR) adalah salah satu implementasi digitalisasi informasi pertanian, sebagai konsep dan operasional suatu sistem informasi pertanian, dan merupakan salah satu implementasi sekaligus pendukung pengembangan digitalisasi sistem data dan informasi sumber daya (dan teknologi) pertanian yang digagas pada tahun 2019. Pada prinsipnya AWR adalah media untuk memberikan informasi dua arah dari program Kementan ke petani-penyuluh di seluruh Indonesia, dan informasi *real time* lapangan dari petani-penyuluh ke Kementan. Informasi tersebut dikemas dalam bentuk sederhana sesuai dengan kebutuhan petani dan penyuluh di Indonesia.

Secara operasional AWR dapat dipandang sebagai suatu media atau sistem informasi untuk (a) memantau (*monitoring*), (b) menyajikan dan melaporkan (*showing and reporting*), (c) memverifikasi data dan informasi (*validating*), utamanya sumber daya pertanian dan teknologi, serta (d) memberikan arahan dan bimbingan untuk pemecahan masalah (*commanding*) lapangan terhadap kegiatan dan program strategis Kementerian Pertanian. AWR sebagai suatu sistem informasi *full digitalition* tsb. merupakan sistem yang terhubung dengan suatu jaringan

Agricultural Operational Room (AOR) di satker-satker lingkungan Kementerian Pertanian dan juga terkoneksi dengan AOR Konstrawil di tingkat provinsi, Konstrada di tingkat kabupaten, dan Konstratani di tingkat kecamatan. Hubungan timbal balik terlaksana dalam penerapan empat Fungsi AWR tersebut.

Dalam fungsinya memantau dan melaporkan, AWR menyajikan data dan informasi sumber daya pertanian utama, antara lain meliputi: peta lahan sawah dan peta *standing crop*, peta lahan sawit, peta lahan gambut, peta rawan longsor, berbagai informasi dari Sistem Informasi Katam Terpadu seperti peta awal tanam, peta prediksi awal hujan, peta rawan banjir dan kekeringan, dll. serta peta Balai Penyuluhan Pertanian, stok pupuk, keberadaan alsintan hingga produksi komoditas pertanian. Informasi sumber daya pertanian utama yang menjadi basis pemantauan dan pelaporan ditampilkan dalam format elektronik sehingga mudah diintegrasikan dengan data-data lainnya. Informasi ini tidak saja bisa diakses di AWR namun dimanapun selama koneksi internet tersedia, namun tidak berarti dapat diakses oleh semua pihak namun khusus disediakan bagi pihak-pihak yang berwenang.

Selain itu, pemantauan pertumbuhan tanaman khususnya padi dilakukan dengan perangkat CCTV yang terkoneksi dengan AWR yang menggambarkan informasi terkini kondisi tumbuhan dan pertanaman di lokasi tertentu sebagai *benchmark* informasi bagi daerah lainnya. Pengamatan CCTV ini semakin bermakna jika diintegrasikan dengan peta *standing crop* yang menggambarkan stadia pertumbuhan tanaman dalam suatu hamparan dan peta awal tanam dalam Sistem Informasi Kalender Tanaman (KATAM) Terpadu. Peta *standing crop* selalu diperbaharui guna menyesuaikan dengan informasi terkini dari hasil akuisisi citra Sentinel 2 terbaru. Data citra satelit sentinel ini memotret kondisi pertanaman secara rutin, dimana satelit melewati areal pertanaman secara berkala. Citra sentinel memberikan

informasi lebih detil karena mempunyai resolusi spasial hingga 5 m dan resolusi temporal 15 harian. Dengan algoritme tertentu, data citra ini dapat diolah menjadi fase-fase pertumbuhan khususnya untuk tanaman padi.

Sistem AWR yang memerlukan pasokan informasi sumber daya pertanian dan menampilkannya secara digital terbukti berperan dalam mendorong serta memperbaiki tampilan, format, dan kualitas informasi sumber daya pertanian. Sebaliknya informasi sumber daya pertanian yang lengkap, akurat, terupdate secara periodik juga meningkatkan kualitas AWR dalam menjalankan fungsi-fungsinya. Segala upaya untuk perbaikan AWR baik aspek manajemen maupun aspek konten, tampilan, dan jaringan berarti pula untuk perbaikan terhadap proses digitalisasi dalam pengolahan, pengiriman dan penyajian informasi sumber daya pertanian. Pengembangan dan pemanfaatan AWR yang semakin intensif secara langsung mempercepat upaya digitalisasi informasi sumber daya pertanian.

Pengkondisian Sistem

Pengembangan sistem yang berkelanjutan perlu memperhatikan 10 jenis *design*. Ini telah diterapkan dalam membangun AWR Kementan, meski pelaksanaannya tidak berjalan sekaligus tapi dilakukann secara bertahap. Tabel 29 menyajikan kesepuluh desain yang diperlukan saat pembangunan sistem dan menjadi acuan dalam perawatan dan pengoperasian sistem.

Tabel 29. Daftar Design sebagai Acuan Pemeliharaan Sistem yang Dibangun

No	Jenis design	Penjelasan
1	Design tempat fisik ruangan	Merupakan rancangan terkait fisik bangunan
2	Design <i>energy</i>	Merupakan rancangan energi yang diperlukan untuk operasional sistem
3	Design tampilan	Merupakan rancangan tampilan termasuk menentukan jenis monitor, dimensi dan keperluan energinya
4	Design SDM	Menentukan jumlah dan kemampuan SDM yang diperlukan untuk sistem agar berjalan
5	Design <i>backup</i>	Merupakan rancangan <i>backup</i> baik data maupun <i>back up</i> sistem secara keseluruhan
6	Design <i>security</i>	Merupakan rancangan bagaimana sistem dan data dapat diamankan dari kemungkinan gangguan virus atau serangan trojan lainnya
7	Design data	Rancangan menentukan jenis dan format data yang perlu disajikan sebagai input ke sistem
8	Design <i>hardware</i>	Merupakan rancangan <i>hardware</i> yang diperlukan
9	Design <i>software</i> dan modul	Merupakan rancangan <i>software</i> yang diperlukan
10	Design jaringan	Merupakan rancangan jaringan baik internet maupun intranet, wifi, dan <i>bluetooth</i> untuk memastikan komunikasi antar bagian berjalan efektif

ARAH, STRATEGI DAN KEBIJAKAN DIGITALISASI INFORMASI SUMBER DAYA PERTANIAN

Sesuai dengan tantangan ke depan, pembangunan pertanian harus menyesuaikan diri dengan dinamika tantangan itu sendiri serta dinamika perkembangan IPTEK global. Jawaban akhirnya adalah pengembangan pertanian modern yang selain didukung oleh teknologi inovatif pengelolaan lahan, air dan budidaya serta teknologi proses dan alat mesin pertanian, juga harus didukung oleh perkembangan ICT. Salah satu inovasi ICT yang mengemuka

adalah digitalisasi pengelolaan sistem data dan informasi sumber daya pertanian yang secara teknis harus didukung oleh sistem database dan big data yang handal serta tersambung dengan *cloud computing* internet sehingga memudahkan siapa saja untuk mengakses dan memodifikasi informasi yang tersimpan.

Strategi utama pengembangan digitalisasi pengelolaan sistem data dan informasi sumber daya pertanian, terutama sumber daya lahan sebagai data utama antara lain adalah:

1. Penyeragaman, penyelarasan dan penyambungan (konektivitas) data dan informasi sumber daya pertanian yang saat ini masih terpisah-pisah, beragam dalam format, dan yang berbeda harus dapat untuk diakses secara bersama, tentu oleh pihak yang berkepentingan. Hal tersebut harus diawali dengan kesamaan persepsi dan kemauan untuk kerjasama dan sinergitas antar K/L.
2. Menyusun konsepsi terstruktur dan teroganisir sistem digitalisasi pengelolaan informasi sumber daya pertanian berbasis UU No.11/2007 tentang Sistem Informasi Geospasial dan Perpres Nomor 9/2016 tentang Kebijakan Satu Peta (KSP).
3. Membangun jaringan konektivitas sistem digitalisasi pengelolaan data dan informasi sumber daya pertanian dengan terus mengembangkan AWR dan AOR, baik dalam pengembangan aspek *hardware* maupun *software* dan SDMnya.
4. Membangun sistem koordinasi dan komunikasi antar satker atau lembaga pengelola dan pengguna data dan informasi sumber daya pertanian terkait, terutama di lingkup Kementerian Pertanian
5. Menyusun program pengembangan digitalisasi pengelolaan informasi sumber daya pertanian, baik dalam tataran penelitian dan pengembangan maupun dalam tataran operasional yang berkesinambungan

PENUTUP

Pembangunan sektor pertanian merupakan tanggung jawab bersama dan menjadi urusan berbagai K/L dan *stakeholder* guna menjamin ketahanan pangan nasional, pembangunan ekonomi pedesaan dan peningkatan devisa negara. Sesuai dengan RPJMN Sektor Pertanian dan RENSTRA Kementerian Pertanian salah satu arah pembangunan pertanian 2020-2024 adalah pengembangan pertanian modern yang seyogyanya berbasis sistem pertanian presisi dan pertanian cerdas. Keduanya membutuhkan dukungan big data, utamanya data dan informasi sumber daya sebagai instrumen penentu rancangan teknis dan kebijakan melalui dukungan inovasi teknologi pertanian dan ITC. Informasi sumber daya pertanian yang dihasilkan tidak hanya dikelola, tetapi juga dibutuhkan oleh banyak K/L dan *stakeholder*, karena sekitar 70% pengelolaan sektor pertanian melibatkan K/L di luar Kementerian Pertanian. Oleh sebab itu perlu digitalisasi pengelolaan sistem informasi sumber daya agar mudah dikelola dan dikomunikasikan ke berbagai pihak terkait. Pengembangan digitalisasi pengelolaan dan penyajian data dan informasi sumber daya seperti halnya AWR dan AOR dibutuhkan empat pilar reorientasi teknis dan manajemen, yaitu pilar pengembangan dan peremajaan *hardware*, pengembangan dan pembinaan SDM pengelola, pengembangan aplikasi pendukung, serta dukungan dan penguatan pendanaan. Keempat pilar tersebut dibangun dengan bertitik tolak dari lima strategi utama, yaitu: penyeragaman dan penyelarasan konektivitas data dan informasi, menyusun konsepsi terstruktur dan terorganisir sistem digitalisasi, membangun jaringan konektivitas sistem digitalisasi, membangun sistem koordinasi dan komunikasi dan menyusun program pengembangan digitalisasi pengelolaan informasi sumber daya pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bacco, M., P. Barsocchi, E. Ferro, A. Gotta, dan M. Ruggeri. 2019. "The Digitisation of Agriculture: a Survey of Research Activities on Smart Farming". Array 3-4. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.array.2019.100009>
- [BBSDLP] Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. 2016-2019. Atlas Peta Tanah Semidetil Skala 1:50.000. Badan Penelitian Pengembangan Pertanian.
- Beluhova-Uzunova, Rositsa, dan D. Dunchev. 2019. "Precision Farming – Concepts and Perspectives." Problems of Agricultural Economics. 360. pp. 142-155. 10.30858/zer/112132.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. Survei Pertanian Antar Sensus 2018 (SUTAS2018). Badan Pusat Statistik Jakarta.
- [DESIRA] Digitisation: Economic and Social Impacts in Rural Areas. 2020. "Digital Transformation of Agriculture, Forestry, and Rural Areas: Developing A futureproof Socio-Cyber-Physical System". Uni Eropa
- [FAO] Food Agriculture Organization. 2020. The digitalization of food and agriculture. FAO. Rome. Italy.
- [GFAR] Global Forum for Agricultural Research. 2018. Digital and Data-Driven Agriculture: Harnessing the Power of Data for Smallholders.
- Li, Chunling, dan B. Niu. 2020. "Design of smart agriculture based on big data and internet of things": International Journal of Distributed Sensor Networks.
- Lucas, H. C. Jr. 1982. Information Systems Concepts for Management. McGraw-Hill, New York, 1982.

- Nash, J. F., dan Martin B. Robert. 1984. "Accounting Information System". New York, Amerika Serikat: Macmillan Publishing Company.
- Nurwajedi, 2016. Kebijakan Satu Peta Dalam Mendukung Pembangunan Infrastruktur Nasional. Buletin edisi I. Tata ruang dan pertanahan. Kementerian PPN/Bappenas.
- Pertiwi, Setyo, C. Sutanto, M. Djojomartono, dan A. Permana. 2002. "Commodity-based database system for Agriculture and Agribusiness Development": Proceedings of 3rd Asian Conference for Information Technology in Agriculture. Beijing, China
- Ralph, S., M., dan G. W. Reynolds. 2010. Principle of information systems: A Managerial Approach. (9th edition). Australia. Thomson Course Technology.
- Riasetiawan, M. 2005. Tinjauan Teoritis Sistem Informasi Akuntansi. Universitas Gajah Mada. Jogjakarta.
- Saiz-Rubio, Veronica, dan F. Rovira-Mas. 2020. "From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A review on Crop Data Management": Agronomy. 10. 207.
- Saleh, A. 2015. Pengembangan Perpustakaan Digital, Universitas Terbuka, Jakarta.
- Shafi, U., R. Mumtaz, J. Garcia-Nieto, S. A. Hassan, S. A. R. Zaidi, dan N. Iqbal. 2019. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. Sensors. 19. 3796.
- Toba, dan Hapnes. 2015. "Big Data: Menuju Evolusi Era Informasi Selanjutnya". Artikel dalam Prosiding The 3rd Seminar Teknik Informatika dan Sistem Informasi (SETISI) Bandung.
- Wolfer, S., L. Ge, C. Verdouw, dan Marc-Jeroen Bogaardt. 2017. Big Data in Smart Farming. A review. Agricultural Systems Vol. 153. pp. 69-80.

PENGEMBANGAN *INTEGRATED INTELLIGENT SYSTEM* DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA LAHAN MENDUKUNG PERTANIAN PRESISI

Rizatus Shofiyati^{a1}, Anny Mulyani^{b2}, Wiwik Hartatik^{c3},
Husnain^{d4}, Fadjry Djufry^{e5}

^{a,b,c,d} Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian

^e Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

^{1,2,3,4,5} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Pertanian presisi terdiri dari pengelolaan tanaman dengan mengamati, mengukur, dan bertindak terhadap banyak variabel yang mempengaruhinya. Sistem pertanian presisi dapat didasarkan pada sistem navigasi satelit atau sistem terestrial untuk informasi geografis dan sensor yang terletak di dalam plot atau peralatan pertanian. Sistem ini dilakukan dengan mengumpulkan informasi yang digunakan untuk membuat keputusan dengan lebih presisi dan mengoptimalkan hasil panen. Pertanian presisi dapat berkontribusi untuk menghasilkan pertanian yang lebih efisien dan ekologis. Hal ini memungkinkan penghematan atau mengurangi pupuk yang digunakan. Artinya pertanian presisi dapat mengurangi biaya dan mengoptimalkan lahan pertanian, mengurangi dampak lingkungan dengan

mengoptimalkan penggunaan air, pestisida, dan bahan bakar mesin; dengan demikian, produksi yang diperoleh lebih besar dengan sumber daya yang lebih sedikit (Baseca 2019).

Untuk mengembangkan sistem pertanian presisi yang efisien, terdapat kecenderungan ke arah *Integrated Intelligent System* atau penggunaan *Smart Decision System* (SDS). SDS mencakup penerapan teknologi, termasuk di dalamnya pemeliharaan dan penggunaannya. Salah satu teknologi satelit dan sensor yang berperan di dalam SDS adalah teknologi penginderaan jauh.

Saat ini, teknologi penginderaan jauh (inderaja) dan sensor sudah sangat pesat perkembangannya. Spesifikasi data penginderaan jauh sudah sangat beragam. Kemampuan teknologi inderaja yang dapat mendeteksi dan memantau dari jarak jauh tanpa menyentuh obyek yang diamati dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan. Oleh karena itu, inderaja dapat memantau areal dalam cakupan yang luas bahkan lokasi-lokasi yang sulit dijangkau dari darat. Perekaman yang dapat dilakukan berkala, baik secara *historical* maupun *real time* juga menjadi kelebihan teknologi ini. Kemampuan teknologi inderaja tersebut dapat dimanfaatkan dengan mengisi gap ketersediaan teknologi yang belum memadai untuk mendukung pertanian. Aplikasi inderaja dapat diperkuat penggunaannya terutama dalam mendukung pertanian presisi. Beberapa informasi yang diperoleh dari citra satelit, dapat membantu pengelolaan lahan pertanian dengan lebih efektif dan efisien dalam pengelolaan dan perencanaan lahan pertanian. Dalam makalah ini dibahas tentang upaya mengelola sumberdaya lahan untuk mendukung pertanian presisi melalui pengembangan *integrated intelligent system*.

SUMBER DAYA LAHAN DAN PERTANIAN PRESISI BERBASIS TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH DAN SENSORIK

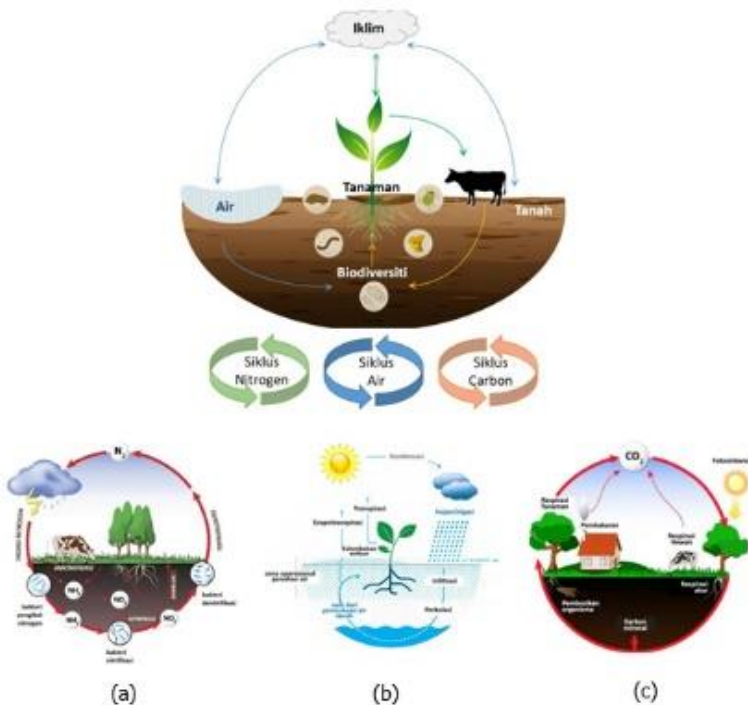
Sumberdaya Lahan Dalam Pertanian Presisi

Sumberdaya lahan dalam pertanian presisi termasuk di dalamnya tanah, air, iklim dan biodiversiti merupakan empat komponen penting bagi pertanian (Gambar 34). Terdapat tiga siklus yang berperan dalam kehidupan pada lahan, yaitu air, nitrogen dan karbon. Ketiga siklus tersebut dimana keempat komponen sumberdaya alam tersebut berperan. Keberlanjutan pertanian bergantung pada konservasi sumber daya alam yang paling berharga tersebut. Oleh karena itu setiap investasi dalam inovasi juga perlu menjadi investasi dalam keberlanjutan.

Tanah sebagai tempat tumbuh tanaman adalah fondasi untuk mendapatkan hasil panen yang optimal. Pembentukan tanah lapisan atas satu inci secara alamiah dibutuhkan waktu setidaknya 500 tahun (*Soil Science Society of America* 2013). Oleh karena itu tanah sebagai sumber daya tak terbarukan harus digunakan dengan bijak. Komposisi tanah yang tepat menjadikan akar dapat berfungsi dengan baik untuk menyerap air, nutrisi, dan mineral. Jika kesehatan akar terganggu dan tanaman menjadi tidak sehat. Akibatnya tanaman tidak dapat berproduksi dengan baik dan hasil panen menjadi rendah.

Sama seperti tanah, air juga perlu dijaga kelestariannya. Permintaan akan air bersih meningkat seiring dengan berkembang pesatnya populasi dunia. Pada tahun 2030, diproyeksikan akan ada 40 persen kesenjangan antara pasokan dan permintaan air, oleh karenanya dibutuhkan cara yang lebih cerdas dan bijak untuk menjaga ketersediaan air. Lebih dari 90 persen air yang digunakan

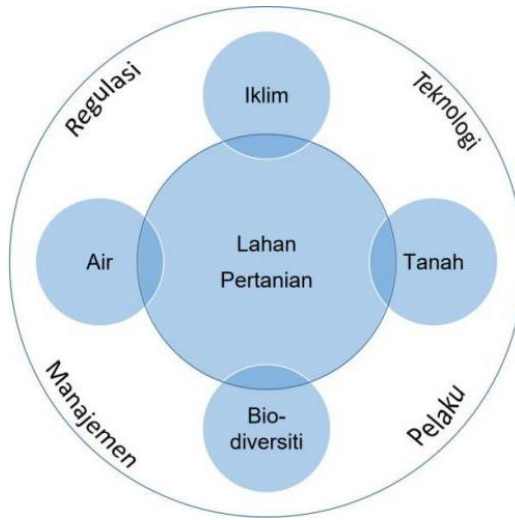
manusia setiap hari adalah untuk produksi makanan (UNESCO 2020).



Gambar 29. Empat komponen sumberdaya lahan dan tiga siklus berperan: a) Nitrogen (Designau 2018a), b) Air (Water & Soil Ltd. 2016 diolah), b) dan c) Carbon (Designau 2018b)

Dalam menjalankan fungsinya, tanah memerlukan organisme. Organisme ini akan berinteraksi dan berkontribusi pada siklus global, seperti karbon dan nitrogen. Untuk menjalankan perannya tersebut organisme memerlukan air. Organisme tanah bertanggung jawab untuk menjalankan fungsi vital dalam ekosistem tanah, seperti pemeliharaan struktur tanah, pengaturan proses hidrologi tanah, pertukaran gas dan penyerapan karbon, siklus hara, detoksifikasi tanah, dekomposisi bahan organik,

pemberantasan hama, parasit, dan penyakit, sumber makanan dan obat-obatan, hubungan simbiosis dan simbiosis dengan tanaman dan akarnya, pengendalian pertumbuhan tanaman.



Gambar 30. Empat unsur yang berperan dalam keberlanjutan empat komponen lahan

Pertanian modern memungkinkan pengelolaan secara sehat agar tanah, air, biodiversiti dan iklim dapat digunakan secara berkesinambungan. Ada empat unsur yang berperan dalam pengelolaan lahan, yaitu pelaku (petani), manajemen, teknologi dan regulasi yang mengaturnya (Gambar 35). Petani mempunyai peranan penting dalam memperlakukan lahannya, bagaimana petani mengolah tanah, menggunakan air, dan teknologi yang diterapkan, akan berpengaruh terhadap biodiversiti dan iklim. Oleh karenanya petani diharapkan dapat menjaga kelestarian lahannya, melalui pengelolaan atau manajemen yang baik dan diatur dalam regulasi, agar petani sebagai pelaku masih pada jalur yang tepat dalam mengelola lahan pertaniannya.

Pengolahan lahan tanpa mengganggu tanah (*zero tillage*), akan meningkatkan kesehatan tanah. Pembalikan tanah pada saat pembajakan dapat melepaskan karbon yang tersimpan di dalam tanah dan meningkatkan kemungkinan bahwa tanah akan terkikis atau tererosi oleh melalui angin atau hujan. Pengolahan tanah minimum dapat menjaga nutrisi dan kelembaban tetap ada di tanah, membatasi erosi tanah, mengurangi limpasan air, dan memanfaatkan air hujan dengan lebih baik. Metode tanpa atau minimum olah tanah dapat membantu menyerap karbon di dalam tanah, bahkan berpotensi mengurangi kebutuhan irigasi dan melindungi sumber air tawar. Keuntungan lain dari pengolahan lahan tanpa olah tanah dapat melestarikan ekosistem untuk biota tanah, seperti cacing tanah, nematoda, tungau, serangga, jamur, bakteri, dan lebih dari 1.000 spesies invertebrata yang berbeda. Oleh karenanya diperlukan inovatif untuk melindungi tanah dengan memanfaatkan kekuatan organisme yang sudah ada di dalam tanah (BayerAG 2020).

Petani memiliki peran penting dalam mengelola sumberdaya berharga ini dengan bijaksana, dan petani berperan dalam mengurangi jumlah air yang digunakan untuk menghasilkan pangan. Perubahan iklim membuat sumber daya air tawar semakin langka, oleh karenanya petani perlu beradaptasi. Selama beberapa dekade, para petani telah mengairi tanaman dengan menggunakan cara irigasi tradisional. Metode ini tidak efisien karena setiap lahan bervariasi dalam kualitas tanah, ketersediaan hara, topografi, dan jenis tanaman, dimana dalam jarak beberapa meter kebutuhan air berbeda. Dengan kumpulan big data yang dapat menginformasikan kondisi lahan dapat dilakukan penerapan air yang lebih efisien, dengan teknologi irigasi pintar.

Di lain pihak, pertanian bertanggung jawab atas 19-29% emisi gas rumah kaca (GHG) secara global, menyerap dan menahan panas di atmosfer bumi dan memicu perubahan iklim (Vermeulen 2012). Akan tetapi pertanian berkelanjutan dengan sistem organik,

regeneratif, dan agroekologi dapat meningkatkan stok karbon organik tanah, menurunkan emisi gas rumah kaca, mempertahankan produksi, meningkatkan retensi air dan penyerapan tanaman, meningkatkan keuntungan, dan merevitalisasi komunitas pertanian tradisional, dan memastikan keanekaragaman hayati (Gattinger et al. 2012, De Ponti et al. 2012, Pimentel et al. 2005, Lotter 2003, Wittman 2009).

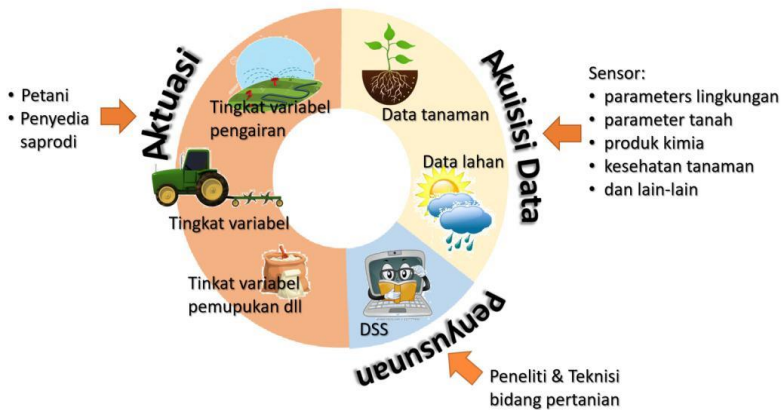
Konsep Pertanian Presisi Berbasis Teknologi Penginderaan Jauh dan Sensorik

Pertanian presisi juga dikenal dengan berbagai nama lain seperti pertanian satelit merupakan cara pengelolaan yang terbaik untuk teknik mengelola tanah dan lingkungan yang bervariasi. Pengelolaan pertanian yang dilakukan untuk meningkatkan produktivitas, menurunkan biaya produksi dan meminimalkan dampak lingkungan dari usaha pertanian. Pelaksanaanya dengan memanfaatkan teknologi baru seperti citra satelit, penginderaan jauh, dan teknologi informasi yang dibantu dengan informasi posisi lahan di lapangan dengan menggunakan sistem penentuan posisi satelit seperti GPS (Earth Observing System 2019).

Pertanian presisi melibatkan *integrated intelligent system* dalam pengelolaan pertanian dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk pertanian (Gambar 36). Manfaat tambahan yang diperoleh adalah meningkatkan kualitas hidup pekerja di sektor pertanian dengan mengurangi tenaga kerja untuk mengerjakan tugas-tugas yang berat dan rutin atau berulang-ulang.

Saat ini telah tersedia banyak teknologi yang dapat digunakan oleh petani modern, antara lain: teknologi penginderaan, termasuk sensorik tanah, pengelolaan air, cahaya, kelembaban, dan suhu; aplikasi perangkat lunak khusus untuk jenis pertanian

tertentu; teknologi komunikasi, seperti komunikasi seluler; teknologi penentuan posisi, termasuk GPS; dan sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence-AI*) dan *Internet of Things (IoT)*. Teknologi tersebut bahkan dapat membantu memberi solusi secara otomatisasi, dimana analisis data mendasari pengambilan keputusan dan proses prediksinya.



Gambar 31. *Integrated intelligent system* dalam pengelolaan lahan pertanian (Baseca et al., 2019, diolah)

Komponen Pendukung *Integrated Intelligent System* Pengelolaan Sumberdaya Lahan

Sensor pendeteksi tanah dan tanaman

Dalam pertanian presisi perlu didukung peralatan digital, baik semi otomatis atau otomatis penuh yang dapat membantu petani secara cepat dan mudah. Saat ini kita memerlukan perangkat uji yang lebih praktis, mudah, yang sesuai permintaan stakeholder dengan memanfaatkan teknologi informasi dan perkembangan teknologi digital yang cepat. Oleh karenanya perlu dikembangkan

aplikasi interaktif memungkinkan pengguna, khususnya petani, dapat mengidentifikasi dan mendiagnosis permasalahan pada lahan dan tanamannya. Pemanfaatan sensor yang menggunakan gelombang elektromagnetik saat ini telah berkembang pesat. Spektrum gelombang dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi kondisi suatu obyek termasuk dalam bidang pertanian. Beberapa alat atau aplikasi yang sudah dan perlu dikembangkan, antara lain:

S3K telah dikembangkan oleh Balai Penelitian Tanah sebagai alat yang dapat mendeteksi kesuburan tanah. S3K merupakan alat yang memiliki kegunaan untuk memantau dan menganalisis kesuburan tanah secara real-time, cepat dan terjangkau. Pengembangan alat ini dengan memanfaatkan Spektrum gelombang *Far Infrared* (FIR), *Middle Infrared* (MIR) dan *Near Infrared* (NIR) dapat digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi sifat tanah. Spektrum gelombang yang biasa digunakan di laboratorium prinsipnya dapat dilakukan di lapangan namun dalam range spektrum panjang gelombang yang tepat. Gelombang sinar *infrared* dapat memprediksi beberapa sifat tanah seperti nitrat (NO_3^-). Beberapa NIR spectrometer mempunyai panjang gelombang yang berbeda. Harga sensor alat deteksi hara yang memiliki kisaran panjang gelombang yang lebar cukup mahal bila dibandingkan dengan sensor yang memiliki kisaran panjang gelombang yang sempit. S3K merupakan inovasi teknologi advance untuk menentukan sifat kimia tanah menggunakan Sensor Infrared (NIR) dengan panjang gelombang 1300 – 2600 nm sehingga proses penetapan sifat tanah lebih cepat, data sifat tanah bersifat kuantitatif, dan lebih praktis digunakan di ruangan dan lapang. S3K dilengkapi dengan *decision support* untuk memberikan rekomendasi pemupukan sesuai sifat tanah dan kebutuhan hara tanaman padi, jagung dan kedelai. Parameter sifat kimia tanah yang diukur adalah pH, C-organik, N-total, P_2O_5 dan K_2O ekstrak HCl 25%, P ekstrak Bray I, P ekstrak Olsen, K ekstrak

Morgan, kation tukar (Ca, Mg, K dan Na), kapasitas tukar kation, kejenuhan basa dan tekstur tanah.

