

**KERUSAKAN DAN PENCEMARAN
LINGKUNGAN PERTANIAN:
Karakteristik dan Penanggulangannya**

Wahida Annisa Yusuf, dkk.

**KERUSAKAN DAN PENCEMARAN
LINGKUNGAN PERTANIAN:
Karakteristik dan Penanggulangannya**

Editor:

Wahida Annisa Yusuf

Muhammad Noor



GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS

**KERUSAKAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN PERTANIAN:
Karakteristik dan Penanggulangannya**

Penulis:

Wahida Annisa Yusuf
Helena Lina Susilawati
Anicetus Wihardjaka
Triyani Dewi
Ali Pramono
Asep Kurnia
Sukarjo
Ika Ferry Y.
Nourma Al Viandari
Eni Yulianingsih
Ina Zulaehah

Sarah
Siska Apriyani
Cicik Oktasari H.
Ria Fauriah M.
Anik Hidayah
Hidayatuz Zu'amah
Aprian Aji Santoso
Nurhasan
Muhammad Noor
Sri Nuryani Hidayah Utami

Angga Prasetya
Benito Heru Purwanto
Mujiyo
Siti Maro'ah
Widyatmani Sih Dewi
Aktavia Herawati
Ganjar Herdiansyah
Sumani
Rahayu
Muhammad Husaini

Editor:

Wahida Annisa Yusuf
Muhammad Noor

Proofreader:

Akbar

Desain Sampul:

Pram's

Tata letak isi:

Junaedi

Penerbit:

Gadjah Mada University Press
Anggota IKAPI dan APPTI

Bekerjasama dengan
Balai Penelitian Lingkungan Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP)

Ukuran : 15,5 x 23 cm; xvi + 286 hlm

ISBN : 978-623-359-139-3

Redaksi:

Jl. Sendok, Karanggayam CT VIII, Caturtunggal
Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281
Telp./Fax.: (0274) 561037
ugmpress.ugm.ac.id | gmupress@ugm.ac.id

Cetakan pertama : Desember 2022

Hak Penerbitan © 2022 Gadjah Mada University Press

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

PRAKATA

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingsan) merupakan salah satu unit pelaksana teknis lingkup Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Tugas pokok dan fungsi Balingsan adalah meneliti pencemaran lingkungan atmosfer, litosfer, dan hidrosfer yang dapat mendegradasi lahan pertanian, dan cara penanggulangan pencemaran. Dalam melaksanakan tugasnya Balingsan berada dalam koordinasi Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP).

Dalam menjalankan tugas pokok dan fungsinya yaitu untuk menerapkan konsep dasar pertanian berkelanjutan, pemanasan global dan perubahan iklim, status emisi GRK dari sektor pertanian, serta teknologi adaptasi dan mitigasi gas rumah kaca pada sektor pertanian. Selain itu juga berkaitan dengan cemaran bahan agrokimia pada lingkungan pertanian, status cemaran residu pestisida dan logam berat, risiko dampak pencemaran residu pestisida dan logam berat, teknologi penanggulangan cemaran residu pestisida pada lingkungan pertanian, teknologi penanggulangan cemaran logam berat pada lingkungan pertanian serta sintesis atau rekomendasi untuk mewujudkan ketahanan pangan dan kelestarian lingkungan melalui pengelolaan sistem pertanian yang bijaksana dan ramah lingkungan. Informasi yang diperoleh kemudian dirangkum dalam buku ini dengan judul “Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan: Karakteristik dan Penanggulangannya”. Buku ini diharapkan berguna bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan penentu kebijakan, serta pelaksana pembangunan pertanian, sehingga lingkungan semakin baik dan sehat, tetapi tetap produktif.

Penghargaan dan terima kasih saya sampaikan kepada pegawai Balingsan dan semua pihak yang telah memberikan kontribusi berharga dalam penyusunan buku ini, saya berharap semoga buku ini bermanfaat khususnya dalam pengembangan sumber daya lingkungan pertanian.

Dr. Wahida Annisa Yusuf, SP, M. Sc.

Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian
Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP)

KATA SAMBUTAN

Peningkatan pencemaran tanah, air, dan udara, serta rendahnya produktivitas lahan dan mutu komoditas pertanian disebabkan oleh kegiatan industri, rumah tangga, pertambangan, dan pertanian. Antisipasi dan penanggulangannya dikemukakan secara jelas dalam revitalisasi pertanian, bahwa peningkatan IPTEK dalam pertanian dan pengembangan riset pertanian dilakukan melalui pengembangan dan pemanfaatan teknologi yang tepat, spesifik lokasi, dan ramah lingkungan. Berbagai kerusakan sumber daya lahan dan lingkungan pertanian yang terjadi selama ini sudah saatnya memperoleh perhatian yang lebih serius, baik oleh pemerintah dan instansi terkait, serta masyarakat luas secara bersama-sama. Penyebab kurang berhasilnya pencegahan degradasi lahan dan pemulihan degradasi lahan sangat kompleks, terutama sebagai dampak lemahnya komitmen pengambil dan pelaksana kebijakan, dan lemahnya komitmen masyarakat terhadap pencegahan dan pemulihan degradasi lahan

Suatu strategi pengelolaan lingkungan pertanian perlu disusun secara terencana dengan baik, terarah, dan sesuai dengan kaidah-kaidah pengelolaan yang sudah ada dan baku, agar lahan pertanian tetap berproduksi secara maksimal dan berkesinambungan. Pengelolaan sumber daya lahan, khususnya lahan pertanian dan lingkungannya harus dimulai dengan identifikasi dan karakterisasi sumber dan penyebab utama kerusakan dan pencemaran. Penanggulangan dan pengendalian kerusakan sumber daya lahan akibat penurunan produktivitas tanah dilakukan melalui penerapan teknik konservasi tanah dan rehabilitasi lahan, dilaksanakan secara terpadu, bersama-sama antara pemerintah/instansi terkait, pelaku kerusakan, dan masyarakat luas.

Badan Litbang Pertanian melalui Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian dan intitusi di bawahnya khususnya Balai Penelitian Lingkungan Pertanian mempunyai peran yang sangat strategis dalam penciptaan dan diseminasi pengelolaan

lingkungan pertanian yang berkelanjutan. Berdasarkan hal tersebut, buku “KERUSAKAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN PERTANIAN: Karakteristik dan Penanggulangannya” disusun agar *stakeholder* dapat lebih mudah memperoleh informasi terkait karakteristik serta penanggulangan terhadap kerusakan dan pencemaran lingkungan pertanian.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan buku ini. Buku ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk membantu memahami lebih mendalam mengenai pengelolaan lingkungan pertanian dan pengembangannya. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak dalam mengupayakan lingkungan pertanian yang lebih baik menuju pembangunan pertanian berkelanjutan.

Bogor, Juli 2022

Kepala Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian
Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP)

Dr. Husnain, MP, M.Sc

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
KATA SAMBUTAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pengertian Kerusakan Lahan.....	1
1.2 Jenis, Luas, dan Sebaran Kerusakan Lahan dan Pencemaran.....	3
1.3 Dampak Kerusakan Lahan dan Pencemaran Terhadap Produktivitas Pertanian.....	5
1.4 Perspektif Penanggulangan Kerusakan Lahan dan Pencemaran Lingkungan Pertanian.....	6
BAB II SUMBER DAN BENTUK KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN.....	9
2.1 Sumber Penyebab Kerusakan Lahan dan Lingkungan Pertanian.....	10
2.1.1 Peristiwa Alam.....	10
2.1.2 Aktivitas Manusia.....	12
2.1.3 Pengaruh Alam dan Aktivitas Manusia.....	12
2.2 Bentuk Kerusakan Lahan dan Lingkungan Pertanian Lahan Kering.....	13
2.2.1 Erosi tanah.....	14
2.2.2 Limpasan Permukaan dan Longsor.....	15
2.3 Bentuk Kerusakan Lahan dan Lingkungan Pertanian Lahan Basah.....	16
2.3.1 Kerusakan pada lahan gambut.....	18
2.3.2 Kerusakan pada lahan sawah.....	19

	2.3.3	Kerusakan pada lahan sulfat masam	21
2.4		Sumber dan Bentuk Pencemaran Lingkungan Pertanian.....	21
	2.4.1	Pencemaran Agrokimia.....	21
	2.4.2	<i>Persistent Organic Pollutants</i> (POPs).....	25
	2.4.3	Pencemaran Limbah Industri dan Rumah Tangga	26
2.5		Kerusakan Lahan dan Lingkungan Pertanian sebagai Dampak Perubahan iklim (PI)	28
	2.5.1	Kekeringan.....	29
	2.5.2	Banjir	30
BAB III		KARAKTERISTIK KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN	31
3.1		Kerusakan Sumber Daya Lahan Pertanian.....	31
	3.1.1	Kerusakan Tanah pada Lahan dan Lingkungan Pertanian.....	32
3.2		Kerusakan Air pada Lahan dan Lingkungan Pertanian.....	40
	3.2.1	Pencemaran Industri	41
	3.2.2	Pencemaran Agrokimia.....	43
	3.2.3	Pencemaran Pertambangan.....	43
3.3		Kerusakan Lingkungan Hidup	44
	3.3.1	Suhu.....	44
	3.3.2	Kelembapan.....	45
BAB IV		POTRET TINGKAT KERUSAKAN DAN PENCEMARAN LAHAN PERTANIAN	47
	4.2.1	Sebaran industri di Indonesia.....	54
	4.2.2	Status pencemaran air sungai sebagai sumber irigasi akibat aktivitas industri.....	56
	4.2.3	Status Pencemaran Lahan Pertanian Akibat Aktivitas Industri.....	59
4.3		Pencemaran dari Kegiatan Pertambangan.....	60
	4.3.1	Kondisi eksisting lahan tambang emas	60
	4.3.2	Sifat fisikokimia lahan bekas tambang emas ..	63
	4.3.3	Status cemar logam berat di lahan bekas tambang emas.....	65
BAB V		TEKNIK PENYEHATAN LAHAN PERTANIAN	75
	5.1.	Kesehatan Tanah	76

	5.1.1 Teknik penyehatan secara fisik.....	80
	5.1.2 Teknik Penyehatan tanah secara kimia	82
5.2	Teknologi penyehatan secara biologi	88
	5.2.1 Teknologi Bioremediasi <i>In Situ</i>	89
	5.2.2 Teknologi Bioremediasi <i>Ex Situ</i>	91
	5.2.3 Peran Mikroorganisme.....	92
	5.2.4 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Bioremediasi.....	94
	5.2.5 Keuntungan dan Keterbatasan	96
5.3	Teknik Penyehatan Tanah Menggunakan Tanaman (Fitoremediasi).....	97
	5.3.1 Fitostabilisasi.....	99
	5.3.2 Fitoekstraksi.....	99
	5.3.3 Fitovolatilisasi	104
	5.3.3 Fitofiltrasi.....	104
5.4	Praktik Pertanian untuk Meningkatkan Komponen Kesehatan Tanah.....	105
	5.4.1 Pertanian Organik	105
5.5	Strategi Penyehatan Tanah	115
BAB VI	PENGELOLAAN TERPADU TANAMAN PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN.....	117
6.1	Pengembangan Padi dan Jagung.....	118
	6.1.1 Pengembangan pada Tanaman Padi	118
	6.1.2 Pengembangan pada Tanaman Jagung	126
6.2	Pengembangan Cabai dan Bawang Merah.....	134
	6.2.1 Pengembangan pada Tanaman Cabai	135
	6.2.2 Pengembangan pada Tanaman Bawang Merah.....	140
6.3	Pengembangan pada Tanaman Perkebunan.....	147
	6.3.1 Pengembangan pada Tanaman Kopi.....	148
6.4	Kearifan Lokal	155
BAB VII	ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI PENANGGULANGAN KERUSAKAN LAHAN PERTANIAN	159
7.1	Analisis Kelayakan Finansial Melalui Perbaikan Kerusakan Lahan Pertanian	162
	7.1.1 Analisis Finansial Usaha Tani Jagung	164
	7.1.2 Analisis Keuntungan dan Kelayakan Usaha tani Padi Melalui Perbaikan Lahan	178

BAB VIII	PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN PERTANIAN DALAM PERSPEKTIF.....	181
8.1	Kerangka Pikir.....	182
8.2	Permasalahan Kerusakan Lahan dan Pencemaran Lingkungan Pertanian.....	182
8.3	Analisis Kebijakan Kerusakan Lahan dan Lingkungan Pertanian.....	185
8.4	Rekomendasi Kebijakan dan Saran tindak Lanjut.....	187
BAB IX	PENUTUP	189
	DAFTAR PUSTAKA.....	195
	GLOSARIUM	237
	INDEKS	255
	BIOGRAFI PENULIS.....	263

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria baku kerusakan tanah di lahan kering.....	13
Tabel 2.2	Kriteria Baku Kerusakan Tanah pada Lahan Basah.....	17
Tabel 2.3	Pengaruh Tingkat Salinitas terhadap Tanaman.....	20
Tabel 2.4	POPs yang telah diputuskan pada beberapa pertemuan..	25
Tabel 3.1	Kriteria Baku Kerusakan Tanah di Lahan Kering.....	39
Tabel 3.2	Kriteria Baku Kerusakan Tanah di Lahan Basah.....	40
Tabel 3.3	Baku mutu logam berat limbah lumpur	42
Tabel 4.1	Tekstur tanah lahan bekas tambang emas tanpa izin (PETI).....	63
Tabel 4.2	Sifat kimia tanah lahan Bekas Tambang di enam desa di Pulau Buru	64
Tabel 4.3	Sifat-sifat kimia tanah bekas tambang timah di Kepulauan Bangka dan Bangka Tengah	71
Tabel 4.4	Sebaran landform yang rentan terhadap kenaikan permukaan laut.....	73
Tabel 5.1	Beberapa indikator dan tes untuk tanah yang sehat.....	79
Tabel 5.2	Pengaruh pengolahan tanah dan pencucian/drainase	81
Tabel 5.3	Jenis-jenis Bioremediasi	89
Tabel 5.4	Distribusi logam berat di lingkungan dan mikroorganisme yang terlibat dalam biodegradasi	95
Tabel 5.5	Daftar beberapa tanaman yang diuji untuk akumulasi logam berat.....	101
Tabel 5.6	Rerata data tanah pertanian organik dan konvensional pada akhir periode.....	109
Tabel 5.7	Pengaruh praktik pengolahan tanah pada irigasi, efisiensi penggunaan air (Water Used Efficiency), dan hasil bersih	113

Tabel 5.8	Strategi pengelolaan pertanian berkelanjutan dan usulan indikator kinerja tanaman serta kesehatan tanah dan lingkungan	115
Tabel 7.1	Analisis biaya, penerimaan, keuntungan, dan kelayakan usaha tani jagung (dengan pupuk kandang dan kapur)....	171
Tabel 7.2	Analisis biaya, penerimaan, keuntungan dan kelayakan usaha tani jagung (Tanpa pupuk kandang dan kapur)	172
Tabel 7.3	Analisis biaya, penerimaan, keuntungan, dan kelayakan usaha tani jagung	173
Tabel 7.4	Perhitungan Net Present Value (NPV) usaha tani jagung per hektar	176
Tabel 7.5	Kriteria investasi usaha tani jagung selama 6 Tahun	177
Tabel 7.6	Analisis biaya, penerimaan, keuntungan dan kelayakan usaha tani padi	179

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Dampak dari Letusan Gunung Semeru	12
Gambar 4.1	Petani sedang melakukan penyemprotan pestisida di lahan sayuran, Batu, Malang.....	49
Gambar 4.2	Konsentrasi logam berat dalam tanah di lahan bawang merah Kabupaten Brebes, Jawa Tengah	50
Gambar 4.3	Jumlah formulasi pestisida yang terdaftar di Kementerian Pertanian.....	52
Gambar 4.4	Limbah cair tekstil di Sungai Citarum	57
Gambar 4.5	Limbah cair industri tapioka (a) dan limbah setelah masuk pada badan sungai (b)	58
Gambar 4.6	Kerusakan tanaman padi sawah akibat limbah industri tekstil di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung.....	59
Gambar 4.7	Negara penghasil emas terbesar di dunia	61
Gambar 4.8	Perusahaan Produsen Emas Tebesar di Indonesia	62
Gambar 4.9	Sebaran logam As di Pulau Buru, Maluku	66
Gambar 4.10	Cadangan timah di Indonesia dan Semenanjung Malaysia	68
Gambar 4.11	Kondisi lahan bekas tambang timah	70
Gambar 4.12	Kondisi tekstur tanah pada lahan bekas tambang timah.....	70
Gambar 5.1	Mekanisme biochar terhadap mitigasi penguapan NH_3 , N_2O , dan leaching NO_3^-	82
Gambar 5.2	Keanekaragaman (a), komposisi (b), dan 30 gen era (c) teratas dari komunitas bakteri yang memanfaatkan rhizodeposit di biochar-amandemen dan non-perubahan di tanah lempung	86

Gambar 6.1	Penerapan varietas toleran kekeringan pada lahan sawah tadah hujan di Pucakwangi, Pati, Jawa Tengah	120
Gambar 6.2	Pengendalian hama pada Demplot Panca Kelola Ramah Lingkungan di Sukolilo, Pati, Jawa Tengah.....	123
Gambar 6.3	Pemanfaatan tanaman refugia pada Demplot Panca Kelola Ramah Lingkungan di Sukolilo, Pati, Jawa Tengah.....	123
Gambar 6.4	Embung penampung hujan di Balingtan, Pati, Jawa Tengah.....	125
Gambar 6.5	Keragaan hasil jagung varietas hibrida	128
Gambar 6.6	Sistem tanam jagung tanpa olah tanah (TOT).....	129
Gambar 6.7	Pengairan tanaman jagung sistem alur (furrow) dengan sumber air dari embung menggunakan sistem pompanisasi.....	133
Gambar 6.8	Pemasangan mulsa plastik di lahan cabai dataranrendah.....	139
Gambar 6.9	Perangkap likat kuning yang dipasang dilahan cabai.	139
Gambar 6.10	Pembuatan saluran air dan bedengan.....	140
Gambar 6.11	Pestisida kimia yang digunakan petani di lahan bawang merah.....	142
Gambar 6.12	Pemasangan Feromon Exi pada lahan bawang merah.....	146
Gambar 6.13	Penyimpanan bawang merah untuk bibit	147
Gambar 6.14	Pemupukan dengan bahan organik	150
Gambar 7.1	Biaya dan penerimaan serta keuntungan.....	166
Gambar 7.2	Kemajuan teknologi.....	167
Gambar 7.3	Efisiensi teknis dan titik inefisiensi secara teknis.....	168
Gambar 7.4	Efisiensi alokatif dan titik-titik inefisiensi.....	169
Gambar 7.5	Perbedaan tingkat penggunaan teknologi.....	170
Gambar 8.1	Hubungan lingkungan pertanian dengan variabel lainnya (pertanian organik, energi terbarukan, kemajuan sosial) di negara-negara Eropa	184
Gambar 9.1	Keterkaitan antara degradasi tanah dan lingkungan...	190

BAB I

PENDAHULUAN

Anik Hidayah, Aprian Aji Santoso, Ria Fauriah, ES Hersanti, Sukarjo

Kerusakan lingkungan menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan di dalam melakukan kegiatan pertanian. Pada dasarnya, faktor lingkungan sangat memengaruhi kualitas dan kuantitas suatu komoditas pertanian. Penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang berlebihan serta pembukaan lahan di kawasan hutan menjadi salah satu penyebab kerusakan lahan dan lingkungan pertanian.

Salah satu kerugian dari kegiatan menebang atau membakar hutan untuk membuka lahan pertanian adalah meningkatnya emisi Gas Rumah Kaca. Peningkatan tersebut akan berdampak pada perubahan iklim yang tidak menentu sehingga sangat merugikan, khususnya pada sektor pertanian. Untuk menanggulangi kerusakan lingkungan telah dilakukan berbagai upaya di antaranya melalui kegiatan pertanian, seperti rehabilitasi lahan untuk mengembalikan fungsi lahan secara ekologis. Apa itu kerusakan lahan, jenis, luas, dan sebarannya serta perspektif pencegahan/penanggulangannya dipaparkan di dalam bab ini.

1.1 PENGERTIAN KERUSAKAN LAHAN

Istilah kerusakan lahan memiliki beberapa definisi sesuai sektor yang bidang tugasnya berkaitan dengan sumber daya lahan. Kerusakan lahan secara garis besar dianggap sebagai penurunan kualitas tanah dan elemen-elemen pendukung di sekitarnya secara alami atau buatan manusia. Namun, menurut Kaiser (2021) kerusakan (degradasi) lahan menjadi istilah yang sulit dipahami dalam literatur geografis dan ilmu lingkungan karena hubungannya yang mirip dengan kejadian alam, seperti penggundulan hutan, penggurunan atau desertifikasi, dan erosi tanah. Beberapa pengertian kerusakan lahan atau degradasi lahan disebutkan sebagai berikut:

- a. UNEP (1992) mendefinisikan degradasi lahan (*land degradation*) sebagai proses kemunduran produktivitas lahan menjadi lebih rendah, baik sementara maupun tetap, yang meliputi berbagai bentuk penurunan produktivitas tanah (*soil degradation*), pengurangan sumber daya air akibat pengaruh manusia, penebangan hutan (*deforestation*), dan penurunan produktivitas padang penggembalaan.
- b. Menurut FAO (1994), degradasi lahan merupakan proses penurunan produktivitas lahan yang bersifat sementara ataupun tetap. Dicirikan dengan adanya penurunan sifat fisik, kimia, dan biologi.
- c. Bal and Dent (2006) menjelaskan, degradasi lahan merupakan kerusakan jangka panjang terhadap produktivitas dan fungsi ekosistem yang terjadi karena gangguan yang tidak dapat dipulihkan kembali oleh lahan dan komponennya.
- d. Pasaribu *et al.* (2010) mengartikan degradasi lahan sebagai proses kerusakan tanah dan penurunan produktivitas karena tindakan manusia atau penyebab lain yang ditandai oleh menurunnya kadar C-organik dan unsur-unsur hara tanah serta mendangkalnya bidang olah tanah.
- e. Menurut WRI (2012), lahan terdegradasi merupakan hutan yang telah mengalami proses degradasi akibat penebangan pohon secara besar-besaran sehingga memiliki kandungan karbon dan biodiversitas yang rendah serta tidak digunakan untuk aktivitas pertanian atau kegiatan manusia.
- f. Menurut Wardana (2013), degradasi lahan adalah kerusakan lahan sehingga kehilangan satu atau lebih fungsinya yang mengakibatkan daya dukung lahan tersebut bagi kehidupan di atasnya berkurang atau bahkan hilang.