S3K terdiri dari dua alat yaitu alat sensor dan alat *displai* mini komputer (Gambar 37). Seiring berkembangnya teknologi, alat sensor neospectra juga mengalami penyempurnaan dengan dukungan wireless (*bluetooth*) melalui *hand phone* (HP) android, sehingga dilakukan kembali kalibrasi dan validasi penetapan sifat tanah dan penyesuaian program bila menggunakan alat monitor dalam bentuk HP. Penggunaan HP sebagai alat *displai* mempunyai beberapa keuntungan yaitu lebih *handy*, lebih praktis dan terkoneksi dengan GPS.



Gambar 32. *Smart Soil Sensing Kit* dan penggunaan langsung untuk deteksi di lapangan

Penyempurnaan S3K akan terus dilakukan melalui *updating software* sensor yang lebih presisi dengan basis data tanah yang terupdate dan *software* rekomendasi pemupukan untuk komoditas tanaman yang lebih luas meliputi tanaman pangan (padi sawah, jagung, kedelai, padi gogo), hortikultura semusim (bawang merah, cabai, kubis dan kentang, tomat), dan tanaman buah-buahan (jeruk, pisang, manggis, durian serta tanaman perkebunan kelapa sawit, kakao dan tebu).

Alat Pendeteksi Kesehatan Tanaman

Rice Doctor merupakan salah satu alat diagnostik untuk mengidentifikasi masalah pada tanaman dan memberikan saran rekomendasi tindakan yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Alat diagnostik tanaman interaktif ini dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan penyuluhan dan penyedia layanan konsultasi dan petani sebagai pengguna utama untuk mengidentifikasi hama serangga, penyakit, kekurangan nutrisi, toksisitas, dan masalah terkait agronomi tanaman. Alat ini memberikan informasi tentang masalah tanaman padi serta rekomendasi untuk mengatasinya. Selain petani dan penyuluh, alat ini juga berguna bagi peneliti, mahasiswa, dan penyalur swasta atau pengguna lainnya.

Terdapat 88 jenis hama dan penyakit serta gangguan lainnya yang dapat dideteksi alat tersebut. Data disajikan dalam bentuk deskripsi teks dan gambar yang memudahkan pengguna dalam mendiagnosis permasalahan mereka. Selain memberikan ciri gejala permasalahan tanaman padi, alat ini juga memberikan pilihan solusi pengelolaannya. Produk ini dikembangkan oleh tim internasional yang terdiri dari *International Rice Research Institute* (IRRI); *Tim Lucid University of Queensland*, Australia; *Philippine Rice Research Institute* (PhilRice), Filipina; Balai Penelitian Padi, Indonesia (IRRI 2017).

Prosedur kerja alat ini menggunakan gambar-gambar yang menunjukkan berbagai jenis permasalahan tanaman padi (Gambar 38). Pengguna dapat menyocokkan kondisi tanaman atau lahannya dengan gambar-gambar yang ada di aplikasi *Rice Doctor* tersebut. Selanjutnya, pengguna melanjutkan pada rekomendasi dalam mengatasi permasalahan yang terdapat pada lahan dan tanamannya.



Gambar 40. Menu diagnosis kesehatan tanaman pada *Rice Doctor*

Alat ini dapat dikembangkan dengan menggunakan *Artificial Intelligence (AI)* melalui *machine learning*, dimana komputer akan memperelajari gambar-gambar gejala tanaman yang terkena hama, penyakit, salinitas, kekurangan hara, dan sebagainya. Koleksi gambar-gambar yang dimiliki dalam basis data, yang juga merupakan kiriman dari pengguna, nantinya terkumpul dalam basis data *Rice Doctor* dan diperelajari oleh komputer, yang selanjutnya dapat mengenali secara otomatis permasalahan yang ada sekaligus memberikan solusinya.

Leaf Color Chart atau Bagan Warna Daun (BWD) merupakan alat pendeteksi kandungan nutrisi tanaman. BWD merupakan alat sederhana yang mudah digunakan dan murah, untuk menentukan waktu pemupukan N pada tanaman padi. Perubahan warna daun adalah indikator nutrisi dan kesehatan tanaman. Gejala kekurangan N yang paling jelas dan biasa terlihat adalah berkurangnya warna hijau dari dedaunan (*chlorosis*), yang umumnya agak terdistribusi merata pada keseluruhan daun. Daun menjadi lebih pucat, menguning, dan pada kondisi

kekurangan N yang parah, tanaman menjadi mati. Pada tanaman sereal, kekurangan N dapat menyebabkan berkurangnya anakan; jumlah malai per satuan luas dan juga jumlah gabah per malai berkurang. Karena itu, pertumbuhan dan hasil tanaman berhubungan erat dengan warna hijau dari daun (*International Rice Research Institute* 2014, Leghari et al. 2016). BWD yang dibuat oleh IRRI tersebut telah digunakan oleh Kementerian Pertanian sebagai pedoman untuk menentukan klasifikasi warna daun padi. Warna daun diukur dengan skala visual dengan panduan warna tanaman murah dan mudah digunakan secara kualitatif, sehingga hasilnya tergantung pada persepsi penggunaannya.

Saat ini pengukuran warna daun juga dapat dilakukan secara digital dengan menggunakan instrumentasi canggih termasuk meter klorofil, reflektometer, dan spektrofotometer. Analisis warna digital telah menjadi metode yang semakin populer dan hemat biaya yang dapat digunakan untuk mengevaluasi nutrisi daun dan kesehatan tanaman. Analisis dengan menggunakan pola spektral seperti yang digunakan pada alat S3K dapat digunakan untuk menganalisis kesehatan tanaman melalui warna daunnya. Hasil analisis digital dari gambar-gambar *scan* daun dan pengukuran spektrofotometri klorofil a, klorofil b, dan antosianin dapat dibandingkan dengan mengukur persentase warna pada daun. Hasil analisis gambar akan memberikan ukuran kuantitatif warna daun terhadap konsentrasi relatif pigmen tanaman (Saputra et al. 2017).

Berdasarkan konsep bagan warna daun, ke depan dapat dikembangkan aplikasi mobile pada ponsel yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Petani hanya perlu mengambil gambar beberapa sampel daun padinya menggunakan kamera pada ponselnya, setelah itu aplikasi ini akan menganalisis citra daun tersebut. Selanjutnya output berupa takaran pupuk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman padi akan diberikan sesaat setelah citra dimasukkan.

Informasi Spasial Pendukung Pengelolaan Sumberdaya Lahan

Produk peta sumberdaya lahan pertanian sangat banyak ragamnya, mulai dari peta tanah sebagai data dasar sampai peta tematik hasil turunannya. Peta-peta tersebut hampir semuanya menggunakan inderaja sesuai dengan tujuannya. Pada tahun 1980an, untuk kebutuhan survei dan penyusunan peta tanah telah menggunakan foto udara yang diinterpretasi secara manual menggunakan alat stereoskop tiga dimensi terhadap foto udara yang bertampalan (mosaik). Penggunaan dan tutupan lahan pada foto udara tersebut dapat digunakan sebagai salah satu penciri dari pembentukan tanah dan jenis tanah. Kemajuan teknologi telah menghasilkan beragam citra dengan kedetilan dan akurasi yang beragam, mulai dari citra Landsat yang cocok untuk penyusunan peta skala tinjau (skala 1:250.000) ataupun citra SPOT untuk skala lebih detil (skala 1:50.000 atau lebih besar).

Beragam peta dapat dibuat setelah peta tanah tersebut tersedia, misalnya peta kesesuaian lahan, peta arahan pengembangan komoditas, peta zona agroekologi (AEZ), peta pewilayahan komoditas, peta rekomendasi pengelolaan lahan dan sebagainya. Status ketersediaan peta tanah disajikan pada Tabel 30. Selain itu, citra satelit dapat digunakan untuk membuat peta lahan baku sawah dan penggunaan lahan lainnya, peta konversi lahan, peta ketersediaan/cadangan lahan, peta sebaran perkebunan sawit, kelapa, tebu, kakao, peta sebaran dan jenis lahan rawa, dan lain sebagainya.

Tabel 30. Status perkembangan data sumberdaya lahan di Indonesia

Peta Skala	Status
Peta Tanah Eksplorasi (skala 1:1.000.000)	dipetakan seluruh Indonesia (2000)
Peta Lahan Gambut (Skala 1:250.000)	dipetakan seluruh Indonesia (2011)

Peta Tanah Tinjau (Skala 1:250.000)	dipetakan seluruh Indonesia (2014)
Peta Tanah Semi Detail (Skala 1:50.000)	dipetakan 511 Kab/Kota (2016 - 2018)
Peta Kesesuaian Lahan 9 komoditas strategis (skala 1:50.000)	dipetakan 511 Kab/Kota (2016 - 2018)
Peta arahan dan rekomendasi pengelolaan lahan (RPL) (skala 1:50,000)	dipetakan 511 Kab/Kota (2016 - 2018)
Peta Lahan Gambut (Skala 1:50.000) (luas 13,43 juta Ha)	dipetakan 135 Kab/Kota yang memiliki lahan gambut di Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, Papua (2017 - 2019)

Sistem Informasi Pemantauan Sumberdaya Lahan

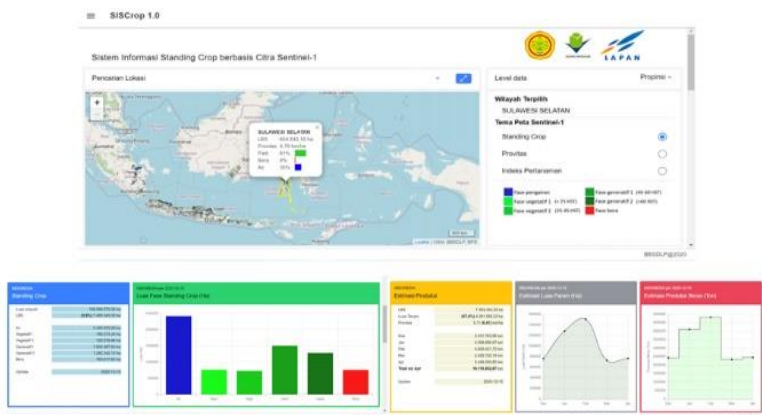
Kalender tanam (KATAM) terpadu merupakan program aplikasi yang memberikan informasi tentang awal waktu tanam, wilayah rawan terkena bencana kekeringan, banjir dan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), rekomendasi varietas, benih, pupuk, dan mekanisasi pertanian yang perlu disiapkan sebelum masuk periode musim tanam berikutnya. Sistem informasi ini mulai didesain 2007 dalam bentuk atlas dan dikembangkan dalam bentuk sistem informasi berbasis web mulai tahun 2011. Pada proses selanjutnya, kalender tanam dinamik dilengkapi menjadi kalender tanam terpadu. Saat ini KATAM terpadu dapat diakses melalui website maupun aplikasi android yang dapat diunduh melalui *Play Store*.

KATAM tanaman padi dibuat sebagai panduan waktu tanam padi bagi penyuluh dan petani setiap kecamatan seluruh Indonesia. Data curah hujan dari BMKG tidak dapat langsung dicerna oleh petani, sehingga perlu dianalisis menjadi informasi pertanian yang lebih aplikatif. Badan Litbang Pertanian merupakan salah satu unit yang memiliki mandat untuk menerjemahkan data curah hujan/iklim untuk pertanian. Karena dalam perencanaan jadwal dan pola tanam, informasi iklim (curah hujan) merupakan input utama.

Sistem informasi *Standing Crop* (SC) pada dasarnya adalah informasi berbasis citra satelit tentang fase pertumbuhan tanaman (Gambar 39). Informasi SC yang pengembangan modelnya telah dilakukan sejak 1997/98 oleh beberapa institusi, pertama kali diimplementasikan oleh Kementerian Pertanian tahun 2014. Pada awalnya SC dianalisis dari citra MODIS Terra komposite 8 harian dengan resolusi spasial 250

meter yang diperbaharui setiap 8 hari. Saat ini pengembangan SC sudah menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial lebih detail dan menggunakan sensor optik bahkan radar atau yang lebih dikenal dengan Synthetic Aperture Radar (SAR), yaitu Sentinel-2 dan Sentinel-1.

Sistem informasi *Standing Crop* dapat diakses melalui website atau menggunakan aplikasi android. Gambar 39 menunjukkan informasi yang tersedia di dalam sistem informasi *Standing crop*, yang memuat antara lain fase pertumbuhan tanaman padi, produktivitas, dan indeks pertanian. Selain itu juga disajikan estimasi luas panen, produksi beras, dan kebutuhan pupuk. Sistem informasi tersebut masih terus dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna.



Gambar 41. Sistem informasi *Standing Crop*

Selain dua sistem informasi KATAM dan SC, ada beberapa aplikasi lainnya produk Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian yang dapat dimanfaatkan dalam mendukung pertanian presisi, antara lain:

- **SISULTAN** (Sistem Informasi Sumberdaya Lahan Pertanian) disusun oleh Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) - Badan Litbang Pertanian. Sistem informasi ini berbasis WebGIS yang menyajikan informasi berupa peta-peta sumberdaya lahan pertanian yang dibuat/dipetakan oleh BBSDLP. Sistem ini menyajikan data dan informasi yang meliputi: a) Peta-peta skala 1:1.000.000, b) Peta tanah skala tinjau (1:250.000), c) Peta Tanah skala Detail (1:50.000), dan lainnya (Sulaeman et al. 2015).
- **SPKL** (Sistem Penilaian Kesesuaian Lahan). Aplikasi ini dikembangkan untuk membantu pengguna dalam melakukan penilaian atau evaluasi kesesuaian lahan berbagai komoditas pertanian. Selain berfungsi untuk penilaian lahan, aplikasi ini juga dapat membantu dalam penyusunan peta zona agro ekologi (ZAE). Aplikasi ini mudah digunakan dan dimengerti serta fleksibel, bersifat terbuka dan luwes dalam penentuan kriteria syarat tumbuh tanaman maupun dalam proses pemasukan data (Bachri et al. 2015).
- **PKDSS** (*Phosphorus and Potassium Decision Support System*). DSS ini dibuat oleh Balai Penelitian Tanah. PKDSS merupakan aplikasi yang dapat membantu menghitung kebutuhan pupuk dengan memperhatikan jumlah hara yang diperlukan tanaman serta kandungan dan dinamika hara dalam tanah. PKDSS bermanfaat dalam menentukan dosis pupuk untuk padi sawah, padi gogo, jagung, dan kedelai (Sulaeman 2010, Sulaeman dan Nursyamsi 2018).
- **SIMADAS** (Sistem Informasi Manajemen Data Sumberdaya Lahan). Sistem ini dapat digunakan untuk membantu

pengelolaan data sumber daya lahan yang meliputi data site, horison dan data hasil analisis laboratorium. Program ini dapat dimanfaatkan oleh peneliti di Badan Penelitian dan Penelitian Pertanian atau pengguna lain yang memerlukan pengelolaan data serupa (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2014, Sulaeman et al. 2015).

PEMANFAATAN, TANTANGAN DAN IDE TEKNOLOGI INOVASI

Pemanfaatan produk yang telah tersedia cukup luas dan sangat diperlukan khususnya di lingkup Kementerian Pertanian. Teknologi penginderaan jauh dengan teknik *machine learning*nya juga dapat memberikan nilai tambah dari produk yang telah dihasilkan tersebut untuk pemantauan kondisi lahan dan digunakan dalam membantu pengelolaannya. Sebagai ilustrasi, disampaikan beberapa contoh pemanfaatannya di lingkup Kementerian Pertanian.

Pemanfaatan *Soil Sensor Kit* untuk Pertanian Presisi

Pertanian presisi memerlukan pengelolaan hara yang tepat melalui pemberian hara secara berimbang pada tanaman melalui tepat dosis, tepat jenis pupuk, tepat cara, tepat waktu dan tepat jenis tanah sangat penting untuk mengurangi kehilangan hara. Disamping itu diperlukan pemberian bahan organik insitu untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan meningkatkan kesuburan fisik dan biologi tanah.

Untuk mendukung pertanian presisi dan seiring dengan perkembangan teknologi digital di bidang pertanian maka untuk mengetahui status hara tanah dan dosis pemupukan yang presisi diperlukan perangkat uji tanah yang akurat, praktis, mudah penggunaannya, dan menggunakan teknologi informasi agar

pemanfaatannya lebih luas. Penggunaan S3K untuk rekomendasi pemupukan berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pemupukan dan produktivitas tanah dan tanaman, pendapatan petani serta mengurangi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan dari praktek pemupukan yang berlebihan.

Pemupukan berimbang diartikan sebagai pemupukan untuk mencapai *status semua hara dalam tanah optimum* untuk pertumbuhan dan hasil suatu tanaman. Untuk hara yang telah berada dalam status optimum hanya diberikan seminimal mungkin sebatas takaran perawatan untuk menggantikan yang terangkut panen. Penambahan hara yang tidak diperlukan justru menyebabkan masalah pencemaran lingkungan, terlebih bila status hara tanah sudah sangat tinggi. Pemberian pupuk yang tidak berimbang, seperti pemupukan suatu hara yang sangat berlebihan atau kurangnya dosis pupuk yang diperlukan tanaman akan mengganggu produksi tanaman dan mengakibatkan rendahnya efisiensi pemupukan. Oleh karena itu agar pemupukan lebih efisien dan berimbang, maka rekomendasi pemupukan perlu mempertimbangkan jumlah hara yang dibutuhkan tanaman dan kemampuan tanah untuk menyediakan hara.

S3K juga dapat digunakan untuk membantu pemetaan tanah, menentukan sifat kimia tanah langsung di lapangan, menentukan kesuburan tanah dalam suatu wilayah yang lebih presisi, mudah dan praktis. Selanjutnya penggunaan teknologi informasi akan membuat alat tersebut lebih bermanfaat terutama untuk membangun basis data tanah nasional.

Dalam pengembangan diperlukan integrasi S3K dengan alat dan mesin pertanian seperti alat pengolah tanah dan planter sebagai satu kesatuan alat/*tool box* serta penggunaan yang lebih luas sebagai alat bantu pemetaan tanah dalam menentukan sifat tanah sehingga dapat menghemat waktu, biaya analisis tanah dan meningkatkan kualitas data yang diperoleh. S3K dapat

diintegrasikan dengan mesin aplikator pemupukan dalam penerapan rekomendasi pupuk.

Penggunaan perangkat S3K yang praktis dan mudah penggunaannya akan lebih diterima oleh pengguna dalam hal ini petani, penyuluh, Dirjen teknis, perusahaan swasta dan pelaku usaha lainnya. Penggunaan S3K dapat berdampak meningkatkan efisiensi pemupukan, produktivitas tanah dan tanaman, pendapatan petani dan mengurangi pencemaran lingkungan yang ditimbulkan dari penggunaan bahan agrokimia yang berlebihan.

Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Lahan Pertanian

a) Fase pertumbuhan padi

Standing Crop adalah informasi fase pertumbuhan tanaman padi yang diperoleh dari analisis citra satelit yang dapat disajikan baik spasial, tabular, maupun grafik. Analisis *Standing Crop* dilakukan secara otomatis yang dibangun dari model berbasis citra satelit. Data tersebut dapat diturunkan menjadi berbagai informasi, seperti identifikasi indeks pertanaman padi, pengaturan air irigasi, estimasi kebutuhan saprodi (benih, pupuk, pestisida), perkiraan luas, produksi padi dan waktu panen. Sehingga dapat diketahui kapan tanaman padi disuatu wilayah siap dipanen dan di daerah mana. Demikian juga dapat diketahui kapan tanam di daerah mana. Sehingga *supplying action* saprodi ke daerah yang memerlukan dapat dilakukan.

Antisipasi dalam pengelolaan juga dapat dilakukan dengan menggabungkan informasi *Standing crop* dengan cuaca (SI KATAM). Pengelolaan disesuaikan dengan kondisi cuaca dalam hal ini curah hujan, dimana awal tanam atau pola tanam mengikuti pola curah hujannya. Demikian juga penggunaan varietas atau jenis tanamannya disesuaikan dengan prediksi curah

hujan 1-2 bulan ke depan. Misalnya ketika fase padi masih dalam kondisi vegetatif-1 dan vegetatif-2, maka dapat dihitung kebutuhan jumlah dan jenis benih, pupuk, dan pestisida, serta pasokan air pada fase tersebut yang disesuaikan juga dengan kondisi cuaca.

b) Kekeringan dan banjir

Analisis untuk banjir dan kekeringan juga dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit. Saat ini citra satelit telah tersedia dengan berbagai ragam spesifikasinya, sehingga pemilihan citra dapat disesuaikan dengan keperluannya. Untuk iklim diperlukan resolusi temporal yang tinggi, sehingga data MODIS yang mempunyai resolusi temporal harian lah yang sesuai.

Citra harian dapat memberikan informasi wilayah terdampak banjir. Bahkan dengan analisis secara temporal frekuensi kejadian banjir di suatu wilayah dapat memberikan informasi wilayah endemik banjir. Dengan data tersebut, pemerintah dapat menyiapkan antisipasi pada wilayah-wilayah tersebut. Sama halnya dengan banjir, citra dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang terdampak kekeringan agronomis. Hal ini dapat membantu petugas lapangan atau *loss adjuster* dalam mempercepat pengecekan kerusakan tanaman akibat banjir dan kekeringan.

c) Penggunaan lahan pertanian

Direktorat Jenderal Perkebunan (Ditjenbun) akan melaksanakan program peremajaan kelapa sawit rakyat seluas 2,4 juta ha. Dimanakah sebaran dan lokasinya? untuk menjawab pertanyaan tersebut, telah dapat dideteksi keberadaan kelapa sawit berumur tua >25 tahun dengan pemnfaatan citra SPOT6/7 terkini. Mulyani et al (2019) melaporkan dari total perkebunan sawit 16.3 juta ha (Ditjenbun 2018) diperoleh lahan perkebunan

sawit rakyat yang harus dilakukan peremajaan sekitar 2,9 juta ha terluas berada di Pulau Sumatera 2,4 juta ha (Tabel 31). Hal ini dapat dipahami karena pada saat Proyek Transmigrasi digalakkan pemerintah pada tahun 1970an sebagian besar di Sumatera dengan komoditas utama pada awalnya tanaman pangan, namun dengan berkembangnya perkebunan sawit di sekitarnya maka masyarakat berlalih komoditas dari pangan menjadi kelapa sawit (Mulyani et al. 2016). Seluruh perkebunan rakyat yang ditanam pada tahun 1970an, saat ini sudah tidak produktif dan sudah harus diremajakan.

Table 31. Sebaran perkebunan kalapa sawit rakyat yang perlu peremajaan

Pulau	Sebaran peremajaan sawit rakyat (Ha)				Total
	APL	HPK	HP	Hutan Lainnya	
Sumatera	1.785.130	232.356	222.802	163.624	2.403.913
Jawa	3.820	-	1	-	3.821
Kalimantan	343.177	17.268	49.819	7.206	417.470
Sulawesi	81.434	212	1.669	4.658	87.974
Maluku	594	55	-	-	649
Papua	12.090	49	31	430	12.600
Total	2.226.247	249.941	274.322	175.917	2.926.427

Sumber: Ditjenbun (2018), KLHK (2018)

Program pemerintah untuk komoditas lainnya juga serupa, misalnya untuk kakao, karet, kopi, kelapa semua memerlukan sebaran ril di lapangan itu dimana dan berapa luas. Sebaran lahan perkebunan tidak hanya diperlukan untuk peremajaan, tetapi untuk bantuan teknis lainnya sehingga jelas alokasinya. Identifikasi sebaran masing-masing komoditas yang didukung oleh data tabular dapat membantu dalam proses interpretasi citra

untuk komoditas tersebut. Verifikasi lapangan tentunya diperlukan untuk akurasi data yang dihasilkan.

Dirjen Perkebunan meminta juga lahan-lahan yang potensi untuk pengembangan komoditas tertentu untuk para investor asing yang akan bekerjasama dengan Negara Indonesia. Salah satunya adalah dengan Negara Emirate Arab Saudi untuk pengembangan hortikultura di Jawa Barat dan pengembangan tebu di Provinsi Sulawesi Tenggara. Lahan yang tersedia tersebut, tentunya harus menggunakan inderaja (SPOT 6/7) untuk memilih lahan-lahan yang sesuai dan belum dimanfaatkan terutama pada lahan-lahan di luar kawasan hutan atau lahan kawasan hutan konversi sebagai lahan hak guna usaha (HGU).

Sementara itu dalam rangka mengurangi impor bawang putih, Kementerian Pertanian telah menggalakkan penanaman bawang putih tersebut. Pada tahap awal, BBSDLP dan Dirjen Hortikultura telah bekerjasama untuk menetapkan lahan yang sesuai untuk bawang putih. Selanjutnya BBSDLP membuat lahan potensial untuk perluasan lahan bawang putih, yaitu lahan-lahan yang sesuai berada di dataran tinggi (>900 m dpl) dan belum dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian, dalam citra tutupan lahannya masih berupa semak belukar atau alang-alang. Hasilnya menunjukkan bahwa sangat terbatas lahan yang sesuai dan tersedia di dataran tinggi, sebagian besar sudah dimanfaatkan untuk aneka sayuran dan buah semusim, dan tahunan seperti jeruk, apel, lengkeng, kopi arabika, eucalyptus, dan lainnya. Dari aspek sebaran, total lahan kering dataran tinggi Indonesia sekitar 33,1 juta ha atau 17,3% dari luas total daratan Indonesia (BBSDLP, 2015), itupun sebagian besar masih berupa hutan.

d) Analisis konversi lahan sawah

Analisis konversi lahan telah banyak dilakukan oleh berbagai kalangan, dan secara kasat mata bahwa konversi lahan sangat nyata terjadi pada lahan sawah, terutama di jalur pantai utara

Jawa dan kota-kota besar lainnya. Mulyani et al. (2016) telah menganalisis konversi lahan dengan memanfaatkan citra satelit landsat tahun pada periode 2000-2012, dan pada beberapa kasus menggunakan SPOT 6/7, hasilnya menunjukkan bahwa konversi lahan sekitar 96.500 ha/tahun, lebih kecil dibandingkan hasil analisis periode sebelumnya Sutomo (2004) dan Irawan (2005) yang menyatakan konversi lahan sekitar 110.160 ha/tahun pada periode 1999-2003.

Analisis konversi lahan nasional nampaknya agak sulit untuk dilakukan, banyak permasalahan yang muncul baik dari aspek jenis citra yang digunakan maupun proyeksinya tidak sama, sehingga ketika akan melihat dari dua data pada periode berbeda, kita sulit melacaknya, karena terdapat pergerseran delineasi. Alternatifnya adalah analisis konversi lahan dilakukan secara parsial, dengan menggunakan data citra dengan resolusi yang sama dan proyeksi yang sama pula pada satu lokasi. Namun, cara ini kurang efektif untuk melihat konversi lahan secara nasional.

e) Analisis lahan pertanian dan ketersediaan lahan cadangan

Kebutuhan lahan terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk Indonesia yang sudah mencapai 265 juta jiwa (BPS 2019), sehingga setiap tahun Indonesia harus memenuhi kebutuhan pangan dan lahan untuk menampung jiwa baru sebanyak 3,4 juta jiwa. Untuk itu, lahan cadangan perlu dicari dimana dan berapa luas keberadaannya, dan dapat dimanfaatkan untuk komoditas apa? analisis ini perlu menumpangtepatkan antara berbagai jenis peta di antaranya peta kesesuaian lahan, peta status kawasan, dan peta penggunaan lahan (Mulyani et al. 2020). Peta penggunaan lahan yang tersedia pada tingkat nasional pada skala kasar skala 1:250.000 (BPN, 2012). Data ini sudah terlalu lama, sehingga kurang muthahir jika menggunakan peta tersebut. Oleh karena itu, dirasa perlu agar Kementerian Pertanian mempunyai peta lahan pertanian di luar kawasan hutan, sehingga

dapat memberi kemudahan dalam menganalisis lahan cadangan tersebut. Selain itu, dengan tersedianya data spasial lahan pertanian pada skala detil, maka program-program kementerian dapat lebih terarah sesuai kebutuhan petani dan jelas sebarannya.

Selama ini menentukan lahan cadangan tersebut masih ditinjau dari aspek biofisik lahan, yaitu lahan yang sesuai dan berada di lahan yang masih berupa semak belukar atau alang-alang (lahan terlantar) baik yang berada di areal penggunaan lain (APL/kawasan budidaya pertanian) dan di kawasan hutan produksi konversi (HPK) yang dalam jangka menengah dapat diproses untuk dirubah dari kawasan HPK menjadi APL.

Peta potensi pengembangan tebu dibuat berdasarkan hasil analisis berbagai jenis peta, termasuk memanfaatkan citra satelit resolusi tinggi (SPOT 6/7) untuk menentukan lahan yang belum dimanfaatkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat di lahan cadangan yang berada di APL. Artinya bahwa lahan terlantar yang ada sekarang berada di kawasan pertanian yang telah dimiliki oleh perorangan, yang jika akan dikembangkan perlu melibatkan banyak masyarakat. Lahan tersebut umumnya tidak diminati oleh investor, karena investor mengharapkan dapat dalam bentuk HGU dan hanya berurusan dengan pemerintah, tidak dengan banyak masyarakat. Lahan cadangan tersebut juga sangat sedikit berada di kawasan hutan konversi, sehingga lahan cadangan ke depan harus berasal dari hutan produksi terbatas (HPT) yang prosesnya lebih panjang untuk dapat dimanfaatkan menjadi lahan pertanian. Artinya perlu upaya dan strategi untuk memanfaatkan lahan terlantar yang ada di APL.

f) Identifikasi potensi lahan rawa sebagai pemasok pangan

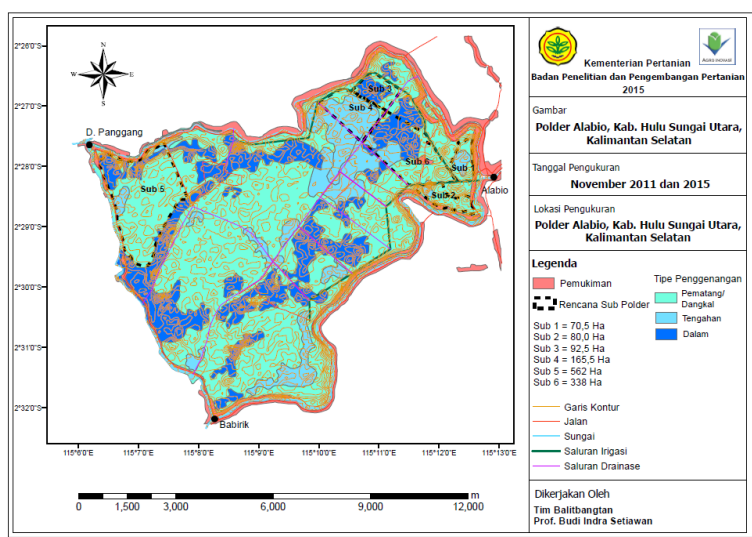
Lahan rawa yang mempunyai potensi area tanam yang luas, terutama saat kemarau panjang, area yang surut semakin luas. Citra indera dapat memperlihatkan areal rawa yang mengalami surut di musim kemarau. Dengan menggunakan proses digital

citra yang dapat menggunakan kemampuan *machine learning* menggunakan *tasseled cap*, *wetness*, *greenness* dan *brightness* untuk mendeteksi areal-areal tersebut.

Informasi tersebut menunjukkan bahwa lahan rawa berpotensi sebagai pemasok pangan menggantikan produksi pangan khususnya padi dari wilayah lain yang mengalami penurunan akibat kekeringan. Caranya dengan memperhitungkan kapan akan tergenang lagi dan menyesuaikan varietasnya. Umumnya di rawa lebak yang ditanam varietas lokal yang tahan genangan. Demikian juga dengan rawa pasang surut juga sama, kalau kemarau panjang biasanya luas tanamnya juga makin luas. Sebagai contoh di rawa lebak Kayu Agung, Sumatera Utara dan sekitar sekitar rawa dalam di Danau Panggang, Kalimantan Selatan. Identifikasi potensi penambahan luas tanam di lahan rawa yang dilakukan di daerah Alibio Kalsel menggunakan citra Landsat 7 diperlihatkan pada Gambar 40. Peta menunjukkan area dengan klasifikasi rawa dalam, tengahan dan dangkal. Selain diperlukan data satelit time seri selama setahun, integrasi dengan data curah hujan tahunan perlu dilakukan untuk pengelolaan selanjutnya.

Rawa pasang surut juga dapat digunakan untuk pertanian dengan tambahan informasi salinitas lahannya. Jika salin, maka lahan tidak dapat digunakan untuk pertanian. Di musim kemarau, umumnya air pasangannya asin. Oleh karena, saat kemarau di rawa pasang surut tidak ditanami. Petani biasanya menggunakan sistem tanam mirip gogo ranca. Waktu tanam kering, nanti sekitar umur 1 bulan digenangi air. Lahan yang masih lembab, biasanya ditanami palawija. Sedangkan lahan yang masih ada airnya tetapi tidak payau atau asin masih dapat ditanam padi dengan pengaturan sirkulasi air. Perlu diketahui ada juga rawa pasang surut ketika musim kering ada juga yg terpengaruh air asin yg terdorong ke arah hulu biasanya daerah luapan A atau B sehingga

air yg ada disungai tidak dapat dimanfaatkan karena payau atau bahkan asin.



Gambar 33. Peta tipe genangan polder Alibio, Kalimantan Selatan [Setiawan dan Tim Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian 2015]

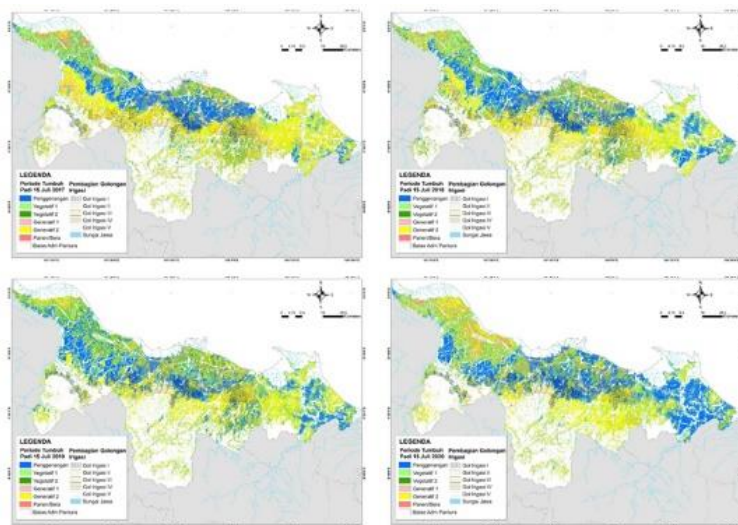
g) Pengaturan golongan irigasi

Rencana pembagian air biasanya ditentukan berdasarkan pola tanam tahunan yang telah ditetapkan yang disebut sistem golongan. Sejak tahun 2006 Daerah Irigasi Jatiluhur terbagi menjadi 5 golongan yang berlaku sampai saat ini (Perum Jasa Tirta 2006; Harsoyo 2011). Dalam SK Direksi PJT-II Nomor: 1/420/KPTS/2010 dijelaskan bahwa pemberian air irigasi untuk daerah irigasi Jatiluhur di wilayah Pantura Jawa Barat dijadwalkan untuk 3 kali musim tanam (MT) dalam setahun (Perum Jasa Tirta, 2010). Dalam setiap golongan, jadwal tanam dan jumlah pemberian air dan lain-lain telah ditetapkan. Akan tetapi, pola tanam tahunan yang telah direncanakan biasanya tidak dapat dipatuhi secara benar, sehingga pelaksanaan rencana pembagian

air tidak seperti yang diharapkan. Informasi dari Direktur Operasional dan Pengembangan Perum Jasa Tirta II, Antonius Aris bahwa pemanfaatan air untuk irigasi sering kali, sampai tahun 2019, antara rencana tanam yang lima (golongan) aktualisasinya dapat 12-13 golongan (Halim 2019).

Hal tersebut dikarenakan beberapa penyimpangan dalam rencana tahunan yang dapat terjadi selama masa tanam, antara lain:

- Tidak semua petani di dalam golongan akan dapat mulai dengan pengolahan dan tanam sesuai dengan tanggal tanam yang telah ditentukan. Ini sukar untuk diramal berapa petani akan mulai dengan pengolahan dan tanam pada waktu yang sama.
- Beberapa petani tidak memulai pengolahan dan tanam, karena alasan tertentu.
- Petani menanam tanaman lain, tidak seperti yang direncanakan.
- Persediaan air di sungai lebih kecil dari pada perkiraan sebelumnya, yang digunakan untuk menghitung rencana tahunan, dimana air tersedia dihitung berdasarkan air yang tersedia (*dependable flow*).



Gambar 34. Pola tanam padi pada Musim Kering 1 tahun 2017 - 2020

Air tidak dapat dimanfaatkan secara efisien bahkan banyak yang terbuang begitu saja. Untuk itu diperlukan pengaturan yang teratur bagi pemberian air sehingga pemberian air sesuai dengan tanaman yang nyata tertanam di lapangan. Bagaimana teknologi inderaja ini dapat mendeteksi pergeseran golongan tanam pada wilayah yang lebih luas, dimana kita dapat melihat keragaman produksi, wilayah per wilayah. Gambar 41 menunjukkan implementasi peta pola tanam dari tahun ke tahun yang memanfaatkan analisis *Standing Crop* menggunakan citra satelit Sentinel-1 multi tahun (akusisi bulan Juli 2017, 2018, 2019, dan 2020) dapat digunakan untuk memantau pergeseran pola tanam dan kesesuaian penerapan aturan yang berlaku untuk pembagian air irigasi di wilayah Daerah Irigasi Jatiluhur.

PENUTUP

Pertanian presisi harus dapat mengurangi biaya dan mengoptimalkan lahan pertanian, mengurangi dampak lingkungan, dimana pengelolaan sumberdaya lahan harus dapat melestarikan empat komponen lahan, yaitu tanah, air, biodiversiti dan iklim. Pertanian presisi melibatkan *integrated intelligent system* dalam pengelolaan sumberdaya lahan diperlukan komponen pendukung, antara lain teknologi penginderaan jauh, termasuk sensorik, aplikasi perangkat lunak dan teknologi komunikasi seluler; teknologi penentuan posisi (GPS) dan sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intellegence-AI*) dan *Internet of Things (IoT)*. Beberapa komponen tersebut telah dihasilkan dan diimplementasikan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian dalam berbagai produk untuk membantu petani maupun pengambil keputusan dalam pengelolaan sumberdaya lahan pertanian.

Di era digital saat ini yang menonjol sistem kontrol dan *Internet of Thing (IoT)* sebagai *driver* dan *best practise* nya. *Integrated intelligent system* sudah tersedia, seperti KATAM dan SC dapat dipandang sebagai *Internet Information Services (IIS)*, sekaligus juga berada pada *scope* yang lebih sempit, sehingga pemanfaatannya sampai di level usaha tani, kawasan dan lain-lain. Produk yang telah banyak dihasilkan dapat menjadi muatan AWR berupa data dan informasi menjadi sistem dengan manajemen pengelolaan yang terintegrasi. Dengan *integrated intelegent system*, kecanggihan AWR akan menjawab tantangan pertanian saat ini dan di masa mendatang. AWR tidak hanya berisikan data fisik tapi juga data ekonomis, untuk mitigasi penurunan PDB, untuk merumuskan kebijakan yang harus dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2014. SIMADAS. <http://www.litbang.pertanian.go.id/produk/74/>. Diunduh tanggal 17 November 2020.
- Bachri, S., Ropik, Sulaeman, Y. 2015. SPKL: Program Komputer untuk Evaluasi Kesesuaian Lahan. Prosiding Seminar Informatika Pertanian 2015: Information Technology for Sustainable Agroindustry, Jatinangor, 12 – 13 November 2015. p 160-172.
- Baseca, C.C., S. Sendra, J. Lloret, J. Tomas. 2019. A Smart Decision System for Digital Farming. *Agronomy* 2019, 9(5): 216.
- BayerAG. 2020. Soil Health: Stronger Soil Equals a Healthier Ecosystem. Crop Science Division Bayer AG. <https://www.cropscience.bayer.com/people-planet/natural-resource-conservation/soil-health>. Diunduh tanggal 16 Agustus 2020.
- BPN (Badan Pertanahan Nasional). 2010. Neraca Penggunaan Tanah Tahun 2000-2009. Badan Pertanahan Nasional, Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2019. Statistik Indonesia Tahun 2019. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- BPN (Badan Pertanahan Nasional). 2012. Peta penggunaan lahan Indonesia. Badan Pertanahan Nasional, Jakarta.
- De Ponti, T., Rijk, B., van Ittersum, M. K. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agric. Syst.* 108: 1–9.

- Designua. 2020. Nitrogen Cycle. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vectors/vectors-by-designua>. Diunduh tanggal 17 November 2020.
- Designua. 2020. Carbon Cycle. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vectors/vectors-by-designua>. Diunduh tanggal 17 November 2020.
- Ditjen (Direktorat Jenderal) Perkebunan. 2018. Data spasial sebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Earth Observing System (EOS). 2019. Precision Agriculture: From Concept to Practice. Earth Observing System (EOS) Blog 22 Februari 2019. <https://eos.com/blog/precision-agriculture-from-concept-to-practice/>. Diunduh tanggal 21 November 2020.
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N.E., Niggli, U. 2012 Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109: 18226–18231.
- Goyan, A. 2019. How Internet of Things (IoT) is transforming the agriculture sector? <https://www.businessofapps.com/insights/internet-of-things-iot-agriculture-sector/>. Diunduh tanggal 17 Agustus 2020.
- Halim, H.A. 2019. Pemanfaatan Air Waduk Jatiluhur Tak Sesuai Rencana. *Pikiran Rakyat*, 24 Juni 2019. <https://www.pikiran-rakyat.com/jawa-barat/pr-01314164pemanfaatan-air-waduk-jatiluhur-tak-sesuai-rencana>. Diunduh tanggal 16 Agustus 2020.
- Harsoyo, B. 2011. Analisis Neraca Air dan Indeks Kekeringan di Daerah Tangkapan Air dan Daerah Irigasi Waduk Jatiluhur. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- International Rice Research Institute. 2014. Leaf Color Chart (LCC) for Fertilizer N Management in Rice. International Rice Research Institute.
- IRRI. 2017. Rice Doctor. <https://apps.apple.com/us/app/rice-doctor/id898699255>. Diunduh 16 November 2020.
- Irawan, B. 2005. Konversi lahan sawah: potensi dampak, pola pemanfaatannya dan faktor determinan. Forum Penelitian Agro Ekonomi, volume 23, No. 1, Juli 2005. Hal. 1-18.
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). 2018. Peta status kawasan hutan tahun 2018. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Leghari, S.J., Leghari, U.A., Buriro, M., Laghari, G.M., Soomro, F.A., Khaskheli, M.A., Hussain, S.S. 2016. Modern Leaf Colour Chart Successfully Prepared and Used in Crop Production of Sindh, Pakistan. European Academic Research Vol. IV, Issue 2/ May 2016: 900-916.
- Lotter, D. W. 2003. Organic Agriculture. J. Sustain. Agric. 21, 59–128.
- Mulyani A, Kuncoro D, Nursyamsi D, Agus F. 2016. Analisis Konversi Lahan Sawah: Penggunaan Data Spasial Resolusi Tinggi Memperlihatkan Laju Konversi yang Mengkhawatirkan. Jurnal Tanah dan Iklim. 40(2):43-55.
- Mulyani. A. Sukarman, D. Puspitahati, Nurwinda, Estianto, E. Suryani. 2019. Laporan kegiatan penyusunan peta tematik potensi peremajaan sawit rakyat (PSR) di Indonesia. Kerjasama Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian dengan Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Mulyani, A., Erna Suryani, Husnain. 2020. Pemanfaatan Data Sumberdaya Lahan untuk Pengembangan Komoditas Strategis di Indonesia. Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 14 No. 2, Desember 2020: 79-89.

- Perum Jasa Tirta II, (2006): Surat Keputusan Direksi Perum Jasa Tirta II Nomor 1/474/KPTS/2006 Tentang Rencana Pokok Penyediaan dan Penggunaan Air Untuk Tanam Padi Rendeng MT 2006/2007, Tanam Padi Gadu MT 2007 dan Tanam Palawija MT 2007 Serta Kebutuhan Air Untuk Air Minum, Industri, Perkebunan, dan Penggelontoran Kota Tahun 2006/2007, Perum Jasa Tirta II. Purwakarta.
- Perum Jasa Tirta II, (2010): Surat Keputusan Direksi Perum Jasa Tirta II Nomor. 1/420/KPTS/2010 Tentang Rencana Pokok Penyediaan dan Penggunaan Air untuk Tanaman Padi Rendeng Musim Tanam 2010/2011, Tanaman Padi Gadu dan Palawija Musim Tanam 2011 Serta Kebutuhan Air Untuk Air Minum, Industri, Perkebunan dan Penggelontoran Kota Tahun 2010/2011, Perum Jasa Tirta II, Purwakarta.
- Perum Jasa Tirta II, (2011): Rencana Operasi Waduk Kaskade Sungai Citarum Tahun 2011, Sekretariat Pelaksana Koordinasi Tata Pengaturan Air Sungai Citarum. Perum Jasa Tirta II, Purwakarta.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573–582.
- Saputra, W.S.J., Puspaningrum, E.Y., Sukendah. 2017. Color Matching Untuk Deteksi Kandungan Klorofil Menggunakan Data Foto Daun Berbasis Mobile (IDC-Based on Leaf Image). *Scan Vol. XII Nomor 1 Februari 2017*, 75-79.
- Soil Science Society of America (SSSA). 2013. Soils Matter, Get the Scoop!. <https://soilsmatter.wordpress.com/2013/08/29/soil-formation/>. Diunduh 19 November 2020.

- Setiawan, B.I. dan tim Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2015. Polder Alabio, Kab. Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sulaeman, Y. 2010. PKDSS: Sistem Pakar Pemupukan. *Warta Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 32(6): 9-10.
- Sulaeman, Y., Bachri, S., Nursyamsi, D. 2015. Sistem Informasi Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Status Terkini dan Arah Pengembangan ke Depan. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 9 No. 2, Desember 2015: 121-140.
- Sulaeman, Y dan Nursyamsi, D. 2018. *Petunjuk Operasional PKDSS Versi 4: Prinsip Dasar dan Aplikasinya*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sutomo, S. 2004. Analisa Data Konversi dan Prediksi Kebutuhan Lahan. Hal 135-149 Dalam Hasil Round Table II Pengendalian Konversi dan Pengembangan Lahan Pertanian. Direktorat Perluasan Areal, Ditjen Bina Produksi Tanaman Pangan, Departemen Pertanian, Jakarta.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 2020. *The United Nations World Water Development Report 2020: Water And Climate Change*. UNESCO World Water Assessment Programme.
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M. and Ingram, J. S. I. 2012. Climate Change and Food Systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37: 195-222.
- Water & Soil® Ltd. 2016. How it works: Water Retainer in Action. <https://www.waterandsoil.eu/how-it-works/>. Diunduh tanggal 17 November 2020.
- Wittman, H. 2009. Reworking the metabolic rift: La Vía Campesina, agrarian citizenship, and food sovereignty. *J. Peasant Stud.* 36: 805-826.

DIGITALISASI PENGELOLAAN SUMBER DAYA IKLIM DAN AIR MENDUKUNG PERTANIAN MODERN

Setyono Hari Adi^{a1}, Elza Surmaini^{b2}, Harmanto^{c3}, Haryono Soeparno^{d4}

^{a,b} Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

^c Balai Penelitian Tanaman Sayuran

^d Binus University

^{1,2,3,4} Kontributor Utama

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air dan iklim merupakan faktor kunci keberhasilan budidaya pertanian. Air merupakan kebutuhan dasar pertumbuhan tanaman yang dinamikanya dipengaruhi oleh variabilitas iklim di suatu kawasan pertanian. Karena skalanya yang luas, manajemen sumber daya iklim dan air (SDIA) memerlukan dukungan data hasil monitoring SDIA kawasan yang terintegrasi. Integrasi data, model pengelolaan irigasi kawasan dan kebutuhan air tanaman, dan teknologi elektronika (sensor) dan instrumentasi perlu diimplementasikan untuk mewujudkan pertanian presisi efisiensi penggunaan sumber daya air pertanian di tengah kejadian perubahan iklim global. Digitalisasi pengelolaan SDIA dalam wujud *smart farming* merupakan konsep integrasi Big Data, pemodelan pertanian, dan teknologi otomatisasi instrumen untuk efisiensi SDIA mendukung optimalisasi produktivitas lahan pertanian.

Manajemen irigasi pertanian untuk efisiensi sumber daya air merupakan faktor kunci keberhasilan pemenuhan kebutuhan pangan dan energi untuk masyarakat. Peningkatan jumlah populasi yang dibarengi dengan peningkatan kebutuhan pangan berpotensi meningkatkan probabilitas terjadinya krisis air, energi, dan pangan (FAO, 2014). Peningkatan kebutuhan pangan akan memacu penggunaan air untuk irigasi pertanian yang berakibat langsung pada peningkatan penggunaan energi untuk distribusi irigasi maupun perbaikan kualitas air pertanian. Kegiatan pertanian secara umum menggunakan 70% dari sumber daya air yang tersedia sebagai irigasi tanaman, menjadikan efisiensi SDIA menjadi bagian penting dalam upaya penganggulangan krisis air. Lebih lanjut, Kementerian Perencanaan Pembangunan/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional memproyeksikan terjadinya peningkatan proporsi luas wilayah krisis air dari 6% di tahun 2000 menjadi 9.6% di tahun 2045 akibat kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan kejadian perubahan iklim global (KEMENEG BAPPENAS, 2019). Hal ini akan menjadi tantangan utama dalam upaya efisiensi sumber daya SDIA di tengah program peningkatan produktivitas lahan pertanian

Tujuan utama penulisan artikel ini adalah untuk memperkenalkan konsep digitalisasi sumber daya air dan iklim pertanian di era pertanian modern. Pembahasan dimulai dari pengenalan konsep Big Data SDIA beserta jenis dan teknik eksploitasi data pendukungnya, yang selanjutnya dilanjutkan dengan contoh sistem digital yang sudah dikembangkan di lingkup kementerian pertanian. Pembahasan dilanjutkan dengan pengenalan konsep digitalisasi pengelolaan SDIA sebagai wujud integrasi Big Data dan model pertanian untuk efisiensi SDIA melalui aplikasi pertanian presisi, dan ditutup dengan pembahasan tentang tantangan dan implikasi kebijakan dalam mendukung penerapan digitalisasi SDIA pertanian.

BIG DATA SUMBER DAYA IKLIM DAN AIR

Pengelolaan sumber daya iklim dan air (SDIA) di suatu kawasan pertanian memerlukan dukungan data tabular parameter iklim yang lengkap, temporal yang panjang, dan skala spasial yang luas karena sifat distribusi iklim dan air yang terdampak oleh parameter lingkungan lain (topografi, tanah, sungai, dll.) di sekitar kawasan. Keterbatasan data pengamatan iklim dan air yang terintegrasi mengharuskan analisis data memanfaatkan berbagai jenis data dan informasi tersedia dari berbagai sumber sebagai pendukung data pengamatan lapangan secara langsung. Data pendukung ini dapat berupa data tabular dari stasiun pengamat parameter iklim dan air (otomatis maupun manual), citra satelit (multispektral maupun radar), foto udara (drone), radar cuaca, peta digital (tematik), maupun hasil analisis dari model iklim dan air skala global. Lebih lanjut, data pendukung ini sedikit kemungkinannya berasal dari satu sumber dan lebih umum dikoleksi dari berbagai penyedia data maupun instrumen pengamatan data yang dapat diakses secara gratis maupun berbayar melalui jaringan internet global (*World Wide Web*-WWW) maupun jaringan *Internet of Things*-IoT. Karena memiliki skala temporal dan spasial yang luas, data ini memiliki ukuran berkas yang cenderung tidak terbatas (*big data*) sehingga memerlukan sumber daya pendukung seperti koneksi internet, tempat penyimpanan, dan kemampuan komputasi yang besar untuk koleksi maupun analisis datanya. Oleh karena itu, diperlukan aktualisasi konsep *big data* untuk mendukung pengelolaan SDIA pertanian.

Istilah *big data* sendiri mengacu pada data yang memiliki volume (ukuran), cakupan (skala temporal dan spasial), kecepatan pembaruan (update), dan keanekaragaman (parameter, jenis, tipe, dan format tabular) tinggi, dengan tingkat kompleksitas melebihi kemampuan standar komputasi (De Mauro et al., 2015; Snijders et

al., 2012). Analisis *big data* memerlukan teknik dan metoda khusus untuk secara cepat dan akurat merubahnya menjadi informasi yang bermanfaat bagi pengguna. Secara konsep, big data tidak terbatas pada karakteristik dan volume data, tetapi juga mencakup manajemen, teknik manipulasi data, dan metoda analisis untuk ekstraksi informasi dari sumber data yang masif dan kompleks. Hasil analisis jumlah publikasi penelitian terkait dengan kata kunci “*big data*” dan “*air*” (iklim) di *Google Scholar* menunjukkan bahwa penelitian tentang *big data* sudah dilakukan lebih dari 10 tahun yang lalu dan secara dramatis meningkat sejak tahun 2010 (Chen & Han, 2016). Akan tetapi, penerapan konsep analisis *big data* dalam pengelolaan SDIA khususnya di bidang pertanian masih sangat terbatas dan masih dalam proses pengembangan. Penggunaan data citra satelit dan hasil analisis model terkait SDIA skala regional/global, komputasi awan (*cloud computing*), dan aplikasi IoT untuk pengamatan parameter SDIA telah banyak dilakukan untuk mendukung kebijakan pengelolaan SDIA di Kementerian Pertanian. Akan tetapi, aplikasi *big data* di lingkup Kementerian Pertanian masih belum terintegrasi sehingga perlu dilakukan optimalisasi terkait dengan efektifitas, efisiensi, dan akurasi hasil analisisnya.

Data Digital Sumber Daya Iklim dan Air

Analisis manajemen SDIA pada era komputasi modern memerlukan input data digital dari sumber yang valid. Iklim dan air merupakan sistem yang sangat dinamis dan kompleks, dan merupakan bidang yang kaya data terkait volume, kecepatan pembaruan (update), dan jenis data. Dalam decade terakhir telah terjadi perkembangan algoritama data yang pesat dan penggunaan data yang intensif di bidang iklim dan air yang dipengaruhi oleh pesatnya perkembangan teknologi komputasi dan internet (Overpeck et al., 2011). Parameter data kunci untuk

analisis manajemen SDIA meliputi parameter iklim termasuk curah hujan, suhu, kelembaban udara, radiasi matahari, dan evapotranspirasi; parameter hidrodinamika termasuk tinggi muka air (TMA) dan perkolasi; dan parameter tanaman termasuk komoditas pertanian. Beberapa data dengan ketersediaan yang terbatas karena keterbatasan instrumen dan kompleksitas pengamatan dapat diestimasi dari parameter data lain yang tersedia, seperti data perkolasi yang dapat diestimasi dari data tanah, maupun data evapotranspirasi yang dapat diestimasi dari parameter iklim yang lain. Beberapa parameter SDIA juga mungkin untuk diestimasi dari parameter SDIA lainnya melalui model prediksi. Sebagai contoh, debit air sungai harian dapat diprediksi menggunakan model GR4J dengan input data curah hujan (Perrin et al., 2003). Secara umum, empat teknik koleksi data digital SDIA (Faghmous & Kumar, 2014), meliputi: 1) digitalisasi data historis, 2) pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan (in situ), 3) estimasi parameter SDIA melalui pemodelan, dan 4) pengambilan data (*data harvesting*) dari sumber-sumber data yang tersedia di jaringan internet global, secara gratis maupun berbayar.

Data historis digunakan sebagai pelengkap data pengamatan SDIA yang memiliki variabilitas tinggi dan bersifat temporal seperti parameter iklim dan tinggi muka air. Selain itu, sumber data historis juga dapat digunakan untuk melengkapi parameter SDIA yang cenderung bersifat statis seperti peta tanah, jaringan sungai, dan elevasi. Beberapa penyedia data historis SDIA di Indonesia meliputi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk data tabular pengamatan cuaca secara temporal, Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk data spasial Rupa Bumi Indonesia (jaringan sungai, penggunaan lahan, dan elevasi), dan Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDL), Kementerian Pertanian, untuk peta tanah. Data historis tersebut tersedia secara

gratis maupun berbayar melalui situs resmi maupun permintaan secara langsung di masing-masing lembaga/institusi.

Pengamatan dan pengukuran langsung data SDIA di lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi terkini SDIA di lokasi. Pengamatan dan pengukuran data digital SDIA memerlukan instrumen khusus untuk masing-masing parameter SDIA, seperti *Total Station Theodolite* (TS) untuk pengukuran topografi kawasan, Global Positioning System tipe *real-time kinematic* (GPS RTK) untuk pengukuran posisi geografis dan elevasi tingkat detil, *current meter* untuk pengukuran kecepatan air, *drone* untuk pemetaan kontur, dan instrumen geolistrik untuk pemetaan air tanah (1, 2, dan 3 dimensi). Lebih lanjut, pengamatan parameter SDIA secara kontinyu dapat dilakukan dengan pemasangan instrumen perekam data SDIA, seperti instrumen untuk pengamatan tinggi muka air (TMA sungai, saluran irigasi, tanah), hujan, kelembaban (udara dan tanah), dan kualitas air (pH, salinitas, TDS). Instrumen perekam data SDIA mendukung pengaturan jangkauan perekaman data detil (menitan, jam-jaman, harian), akan tetapi memerlukan perawatan komponen elektronik secara khusus dan harus dilaksanakan secara reguler dan kontinyu. Hasil dari pengamatan sesaat dan/atau kontinyu menggunakan instrumen-instrumen ini adalah data dalam format digital yang relatif mudah untuk dirubah ke dalam format standar basis data maupun digunakan langsung dalam analisis manajemen SDIA.

Selain data historis dan pengamatan langsung, sumber data SDIA lain yang potensial adalah sumber dari jaringan internet global yang tersedia baik secara gratis maupun berbayar. Sumber data dari jaringan internet global mampu menyediakan data lengkap skala regional sampai global, baik tabular maupun spasial, dengan jangkauan temporal yang relatif panjang sampai data terbaru. Akan tetapi, resolusi spasial dan temporal data SDIA tersebut pada umumnya rendah karena cakupan datanya yang luas, terutama untuk data yang bersifat gratis. Untuk data

berbayar, ketersediaan data lebih lengkap, akan tetapi biaya yang harus dikeluarkan juga relatif besar. Penyedia data SDIA yang dapat diakses secara bebas melalui jaringan internet global antara lain adalah *WorldClim* (worldclim.org), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) *data distribution center* (ipcc-data.org), *National Centers for Environmental Information* (NCEI) *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *climate data online* (ncdc.noaa.gov/cdo-web), *the Climate Data Guide* (climatedataguide.ucar.edu), *Global Runoff Data Centre—GRDC* (portal.grdc.bafg.de), *Global Hydrology Research Center* (GHRC) *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) *data search tool* (ghrc.nsstc.nasa.gov/hydro), *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) *soilgrids* (soilgrids.org), *Amazon Web Service—AWS* (aws.amazon.com), dan *Google Earth Engine—GEE* (earthengine.google.com). Sumber-sumber data online ini pada umumnya menyediakan data SDIA dalam format tabular (data pengamatan *ground station*), spasial (citra satelit), dan spasial hasil pemodelan data tabular. Sumber-sumber data ini menyediakan data historis, aktual, dan prediksi, baik dari hasil pengamatan maupun pemodelan, dengan resolusi temporal sampai dengan jam-jaman dan resolusi spasial sampai dengan 10 meter.