Akibat lanjut dari proses kerusakan lahan adalah timbulnya areal-areal tidak produktif yang disebut lahan kritis (Wahyunto dan Dariah, 2014). Lahan kritis diartikan sebagai lahan yang telah mengalami kerusakan fisik tanah karena berkurangnya penutupan vegetasi dan adanya gejala erosi yang ditandai dengan adanya alur-alur drainase/torehan sehingga mengganggu fungsi hidrologi daerah sekitarnya (Puslitbang Tanah dan Agroklimat, 2004).

Dari uraian di atas dapat dirangkum untuk mendefinisikan kerusakan lahan di sektor pertanian, yaitu sebagai lahan pertanian yang produktivitasnya telah menurun akibat kondisi lahan, khususnya tanah permukaannya (*top soil*) yang telah memburuk baik secara fisik, kimia maupun biologis.

dari pada pemulihan. Penyebab, macam, dan kondisi lingkungan di mana lahan terdegradasi tersebut berada sangat beragam. Oleh karena itu, tidak mungkin merakit teknologi pemulihan lahan terdegradasi yang universal atau berlaku untuk semua macam atau kondisi degradasi (Wahyunto dan Dariah, 2014)

Ada beberapa cara untuk menanggulangi kerusakan lahan antara lain pengolahan tanah, peningkatan kandungan bahan organik tanah, peningkatan keanekaragaman organisme, menginokulasikan mikroorganisme berguna (Kusumoarto dan Hidayat, 2019). Pada lahan-lahan tercemar, mengelola limbah yang berasal dari sumber-sumber pencemaran dan menerapkan manajemen terpadu dalam mengelola limbah merupakan cara untuk mengendalikan kerusakan lahan akibat kegiatan industri (Pramudyanto, 2014).

Pada lahan-lahan bekas tambang, penanggulangan yang berkelanjutan dapat dilakukan dengan reklamasi lahan dan revegetasi di area pertambangan (Adenisatrawan dan Yadin, 2019). Aplikasi amelioran pada lahan bekas tambang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sorgum (Mastur *et al.*, 2017). Pada air limbah, pengurangan konsentrasi logam berat merkuri (Hg) pada air limbah pertambangan emas dapat dilakukan dengan metode lahan basah buatan terpadu yang menggunakan tanaman *Phragmites australis* dan memanfaatkan mikroorganisme yang terkandung pada kompos (Ambarsari dan Qisthi, 2017).

Penggunaan tanaman fitoremediasi juga merupakan salah satu teknologi dalam menanggulangi kerusakan lahan. Pemanfaatan tumbuhan liar seperti *Eleusine indica* (rumput belulang) dan *Acalypha microphylla* (teh-tehan merah) dapat dilakukan sebagai fitoremediator logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) (Hamzah dan Hapsari, 2017). Penggunaan tanaman rami dan mendong yang dikombinasikan dengan pemberian bahan pengkelat, yaitu *Agrobacterium sp.* dan kompos dapat meremediasi logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) pada tanah dengan meningkatkan pengikatan logam pada tanah dan menekan penyerapan oleh tanaman (Rosariastuti *et al.*, 2020).

Pengelolaan lahan pertanian akibat terjadinya kerusakan lahan yang disebabkan adanya intrusi air laut dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti ameliorasi lahan (Hendri dan Saidi, 2020), pengaturan air (Minhas *et al.*, 2020), penanaman varietas tanaman yang tahan salinitas (Ganie *et al.*, 2019), dan pemanfaatan mikroorganisme seperti *Streptomyces* (Romano-Armada *et al.*, 2020). Pemanfaatan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*

(PGPR) pada lahan salin menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan unsur hara N pada tanaman kacang tanah (Sharma *et al.*, 2016). Selain itu, pemberian biochar efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terhadap cekaman salinitas (Parkash dan Singh, 2020).

Namun, tentu saja mencegah kerusakan lahan lebih baik dibandingkan menanggulangnya. Secara umum, pengelolaan untuk mencegah degradasi lahan dapat dilakukan dengan penerapan teknologi konservasi tanah dan air yang mencakup konservasi secara mekanis, penerapan pertanian organik, dan pemberian bahan organik tanah (Krisnohadi, 2017). Cara preventif seperti memaksimalkan penutupan permukaan tanah oleh tanaman, memastikan ketersediaan hara, dan memelihara stabilitas agregat tanah, serta menerapkan konsep agroforestri dan teknologi konservasi (Hafif, 2021).

BAB II

SUMBER DAN BENTUK KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Helena Lina Susilawati, Nourma Al-Viandari, Sarah,
Terry Ayu Adriani, Asep Kurnia

Sumber daya alam merupakan salah satu modal besar dalam pembangunan nasional dan pemanfaatannya untuk kepentingan rakyat harus tetap memperhatikan kelestarian lingkungan. Meningkatnya pertumbuhan penduduk diikuti dengan meningkatnya kebutuhan hidup baik primer, sekunder, maupun tersier menimbulkan tekanan terhadap daya dukung alam dan lingkungan dalam bentuk eksploitasi sumber daya alam yang mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan dan kerusakan alam (tanah, air, udara dan lingkungan) dan menjadi salah satu permasalahan global (Putu, 2015). Di dalam Undang-Undang (UU) No. 32 Tahun 2009 pasal 1 butir 2 disampaikan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup merupakan upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum. Hal ini diperlukan karena makhluk hidup membutuhkan alam yang baik, sehat, dan lestari untuk bertahan hidup dengan menjaga kelestarian alam lingkungan kita hidup.

Kerusakan lahan dapat disebabkan kejadian alam, perbuatan manusia atau gabungan kedua hal tersebut. Aktivitas manusia berpengaruh terhadap lingkungan hidupnya. Kondisi lingkungan memengaruhi kehidupan manusia dan makhluk lainnya. Terdapat banyak penyebab kerusakan lahan dan lingkungan, salah satunya adalah polusi. Ada empat penyebab utama, yakni polusi air, udara, tanah, dan kebisingan. Kerusakan lahan dan lingkungan

mengancam kehidupan manusia dan menentukan tingkat kerawanan bencana di suatu kawasan.

2.1 SUMBER PENYEBAB KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Proses industrialisasi maupun teknologi pertanian memberi manfaat bagi kehidupan dan berdampak terhadap tatanan ekologis, berpengaruh terhadap turunnya produksi pangan sehingga mengancam ketahanan pangan, ekonomi, sosial, dan politik. Ida Bagus Mantra (1986), menyampaikan bahwa peningkatan jumlah penduduk, penurunan luas dan kualitas lahan memengaruhi penurunan daya dukung lahan dan lingkungan. Perubahan daya dukung tersebut dinamis menurut waktu karena adanya percepatan teknologi dan perubahan kebudayaan.

Pertanian merupakan aktivitas manusia yang berperan penting dalam penyediaan pangan yang sangat bergantung pada penggunaan lahan. Pembukaan lahan dan pemanfaatan lahan yang dilakukan dengan cara yang tidak bijaksana dan teknologi yang tidak tepat menyebabkan terjadinya kerusakan lahan dan lingkungan pertanian. Kerusakan lahan dan lingkungan dapat disebabkan oleh pengaruh alam, aktivitas manusia maupun pengaruh interaksi keduanya

2.1.1 Peristiwa Alam

Kerusakan yang terjadi secara alami karena faktor alam dapat memengaruhi keseimbangan lingkungan hidup. Beberapa peristiwa alam yang dapat memengaruhi kerusakan lingkungan, antara lain erupsi gunung berapi, gempa bumi, tsunami, tanah longsor, banjir, badai dan angin topan, serta kekeringan.

Indonesia terletak pada jalur *The Pacific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) dengan rangkaian gunung api aktif di dunia sehingga menyebabkan Indonesia rawan bencana alam, seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, hingga tsunami dan beberapa bencana besar yang sudah terjadi. Jumlah gunung berapi di Indonesia kurang lebih 240 buah dengan 70 buah di antaranya gunung aktif. Selain itu, Indonesia dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik dunia sehingga sangat rawan terjadi gempa bumi, baik gempa bumi tektonik dan vulkanik.

Gempa bumi merupakan peristiwa alam yang tidak dapat diprediksi dan dapat membahayakan keselamatan. Gempa bumi berasal dari getaran di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi. Bahaya utama gempa bumi, yaitu goyangan langsung dari getaran yang terjadi di

permukaan bumi dan adanya peluang terjadinya tsunami, yang diakibatkan getaran gempa dari dalam laut sehingga memicu gelombang sangat besar yang menghantam daratan. Zona gempa dan gunung api aktif dalam Sirkum Pasifik sangat terkenal. Hal itu dikarenakan berpeluang menelan korban dengan jumlah banyak (Iai dan Ichii 2010; Nur, 2010; Sungkawa 2016). Beberapa faktor yang menyebabkan gempa bumi, yaitu pergeseran rekahan bumi dengan keras (tektonik), aktivitas gunung api (vulkanik), benda langit jatuh, dan aktivitas manusia seperti bom nuklir (Nur, 2010). Terdapat tiga macam gempa bumi berdasarkan karakteristiknya, yaitu: 1) gempa bumi akibat runtuhnya tambang dan lorong gua biasanya memiliki getaran paling kecil di antara yang lain; 2) gempa bumi vulkanik akibat letusan gunung berapi. Gerakan magma bumi berakibat getaran yang dapat dirasakan oleh masyarakat sekitar; 3) Gempa bumi tektonik yang terjadi akibat pergeseran sesar yang terjadi pada daerah tumbukan (Sungkawa, 2016).

Gempa bumi merupakan salah satu peristiwa alam yang berdampak pada lingkungan pertanian terutama lahan kering. Kerusakan akibat gempa bumi bergantung dari karakteristik tanah pada daerah terdampak. Gempa bumi dapat mengganggu aktivitas pertanian dikarenakan kerusakan bukan hanya pada lahan, tetapi juga infrastruktur usaha tani seperti jaringan irigasi, jalan usaha tani, pematang, terasering, serta bangunan petakan lahan usaha tani. Hasil analisis sebelum dan sesudah terjadinya gempa tahun 2004 di wilayah kabupaten Aceh Barat Daya diperoleh bahwa gempa bumi dan tsunami mengakibatkan perubahan lahan yang tandus dan bebatuan. Padahal, daerah tersebut awalnya memiliki tata letak lahan dengan luas hutan dan pemukiman yang baik (Tomasoa dan Prasetyo, 2018).

Letusan gunung Semeru di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur pada 2021 berdampak pada 2.417,2 ha lahan. Kerusakan tersebut meliputi 764,5 ha lahan terbuka, 909,8 ha hutan, 243,1 ha hutan sekunder, 161,5 ha lahan pertanian, 161,2 ha ladang/tegalan, 77,9 ha lahan perkebunan, 20,9 ha semak/belukar, 67,8 ha pemukiman, dan 10,4 ha tubuh air (BRIN, 2021). Lahan yang terkena letusan gunung berapi membutuhkan waktu untuk dapat digunakan kembali sebagai lahan pertanian terlebih yang terkena lumpur dan debu panas dengan ketebalan tertentu. Gambar 2.1 memperlihatkan kerusakan lahan dan lingkungan pertanian yang disebabkan oleh letusan gunung api Semeru pada 2021 sehingga lahan pertanian dan lingkungannya tidak dapat dimanfaatkan secara optimal karena tebalnya debu vulkanik.



Gambar 2.1 Dampak dari Letusan Gunung Semeru
Sumber: Dokumentasi BBSDLP, 2022

2.1.2 Aktivitas Manusia

Kerusakan lahan dan lingkungan pertanian yang disebabkan aktivitas manusia cukup beragam dan dapat menyebabkan kerusakan fisik, kimia, dan/atau biologi tanah. Revolusi hijau telah mampu meningkatkan produksi pangan dan mengatasi krisis pangan, tetapi mempunyai dampak negatif seperti kepunahan keanekaragaman hayati, degradasi lahan, dan perubahan iklim telah menjadi permasalahan lingkungan yang serius baik pada tingkat nasional dan internasional. Penerapan pertanian intensif melalui penggunaan pupuk sintesis dan pestisida kimia intensif secara berulang setiap musim tanam selama bertahun-tahun dapat mencemari lingkungan baik pada ekosistem tanah, air, dan udara serta dapat memengaruhi kesehatan manusia (Rani *et al.*, 2020).

2.1.3 Pengaruh Alam dan Aktivitas Manusia

Kerusakan lahan gambut yang terbakar pada musim kemarau merupakan salah satu kerusakan yang terjadi karena pengaruh alam dan aktivitas manusia. Faktor-faktor alam seperti kekeringan, suhu tinggi, angin kencang, adanya akumulasi dedaunan/serasah, dan gesekan batuan memicu terjadinya kebakaran pada musim kemarau. Kejadian kebakaran dapat diperparah dengan adanya intervensi manusia pada lahan gambut seperti penurunan tinggi muka air gambut untuk penyiapan lahan, pembalakan liar, dan faktor kesengajaan lainnya sehingga menyebabkan kebakaran menjadi semakin meluas. Kerusakan gambut memicu hilangnya fungsi hidrologis dan munculnya tanah mineral berpirit yang menyebabkan lahan sulfat masam aktual dan terlantar sehingga menjadi sumber pencemaran lingkungan perairan di daerah tersebut.

Tabel 2.4 POPs yang telah diputuskan pada beberapa pertemuan (lanjutan)

No	Berdasarkan Konvensi Stockholm	Berdasarkan Pertemuan ke 9 (29 April–10 Mei 2019)	Yang sedang di-review
6	Heptaklor	Hexabromocyclododecane	<i>Long-chain perfluorocarboxylic acids, their salts and related compounds</i>
7	Hexachlorbenzene (HCB)	Hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether (<i>commercial</i> octabromodiphenyl ether)	
8	Mirex	Hexachlorobutadiene	
9	Toxapen	Lindane	
10	Polychlorine Bhipenyl (PCB)	Pentachlorobenzene	
11	Polychlorine dibenzo-p-dioxins (PCDD)	Pentachlorophenol and its salts and esters	
12	Polychlorine dibenzofurans (PCDF)	Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF) Polychlorinated naphthalenes Short-chain chlorinated paraffins (SCCPs) Technical endosulfan and its related isomers Tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether (<i>commercial</i> pentabromodiphenyl ether) Dicofol Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds	

Sumber: www.pops.int

2.4.3 Pencemaran Limbah Industri dan Rumah Tangga

Pencemaran dan kerusakan lingkungan pertanian dapat juga disebabkan karena kegiatan industri dan rumah tangga yang berada disekitar lahan pertanian. Pengembangan sektor industri akan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan pertanian kita, dikarenakan adanya

limbah yang dapat mencemari lingkungan pertanian di sekitarnya. Jenis limbah yang berasal dari industri dapat berupa limbah organik dan anorganik yang berbau, berbuih, dan berwarna serta mengandung bahan berbahaya seperti logam berat Pb, Cd, Hg dan lainnya. Apabila limbah industri tersebut dibuang ke saluran air atau sungai, akan menimbulkan pencemaran air dan merusak atau mengganggu kehidupan organisme di dalam ekosistem tersebut. Tidak sedikit lahan pertanian menjadi tercemar senyawa berbahaya dari limbah industri yang terbawa melalui badan air irigasi dan yang berada tidak jauh dari lokasi pabrik tersebut. Selain itu, limbah yang berupa gas buang, seperti belerang dioksida (SO_2) menyebabkan terjadinya hujan asam dan merusak lahan pertanian. Di samping itu, adanya limbah cair dengan kandungan logam berat beracun (Pb, Ni, Cd, Hg) akan mencemari lahan pertanian. Limbah cair ini apabila masuk ke badan air untuk pengairan berdampak negatif dengan sebaran yang meluas.

Lahan persawahan di Kabupaten Bandung seperti wilayah Kecamatan Rancaekek, Cicalengka, Majalaya merupakan contoh kawasan yang tercemar yang terkena dampak limbah cair dari kawasan Industri tekstil yang mengandung logam berat berbahaya. Kandungan logam berat yang terdeteksi cukup tinggi yaitu Cr (0,06-174,7 mg/l), As (0,28-4,0 mg/l) dan Hg (25,9 – 92,2 mg/l). Lahan pertanian dan sumber air domestik tercemar limbah cair industri tekstil yang dibuang melalui aliran sungai dan kemudian akan masuk ke dalam saluran irigasi. Akumulasi logam berat dan natrium yang terus terjadi akan mengakibatkan lahan pertanian dan lingkungan sekitarnya rusak. Kondisi ini mengakibatkan penurunan produksi pertanian karena pemanfaatan pengairan lahan pertanian berasal dari saluran irigasi dan sungai tersebut (Komarawidjaja, 2017).

Apabila tidak dikelola dengan baik limbah rumah tangga/domestik yang berasal dari kegiatan perumahan juga dapat menjadi permasalahan lingkungan yang cukup serius. Limbah domestik terbagi menjadi dua, yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah organik dapat sisa sayuran, buah-buahan, dan makanan. Sementara itu, limbah anorganik dapat berupa plastik, karet, gelas, dan barang rumah tangga lainnya. Selain limbah padatan, limbah rumah tangga yang dominan adalah berbentuk cairan yang mengandung bahan-bahan kimia yang berasal dari penggunaan detergen, sampo, ataupun sabun. Limbah rumah tangga dari penggunaan detergen yang langsung dibuang ke saluran air. Hal tersebut juga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran air irigasi atau sungai. Kandungan utama di dalam detergen, yaitu natrium tripolifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) yang

menyebabkan peningkatan kandungan fosfat yang menyebabkan eutrofikasi (pengkayaan nutrisi) pada badan air (Sabli dan Zahrah, 2015) dan surfaktan yang berasal dari senyawa alkil benzena sulfonat (ABS) yang merupakan bahan aktif yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme (Komariah *et al.*, 2017). Kandungan surfaktan pada detergen dapat membentuk busa yang akan menutupi permukaan perairan sehingga akan menghambat proses difusi oksigen ke dalam air. Penurunan kadar oksigen terlarut dalam air akan mengganggu kehidupan organisme perairan (Tanjung *et al.*, 2019). Selain itu, apabila air sungai yang tercemar limbah domestik tersebut masuk ke dalam lahan pertanian mengganggu jasa ekosistem yang akan berimbas pada penurunan kualitas dan kuantitas produk pertanian.

2.5 KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN SEBAGAI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM (PI)

Emisi gas rumah kaca (GRK), seperti chlorofluorocarbon (CFC), dinitrogen oksida (N_2O), metana (CH_4), dan karbon dioksida (CO_2) telah mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Meningkatnya suhu permukaan bumi telah mengakibatkan mencairnya es di kutub, mencairnya permafrost, peningkatan muka air laut, menyempitnya daratan, peningkatan suhu air laut sehingga menimbulkan perubahan pola musim hujan dan curah hujan, seperti banjir bandang, hujan es, atau bahkan bertambah luasnya padang gurun. Akibat perubahan tersebut menimbulkan gagal panen dan risiko terjadinya kebakaran hutan karena kekeringan yang berkepanjangan.

Saat ini, peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan anomali perubahan iklim yang diindikasikan adanya pergeseran musim tanam, serangan hama dan penyakit tanaman, serta banjir dan kekeringan, hingga gagal panen. Peningkatan GRK akan mengancam kestabilan pangan dan sumber daya alam sebagai pendukung keberlanjutan pertanian. Kondisi ini juga akan menurunkan hasil panen, baik dari segi kualitas maupun kuantitas, tingkat kesuburan sebagian tanah berkurang sehingga tidak dapat digunakan sebagai lahan pertanian. Petani akan semakin sulit melakukan aktivitas pertanian. Sebagian warga terpaksa harus pindah ke tempat lain. Petani-petani mungkin harus berebut untuk menanam di lahan yang subur.

Emisi GRK utama dari sektor pertanian adalah CH_4 , N_2O , dan CO_2 . Budidaya padi sawah yang digenangi merupakan kondisi optimum pembentukan gas CH_4 . Aktivitas pemupukan di lahan pertanian dapat menyumbang 13-14% dari total emisi N_2O per tahunnya (Smith *et al.*, 2014). Peningkatan emisi CH_4 dan N_2O dari sektor pertanian ini berkontribusi nyata dalam perubahan iklim. Dalam UU No. 16 Tahun 2016, ditegaskan bahwa

Indonesia berkomitmen untuk menurunkan GRK lewat dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) sebesar 29% dengan usaha sendiri (dan 41% dengan dukungan internasional) sampai pada 2030. Hasil perhitungan inventarisasi GRK nasional menunjukkan tingkat emisi GRK pada 2019 sebesar 1.866.552 Gg CO₂e, sementara sektor pertanian berkontribusi sebesar 108.598 Gg CO₂e. Penurunan emisi dari sektor pertanian pada 2019 adalah sebesar 20.063 Gg CO₂e (KLHK, 2021).

2.5.1 Kekeringan

Laporan Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) menyatakan sekitar 700 juta orang akan terancam kehilangan tempat tinggal akibat kekeringan pada 2030. PBB memperingatkan risiko yang lebih besar dari kekeringan dan mendesak tindakan segera. Berdasarkan *Drought in Numbers, 2022*, dari United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), jumlah dan durasi kekeringan telah meningkat 29% sejak 2000. Laporan tersebut memperkirakan 700 juta orang akan terancam kehilangan tempat tinggal akibat kekeringan pada 2030, kecuali tindakan ditingkatkan. Lebih dari 2,3 miliar orang sudah menghadapi tekanan air.

Tidak ada negara yang kebal terhadap kekeringan. Kekeringan diperkirakan akan memburuk saat planet memanas, tidak hanya memengaruhi pola curah hujan, tetapi juga menyebabkan air menguap lebih cepat, yang berarti lahan akan masif. Kerusakan lahan yang meluas ini karena praktik pertanian yang buruk, penggundulan hutan, pertambangan, dan polusi. UNCCD mengatakan dalam laporan terpisah baru-baru ini bahwa hingga 40% permukaan tanah planet ini terdegradasi dan sangat membutuhkan restorasi. Kekeringan yang lebih lama dan lebih parah berisiko memangkas hasil panen, membunuh ternak, mengurangi pasokan air, serta mengubah hutan dan padang rumput menjadi area yang mudah terbakar.