Teknik Pemanfaatan Data Online (*Online Data Harvesting*)

Selain sebagai portal data, beberapa sumber data online juga menyediakan fasilitas komputasi awan (*cloud computing*) yang terintegrasi, seperti AWS dan GEE, sehingga pengguna dapat langsung melakukan analisis data SDIA secara online dari sumber yang sama. Beberapa penyedia menyediakan fasilitas layanan web (*web service*) menggunakan bahasa *Application Programming Interface* (API) terstandar sehingga data dapat diunduh secara otomatis pada saat proses analisis SDIA. Sebagai contoh, NCEI menyediakan layanan API yang memungkinkan pengguna untuk

mengunduh data langsung dari server data NCEI dalam beberapa format standar data, seperti *comma-separated values* (CSV), *JavaScript Object Notation* (JSON), dan *Network Common Data Form* (NetCDF). Fasilitas API data ini selanjutnya dapat dimanfaatkan pengguna untuk mengintegrasikan data online secara langsung ke dalam perangkat lunak analisis dan pemodelan, seperti R Statistics maupun Python. Selain layanan API data, beberapa penyedia data juga menyediakan aplikasi web yang dikhususkan untuk pencarian dan pengunduhan data. Contoh dari aplikasi web ini adalah NCEI CDO, GRDC Data Portal, dan GHRC HyDRO. Untuk penyedia data dengan layanan yang lebih sederhana, pengunduhan data dapat dilakukan melalui layanan *File Transfer Protocol* (FTP) maupun tautan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) yang tersedia.

Strukturisasi Data Sumber Daya Iklim dan Air

Strukturisasi data dalam sistem manajemen basis data (*database management system*—DBMS) merupakan kunci manajemen Big Data. Data SDIA dapat disimpan kedalam sistem basis data dengan menambahkan kunci identitas (ID) untuk setiap entitas data. Untuk menggabungkan data tabular dan spasial yang berbeda secara temporal, minimal diperlukan 3 kunci identitas untuk masing-masing data, yaitu: 1) ID lokasi (tabular, titik pengamatan), dapat berupa gabungan dari posisi geografis (*latitude* dan *longitude*); 2) kode wilayah administrasi atau nomor standar lembar peta (spasial); dan 3) tanggal data (temporal). ID lokasi dan kode wilayah merupakan kunci untuk menggabungkan data tabular pengamatan parameter SDIA pada skala titik dengan data spasial SDIA pada skala wilayah. Lebih lanjut, tanggal data diperlukan untuk kedua jenis data (tabular dan spasial) untuk keperluan analisis yang bersifat seri waktu. Ketiga ID ini

kemudian menjadi kunci utama dalam proses permintaan data (*query*).

Selain pendefinisian ID data, pengelompokan parameter data juga perlu dilakukan untuk menghindari redundansi dalam basis data. Parameter data SDIA dapat dikelompokkan menurut jenis datanya, seperti data iklim (dengan parameter hujan, kelembaban udara, suhu, radiasi, evapotranspirasi, dll), data kuantitas air (termasuk data TMA saluran, sungai, tanah, dll), dan data kualitas air (termasuk data pH, salinitas, dll). Pengelompokan data ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis manajemen SDIA. Lebih lanjut, data spasial dapat disimpan langsung ke dalam sistem basis data yang mendukung, atau disimpan ke dalam folder penyimpanan yang terstruktur. Untuk sistem basis data yang mendukung penyimpanan data spasial, permintaan data dapat dilakukan dengan bahasa SQL standar. Sedangkan untuk penyimpanan dalam sistem folder yang terstruktur, akses data spasial dapat dilakukan dengan melakukan permintaan (*query*) alamat file data spasial (*path*) dalam tempat penyimpanan (lokal maupun *cloud*) yang tersimpan di tabel basis data. Strukturisasi data spasial yang disimpan dalam folder perlu standarisasi penamaan folder dan file sebagai pengganti ID kunci di basis data.

Permasalahan strukturisasi data muncul apabila data mentah bersifat tidak-terstruktur (tidak tersimpan dalam format data standar) maupun terstruktur tetapi dalam standar format yang berbeda. Secara umum, data digital SDIA bersifat terstruktur (dan/atau semi terstruktur) walaupun tersimpan dalam standar format yang berbeda-beda karena berasal dari sumber yang berbeda. Proses strukturisasi Big Data SDIA dapat dilakukan dengan menambahkan satu lapisan proses untuk menangani perubahan format data yang disesuaikan dengan format standar basis data analisis. Untuk selanjutnya, proses impor data ke dalam sistem basis data (maupun sistem folder) dapat dilakukan secara otomatis.

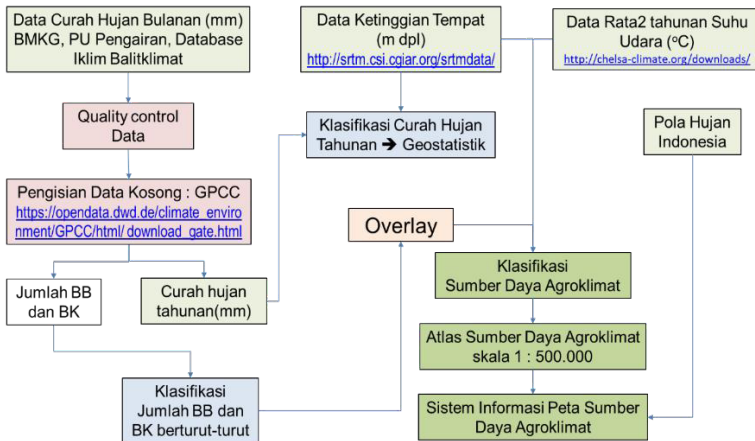
EFISIENSI SDIA UNTUK OPTIMALISASI PROVITAS LAHAN

Pemanfaatan Data Historis Sumberdaya Iklim dan Air untuk Perencanaan Pertanian

Peta Sumber Daya Agroklimat

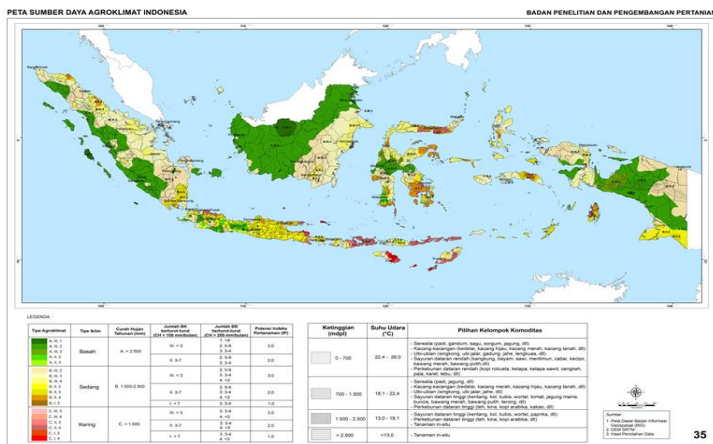
Data sumberdaya iklim dan air, seperti data curah hujan, suhu, debit sungai telah lama digunakan dalam sektor pertanian. Dengan berkembangnya teknologi komputer berbasis IoT, semakin banyak data observasi in situ dan yang berbasis satelit yang tersedia saat ini. Data iklim in situ berbasis satelit dapat digunakan untuk melengkapi informasi iklim dan air. Aplikasi basis data dengan berbagai metode analisis atau model iklim dan tanaman akan menghasilkan informasi iklim yang handal untuk berbagai tujuan, seperti perencanaan, pendugaan potensi, prediksi hasil serta waktu panen dan lain-lain. Informasi iklim yang mudah dipahami dalam bentuk peta juga sangat dibutuhkan dalam menunjang berbagai penelitian komoditas dan pengkajian teknologi pertanian daerah kunci.

Pewilayahan agroklimat merupakan strategi manajemen risiko dalam perencanaan pertanian dan adaptasi perubahan iklim (Brunini et al., 2010), dan alat kunci untuk menentukan potensi pertanian, perencanaan wilayah, dan pengelolaan tanah di daerah produksi pertanian (Yazdanpanah et al., 2001). Pewilayahan agroklimat dibangun berdasarkan keseragaman iklim dan tanah untuk ekstrapolasi untuk menghasilkan keseragaman karakteristik wilayah yang digunakan untuk perencanaan pertanian (Padbury et al., 2002; Wood & Pardey, 1998).



Sumber: Susanti, 2019

Gambar 35. Tahapan Penyusunan Peta Sumber Daya Agroklimat untuk Pertanian



Sumber: Susanti, 2019

Gambar 36. Peta Sumberdaya Agroklimat Indonesia

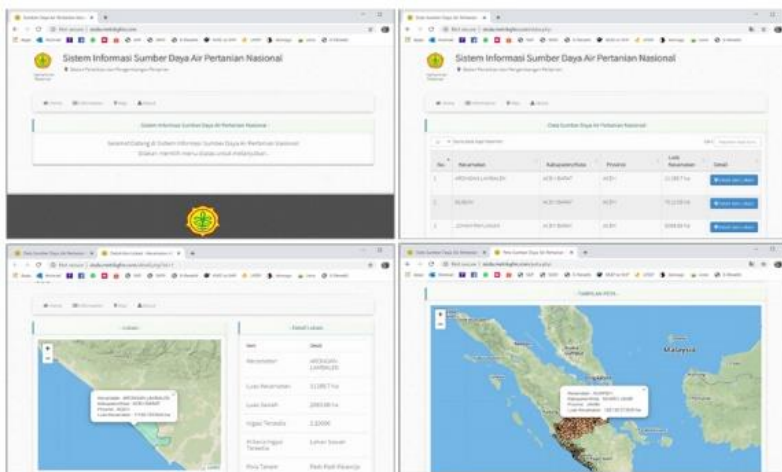
Peta Sumber Daya Agroklimat merupakan salah contoh pemanfaatan big data iklim historis dalam bidang pertanian. Dengan memanfaatkan data observasi curah hujan, data berbasis satelit seperti data hujan, suhu, dan ketinggian yang dianalisis dengan mengintegrasikan dengan SIG. Berdasarkan klasifikasi curah hujan tabular yang dikonversi menjadi data spasial dengan menggunakan peta tanah skala 1:500.000 yang telah ditumpang tepatkan dengan peta rupa bumi. Pemutakhiran sistem basis data menggunakan SIG dengan memadukan program Acces, Excel, dan *Arc GIS* 10.5 untuk menghasilkan atlas Sumber Daya Agroklimat seluruh Indonesia (Susanti, 2019). Tahapan analisis data untuk menghasilkan peta Sumber Daya Agroklimat disajikan pada Sumber: Susanti, 2019

Gambar 35. Peta Sumber Daya Agroklimat dilengkapi dengan informasi alternatif pilihan komoditas berdasarkan ketinggian tempat. Untuk perencanaan pertanian, klasifikasi ketinggian dapat digunakan untuk memberikan pedoman awal untuk menentukan alternatif pilihan komoditas yang akan dikembangkan atau diusahakan.

Sistem Informasi Sumber Daya Air

Data dan informasi status terkini ketersediaan air skala petani merupakan kunci perencanaan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan di kawasan pertanian. Status ketersediaan air ini dapat diestimasi melalui indeks kecukupan irigasi yang dianalisis menggunakan model neraca air ketersediaan-kebutuhan tanaman dengan mempertimbangkan pola tanam (Heryani et al., 2017). Estimasi ketersediaan, kebutuhan, dan kecukupan irigasi dapat dianalisis menggunakan model-model hidrologi seperti Integrated Flood Analysis System (IFAS) (Sugiura et al., 2008), buletin FAO nomor 56 (Allen et al., 1998, 2005), dan indeks kecukupan irigasi (Heryani et al., 2017). Lebih lanjut, spesialisasi

hasil analisis ketersediaan air level administrasi (kecamatan) dapat disusun dengan membangkitkan hidrograf pada titik jaringan sungai di perbatasan wilayah. Hasil analisis spasial status ketersediaan air pertanian ini selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan penentuan teknologi efisiensi pengelolaan air irigasi untuk optimalisasi produktivitas lahan pertanian eksisting dan perencanaan pengembangan kawasan pertanian baru. Contoh tampilan sistem informasi sumber daya air pertanian disajikan pada Gambar44.



Sumber: Sutrisno et al., 2009

Gambar 37. Contoh Tampilan Sistem Informasi Sumber Daya Air Pertanian Nasional

Pemanfaatan Data Prediksi Iklim untuk Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian

Prediksi Karakteristik Hujan untuk Pertanian

Dinamika iklim dan cuaca yang semakin tinggi akibat dampak perubahan iklim merupakan suatu kendala sekaligus tantangan pada sektor pertanian. Perubahan pola curah hujan dan pergeseran musim telah mengakibatkan pada kekacauan waktu dan musim tanam. Kejadian iklim ekstrim seperti kekeringan dan banjir menyebabkan penurunan produktivitas, luas tanam dan luas panen. Untuk menekan risiko yang dapat ditimbulkan salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan memanfaatkan informasi prediksi iklim musiman. Menyikapi berbagai dampak tersebut di atas, maka prediksi curah hujan sudah seharusnya menjadi bagian yang selalu diperhitungkan dalam perencanaan pertanian (Surmaini & Dewi, 2018).

Untuk perencanaan tanaman pangan diperlukan informasi prediksi musim 3-6 bulan ke depan. Dari sudut pandang dampak keragaman dan perubahan iklim terhadap pertanian, prediksi musim juga merupakan kunci dari perencanaan adaptasi secara otonomi tanpa perlu melakukan perubahan mendasar pada praktik budidaya. Misalnya, pemilihan komoditas dan pola tanam, penentuan waktu tanam, pengaturan irigasi dan pemupukan. Dalam praktik budidaya pertanian proses pengambilan keputusan memerlukan prediksi iklim yang handal (Surmaini, 2018).

Prediksi musim seharusnya disampaikan dalam bentuk yang probabilistik, karena ketidakpastian yang melekat dalam prediksi iklim. Selain itu, prediksi musim untuk sektor pertanian memerlukan lead time yang lebih panjang sekitar 2-4 bulan, sehingga cukup waktu tersedia bagi pengambil kebijakan sampai

petani untuk menyusun strategi budidaya dan mempersiapkan sarana dan prasarana pertanian untuk musim tanam yang akan datang (Surmaini, 2018; Surmaini et al., 2015). Prediksi probabilistik dengan lead time yang memadai untuk sektor pertanian dapat dilakukan dengan memanfaatkan prediksi iklim berbasis *Global Circulation Model* (GCM).

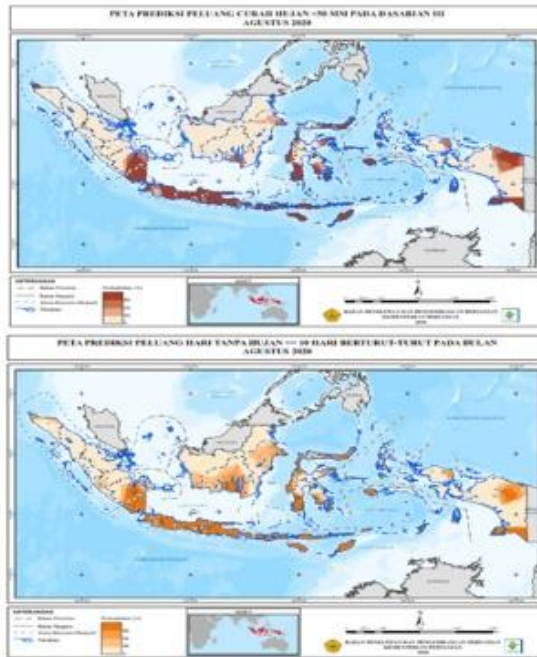
Untuk mengantisipasi variasi pola iklim yang semakin dinamis, beberapa pusat prediksi cuaca terkenal di dunia seperti NCEP (AS), ECMWF (Eropa), dan JMA (Jepang), telah mengembangkan prediksi musim (seasonal) dengan lead-time tiga hingga sembilan bulan ke depan berbasis model numerik. Terdapat keyakinan yang cukup besar bahwa GCM juga mampu mengestimasi iklim secara kuantitatif yang dapat dipercaya di masa yang akan datang, terutama pada skala benua atau global (Bock et al., 2018; Hay et al., 2014).

Data iklim berbasis GCM merupakan data bervolume sangat besar yang memerlukan akses, analisis dan proses ekstraksi data yang menjadi suatu tantangan tersendiri. *Machine learning* sudah mulai menjadi bagian dari keseluruhan proses prakiraan cuaca dan iklim, meningkatkan akurasi dengan lebih baik lagi dan mengurangi ketergantungan terhadap model-model atmosfer tradisional yang memiliki lebih banyak variabel dan ketidakkonsistenan. US *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) sebagai contohnya, telah memanfaatkan *machine learning* dan *artificial intelligence* untuk pemahaman fisik akan lingkungan untuk memperluas akurasi prediksi musim.

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi bekerjasama dengan ITB mengembangkan prediksi curah hujan probabilistik operasional yang lebih spesifik untuk dimanfaatkan dalam perencanaan pertanian (Surmaini et al. 2019). Sumber data prediksi musim berbasis harian menggunakan prediksi operasional yang digunakan adalah yang dikeluarkan oleh the

National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Climate Forecast System (CFS) versi 2 (Saha et al., 2014). Downscaling prediksi musim yang berbasis harian menghasilkan informasi prediksi berbagai karakteristik curah hujan sampai 6 bulan ke depan yang diperlukan untuk perencanaan strategi budidaya 1-2 musim ke depan. Dengan prediksi musim yang lebih dini, hal ini memberikan cukup waktu bagi para petani untuk mempersiapkan sarana dan prasarana pertanian, merencanakan sumber irigasi alternatif, dan bagi pengelola irigasi dapat secara efektif merencanakan distribusi air pada kondisi curah hujan yang rendah.

Informasi prediksi karakteristik curah hujan yang diperlu sektor pertanian seperti prediksi sifat hujan, prediksi curah hujan < 50 mm/dasarian, prediksi curah hujan > 50 mm/dasarian, prediksi hari tanpa hujan berturut-turut, prediksi hari hujan > 5 hari berturut turut, dan onset dan tren SPI. Informasi prediksi tersebut tersedia dalam bentuk peta yang dapat diunduh melalui website balitklimat dengan alamat <http://balitklimat.litbang.pertanian.go.id/>. Contoh bentuk peta prediksi curah hujan dasarian disajikan pada Gambar5.



Gambar 38. Peta Prediksi Curah Hujan< 50 mm/Dasarian untuk Dasarian III Agustus 2020 dan Prediksi Hari Tanpa Hujan Agustus 2020

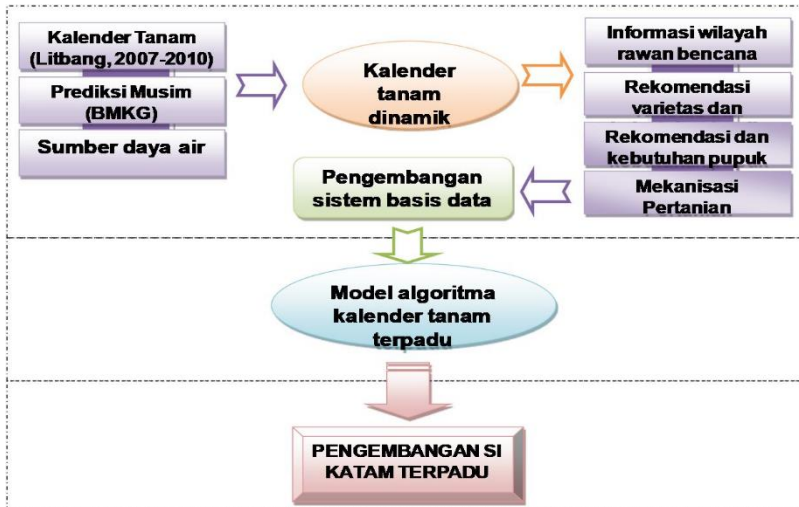
Perlu upaya yang intensif untuk dapat memanfaatkan prediksi iklim yang pada tingkat global saat ini sudah sangat maju di Indonesia. Kehadiran teknologi informasi dan komputerisasi memudahkan pengelolaan sumberdaya data iklim yang sangat besar. Di lain pihak, diperlukan upaya untuk meningkatkan pemahaman pengguna mengenai konsep ketidakpastian dalam prediksi. Dengan ketidakpastian yang dapat dikuantifikasi, maka pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih baik.

Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu

Informasi prediksi musim juga digunakan untuk perencanaan strategi budidaya pada musim tanam yang akan datang seperti rekomendasi waktu tanam, rekomendasi varietas dan kebutuhan benih, rekomendasi jenis dan kebutuhan pupuk, prediksi ketersediaan pakan, data ketersediaan alsintan, wilayah terkenan banjir, kekeringan dan serangan OPT. SI Kalender Tanam Terpadu merupakan pedoman atau alat bantu yang memberikan informasi spasial dan tabular tentang prediksi musim, awal tanam, pola tanam, luas tanam potensial, wilayah rawan banjir dan kekeringan, potensi serangan OPT, varietas padi dan kebutuhan benih, serta rekomendasi dosis dan kebutuhan pupuk berdasarkan prediksi variabilitas dan perubahan iklim pada level kecamatan untuk seluruh Indonesia (Runtunuwu et al., 2012)

Sistem kalender tanam terpadu pada dasarnya mengikuti konsep dasar pengembangan sistem informasi yang meliputi tiga sub-sistem utama, yaitu a) basis, data, b) model, dan c) pencarian (query). Subsistem basis data memuat semua jenis data yang dibutuhkan, baik dalam bentuk tabular maupun spasial Teknologi *Geographic Information System* (GIS) dan pemrograman komputer sangat memudahkan proses integrasi antara data tabular, tekstual dengan spasial (Asadov & Ismaylov, 2011; Peng et al., 2011). Subsistem model memuat algoritma untuk menganalisis data storage menjadi informasi yang bermanfaat bagi pengguna. Subsistem pencarian sangat penting dalam pengembangan sistem informasi, karena pengguna diharapkan mampu memilih informasi sesuai kebutuhan (Syahbuddin et al., 2018). Alur pengembangan dan tampilan antar muka SI Katam Terpadu disajikan pada Sumber: Syahbuddin et al. 2019

Gambar46 dan Gambar47.



Sumber: Syahbuddin et al. 2019

Gambar 39. Alur pengembangan SI Katam Terpadu

Sistem informasi Kalender Tanam terpadu sangat lengkap, dinamis, dan terus dikembangkan. Oleh karena itu, sistem otomatisasi dan integrasi data sangat penting. Dinamisasi dari sistem kalender tanam terukur apabila informasi dalam sistem kalender tanam terpadu selalu diperbaharui satu atau dua bulan sebelum satu musim tanam dimulai. Kerjasama dengan BMKG sebagai institusi resmi yang mengeluarkan prakiraan curah hujan di Indonesia perlu dipertahankan sekaligus berusaha untuk meningkatkan hasil prakiraan (Runtunuwu et al., 2012). Terkait akurasi, baik substansi maupun sistem perlu dievaluasi, diperbarui, dan diperbaiki melalui kegiatan verifikasi dan validasi. Hal ini perlu pemeliharaan (*maintenance*) terus menerus, agar kebutuhan pengguna mengenai waktu tanam dan informasi pendukung lainnya dapat selalu diterima tepat waktu.



Gambar 49. Tampilan Antar Muka SI Kalender Tanam Terpadu

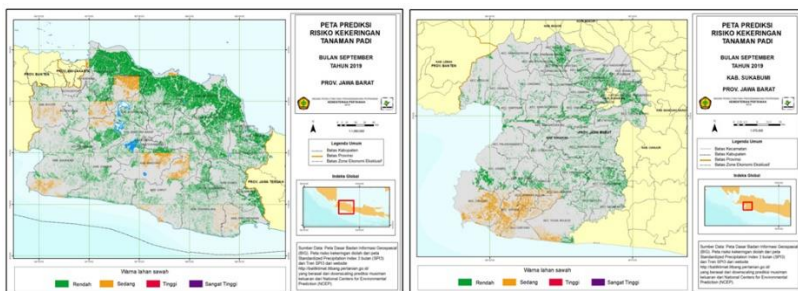
Sistem Informasi Prediksi Risiko Kekeringan Tanaman Padi

Kekeringan merupakan kejadian iklim ekstrem yang menyebabkan kerusakan tanaman padi. Kejadian ini terjadi hampir setiap tahun dan meningkatkan tajam pada kejadian El Niño. Seharusnya kerugian yang ditimbulkan akibat tanaman padi yang terkena dan puso tersebut dapat diminimalkan apabila dilakukan antisipasi dan upaya adaptasi. Untuk antisipasi dampak kejadian kekeringan perlu dikembangkan sistem prediksi risiko kekeringan. Agar dapat operasional maka minimal prediksi tersebut harus dalam skala waktu satu musim tanam ke depan dan sudah diberikan 2-4 bulan sebelum, agar potensi penurunan produksi dan kerugian petani akibat gagal tanam atau gagal panen dapat diminimalkan.

Balitklimate telah merilis Prediksi Kekeringan Tanaman Padi yang terintegrasi dengan Katam Terpadu. Informasi bersifat dinamik dan tersedia dalam level provinsi dan kabupaten seluruh

Indonesia. SI diintegrasikan dengan SI Katam Terpadu pada alamat <http://katam.litbang.pertanian.go.id/main.aspx>. Proses penyusunan prediksi tingkat risiko kekeringan mulai dari tahap *downscaling predictor* yang digunakan yaitu onset dan tren *Standardized Precipitation Index* (SPI).

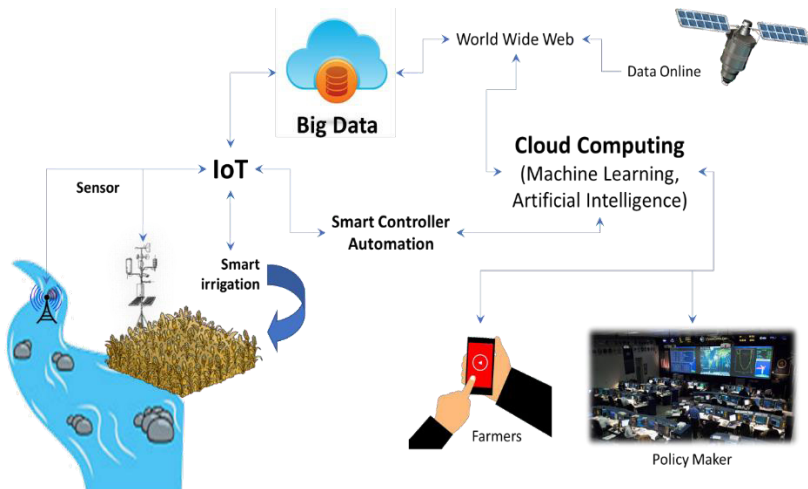
Pemanfaatan lebih jauh dari prediksi musim dikembangkan dengan menghubungkan onset dan *trend of standardized precipitation index* (SPI) dengan produktivitas padi. Menggunakan diagram Cartesien untuk menggambarkan kombinasi onset dan and trend of SPI-3 dengan luas kekeringan tanaman padi (Surmaini & Dewi, 2018). Peta prediksi risiko kekeringan padi tersedia 2-4 bulan sebelum waktu terjadinya, sehingga tersedia cukup untuk mempersiapkan upaya adaptasi untuk musim tanam yang akan datang (Surmaini & Agus, 2020). Informasi prediksi risiko kekeringan dapat diakses pada <http://katam.litbang.pertanian.go.id/>. Peta prediski tersedia untuk level propinsi dan kabupaten di seluruh Indonesia. Contoh peta prediksi risiko kekeringan tanaman padi disajikan pada Gambar48.



Gambar 50 Contoh Peta Prediksi Risiko Kekeringan Tanaman Padi Level Propinsi (kiri) dan Kabupaten (kanan)

Smart Farming untuk Efisiensi Sumber Daya Iklim dan Air Pertanian dalam Era Industri 4.0

Smart farming atau pertanian cerdas merupakan aplikasi teknologi modern untuk menciptakan pertanian yang maju, mandiri, dan berkelanjutan melalui efisiensi sumber daya pertanian (Wolfert et al., 2017). Dalam konteks SDIA, efisiensi sumber daya pertanian dapat diimplementasikan melalui pemanfaatan teknologi sensor, instrumentasi, komunikasi, dan komputasi untuk proses monitoring SDIA, tata kelola irigasi, dan manajemen budidaya pertanian (termasuk penjadwalan tanam, perbaikan kualitas air, dsb). Beberapa konsep teknologi modern terkait dengan *smart farming* SDIA meliputi *internet of things (IoT)*, *big data*, *cloud computing*, *machine learning*, *artificial intelligence*, *automation*, *smart irrigation*, *web services*, dan *mobile apps*. Alur data dan informasi *smart farming* untuk efisiensi SDIA pertanian disajikan pada Gambar 40.



Gambar 40. Alur Data dan Informasi *Smart Farming* untuk Efisiensi Sumber Daya Air Pertanian

Tujuan utama implementasi *smart farming* adalah penerapan teknologi modern untuk optimalisasi produktifitas lahan guna mewujudkan pertanian mandiri dan berkelanjutan melalui efisiensi penggunaan sumber daya pertanian. Efisiensi sumber daya pertanian yang optimal dapat dicapai apabila terjadi kesetimbangan antara penggunaan sumber daya lahan yang tersedia dengan beban (input) yang diperlukan untuk optimalisasi produksi pertanian. Kemampuan lahan eksisting dapat dipantau melalui sistem monitoring kawasan pertanian berbasis sensor yang terintegrasi menggunakan teknologi IoT. Data SDIA kemudian dikirim ke server *big data* secara periodik sebagai input model manajemen SDIA. Bersama dengan data sekunder yang bersumber dari jaringan internet global, aplikasi model SDIA mengolah data di server online (*cloud computing*) untuk menghasilkan keputusan (*decision*) terkait dengan manajemen SDIA di lahan, melalui implementasi teknik *machine learning* dan *artificial intelligence*. Hasil pemodelan kemudian dikirim ke sistem kontrol otomatis berupa perintah (*command*) untuk menjalankan/menggerakkan instrumen di lapangan (lahan) untuk tata kelola SDIA secara presisi. Lebih lanjut, data monitoring SDIA dan budidaya pertanian di server *big data* dapat digunakan sebagai input model *Decision Support System* (DSS) yang outputnya dapat digunakan untuk membantu pengambilan keputusan pertanian di tingkat nasional. Data ini juga dapat dimanfaatkan oleh petani lokal untuk penyelesaian masalah budidaya pertanian terkait dengan optimalisasi produktivitas lahan.