Kebakaran hutan beberapa tahun terakhir di Australia, Brasil, California, Indonesia, dan Siberia karena kekeringan memberikan dampak yang luas. Lebih dari 1,4 miliar orang terkena dampak kekeringan antara 2000 dan 2019. Mayoritas dari mereka di negara-negara miskin, tetapi semakin meningkat di negara-negara kaya. Saat ini, kekeringan parah memengaruhi Tanduk Afrika serta sebagian besar Amerika Serikat bagian barat. Afrika menderita lebih sering daripada benua lain dengan 134 kasus kekeringan, di mana 70 kasus terjadi di Afrika Timur. Kekeringan di negara-negara kaya, seperti Australia dan Amerika Serikat dapat berdampak global dengan mengurangi ekspor biji-bijian, seperti gandum, biji minyak,

daging, dan makanan lainnya. Selama Kekeringan Milenium Australia, total produktivitas pertanian turun 18% antara 2002 hingga 2010.

2.5.2 Banjir

Sektor pertanian sangat tergantung dari ketersediaan air. Kecukupan air merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan usaha pertanian. Perubahan parameter iklim yang fluktuatif dan sulit diperkirakan, seperti perubahan pola curah hujan yang ekstrem dapat mengakibatkan bencana kekeringan apabila jumlahnya sedikit atau banjir apabila jumlahnya berlebihan karena adanya curah hujan yang tinggi, mencairnya gletser, dan meningkatnya permukaan air laut (rob) (Satterthwaite 2008).

Banjir merupakan bencana yang sering dihadapi oleh masyarakat pada daerah sekitar Daerah Aliran Sungai (DAS) yang memiliki curah hujan tinggi pada musim penghujan. Menurut UU No. 24 Tahun 2007, risiko banjir yang diakibatkan pada suatu wilayah dan pada kurun waktu tertentu antara lain kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh banjir pada sektor pertanian antara lain rusaknya saluran irigasi, bendungan, tanggul dan sarana pertanian lainnya yang diakibatkan dari ketidaksiapan dalam penanganan dini bencana sehingga memengaruhi produksi. Banjir memengaruhi lahan sawah yang menyebabkan berkurangnya luas area panen dan turunnya produksi padi (Badan Litbang Pertanian, 2011).

Pencegahan petani dalam mengatasi dampak buruk bencana yang memengaruhi risiko usaha tani dapat dilakukan dengan menyimpan sebagian hasil panen padi dalam lumbung, menanam umbi-umbian dan tanaman menghasilkan lainnya di pekarangan atau ladang, dan memelihara ternak.

Dahlia *et al.*, 2016 yang melakukan penelitian terkait dengan kerentanan banjir pada lahan sawah padi yang terbentang pada DAS Cidurian di Desa Renged, Kecamatan Binuang, Serang, Banten menyampaikan bahwa kerentanan lahan sawah pada DAS Cidurian terhadap bahaya banjir kelas sedang seluas 189,70 ha dan yang mempunyai kerentanan tinggi terdapat pada lahan sawah yang berlokasi di dataran banjir dan dekat saluran irigasi. Pada 2008, genangan akibat rob yang terjadi di Kabupaten Bangkalan, Madura terjadi secara periodik dan secara terus-menerus mencapai luasan sebesar 2.082 dan 4.636 ha pada wilayah pesisir dan diprediksi akan terjadi penambahan genangan sebesar 188.84 dan 953.04 ha pada 20 dan 50 tahun mendatang (Syah, 2012).

BAB III

KARAKTERISTIK KERUSAKAN LAHAN DAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Mujiyo, Siti Maro'ah, Widyatmani Sih Dewi, Aktavia Herawati,
Ganjar Herdiansyah, Sumani, Rahayu

Kerusakan lahan dan lingkungan pertanian berkontribusi besar pada terjadinya kehilangan produktivitas tanah, keanekaragaman hayati, perubahan kuantitas dan kualitas vegetasi lahan, serta meningkatkan kerentanan rusaknya lingkungan itu sendiri sehingga secara menyeluruh kerusakan lahan dan lingkungan pertanian berakibat pada penurunan bahkan kehilangan daya dukung fungsi suatu lahan. Kerusakan lahan merupakan akibat dari proses alam, variasi iklim, dan perbuatan manusia (UNCCD, 1994) yang menyebabkan lahan tidak lagi dapat menopang fungsinya dengan baik (FAO, 1998), kehilangan keanekaragaman hayati dan penurunan fungsi ekosistem mencakup ekosistem darat hingga ekosistem perairan (IPBES, 2018). Penurunan fungsi lahan pertanian bersifat tetap maupun sementara. Kerusakan lahan diidentifikasi sebagai ancaman ketahanan pangan dunia oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), di mana secara global mencapai 50% wilayah di dunia yang lahan pertaniannya terkerusakan mengalami kerugian hasil panen, juga harga bahan pangan menjadi meningkat, berdampak pada kerugian ekonomi petani, bahkan hilangnya pendapatan. Konsekuensi jangka panjang dari kerusakan lahan ialah terganggunya ekologi, perubahan iklim, dan kondisi sosial ekonomi skala regional dan global (Pravalie R, 2021).

3.1 KERUSAKAN SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

Dalam *Guidelines for Field Assesment Land Degradation* oleh Stocking M dan Murnaghan N (2000), produktivitas dan kualitas tanah merupakan indikator yang paling erat hubungannya dengan kerusakan lahan.

Indikator kerusakan lahan yang paling tepat dipusatkan pada penggunaan lahan pertanian itu sendiri. Lahan yang rusak dapat dinilai dari komponen tanah, air, dan udara. Pada prinsipnya, menurut Wahyunto dan Dariah (2014), kriteria kerusakan lahan terbagi dalam beberapa aspek, yaitu kerusakan fisik, kerusakan kimiawi, dan kerusakan biologis dijelaskan pada sub bab berikut ini.

3.1.1 Kerusakan Tanah pada Lahan dan Lingkungan Pertanian

3.1.1.1 Aspek fisik tanah

Kerusakan tanah pada aspek fisik adalah penurunan sifat fisik alami tanah. Kerusakan fisik tanah terjadi dalam bentuk pemadatan tanah, aerasi dan drainase buruk, ketidakseimbangan, dan pergerakan air tanah, dan perubahan struktur tanah. Kerusakan fisik tanah dijelaskan sebagai berikut:

a. Pemadatan tanah

Penggunaan alat dan mesin pertanian seperti cangkul dan traktor secara tidak langsung dapat menyebabkan pemadatan tanah. Saat penggemburan tanah menggunakan cangkul akan terjadi dispersi agregat, tanah terbawa erosi saat musim hujan, dan terjadi proses iluviasi yang akan memadatkan tanah. Proses iluviasi adalah proses penimbunan bahan-bahan tanah, dimana bahan tanah akan mengisi pori-pori tanah. Kegiatan olah tanah pada saat persiapan budidaya tanaman menggunakan alat dan mesin seperti cangkul dan traktor. Traktor merupakan alat berat untuk kegiatan pertanian yang paling banyak menyebabkan pemadatan tanah hingga lapisan tanah bawah atau lebih dalam. Hal ini dikarenakan roda traktor menekan permukaan tanah dan struktur tanah menjadi rusak. Pemadatan tanah didefinisikan sebagai proses penekanan tanah tak jenuh yang disebabkan oleh suatu beban dalam jangka waktu singkat tanpa adanya *expulsion of water* (Alakukku, 2012). Tanah juga dapat terkompresi secara alami karena air hujan atau melalui penyusutan karena mengeringnya tanah liat. Pemadatan tanah menghasilkan penurunan porositas tanah dan perubahan non-volumetrik struktur tanah.

Pemadatan tanah mengubah distribusi ukuran pori mineral tanah, terutama makroporositas tanah, geometri pori, kontinuitas dan morfologi pori. Pori makro tanah penting karena dalam tanah basah digunakan sebagai ruang pergerakan air dan udara yang cepat. Beberapa penelitian mengungkapkan dampak positif dari pemadatan tanah seperti peningkatan kapasitas air tanah berpasir yang tersedia bagi tanaman (Rasmussen, 1985) dan mereduksi pencucian nitrat (Kirkham dan Horton, 1990). Namun, sering kali pemadatan tanah berpengaruh buruk pada sifat tanah yang berkaitan

dengan drainase, pertumbuhan tanaman dan lingkungan. Ramazan *et al.* (2012) melaporkan bahwa pemadatan tanah berpengaruh signifikan pada peningkatan *bulk density*, penurunan panjang akar dan hasil jagung. Tanah dengan *bulk density* tinggi memiliki porositas yang rendah dan konduktivitas hidrolis buruk sehingga tidak sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Pemadatan tanah berdampak pada perubahan tanah menjadi padat dan keras saat musim kemarau. Penyerapan air pada tanah berlangsung lambat karena pori-pori tanah bertekstur padat sangat kecil. Hal ini menyebabkan peningkatan laju aliran air permukaan sehingga laju erosi meningkat. Pemadatan tanah akan meningkatkan *run-off* dan erosi sehingga mempercepat kerusakan tanah dan solum tanah akan dangkal. Dampak lain pemadatan tanah yaitu penurunan kelembapan tanah dan aerasi di dalam tanah, suhu tanah tidak optimal, daya penetrasi akar tanaman akan menurun sehingga pertumbuhannya tidak optimal.

b. Aerasi dan drainase buruk

Aerasi dan drainase tanah berperan dalam mengatur pergerakan air dan udara di permukaan dan bawah tanah. Aerasi tanah membantu meningkatkan pertumbuhan dan penyebaran akar sehingga kemampuan tanaman dalam menyerap air meningkat dan mengurangi jumlah air yang hilang karena perkolasi. Aerasi dan drainase tanah erat kaitannya dengan komposisi fraksi tanah. Penelitian oleh Abuarab *et al.* (2013) melaporkan bahwa produktivitas air di tanah lempung liat berpasir meningkat sebesar 36%. Aerasi dan drainase yang buruk mengakibatkan kelebihan dan kekurangan asupan udara serta air suatu tanah sehingga tanah tidak berfungsi secara optimal. Penyebab aerasi dan drainase yaitu pemadatan tanah dan kondisi pori tanah yang terganggu. Tekstur tanah juga memengaruhi aerasi dan drainase tanah. Tanah dengan komposisi fraksi liat lebih dari 35% memiliki aerasi tanah yang buruk. Tingginya kandungan partikel liat menurunkan infiltrasi tanah karena jumlah pori-pori mikro menurun sehingga terjadi penurunan limpasan air di atasnya.

c. Pergerakan air tanah terhambat

Pergerakan air tanah adalah bagian dari siklus hidrologi dan pada umumnya bergerak dengan lambat atau dalam kondisi laminar. Kerusakan fisik tanah mengakibatkan pergerakan air pada lapisan bawah semakin terhambat. Pergerakan air yang terhambat menyebabkan unsur hara akan cepat hilang karena adanya pergerakan air di permukaan. Hal ini berdampak pada sulitnya perakaran tanaman mendapatkan air dan unsur hara sehingga perkembangan tanaman terganggu dan terjadi penurunan metabolisme tanaman.

d. Perubahan struktur tanah

Kerusakan tekstur dan struktur tanah memengaruhi kapasitas tanah dalam menampung air dan nutrisi. Kerusakan struktur tanah dan kondisi tanah yang mengalami pemadatan mengakibatkan berkurangnya kemampuan tanah dalam menyimpan dan menyerap air saat musim hujan. Pada musim kemarau, tanah akan mengeras dan padat sehingga mudah mengalami erosi dan tanaman sulit tumbuh. Penggunaan pupuk yang berlebihan melebihi jumlah yang direkomendasikan pada penanaman monokultur menyebabkan akumulasi garam mineral dari pupuk yang mendorong terjadinya pemadatan tanah dan kerusakan tanah dalam jangka panjang. Kerusakan tanah memengaruhi struktur tanah dan penyerapan unsur hara. Massah dan Azadegan (2016) melaporkan kerusakan tanah akibat penggunaan pupuk berlebih mengurangi jumlah pori makro tanah yang menyebabkan bertambahnya *bulk density* dan resistensi penetrasi. Hal ini dapat menurunkan sifat fisik tanah seperti struktur tanah menjadi keras dan rusak. Tanah yang padat dan keras akan mengurangi laju infiltrasi air, jumlah air dan udara di dalam tanah dan menghambat pertumbuhan perakaran tanaman.

3.1.1.2 Aspek Kimia

Kerusakan kimia tanah terjadi karena kehilangan nutrisi dan atau kandungan bahan organik, salinisasi, pengasaman, atau polusi dari aktivitas industri seperti pertambangan. Perubahan yang dihasilkan dari kerusakan kimia tanah antara lain rasio beberapa elemen terutama komposisi C, N, dan P tanah. Kerusakan lahan pada aspek kimia diantaranya pengasaman tanah (*acidification*), salinisasi (*salinization*), alkalinisasi (*alkalinization*), kekahatan dan keracunan unsur hara, serta pengurasan dan pencucian unsur hara.

a. Pengasaman (*Acidification*)

Pengasaman tanah merupakan suatu proses penurunan pH tanah dari waktu ke waktu. Pada pengasaman tanah terjadi penurunan kapasitas penetralan asam atau peningkatan kapasitas penetralan basa yang menghasilkan peningkatan kekuatan asam sehingga pH tanah menurun (Blake, 2005). Tanah masam berasal dari hasil pembentukan asam. Pengasaman lahan pertanian terjadi akibat penggunaan pupuk kimia untuk masukan hara, namun pada periode tanam tertentu membutuhkan dalam jumlah yang berlebih, terutama pupuk nitrogen. Tanah yang berkapur atau dalam kondisi basa akan mengambil manfaat dan membutuhkan

Limbah industri menjadi masalah lingkungan yang serius. Aktivitas dan keragaman mikroba tanah termasuk yang berasosiasi dengan siklus unsur juga sensitif terhadap kontaminasi lahan oleh polutan organik maupun anorganik. Kasus di daerah Pakistan yang dekat dengan pembuangan limbah industri terutama Cr sejak lebih dari 40 tahun (Sheik *et al.*, 2012). Daerah tersebut telah terkontaminasi oleh logam berat yang menyebabkan pergeseran komunitas bakteri dan kelimpahan Proteobacteria dalam tanah. Proteobacteria diduga merupakan organisme paling toleran terhadap logam karena jumlahnya banyak pada lokasi yang terkontaminasi logam. Logam berat dapat dijadikan indikator tercemarnya lingkungan sehingga penting untuk diketahui nilai ambang batas logam. Tiap negara memiliki nilai ambang batas logam berbeda karena kemampuan lahan untuk menopang logam berat yang berbeda-beda. Tingkat pelapukan tanah di Indonesia yang intensif memungkinkan daya penyokong tanah terhadap logam berat lebih rendah dengan demikian nilai ambang batasnya rendah. Menurut Peraturan No. 045 tahun 2006 yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM RI mengenai limbah lumpur akibat pengeboran minyak gas dan bumi. Baku mutu hasil pertanian dari lahan yang tercemar diperlukan untuk keamanan pangan bagi konsumen. Hal ini dikarenakan ambang batas pencemaran pada tanah, air, tanaman dan hasil pertanian di Indonesia belum ditetapkan. Baku mutu logam berat pada limbah lumpur disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Baku mutu logam berat limbah lumpur

Logam berat	Baku mutu (mg/L)
Arsen	5.0
Barium	100.0
Cadmium	1.0
Chromium	5.0
Copper	10.0
Lead	5.0
Mercury	0.2
Selenium	1.0
Silver	5.0
Zinc	50.0

Sumber: Kementerian ESDM RI Tahun 2006

3.2.2 Pencemaran Agrokimia

Kegiatan pertanian dapat menimbulkan pencemaran lingkungan seperti pencemaran tanah dan air. Akibat praktik pada lahan pertanian secara intensif untuk budidaya tanaman pangan menggunakan masukan dalam jumlah tinggi sering kali terjadi pencemaran tanah. Pemberian bahan agrokimia seperti pupuk anorganik dan pestisida kimia dapat mendorong jumlah produksi tanaman dan meningkatkan ketersediaan kebutuhan pangan, tetapi penggunaannya yang kurang diperhatikan dalam jumlah berlebihan, tidak sesuai prosedur penggunaan, dan melebihi ambang kritis di dalam tanah akan menyebabkan kerusakan lahan dan lingkungan sekitar. Kegiatan pertanian juga memiliki dampak yang sama besar terhadap kerusakan air. Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Puslibangtanak hasil analisis kandungan pupuk anorganik P di Indonesia mengandung logam berat yaitu Cd, Cr, dan Pb.

Air yang digunakan untuk kegiatan pertanian tercemar oleh zat-zat pencemar yang dapat menurunkan kualitas air dan tidak baik bagi hasil budidaya tanaman dari lahan yang tercemar. Potensi terjadi kerusakan air lebih besar terjadi pada kawasan pertanian yang dekat dengan sumber air. Kasus yang terjadi di Indonesia, yaitu di daerah Karawang ditemukan tingginya kandungan residu organoklorin di air sekitar lahan pertanian seperti air sawah itu sendiri, dan air sungai melebihi batas toleransi membahayakan sebagai akibat penggunaan insektisida sejak masa lampau. Pestisida semprot yang digunakan terus-menerus akan menjadi limbah yang terbawa air melalui irigasi lahan. Keberadaan residu organoklorin di dalam air akan menurunkan aktivitas biota dan mikroorganisme air dan tanah yang bermanfaat, serta mengancam produksi tanaman.

3.2.3 Pencemaran Pertambangan

Aktivitas pertambangan dilakukan di atas lahan yang subur. Sektor pertambangan memiliki dampak besar terhadap kerusakan lahan dan lingkungan pertanian. Tidak hanya degradasi bentang lahan dan penurunan bahan organik tanah di sekitar kawasan pertambangan, melainkan kontaminasi lingkungan oleh logam berat (Pb, Hg, dan Cu) seperti pada penambangan emas di tambang emas Haigo (Chen *et al.*, 2016). Hasil menunjukkan konsentrasi Pb rata-rata 40 kali lipat dan konsentrasi Hg rata-rata < dari kelas I dari Standar Kualitas Lingkungan Cina untuk tanah. Pencemaran tanah dan air oleh logam berat (Fe, Pb, Zn, Cu, Mn dan As) juga terjadi di Kokoteasue, Ghana sebagai dampak dari penambangan emas (Gyamfi *et al.*, 2019).

Pertambangan batu bara berdampak besar pada pencemaran logam berat pada tanah dan air di lingkungan sekitarnya. Batu bara sebagai sumber daya mineral organik untuk memenuhi kebutuhan sumber energi. Bahan mineral dan unsur anorganik dalam bentuk ion pada batu bara dapat larut dalam air sehingga mencemari air irigasi dan meracuni tanah. Penelitian oleh Albertus dan Zalukhu (2019) di tambang batu bara terbesar di Indonesia yang berada di Sanggata, Kabupaten Kutai Timur. Pertambangan batu bara tersebut menimbulkan banyak masalah. Limbah pencucian batu bara akan mencemari air sungai sehingga mengubah warna air menjadi keruh, asam, dan terjadi pendangkalan sungai karena endapan sulfur. Pertambangan batu bara juga mencemari tanah dan udara seperti adanya kubangan air yang mengandung asam tinggi sehingga dapat mengganggu pertumbuhan tanaman di sekitarnya. Kondisi pasca eksploitasi batu bara akan meninggalkan drainase tambang asam dan erosi tanah.

3.3 KERUSAKAN LINGKUNGAN HIDUP

Kerusakan lingkungan merupakan perubahan pada sumber daya alam tanah, air, udara, dan ekosistem yang terjadi akibat gangguan manusia (Tyagi S, *et al.*, 2014). Dalam Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan mengartikan perusakan lingkungan penyebab utamanya adalah gangguan manusia dan berdampak secara langsung maupun tidak langsung pada kerusakan lingkungan hidup, serta menimbulkan perubahan dalam pembangunan berkelanjutan. Perubahan lingkungan memiliki peran yang cukup besar dalam variabel iklim yang terhubung dan memengaruhi lahan dan lingkungan pertanian yang mencakup musim tanam, naik turunnya temperatur dan kelembapan tanah, serta perubahan curah hujan (Wheaton E, and Kulshreshtha S, 2017). Sebab dan akibat kerusakan lingkungan hidup dijelaskan pada sub bab berikut ini.

3.3.1 Suhu

Praktik pengelolaan pertanian disamping dapat meningkatkan hasil pertanian, namun juga berdampak merugikan lahan dan lingkungan. Salah satu contohnya adalah penggunaan pupuk untuk penambahan unsur hara tanah. Aplikasi pupuk N dalam tanah menghasilkan gas N_2O karena proses nitrifikasi atau denitrifikasi tergantung kondisi tanah. Gas N_2O ini akan dilepas ke atmosfer dan mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Walaupun secara tidak langsung N_2O mengakibatkan pencemaran lahan pertanian, tetapi emisi N_2O ini berdampak pada perubahan iklim global dan menurunkan produktivitas pertanian. Isu

pencemaran udara termasuk yang memiliki potensi berkontribusi pada pemanasan global. Pemanasan global terjadi karena adanya peningkatan intensitas efek rumah kaca mengakibatkan perubahan iklim global, permukaan air laut naik, dan berdampak pada produksi pertanian. Efek rumah kaca yang meningkat ini akibat dari peningkatan gas-gas rumah kaca (GRK) di atmosfer seperti CO₂, CH₄, N₂O, dan CFC.

3.3.2 Kelembapan

Salah satu indikator kerusakan lahan adalah terjadinya erosi. Erosi menyebabkan lahan pertanian kehilangan lapisan atas tanah (*top soil*) yang subur, kedalaman lahan berkurang, menurunnya fungsi lahan dan kelembapan tanah akan hilang. Tanah yang terkikis akan mengalami penurunan bahkan kehilangan kelembapan hingga menjadi tidak optimal akibat bahan organik sebagai pengontrol suhu dan kelembapan tanah yang terangkut aliran permukaan (Hafif, 2020). Tanah dengan keadaan jenuh akibat kelembapan yang tinggi akan mengalami drainase dan mencapai titik kapasitas lapang yang lebih lambat, nantinya berdampak pada kebutuhan air lebih sedikit yang dapat digunakan oleh tanaman. Selain kegiatan pertanian, kegiatan pertambangan batu bara juga berdampak besar pada kerusakan lingkungan pertanian. Aktivitas pertambangan berdampak pada kerusakan fisik melalui polusi udara (Yudhistira *et al.*, 2011). Udara sekitar lingkungan pertambangan mengandung asam tinggi sehingga dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan menjadikan hasil panen tanaman mengandung bahan berbahaya bagi tubuh.

BAB IV

POTRET TINGKAT KERUSAKAN DAN PENCEMARAN LAHAN PERTANIAN

Triyani Dewi, C.O. Handayani, Hidayatuz Zu'amah, Nurhasan,
Eni Yulianingsih

Kerusakan lahan pertanian mengakibatkan berkurangnya kualitas dan produktivitas tanah sebagai media untuk kegiatan pertanian. Kerusakan tanah dapat disebabkan dari kegiatan pertanian seperti penggunaan pupuk kimia dan pestisida secara berlebihan, kegiatan non-pertanian (pertambangan, industri, sampah, limbah rumah tangga), dan akibat alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian. Kerusakan lahan pertanian juga dapat terjadi di beberapa ekosistem termasuk di daerah pesisir pantai. Perubahan iklim mengakibatkan peningkatan muka air laut, yang memicu salinitas air tanah dan tanah.

Penggunaan pupuk dan pestisida semakin meningkat dari tahun ke tahun dan menjadi suatu keharusan bagi petani sejak adanya revolusi hijau di tahun 1970-an. Masukan teknologi berupa pupuk dan pestisida dalam sistem pertanian modern, jika terlalu berlebihan dalam aplikasinya berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan. Dampak yang ditimbulkan antara lain tercemarnya tanah dan air, hama menjadi resisten, menurunkan kualitas produk pertanian, dan membahayakan manusia dan makhluk hidup lainnya.

4.1. PENCEMARAN DARI BAHAN AGROKIMIA

Penggunaan bahan agrokimia dalam praktik pertanian sampai saat ini tidak dapat dihindari. Tuntutan peningkatan produksi memaksa petani menggunakan pupuk dan pestisida kimia. Namun tanpa disadari, penggunaan bahan-bahan agrokimia yang berlebihan tersebut dan terus-menerus mengakibatkan pencemaran lingkungan dan kesehatan manusia.

Penggunaan bahan agrokimia yang masif dan tidak terkontrol menimbulkan beberapa permasalahan, antara lain: a) Kandungan logam berat pada bahan agrokimia, b) Pencemaran nitrat pada badan air, dan c) Residu pestisida pada lahan pertanian.

4.1.1. Status logam berat pada lahan pertanian akibat bahan agrokimia

Logam berat yang terkandung dalam tanah melalui pupuk menjadi perhatian karena berpotensi mencemari lingkungan. Pupuk fosfat merupakan sumber utama logam berat dalam tanah dibandingkan dengan pupuk Nitrogen (N), dan Kalium (K). Sejumlah pupuk N, Fosfor (P), dan K diberikan secara teratur ke dalam tanah pada sistem pertanian intensif untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Beberapa jenis pupuk N, P, pupuk yang berasal dari batuan fosfat, dan kompos yang mengandung logam berat seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Arsen (As), Krom (Cr), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), dan Kobalt (Co). Logam berat tersebut dapat meningkat konsentrasinya dalam tanah seiring dengan meningkatnya pupuk yang digunakan (Setyorini *et al.*, 2003; Lou *et al.*, 2009).

Pestisida digunakan pada budidaya pertanian untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman (OPT). Beberapa pestisida mengandung logam berat seperti Cd, Pb, Cr, Co, dan Ni (Zoffoli *et al.*, 2013). Pestisida yang berbahan aktif mankozeb dan propineb mengandung Pb masing-masing sebesar 19,37 mg/kg dan 2,04–12,48 mg/kg. Adanya kandungan Pb dalam pestisida diduga berasal dari bahan baku pestisida itu sendiri yang berasal dari pengeboran minyak bumi. Pestisida cair dibuat melalui proses bahan aktif yang dilarutkan dengan pelarut xylene, kerosen, dan naftalen yang merupakan hasil penyulingan minyak mentah yang dimungkinkan mengandung logam berat Pb (Karyadi, 2011).

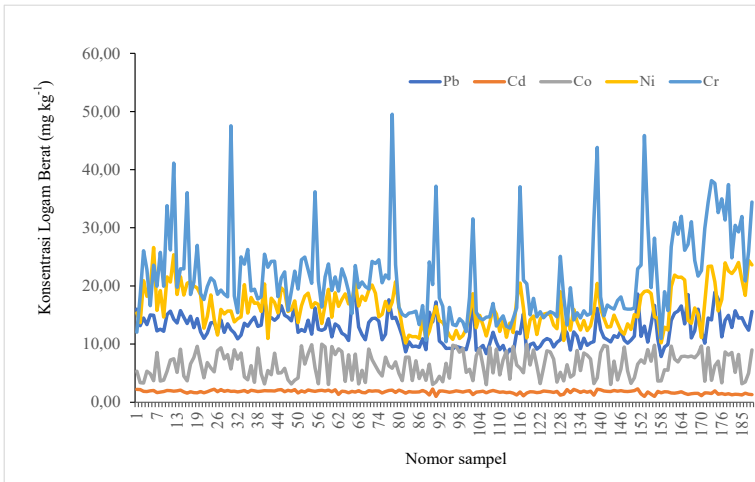


Gambar 4.1 Petani sedang melakukan penyemprotan pestisida di lahan sayuran, Batu, Malang

Sumber: Balingtan, 2020

Logam berat yang dikaji pada tanah sawah di empat zonasi, yaitu sawah tadah hujan, sawah irigasi bagian atas, tengah, dan hilir di DAS Brantas Kabupaten Jombang antara lain Mn, Zn, Fe, Pb, Cd, Cr, Cu, dan Co masih berada di bawah batas kritis untuk lahan pertanian. Logam Cr sebagian ditemukan melebihi batas kritis. Lahan sawah tadah hujan kandungan logam beratnya relatif lebih tinggi dari lahan sawah irigasi. Hal ini disebabkan karena penggunaan pupuk dan pestisida di daerah hulu lebih tinggi yang sementara pencucian oleh air hujan lebih kecil dibandingkan dengan pencucian air irigasi yang lebih intensif pada lahan sawah irigasi (Sukarjo *et al.*, 2019).

Lahan bawang merah di Kabupaten Brebes, Jawa Tengah menurut penelitian yang dilakukan oleh Dewi *et al.* (2021) dilaporkan mengandung logam berat Pb, Cd, Co, Cr, dan Ni dalam tanah masing-masing sebesar 7,84-18,94; 0,99-2,31; 3,02-9,98; 10,40-49,55, dan 10,17-26,62 mg/kg (Gambar 4.2). Konsentrasi tersebut masih di bawah nilai batas kritis untuk tanah pertanian dan tergolong lahan yang tidak tercemar. Berdasarkan analisis multivariat dan geostatistik logam Pb, Cr, dan Ni berasal dari sumber alami seperti bahan induk dan litogenik, sedangkan logam Cd dan Co berasal dari sumber antropogenik (kegiatan pertanian dan industri).



Gambar 4.2 Konsentrasi logam berat dalam tanah di lahan bawang merah Kabupaten Brebes, Jawa Tengah

Sumber: Dewi *et al.*, 2021

Lahan sawah dan sayuran di Kabupaten Bandung nilai indeks polusi (PI) dan *Nemerow Integrated Pollution Index* NIPI untuk logam Pb, Ni, Zn, Cr, Cd, dan Cu masih pada level aman/tidak tercemar, kecuali untuk Co yang tergolong tercemar ringan (Sukarjo *et al.*, 2021). Handayani *et al.* (2022) menambahkan bahwa logam berat Pb, Cd, Cr, Co, dan Ni terdeteksi pada semua lahan pertanian di Kabupaten Bandung dengan nilai konsentrasi di bawah batas kritis. Berdasarkan analisis kontaminasi dari faktor kontaminan (CF) dan potensi risiko ekologi (Er) menunjukkan bahwa konsentrasi logam Cd telah mencapai pada kategori sangat tercemar dan sangat berpotensi pada risiko ekologi. Tingkat pencemaran logam berat yang bersumber dari aktivitas antropogenik menunjukkan kategori sedang hingga berat untuk logam Cd. Paputri *et al.* (2021) juga melaporkan bahwa contoh tanah tanah di lahan sawah di Kabupaten Bekasi dan Karawang tergolong tidak tercemar Co, yang sebagian besar wilayahnya adalah aluvial dengan bahan induk berasal dari liat dan batu gamping. Kandungan Co dalam tanah sawah tersebut disebabkan berasal dari aktivitas pemupukan dan pemberian pestisida.

4.1.2. Status cemaran nitrat pada badan air

Aplikasi pemupukan dalam budidaya pertanian diperlukan untuk meningkatkan hasil panen. Hal ini dapat dicapai dengan meningkatkan intensitas tanam dan pemberian pupuk yang cukup dan manajemen yang

tepat. Namun, petani di Indonesia lebih suka menggunakan pupuk nitrogen (urea) lebih banyak karena mudah diperoleh dan relatif lebih murah harganya. Studi kasus di Kediri, Jawa Timur menurut Widowati *et al.* (2011) melaporkan bahwa Sebagian besar petani menggunakan pupuk urea berkisar 400–600 kg/ha untuk padi sawah dan jagung, bahkan di Wonosobo, Jawa Tengah petani memberikan pupuk urea pada tanaman kentang dengan dosis 800–1000 kg/ha.

Pemberian pupuk N yang berlebihan justru tidak efisien dan mudah hilang melalui pencucian, denitrifikasi, volatilisasi, dan akumulasi dalam profil tanah. Proses pencucian dapat mengakibatkan akumulasi nitrat (NO_3^-) dalam lapisan tanah dan nitrat bergerak ke lapisan tanah yang lebih dalam sampai ke permukaan air tanah.

Jumlah *contaminant loading* N dalam lapisan tanah pada kedalaman 20 cm, 40 cm, dan 60 cm merupakan sumber pencemaran nitrat dalam air tanah. Akumulasi NO_3^- pada kedalaman 20 cm, yaitu 1,86–9,63 pmg/kg, pada kedalaman 40 cm, yaitu 1,18–15,39 mg/kg, dan pada kedalaman 60 cm, yaitu 1,81–19,38 mg/kg. Konsentrasi NO_3^- pada air tanah pada lahan pertanian di Desa Sardonoarjo, Kecamatan Ngaglik, Sleman Yogyakarta berkisar antara 0,63–14,43 mg/L. (Triyono *et al.*, 2014).

Jenis tanah memengaruhi perubahan urea menjadi bentuk nitrat karena masing-masing jenis tanah memiliki jumlah dan jenis bakteri tanah yang berbeda pula. Populasi bakteri tanah tergantung pada sifat fisika dan kimia tanah. Bakteri nitrifikasi mampu menghasilkan senyawa nitrat dari oksidasi amonia yang berlangsung secara aerob dalam tanah (Bernhard, 2010).

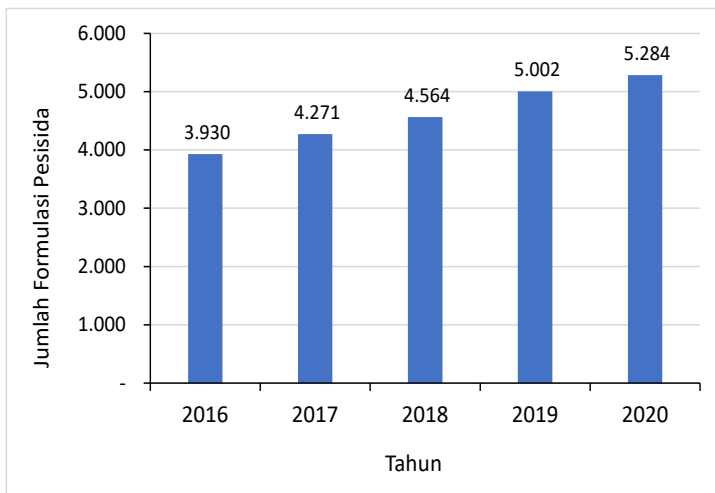
Pemantauan konsentrasi nitrat di Sub-DAS Klakah, DAS Serayu pada areal budidaya tanaman sayuran dataran tinggi Kabupaten Wonosobo telah dilaporkan oleh Sutriadi dan Sukristiyonubowo (2013), bahwa pemberian pupuk N dengan dosis tinggi berpengaruh nyata ($p < 0,05$) dalam meningkatkan konsentrasi nitrat dalam air sungai sebesar 64% dan 68% lebih tinggi dari konsentrasi nitrat air sungai di bagian hulu masing-masing pada musim kemarau dan hujan. Jumlah nitrat yang terbawa oleh air sungai dalam satu hari sebesar 187 kg nitrat- NO_3^- atau setara dengan 90 kg urea pada musim kemarau dan 380 kg nitrat- NO_3^- atau setara dengan 90 kg urea.

Konsentrasi nitrat (NO_3^- -N) pada air tanah di Desa Cihambulu, Subang sebesar 0,03–6,7 mg/L dengan rata-rata 1,38 mg/L sedangkan konsentrasi nitrit (NO_2^- -N) pada air tanah berkisar antara 0,01 sampai 0,08 mg/L dengan rata-rata 0,02 mg/L. Seluruh contoh air tanah untuk parameter kandungan nitrat dan nitritnya masih sesuai dengan baku mutu dalam Peraturan Menteri

Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum (Ardhaneswari dan Wispriyono, 2022). Konsentrasi nitrat dan nitrit di lingkungan perairan hulu DAS Tondano meningkat pada tahun 2014 dan sudah melebihi baku mutu sesuai PP No 82/2001, begitu juga konsentrasi ammonia meningkat pada tahun 2013 yang melebihi baku mutu sesuai PP No 82/2001 untuk irigasi tanaman (Wantesan, 2015).

4.1.3. Status residu pestisida pada lahan pertanian akibat penggunaan pestisida

Jumlah formulasi pestisida terus meningkat dari tahun ke tahun seperti terlihat pada Gambar 3. Pada 2016 pestisida yang terdaftar di Kementerian Pertanian RI sejumlah 3.930 formulasi pestisida, tahun 2017 naik menjadi 4.271. Pada 2018, 2019, dan 2020 jumlah pestisida yang terdaftar masing-masing sejumlah 4.564, 5.002, dan 5.284 (Direktorat Pupuk dan Pestisida, 2021).



Gambar 4.3 Jumlah formulasi pestisida yang terdaftar di Kementerian Pertanian
Sumber: Direktorat Pupuk dan Pestisida, 2021

Sebaran data residu pestisida di Indonesia mulai dari Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat, Jambi, Bengkulu, Lampung, Banten, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Yogyakarta, Bali, Kalimantan Selatan, Sulawesi Utara dan Selatan, Gorontalo, Maluku, sampai Papua. Residu pestisida saat ini bukan saja temukan di komoditas pertanian seperti beras, buah, sayuran, kedelai, susu sapi, telur ayam, tetapi juga pada tanah, air sungai, air danau, air kolam, dan air laut. Residu pestisida yang

Keberadaan penambangan timah harus diakui memang berpengaruh positif pada bidang sosial dan ekonomi masyarakat. Peningkatan pendapatan masyarakat memberikan dampak bagi peningkatan hidup masyarakat itu sendiri. Demikian pula bagi negara, dengan adanya tambang timah, maka semakin besar devisa yang masuk dari hasil ekspor ke mancanegara. Dari sisi sosial masyarakat telah terjadi proses asimilasi khususnya di bidang budaya antara etnis Cina yang masuk pada zaman penjajahan Hindia-Belanda. Namun, dampak negatif yang ditimbulkan dari adanya kegiatan penambangan timah itu juga cukup besar. Aktivitas penambangan timah baik yang dilakukan oleh perusahaan, penambang inkonvensional, sampai penambangan yang dilakukan oleh rakyat menyebabkan rusaknya lahan dan lingkungan. Kerusakan tersebut antara lain erosi, cemaran logam berat, hilangnya keanekaragaman hayati, vegetasi, dan adanya perubahan struktur muka bumi. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan lanskap, sifat fisika, kimia, dan biologi tanah yang menurun di area bekas penambangan timah. Tanah di sekitar bekas tambang timah umumnya didominasi oleh tekstur pasir yang menyebabkan rendahnya kesuburan tanah sehingga tidak mampu untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman. Lapisan tanah pada area bekas tambang timah berbeda dengan lapisan tanah asli. Timbunan tanah yang berasal dari *overburden* merupakan campuran dari berbagai lapisan tanah, sehingga lapisan tanah aslinya sudah tidak terlihat (Irzon, 2021; Agus *et al.*, 2019).

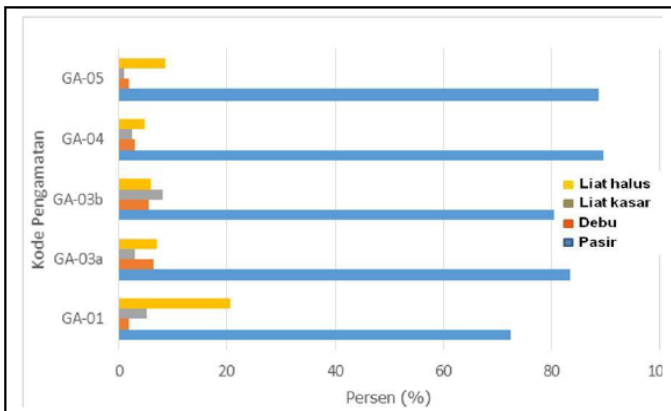
Pada umumnya, sekitar > 60% aktivitas penambangan timah yang dilakukan dengan cara terbuka (*open-pit-mining*). Kegiatan tersebut menyebabkan terpotongnya bukit sehingga terbentuk bukit-bukit baru hingga lubang besar menyerupai kawah atau danau. Diameter kawah tersebut bisa mencapai ratusan meter dan hingga puluhan meter yang disebut dengan “kolong” (Gambar 4.11), sehingga bentang lahan bekas tambang timah menjadi tidak beraturan. Adanya pencucian, pembuangan tailing, dan pengupasan lapisan tanah, menyebabkan rusaknya permukaan lahan dan topografi lahan bekas tambang timah. *Tailing* yang dihasilkan mencapai 10 hingga 99.99% dari total material yang tambang (Ervandi *et al.*, 2019; Asmarhansyah *et al.*, 2018; Agus *et al.*, 2019).



Gambar 4.11 Kondisi lahan bekas tambang timah

Sumber: Ervandi *et al.*, 2019

Permukaan tanah yang tidak rata dan tidak beraturan juga menyebabkan hilangnya keindahan lahan, miskin hara, tanah makin peka terhadap erosi, berkurangnya aktivitas mikroba tanah, dan tanah menjadi tidak berstruktur. Lahan bekas tambang timah didominasi oleh fraksi pasir dengan kandungan lebih dari 70%, yang dapat mengakibatkan air cepat hilang melalui perkolasi sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Gambar 4.12). Hilangnya lapisan atas pada lahan bekas tambang timah disebabkan karena tidak dilakukannya reklamasi secara optimal dan banyaknya timbunan lahan yang bercampur dengan pasir.



Gambar 4.12 Kondisi tekstur tanah pada lahan bekas tambang timah

Sumber: Ervandi *et.al.*, 2019

Pada proses penambangan timah terjadi pengupasan (*stripping*) lapisan tanah atas yang menyebabkan berpindahnya lapisan *top soil*. Semestinya, saat kegiatan penambangan selesai dan reklamasi lahan akan dilakukan, *top soil* hasil pengupasan tersebut disimpan pada suatu tempat yang telah disiapkan dan dikembalikan lagi ke lahan. Umumnya, yang sering terjadi *top soil* sudah bercampur dengan *tailing* dengan jumlah yang lebih banyak sehingga menyebabkan hilangnya *top soil*. Hilangnya lapisan olah tanah menyebabkan berkurangnya mikroorganisme tanah. Selain itu, sifat kimia tanah di lahan bekas tambang timah juga sangat buruk, pH tanah masam hingga sangat masam, kandungan C-organik rendah dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah yang rendah serta kandungan unsur hara makro dan basa-basa tertukar (K, Ca, Na, Mg) juga rendah (Tabel 4.3.)

Tabel 4.3 Sifat-sifat kimia tanah bekas tambang timah di Kepulauan Bangka dan Bangka Tengah

Parameter	Satuan	Lokasi	
		Bangka	Bangka Tengah
pH H ₂ O	-	4,75	4,64
C-organik	%	0,27	0,29
N-total	%	0,03	0,03
P-Bray I	µg/g	8,25	0,75
K-dd	cmol (+)/kg	0,32	0,06
Na-dd	cmol(+)/kg	0,44	0,65
Ca-dd	cmol(+)/kg	0,25	0,20
Mg-dd	cmol(+)/kg	0,06	0,15
KTK	cmol(+)/kg	4,35	6,61
Al-dd	cmol(+)/kg	0,27	0,52
H-dd	cmol(+)/kg	0,11	0,07

Sumber: Asmarhansyah *et al.*, 2018.

4.3. PENCEMARAN AKIBAT INTRUSI AIR LAUT

Tingginya kadar garam dalam tanah merupakan salah satu faktor pembatas lingkungan yang banyak terjadi di lahan sawah khususnya yang berdekatan dengan pantai, seperti lahan sawah di daerah Pantai Utara Jawa (Pantura) yang merupakan sentra produksi padi di Indonesia. Kandungan natrium dan DHL (daya hantar listrik) di lahan sawah di daerah pesisir utara Kabupaten Indramayu sebagian besar meningkat pada musim kemarau.

Hal ini menandakan terjadi peningkatan kadar garam atau tingkat salinitas tinggi di lahan pertanian. Lahan sawah salin tersebar di seluruh wilayah Indonesia yang lahan sawahnya dekat dengan pantai, tidak hanya di wilayah Indramayu. Petani Cilacap melaporkan bahwa pada saat air laut pasang dan masuk ke lahan pertanian menyebabkan petani hanya bisa panen sekali saja dari 2–3 kali tanam (Rachman *et al.*, 2018).