PENUTUP

Kementerian Pertanian melalui Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah melakukan digitalisasi SDIA sejak awal tahun 2000an dengan pemasangan *Automatic Weather System* (AWS) dan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) yang tersebar

di beberapa wilayah se Indonesia. Lebih lanjut, aplikasi basis data SDIA (tabular), pemetaan SDIA (spasial), pengembangan model untuk efisiensi SDIA, dan pembangunan sarana dan prasarana pendukung juga sudah diimplementasikan selama kurun waktu 2 dekade ini. Ketersediaan data tabular dan spasial, model efisiensi, dan sarana prasaran pendukung pengelolaan SDIA merupakan modal utama dalam proses modernisasi pengelolaan SDIA pertanian. Dalam kerangka rencana pembangunan jangka menengah nasional (RPJMN) 2020-2024 di bidang pertanian, Kementerian Pertanian dapat fokus dalam proses integrasi komponen-komponen digitalisasi pengelolaan SDIA untuk mewujudkan sistem Smart Farming untuk efisiensi SDIA pertanian.

Dokumen Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020-2024 mendorong arah kebijakan transformasi digital di bidang pertanian melalui adopsi pemanfaatan teknologi Big Data, IoT, dan AI, berbasis sistem satu data (Kementerian Pertanian, 2020). Terkait dengan proses digitalisasi pengelolaan SDIA pertanian maka implikasi kebijakan yang perlu dilakukan di lingkup Kementerian Pertanian antara lain: 1) modernisasi sarana pendukung Big Data pertanian untuk mewujudkan sistem satu data sebagai dasar penerapan pertanian presisi di level nasional (pengambilan keputusan) maupun level petani, 2) peningkatan kemampuan sumber daya manusia pendukung implementasi digitalisasi SDIA pertanian, 3) mendorong kegiatan monitoring SDIA yang terstandarisasi, dan 4) mengalokasikan anggaran untuk kegiatan penelitian efisiensi SDIA berbasis kawasan yang mengintegrasikan aplikasi Big Data, pemodelan, dan teknologi otomatisasi mendukung pengembangan *smart farming*.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J. L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1), 2–13.
- Asadov, H. H., & Ismaylov, K. K. (2011). Information method for synthesis of optimal data subsystems designated for positioning, location and remote sensing systems. *Positioning*, 2(1), 61–64. <https://doi.org/10.4236/pos.2011.21006>
- Bock, A. R., Hay, L. E., McCabe, G. J., Markstrom, S. L., & Atkinson, R. D. (2018). Do downscaled general circulation models reliably simulate historical climatic conditions? *Earth Interactions*, 22(10), 1–22. <https://doi.org/10.1175/EI-D-17-0018.1>
- Brunini, O., Carvalho, J., Brunini, A., Padua-Junior, A., Adami, S., Abramides, P., & others. (2010). Agroclimatic zoning and climatic risks for sugarcane in Mexico: A preliminary study considering climate change scenarios. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol*, 27, 302–314.
- Chen, Y., & Han, D. (2016). Big data and hydroinformatics. *Journal of Hydroinformatics*, 18(4), 599–614. <https://doi.org/10.2166/hydro.2016.180>

- De Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M. (2015). What is big data? A consensual definition and a review of key research topics. *AIP Conference Proceedings*, 1644, 97–104.
- Faghmous, J. H., & Kumar, V. (2014). Spatio-temporal data mining for climate data: Advances, challenges, and opportunities. In *Data mining and knowledge discovery for big data* (pp. 83–116). Springer.
- FAO. (2014). *The Water-Energy-Food Nexus: A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture*. FAO.
- Hay, L. E., LaFontaine, J., & Markstrom, S. L. (2014). Evaluation of statistically downscaled GCM output as input for hydrological and stream temperature simulation in the Apalachicola–Chattahoochee–Flint River Basin (1961–99). *Earth Interactions*, 18(9), 1–32. <https://doi.org/10.1175/EI-D-17-0018.1>
- Heryani, N., Kartiwa, B., Hamdani, A., & Rahayu, B. (2017). Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Irigasi pada Lahan Sawah: Studi Kasus di Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 41(2), 135–145.
- KEMENEG BAPPENAS. (2019). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020–2024*. KPP/BAPPENAS.
- Kementerian Pertanian. (2020). *Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2020–2024*. KEMENTAN.
- Overpeck, J. T., Meehl, G. A., Bony, S., & Easterling, D. R. (2011). Climate data challenges in the 21st century. *Science*, 331(6018), 700–702. <https://doi.org/10.1126/science.1197869>
- Padbury, G., Waltman, S., Caprio, J., Coen, G., McGinn, S., Mortensen, D., Nielsen, G., & Sinclair, R. (2002). Agroecosystems and land resources of the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 94(2), 251–261. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.2510>

- Peng, D., Huete, A. R., Huang, J., Wang, F., & Sun, H. (2011). Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.06.001>
- Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279(1–4), 275–289. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)
- Runtunuwu, E., Syahbuddin, H., Ramadhani, F., Pramudia, A., Setyorini, D., Sari, K., Apriyana, Y., Susanti, E., Haryono, H., & Setyanto, P. (2012). Sistem informasi kalender tanam terpadu: Status terkini dan tantangan kedepan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 6(2).
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., Dool, H. van den, Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2014). The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, 27(6), 2185–2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>
- Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U.-D. (2012). “Big Data”: Big gaps of knowledge in the field of internet science. *International Journal of Internet Science*, 7(1), 1–5.
- Sugiura, T., Fukami, K., & Inomata, H. (2008). Development of integrated flood analysis system (IFAS) and its applications. *World Environmental and Water Resources Congress 2008: AhupuaʻA*, 1–10.
- Surmaini, E. (2018). Pemanfaatan prediksi musim untuk pengelolaan risiko pertanian. In *Handbook iklim Pertanian Indonesia (Las et.al. Eds.)* (p. 445). IAARD Press.

- Surmaini, E., & Agus, F. (2020). Climate risk management for sustainable agriculture in Indonesia: A review/Pengelolaan resiko iklim untuk pertanian berkelanjutan di Indonesia: Sebuah tinjauan. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 39(1), 48–60. <https://doi.org/10.21082/jp3.v39n1.2020.p48-60>
- Surmaini, E., & Dewi, E. R. (2018). Prediksi curah hujan untuk pengelolaan pertanian yang tahan risiko iklim. In *Handbook iklim Pertanian Indonesia* (Las et.al. Eds.) (p. 445). IAARD Press.
- Surmaini, E., Runtunuwu, E., & Las, I. (2015). Efforts of agricultural sector in dealing with climate change. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 30(1), 1–7. <https://doi.org/10.21082/jp3.v30n1.2011.p1-7>
- Susanti, E. (2019). *Pemutakhiran Peta Sumberdaya Agroklimat Indonesia Skala 1: 500.00 untuk Mendukung Perencanaan Pertanian* (No. 2019; p. 75). Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi.
- Syhabuddin, H., Apriyana, Y., & Runtunuwu, E. (2018). Teknologi Inovasi Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu sebagai upaya adaptasi perubahan iklim. In *Handbook iklim Pertanian Indonesia* (Las et.al. Eds.) (p. 445). IAARD Press.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.
- Wood, S., & Pardey, P. G. (1998). Agroecological aspects of evaluating agricultural R&D. *Agricultural Systems*, 57(1), 13–41. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00057-7)
- Yazdanpanah, H., Hajam, S., Khalili, A., & Kamali, G. (2001). Agro climatic zoning of Azarbayjan-Sharghi province for rain-fed almond using. *Geospatial World*, [Http://Geospatialworld](http://Geospatialworld). Zullo Jr., J, H. Silveira, O. Brunini, E. Delgado, and G. Queiroz. *Net/Paper/Application/ArticleView.aspx*.

TEKNOLOGI ALAT DAN MESIN PERTANIAN MENDUKUNG MODERNISASI AGROINDUSTRI HULU SAMPAI HILIR

Abi Prabowo^{a1}, Agung Prabowo^{b2}, Suparlan, Irsal Las^{c3}

^{a,b,c} Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian

^d Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian

¹ Kontributor Utama, ^{2,3} Kontributor Anggota

PENDAHULAN

Sejarah perkembangan pertanian di dunia telah mencatat bahwa peran alat dan mesin pertanian (alsintan) sebagai suatu hasil rekayasa teknologi tidak bisa dipisahkan dari kemajuan bidang kegiatan pertanian yang didukungnya. Budaya pertanian pada awal peradaban manusia dimulai dengan berubahnya pola bertani dari berpindah-pindah tempat kemudian menjadi menetap tidak terlepas dari perkembangan alat pertanian pendukungnya. Perkembangan pertanian terus berlanjut seiring dengan perkembangan teknologi pendukung yang dipakainya yaitu era teknologi mesin uap (era Teknologi Industri 1.0), era teknologi motor listrik dan ban berjalan (era Teknologi Industri 2.0), era teknologi komputer dan otomasi, *Programmable Logical Control-PLC* (era Teknologi Industri 3.0) sampai era *machine to machine* berbasis *IoT-Big Data-Cloud Computing* saat ini (era

Teknologi Industri 4.0). Sehingga tidak salah jika disebutkan bahwa teknologi pendukung proses agroindustri mencerminkan bentuk atau simbol modernisasi pertanian yang sedang dicapai, serta munculnya teknologi baru dan modern dapat mendorong peningkatan produksi pertanian dan bahkan mendukung keberlanjutannya (Foster dan Rosenzweig 2010; Carletto et al. 2007). Sedangkan teknologi baru dan modern dapat diadopsi oleh petani dengan syarat (Foster dan Resenzweig 2010): (a) ketersediaan dan kemudahan untuk dipakai serta manfaat positif teknologi baru; (b) terpenuhinya keinginan petani untuk mendapatkan keuntungan dari penerapan teknologi baru. Paradigma ini terjadi pula dalam bidang mekanisasi pertanian, berupa teknologi alat dan mesin pertanian (alsintan) untuk mendukung kegiatan produksi pertanian mulai pra-panen (olah tanah sampai panen), dan pasca-panen sampai dengan proses pengemasan serta penyimpanan bahkan siap dikonsumsi atau *from field to table*. Dalam perkembangan mekanisasi pertanian sebagai pendukung proses hulu-hilir produksi pertanian bentuk, jenis, jumlah, sifat penerapan dan tingkat kecanggihan teknologinya ditentukan oleh kebijakan dari penggunaanya. Bentuk dan ukuran alsintan ditentukan oleh ukuran daya (*power*) sumber energi penggerak utama dan tujuan pemanfaatannya. Sedangkan kebijakan penggunaan tidak terlepas dari jenis komoditas yang diusahakan, kegiatan proses hulu-hilir yang dijalankan, kondisi agroekologi kegiatan, kondisi sosial-ekonomi dan budaya pelaku pengguna. Dalam hal kebijakan pengguna dapat mewakili skala individu, kelompok, korporasi maupun negara. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk memberikan informasi kepada pembaca tentang: (1) perkembangan alat dan mesin pertanian pendukung usahatani hulu-hilir padi di Indonesia sesuai dengan pengaruh teknologi, ekosistem, kebijakan dan politik pangan negara; (2) kesiapan alat dan mesin pertanian di Indonesia menghadapi perkembangan teknologi digital di bidang pertanian saat ini.

TEKNOLOGI DAN DAYA ALSINTAN

Mekanisasi pertanian merupakan hasil keluaran teknologi enjiniring pertanian berbasis proses kreasi yang menciptakan/mewujudkan produk (*softwares* ataupun *hardwares*) dengan memanfaatkan sumber daya demi kemanfaatan dibidang pertanian. Secara umum mekanisasi pertanian dimaknai sebagai proses penggunaan teknologi alsintan mulai dari kegiatan prapanen, pascapanen sampai siap dipasarkan. Cakupan khusus mekanisasi pertanian adalah segala implemen peralatan (bajak, garu, alat panen, dsb) yang digandeng atau dirangkai menjadi satu kesatuan mesin dan digerakkan oleh sumber daya (*power source*) penggerak berupa motor/engine (Ulger et al. 2011; Akdemir 2013). Sumber daya penggerak menjadi kunci pokok untuk membahas mekanisasi pertanian dalam hal ini adalah alsintan karena berhubungan dengan pemanfaatan energi yang diubah menjadi gaya gerak linier dan sirkuler, bisa sebaliknya atau kombinasi keduanya untuk mendukung kegiatan pertanian.

Sumber daya (*power source*) penggerak berasal proses pembakaran bahan bakar minyak (solar, bensin, minyak tanah) atau yang dikenal dengan sistem *internal combustion engine*, energi listrik, energi matahari, energi air dan energi angin. Satuan ukuran daya (*power*) penggerak alsintan adalah daya kuda (*horse power*) yang akan mempengaruhi pada *output* kinerja alsintan, biaya operasional, harga awal/modal yang harus disediakan. Oleh karena itu akan muncul korelasi antara ukuran daya, jenis atau tipe dan aras (*level*) alsintan dengan biaya investasi dan capaian keluaran kinerja (kuantitas maupun kualitas) suatu jenis alsintan (Li et al. 2018).

Pemahaman tentang besarnya daya dalam pemilihan dan pengoperasian teknologi alsintan sangat penting sebab semakin besar ukuran daya yang digunakan akan meningkatkan kebutuhan energinya tetapi menghasilkan kemampuan kerja

(*work*) dan gaya (*force*) yang tinggi. Pada awal masuknya beberapa alsintan di Indonesia dimulai dengan daya dan dimensi ukuran besar (*heavy duty machines*) termasuk pasangan implemennya. Karena berukuran daya penggerak besar sehingga energi dan kebutuhan bahan bakarnya boros. Penggunaan energi yang besar berarti akan menambah pengeluaran biaya energi, apapun jenis jenis energinya. Ada pemahaman bagi setiap pemilik dan operator alsintan bahwa setiap mesin di “*on*” berarti menghasilkan daya melalui penggunaan energi alias mengeluarkan biaya operasi. Ukuran daya penggerak akan menentukan enjin (motor bakar, listrik, energi terbarukan), dimensi alsintan yang disesuaikan dengan dimensi dan berat enjin. Hubungan atau pengaruh ukuran daya dan parameter-parameter penting dari suatu tipe alsintan terlihat pada Tabel 32.

Dari Tabel 32 terlihat bahwa untuk setiap tipe alsintan, ukuran daya akan menentukan parameter-parameter penting lainnya. Ukuran daya akan menentukan dimensi fisik, lebar roda ban karet atau tapak (*crawler*), kapasitas kerja, konsumsi bahan bakar yang akhirnya akan menentukan konsumsi bahan bakar. Demikian pula dimensi alsintan otomatis berpengaruh terhadap harga pembelian alsintannya. Parameter-parameter alsintan seperti dimensi ukuran, berat, lebar roda/*crawler* yang mempengaruhi *ground pressure*, konsumsi bahan bakar, dan harga alsintan akhirnya menjadi pertimbangan pemilihan tipe alsintan. Angka *ground pressure* suatu alsintan akan menentukan kemudahan pergerakan alsintan pada suatu lahan, artinya jika nilai *ground pressure* kecil berarti alsintan tidak mudah tenggelam.

Tabel 32. Tipe Alsintan, Ukuran Daya dan Berbagai Parameter Penting Alsintan

Tipe Alsintan	Daya (HP dan RPM)	Dimensi Alsintan			Jenis roda	Lebar roda (cm)	Bobot alsin (kg)	Gaya tarik (Nm)	Ground pressure (kg/cm ²)
		Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)					
Traktor roda 4 (pra-panen)	37,6 2700	280	140	233	Wheel type, Karet	30	1300	1400	-
Traktor roda 2 (pra-panen)	8,5 2400	275	86	128	Roda karet/ besi	15	90		
Rice mini combine harvester (panen)	29,5 2400	349	184	234	Crawler, karet	35	1150	-	0,19
Rice combine harvester (panen)	62,0 2400	528	268	280	Crawler, karet	44,5	3290	-	0,22

- *Implement bajak piringan (2 piringan), diameter piringan 56 cm

Teknologi Alat dan Mesin Pertanian Mendukung Modernisasi Agroindustri Hulu Sampai Hilir

- ** implement rotary 36 pisau
- + lahan sawah irigasi. Kapasitas kerja/ha traktor roda-2 untuk mengolah tersebut setara dengan 527.000 kali ayunan cangkul (Soedjarmiko, 1993)
- ++lahan kering

Nilai *ground pressure* diperoleh dari berat total alsintan (dipengaruhi oleh ukuran daya enjin, Tabel 1) dibagi dengan lebar tapak roda atau crawler, sehingga apabila daya enjin besar, berat alsin besar memerlukan ukuran lebar roda/crawler lebar. Parameter ini akan terus berlaku untuk setiap teknologi alsintannya baik untuk Teknologi Industri 1.0, 2.0, 3.0 maupun 4.0. Pertimbangan pilihan tipe alsintan atas dasar: (a) kondisi lahan, termasuk kriteria lahan, topografi, jenis tanah dan luas lahan; (b) jenis komoditas dan pola budidayanya; (c) kondisi prasarana pertanian (jaringan irigasi-drainase, jalan usahatani, bengkel, dan lainnya); (d) kondisi sosial, ekonomi dan budaya lokal; (e) kondisi kelembagaan petani; (f) kebijakan yang berlaku. Faktor-faktor penimbang yang ada akhirnya menjadikan penerapan alsintan sebagai bentuk teknologi mekanisasi dalam pertanian modern harus bersifat selektif, menguntungkan, berkelanjutan. Bentuk mekanisasi selektif dalam pertanian modern akan memberikan sumbangan nyata dalam bentuk: (a) efisiensi tempat bisnis; (b) peningkatan kecepatan dan ketepatan waktu penyelesaian kegiatan; (c) mampu meningkatkan preferensi dan kepuasan pelanggan; (d) peningkatan garansi kualitas produk; (e) menurunkan biaya produksi dan risiko gagal berproduksi; (f) ekspansi usaha bisnis dengan cepat, tepat, murah.

PERKEMBANGAN MEKANISASI PERTANIAN DI INDONESIA

Perkembangan teknologi mekanisasi pertanian di Indonesia selama ini tidak terlepas dari kebijakan pangan pemerintah, khususnya tanaman pangan utama berupa padi, jagung dan kedelai. Hal ini berbeda dengan perkembangan yang terjadi di negara-negara industri maju dengan ciri pertanian: (a) kepemilikan lahan pertanaman oleh perorangan luas (>100 ha/orang); (b) tenaga kerja mahal; (c) kebijakan pemerintah

mendorong liberalisasi usaha sehingga kebutuhan alsintan dalam ukuran daya dan dimensi besar (*heavy duty machines*) dan banyak yang akhirnya dapat menumbuhkan industri alsintan berskala besar (*industrial impact by agriculture*). Konsep *industrial impact* pernah diuji cobakan di Indonesia oleh negara-negara Belanda, Amerika Serikat, Cekoslovakia dan Bulgaria di Indonesia selama kurun waktu 1950–1965 untuk mendukung industri padi lahan kering di P. Timor, Jawa, Sulawesi dan Irian Barat. Proyek-proyek bantuan tersebut mengalami kegagalan karena sulit direplikasi di tingkat petani disebabkan oleh luasan lahan sempit, terperosok ke lumpur sawah karena berat dan padi ditanaman pada lahan sawah beririgasi. Kondisi berbeda ditemui pada penerapan alsintan berukuran besar yang mengalami keberhasilan dalam penerapan pada perkebunan tebu milik Belanda di Jawa Timur pada tahun 1950-an (Soedjatmiko 2003). Tanaman tebu umumnya ditanam pada lahan-lahan milik pabrik gula yang rata-rata berukuran >1 ha dan berupa lahan kering. Kegagalan tersebut mengingatkan kesepadanan (*appropriate*) teknologi alsintan untuk budidaya padi sawah beririgasi pada replika Candi Borobudur yang dibangun pada abad ke-8. Replika berupa petani yang mengendalikan hewan sedang menarik bajak di sawah lahan basah serta gerobak pengangkut hasil panen pertanian. Sifat kesepadanan teknologi dengan kondisi lingkungan dan sosial yang juga di dorong oleh kebijakan politik pangan pemerintah Indonesia menjadi pengungkit tumbuh kembangnya dengan cepat adopsi teknologi dari negara-negara industri Asia Timur (Jepang, Cina, Korea) di Indonesia sampai saat ini. Uraian perkembangan konsep mekanisasi pertanian di Indonesia secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 33.

Tabel 33. Konsep pengembangan mekanisasi pertanian di Indonesia, 1950-2030 (Soedjatmiko 2003)

Konsep Pengembangan	Periode	Bentuk Teknologi Mekanisasi Pertanian	Sumber Teknologi
<i>Industrial Impact*</i>	1950-1965	Ukuran daya (> 100 HP) dan dimensi besar	Amerika Serikat, Cekoslovakia dan Bulgaria
<i>Technical Adjustment*</i>	1965-1970	Ukuran daya dan dimensi mini s/d sedang (8,5 HP – 30 HP)	Jepang, pabrikan lokal (pompa air, rototiller, sprayer gendong)
<i>Agricultural Driven and Development Oreintation*</i>	1970-1990	Daya dan ukuran kecil, sederhana, terjangkau dimiliki oleh kelompok tani atau petani	Jepang, pabrikan lokal murni dan pemegang merek asing makin berkembang IRRI- mewakili teknologi negara Barat mendorong tumbuhnya bengkel desa/petani melalui kerjasama Ditjen Pangan-IRRI i
<i>Status Quo</i>	1990-2005	Daya dan ukuran kecil, alsintan prapanen dan panen teknologi sederhana.	Jepang, pabrikan lokal murni dan pemegang merek asing IRRI-RNAM
	2005-2010	Daya beli petani dan pemerintah terhadap alsin rendah akibat dampak krisis ekonomi. Teknologi 2.0 dan sedikit 3.0 khususnya alsintan pascapanen.	sebagai koordinator penelitian dan pengembangan alsintan tingkat regional. Balitbangtan-IRRI mulai mengembangkan alsintan sederhana manual maupun mesin untuk tanaman padi

Konsep Pengembangan	Periode	Bentuk Teknologi Mekanisasi Pertanian	Sumber Teknologi
<i>Reinventing Technology and Initiation Innovation Technology</i>	2010-2020	Daya dan ukuran kecil s/d besar (>50 HP), teknologi 2.0 s/d 4.0, alsintan pra s.d pascapanen. Alsintan tanaman pangan (pajale, hortikultura sayur-sayuran), perkebunan.	Cina, Jepang, Korea, Eropa, Amerika Serikat Hasil <i>re-engineering</i> produk alsintan pajale, perkebunan, sayuran oleh Perekayasa Balitbangtan melalui lisensi pabrikaan lokal. Teknologi 3.0 dan 4.0 banyak diterapkan di <i>level</i> industri pertanian.
<i>Local Innovation and ITC based Development</i>	2020-2030	Daya dan ukuran kecil s/d besar (> 50 HP), teknologi 2.0 s/d 4.0, alsintan pra s.d pascapanen. Penerapan <i>smart agriculture</i> Alsintan tanaman pangan (pajale), hortikultura (sayur, tanaman hias dan buah), perkebunan.	Hasil inovasi <i>re-engineering</i> produk alsintan pajale, perkebunan, sayuran dari Balitbangtan sudah bisa diandalkan jenis, tipe, jumlah dan kualitas. Cina, Jepang, Korea, Eropa, Amerika Serikat

Uraian rinci tentang isi masing-masing komponen Tabel 2 adalah sebagai berikut:

1. *Industrial Impact (1930-1965).*

- Periode 1930-1950, beberapa pabrik gula di Jawa Timur mulai menggunakan traktor beserta implemen bajak piringan (*disclow*) berukuran besar pengolah tanah untuk membuat sistem guludan Reynoso untuk tanaman tebu dan penyiapan lahan perkebunan karet di Sumatera. Traktor berukuran besar (*heavy duty machines*), daya engine >100 HP, lebar traktor >3 m dengan roda tapak (*crawler*

type) besi. Hal yang sama terjadi pada *rice estate* pemerintah kolonial Belanda di Sekon, P Timor (Soedjatmiko 2003; Tayibnaphis 2018). Pada periode 1930-1950 terdapat dua tipe sumber daya utama penggerak alsintan berteknologi 2.0, yaitu: (a) *internal combustion engine type* berbahan bakar solar dan bensin untuk alsintan kegiatan lapangan; dan (b) tipe sumber energi dari ketel uap untuk kegiatan dalam pabrik gula;

- b. Tahun 1952 sebagian traktor dari *rice estate* di Sekon dibawa ke Jakarta sebagai aset dibentuknya Bagian Mekanisasi Pertanian pada Djawatan Pertanian Rakyat (Silitonga 1995; Soedjatmiko 2003);
- c. Periode awal tahun 1960 sampai 1965, negara-negara maju berusaha membantu Indonesia untuk terlepas dari cekaman kekurangan pangan dengan cara memasukkan teknologi alsintan budidaya tanaman padi berskala besar di lahan kering. Alsintan yang diperkenalkan termasuk kriteria *heavy duty machines* ada yang beroda karet (dari Ceko dan Bulgaria) dan crawler dari Amerika Serikat. Untuk mengelola bantuan dari ketiga negara tersebut pemerintah membentuk Badan Perusahaan Produksi Bahan Makanan dan Pembukaan Tanah (BPMT) dengan tiga tugas pokok yaitu: (1) intensifikasi produksi padi yang dilaksanakan oleh Bagian Perusahaan Padi Sentra; (2) usaha produksi bahan makanan di tanah kering dan pembukaan tanah secara mekanis oleh Bagian Perusahaan Tanah Kering dan Pembukaan Tanah (BPTKPT); (3) bagian pembukaan tanah pasang surut dilakukan oleh Bagian Pembukaan Tanah Pasang Surut (Silitonga 1995; Soedjatmiko 2003). BPTKPT mendapat bantuan teknis dari negara Cekoslovakia dan Bulgaria senilai Rp. 29 milyar (kurs Rp.450/1US\$) dalam bentuk alsin traktor roda-4 dengan sumber daya penggerak >100 HP dan pompa air

ukuran 08–12 inci. Kedua merek traktor roda 4 yang terkenal sampai saat ini adalah Zetor dan Bellarus. Program bantuan alsintan dari Cekoslovakia dan Bellarus pada akhirnya juga gagal, petani tidak dapat mengadopsi karena adanya kendala sosial berupa luas kepemilikan lahan petani yang sempit dan tidak biasa membudidayakan padi pada lahan kering dengan biaya operasional pompa irigasi yang mahal. Biaya pengolahan tanah pada saat itu sudah mencapai Rp. 1230/ha dibanding dengan tenaga ternak atau cangkul. Operasional dan pemeliharaan alsintan kelas berat juga mahal apalagi jika memerlukan penggantian sukucadang. Pada tahun 1957 PT Padi Sentra berubah menjadi PT Mekatani;

- d. Pada akhir tahun 1950 pemerintah Amerika Serikat melalui ICA (sekarang USAID) memberikan bantuan sekitar 198 unit traktor klas *heavy duty machines* beserta implemen untuk peningkatan produksi padi lahan kering senilai US\$ 450.000 (kurs Dollar Rp. 860/1 US\$). Bantuan alsintan dari Amerika didistribusikan ke 10 propinsi sebagai *pool* traktor, yaitu: Sumatera Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Maluku, Jakarta, Lampung. Ke sepuluh *pool* dikoordinir oleh Djawatan Pertanian Rakyat. Program bantuan tersebut dari aspek sosial-ekonomi gagal untuk diterapkan di Indonesia;
- e. Kegagalan bantuan alsintan *heavy duty machines* untuk pertanian padi lahan kering dalam skala luas ini memunculkan fenomena gagalnya konsep *industrial impact* di Indonesia. Fenomena *industrial impact* keinginan negara-negara maju adalah mendorong munculnya industri alsintan yang maju akibat kebutuhan sektor pertanian dan sebaliknya industri alsintan maju mendorong swasembada bidang pertanian (*industrial impact*).

- f. Kegagalan adopsi di lapangan ternyata diimbangi dengan adopsi teknologi bagi sumberdaya manusia. Selama kurun waktu penerapan alsintan *heavy duty machines* di berbagai tempat di Indonesia telah memunculkan proses alih pengetahuan dan keterampilan bagi para teknisi dalam negeri. Hal ini ditunjukkan dengan adanya: (i) program pelatihan ke negara-negara sumber teknologi; (b) pertukaran tenaga ahli fellowship and scientist; (c) didirikannya 2 fakultas pencetak tenaga-tenaga ahli mekanisasi pertanian di Indonesia, yaitu Fakultas Teknologi Pertanian UGM (FTP-UGM) pada tahun 1963 dan Fakultas Teknologi Pertanian IPB (FATETA-IPB);

2. *Technical adjustment (1965-1970)*

Merupakan masa penajagan teknologi dari negara Jepang ke Indonesia yang dianggap mempunyai banyak kesamaan dalam budaya bercocok tanam padi pada lahan basah dan sempit sehingga alsinnya sepadan. Penajagan salah satunya dilakukan melalui program bantuan Pampasan Perang (1958–1970) pengembangan pertanian dan perikanan, yang didalamnya termasuk peluang pengembangan industri alsintan oleh para pemilik pabrik-pabrik mesin pertanian (http://theglobal-review.com/lama/content_detail.php?lang=id&id=3031&type=4#.Xx-GsPgzbOOQ, 2020). Peluang yang diijagi terfokus pada kesepadanan alsintan produk Jepang dengan kondisi sosial-ekonomi dan agroekosistem pertanian Indonesia.

3. *Agricultural Driven and Development Orientation (1970-1990)*

Revolusi hijau ditandai dengan diketemukannya padi varietas unggul umur pendek, daya hasil tinggi, rakus pupuk dan pestisida, perlu tanam serempak menjadi faktor pemicu konsep *agricultural driven and development orientation* pada pengembangan mekanisasi pertanian di Indonesia. Beberapa persyaratan khusus untuk berlakunya konsep pertanian padi revolusi hijau sangat

memerlukan dukungan alsintan. Kemunculan konsep pertanian revolusi hijau tersebut menjadi pendorong berkembangnya teknologi alsintan dari Jepang yang telah dirintis melalui periode *technical adjustment*. Kebetulan dua industri besar alsintan Jepang, yaitu Kubota dan Yanmar pada tahun 1973 sudah mulai membuka cabang di Indonesia (Soedjatmiko 2003; <http://yanmar.com/about/history> 2020; <http://kubota-kmi.co.id/page/about> 2020). Pada awal tahun 1970-an tersebut perusahaan-perusahaan lokal seperti PT Rutan (perdagangan alsintan secara umum), PT Guntur (produsen pompa air merek Niagara), CV Karya Hidup Sentosa (mesin diesel) makin berkembang usahanya. Bahkan CV Karya Hidup Sentosa (KHS) akhirnya bekerjasama dengan Kubota mulai memproduksi traktor roda-2 dan mesin diesel. Mengamati kemajuan perkembangan alsintan yang ada ternyata berkiblat pada kondisi sosial-ekonomi-agroekosistem petani, yaitu kecil, harga terjangkau oleh kelompok atau petani perseorangan kaya, sukucadang mudah dan murah, teknologi mekanik (sumber daya manual atau engine) sederhana 2.0, terfokus pada mesin untuk produksi padi.

Mulai berkembangnya alsintan di Indonesia pada tahun awal 1970-an juga tidak terlepas dari adanya aset modal manusia dalam bentuk pengetahuan, pengalaman pengelolaan dan penguasaan teknologi alsintan yang sudah dimiliki oleh pemerintah (Sub Direktorat Alsintan), perusahaan swasta dan perguruan tinggi (UGM dan IPB) yang sekaligus sebagai sumber pencetaknya. Sub Direktorat Alsintan pada tahun 1975 berhasil mengembangkan konsep Pola dan Sistem Mekanisasi Pertanian Selektif. Konsep tersebut merupakan teknologi pewilayahan pengembangan mekanisasi pertanian berbasis hubungan antara parameter ekonomi, sosial, teknis dan kebijakan pemerintah (Soedjatmiko, 1975). Termasuk dalam konsep tersebut adalah kesesuaian penerapan antara alsintan dan kondisi draft spesifik tanah

sehingga tidak mengalami hambatan operasional. Usaha pemerintah secara intensif untuk menerapkan konsep revolusi hijau beserta dukungan penyediaan sarana produksi (salah satunya alsintan) akhirnya menghasilkan swa sembada beras pada tahun 1984–1990. Setelah tahun 1990 mulai terjadi leveling off yang kemudian disusul dengan resesi ekonomi tahun 1998 menjadikan teknologi alsintan di tingkat petani maupun lingkup lembaga penelitian dan pabrikan tidak berkembang.

Keberhasilan pengembangan konsep *agricultural driven and development orientation* tidak terlepas dari upaya Departemen Pertanian untuk menyediakan lembaga pengembang dan pengelola mekanisasi pertanian di Indonesia secara berkelanjutan. Pada tahun 1970 dibentuk Diametan, di bawah Direktorat Teknik Pertanian yang kemudian tahun 1975 diubah menjadi Sub Direktorat Mekanisasi Pertanian, Dit. Produksi. Selanjutnya pada tahun 1983 beralih menjadi Subdit Pengembangan Alat dan Mesin Pertanian. Pada tahun 1989 Departemen Pertanian melalui Proyek ATA-220 (Jepang) membentuk Pusat Enjinering Pertanian (*Center Development of Agricultural Engineering Technology*, CDAET) di Serpong dengan kedudukan di bawah Sekretariat Jenderal Departemen Pertanian. Dalam perjalanannya kemudian pada tahun 1992 PEP berubah menjadi Balai Besar Pengembangan Alat dan Mesin Pertanian (BBP Alsintan) di bawah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Dalam pengelolaan anggaran BBP Alsintan menginduk kepada Proyek Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi (Setjen Departemen Pertanian 1992).

Beberapa proyek kerjasama luar negeri selama kurun waktu 1970-1990 yang mempengaruhi bentuk dan pola pengembangan alsintan pajale sampai saat ini adalah (Setjen Departemen Pertanian 1992; Biro Perencanaan Departemen Pertanian 1996):

- a. IRRI-DITPROD (USAID), 1980-1985: alsintan untuk produk-produk bengkel lokal seperti perontok gabah TH-6/7, pompa

aksial, alat penyang, mesin pengering, power tiller 5 dan 8 HP, rolling injection planter; RNAM-IRRI-UNDP/ESCAP, 1977-1986: networking pengembangan alsintan produk-produk IRRI untuk wilayah Asia-Pasifik;

- b. Proyek INS/85/004-UNDP, 1985-1987: lebih terfokus pada aspek proses penanganan pascapanen dan alsintannya untuk komoditas padi melalui pelatihan (tenaga PPL, PPM, Materi Tani), studi sistem, produksi dan pengembangan alsintan;
- c. Proyek ATA-220- Jepang, 1987-1992. Proyek ATA-220 dikenal pula sebagai *Project Center for Development of Appropriate Agricultural Technology* (CDAET, 1987-1992). Pada awalnya proyek ini oleh pemerintah Jepang akan menggunakannya untuk memasukkan bantuan ribuan unit alsintan berbagai tipe ke Indonesia sebagai tindak lanjut menjaga tercapainya usaha swa sembada beras. Departemen Pertanian sebagai pihak pengguna proyek memanfaatkannya untuk membangun konsep penerapan enjinering pertanian, yaitu mencakup kemampuan berkreasi untuk menemukan inovasi melalui tahap penelitian, perancangan (*design and development*), hasil produk purwarupa (*prototype*), uji dan evaluasi, produksi massal. Perwujudan riil dari konsep itu adalah dibangunnya institusi Pusat Enjinering Pertanian (*Center Development of Agricultural Engineering Technology*, CDAET) di Serpong. Tugas pokok dan fungsi Pusat Enjinering Pertanian (PEP) adalah melakukan: (i) sistem analisis penentuan dan evaluasi jenis dan tipe alsintan yang sesuai untuk kondisi pertanian Indonesia; (ii) melakukan kegiatan desain dan rekayasa; (iii) pengujian dan evaluasi produk alsintan (produk PEP dan Swasta); (iv) pelatihan dan massalisasi alsintan. Kegiatan proyek dikelola oleh Ditjen Tanaman Pangan, Subdit Pengembangan Alsintan, Direktorat Bina Produksi Padi dan Palawija.

Dengan berdirinya PEP maka konsep *Agricultural Driven and Development Orientation* berbasis konsep penerapan enjinering secara utuh menjadi arah perkembangan mekanisasi pertanian pada era transisi abad ke 21 di Indonesia. Pada tanggal 28 Juni 2002 diterbitkan kembali SK Mentan No. 403 /Kpts/OT.210/6/2002 perubahan institusi dari Balai Besar Pengembangan Alat dan Mesin Pertanian menjadi Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian sampai dengan saat ini.

4. *Reinventing and Initiation Inovation Technology (2010-2020)*

Konsep *Reinventing and Initiation Inovation Technology* diterapkan mulai tahun 2011 karena selama kurun waktu 1990-2010 terjadi status quo mekanisasi pertanian di Indonesia. Hal ini terjadi karena negara mengalami krisis ekonomi-politik pada akhir 1990-an dilanjutkan dengan proses pemulihannya sampai sekitar tahun 2005 kemudian dilanjutkan dengan revitalisasi pertanian.

Konsep *reinventing* ini mulai tahun 2011 diawali dengan program revitalisasi pertanian (awal tahun 2004) melalui kegiatan bantuan alsintan kepada petani secara selektif, khususnya untuk program swasembada pangan. Pemerintah mulai memberikan dukungan alsintan kepada petani dengan pola seperti menjelang tercapainya swasembada beras tahun 1980-an. Dari sisi pandang aspek konsep enjinering pertanian bahwa semua program pemerintah untuk mendukung swasembada beras maupun kegiatan pembangunan pertanian yang lain setelah penerapan konsep *Agricultural Driven and Development Orientation* (1970-1990) sampai tahun 2009 mengabaikan peran mekanisasi pertanian. Dukungan sarana produksi yang dianggap penting adalah: jaminan ketersediaan air irigasi, pupuk, pestisida sedangkan alsintan dianggap pendukung terakhir yang paling diabaikan (Arifin 2005; Bappenas 2006).

Hal ini disebabkan karena pendekatan pembangunan pertanian tanaman pangan dan hortikultura masih difokuskan pada intensifikasi bukan ekstensifikasi, mengabaikan efisiensi biaya produksi, penurunan kehilangan hasil saat panen sampai pengolahannya, peningkatan mutu produk dan cekaman perubahan iklim. Ekstensifikasi, efisiensi biaya produksi, penurunan kehilangan hasil, peningkatan mutu produk dan cekaman perubahan iklim mulai lebih diperhatikan oleh Pemerintah pada program swasembada pajale dan ketahanan pangan mulai tahun 2010. Konsekuensi dari ekstensifikasi lahan dan peningkatan efisiensi produksi adalah penerapan mekanisasi pertanian dalam hal ini dalam bentuk dukungan alsintan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) sebagai salah satu lembaga Eselon I Kementerian Pertanian memberikan mandat kepada BBP Mektan untuk mendukung penyediaan teknologi alsintan yang diperlukan. Periode pertama (2011-2017) kegiatan penelitian dan pengembangan yang dilakukan oleh BBP Mektan menghasilkan beberapa prototipe beserta paten produk perekayasa alsintan berbasis teknologi 2.0, 3.0 maupun 4.0 sebagai berikut:

a. Alsintan prapanen:

- Mesin *power weeder* lahan sawah irigasi (2009)
- Mesin pembibitan padi untuk transplanter (*automatic rice nursery sowing machine*) (2017)
- Mesin transplanter Jajar Legowo (2013)
- Mesin *combine harvester* padi Indo *Combine Harvester*, teknologi 3.0 (2013)
- Mesin-mesin pendukung budidaya dan panen tebu (2013-2015)

b. Alsintan pascapanen:

- Mesin *vacuum frying*, dengan teknologi kontrol *Programmable Logic Control* (PLC) (tahun 2010)
- Mesin pengering lorong dengan teknologi kontrol PLC (2010)
- Mesin sortasi buah berteknologi robotik kontrol PLC (tahun 2012)

Keberhasilan beberapa inovasi selama periode pertama dilanjutkan pada periode 2017-2020 dengan hasil inovasi:

a. Alsintan prapanen:

- Perangkat lunak berteknologi Android untuk (2018-2019) berupa manajemen jasa sewa alsintan yang dikelola oleh UPJA, kontrol peralatan kendali hidroponik pada *Screen/Green House* dan manajemen administrasi prosedur uji alsintan
- Mesin autonomous traktor roda-4 (2018-2019)
- Mesin robotic *riding transplanter* (2018-2019)
- Mesin robotik drone penebar benih/pupuk/pestisida (2018-2019)
- Mesin robotik drone pengamatan kekurangan pupuk N (2018-2019)
- Mesin robotik sambung pucuk bibit tanaman perkebunan (2018-2019)
- Mesin *combine harvester* untuk padi dan jagung (70 HP, sistem kendali *joy-stick*) (2018)
- Mesin panen sekaligus pengolah tanah sawah beririgasi secara integratif (2018)
- Implemen penggulud dan pemanen umbi-umbian (2018)

b. Alsintan prapanen:

- Mesin berteknologi kontrol, generator ozon untuk pencucian produk sayuran (2018)
- Mesin robotic pembibitan tanaman sayur (*automatic vegetable crops nursery sowing machine*) (2017)
- Rice Milling Unit 3 phase mobile, kualitas beras premium (2018)

Hasil perekayasaan selama dua periode semuanya sudah mendapat paten dan hampir 90% dilisensi oleh pabrik alsintan swasta (15 pabrik). Selama tahun 2012-2017 pemerintah telah membantu petani sebanyak 314.188 unit alsintan prapanen dan 42.816 unit alsintan pascapanen (Ditjen Sarana dan Prasarana 2018); Ditjen Tanaman Pangan 2018)).

Fenomena menonjol atas keberhasilan penerapan konsep *reinventing and initiation innovation technology* adalah, litbang mekanisasi pertanian telah dibawa ke dalam konsep enjinering pertanian yang telah diterapkan kembali oleh BBP Mektan. Konsep enjinering pertanian mencakup kemampuan berkreasi untuk menemukan inovasi melalui tahap penelitian, perekayasaan (*design and development*), hasil produk purwarupa (*prototype*), uji dan evaluasi, produksi massal (Soedjatmiko 2003).

Keluarnya produk-produk prototipe alsintan dari Balitbangtan yang kemudian dipakai dalam program bantuan alsintan Kementerian Pertanian menjadi acuan bagi para pabrikan swasta untuk mengembangkan lisensi secara besar-besaran, diantaranya adalah produk transplanter padi Jajar Legowo yang diproduksi mencapai sekitar 2500 unit (selama 2015-2018), mini combine harvester dan sebagainya. Sesuai dengan konsep enjinering pertanian, untuk mendukung keberlanjutan produk yang sudah dibagikan kepada petani maka Balitbangtan juga membuat

komponen-komponen sukucadang dan pembimbingan teknis kepada kelompok tani maupun pabrik alsintan pemegang lisensi.

Selain memperbanyak produk hasil lisensi dengan Balitbangtan, pabrik alsintan swasta juga mendatangkan berbagai jenis-tipe-ukuran alsintan dari luar negeri yang sama dengan hasil prototipe Balitbangtan. Mulai tahun 2015 produk-produk alsintan impor lebih didominasi dari negara Cina dibanding Jepang dan negara-negara Eropa atau Amerika. Pertimbangan petani tentang harga mesin yang lebih murah menjadi faktor utama pilihan produk Cina, meskipun dari kualitas masih kalah dengan produk Jepang. Faktor penentu ini yang perlu dipertimbangkan oleh Balitbangtan atau produsen-produsen mesin pertanian untuk menarik minat daya beli petani. Sedangkan keunggulan produk alsintan Jepang selain unggul dalam kualitas juga mudah untuk memperoleh sukucadang dan pelayanan purna jual.

5. *Local Innovation and ITC based Development (2020-2030)*

Keberhasilan penerapan konsep *reinventing and initiation innovation technology* terus dipertahankan oleh BBP Mektan melalui Komisi Mekanisasi Pertanian untuk program pengembangan alsintan mulai tahun 2020 ke depan, khususnya sebagai antisipasi perkembangan teknologi baru era 4.0 dan seterusnya. Sampai bulan Juli 2020 telah dibuat prototipe:

- Mesin robotic traktor roda-4 dipandu dengan sistem GPS
- Mesin robotic *riding transplanter* dipandu dengan sistem GPS
- *Robotic rice combine harvester* dipandu dengan sistem GPS
- *Automatic Vending machine* beras, dengan takaran 1,5 kg/keluaran
- Peningkatan kapasitas tampung drone penebar benih padi untuk antisipasi kekurangan tenaga kerja di lahan rawa Kalimantan dan Sumatera Selatan

- Peningkatan kapasitas tampung pestisida pada drone penebar benih padi untukantisipasi kekurangan tenaga kerja di lahan rawa Kalimantan dan Sumatera Selatan
- *Automatic Vending machine* dikembangkan sebagaiantisipasi untuk membantu pemerintah untuk membagikan beras selama masa pandemi Covid-19.

Pelajaran penting yang dapat dipetik dari perkembangan masing-masing penerapan konsep di atas adalah tidak bisa diingkarinya bahwa perkembangan penerapan alsintan tidak terlepas dari hubungan antara permintaan di aras (*level*) pengguna, upaya sumber teknologi melalui penerapan konsep enjinering pertanian secara utuh dan adanya *political will* pemerintah (Kementerian Pertanian) untuk menerapkannya. Beberapa alasan yang mendukung simpulan tersebut adalah:

- Alsintan masih dianggap barang mahal oleh pemerintah dan khususnya petani perseorangan. Alsintan belum dilihat sebagai suatu bentuk investasi agribisnis secara utuh beorientasi rantai nilai (*value chain*). Akibatnya untuk mengejar target tertentu secara cepat dan *at all cost* pemerintah lebih memilih cara intensifikasi pertanian sehingga lebih mengutamakan input sarana produksi non alsintan, seperti benih, pupuk, irigasi, pestisida;
- Harga alsintan tidak terjangkau NTP yang rendah akibat dari: sebagian besar petani adalah penggarap, luas lahan usahatani sempit, nilai jual komoditas yang dibudidayakan rendah. Namun demikian dengan bantuan alsintan yang banyak, sudah terjadi alih teknologi dan pengetahuan tentang alsintan kepada petani, peningkatan efisiensi biaya produksi;
- Alsintan akan menjadi pilihan pemerintah jika sudah mengarah kepada pilihan ekstensifikasi, ancaman iklim,

peningkatan mutu produk, penurunan biaya produksi, penurunan susut panen sampai prosesing produk siap saji;

- Belum optimalnya bantuan alsintan sampai saat ini lebih banyak disebabkan oleh lemahnya pendampingan (sosialisasi, pelatihan, pelayanan, pembentukan kelembagaan, kemudahan sukucadang) dan kurang siapnya infrastruktur pendukung (jalan usahatani, sarana drainase lahan, perbengkelan);
- Penerapan alsintan harus melihat kepada konsep mekanisasi pertanian selektif (agroekosistem-sosial-ekonomi-komoditas)
- Alsintan bisa sebagai sumber pendapatan *off-farm* bagi petani dan menarik minat keikutsertaan generasi muda;
- Alsintan belum bisa diharapkan mampu menjadi *industrial impact* karena permintaannya masih tergantung kepada kebijakan program pemerintah bukan atas dasar permintaan dari pengguna, yaitu petani;
- Tantangan dan peluang pengembangan alsintan di Indonesia ke depan sangat dipengaruhi oleh uraian yang terdapat pada Tabel 34.

Tabel 34. Tantangan dan peluang penerapan alsintan (Handewi et al. 2015)

Tantangan	Peluang Penanganan	Periodisasi	Keterangan*
Peningkatan produktivitas dan produksi, populasi penduduk naik	Intensifikasi usahatani: • Air irigasi terjamin (WARUNGJAMU = waktu, ruang, jumlah, mutu) • Benih unggul dan terjamin • Pupuk sesuai dan terjamin • OPT terkendali • Alsintan minimal	1960-2010	Manfaat alsintan: • Penurunan biaya produksi: • Jumlah tenaga olah tanah, dari 20 menjadi 3 orang/ha • Tenaga tanam, dari 19 menjadi 7 orang/ha • Tenaga panen dari 40 menjadi 8 orang/ha

Tantangan	Peluang Penanganan	Periodisasi	Keterangan*
Peningkatan produktivitas dan produksi, populasi penduduk naik, kekangan lahan (luas, kualitas, status), biaya produksi tinggi, kondisi iklim tak menentu, tenaga kerja kurang, susut hasil panen dan pengolahan tinggi, mutu hasil rendah, pemasaran jelek, perkembangan teknologi	Intensifikasi, ekstensifikasi, modernisasi: • Air irigasi terjamin (WARUNGJAMU) • Benih unggul dan terjamin • Pupuk sesuai rekomendasi dan terjamin • OPT terkendali • Cekaman iklim minimal • Penambahan luas lahan • Alsintan optimal, eknologi kendali dan prasarana IOT, selektif • Terhubung dengan jaringan pasar, korporasi	1960-2010	Manfaat alsintan: Penurunan biaya produksi: Jumlah tenaga olah tanah, dari 20 menjadi 3 orang/ha Tenaga tanam, dari 19 menjadi 7 orang/ha Tenaga panen dari 40 menjadi 8 orang/ha

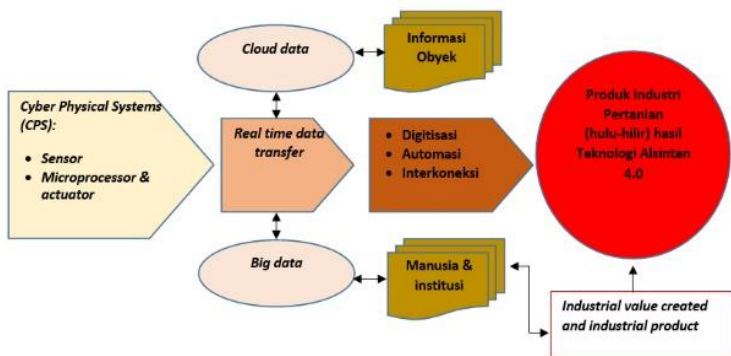
Posisi dan peran alsintan dalam pertanian modern berbasis industri dengan teknologi 2.0 ke atas dapat ditunjukkan pada Gambar 50. Dengan mencermati Gambar 50 dapat dipahami bahwa sekecil apapun ukuran dan jumlah alsintan tetapi apabila ketepatan (*accuration*) dan kesepadanan (*appropriateness*) penerapan dalam suatu bentuk sistem pertanian modern, misalnya *smart agriculture*, akan membawa dampak pada produk industri yang menguntungkan bagi petani pengusahanya. Konsep pada Gambar 50 akan lebih terasa manfaatnya apabila diterapkan pada pertanian berbasis teknologi 4.0. Kemanfaatannya makin terasa karena dengan penerapan teknologi 4.0 dapat meminimalisir skala ukuran alsin, memudahkan dan menyamankan operasional alsintan sehingga bersifat *gender type*

use, ideotype industrial product (Gambar 51), mengurangi kepenatan (druggery) operator.



Gambar 41. Posisi dan Peran Alsintan dalam Pertanian Modern Berbasis Industri

Sebagai bentuk suatu teknologi, pertanian cerdas dengan alur tahapan kerja seperti terlihat Gambar 51 memerlukan prasarana pendukung internet dan peralatan pendukung lain yang relatif masih jarang dimiliki oleh para petani di Indonesia. Sehingga meskipun dalam pemanfaatan banyak menjanjikan kemudahan dan keuntungan namun menjadikan munculnya pendapat sebagai berikut: **“Teknologi adalah sebuah impian bagi orang miskin, sebuah alat bantu bagi seorang peneliti, dan sebagai mainan bagi orang yang mampu”**



Gambar 42. Alur Bagan Pertanian Cerdas Teknologi 4.0

PERTANIAN DIGITAL Mendukung Agroindustri Hulu Sampai Hilir

Kegiatan pertanian sangat memerlukan keterampilan dan penguasaan pengetahuan berdasar pengalaman, rasional dan kearifan memaknai kejadian lingkungan oleh pelakunya. Petani sebagai pelaku kegiatan pertanian secara naluriah memerlukan hal tersebut karena selalu berhadapan dengan sifat-sifat sumberdaya alam yang tidak mudah diprediksi dan bahkan bisa menimbulkan bencana. Sebagai contoh sifat iklim dan penyimpangannya yang sering menimbulkan banjir, kekeringan. Selain faktor alam yang banyak mempengaruhi keberhasilan kegiatan pertanian adalah dukungan ketersediaan sarana produksi yang banyak terkait dengan keadaan kelembagaan (pemerintah, petani, swasta) dan kebijakan yang dihasilkan.

Setelah petani berhasil dalam memproduksi berbagai komoditas masih harus berjuang untuk memikirkan cara pemasarannya, dalam bentuk produk segar/mentah ataupun olahan. Proses pemasaran bisa dilakukan secara langsung oleh dirinya sendiri atau melalui pihak lain. Banyaknya faktor-faktor yang berpengaruh, dimengerti dan dikuasai oleh petani agar usaha pertaniannya berhasil merupakan suatu bentuk kumpulan data yang besar, komplek dan perlu dianalisis secara *realtime*. Hasil analisis yang keluar kemudian dipergunakan sebagai penentu pengambilan keputusan oleh petani untuk menjamin agar produksi komoditas menjadi baik, lancar dijual dan mendapat keuntungan yang tinggi. Faktor-faktor penentu keberhasilan berproduksi sampai mendapatkan keuntungan yang tinggi setelah dijual merupakan kumpulan data dan informasi yang banyak sekali, variabilitasnya tinggi namun akan saling bertautan.

Data dan informasi tersebut juga akan disitribusikan sesuai keperluan/tindakan di lapangan dengan bantuan alsintan atau

teknologi lainnya. Oleh karena itu perlu suatu sarana untuk menyimpan, mengolah, menganalisis sampai sarana untuk mengambil keputusan yang tepat. Sarana tersebut dapat dikatakan sebagai perangkat pengambilan/penyimpanan, analisis, pengambilan keputusan dan pengelola data yang besar (*big data*). Sumber *big data* dapat berasal dari berbagai karakter agroekosistem, jenis-tipe-karakteristik komoditas, ciri sosial-ekonomi-budaya, dinamika situasi pasar, kebijakan, sistem *value chain* yang dikembangkan, dan lainnya. Data juga dapat bersifat dalam bentuk catatan berkesinambungan (*series*), insidentil dan *real time*, prediktif, dll. Penerapan *big data* pada sistem usahatani cerdas (*smart farming*) atau pertanian digital diantaranya adalah: (a) keterlibatan petani dalam sistem rantai nilai (*value chain*) terintegrasi sistem usahatani (SUT); (b) sistem kolaborasi petani dengan berbagai pemangku kepentingan SUT dalam pemilihan komoditas yang nilai jualnya tinggi. Beberapa contoh pengelolaan *big data* yang dikembangkan di luar negeri terkait dengan pertanian misalnya: (a) *agricultural meta data element set*, AgMES; (b) FarmOS.org; (c) *agribusiness data*, dll (Bose 2020). Beberapa model pemanfaatan sistem *big data* yang berkaitan dengan kegiatan pertanian digital juga telah dikembangkan oleh Badan Litbang Kementerian Pertanian, misalnya: (a) Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu Modern; (b) *Smart Feed Agrinak*; (b) UPJA *Smart Mobile*, aplikasi untuk jasa sewa alsintan; (c) Sapa Mektan, aplikasi perangkat lunak pengujian alsintan, dll.

Pertanian dan sistem pangan global akan mengalami tekanan berat dalam jangka waktu 20 tahun ke depan karena semakin menurunnya ketersediaan lahan dan air dibanding pertumbuhan manusianya. Beberapa strategi untuk menjaga keberlanjutan pemenuhan kebutuhan diantaranya adalah:

- Optimasi sumberdaya produktif pertanian

- Intensifikasi produksi di wilayah pertanian yang sumberdaya lahan atau air cukup, tetapi tingkat produksinya masih rendah (lahan kering, lahan rawa, dll)
- Perluasan produksi melalui sistem kontrol lingkungan seperti *urban farming*, rumah tumbuh tanaman terkendali (*screen/green house*), *indoor growing systems* yang kesemuanya tadi diutamakan untuk komoditas tanaman-tanaman bernilai ekonomi tinggi;
- Perbaikan genetik tanaman dan ternak untuk menghasilkan produksi hasil tinggi dengan daya tahan terhadap perubahan lingkungan, hama dan penyakit tinggi
- Peningkatan efisiensi masukan unsur pendukung produksi dan meminimalisasi limbah pertanian yang akan mewujudkan sistem rantai penyedia pangan (*food supply chain*).

Salah satu cara untuk mencapai dan menjalankan strategi tersebut adalah dengan menerapkan pertanian digital. Pertanian digital adalah kegiatan pertanian mulai dari penyiapan lahan, produksi, pasca panen, penyimpanan dan pemasaran beserta tatanan pengelolaannya yang masing-masing pelaksanaannya menggunakan dukungan data dan informasi digital melalui penggunaan teknologi komputer dan sistem informasi (Liang et al. 2002; Zhang et al. 2011). Alat dan mesin pertanian (alsintan) sebagai suatu teknologi pendukung sistem pertanian modern juga mengikuti perkembangan teknologi yang berkembang di sekitarnya yang tidak bisa terlepas dari pengaruh globalisasi teknologi yang selanjutnya mendorong inovasi-inovasi teknologi pertanian baru (Byerlee et al. 2009; van Es 2016).

Inovasi teknologi alsintan era digital atau penerapan teknologi 4.0 sudah merambah pada ranah alsin pra-panen (penyiapan

lahan sampai panen) dan pascapanen-prosesing, pengemasan, penyimpanan, distribusi, sampai teknologi pemasaran. Teknologi digital bidang pemasaran ditandai dengan banyak munculnya perusahaan-perusahaan *start-up* komoditas pertanian berbasis elektronik bisnis. Oleh karena itu konsep pertanian di masa yang akan datang harus mampu menerapkan teknologi hemat air, pertanian cerdas (*realtime*, presisi tinggi, dsb), kualitas produk tinggi dengan efisiensi produksi juga tinggi dan tidak menimbulkan dampak kerusakan lingkungan (Ozdogan et al. 2017). Hal tersebut dimungkinkan karena dengan teknologi pertanian digital akan mendorong terwujudnya peningkatan produksi secara optimal dan efisien oleh adanya interkoneksi sumberdaya pendukung usahatani dapat terealisasi secara cepat melalui dukungan sistem komputasi-pengambilan keputusan-aplikasi, khususnya pada era Teknologi 4.0 (Schawb 2016). Pertanian digital juga dicirikan sebagai usaha “menggelar” sistem komputasi dan teknologi informasi sebagai kunci pencapaian inovasi bidang pertanian. Contoh yang paling nyata pada pertanian digital adalah dalam bentuk pertanian presisi untuk mencapai produksi optimal, kadang bersifat individu, real time, hiper koneksi berbasis manajemen yang digerakkan oleh data (*data driven management*), menguntungkan dan bersifat berkelanjutan.

Dari keempat komponen utama teknologi 4.0 (*big data, internet of thing, cloud computing, robotic technology*) saat ini Balitbangtan Kementan telah merintis penerapannya dalam bentuk pertanian modern digital yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian atau Balai Besar lingkup kewenangannya. Sebagai contoh Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian (BBP Mektan), Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP), Puslitbang Peternakan telah merintis aplikasi pertanian digital berbasis Android sesuai mandat tugas pokok masing-masing seperti terlihat pada Gambar 52. Bahkan BBP Mektan telah berhasil mengembangkan prototipe-prototipe alsintan autonomus seperti traktor roda-4, robot mesin

tanam pindah bibit padi metode tanam Jajar Legowo 2:1, *smart green house* dan *drone* (UAV) penebar benih padi, penebar pupuk dan pestisida (Gambar 52).



Gambar 43. Penerapan Teknologi Digital pada Pertanian *Modern* oleh Balitbangtan

Sistem digitalisasi dalam pertanian modern untuk tanaman padi dengan dukungan teknologi alsintan robotik ataupun autonomus secara konseptual oleh PT AAS pernah di dirancang untuk diterapkan di Jawa Timur dengan luas hamparan 100 ha (Abi Prabowo et al. 2019). Konsep modernisasi pertanian mencakup kegiatan pra-panen (*Good Agriculture Practices, GAP*), pascapanen primer (*Good Handling Practices, GPP*) sampai tahap pengolahan hasil (*Good Phyto-Sanitary Practices, GPsP*) dan pemasaran produk beras yang mengikuti alur sistem rantai nilai (*value chain*) seperti terlihat pada Gambar 53. Rancangan *big data* alur rantai nilai mengikuti konsep yang dikembangkan oleh Chen et al. (2014).