Salah satu isu nasional adalah degradasi lahan pertanian akibat salinisasi (Las *et al.*, 2006). Salinisasi lahan pertanian disebabkan oleh bermacam faktor, di antaranya dampak pemanasan iklim global yang menyebabkan naiknya permukaan laut atau terjadi intrusi air laut. Daerah-daerah di Indonesia yang terkena dampak tersebut antara lain wilayah sepanjang pantai utara dan selatan Pulau Jawa (Las *et al.*, 2006). Pada beberapa daerah di Jawa Barat, air asin dan payau masing-masing telah menyusup sekitar 6 km dan 8 km ke daratan pantai. Selain itu, bencana alam seperti tsunami di Aceh tahun 2004 ternyata berakibat pada meningkatnya salinitas lahan, dimana nilai DHL tanah sebesar 2-40 dS/m. Pemetaan lahan yang mengalami salinisasi di Indonesia belum banyak dilakukan meski sudah mulai diidentifikasi. Total luas lahan salin di Indonesia dilaporkan > 1 juta ha jika mengacu dari FAO yang menyatakan bahwa 20% lahan pertanian telah menjadi salin (Rachman *et al.*, 2008).

Tanah salin umumnya terjadi di lahan kering, muara, dan pesisir pantai, yang didominasi unsur Na^+ dengan DHL lebih dari 4 dS/m^{-1} atau setara dengan konsentrasi NaCl 40 mM. Larutan garam tanah biasanya tersusun oleh ion Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_4^{2-} , dan CO_2^{2-} (Sunarto, 2011; Zhao *et al.*, 2014). Berbagai dampak lingkungan yang terkait dengan kelebihan garam di tanah, yaitu degradasi sifat kimia dan fisik tanah dan penurunan kualitas air tanah (Gerhardt, 2017).

Proses pembentukan tanah salin di Indonesia tidak seperti tanah salin yang terbentuk di wilayah arid dan semi-arid. Pembentukan yang terbentuk di daerah arid dan semi-arid terjadi karena tingginya evaporasi dibandingkan presipitasi sehingga pencucian basa-basa menjadi tidak intensif. Penimbunan garam atau basa-basa secara intensif terjadi karena sering terjadinya akumulasi CaCO_3 di horizon C. Senyawa CaCO_3 ini dapat berasal dari debu yang jatuh ke tanah atau air tanah dan mengendap dengan kadar $\text{CaCO}_3 \geq 15\%$. Natrik adalah horizon illuviasi liat yang mempunyai struktur tanah yang berbentuk prismatic karena tingginya kadar natrium (Na) di dalam tanah dengan kandungan $\text{Na-dd} \geq 15\%$. Sedangkan horison Salik merupakan horison akumulasi garam yang mudah larut seperti NaCl ,

umumnya ditemui di daerah beriklim kering yang evapotranspirasinya melebihi presipitasi (Karolinoerita dan Yusuf, 2020).

Tingginya kadar garam pada tanah salin dapat mengganggu pertumbuhan tanaman sehingga menurunkan produktivitas hasil tanaman (Zhao *et al.*, 2018). Batas toleransi tanaman padi terhadap kadar garam sebesar 4 dS/m. Hasil padi menurun sebesar 25%, pada tanah salin dengan nilai DHL 6 dS/m dan hasil tanaman gandum menurun sebesar 25% pada DHL 8 dS/m, dan hasil tanaman kedelai mulai menurun pada DHL 7 dS/m (Sunarto, 2011). Oleh sebab itu, kondisi cekaman salinitas dapat menjadi salah satu ancaman bagi keberlanjutan pertanian, selain lahan pertanian yang semakin sempit. Di sisi lain, potensi besar untuk budidaya tanaman guna mendukung ketahanan pangan dimiliki oleh lahan salin di wilayah pesisir Indonesia.

Menurut Sukarman *et al.* (2018), daerah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia yang jumlahnya 17.000 pulau, akan menjadi sasaran utama dan mengalami dampak langsung dari meningkatnya permukaan air laut atau rob dan intrusi air laut yang dapat menyebabkan tingginya kadar garam (salinitas). Jenis *landform* yang akan rentan mengalami salinitas dalam peta tanah eksplorasi Indonesia adalah *landform* basin alluvial (lakustrin), delta/dataran estuarin, dataran pasang surut dan pesisir pantai, yang luasnya mencapai 12,020 juta ha atau 6,20% dari total daratan Indonesia (Tabel 4.4). Sebaran dataran pasang surut dan daerah pesisir pantai hampir di seluruh Indonesia, sedangkan delta (estuarine) menyebar di seluruh provinsi di Kalimantan dan beberapa lokasi di Sumatra.

Tabel 4.4 Sebaran *landform* yang rentan terhadap kenaikan permukaan laut

Landform	Sub Landform	Luas	
		ha	%
Aluvial	Basin alluvial (lakustrin)	1.007.857	8,38
Fluvio-marin	Delta atau dataran estuarin	2.225.391	18,51
Marin	Dataran pasang surut	7.312.813	60,83
	Pesisir pantai	1.474.924	12,27
Total		12.020.985	100,0

Sumber: Sukarman *et al.*, 2018

Hasil penelitian Marwanto *et al.* (2009) melaporkan bahwa status salinitas lahan sawah intensif di Kabupaten Indramayu tergolong tinggi (ECe 4-8 dS/m) terletak di Kecamatan Kandanghaur yang berbatasan dengan laut mulai dari Desa Eretan hingga kira-kira 5 km ke arah timur dan 2,7 km

ke arah selatan. Lahan sawah di Kecamatan Anjatan hingga ke arah barat, yaitu Kecamatan Sukra dan Patrol termasuk tingkat salinitasnya rendah karena memiliki jaringan irigasi yang cukup rapat dan lebih dekat dengan sumber aliran irigasi.

Luas total lahan di daerah Jungkat, Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat yang terindikasi tanah salin sebesar 405,56 m², untuk luas total lahan bebas tanah salin, yaitu 794,44 m². Jika dilihat dari nilai salinitasnya, tanah pertanian di daerah Jungkat tergolong rendah sehingga sesuai untuk ditanami tanaman padi (Muliawan *et al.*, 2016).

Darmanto dan Cahyadi (2013) mengemukakan bahwa intrusi air laut terjadi melalui sungai di Pesisir Kabupaten Demak, Jawa Tengah yang berdampak pada kualitas air sungai. Kualitas air sungai yang menjadi payau sampai dengan asin pada jarak > 4 km di Sungai Demangan dan > 7 km di Sungai Tuntang Lama. Informasi mengenai kualitas air permukaan menjadi sangat penting bagi daerah pesisir yang pada umumnya digunakan untuk sawah irigasi dan tambak. Herdyansah dan Rahmawati (2017) menambahkan ditemukannya kecenderungan wilayah yang memiliki kadar salinitas tinggi atau tingkat intrusi air laut yang tinggi adalah wilayah yang terletak pada bagian timur atau mendekati laut di Kawasan pesisir Surabaya Timur. Tingkat salinitas tertinggi pada wilayah studi terletak pada Kelurahan Medokan Ayu dan Kelurahan Gunung Anyar Tambak, Kota Surabaya. Hal ini menyebabkan kebutuhan air tanah untuk minum dan irigasi semakin berkurang karena nilai salinitas yang sangat tinggi.

Di wilayah pesisir Padelegan, Pademawu dan sekitar Pamekasan, Madura menunjukkan akuifer dangkal air tanah mulai agak payau hingga asin dengan nilai DHL >15.000 µS/cm–50.000 µS/cm yang umumnya dijumpai pada bagian selatan Pademawu sepanjang pesisir pantai Padelegan, Jumiang, Tanjung, Manjungan, dan Pademawu Timur (Gemilang dan Kusumah, 2016).

BAB V

TEKNIK PENYEHATAN LAHAN PERTANIAN

S.N.H. Utami., B.H. Purwanto., A. Prasetya

Kualitas lahan pertanian merupakan salah satu faktor penentu tingkat produktivitas pertanian. Oleh karena itu, hal tersebut akan berpengaruh pula bagi laju pertumbuhan sektor pertanian. Kualitas lahan sangat dipengaruhi oleh kondisi atau kualitas tanah yang menjadi komponen lahan di suatu kawasan. Definisi kualitas tanah, menurut Doran dan Safley (1997), adalah kecocokan sifat kimia, fisika, dan biologi tanah secara bersama-sama:

- a. Menyediakan suatu medium untuk pertumbuhan dan aktivitas biologi tanaman.
- b. Mengatur dan memilah aliran air dan penyimpanan lingkungan.
- c. Sebagai penyangga lingkungan dalam pembentukan dan perusakan senyawa-senyawa yang meracuni lingkungan.

Oleh karena itu, tanah dapat dikatakan mempunyai kualitas yang tinggi bila memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Cukup dan tidak berlebih dalam mensuplai hara;
- b. Memiliki struktur yang baik;
- c. Memiliki kedalaman yang cukup untuk perakaran dan drainasi;
- d. Memiliki drainase internal yang baik;
- e. Populasi penyakit dan parasit rendah;
- f. Populasi organisme yang mendorong pertumbuhan tinggi;
- g. Tekanan tanaman pengganggu (gulma) rendah;
- h. Tidak mengandung senyawa yang beracun bagi tanaman;
- i. Tahan terhadap kerusakan, dan;
- j. Elastis dalam mengikuti suatu proses degradasi (Magdof, 2001).

Berdasarkan definisi tersebut di atas, maka secara garis besar terdapat 3 (tiga) faktor penentu kualitas tanah, yaitu (1) faktor kimia (ketersediaan unsur hara dan tidak adanya senyawa beracun bagi tanaman), (2) faktor fisika (struktur, drainase internal, kedalaman drainase, dan tingkat elastisitas terhadap kerusakan), serta biologis (populasi organisme, penyakit parasit dan gulma).

Praktik pertanian yang tidak sesuai seperti salinisasi tanah, pengasaman, pemadatan, pengerasan kulit, defisiensi nutrisi, pengurangan keanekaragaman hayati dan biomassa biota tanah, ketidakseimbangan air, dan gangguan siklus unsur mengurangi kualitas tanah (Lal, 2015). Biasanya, biota tanah dikaitkan dengan penekanan organisme patogen, siklus nutrisi dan detoksifikasi penyimpanan air dan merespons dengan cepat praktik pengelolaan tanah (Sahu *et al.*, 2019; Harris, 2009). Ada hubungan yang kuat antara biota tanah, kesuburan tanah, dan kesehatan tanaman (Altieri and Nicholls, 2003). Peran biota tanah dalam peningkatan produktivitas lahan dan kesuburan tanah melalui proses biologis diakui sebagai strategi kunci menuju keberlanjutan pertanian.

Dari sisi sumbernya, hal-hal yang dapat memengaruhi ketiga faktor kualitas tanah dapat berasal dari kegiatan non-pertanian itu sendiri seperti kekurangan tepatan dalam pemilihan teknologi penyiapan lahan pertanian dan budidaya pertanian. Sedangkan berdasarkan kelompok bentuk kegiatan yang memengaruhi ketiga faktor kualitas tanah antara lain perusakan lingkungan dan pencemaran lingkungan. Secara teknis, kondisi buruk tersebut dapat diperbaiki sehingga sesuai untuk usaha pertanian. Sub-bab berikut ini akan membahas terkait indikator kinerja tanah berupa sifat tanah yang dapat diukur untuk menilai tanah telah menjalankan fungsinya dengan baik serta teknologi penyehatan tanah secara fisika, kimia, dan biologi.

5.1. KESEHATAN TANAH

Kesehatan tanah merupakan keterpaduan/integrasi dan pengoptimalan sifat tanah (fisik, kimia, dan biologi) yang bertujuan untuk peningkatan produktivitas dan kualitas tanah, tanaman, dan lingkungan (Idowu *et al.*, 2008; Gugino *et al.*, 2007). Kesehatan tanah didefinisikan sebagai kapasitas tanah untuk berfungsi dalam ekosistem dan batas penggunaan lahan, untuk mempertahankan produktivitas biologis, menjaga kualitas lingkungan, dan meningkatkan kesehatan tanaman dan hewan. Fungsi utama tanah termasuk mempertahankan produktivitas biologis, mengatur aliran air, menyimpan, dan mendaur ulang nutrisi, menyaring, menyangga, dan mengubah bahan organik dan anorganik. (Krisnhakumar *et al.*, 2013).

Untuk produksi tanaman yang tinggi dan menyokong ekosistem diperlukan tanah sehat. Tanah sehat berkontribusi positif untuk retensi air tanah, mendukung keragaman organisme penting untuk dekomposisi dan siklus nutrisi, menyediakan tanaman dengan nutrisi penting dan dapat mempertahankan simpanan karbon, serta berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim global. Secara sederhana, untuk memenuhi tuntutan yang berkembang untuk pangan, pakan, serat, dan bahan bakar jika kita harus menjaga kesehatan tanah. Fakta di lapang menunjukkan bahwa tanah di Indonesia banyak yang sudah rusak atau terdegradasi oleh praktik pertanian yang tidak berkelanjutan. Fenomena ini berakibat terhadap penurunan kesuburan tanah akibat meningkatnya kehilangan lapisan tanah atas (*top soil*), pencucian hara seperti N, P, K dan hara lain, hilangnya kandungan bahan organik tanah dan tentu pada gilirannya berimplikasi terhadap menurunnya keragaman hayati tanah (*soil biodiversity*).

Tanah yang sehat ditunjukkan dapat menekan patogen, mempertahankan aktivitas biologis, menguraikan bahan organik, menonaktifkan bahan beracun dan mendaur ulang nutrisi, energi, dan air (Sahu *et al.*, 2017). Karlen *et al.* (2003) mendefinisikan kualitas tanah sebagai “kapasitas jenis tanah tertentu untuk berfungsi, dalam batas ekosistem alami atau yang dikelola, untuk mempertahankan produktivitas tanaman dan hewan, mempertahankan atau meningkatkan kualitas air dan udara, dan mendukung kesehatan dan tempat tinggal manusia.” Selanjutnya, pandangan yang lebih luas mendefinisikan kualitas tanah disediakan oleh Bouma *et al.* (2017) sebagai “kapasitas intrinsik tanah untuk berkontribusi pada jasa ekosistem, termasuk produksi biomassa.” Konsep kualitas tanah memungkinkan aplikasi praktis berkaitan dengan jasa ekosistem yang ditargetkan (Toth, 2008). Kualitas tanah adalah konsep yang semakin populer yang mencakup karakteristik dan fungsi biologis tanah dalam interaksi yang erat dengan sifat kimia dan fisik (Chaussod, 2002). Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, istilah “kualitas tanah” dan “kesehatan tanah” digunakan sebagai sinonim dalam literatur. Namun, mereka dapat dibedakan dalam hal skala waktu; “kesehatan tanah” menunjukkan kondisi tanah dalam waktu singkat dan “kualitas tanah” dalam jangka waktu yang lebih lama, banyak dianalogikan dengan kondisi manusia pada waktu tertentu (kesehatan) dan jangka waktu lama (kualitas hidup) (Acton, and Gregorich, 1995). Istilah kesehatan tanah dan kualitas tanah digunakan sebagai pengukuran status tanah, dan penilaiannya bertujuan untuk memantau pengaruh

Proses pembangunan telah mengantarkan tantangan kontaminasi tanah, mikroba, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Kerusakan sifat tanah seperti ini akan berdampak terhadap penurunan fungsi lahan pertanian sehingga dapat dipastikan produktivitas tanaman akan terus menurun, bahkan akan menjadi tanah yang tidak produktif lagi. Sanchez (2004) melaporkan bahwa penurunan kesehatan tanah menyebabkan rendahnya produksi pangan per kapita di seluruh sub-Sahara Afrika akibat kualitas biomassa yang dihasilkan menurun sehingga kualitas pupuk juga menurun karena sumber pakan ternak berasal dari tanaman yang di tanam di atas tanah tersebut. Memutus siklus ini akan menjadi langkah penting dalam meningkatkan ketahanan pangan di Afrika sub-Sahara dan di seluruh dunia melalui perlindungan kesehatan tanah.

Pencemaran terjadi ketika banyak kontaminan dalam tanah. Tanah yang kurang nutrisi menyebabkan makanan kurang bergizi karena kontaminasi. Sumber titik penyebab pencemaran adalah tempat pembuangan akhir, tempat pembuangan limbah radioaktif, drainase dari pertambangan, dan emisi/tumpahan kendaraan. Kontaminasi *nonpoint-source* disebabkan oleh bahan kimia, obat-obatan, dan mikroba. Pencemaran biasanya hanya dangkal, di permukaan tanah. Kontaminasi yang lebih dalam disebabkan oleh rembesan dan aliran air.

Perlu adanya penyediaan informasi tentang toksikologi tanah, pencemaran tanah, pengelolaan tanah, teknologi, dan dampaknya terhadap kesehatan manusia serta pendekatan yang diperlukan untuk menjawab tantangan tersebut. Menurut Chauhan dan Mittu (2015), ada beberapa fitur karakteristik tanah yang sehat meliputi: (1) Kemiringan tanah yang baik, (2) Kedalaman lapisan tanah (*solum*) yang cukup, (3) Pasokan nutrisi yang cukup, (4) Populasi patogen dan hama tanaman yang kecil, (5) Drainase tanah yang baik, (6) Populasi organisme bermanfaat banyak, (7) Tekanan gulma rendah, (8) Bebas bahan kimia dan racun yang dapat membahayakan tanaman, (9) Tahan terhadap degradasi, (10) Ketahanan ketika terjadi kondisi yang tidak menguntungkan. Sedangkan Indikator Kesehatan tanah ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Beberapa indikator dan tes untuk tanah yang sehat

Indikator	Waktu untuk tes	Kondisi Sehat
Kehadiran cacing tanah	Saat tanah lembap	> 10 cacing
Warna	Saat tanah lembap	Tanah lapisan atas tetap lebih gelap dari lapisan tanah bawah
Adanya sisa tanaman	Tiap saat	Residu di sebagian besar permukaan tanah
Kondisi akar tanaman	Akhir musim semi atau selama pertumbuhan cepat	Akarnya bercabang banyak, berwarna putih, memanjang ke lapisan tanah bawah
Tingkat pemadatan bawah permukaan	Sebelum pengolahan tanah atau setelah panen	Kawat kaku masuk dengan mudah ke kedalaman bajak 2x
Keterolahan atau kerapuhan tanah	Saat tanah lembap	Tanah mudah hancur
Tanda-tanda erosi	Setelah hujan lebat	Tidak ada selokan, limpasan dari lapangan bersih
Kapasitas memegang air	Setelah hujan selama musim tanam	Tanah menahan kelembapan setidaknya seminggu tanpa tanda-tanda stres kekeringan
Infiltrasi air	Setelah hujan	Tidak ada limpasan; permukaan tanah tidak terlalu basah
pH	Waktu yang sama setiap tahun	Hampir netral dan cocok untuk tanaman
Kapasitas memegang nutrisi/retensi hara	Waktu yang sama setiap tahun	kandungan N, P, dan K yang stabil dan cukup

Sumber: Chauhan dan Mittu, 2015

Kondisi seperti ini tidak dapat dibiarkan begitu saja, tetapi memerlukan intervensi pengelolaan khusus dan cermat agar lahan yang sudah menurun kesehatannya dapat berfungsi kembali sebagai lahan pertanian produktif. Teknik pengendalian saat ini termasuk penggalian tanah yang terkontaminasi, mencuci tanah, dan mengubah sifat kontaminan untuk membuatnya kurang beracun. Proses menghilangkan zat beracun

disebut remediasi. Meningkatkan kesehatan tanah dapat dengan mengurangi gangguan, mengolah tanah saat kering, menghindari pemadatan, menambahkan bahan organik, mulsa permukaan tanah, tanaman penutup tanah. Teknologi penyehatan tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu secara fisik, kimia dan biologi akan dibahas pada sub-bab berikut.

5.1.1 Teknik penyehatan secara fisik

Penyehatan tanah secara fisik dilakukan di antaranya melalui pengolahan tanah dan teknik pengairan (Suharsih *et al.*, 2000) dengan pencucian atau drainase (Sukmana *et al.*, 1986; Undang Kurnia *et al.*, 2003). Lahan sawah yang terkena pencemaran limbah pengeboran minyak bumi dapat diatasi atau ditanggulangi dengan pencucian dan penggunaan bahan organik (Sukmana *et al.*, 1986). Menurut Tim Peneliti, senyawa hidrokarbon yang meracuni tanaman dapat dihilangkan dengan pencucian dan/atau dibuat menjadi tidak aktif oleh bahan organik bila unsur-unsur racun tersebut berasal dari logam berat. Pencucian dilakukan dengan cara memasukkan air irigasi atau air sungai yang tidak tercemar ke lahan sawah yang terkena limbah pada saat pengolahan tanah, kemudian membuang air tersebut melalui parit drainase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencucian dengan air sungai menghilangkan pengaruh senyawa hidrokarbon limbah minyak.

Contoh kasus cemaran limbah industri tekstil menyebabkan kerusakan tanaman padi dan gagal panen terutama pada musim kemarau, seperti yang terjadi pada lahan persawahan di Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. Penelitian di rumah kaca yang menggunakan sampel tanah dari lahan sawah di daerah tersebut, menunjukkan hasil gabah dari tanah yang dicuci dengan air bersih/air bebas ion meningkat 2–2,5 kali dibandingkan dengan hasil gabah dari tanah yang tidak dicuci (Haryono *et al.*, 2003). Dari hasil penelitian tersebut, disimpulkan bahwa sodium merupakan penyebab utama rusaknya tanaman padi dan menurunnya hasil gabah. Suganda *et al.* (2003) yang melakukan riset di daerah yang sama melaporkan kandungan Sodium dalam tanah sawah sangat tinggi, berkisar antara 1300 dan 2300 $\mu\text{g. g}^{-1}$.

Untuk mengatasi kandungan Sodium yang tinggi di dalam tanah sawah, Undang Kurnia *et al.* (2004) melakukan riset dengan cara pengolahan tanah dan pencucian atau drainase. Cara tersebut dilakukan berdasarkan prinsip bahwa bila garam dilarutkan dengan air bersih, misal berasal dari air sungai bersih atau tidak tercemar akan berkurang konsentrasinya. Pengolahan tanah ditujukan untuk melarutkan garam yang terakumulasi

di dalam tanah atau lumpur yang ada di lapisan olah dengan diaduk-aduk. Hasil riset menunjukkan bahwa pengolahan tanah dan pencucian mampu menurunkan konsentrasi Sodium(Na) dalam air drainase.