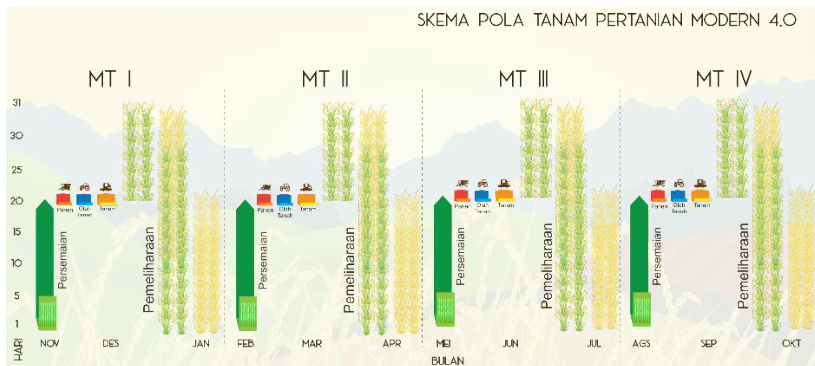


Gambar 44. Alur Rantai Nilai Yang Terangkum dalam Big Data Pertanian Modern Padi

Alsintan yang dipergunakan untuk mendukung kegiatan penerapan rantai nilai pertanian padi oleh PT AAS adalah:

- *Autonomos* mesin panen dan olah tanah secara terintegrasi, yaitu fungsi mesin multiguna sebagai alat panen sekaligus dipasang implemen rotari untuk mengolah tanah
- *Autonomus* traktor roda-4 untuk kegiatan finalisasi proses olah tanah agar dalam kondisi siap tanam
- Robot mesin pindah tanam bibit padi (*rice transplanter* padi, roda-4) metode tanam Jajar Legowo 2:1
- Drone/UAV penebar pupuk tipe butiran
- Drone/UAV penyemprot pestisida

Dengan penerapan berbagai macam mesin digital teknologi 4.0 tersebut di atas akan memunculkan IP = 4.0 dalam setahun (Gambar 54).



Gambar 45. Indeks Pertanaman Padi dalam Setahun dengan Penerapan Alsintan Berteknologi 4.0

Gambar 54 menunjukkan bahwa dengan penerapan alsintan berteknologi 4.0 dapat mempersingkat siklus tanam dalam setiap periode musim tanam (MT). Bahkan untuk memenuhi target penerapan konsep rantai nilai, yaitu selain mampu memproduksi padi yang baik serta berkelanjutan juga sampai melakukan kegiatan pemasaran yang menguntungkan maka kegiatan pascapanen dan pemasaran beras harus sudah dipikirkan. Konsep pemberasan dan jalur perberasan yang menguntungkan bagi petani oleh PT AAS diuraikan dalam bentuk bagan alir seperti terlihat pada Gambar 55 (Abi Prabowo et al. 2019).

Gambar 55 menjelaskan bahwa setelah panen (terjadi pada saat ini) padi yang diproduksi oleh petani langsung dijual kepada tengkulak di tingkat desa maka produksi gabah hanya dihargai sama atau sedikit di atas harga yang ditetapkan oleh pemerintah. Tengkulak desa biasanya adalah orang suruhan dari pemilik RMU atau di luar pemilik RMU. Dalam konsep pertanian modern padi di Indonesia, PT AAS akan memberikan bantuan dan penguatan lembaga UPJA mulai dari RMU sampai proses pemasaran agar teori rantai nilai dapat dijalankan. Apabila konsep rantai nilai bisa

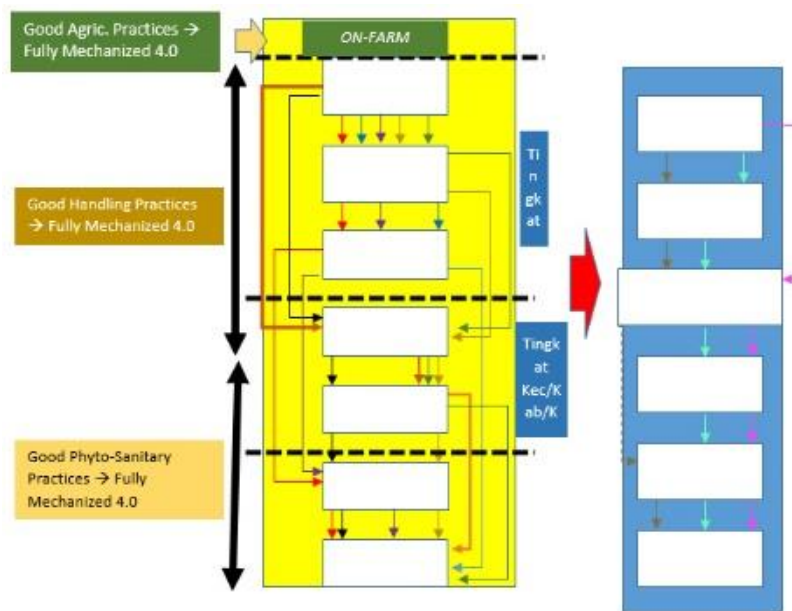
dijalankan maka UPJA akan menguasai jalur perberasan mulai dari petani produsen sampai ke koperasi pengecer (Gambar 54). Artinya rantai nilai perberasan modern dapat menguasai mulai dari GAP sampai GSP yang jelas akan menguntungkan pihak petani yang dalam GAP juga sudah menjalankan teknologi pendukung tercapainya IP=4.0. Namun demikian beberapa hal yang masih menjadikan kendala dalam penerapannya di lapangan adalah:

- a. Luas areal sawah minimal harus berukuran minimal 5000 m²/petak untuk mengefektifkan operasional setiap alsintan dalam hal mengurangi waktu hilang akibat banyak belokan, operasional drone tidak sering naik-turun, dll;
- b. Tersedia jalan usahatani untuk memudahkan perpindahan alsintan dari satu petak ke petak yang lain dengan tidak menimbulkan kerusakan petak tetangga. Manfaat jalan usahatani juga untuk mengurangi berjalannya alsintan selama dari gudang ke sawah yang dituju atau perpindahan antar petak. Hal ini untuk mengurangi keausan *track shoe* karet setiap alsintan. Demikian pula karena mobilitas setiap alsintan dipandu dengan bantuan GPS sehingga sebaiknya alsintan yang dipakai langsung didekatkan dengan lokasi sawahnya;
- c. Sarana drainase lahan harus berfungsi dengan baik agar pada saat akan dipanen tidak menjadikan mesin panennya tenggelam namun sudah cukup mudah diolah. Drainase air pada sawah juga diperlukan untuk menjaga kondisi pelumpuran yang optimal bagi kemudahan operasional robot tanam dan keseragaman tumbuh bibit yang dijatuhkan/ditanam oleh mesin transplanter;
- d. Sarana jaringan irigasi dan air irigasi harus berfungsi dengan baik untuk mendukung operasional alsintan setiap perpindahan MT, khususnya pada saat pengolahan tanah. Demikian pula air irigasi untuk mencukupi selama tanaman padi tumbuh sampai fase pemasakan biji;

- e. Penyediaan bibit padi yang cukup untuk mendukung operasional mesin transplanter. Pembibitan harus ditanam dalam nampan (*tray*) pembibitan agar bibit mudah diambil dan dipasang pada mesin transplanter. Nampan pembibitan mempunyai ukuran tertentu sesuai dengan fungsi mesin transplanter tipe Jarwo atau “tegel” (ukuran jarak tanam 30 cm x 30 cm). Kebutuhan bibit untuk mendukung operasional mesin transplanter antara 250–300 nampan/ha. Dibeberapa daerah sudah dijumpai dari penyediaan bibit dengan nampan bisa membuka bisnis pembibitan yang dilakukan oleh Poktan/Gapoktan/UPJA dengan harga jual di tingkat petani Rp 6.000/nampan. Mesin pembibitan padi untuk mesin transplanter juga sudah dibuat oleh BBP Mektan dan sudah dipakai oleh beberapa Poktan;
- f. Ketersediaan SDM yang andal dalam hal pengetahuan dan keterampilan untuk mengoperasikan dan merawat alsintan berteknologi 4.0. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan melakukan pelatihan dan pendampingan secara intensif dari sumber teknologi (BBP Mektan) bekerjasama dengan pabrikan alsintan yang ditunjuk untuk untuk memproduksi dan BPTP setempat;
- g. Keberadaan dan keandalan lembaga pengelola alsintan (UPJA/Gapoktan) yang berfungsi untuk melakukan jasa sewa alsintan agar berfungsi sebagai sarana bisnis kelompok. Jasa sewa alsintan akan dipermudah dengan penggunaan aplikasi UPJA Smart Mobile yang sudah bisa diakses oleh lembaga UPJA melalui Playstore. Oleh karena harga alsintannya mahal maka lembaga jasa sewa dalam mengoperasikannya harus berorientasi keuntungan. Demikian pula oleh karena alsintannya mahal sehingga harus tersedia gudang penyimpanan dan perbengkelan yang bisa mendukung operasi dan perawatan atau bahkan perbaikan ringan. Atas dasar

tuntutan yang ada tersebut lembaga UPJA selain menyediakan operator juga harus mempunyai teknisi bengkel alsintan.

- h. Peluang munculnya serangan OPT karena siklus rantai tanam padi tidak pernah terputus. Hal ini harus diimbangi dengan cara memilih varietas tahan serangan OPT yang tepat, penerapan cara pemberantasan OPT atas dasar ambang batas ekonomi, pemberantasan OPT menggunakan pestisida biologis dan ramah lingkungan;
- i. Proses konsolidasi lahan untuk mendukung operasional alsintan agar efektif dan efisien memerlukan proses sosialisasi kepada petani secara intensif dan pembuktian lapangan;
- j. Petani masih terpecah pendapatnya antara memilih alsintan berteknologi 2.0 dan 4.0 atau untuk petani muda tetapi kurang modal mulai melakukan kombinasi keduanya. Adanya beberapa pilihan penggunaan teknologi alsintan justru menjadi bahan pembelajaran PT AAS dalam hal seberapa lama proses akan berlangsung, teknologi 4.0 mana yang paling disenangi petani dan bagaimana cara pengembalian biaya investasi bagi perusahaan;
- Untuk menjamin kelancaran bisnis pemasaran beras secara berkelanjutan, perusahaan harus menyiapkan: 1) gudang penyimpanan gabah maupun beras setelah diproses; b) membangun jejaring bisnis penjualan beras secara terus-menerus dan pasti, misalnya: Toko Tani, beberapa Pemda sebagai beras jatah pegawainya; dan c) jejaring permodalan, misal: bank.



Gambar 46. Alur Perberasan dari Petani Produsen Sampai Pedagang Pengecer

Keberlanjutan Pertanian Modern Digital

Salah satu ukuran keberlanjutan dalam bidang pertanian dimaknai sebagai sistem pengelolaan pertanian secara terpadu yang mampu meningkatkan produktivitas lahan setiap tahunnya tanpa mengakibatkan penurunan kualitas dan kuantitas sumberdaya lahan serta unsur hayati disekitarnya. Keberhasilan pertanian berkelanjutan ditentukan oleh banyak faktor yang bersifat multi-dimensi, saling terkait dan berinteraksi serta tidak menentu kejadiannya (stokastik). Secara umum keberlanjutan pertanian modern yang didukung dengan penerapan alsintan secara masif dapat bersifat:

- a. Keberlanjutan teknologi usahatani yang terkait dengan pemahaman tentang:
- pilihan jenis-tipe-varietas tanaman atau ternak;
 - pengendalian hama dan penyakit yang berorientasi pada kelestarian ekosistem;
 - pemanfaatan unsur tanah, air dan atmosfer berasas konservasi
 - keberadaan dan adopsi pengetahuan dan kearifan lokal
- b. Keberlanjutan ekonomi dalam bentuk usaha agribisnis dan agroindustri lokal yang ditentukan oleh:
- Ciri smart bukan hanya dalam hal pilihan kecanggihan teknologi tetapi juga kesesuaian selektivitas antara komoditas – agroekosistem – sosial – ekonomi - teknologi agar tercapai efisiensi, efektivitas, profitabilitas optimal
 - Ketersediaan dukungan fasilitas produksi dan pemasaran
 - Kondisi sosial, budaya termasuk tatanan masyarakat berdasar kearifan lokal
 - Tatanan regulasi, kebijakan maupun politik lokal-regional yang berlaku
- c. Keberlanjutan lingkungan pertanian yang sangat dipengaruhi oleh:
- Laju alih fungsi lahan
 - Degradasi sumberdaya air dan persaingan pemanfaatannya
 - Fenomena perubahan iklim global

- Penanganan limbah pertanian dan penerapan konsep pertanian *zero-waste* dengan penekanan pada minimalisasi masukan produksi dari luar sistem usahatani (*Low External Input Sustainable Agriculture*, LEISA)

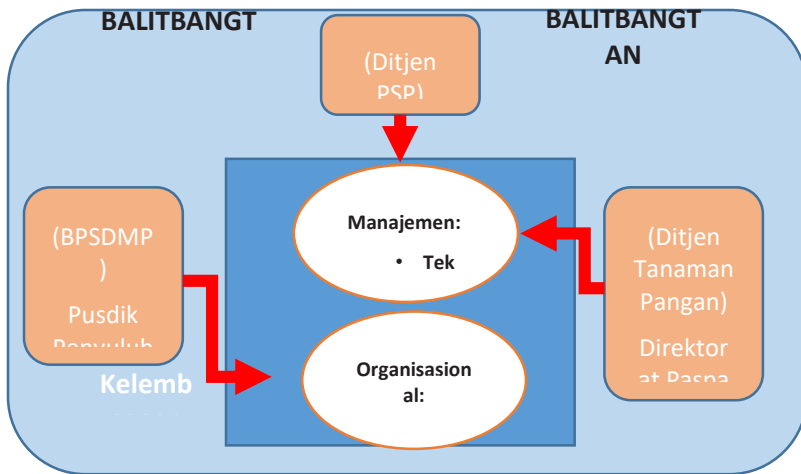
d. Keberlanjutan teknologi alsintan:

- Minimalisasi penggunaan bahan bakar fosil dengan alternatif sumber energi bio-energi atau sinar matahari sebagai penggantinya
- Minimalisasi pencemaran lingkungan dari buangan limbah cair, gas, padat alsintan atau limbahnya bersifat mudah didaur ulang dan dapat dimanfaatkan kembali

e. Prasyarat keberlanjutan penerapan teknologi IoT:

- Adanya regulasi dari pemerintah yang bersifat *reliable* dan *durable* untuk pengaturan standar frekuensi, perangkat lunak dan teknologi komponen dalam negeri (TKDN)
- Kesiapan infrastruktur pendukung
- Kesiapan sumberdaya manusia
- Meningkatkan kualitas data

Belajar dari pengalaman pemberian bantuan alsintan ke masa datang agar bisa dimanfaatkan secara penuh dan berkelanjutan di tingkat petani maka diperlukan sinergi secara nyata, benar dan saling mendukung antar tiga direktorat dari ketiga Direktorat Jenderal. Sinergi tersebut dipandu oleh Badan Litbang di tingkat Kementerian Pertanian dengan skenario pelaksanaan seperti terlihat pada Gambar 56.



Gambar 47. Sinergitas antara BPSDMP, Ditjen PSP, Ditjen TP dan Balitbangtan dalam Upaya Mengoptimalkan Bantuan Alsintan

PENUTUP

Mekanisasi pertanian dengan alsintan sebagai suatu bentuk teknologi tidak dapat terlepas dari pengaruh perkembangan teknologi yang ada. Oleh karena itu setiap perkembangan yang ada harus segera diantisipasi dengan menyesuaikan teknologi mutakhir pada jamannya. BBP Mektan sebagai unit teknis dari Balitbangtan bertanggung jawab penuh terhadap setiap perubahan teknologi yang terjadi dan sedapat mungkin sebagai *leading institution* di Indonesia. Telah banyak produk teknologi alsintan yang telah dihasilkan oleh BBP Mektan dipakai di tingkat petani. Penjabaran visi ke depan peran BBP Mektan dalam penelitian dan pengembangan mekanisasi pertanian akan memanfaatkan wadah Komisi Mekanisasi Pertanian yang mewadahi semua *stakeholders* alsintan mulai dari unsur pemerintah (kementerian dan perguruan tinggi), pakar, swasta (perusahaan pembuat dan pengguna) serta perwakilan petani

(UPJA). Komisi Mekanisasi Pertanian diketuai secara *ex-officio* oleh Kepala Balitbangtan dengan wakil Ditjen PSP. Pengenalan teknologi dan penyebaran informasi ke luar negeri, BBP Mektan menjadi anggota dan perwakilan negara pada lembaga mekanisasi pertanian internasional *United Nations Asian and Pasific Centre for Agricultural Engineering and Machinery* (UNAPCAEM) yang berubah nama menjadi *Centre for Sustainable Agricultural Mechanization* (CSAM) yang beranggotakan 62 negara se Asia-Pasific yang tergabung dalam anggota-anggota ESCAP.

DAFTAR PUSTAKA

- Prabowo, A., A. A. Sulaiman, A. N. Alamsyah, A. Prabowo, FX. L. T. Mulyantara. 2019. Laporan Akhir Kegiatan PT AAS tahun 2019.
- Akdemir, B. 2013. Agricultural Mechanization in Turkey. Science Direct Elsevier, IERI Procedia 5(2013): 41-44
- Arifin, B. 2005. Pembangunan Pertanian: Paradigma Kebijakan dan Strategi Revitalisasi. Penerbit Grasindo. PT Gramedia Widiasarana Indonesia. Jakarta 2005
- BAPPENAS, 2006. Profil Pangan Dan Pertanian 2003-2006. Direktorat Pangan dan Pertanian. Kementerian Negara Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. Penerbit BAPPENAS, 2006
- Biro Perencanaan Depertemen Pertanian. 1996. Identifikasi dan Analisis Pemanfaatan Tenaga Mekanis dalam Pengembangan Usaha Pertanian
- Bose, D. 2020. Big Data Analytics in Agriculture. Letterkenny Institute of Technology, Donegal, Ireland.
ResearchGate,
<https://www.researchgate.net/publication/339102917>
- Burak, O., A. Gacar, and H. Aktas. 2017. Digital Agriculture Practices in The Context of Agriculture 4.0. Journal of Economics Finance and Accounting. Vol.4, Issues 2, 2017. DOI:10.17261/Pressacademia.2017.448. JEFA-V.4-ISS.2-2017(13)-p.184-191

- Byerlee, D., A. de Janvry, E. ve Sadoulet. 2009. Agriculture for Development: Toward a New Paradigm, *Annual Review of Resource Economics*, 1, 15-31.
- Chen, M., S. Mao, Y. Liu. 2014. Big Data: a survey. *Mobile Netw Appl* 19, 171–209.
- Li, W., X. Wei, R. Zhu, and K. Guo. 2018. Study on factor of affecting the agricultural mechanization level in China based on structural equation modeling. *MDPI-Sustainability*. Vol. 1, Issues 1. December 2018
- Ozdogan, B., A. Gacar, H. Aktas. 2017. Digital Agriculture Practices in the Context of Agriculture 4.0. *Journal of Economics, Finance and Accounting*. Vol. 2, Issue 2. 2017. Published by PressAcademia, <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.448>
- Purnomo, H., Senoadji, Soedjatmiko, T. Handaru. 1993. *Konsepsi Jangka Panjang Mekanisasi Pertanian di Indonesia*. Pertemuan Nasional Mekanisasi Pertanian. Jakarta.
- Saliem, H. P., K. Kariyasa, H. Mayrowani, A. Agustian.S. Friyatno, dan Sunarsih. 2015. *Prospek Pengembangan Pertanian Modern Melalui Penggunaan Teknologi Mekanisasi Pertanian pada Lahan Padi Sawah*. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian.
- Setjen Departemen Pertanian. 1992. *Dinamika Pembangunan Enjinerling Pertanian: Suatu Kajian Masa Transisi*.
- Setyanto A., B. Irawan. 2014. *Kinerja Pembangunan Pertanian: Evaluasi 2004–2014 dan Implikasinya*. (Eds.) Haryono, Effendi Pasandaran, Muchjidin Rachmat, Sudi Mardianto, Sumedi, Handewi P. Salim dan Agung Hendriadi. Reformasi Kebijakan Menuju Transformasi Pembangunan Pertanian. IAARD Press. 2014

- Soedjatmiko. 2003. Awal dan Kejayaan Enjinering Pertanian Indonesia: Pengabdian dan Kepribadian Tidak Bergaris Pemisah. Bahan Diskusi Pertemuan Antar Generasi Mekanisasi Pertanian. Pondok Mino, Yogyakarta, 2003.
- Schawb, K. 2016. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum.
- Tayibnapis, A. Z. 2018. Meningkatkan Daya Saing Pabrik Gula Di Indonesia Era Masyarakat Ekonomi Asean; Jurnal Riset Ekonomi Dan Manajemen, 16 (2), 225- 236.
- Ulger, P., E. Guzel, and B. Akdemir. 2011. Principles of Agricultural Machines. 2011. 3thEd. Hyper Link
- Zhang, Y. 2011. Design of The Node System of Wireless Sensor Network and Its Application in Digital Agriculture, Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), 2011 International Conference on (pp. 29- 35). IEEE.

EPILOG

LINGKUNGAN STRATEGIS MENDUKUNG KEBIJAKAN PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Haryono Soeparno, Rusman Heriawan, Achmad Suryana

PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Perdebatan tentang pertanian berkelanjutan bukanlah hal baru dan banyak pihak bersepakat bahwa praktek berkelanjutan di bidang pertanian sangat penting dan strategis bagi masa depan pertanian Indonesia. Pada saat yang sama, ada anggapan bahwa praktek pertanian yang berkelanjutan dinilai masih jauh dari harapan terutama bila dikaitkan dengan petani rakyat (*smallholders*) yang menjadi ciri khas pertanian Indonesia. Perdebatan tentang pertanian keberlanjutan dimulai pada 1950-an dan 1960-an. Pada saat itu, pertanian mengalami revolusi hijau. Varietas tanaman ditingkatkan, manajemen dimodifikasi, dan penggunaan input eksternal (misalnya, pupuk, biopestisida) menyebabkan peningkatan hasil panen dan produksi pangan. Namun demikian, efek samping yang tidak disengaja dan tidak terpikirkan sebelumnya muncul di kemudian hari dalam bentuk berbagai dampak kerusakan lingkungan. Sumber daya alam terancam, dan berbagai bentuk degradasi lingkungan menjadi nyata (misalnya, polusi udara dan air, penipisan tanah, hilangnya keanekaragaman hayati). Dalam situasi ini, masalah

lingkungan muncul, dan pendekatan alternatif untuk memberikan solusi menjadi tantangan baru. Pertanian konvensional digambarkan oleh para pakar sebagai tidak berkelanjutan, oleh karena itu, alternatif untuk pertanian konvensional adalah pertanian berkelanjutan. Di sinilah pengertian pertanian berkelanjutan sebagai alternatif bentuk pertanian atau ideologi berawal. Perdebatan tentang pertanian berkelanjutan bermuara pada prinsip, perspektif baru yang mengarah pada pertanian berkelanjutan dipahami sebagai konsep yang mendiskripsikan sistem secara holistik.

Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia serta dengan laju pertumbuhan penduduk yang masih terus bertambah dari tahun ke tahun akan selalu menghadapi tantangan bahkan ancaman terhadap pemenuhan kebutuhan dasar bagi penduduknya. Ini tentu saja termasuk upaya untuk memenuhi kebutuhan pangan penduduk yang semakin besar. Indonesia juga berkomitmen melaksanakan kebijakan atau program untuk memenuhi 17 target keberlanjutan yang tertuang dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang telah menjadi kesepakatan pembangunan global. Pertanian berkelanjutan juga tercantum dalam RPJM 2020-2024 yang menjadi acuan arah pembangunan pertanian ke depan. Lebih lanjut upaya mewujudkan pertanian modern berkelanjutan khususnya di sektor hulu (*on-farm*) dilakukan melalui peningkatan produktivitas lahan, efisiensi produksi dan nilai tambah dengan menjaga kelestarian lingkungan. Pelaksanaan pembangunan ini dilakukan dengan memanfaatkan teknologi modern berbasis informasi dan digital yang berkembang saat ini. Tantangan yang dihadapi adalah bagaimana pertanian modern mendorong terwujudnya ketangguhan ekonomi, sosial, ekologi sebagai refleksi kesejahteraan masyarakat petani.

Di sisi lain, Indonesia juga mengalami banyak permasalahan dalam memproduksi pangan. Pemenuhan kebutuhan pangan di

Indonesia dihadapkan pada lima hal yaitu kendala sumber daya alam, perubahan iklim, dominasi usahatani dengan skala kecil, ketidakseimbangan produksi pangan antar wilayah dan proporsi kehilangan hasil panen dan pemborosan pangan masih cukup tinggi. Dari segi sumberdaya manusia pertanian, berdasarkan data Sensus Pertanian selama kurun waktu 10 tahun (2003-2013), jumlah petani semakin berkurang sebanyak lima juta. Sekitar 60,8% petani berumur diatas 45 tahun dengan 73,97% berpendidikan sampai SD, dan kapasitas menerapkan teknologi baru yang rendah. Jumlah generasi muda atau yang sering disebut milenial cukup banyak sekitar 90 juta, namun mereka kurang berminat bekerja di sektor pertanian. Sementara itu persyaratan sumber daya manusia untuk mengimplementasikan pertanian modern di era industri 4.0 harus mampu menguasai tiga literasi yaitu data (kemampuan membaca, menganalisis dan memanfaatkan informasi big data dalam dunia digital), teknologi (memahami cara kerja mesin, aplikasi teknologi dan manusia (*humanities*, komunikasi dan desain). Karakteristik seperti ini dimiliki oleh generasi milenial atau generasi Y, yaitu generasi milenial yang menyukai bekerja dalam suatu jaringan komunikasi dengan menggunakan multimedia. Selain itu, masih ada kesenjangan antara komunitas ilmuwan-peneliti dengan komunitas pembuat kebijakan, bisnis dan masyarakat umum berdampak negatif pada pelaksanaan pembangunan pertanian.

Pembangunan pertanian selain penghasil utama bahan pangan, juga dituntut untuk menghasilkan bahan non-pangan pengganti bahan baku hidrokarbon yang berasal dari fosil bagi industri. Oleh karena itu, tindakan progresif dan komprehensif sangat dibutuhkan dan perlu segera diintensifkan untuk mengurangi ketergantungan pasokan energi dan bahan baku industri dari bahan fosil. Secara terinci urgensi menerapkan pertanian dengan memperhatikan aspek keberlanjutan menuju revolusi hayati : (1) Kelangkaan energi asal fosil; dan urgensi sumber energi baru dan

terbarukan (bio-energi), (2) Peningkatan kebutuhan pangan, pakan, energi dan serat; dan urgensi pengembangan bio-produk, perubahan pola hidup, pola konsumsi, (3) Perubahan iklim global dan internalisasi dalam sistem ekonomi politik; dan urgensi peningkatan kapasitas adaptasi dan mitigasi sistem pertanian, (4) Peningkatan kelangkaan sumber daya lahan dan air; dan urgensi serta peluang pengembangan pertanian ekologis, kualitas lansekap pertanian (5) Peningkatan permintaan terhadap jasa lingkungan dan jasa *amenity*; urgensi dan peluang pengembangan pertanian ekologis, kualitas lansekap pertanian, (6) Peningkatan jumlah petani marginal; urgensi pengembangan sistem pertanian agroekologi terpadu).

Berdasarkan konsep ini, Badan Litbang Pertanian mengembangkan Model Pertanian Bioindustri sejak tahun 2015 di seluruh provinsi. Dalam implementasinya, sebagian besar dilakukan dengan mengintegrasikan ternak dan tanaman sesuai dengan potensi di masing-masing wilayah, namun ada juga yang melakukan pertanian bioindustri secara monokultur. Program bioindustri yang mengedepankan pertanian berkelanjutan ini dikembangkan dengan memanfaatkan pertanian presisi dan digitalisasi pertanian. Untuk mendukung hal tersebut, Kementerian pertanian bekerjasama dengan Kementerian Komunikasi dan Informasi menginisiasi digitalisasi pada sektor strategis pertanian yaitu pertanian presisi, hub digital pertanian, keuangan mikro pertanian dan lelang pertanian digital. Digitalisasi pertanian ini diharapkan memberikan dampak positif pada pelaku pertanian diantaranya meningkatkan produktivitas pertanian dan akses permodalan, memperpendek rantai pasok pertanian dan meningkatkan kesejahteraan petani.

Walaupun diakui, penerapan pertanian modern berkelanjutan tidak dapat dilakukan secara masal untuk seluruh wilayah Indonesia. Hal ini dikarenakan karakteristik wilayah dan sumber daya manusia yang beragam, termasuk budayanya. Dalam

menerapkan pertanian modern berkelanjutan, arah perubahan tidak sepenuhnya mengabaikan kearifan lokal dan nilai-nilai tradisional, namun memanfaatkan kearifan lokal tersebut sebagai salah satu elemen usahatani regeneratif dan sebagai rambu-rambu yang luwes dalam proses pembentukan sistem usahatani regeneratif berkelanjutan. Penerapan pertanian modern ini membutuhkan modal yang banyak untuk penciptaan teknologi/invensinya terutama teknologi untuk usahatani sampai aplikasi digitalnya secara keseluruhan. Penguasaan dan penerapan teknologi ini akan dengan cepat diadopsi oleh generasi milenial. Penerapan pembangunan pertanian modern berkelanjutan dilakukan berbasis ekoregion terutama pada daerah DAS dan *agroforestry*. Secara prinsip pelaksanaannya dilakukan berbasis komunitas, tidak sendiri-sendiri, dalam kawasan dengan manajemen dan kelembagaan yang kuat serta bersinergi dan bermitra.