Kandungan Sodium berkurang dari 1.100 menjadi 450 $\mu\text{g.g}^{-1}$ setelah pengolahan tanah pertama, dan menjadi 300 ppm setelah pengolahan tanah kedua. Selama pertumbuhan tanaman, konsentrasi Na dalam air drainase berkurang dari 300 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pada satu minggu setelah tanam, turun jadi 60 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pada minggu ke-15. Akan tetapi, cara pengolahan tanah, baik pengolahan tanah biasa maupun pengolahan tanah dalam, dan selang waktu pencucian atau drainase setiap 1, 2, dan 3 minggu tidak secara nyata menurunkan konsentrasi Na dalam air drainase. Namun demikian, pengolahan tanah biasa dan pencucian setiap 3 minggu merupakan pilihan yang baik, karena perlakuan tersebut paling efisien dan pengaruhnya sama baik dengan perlakuan lainnya. Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa pertumbuhan tanaman sangat baik dan hasil gabah meningkat mencapai 8-10 t ha⁻¹ (Tabel 5.2).

Tabel 5.2 Pengaruh pengolahan tanah dan pencucian/drainase

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah Anakan (batang)	Hasil Gabah (t ha ⁻¹)
A	41	23	1,8
B	94	37	9,7
C	95	34	8,9
D	90	37	10,5
E	95	38	10,5
F	94	37	9,3
G	94	36	8,5

Catatan: sampai 15 minggu setelah tanam terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil gabah di lahan sawah yang tercemar limbah industri tekstil di Rancaekek, Kabupaten Bandung

Keterangan:

A: Kontrol

B: Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 1 minggu

C: Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 2 minggu

D: Pengolahan tanah biasa, didrainase setiap 3 minggu

E: Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 1 minggu

F: Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 2 minggu

G: Pengolahan tanah dalam, didrainase setiap 3 minggu

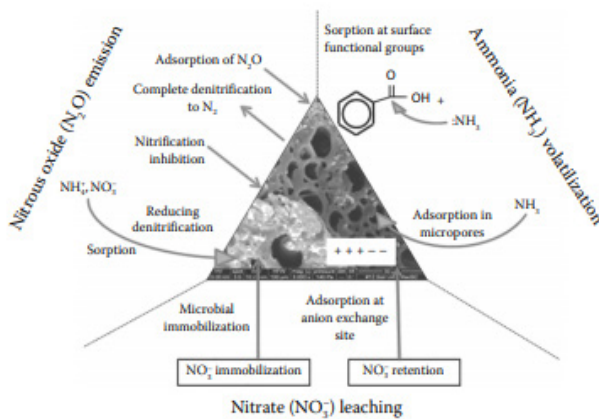
Sumber: Undang Kurnia *et al.*, 2004

5.1.2 Teknik Penyehatan tanah secara kimia

Teknik penyehatan tanah secara kimia merupakan segala upaya perbaikan sifat kimia tanah untuk perbaikan daya tumbuh tanaman dan lingkungan. Rehabilitasi kimia melibatkan reaksi kimia yang sebagai efek dari pemanfaatan bahan pembenah tanah seperti: pengapuran, pemberian bahan organik yang berfungsi sebagai *chelating* dan penambahan karbon aktif untuk menurunkan residu pestisida dalam produk pertanian.

Teknik penyehatan secara kimia merupakan proses-proses yang melibatkan rehabilitasi kimia di lahan terdegradasi meliputi reaksi reduksi-oksidasi, asam-basa, reaksi pertukaran ion, reaksi ligan/khelasi, reaksi absorbs dan reaksi adsorpsi. Reaksi reaksi tersebut dapat memberikan pengaruh perbaikan kesehatan tanah melalui perbaikan pH, penurunan konsentrasi unsur-unsur meracun dan peningkatan ketersediaan hara

Biochar dapat digunakan sebagai pembenah tanah yang berguna untuk memulihkan dan meningkatkan kualitas kesuburan tanah terdegradasi atau lahan kritis terutama untuk perbaikan tanah masam karena sebagian besar biochar mempunyai kemasaman rendah/pH tinggi dan juga jumlah kation basa yang lebih banyak, KPK tinggi (Rahman 2018, Tidak diterbitkan). Salah satu alasan mengapa dapat meningkatkan hasil tanaman dengan aplikasi biochar disebabkan meningkatnya ketersediaan nitrogen dari penggunaan pupuk (Steiner *et al.*, 2007; Widowati *et al.*, 2011). Hal ini dikarenakan terjadi penurunan nitrogen sebagai akibat dari peningkatan KPK tanah dengan aplikasi biochar (Chan *et al.*, 2008).



Gambar 5.1 Mekanisme biochar terhadap mitigasi penguapan NH₃, N₂O, dan leaching NO₃⁻.

Sumber: Spokas *et al.*, 2012

Spokas *et al.* (2012) menyatakan bahwa penambahan biochar dapat mengurangi penguapan NH_3 dikarenakan penambahan biochar ke dalam tanah dapat menurunkan pH tanah sehingga mengurangi penguapan NH_3 . Selain itu, dengan berubahnya menjadi gas alkali, gugus permukaan asam pada biochar dengan pH rendah dapat memprotonasi NH_3 untuk menjadi NH_4^+ sehingga diadsorpsi ke situs pertukaran kation (Bandosz, 2006). Selain mengurangi penguapan NH_3 , penambahan biochar dapat mengurangi emisi N_2O . Dengan penambahan biochar dapat menjerap NH_3 dan NH_4^+ sehingga mengurangi substrat untuk proses denitrifikasi (Taghizadeh-Toosi *et al.*, 2011). Selain itu, dengan penambahan biochar mengurangi pencucian NO_3^- dikarenakan memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga menyerap NO_3^- melalui situs pertukaran anionnya sehingga mengurangi *leaching* dan meningkatkan retensi di dalam tanah (Yao *et al.*, 2012). Reaksi nya sebagai berikut:

Pada kondisi asam beberapa bakteri dalam tanah dapat mereduksi nitrat menjadi nitrit (ion toksik) melalui reaksi:



Amonia dalam tanah akan teroksidasi dengan katalis mikroorganisme dan akan terbentuk nitrat melalui reaksi:



Nitrogen dalam bentuk amonium (NH_4^+) dapat terikat kuat pada tanah atau terikat pada lapisan kristal mineral lempung/liat dan dapat juga dipertukarkan melalui reaksi pertukaran ion.

Biochar sangat penting untuk meningkatkan kemampuan tanah menyimpan karbon, meningkatkan kesuburan tanah, serta menjaga keseimbangan ekosistem tanah, dan bisa bertindak sebagai pupuk dan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman dengan menyediakan dan mempertahankan hara (Glaser *et al.*, 2002). Bahan utama untuk pembuatan biochar adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri (Glaser *et al.*, 2002). Arang hayati yang terbentuk dari pembakaran akan menghasilkan karbon aktif, yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon inorganik. Ruang

kurangnya keseragaman dan stabilitas pupuk organik (Fernandez-Salvador and Strik, 2015). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa praktik pertanian organik dan konservasi lahan (*strip tillage*) secara signifikan dapat meningkatkan biota tanah pada semangka (*Citrullus lanatus*) dan *globe artichoke* (*Cynara cardunculus*) yang ditanam di tanah lempung-lempung (Lescovar *et al.*, 2016; Leskovar and Othman, 2018). Sebuah studi jangka panjang (7 tahun) pada sayuran dan tanaman lapangan (tomat, wortel, beras, dan kacang Prancis) mengungkapkan bahwa karbon biomassa mikroba tanah di lahan organik lebih tinggi dari pada lahan konvensional (Das *et al.*, 2017). Dalam studi semangka tiga tahun, pengolahan tanah konservasi (*strip tillage*) terbukti meningkatkan kelimpahan dan aktivitas jamur tanah dibandingkan dengan pengolahan tanah konvensional (Lescovar *et al.*, 2019). Sementara praktik pengolahan tanah tidak memengaruhi kelimpahan total cacing tanah dalam sistem pertanian konvensional (pengolahan tanah dikurangi, 153 cacing m², pembajakan mouldboard 130 m²), rata-rata kelimpahan total cacing tanah dalam pertanian organik adalah 45% lebih tinggi pada pembajakan mouldboard (430 m²) dibandingkan dengan pengolahan tanah yang dikurangi (297 m²) pertanian organik (Crittenden, 2014).

Tantangan utama dalam pertanian organik adalah menyelaraskan pelepasan hara, khususnya N, dengan permintaan pertumbuhan musiman tanaman (Fernandez-Salvador and Strik, 2015). Bahan organik tidak melepaskan N dalam jumlah yang cukup untuk tanaman berikutnya setelah 6 sampai 8 minggu setelah penggabungan (Fernandez-Salvador and Strik, 2015). Pasokan N yang rendah selama tahap pertumbuhan tanaman menyebabkan penurunan kandungan klorofil daun, penggunaan air yang tidak efisien dan selanjutnya menurunkan pertumbuhan dan hasil (Vyn *et al.*, 2000, Fauci and Dick, 1994). Dalam penelitian terbaru di *globe artichoke*, tanaman yang ditanam setelah pertanian konvensional memiliki pertumbuhan dan hasil yang lebih tinggi daripada tanaman yang berasal dari pertanian organik (Leskovar and Othman, 2018). Studi tersebut juga menunjukkan bahwa pembenahan tanah dengan pertanian organik mengurangi NO₃ tanah, P, K, Mg²⁺ dan meningkatkan Ca²⁺ dibandingkan dengan konvensional, sementara secara signifikan meningkatkan respirasi tanah-CO₂ (indikator kesehatan tanah) sebesar 20 kali lipat dibandingkan dengan konvensional. Selain itu, sistem organik meningkatkan komponen kualitas kepala, khususnya asam klorogenat sebesar 31% dan cynarin sebesar 12% dibandingkan dengan sistem konvensional. Demikian pula, amandemen tanah organik (organik vs pupuk konvensional) meningkatkan

hasil yang dapat dipasarkan, asam askorbat dan senyawa fenolik dalam *collard* (*Brassica oleracea*) dan kangkung (*Brassica oleracea*) (Fageria, 2007). Studi meta-data sistem tanam konvensional dan organik menunjukkan bahwa produk organik (buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian) memiliki kandungan NO_3 dan tingkat residu pestisida yang lebih rendah dan nutrisi yang lebih tinggi (Fe^{3+} , Mg^{2+} , P) dan vitamin C (Gathala *et al.*, 2015; Jabro *et al.*, 2009).

Tabel 5.6 Rerata data tanah pertanian organik dan konvensional pada akhir periode

Tanaman	Jenis Tanah	Periode Pelaksanaan (tahun)	Unsur Hara	Respons	Referensi
Jeruk (<i>Citrus sinensis</i>)	klei (Oxisols soil, 50% Clay, 20% silt; 30% sand).	6	N	System organic memiliki 2 ton ha ⁻¹ N ($p < 0.05$) pada kedalaman at 0–100 cm lebih banyak dibandingkan System konvensional.	Esanhoela <i>et al.</i> [2019].
Gandum (<i>Triticum aestivum</i>) Jagung (<i>Zea mays</i>) rotation	Sandy loam (aquic inceptisol).	18	N	Tanah organic mengandung 5–22% N ($p < 0.05$) lebih banyak dibandingkan system konvensional	Gong <i>et al.</i> [2011].
Gandum, Kentang (<i>Solanum tuberosum</i>), and Semanggi (<i>Trifolium sp.</i>)	Tanah Klei.	21	P, K, Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Pertanian organic mengandung ($p < 0.05$) Ca ²⁺ , and Mg ²⁺ lebih tinggi dibandingkan konvensional. Organik (mg kg ⁻¹): 16 P, 90 K, 2100 Ca ²⁺ , 144 Mg ²⁺ . konvensional (mg kg ⁻¹): 14 P, 95 K, 1700 Ca ²⁺ , 94 Mg ²⁺ . Tanah organic rendah NO ₃ ⁻ , P, K and Mg ²⁺ , tinggi Ca ²⁺ dan Na dibandingkan konvensional. NO ₃ ⁻ , P, K, Mg ²⁺ , Ca ²⁺	Mäder <i>et al.</i> [2002].

Tabel 5.6 Rerata data tanah pertanian organik dan konvensional pada akhir periode (lanjutan)

Tanaman	Jenis Tanah	Periode Pelaksanaan (tahun)	Unsur Hara	Respons	Referensi
Artichoke (Cynara cardunculus)	Tanah lempung (hyperthermic Aridic Calciustolls).	2	NO ₃ ⁻ , P, K, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , S, Na	and Na signifikan pada p < 0.05. Organik (mg kg ⁻¹): 5 NO ₃ ⁻ -N, 34 P, 588 K, 11,200 Ca ²⁺ , 263 Mg ²⁺ , 15.8 S, 64 Na. konvensional (mg kg ⁻¹): 22 NO ₃ ⁻ -N, 62 P, 669 K, 10,800 Ca ²⁺ , 307 Mg ²⁺ , 16.3 S, 28 Na.	Leskovar and Othman [2018].
Cashew (Anacardium occidentale)	Loamyskeletal, campuran isohyperthermic Ustic Haplohumults.	5	N	N tersedia pada Organik lebih tinggi (p < 0.05, 435 kg ha) daripada konvensional (402 kg ha).	Mangalassery et al. [2019].
Kacang Tunggak (Vigna unguiculata)	Loamy.	4	N, P, K, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe, Mn, Zn and Cu	Pertanian organik meningkatkan P, K, Fe, and N daripada konvensional N, P, K, Fe signifikan pada p < 0.05. Organik: (73 N, 111 P, 359 K kg h ⁻¹), (3500 Ca ²⁺ , 1200 Mg ²⁺ , 80 Fe, 17 Mn ²⁺ , 5.5 Zn, 1.3 Cu mg kg ⁻¹). Konvensional: (86 N, 96 P, 192 K kg h ⁻¹), (2400 Ca ²⁺ , 900 Mg ²⁺ , 70 Fe, 15 Mn ²⁺ , 4.3 Zn, 1.2 Cu mg kg ⁻¹).	Suja et al. [2017].
Brokoli (Brassica oleracea), lettuce (Lactuca sativa), Kentang dan wortel	Loamy (Xerofluent).	5	Fe, Mn ²⁺ , Zn and Cu	Ketersediaan unsur hara sama	Maqueda et al. [2011].

Sumber: Tahat et al., 2020

Rotasi tanaman dengan legum biasanya menyediakan N paling banyak untuk sistem pertanian organik. Namun, menyediakan jumlah N yang cukup untuk tanaman dalam budidaya organik dapat menjadi tantangan karena proses pelepasan hara (khususnya N) cukup lambat dibandingkan dengan pupuk mineral (Fernandez-Salvador and Strik, 2001). Oleh karena itu, petani menggunakan pupuk organik nabati dan hewani untuk memenuhi kebutuhan tanaman yang penting. Namun, pupuk organik yang tersedia secara komersial lebih mahal daripada pupuk kimia (Vyn *et al.*, 2000) [156], karena lebih sulit untuk diproduksi dan membutuhkan biomassa yang besar (pupuk nabati) untuk menjamin respons tanaman yang positif secara konsisten. Oleh karena itu, pilihan pupuk organik nabati atau hewani sangat penting untuk mempertahankan hasil panen dan mendapatkan keuntungan dalam pertanian organik. Beberapa pupuk nabati (misalnya, tanaman polong-polongan dan tepung jagung) dan pupuk hewani (misalnya, darah dan tepung ikan, bulu, tulang, dan pupuk kompos) tersedia secara komersial untuk petani organik (Vyn *et al.*, 2000; Gozubuyuk *et al.*, 2014). Pupuk nabati seperti tanaman polong-polongan telah digunakan secara luas sebagai pupuk hijau untuk meningkatkan ketersediaan N dalam tanah (Cannell dan Hawes, 1994); Jat *et al.*, 2013). Legum dapat memperbaiki N atmosfer dalam tanah, mengurangi risiko pencucian NO_3^- , memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah serta kualitas buah (Cannell dan Hawes, 1994; Fageria, 2007). Dalam artichoke, tanah organik yang diubah dengan tepung alfalfa memiliki respirasi tanah (indikator kesehatan tanah) dan fitokimia utama yang lebih tinggi daripada tanah yang diubah dengan pupuk hewani (tepung ikan, tepung darah, dan kotoran ayam) (Othman dan Leskovar, 2018). Namun, artichoke yang ditanam di tanah yang diubah dengan pupuk hewani (kotoran ayam) memiliki hasil kepala dan biaya input yang lebih tinggi (N: \$US 31 kg⁻¹ untuk tepung darah, \$US 28 kg⁻¹ untuk kotoran ayam, \$US 44 kg⁻¹ untuk tepung ikan, dan \$US 74 kg⁻¹ untuk tepung alfalfa) daripada yang diubah menggunakan tepung alfalfa (Othman and Leskovar, 2018). Pupuk nabati jangka panjang (tanaman polong-polongan dan tepung jagung) dapat menjadi pilihan ideal untuk meningkatkan kesehatan tanah, sedangkan berbasis hewani (tepung darah dan ikan, bulu, tulang, dan pupuk kompos) dapat menjadi pilihan unggul untuk pupuk organik. petani ketika hasil dan biaya menjadi perhatian utama, terutama jangka pendek (Tahat *et al.*, 2020).

5.4.2. Praktik Pengolahan Tanah

Praktik pengolahan tanah memengaruhi sifat kimia dan fisik tanah, serta kualitas buah dan hasil panen seperti yang dilaporkan dalam sistem tanam semangka dan jagung (Sahu *et al.*, 2015; Gathala *et al.*, 2015). Mengadopsi praktik pengolahan tanah yang bermanfaat merupakan prasyarat untuk mempertahankan kesehatan tanah dan produksi tanaman (Jabro *et al.*, 2009). Praktik pengolahan tanah konservasi (tanpa pengolahan tanah, pengurangan, dan pengupasan) dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah, kelembapan tanah, bahan organik, stabilitas agregat, kapasitas tukar kation dan hasil panen (Cannell and Hawes, 1994) Sahu *et al.*, 2015; Gathala *et al.*, 2015, Gozubuyuk *et al.*, 2014). Pengolahan tanah konservasi dengan bedengan permanen dan pengolahan tanah strip berpotensi meningkatkan pendapatan dan keuntungan petani (Tabel 5.3); rasio biaya dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air tanaman dan mengurangi penggunaan air irigasi dan tenaga kerja dibandingkan dengan konvensional (Gathala *et al.*, 2015; Jat *et al.*, 2013). Al-Kaisi *et al.*, (Shao *et al.*, 2016) juga menemukan bahwa intensitas pengolahan tanah secara signifikan mengurangi stabilitas makro dan mikro-agregat tanah. Praktik pengolahan tanah konservasi meningkatkan P tersedia tanah di lapisan atas (0–20 cm) sebesar 3,8%, K sebesar 13,6% dan bahan organik tanah sebesar 0,17% dibandingkan dengan konvensional (Celik *et al.*, 2013). Mempertahankan sisa tanaman pada lapisan permukaan tanah atas (penutup penuh, tidak ada garapan; penutup sebagian, olah tanah strip) juga dapat mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kadar air tanah (Celik *et al.*, 2013; Mullin *et al.*, 1998).

Tabel 5.7 Pengaruh praktik pengolahan tanah pada irigasi, efisiensi penggunaan air (Water Used Efficiency), dan hasil bersih

Tanaman	Air Irigasi Diterapkan	Total Peningkatan WUE	Total Peningkatan Pengembalian Bersih dalam U \$ S	Sumber pustaka
Jagung	Pengurangan air irigasi sebesar 25%.	16%.	\$281 ha ⁻¹	Jat <i>et al.</i> [2013].
Padi-gandum	Pengurangan air irigasi sebesar 12-20%.	1,4 kg butir per m ³ masukan air dibandingkan dengan 0,75 untuk konvensional.	\$184–280 ha ⁻¹	Jat <i>et al.</i> [2009].
Padi-gandum	Pengurangan air irigasi sebesar 16 hingga 18%.	4,2%.	\$49–96 ha ⁻¹	Saharawat <i>et al.</i> [2012].
Gandum	Efisiensi konsumsi bahan bakar (energi) untuk irigasi adalah 21% lebih tinggi.	4,5 t butir per ha 1 dibandingkan menjadi 4,109 t ha 1 untuk konvensional.	Net income in zero-tillage was 33% higher than conventional.	Vivak <i>et al.</i> [2013].
Padi-gandum	Air irigasi berkurang 13 sampai 23%.	5% (konvensional adalah 6,5–11,6 (kg ha ⁻¹ /mm)	\$62 ha ⁻¹ for year 1; similar in year 2. Weed management incurred higher cost than with conventional systems.	Bhushan <i>et al.</i> [2008].
Gandum	Tidak ada data.	dibandingkan dengan 4,05 hingga 7,5 untuk konvensional.	No-tillage resulted in 520 kg ha ⁻¹ greater wheat grain yield than conventional.	Mohammad <i>et al.</i> [2012].
Gandum-jagung	Berarti penyimpanan air tanah diukur pada kedalaman 0–2 m untuk tanpa olah tanah adalah 412 mm dibandingkan dengan 392 mm untuk konvensional.	Tidak signifikan	\$57 ha ⁻¹ .	Zhang <i>et al.</i> [2008].
Gandum-Jagung	Mengurangi konsumsi air sebesar 19%	24,6% untuk gandum dan 15,9% untuk jagung	Hasil gandum meningkat 10,3% dan hasil jagung sebesar 17,4%.	Shao <i>et al.</i> [2016]

Sumber: Tahat *et al.*, 2020

Konsep kesehatan tanah telah meningkatkan kesadaran di kalangan petani dan hortikultura tentang pentingnya menjaga kesuburan tanah, produktivitas tanaman dan kualitas lingkungan dalam jangka panjang. Biochar memiliki efek positif pada sifat fisiko-kimia dan biologi tanah, yang berarti kesehatan tanah secara langsung dan tidak langsung. Keuntungan positif dari aplikasi biochar dalam tanah meliputi: mempertahankan nutrisi dan kapasitas tukar kation, penurunan keasaman tanah, penurunan penyerapan racun tanah, perbaikan tanah struktur, efisiensi penggunaan hara, daya ikat air, penurunan pelepasan gas rumah kaca non-CO₂ (CH₄, N₂O), peningkatan jumlah mikroba tanah yang menguntungkan. (Krisnhakumar *et al.*, 2013).

Banyak fungsi tanah dan jasa ekosistem bergantung pada bahan organik tanah dan dinamikanya. Peningkatan kesehatan tanah, bersama dengan peningkatan ketersediaan air dan nutrisi, meningkatkan ketahanan tanah terhadap peristiwa iklim ekstrem (misalnya, kekeringan, gelombang panas) dan memberikan atribut penekan penyakit. Meningkatkan dan mempertahankan kesehatan tanah juga berkaitan dengan memajukan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan PBB seperti pengentasan kemiskinan, pengurangan kelaparan, peningkatan kesehatan, dan peningkatan pembangunan ekonomi (Lal, 2016).

Sistem organik meningkatkan mineralisasi hara tanah, kelimpahan dan keanekaragaman mikroorganisme serta sifat fisik tanah. Menariknya, sumber pupuk organik (berbasis tumbuhan atau hewan) berpotensi memengaruhi kelimpahan mikroorganisme dan hasil panen. Sementara pupuk nabati meningkatkan kelimpahan mikroba tanah, pupuk hewani memiliki hasil panen yang lebih tinggi dan jumlah mikroorganisme yang lebih rendah. Namun, praktik budaya organik lebih mahal karena biaya tenaga kerja yang tinggi dan kurangnya keseragaman dan stabilitas pupuk organik. Secara keseluruhan, pertanian berbasis tanaman dapat menjadi praktik yang ideal untuk meningkatkan kualitas tanah dan buah, sementara pupuk berbasis hewan akan menjadi pilihan bagi petani organik yang mencari hasil lebih tinggi dengan biaya input pupuk yang relatif lebih rendah. Untuk praktik pengolahan tanah, pengolahan tanah konservasi (tanpa pengolahan tanah, pengurangan, dan pengupasan) meningkatkan kesehatan tanah dengan meningkatkan kelimpahan dan aktivitas jamur tanah, keanekaragaman cacing tanah, bahan organik, stabilitas agregat, dan kapasitas tukar hati-hati. Faktanya, pengolahan tanah konservasi seperti penggunaan air irigasi tanpa pengolahan (12–25%) dan peningkatan efisiensi penggunaan air

(16–24%) dan pengembalian bersih total (\$49–281) dibandingkan dengan konvensional (misalnya, mouldboard, garu diikuti dengan pembudidaya). Namun, pengolahan tanah konservasi dapat meningkatkan nematoda pemakan akar (berbahaya bagi akar tanaman) dibandingkan dengan konvensional. Peningkatan penilaian indikator kesehatan tanah diperlukan untuk lebih meningkatkan pemahaman kita tentang bagaimana strategi produksi dan faktor lingkungan memengaruhi stabilitas fisik, biologi, dan kimia dan dinamika sistem tanah-rizosfer-tanaman dan dampaknya terhadap keberlanjutan jangka pendek atau panjang.

5.5 STRATEGI PENYEHATAN TANAH

Praktik pengelolaan tanah seperti pengolahan tanah, pola tanam, serta penggunaan pestisida dan pupuk memengaruhi kualitas air. Selain itu, praktik pengelolaan ini dapat memengaruhi kualitas atmosfer melalui perubahan kapasitas tanah untuk memproduksi atau mengonsumsi gas atmosfer yang penting seperti karbon dioksida, nitrous oxide, dan metana (Rolston *et al.*, 1993; Mosier, 1998). Ancaman perubahan iklim global dan penipisan ozon saat ini, melalui peningkatan kadar gas rumah kaca dan siklus hidrologis yang berubah, memerlukan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh pengelolaan lahan terhadap proses tanah (Bengtsson, 1998). Singkatnya, kualitas dan kesehatan tanah menentukan keberlanjutan pertanian (Papendick dan Parr, 1992; Acton dan Gregorich, 1995), kualitas lingkungan (Pierzynski *et al.*, 1994), dan sebagai konsekuensi dari keduanya, tanaman, hewan, dan kesehatan manusia (Haberern, 1992; Harris *et al.*, 1996).

Tabel 5.8 Strategi pengelolaan pertanian berkelanjutan dan usulan indikator kinerja tanaman serta kesehatan tanah dan lingkungan

Strategi keberlanjutan	Indikator untuk produsen
<i>Menghemat bahan organik tanah melalui</i> Mempertahankan kadar C dan N tanah dengan mengurangi pengolahan tanah Mendaur ulang kotoran hewan dan tumbuhan dan/atau meningkatkan keanekaragaman tumbuhan, $C\ inputs = C\ outputs$	Arah/perubahan tingkat bahan organik dengan waktu (<i>visual or remote sensing by color or chemical analysis</i>) Potensi OM spesifik untuk iklim, tanah, dan vegetasi
<i>Meminimalkan erosi tanah melalui</i> Pengolahan tanah konservasi	Penyimpanan air tanah Visual (selokan, alur, debu, dll.)

Tabel 5.8 Strategi pengelolaan pertanian berkelanjutan dan usulan indikator kinerja tanaman serta kesehatan tanah dan lingkungan (lanjutan)

Strategi keberlanjutan	Indikator untuk produsen
Peningkatan tanaman penutup tanah (residu, agregat stabil, tanaman penutup tanah, bera hijau)	Sifat-sifat tanah permukaan (kedalaman tanah lapisan atas, bahan organik kandungan/tekstur, resapan air, limpasan, genangan, tutupan %)
<i>Seimbangkan produksi dan lingkungan melalui</i> Konservasi dan sistem manajemen terpadu (mengoptimalkan pengolahan tanah, residu, air, dan penggunaan bahan kimia)	Karakteristik tanaman (penginderaan visual atau jarak jauh dari hasil, warna, status hara, kekuatan tanaman, dan karakteristik perakaran) Tanah kondisi fisik/pemadatan
Menyinkronkan level N dan P yang tersedia dengan kebutuhan tanaman selama 1 tahun	Tingkat nitrat tanah dan air.
<i>Penggunaan yang lebih baik dari sumber daya terbarukan melalui</i> Kurang menggunakan bahan bakar fosil dan petrokimia Lebih lanjut tentang sumber daya terbarukan dan keanekaragaman hayati (rotasi tanaman, legum, pupuk kandang, PHT, dll.)	Rasio input/output biaya, energi, dan sumber daya terbarukan/ tidak terbarukan, Kehilangan pelindian/pengasaman tanah, karakteristik tanaman (seperti yang tercantum di atas)

Sumber: Modifikasi Doran *et al.*, 1996

Pemulihan lahan terdegradasi memerlukan biaya yang relatif mahal dan waktu yang lama. Oleh karena itu pencegahan atau paling tidak usaha untuk memperkecil kemungkinan terjadinya degradasi lahan lebih dianjurkan dari pada pemulihan. Penyebab, macam, dan kondisi lingkungan di mana lahan terdegradasi tersebut berada sangat beragam. Oleh karena itu, tidak mungkin merakit teknologi pemulihan lahan terdegradasi yang universal, atau berlaku untuk semua macam atau kondisi degradasi (Wahyunto dan Dariah, 2014).

Kerusakan lahan dapat ditanggulangi dengan beberapa cara. Pengolahan tanah, peningkatan kandungan bahan organik tanah, peningkatan keanekaragaman organisme, mengaplikasikan mikroorganisme berguna dapat memperbaiki kerusakan lahan (Kusumoarto dan Hidayat, 2019). Mengelola limbah yang berasal dari sumber-sumber pencemaran dan menerapkan manajemen terpadu dalam mengelola limbah merupakan cara untuk mengendalikan kerusakan lahan akibat pencemaran (Pramudyanto, 2014).

BAB VI

PENGELOLAAN TERPADU TANAMAN PERTANIAN RAMAH LINGKUNGAN

Ali Pramono, Siska Apriyani, Ika Ferry Yunianti, Ina Zulaehah

Populasi penduduk dunia telah mengalami peningkatan drastis yaitu pada tahun 1900 sebesar 1,5 miliar menjadi sekitar 6,1 miliar pada tahun 2000. Pertumbuhan penduduk dunia diproyeksikan meningkat menjadi sekitar 9,4–10 miliar pada tahun 2050 (Carvalho, 2017). Konvergensi pertumbuhan ini berpotensi memiliki implikasi yang sangat penting terhadap permintaan pangan dunia (Fukase dan Martin, 2020) dan degradasi lingkungan (Ray, 2011). Dampak langsung dari pembangunan pertanian terhadap lingkungan timbul dari kegiatan pertanian yang berkontribusi terhadap pengasaman, salinitas tanah, alkalinitas tanah, erosi tanah, penggurunan, pemadatan, penurunan kadar hara, hilangnya bahan organik, subsiden tanah, kekeringan, dan banjir. Penggunaan bahan agrokimia seperti pestisida dan pupuk yang intensif selama satu abad terakhir terbukti mampu meningkatkan produk pangan. Di sisi lain, penggunaan bahan agrokimia ternyata menimbulkan kontaminasi dan penurunan kualitas lingkungan (Las *et al.*, 2006), serta mempunyai efek toksik terhadap manusia dan biota lainnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya preventif dan kuratif untuk mengendalikan kerusakan dan pencemaran lingkungan (Ray, 2011).

Peningkatan produksi pangan saat ini dan di masa depan harus sejalan dengan produksi pangan yang berkualitas lebih baik dan kontaminan lebih sedikit (Carvalho, 2017). Untuk mencukupi kebutuhan pangan dan perlindungan lingkungan yang baik, maka perlu strategi pengembangan produk pertanian secara ramah lingkungan-terpadu untuk komoditas tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Pertanian ramah lingkungan-terpadu adalah sistem pertanian yang memadukan kegiatan tanaman pangan,

hortikultura, peternakan, perikanan, dan kehutanan yang memperhatikan kelestarian lingkungan daripada keuntungan ekonomi jangka pendek sehingga mempunyai prospek keberlanjutan dalam bidang biofisik lingkungan maupun sosial ekonomi (Ansar dan Fathurrahman, 2018; Rose *et al.*, 2019). Pengelolaan tanaman pertanian ramah lingkungan-terpadu dilakukan dengan cara mengintegrasikan beragam komponen teknologi untuk peningkatan produktivitas tanaman tanpa merusak lingkungan sehingga generasi mendatang masih mempunyai kesempatan yang sama untuk mendapatkan manfaat dari sumber daya yang tersedia saat ini (Irawan, 2015). Pengelolaan tanaman pertanian-terpadu dapat menjadi solusi yang memungkinkan untuk terus meningkatkan permintaan produksi pangan, keberlanjutan ekologi, stabilitas pendapatan, dan perbaikan gizi bagi petani kecil dengan sumber daya terbatas.

6.1 PENGEMBANGAN PADI DAN JAGUNG

Indonesia sebagai negara agraris berkomitmen tinggi terhadap terwujudnya ketahanan pangan sebagai komponen strategis dalam pembangunan nasional. Undang-undang No. 18 Tahun 2012 tentang Pangan menyatakan bahwa perwujudan ketahanan pangan merupakan kewajiban pemerintah bersama masyarakat. Negara berkewajiban mewujudkan ketersediaan, keterjangkauan, dan pemenuhan konsumsi pangan yang cukup, aman, bermutu, dan bergizi seimbang baik pada tingkat perseorangan hingga nasional secara merata di Indonesia dengan memanfaatkan sumber daya, kelembagaan dan budaya lokal. Saat ini, pemerintah masih fokus pada pembangunan pertanian dengan mengembangkan komoditas unggulan, yaitu komoditas yang layak secara ekonomi, sosial, dan biofisik karena mampu memberikan keuntungan bagi petani. Komoditas tanaman pangan yang utama ditanam oleh petani Indonesia adalah padi dan jagung. Kedua komoditas ini masih menjadi prioritas untuk dikembangkan sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk. Selain itu, pengembangan kedua komoditas tersebut juga mempunyai peran penting dalam menjaga stabilitas pangan nasional. Upaya pemerintah dalam meningkatkan produksi pangan dapat dilihat melalui program Upaya Khusus (Upsus) yang terfokus pada tiga komoditas utama yaitu, Padi, Jagung, dan Kedelai (Pajale).

6.1.1 Pengembangan pada Tanaman Padi

Sektor pertanian dihadapkan pada beberapa tantangan di antaranya, yaitu alih fungsi lahan dan degradasi sumber daya lahan akibat penerapan pupuk kimia dan pestisida yang melebihi dosis, dan perubahan iklim

yang mengancam ketahanan pangan (Thakur *et al.*, 2021). Oleh karena itu, peningkatan produktivitas tanaman pangan perlu diupayakan dengan menerapkan sistem pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan sehingga kelestarian lingkungan hidup tetap terjaga. Pemerintah telah melakukan berbagai upaya dalam menjaga ketahanan pangan di Indonesia salah satunya yaitu melakukan peningkatan kualitas dan keamanan pangan melalui penerapan budidaya pertanian yang baik (*Good Agricultural Practices/GAP*) atau penerapan sistem pertanian ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Sampai saat ini komoditas padi masih menjadi sumber pangan utama bagi masyarakat Indonesia. Upaya peningkatan produktivitas padi melalui efisiensi teknis usaha tani dan penerapan inovasi teknologi menjadi pilihan yang tepat (Kusnadi *et al.*, 20011). Sistem pertanian ramah lingkungan yang dikembangkan saat ini mengacu pada GAP dengan menggabungkan komponen-komponen teknologi secara terpadu menjadi satu paket teknologi. *Good Agricultural Practice* dalam pengembangan padi terdiri dari paket teknologi, di antaranya, yaitu penggunaan benih varietas unggul, pengolahan tanah yang baik, pengelolaan hara tanaman, pengendalian OPT, dan pengelolaan air yang baik (Oo dan Usami, 2020). Penerapan paket teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas hasil padi secara berkelanjutan yang secara tidak langsung juga dapat membantu petani dalam meningkatkan pendapatan. Penerapan pengelolaan tanaman padi secara terpadu dapat meningkatkan hasil hingga 47%, meningkatkan penghasilan petani sebesar 29–76% dan mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 18–26% (Wihardjaka, 2018). Paket yang diterapkan meliputi penggunaan padi Varietas Unggul Baru (VUB), pengolahan tanah yang baik, pengelolaan hara tanaman, pengendalian hama dan penyakit, serta pengelolaan air yang baik.

1. Penggunaan padi varietas unggul baru (VUB).

Tanaman padi mempunyai arti khusus di Indonesia, di mana sekitar 90% beras diproduksi dan dikonsumsi sebagai makanan pokok. Mengingat peningkatan permintaan akibat pertambahan jumlah penduduk di satu sisi, dan berkurangnya ketersediaan lahan pertanian di sisi lain, maka sangat penting untuk dilakukan pengembangan padi dengan menggunakan teknologi yang akan menghasilkan produktivitas yang tinggi. Salah satu inovasi teknologi yang dapat berkontribusi besar terhadap peningkatan produktivitas dan yang mudah diadopsi oleh petani adalah melalui penggunaan benih padi VUB (Rohaeni *et al.*, 2012). Penggunaan padi VUB dilaporkan meningkatkan hasil rata-rata dari 2–3 ton/ha menjadi 5–6

ton/ha dan meminimalkan durasi panen dari sekitar 140 hari menjadi 110 hari (Adedoyin *et al.*, 2016). Beberapa varietas padi yang ditanam sebelum Revolusi Hijau mempunyai karakteristik tinggi, daun dan batang lemah, serta memiliki indeks panen 0,3, yaitu 30% gabah dan 70% jerami. Sedangkan varietas unggul memiliki indeks panen 0,5 karena perawakannya yang pendek, tahan rebah, dan responsif terhadap masukan pupuk (Khush, 2003).

Pemerintah melalui Badan Litbang Pertanian telah melepas lebih dari 300 VUB padi, sehingga petani dapat menentukan varietas yang sesuai dengan cara budidaya dan kondisi lingkungan setempat (Yudi *et al.*, 2021). Varietas-varietas tersebut mempunyai karakteristik yang beragam baik dari umur, produktivitas, dan ketahanan terhadap hama atau penyakit tertentu (Pratiwi, 2012). Penggunaan padi VUB yang adaptif terhadap lingkungan tumbuh dan dampak perubahan iklim global perlu dilakukan untuk meningkatkan produktivitas. Toleransi terhadap cekaman abiotik seperti tanah bermasalah, suhu yang merugikan, dan cekaman kelembapan telah berkontribusi pada stabilitas hasil dan kemampuan beradaptasi (Khush, 2003). Varietas yang dapat dibudidayakan di lahan rawa, yaitu Inpara 1, Inpara 2, Inpara 3, Inpara 4, Inpara 5, Inpara 6, Inpara 7, 8 Agritan, 9 Agritan, dan 10 BLB (Yudi *et al.*, 2021). Varietas yang adaptif untuk dibudidayakan di lahan sawah tadah hujan di antaranya yaitu Inpari 38, Inpari 39, Inpari 40, dan Inpari 41. Varietas yang toleran terhadap kondisi kekeringan dan tergenang (varietas amfibi) di antaranya yaitu Limboto, Batutegi, Towuti, Situ Patenggang, Situ Bagendit, Inpari 10 Laeya, Inpago 4, Inpago 5, Inpago 6, Inpago 7, Inpago 8, dan Inpago 9 (Wihardjaka *et al.*, 2020). Varietas yang toleran terhadap salinitas di antaranya, yaitu Banyuasin, Siak Raya, Lambur, Dendang, Inpari 34 Salin Agritan, dan Inpari 35 Salin Agritan (Jamil dan Nyoman, 2016; Hairmansis dan Nafisah, 2020).



Gambar 6.1 Penerapan varietas toleran kekeringan pada lahan sawah tadah hujan di Pucakwangi, Pati, Jawa Tengah

Sumber: Balingtan, 2021

2. Pengolahan tanah yang baik.

Pengolahan tanah adalah kegiatan manipulasi mekanik terhadap tanah yang bertujuan untuk mencampur dan menggemburkan tanah, mengontrol gulma, dan menggemburkan tanah untuk pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Upaya pengolahan tanah dapat menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik tanah (Rachman *et al.*, 2004). Pengolahan tanah konvensional dan penggunaan alat mesin pertanian secara intensif cukup berbahaya bagi lingkungan, sehingga perlu adanya penerapan olah tanah konservasi. Olah tanah konservasi merupakan upaya yang dapat dilakukan dalam penyiapan lahan untuk melestarikan produktivitas tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Beberapa teknologi pengolahan tanah konservasi yang dapat diterapkan pada budidaya padi, yaitu tanpa olah tanah/TOT (*zero tillage*), olah tanah seperlunya (*reduced tillage*), dan olah tanah strip (*strip tillage*). Penerapan teknologi olah tanah sempurna/OTS (*full tillage*) awalnya berdampak positif terhadap efisiensi usaha tani karena menghemat biaya dan tenaga kerja untuk pengendalian gulma, tetapi juga berpotensi menyebabkan tanah menjadi sakit (Lamid, 2011).

Pelumpuran tanah terus menerus yang diikuti oleh penggunaan pupuk kimia dengan dosis tinggi dapat berdampak pada penurunan produktivitas padi. Selain itu, penggunaan peralatan mekanisasi pertanian juga akan mengganggu keseimbangan karbon dalam tanah dan akan mengemisikan karbon lebih besar dibandingkan tanpa olah tanah (TOT) (Šrauskis *et al.*, 2009; Ariani *et al.*, 2017). Teknologi TOT adalah penanaman pada tanah yang belum diolah dan dicirikan dengan sedikitnya gangguan pada permukaan tanah (Derpsch, 2003). Pada umumnya, petani padi sawah tadah hujan menerapkan TOT pada saat musim kering/kemarau (MK), yaitu dengan cara membuat lubang kecil untuk meletakkan benih dengan menggunakan tongkat runcing (*tugal*). Penerapan TOT yang benar dilaporkan dapat menguntungkan secara ekologis dan ekonomi karena dapat mempertahankan hasil, mengurangi biaya produksi, menjaga kesuburan tanah, menurunkan tingkat erosi, dan menekan kerusakan lingkungan (Komissarov dan Klik, 2020).

3. Pengelolaan hara tanaman

Dalam pertanian modern penggunaan unsur hara esensial yang efisien sangat penting dalam meningkatkan produktivitas dan menjaga keberlanjutan usaha tani. Peningkatan efisiensi penggunaan hara juga berdampak positif terhadap peningkatan pendapatan petani, kesehatan konsumen, dan kelestarian lingkungan. Meningkatkan efisiensi penggunaan

hara sangat penting dari sudut pandang ekonomi dan lingkungan. Strategi yang sangat penting untuk mewujudkan penyediaan hara yang tepat (jumlah, jenis, dan waktu) untuk tanaman, maka adalah dengan melakukan pengelolaan hara yang spesifik lokasi (Makarim *et al.*, 2003). Pengelolaan hara spesifik lokasi merupakan pendekatan untuk menyuplai hara bagi tanaman sehingga tanaman dapat tumbuh dengan optimal. Ketersediaan hara tanah sangat tergantung pada sifat dan pengelolaan tanah sehingga rekomendasi pemupukan harus berimbang dan tidak dapat diseragamkan (Susanto *et al.*, 2013).

Pemupukan berimbang spesifik lokasi sesuai status hara tanah dapat dilakukan dengan melakukan uji cepat menggunakan perangkat uji tanah sawah (PUTS), perangkat uji tanah kering (PUTK), perangkat uji tanah rawa (PUTR), dan menggunakan kalender tanam (KATAM). Ketersediaan hara bagi tanaman juga dipengaruhi oleh mikroorganisme yang ada dalam tanah dan rizosfer (Mehetre dan Mukherjee, 2015). Mikroorganisme dalam tanah memainkan peran kunci dalam mengatur siklus nutrisi melalui proses dekomposisi dan sekuestrasi sehingga menopang ekosistem alami dan produksi pertanian. Mikroorganisme di rizosfer telah meningkatkan pertumbuhan akar dengan memperbaiki N_2 atmosfer, menekan patogen, memproduksi fitohormon, meningkatkan luas permukaan akar untuk memfasilitasi penyerapan nutrisi yang kurang bergerak seperti P dan nutrisi mikro, serta pelarutan bahan organik yang tidak tersedia (Baligar dan Fageria, 2015). Bakteri *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Gluconacetobacter*, *Azoarcus*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, dan *Pseudomonas* mampu memfiksasi N_2 di atmosfer. Sedangkan *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Trichoderma* merupakan bakteri pelarut P yang sangat efisien (Altomare dan Tringovska, 2011).