Implementasi pertanian modern berkelanjutan membutuhkan Iptek yang khusus, yang berbeda dengan alsintan yang selama ini digunakan. Oleh karena itu, penerapan pertanian modern ini harus dipersiapkan sebaik mungkin tidak hanya inovasi berupa teknologi atau kelembagaan namun juga kebijakan dan regulasinya. Pemerintah sudah mencantumkan *Making Indonesia 4.0* dalam RPJM 2020-2024 yang dapat menjadi dasar untuk penyusunan kebijakan termasuk *roadmap* pembangunan pertanian modern. Kemudian dilengkapi dengan regulasi yang mengikat bagi pelaksana sesuai dengan keperluannya. Pelibatan generasi muda di bidang pertanian terus dilakukan seiring dengan upaya meningkatkan ketersediaan teknologi pertanian modern. Penerapan pertanian modern berkelanjutan dilakukan secara selektif wilayah dengan basis ekoregion, komunitas dan konektivitas, bermitra, serta dengan manajemen dan kelembagaan yang kuat. Selain itu dalam implementasi juga dilakukan tindakan secara progresif dan komprehensif.

Secara ringkas, pembangunan pertanian modern terlanjutkan mengarah kepada perancangan sistem agronomi baru yang selalu beradaptasi mengikuti dinamika perkembangan inovasi teknis dan teknologi, lingkungan dan ekosistem, sosial-budaya dan ekonomi serta lingkungan politis dan kebijakan. Sistem agronomi dan usahatani modern tersebut diharapkan mampu meminimalisir sikap dan tindak konsumsi berlebih (*overconsumption*) yang berdampak negatif terhadap sumber daya pertanian dan lingkungan. Menurunkan sikap dan tindak konsumsi berlebih tersebut selain ditujukan untuk meningkatkan produksi pangan guna kesejahteraan masyarakat, juga diharapkan mampu memelihara lingkungan dan sumber daya pertanian dan lahan serta meningkatkan upaya konservasi lahan guna mendukung kepentingan yang berkaitan dengan kualitas peri kehidupan masyarakat.

Dukungan Lingkungan Strategis

Perkembangan lingkungan strategis baik nasional maupun global, sangat berpengaruh dan sekaligus sebagai pijakan penting menuju pembangunan pertanian modern berkelanjutan. Membangun pertanian modern berkelanjutan memerlukan dukungan kebijakan dan berbagai regulasi atau tata peraturan formal serta dukungan politis yang kuat. Pembangunan pertanian modern berorientasi pada peningkatan kesejahteraan petani melalui pengembangan komoditas yang dibutuhkan pasar, atau bahkan menciptakan pasar komoditas yang diproduksi petani. Sikap untuk meningkatkan kesejahteraan petani harus dilengkapi dengan kemampuan untuk melihat celah atau momentum pasar terhadap jenis komoditas yang dibutuhkan, kapan, kuantitas yang diminta, dan kualitas komoditas yang diminta pasar. Guna mencapai kondisi demikian diperlukan upaya yang keras dan serius guna mencapai swa sembada komoditas yang bernilai

tinggi yang mampu memenuhi keinginan dan permintaan konsumen global dan nasional. Pertanian modern juga harus mampu menghasilkan komoditas berdaya saing tinggi melalui penerapan inovasi teknologi yang mendukung pelaksanaan kegiatan produktif sektor menjadi lebih efektif dan efisien. Lebih jauh lagi diperlukan suatu sistem komunikasi antara penyusun kebijakan dan pelaku utama sektor pertanian dalam rangka edukasi masyarakat petani tentang pentingnya keselarasan dan nilai pembangunan pertanian modern.

Pemerintah menetapkan sasaran nasional pada RPJM 2020-2024. Beberapa hal penting terkait dengan pertanian berkelanjutan dan pertanian modern dalam RPJM 2020-2024 diantaranya sebagai berikut: a) untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang berkualitas dilakukan dengan transformasi struktural yang salah satunya melalui transformasi pertanian untuk meningkatkan produktivitas lahan dan memperkuat nilai tambah pertanian, b) pertumbuhan ekonomi berwawasan lingkungan yang diarahkan untuk mempertahankan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, target penurunan dan intensitas emisi serta kapasitas daya dukung sumber daya alam dan daya tampung lingkungan hidup saat ini dan masa depan, c) salah satu prinsip dasar pembangunan nasional dengan menjaga keberlanjutan (keadilan antara generasi, perlindungan keanekaragaman hayati), d) meluncurkan gerakan *Making Indonesia 4.0* sejalan dengan era digitalisasi yang memfasilitasi pengintegrasian informasi untuk tujuan peningkatan produktivitas, efisiensi, dan kualitas layanan. Pembangunan ekonomi dan pertanian harus dilakukan dengan menggunakan sumber daya alam secara efisien dengan memanfaatkan inovasi modern yang sedang berkembang saat ini.

Pemerintah akan terus menciptakan *enabling environment* baik infrastruktur, insentif yang diperlukan dan regulasi yang memadai untuk mendorong proses transformasi secara kondusif, konsisten dan berkelanjutan. Mengingat penerapan teknologi ini

memerlukan proses yang lama, dari penciptaan/pengembangan teknologi (budidaya, produksi, distribusi serta pemasaran dan konsumen) dalam satu kesatuan pengembangan sehingga data dan informasi akan diperoleh secara *real time*. Selain itu juga penyiapan sumber daya pelaksana, penyediaan fasilitas, regulasi dan pengelolaan usahatani. Pemerintah menyusun *roadmap* pengembangan pertanian modern berkelanjutan dan dijabarkan dalam rencana aksi yang dilakukan untuk setiap tahun. Dalam *roadmap* menyajikan tahapan kegiatan berdasarkan waktu, pelaksana, sumber dana, pewilayahan (tidak semua wilayah siap untuk menerapkan pertanian modern) dan lain-lainnya. Pengembangan teknologi harus dirancang dengan seksama. Badan Litbang Pertanian mempunyai kewenangan dan sumber daya akan terus merancang dan sekaligus mendesiminasikan inovasinya di lapangan. Pengembangan inovasi dilakukan bekerjasama dengan lembaga litbang lainnya, perguruan tinggi dan pihak swasta baik didalam negeri maupun luar negeri dengan spirit *open science open innovation*.

Dalam upaya meningkatkan kesejahteraan petani melalui pembangunan pertanian modern diperlukan dukungan inovasi pertanian secara berkelanjutan. Inovasi teknologi, inovasi kelembagaan, dan dukungan inovasi eksternal telah terbukti mampu mengubah sistem pertanian tradisional menjadi pertanian maju sebagaimana ditunjukkan dalam proses revolusi hijau yang memanfaatkan inovasi teknologi secara masif. Adopsi inovasi teknologi dapat terjadi melalui proses difusi atau melalui proses induksi. Adopsi inovasi dapat dilakukan melalui strategi pembelajaran kolektif yang diawali dengan proses fasilitasi terhadap kemampuan individu petani, dan diteruskan ke kelompok masyarakat menjadi pembelajaran kolektif. Strategi pembelajaran kolektif melalui jejaring kemitraan dapat menciptakan sistem masyarakat belajar yang memanfaatkan sarana belajar dari bahan lokal yang direkayasa secara dinamis

sesuai dengan kebutuhan proses pembelajaran. Selain itu, inovasi teknologi konservasi dan pengelolaan sumber daya dapat memainkan peran penting guna menjaga keberlanjutan sistem pertanian modern yang diharapkan akan berkembang di Indonesia.

Mewujudkan pertanian modern berkelanjutan memang tidak mudah tetapi juga suatu keniscayaan. Banyak hal perlu dibenahi dan ditata ulang, terutama terkait SDM pertanian, investasi teknologi digital, perubahan kultur budidaya konvensional di tingkat petani, dan manajemen mikro dan makro pertanian. Transformasi ke arah pertanian yg modern dan berkelanjutan sudah menjadi trend global yang memerlukan perhatian kita bersama, agar pertanian Indonesia tetap tampil dan mampu beradaptasi dengan dinamika perubahan lingkungannya.

INDEKS

A

Adopsi, 7, 69, 273, 318, 548
Agriculture War Room, xviii, 217, 235
Air, xi, xix, xx, xxi, 17, 111, 192, 338, 434, 459, 462, 464, 467, 470, 474, 476, 478, 479, 480, 488, 492, 517, 518, 562
Akses, 110, 131, 195, 365, 387
Alsintan, xv, xxi, 276, 499, 504, 505, 508, 509, 510, 512, 513, 514, 516, 517, 518, 519, 525, 526, 533
Artificial Intelligent, 362
AWR, 217, 219, 235, 422, 423, 424, 426, 427, 460

B

Balitbangtan, vii, viii, xix, xxi, 31, 32, 34, 39, 41, 48, 49, 67, 87, 88, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 105, 150, 152, 154, 166, 174, 196, 225, 226, 247, 249, 259, 276, 279, 280, 293, 294, 299, 303, 305, 312, 314, 349, 397, 408, 503, 504, 512, 514, 515, 523, 524, 533, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565
Benih, 68, 517, 518
Berkelanjutan, iv, vi, vii, ix, x, xi, xiii, xvii, 16, 17, 18, 19, 24, 26, 29, 35, 36, 37, 61, 86, 105, 143, 221,

274, 275, 315, 316, 321, 338, 345, 354, 355, 360, 361, 377, 401, 402, 403

Big data, 194, 400, 491, 494
Bioteknologi, 151, 192, 194, 206, 562
Blockchain, 73, 103, 194, 212, 238

C

Cloud Computing, 207, 212, 362, 495
Covid-19, 71, 111, 272, 280, 315, 321, 322, 334, 335, 341, 356, 405, 516

D

Database, 167, 419
Degradasi, 66, 68, 76, 111, 531
Digital, x, xiii, xvii, xix, xxi, 23, 34, 52, 60, 61, 62, 100, 103, 104, 142, 181, 208, 242, 247, 249, 253, 384, 397, 398, 399, 401, 402, 403, 412, 428, 429, 461, 470, 524, 530, 535, 536, 537
Digitalisasi, x, xi, 20, 30, 56, 109, 224, 308, 376, 380, 394, 417, 422, 467, 544
Diversifikasi, 316
Drone, 194, 214, 237, 525

E

Ekonomi, xvii, xviii, xix, 3, 11, 17, 19,
36, 50, 103, 104, 106, 107, 108,
110, 111, 200, 203, 251, 253,
255, 274, 284, 301, 319, 323,
362, 365, 384, 410, 463, 536,
537, 557, 558, 559, 560, 561,
562, 565, 566
Ekosistem, xiii, 17
Enabling, 104

F

Farming, xix, xxi, 28, 60, 108, 110,
208, 247, 248, 249, 252, 273,
274, 362, 381, 382, 397, 404,
428, 429, 461, 488, 490

G

Generasi, xix, 32, 34, 229, 230, 242,
246, 247, 263, 384, 385, 537
Global, 47, 61, 62, 70, 107, 108, 177,
183, 207, 275, 353, 428, 472,
473, 481
Globalisasi, 206, 320, 354

H

Hidroponik, 22
Hilir, xi
Hulu, xi, 258, 465

I

Iklim, xi, 112, 200, 236, 463, 470,
474, 476, 480, 488, 492, 562
industri, vii, 12, 13, 15, 20, 21, 22,
25, 27, 29, 41, 71, 72, 75, 77, 79,
80, 81, 87, 89, 100, 171, 172,
188, 193, 203, 207, 211, 217,
221, 224, 232, 242, 257, 268,

269, 270, 277, 278, 279, 280,
281, 282, 283, 286, 289, 290,
291, 292, 293, 294, 296, 297,
298, 301, 304, 305, 306, 307,
308, 309, 310, 312, 315, 316,
317, 320, 322, 329, 344, 347,
363, 366, 367, 383, 391, 406,
501, 504, 506, 507, 508, 518, 543
Industri, x, xiv, xvii, xviii, xxi, 3, 20,
23, 48, 81, 103, 142, 203, 204,
206, 207, 210, 211, 213, 217,
218, 221, 235, 241, 245, 250,
274, 276, 278, 279, 281, 282,
284, 289, 307, 311, 312, 315,
316, 317, 318, 328, 402, 411,
464, 488, 495, 501, 519
Informasi, x, xx, xxi, 30, 195, 215,
235, 251, 271, 311, 409, 411,
412, 413, 415, 417, 419, 421,
422, 423, 426, 427, 429, 444,
445, 446, 447, 456, 458, 465,
471, 476, 478, 479, 482, 484,
486, 487, 488, 494, 521, 544, 562
Infrastruktur, 102, 387, 429
Inovasi, ix, x, xiii, xv, xvii, xix, 7, 36,
37, 46, 47, 49, 51, 52, 54, 76, 77,
79, 80, 89, 90, 91, 92, 97, 98,
111, 142, 148, 196, 199, 257,
258, 272, 273, 274, 275, 276,
315, 317, 362, 370, 372, 373,
375, 401, 402, 403, 494, 522, 548
Integrated Intelligent System, xi, xx,
432, 438
Internet, xiv, 22, 78, 92, 105, 194,
207, 212, 224, 228, 231, 236,
247, 256, 259, 272, 352, 362,
368, 403, 408, 418, 438, 460,
462, 469, 493
Internet of thing, 22, 92

K

KATAM, 31, 423, 445, 447, 450, 460

Kawasan, 64, 219, 333, 349, 383
Keblerlanjutan, xx, 215, 276, 433,
530, 531, 532
Kebijakan, xi, 3, 5, 11, 12, 28, 32,
34, 36, 37, 48, 70, 71, 105, 108,
110, 112, 142, 200, 203, 236,
255, 276, 306, 307, 308, 312,
316, 317, 319, 340, 343, 344,
348, 350, 353, 355, 389, 402,
408, 412, 413, 426, 429, 535,
536, 557, 558, 559, 561, 562,
565, 566

Kelembagaan, x, xviii, 37, 46, 105,
251, 258, 260, 261, 266, 267,
272, 275, 276, 561

Kesejahteraan, xiii, 17, 111, 142,
364, 402

Konsumen, x, xviii, 25, 81, 166, 171,
173, 279, 286, 287, 330, 332,
344, 345, 347

Konvensional, xiii, 109, 165, 276

L

Lahan, xi, xv, xix, xx, 17, 18, 67, 72,
76, 77, 111, 112, 185, 186, 237,
250, 275, 338, 405, 411, 413,
428, 431, 433, 438, 444, 445,
447, 450, 453, 455, 456, 461,
463, 465, 471, 492, 493, 495,
523, 536, 558, 560, 562, 563

Lingkungan, xi, xvii, 19, 88, 189,
300, 301, 302, 336, 338, 463,
546, 559, 560

M

Maju, v, 364

Mandiri, v, 364

Mekanisasi, xv, 495, 497, 503, 505,
508, 509, 511, 515, 523, 533,
536, 537, 557, 559, 563

Milenial, 34, 229, 230, 242, 247

Modern, iv, v, vi, vii, ix, x, xi, xiii, xvii,
xix, xxi, 20, 22, 23, 24, 26, 34, 36,
37, 43, 60, 61, 62, 86, 142, 206,
207, 247, 250, 273, 274, 276,
311, 315, 316, 338, 345, 364,
365, 401, 402, 415, 463, 519,
521, 524, 525, 530, 536
Modernisasi, vi, vii, ix, x, xi, xiv, 4, 7,
24, 58, 82, 83, 105, 203, 205,
216, 217, 218, 220, 251, 252, 253

O

Organik, xviii, 260, 273, 274, 275,
276, 332, 353, 355

Otomatisasi, 72, 91, 92, 107

P

Pandemi, 280, 288, 305, 306, 316,
334, 356

Pangan, x, xiii, xiv, xvii, xviii, xix, 17,
36, 48, 63, 103, 105, 106, 108,
109, 110, 111, 112, 131, 147,
148, 152, 155, 167, 180, 185,
189, 194, 200, 249, 250, 274,
275, 277, 281, 282, 284, 289,
295, 315, 316, 323, 324, 326,
328, 332, 333, 334, 336, 338,
340, 341, 342, 343, 345, 346,
347, 351, 352, 354, 355, 364,
365, 376, 465, 503, 509, 510,
514, 535, 560, 561, 562, 564, 566

Pangan lokal, 340

Pascapanen, xiv, xix, 63, 279, 292,
293, 294, 299, 300, 301, 311,
315, 317, 557, 558, 560, 563

Pembangunan pertanian, v, 4, 6, 11,
15, 26, 27, 42, 209, 216, 364,
365, 406, 409, 543, 546

Pemuliaan, x, xiii, 89, 106, 163, 165,
171, 174, 558, 560, 563, 564

Pertanian, iv, v, vi, vii, ix, x, xi, xiii, xiv, xv, xvii, xviii, xix, xx, xxi, 3, 4, 6, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 41, 45, 61, 62, 63, 64, 71, 73, 75, 77, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 92, 93, 96, 101, 104, 105, 106, 108, 110, 111, 112, 142, 150, 154, 167, 174, 176, 185, 191, 193, 196, 199, 200, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 224, 226, 227, 229, 235, 237, 238, 241, 245, 247, 249, 250, 251, 255, 258, 260, 273, 274, 275, 276, 279, 293, 294, 299, 312, 315, 316, 317, 319, 323, 328, 333, 338, 345, 348, 349, 350, 351, 352, 354, 355, 359, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 375, 376, 377, 384, 385, 386, 395, 397, 400, 401, 402, 403, 405, 406, 407, 408, 409, 411, 412, 413, 415, 417, 422, 423, 426, 427, 428, 431, 433, 435, 437, 443, 445, 446, 447, 448, 450, 453, 454, 457, 460, 461, 462, 463, 465, 470, 471, 476, 477, 479, 480, 488, 489, 490, 492, 493, 494, 495, 503, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 514, 515, 516, 519, 521, 522, 523, 524, 525, 530, 532, 533, 535, 536, 537, 542, 543, 544, 547, 548, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566

Pertanian 4.0, xiv, 21, 36, 191, 203, 206, 207, 208, 209, 214, 217, 218, 237

Pertanian berkelanjutan, 14, 15, 37, 82, 85, 86, 542

Pertanian modern, 4, 6, 21, 23, 24, 83, 193, 227, 245, 395, 407, 415, 435, 547

Pertanian presisi, 22, 45, 73, 92, 191, 193, 212, 377, 385, 415, 431, 437, 448, 460

Peta, xiii, xix, xx, 22, 150, 194, 294, 412, 413, 423, 426, 428, 429, 444, 445, 447, 454, 455, 456, 457, 461, 463, 476, 477, 478, 483, 487, 494

Platform, x, xv, xix, 25, 270, 273, 370, 371, 372, 373, 375, 399, 402, 403

Preferensi, x, xviii, 161, 171, 173, 286, 332

R

Revolusi hijau, 109, 507

Roadmap, 345

Robotic, 224, 515

RPJMN, v, 278, 280, 283, 306, 360, 362, 364, 365, 391, 395, 400, 406, 427, 490

S

SDGs, vi, 5, 12, 18, 19, 28, 185, 257, 321, 339, 350, 360, 361, 362, 364, 390, 399, 542

SDIA, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 488, 489, 490

Sensor, 25, 214, 215, 248, 428, 438, 439, 448, 537

Sensorik, 437

Sistem, x, xiv, xv, xvii, xx, 17, 46, 50, 78, 79, 81, 90, 100, 102, 104, 105, 107, 109, 142, 189, 194, 195, 199, 203, 214, 215, 251, 256, 258, 273, 274, 275, 276, 301, 302, 303, 318, 354, 376, 401, 402, 403, 409, 410, 411,

417, 421, 423, 424, 425, 426,
429, 431, 445, 446, 447, 465, 478,
479, 484, 485, 486, 493, 494,
508, 521, 524, 546, 558, 562, 563
Smart farming, 488
Sosial, xvii, 3, 11, 18, 19, 37, 48, 49,
89, 106, 110, 203, 255, 288, 319,
321, 323, 384, 536, 557, 558,
560, 561, 562, 565, 566
Sumber daya, 48, 67, 106, 338, 497,
541

T

Teknologi, ix, x, xi, xiii, xiv, xvii, xviii,
xix, xxi, 22, 23, 31, 36, 37, 39, 45,
46, 47, 60, 63, 71, 72, 77, 78, 79,
81, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 95, 99,
101, 109, 111, 112, 142, 143,
163, 164, 165, 167, 171, 173,
175, 188, 189, 190, 192, 193,
194, 195, 199, 211, 212, 214, 215,
219, 224, 235, 237, 238, 255,
263, 270, 274, 275, 276, 289,
291, 292, 294, 295, 298, 299,
300, 302, 303, 304, 311, 315,
316, 317, 318, 354, 368, 369,

377, 379, 390, 402, 437, 448,
484, 494, 495, 501, 503, 504,
507, 519, 523, 524, 536, 557,
558, 561, 563
Teknologi *Frontier*, xiii, 165, 167,
188, 189, 194, 195
Transformasi, ix, xvii, xix, 41, 49,
51, 52, 54, 58, 59, 224, 225, 364,
365, 367, 385, 394, 536, 549

U

UMKM, 282, 289, 305, 306, 307,
309, 310, 312, 347, 388
Undang-undang, iv, 65, 93

V

varietas, 68, 75, 89, 90, 98, 103, 149,
151, 152, 153, 154, 156, 159,
160, 161, 162, 163, 164, 166,
169, 170, 172, 174, 175, 182,
190, 191, 192, 194, 196, 199,
295, 445, 450, 456, 484, 507,
529, 531
VUB, 152, 154, 160

TENTANG PENULIS

Abi Prabowo

Peneliti Ahli Madya, Bidang Engineering Pertanian, Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: harimurtipuspo@gmail.com atau abi.prabo2301@gmail.com.

Achmad Suryana

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: epasandaran@yahoo.com

Adi Setiyanto

Peneliti Ahli Muda, Bidang Ekonomi Pertanian dan Kebijakan Pertanian, Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: amihardjo@yahoo.com

Adnan

Peneliti Ahli Muda, Bidang Teknologi Pascapanen, BPTP Papua, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: aalbahry@yahoo.com

Agung Prabowo

Kepala Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: dragungprabowo@gmail.com

Agus Hermawan

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Sistem Usaha Pertanian, BPTP Jawa Tengah, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: agushermawan832@gmail.com.

Agus Somantri

Peneliti Ahli Madya, Bidang Teknologi Pascapanen, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: assomantri2010@gmail.com

Anny Mulyani

Peneliti Ahli Utama, Bidang Pemetaan dan Evaluasi Lahan, BBSDLP, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: anny_mulyani@ymail.com

Apri Wahyudi

Perencana Muda, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: apriyudi915@gmail.com

Arif Surahman

Kepala Bagian Perencanaan, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: asrahman72@gmail.com

Aris Hairmansis

Kepala Bidang Program dan Evaluasi, Peneliti Ahli Madya, Bidang Pemuliaan dan Genetika Tanaman, Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: a.hairmansis@gmail.com

Bambang Irawan

Peneliti Ahli Utama, Bidang Kebijakan Pertanian, Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: irawanbir@yahoo.com

Effendi Pasandaran

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Agro Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: epasandaran@yahoo.com

Erma Suryani

Peneliti Ahli Madya, Bidang Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, BBSDLP, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: erna_suryani2004@yahoo.com

Elza Surmaini

Peneliti Ahli Madya, Bidang Agroklimat dan Pencemaran Lingkungan, Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, BBSDLP, Baltbangtan, Kementerian Pertanian. Email: e_surmaini@yahoo.com

Fadjry Djufry

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Email: kbadan@pertanian.go.id

Harmanto

Ahli Pererekayasa Madya, Bidang Mekanisasi Pertanian dan Hidrologi, Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, BBSDLP, Baltbangtan. Email: drharmanto@gmail.com; harmanto@pertanian.go.id

Haryono Soeparno

Associate Professor in Computer Science, Graduate School of Computer Science, Binus University. Email: haryono@binus.edu

Hoerudin

Peneliti Ahli Muda, Bidang Pascapanen Pertanian, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: hoerudin@pertanian.go.id

Husnain

Kepala Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: husnainuut@yahoo.com

Irsal Las

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Agroklimatologi dan Lingkungan Pertanian, BBSDLP, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: irsallas@indo.net.id

I Made Jana Mejaya

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Pemuliaan Tanaman, Puslitbang Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: mmejaya@yahoo.com

I Made Oka Adnyana

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Sosial-Ekonomi Pertanian dan Agribisnis Manajemen pada Puslitbang Tanaman Pangan, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: okamanikmas@gmail.com

I Nyoman Widiarta

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Hama dan Penyakit Tanaman, Puslitbang Tanaman Pangan, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: manwidiarta@yahoo.com

Kedi Suradisastra

Peneliti Ahli Utama, Bidang Sosiologi dan Kelembagaan. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: kedisuradisastra@yahoo.com

Ketut Gede Mudiarta

Kepala Balai Pengelola Alih Teknologi Pertanian, Peminat dan Pemerhati Sosiologi Ekonomi, Sekretariat Balitbangtan. Email: kgm_2111@yahoo.com

Lutfi Humaedi

Penyuluh Pertanian Ahli Pertama, BPTP Kepulauan Riau, Balitbangtan, Kementerian pertanian. Email: humaidi.lut@gmail.com

Maesti Mardiharini

Peneliti Ahli Madya, Bidang Sosial dan Ekonomi Pertanian, Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: maesti_m@yahoo.com

Muhammad Prama Yufdy

Peneliti Ahli Utama, Bidang Kesuburan Tanah dan Biologi Tanah, Puslitbanghorti, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: pramayufdy@yahoo.com

Mewa Ariani

Peneliti Ahli Utama, Bidang Ketahanan Pangan dan Ekonomi Pertanian Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian pertanian. Email: mewa_tan@yahoo.com

Priatna Sasmita

Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan,
Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian,
Email: priatnasasmita.ps11@gmail.com

Puji Lestari

Peneliti Ahli Utama, Bidang Bidang Bioteknologi Tanaman, Balai
Besar Penelitian Tanaman Padi, Balitbangtan, Kementerian
Pertanian. Email: plestari129@yahoo.com

Rizatus Shofiyati

Peneliti Ahli Madya, Bidang Penginderaan Jauh dan Sistem
Informasi Geografi, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan
Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian.
Email: rshofiyati@gmail.com

Rusman Heriawan

Peneliti Ahli Utama, Bidang Statistik Ekonomi, Kementerian
Pertanian. Email: rusman.heriawan@gmail.com

Setyono Hari Adi

Peneliti Ahli Muda, Bidang Pengelolaan Lahan, Air, dan Iklim,
Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, BBSDLP, Balitbangtan,
Kementerian Pertanian. Email: setyonohari@pertanian.go.id

Sri Asih Rohmani

Perencana Ahli Madya, Sekretariat Badan Litbang Pertanian,
Kementerian Pertanian. Email: asihnoegroho@yahoo.com

Sri Hastuti Suhartini

Peneliti Ahli Madya, Bidang Ekonomi Pertanian., Pusat Sosial
Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email:
srih4stuti@yahoo.com

S. Joni Munarso

Profesor Riset, Bidang Teknologi Pascapanen pada Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: jomunarso@gmail.com

Suparlan

Perekayasa Ahli Utama, Bidang Teknik Pascapanen dan Pengolahan Hasil Pertanian, Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: drsuparlan@yahoo.com

Trias Sitaresmi

Peneliti Muda, Bidang Pemuliaan dan Genetika pada Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Peneliti Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: triassitaresmi@gmail.com

Untung Susanto

Peneliti Madya, Bidang Pemuliaan dan Genetika pada Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Peneliti Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: untungsus2011@gmail.com

Vyta W. Hanifah

Peneliti Ahli Madya, Bidang Sistem Usaha Pertanian (SUP) pada Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: vytahanifah@pertanian.go.id

Wiwik Hartatik

Peneliti Ahli Utama, Bidang Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: wiwik_hartatik@yahoo.com

Yiyik Sulaeman

Peneliti Ahli Madya, Bidang Ilmu Tanah, Agroklimatologi dan Hidrologi, BBSDLP, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: yiyisulaeman@pertanian.go.id

Yudhistira Nugraha

Kepala Bidang Program dan Evaluasi, Peneliti Bidang Pemuliaan dan Genetika, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: yudhistira.nugraha@gmail.com

TENTANG EDITOR

Fadjry Djufry

Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: dfadjry@yahoo.com

Haryono Soeparno

Associate Professor in Computer Science, Graduate School of Computer Science, Binus University. Email: haryono@binus.edu

Rusman Heriawan

Peneliti Ahli Utama, Bidang Statistik Ekonomi, Kementerian Pertanian. Email: rusman.heriawan@gmail.com

Achmad Suryana

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: epasandaran@yahoo.com

Effendi Pasandaran

Peneliti Ahli Utama (Profesor Riset), Bidang Agro Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Balitbangtan, Kementerian Pertanian. Email: epasandaran@yahoo.com

Sri Asih Rohmani

Perencana Ahli Madya, Sekretariat Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian. Email: asihnoegroho@yahoo.com

Mewa Ariani

Peneliti Ahli Utama, Bidang Ketahanan Pangan dan Ekonomi Pertanian Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian pertanian. Email: mewa_tan@yahoo.com

PENGELOLAAN SUMBERDAYA MENUJU PERTANIAN MODERN BERKELANJUTAN

Efisiensi penggunaan sumber daya lahan, iklim dan air serta peningkatan nilai tambah produk pertanian yang berdaya saing menjadi salah satu alternatif strategi yang harus dilakukan untuk mewujudkan pembangunan pertanian berkelanjutan. Upaya tersebut dilakukan terintegrasi dengan penerapan pertanian berkelanjutan melalui pengembangan dan pemanfaatan teknologi pertanian modern, digitalisasi pengelolaan sumber daya unggul, pengembangan kapasitas SDM pertanian dan kelembagaan yang kompatibel menuju implementasi pertanian modern. Agar pelaksanaan berbagai strategi digitalisasi dan pemanfaatan teknologi digital dapat dilaksanakan secara efektif, memerlukan dukungan lingkungan strategis yang memfasilitasi implementasi kebijakan bertransformasi menuju pertanian modern berkelanjutan. Beberapa kasus dan proses penerapannya dibahas dalam buku ini antara lain digitalisasi pengelolaan sumber daya dan sistem informasi pertanian, modernisasi alsintan, pemanfaatan teknologi digital dalam proses produksi dan industri pangan sehingga dapat menjadi pembelajaran dan referensi dalam proses implementasi pertanian modern berkelanjutan di Indonesia.



Sekretariat Badan Litbang Pertanian
Jl. Ragunan No. 29 Pasar Minggu, Jakarta 12540
Telp. (021) 7806202, Fax. (021) 7806044
Website : www.litbang.pertanian.go.id
email : iaardpress@litbang.pertanian.go.id

ISBN 978-602-344-308-6