4. Pengendalian hama dan penyakit tanaman

Hama dan penyakit tanaman merupakan salah satu kendala yang dihadapi petani dalam pengembangan tanaman padi. Hama dan penyakit tanaman bersifat dinamis dan pertumbuhannya dipengaruhi oleh lingkungan abiotik (musim tanam, iklim, agroekosistem) dan biotik (fase pertumbuhan tanaman, keberadaan musuh alami). Tikus, wereng coklat, penggerek patang, tungro, blas, dan hawar daun bakteri merupakan OPT yang merusak tanaman padi saat musim penghujan, sedangkan yang biasa merusak pada saat musim kemarau, yaitu tikus, penggerek batang, dan walang sangit (Roja, 2009). Menekan populasi hama dan penyakit agar tidak menimbulkan kerusakan

ekonomi dan lingkungan dapat dilakukan dengan mengelola komponen abiotik dan biotik (Kartohardjono, 2011). Perlindungan tanaman padi terhadap hama, penyakit, dan gulma harus dicapai dengan menggunakan tindakan pengendalian yang tepat. Tindakan pengendalian yang tepat merupakan tindakan yang tidak mempunyai potensi dampak buruk bagi kesehatan petani, kualitas pangan, dan keselamatan lingkungan (Oo dan Usami, 2020).



Gambar 6.2 Pengendalian hama pada Demplot Panca Kelola Ramah Lingkungan di Sukolilo, Pati, Jawa Tengah

Sumber: Balingtan, 2020

Konsep pengendalian hama dan penyakit secara terpadu (PHT) perlu diimplementasikan dalam budidaya padi. Konsep PHT berorientasi pada stabilitas ekosistem dan ekonomi. Tujuan dari PHT adalah untuk membatasi aplikasi pestisida kimia dengan pengendalian alternatif yang lebih memanfaatkan bahan dan metode hayati, seperti pemanfaatan musuh alami, pestisida hayati, feromon, dan agen hayati (Effendi, 2009).



Gambar 6.3 Pemanfaatan tanaman refugia pada Demplot Panca Kelola Ramah Lingkungan di Sukolilo, Pati, Jawa Tengah

Sumber: Balingtan, 2020

Pemanfaatan tanaman refugia yang berperan sebagai mikrohabitat agen hayati dapat memberikan manfaat yang besar dalam peningkatan produktivitas tanaman, serta sebagai tempat berlindung dan sumber makanan bagi musuh alami (Mokoginta dan Mohamad, 2022). Selain itu, tanaman refugia juga dapat mendukung konservasi dalam menjaga agroekosistem di lahan pertanian akibat dari penggunaan pestisida yang berlebihan. Tanaman refugia dipilih dengan kriteria seperti memiliki bunga berwarna yang mencolok, peremajaan tanaman yang cepat, bibit mudah didapat, ditanam dan ditumpangsarikan dengan tanaman lain. Tanaman yang berpotensi sebagai refugia di antaranya bunga matahari (*Helianthus annuus*), bunga kertas (*Zinnia spp.*), kenikir (*Cosmos caudatus*), ilalang dari famili asteraceae seperti babadotan (*Ageratum conyzoides*), ajeran (*Bidens pilosa* L.), dan kotok (*Tagetes erecta*) (Wibowo *et al.*, 2018).

Pengendalian Hama Terpadu merupakan pendekatan yang menyeluruh yang berdasarkan pada pemikiran ekologi dalam menjaga kualitas serta keseimbangan lingkungan dengan menggunakan masukan yang rendah dan integrasi strategi pengendalian (Zamrodah, 2015). Adapun lima strategi dalam pelaksanaan PHT, yaitu (1) sanitasi lingkungan di sekitar perakaran, (2) penggunaan VUB yang tahan OPT, (3) penanaman serentak, (4) penerapan pola tanam yang memutus siklus hidup OPT, dan (5) penggunaan pestisida secara bijak (Widiarta dan Suharto, 2003). Diharapkan, melalui penerapan strategi tersebut, maka pembangunan pertanian berwawasan lingkungan dapat terwujud secara cepat.

5. Pengelolaan air yang baik

Sumber daya air untuk pertanian semakin lama jumlahnya semakin terbatas akibat dampak dari perubahan iklim. Pada 2025 diprediksi seluas 13 juta ha lahan irigasi dan 2 juta ha lahan kering teririgasi di Asia akan mengalami kekurangan air (Tuong dan Bouman, 2003). Pengelolaan air secara efisien dan efektif diperlukan agar sumber daya air tetap terjaga dan kebutuhan tanaman akan air juga tetap tercukupi. Ketersediaan air di lahan sawah, khususnya sawah tadah hujan merupakan masalah yang krusial sehingga diperlukan teknologi pengelolaan air secara tepat agar dapat meningkatkan produktivitas sekaligus menekan emisi GRK. Teknologi yang dapat diterapkan di lahan sawah tadah hujan untuk menyelamatkan tanaman padi pada musim tanam kemarau adalah teknologi panen hujan dan aliran permukaan, teknologi prediksi curah hujan, dan teknologi irigasi (Wihardjaka *et al.*, 2020).

teknologi yang sesuai dengan kondisi agroekologi setempat. Di samping itu, teknologi tersebut harus mudah dan murah sehingga petani tidak sulit untuk mengadopsinya dengan cepat. Kegiatan-kegiatan yang menunjang pertanian berkelanjutan di antaranya adalah pengelolaan hara tanaman, konservasi tanah, pengendalian hama terpadu, menjaga sumber daya air, pemanfaatan tanaman pelindung, diversifikasi tanaman, dan agroforestri.

1. Pengelolaan Hara Tanaman

Pengelolaan hara diperlukan untuk meningkatkan kondisi tanah serta melindungi lingkungan tanah. Penggunaan pupuk organik dan tanaman kacang-kacangan sebagai penutup tanah, tidak hanya menyuburkan tanah, tetapi juga menekan biaya pembelian pupuk anorganik. Beberapa jenis pupuk organik yang dapat dimanfaatkan antara lain pupuk kompos, kascing, dan pupuk hijau (dedaunan). Salah satu contoh penerapan pertanian berkelanjutan adalah sistem pertanian organik dan menghindari pupuk dan pestisida (Abando dan Rohnerthielen, 2007 dalam Theocharopoulos *et al.*, 2012). Teknik-teknik yang digunakan dalam pertanian organik merupakan pendekatan dari sistem pertanian berkelanjutan yang menekankan pada pelestarian dan konservasi sumber daya alam guna terciptanya keseimbangan ekosistem dan memberikan kontribusi bagi peningkatan produktivitas pertanian dalam jangka panjang. Efisiensi penggunaan pupuk juga menjadi hal yang penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Pengelolaan lahan untuk pertanian, menjadi salah satu sumber emisi N_2O . Emisi N_2O dari tanah karena penggunaan pupuk kimia nitrogen yang terdapat pada pupuk urea dan ammonium sulfat menjadi N_2O dan NO_2 (Ecosolve, 2002).



Gambar 6.14 Pemupukan dengan bahan organik

Sumber: Balingtan, 2021

Penggunaan pupuk organik dengan cara yang efisien memberikan dampak positif terhadap penurunan emisi GRK, dan ini tidak hanya relevan untuk perkebunan kopi, tetapi juga komoditas perkebunan lainnya. Penggunaan pupuk kimia secara tidak tepat tanpa adanya kombinasi dengan pupuk organik menjadi salah satu sumber emisi N_2O . Selain itu, pemanfaatan tanaman penambat N dari udara bebas adalah cara lain mengurangi penggunaan pupuk kimia pada perkebunan. Aksi mitigasi yang dapat diterapkan antara lain adalah pemanfaatan limbah tanaman sebagai sumber bahan organik, pakan ternak, dan sumber bioenergi melalui pengembangan model sistem integrasi tanaman dan ternak (SITT) sehingga dapat mengurangi emisi GRK serta meningkatkan serapan dan cadangan karbon tanah (Pramono dan Sadmaka, 2018).

2. Konservasi Tanah

Konservasi tanah merupakan penempatan setiap bidang tanah sesuai dengan kemampuan dan memperlakukannya agar tidak terjadi kerusakan dan dapat berfungsi secara berkelanjutan (Arsyad, 2006). Pada lahan dengan topografi miring, konservasi tanah di antaranya dilakukan dengan membuat terasering untuk mencegah erosi, melakukan reboisasi lahan kritis, pergiliran

tanaman (*crop rotation*), dan pemanfaatan tanaman penutup tanah (*cover crop*).

3. Pengendalian Hama Terpadu

Pengendalian hama dilakukan dengan cara lebih bijak dan ramah lingkungan dengan mengesampingkan penggunaan pestisida kimiawi melalui metode Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT merupakan pengendalian hama yang dilakukan dengan menggunakan unsur-unsur alami yang mampu mengendalikan hama agar tetap berada pada jumlah di bawah ambang batas yang merugikan (Juanda dan Cahyono, 2005) dengan cara-cara yang aman bagi lingkungan dan makhluk hidup (Endah dan Abidin, 2002; Sudirja, 2008). Beberapa cara pengendalian hama terpadu, yakni:

- a. menggunakan serangga atau hewan yang dikenal sebagai musuh alami hama seperti *Tricogama* sp. yang merupakan musuh alami dari parasit telur dan parasit larva hama tanaman,
- b. menggunakan tanaman refugia (penolak hama dan penarik musuh alami) untuk menjauhkan hama dari tanaman utama,
- c. melakukan rotasi tanaman untuk memutus siklus hama dan patogen tanaman.

4. Memelihara Kualitas Air

Sumber daya air harus dipertahankan kualitasnya secara alamiah. Penurunan kualitas air akan mengurangi produktivitas dan daya tampung sumber daya. Kegiatan untuk menjaga kualitas air dapat dilakukan dengan mengurangi input kimia, menggunakan irigasi tetes untuk efisiensi air dan pupuk, melakukan penanaman pohon dan konservasi tanah pada kawasan lahan kritis terutama di hulu daerah aliran sungai. Untuk mengantisipasi dampak kekeringan, perlu upaya menyimpan dan mempertahankan lengas tanaman berupa pemberian bahan organik. Semakin tinggi kadar bahan organik, maka daya simpan lengas semakin tinggi pula. Bahan organik dapat berupa pupuk kandang dan pupuk kompos yang berasal dari limbah organik asal kebun. Pada musim kemarau pemberian mulsa jerami, pangkasan daun pohon penanang, seresah juga merupakan alternatif untuk mempertahankan lengas tanah. Bahan mulsa ini akan terdekomposisi sehingga menambah kadar bahan organik dalam tanah. Mulsa ini dapat bertahan lebih lama sebagai mulsa pada musim kemarau karena tidak ada lengas yang memicunya untuk terdekomposisi. Pemangkasan secara selektif dengan membuang bagian tanaman yang tidak produktif dapat menurunkan transpirasi dan mengawetkan kandungan air tanah. Pembuatan rorak juga akan memperbesar resapan air ke tanah dan menampung tanah yang tererosi,

unsur hara yang terbawa erosi meresap di sekitar perakaran tanaman, menampung bahan organik, dan merangsang pembentukan akar serabut tanaman kopi sehingga penyerapan hara lebih optimal (Yuliasmara, 2016). Teknik biopori juga dapat diterapkan untuk meresapkan dan menyimpan air yang cukup efektif pada areal pertanaman kopi (Syakir & Surmaini, 2017).

Kegiatan kultur teknis yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman kopi, yaitu pengelolaan cabang produksi untuk mengarahkan pertumbuhan tanaman, untuk menjaga kesehatan tanaman, dan untuk meningkatkan hasil produksi buah atau bunga pada tanaman kopi. Pengelolaan percabangan tanaman yang tepat dilakukan untuk menghasilkan buah baik kualitas dan kuantitasnya (Sujatmiko 2013 dalam Subantoro 2018). Pemangkasan bertujuan untuk mengoptimalkan produksi tanaman kopi dengan membuang percabangan yang tidak perlu dan memelihara cabang yang akan berbuah pada tahun yang akan datang sehingga keberhasilan dari pengelolaan cabang berpengaruh terhadap produksi tanaman kopi (Khayati *et al.* 2019).

5. Pemanfaatan Tanaman Pelindung

Beberapa strategi adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim antara lain adalah penerapan *good agriculture practices* (GAP), penggunaan lebih banyak pohon penabung, yang juga dapat meningkatkan daya tahan petani terhadap dampak perubahan iklim untuk memberikan subsidi produk yang bernilai secara ekonomi, seperti tanaman buah-buahan. Penanaman tanaman pelindung bermanfaat untuk menekan pertumbuhan gulma, mencegah erosi dan meningkatkan kualitas tanah. Penggunaan tanaman leguminosa sebagai penabung juga disarankan karena dapat mengurangi penggunaan pupuk kimia dan meningkatkan ketersediaan nitrogen di tanah yang ditambat oleh tanaman tersebut.

6. Diversifikasi Tanaman

Diversifikasi tanaman merupakan teknik penanaman lebih dari satu jenis tanaman dalam satu areal lahan pertanian. Tujuannya adalah untuk mengurangi resiko kegagalan usaha pertanian akibat kondisi cuaca ekstrem, serangan hama pengganggu tanaman, dan fluktuasi harga pasar. Diversifikasi tanaman juga dapat berkontribusi bagi konservasi lahan, menjaga kelestarian habitat binatang, dan meningkatkan populasi serangga yang bermanfaat. Dari segi ekonomi, diversifikasi tanaman dapat meningkatkan pendapatan petani sepanjang tahun dan meminimalkan kerugian akibat kemungkinan kegagalan dari menanam satu jenis tanaman saja.

7. Agroforestri (wanatani)

Agroforestri merupakan sistem tata guna lahan (ushatani) yang mengkombinasikan tanaman semusim maupun tanaman tahunan untuk meningkatkan keuntungan, baik secara ekonomis maupun lingkungan. Sistem ini membantu terciptanya keanekaragaman tanaman dalam suatu luasan lahan untuk mengurangi resiko kegagalan dan melindungi tanah dari erosi serta meminimalisasi kebutuhan pupuk dari luar lahan karena adanya daur-ulang sisa tanaman (Ruijter dan Agus, 2004). Sektor pertanian berperan positif dalam membantu mengurangi CO₂ di atmosfer, dengan cara menyerap dan menyimpan karbon dalam vegetasi tanaman, dan dengan meningkatkan kandungan karbon tanah melalui pemberian bahan organik. Budidaya konservasi dapat menambah lebih banyak karbon yang dikembalikan ke lahan dan memperlambat laju proses konversi karbon dalam bahan organik menjadi gas CO₂ (Smith and Olesen. 2010; Hergoualc'h *et al.*, 2012).

Strategi adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim perlu dilakukan untuk mengurangi emisi GRK dan atau meningkatkan cadangan karbon yang rendah. Strategi tersebut dapat dilakukan dengan cara menerapkan *Good Agriculture Practices* (GAP), yaitu dengan budidaya tanaman secara tepat dan benar, produksi tinggi, mutu produk baik, keuntungan optimal, dan ramah lingkungan serta dengan memperhatikan aspek keamanan dan kesejahteraan petani.

6.3.2 Pengembangan pada Tanaman Kelapa Sawit

Usaha budidaya kelapa sawit berperan penting bagi pembangunan nasional, sebagai sumber devisa non-migas, penyedia bahan baku industri minyak goreng dalam negeri, sumber pendapatan dan mata pencaharian utama bagi petani di beberapa propinsi penghasil kelapa sawit. Industri sawit mempunyai prospek pengembangan yang sangat luas karena menghasilkan produk-produk turunannya. Faktor internal yang mendukung adalah lahan dan tenaga kerja yang cukup tersedia, penggunaan bibit tanaman unggul yang toleran terhadap OPT, serta kebijakan pemerintah untuk meningkatkan daya saing Indonesia di pasar global. Faktor eksternal adalah perdagangan bebas dan permintaan negara Jepang dan Eropa akan produk sawit yang merupakan sumber energi terbarukan. Minyak sawit mempunyai keunggulan dibanding tanaman lain karena produktivitasnya yang tinggi, cocok ditanam pada daerah tropis. Tantangan ke depan dalam pengembangan agribisnis komoditas ini adalah penerapan konsep pembangunan berkelanjutan yang layak secara ekonomi, layak secara sosial dan ramah lingkungan.

Aspek-aspek yang harus diterapkan dalam sistim budidaya tanaman sawit berkelanjutan adalah (1) peningkatan kesuburan tanah, (2) pengendalian hama dan penyakit secara terpadu, (3) Pemeliharaan dan peningkatan sumber daya genetik, (4) Pengembangan model tanaman dengan ternak, dan (5) Sistem tanam ganda (*multiple cropping*).

1. Peningkatan kesuburan tanah

Salah satu tujuan pengelolaan tanah adalah mempertahankan kandungan bahan organik tanah. Bahan organik ini dapat digunakan secara langsung atau melalui fermentasi dahulu. Produknya dapat diaplikasikan langsung ke tanaman karena sudah matang dan dapat mengurangi panas, serta imobilisasi hara tanaman. Alternatif untuk memperoleh bahan organik secara berkelanjutan, adalah dengan 1) Inkorporasi biomasa sisa panen. Meskipun kontribusinya kecil, sisa panen tanaman dapat memenuhi jumlah kebutuhan bahan organik minimum sehingga masih perlu tambahan input dari luar; 2) Pemberian kotoran hewan/ternak. Beberapa jenis hewan/ternak sumber pupuk organik adalah sapi, kerbau, kambing, dan ayam, atau juga bisa berasal dari hewan liar seperti kelelawar dan burung; 3) Pemberian pupuk hijau. Pupuk hijau bisa diperoleh dari serasah dan dari pangkasan tanaman penutup atau pepohonan dalam larikan sebagai tanaman pagar. Limbah padat organik diolah menjadi kompos, yaitu tandan kosong, sabut, pelepah daun. Dengan menambahkan bahan organik tersebut akan dapat memperbaiki cadangan bahan organik tanah dan untuk mempertahankan unsur karbon dan nitrogen.

2. Pengendalian Penyakit dan Hama Tanaman Secara Terpadu

Konsep PHT ini, meliputi: 1) Secara terpadu memperhatikan semua hama penting; 2) Tidak bertujuan untuk meniadakan sama sekali hama, tetapi lebih mengendalikan populasi agar kerusakan terjadi di bawah ambang ekonomi; 3) Menggabungkan berbagai cara yang kompatibel; (4) Sesedikit mungkin memakai cara buatan, tetapi lebih mementingkan penekanan hama oleh faktor-faktor alami; 5) Selalu mempertimbangkan ekologi.

3. Pemeliharaan Sumber daya Genetik

Pemeliharaan sumber daya genetik diperlukan untuk menunjang perkebunan berkelanjutan di bidang penyediaan benih/bibit agar adaptif terhadap di segala kondisi lingkungan.

4. Pengembangan Model Integrasi Tanaman Perkebunan dengan Ternak

Sistem integrasi usaha ternak kambing/sapi dengan perkebunan kelapa sawit merupakan sistem perkebunan yang kompleks karena melibatkan berbagai sub-sistem yang saling terkait secara integratif, yaitu tanaman kelapa sawit dan vegetasi di bawah tanaman sebagai sumber pakan ternak serta ternak kambing/sapi sebagai penyedia bahan organik untuk tanaman. Pola pemeliharaan ternak sapi secara terpadu dengan perkebunan kelapa sawit untuk memaksimalkan pemanfaatan sumber daya alam berupa vegetasi dan lahan tersedia di sub-sektor perkebunan kelapa sawit. Manfaat ternak di dalam proses budidaya tanaman perkebunan adalah meningkatkan pendapatan melalui proses konversi vegetasi atau gulma menjadi pakan dan produk daging.

5. Sistem Tanam Ganda (*Multiple cropping*)

Untuk meningkatkan produktivitas lahan dan pendapatan petani di lahan kering dapat dilakukan melalui pertanaman secara tumpangsari, karena dapat menjaga kelembapan dan kadar air tanah di lahan kering serta mengurangi erosi dan meningkatkan kesuburan tanah. Tumpangsari merupakan salah satu bentuk program intensifikasi perkebunan alternatif yang tepat untuk melipatgandakan hasil di lahan yang kurang produktif. Pemilihan tanaman sedemikian rupa sehingga mampu memanfaatkan ruang dan waktu seefisien mungkin serta dapat menurunkan pengaruh kompetitif yang sekecil-kecilnya.

6.4 KEARIFAN LOKAL

Dampak introduksi teknologi dalam revolusi hijau yang masif di masa lalu adalah menurunnya kualitas lingkungan, seperti degradasi lahan pertanian. Gerakan untuk kembali menerapkan pertanian tradisional muncul sebagai salah satu upaya untuk memulihkan lingkungan, yaitu dengan memanfaatkan sumber daya lokal tanpa input kimia dan meningkatkan pemberian pupuk organik (alam), pestisida hayati, serta cara-cara budidaya lainnya yang tetap berpijak pada pelestarian lahan-lahan pertanian (Tandisau dan Herniwati, 2009). Kearifan lokal adalah kebijaksanaan atau pengetahuan yang dimiliki oleh suatu masyarakat dalam rangka mengelola lingkungan agar lestari (Suyami *et al*, 2005). Dalam pertanian khususnya budidaya padi, semua proses baik pra panen maupun pasca panen, memanfaatkan teknik tradisional yang mengandung nilai, norma, dan kearifan lokal. Waktu tanam sangat berpengaruh terhadap hasil produksi padi, petani mengetahui

waktu musim hujan dan waktu musim kemarau, penggunaan jerami, dan sekam sebagai pupuk organik sangat bermanfaat bagi kesuburan lahan. Cara tanam dilakukan dengan mundur dan mengatur jarak tanam sekitar 20 cm. Penggunaan orang-orang sawah sebagai pengusir hama burung, dengan adanya orang-orangan sawah petani tidak perlu menunggu tanaman dalam waktu 24 jam. Penentuan waktu panen dapat diketahui kapan mulai bisa dipanen sehingga tidak ada pemanenan padi yang mentah dan pemanenan padi yang terlalu masak, menggunakan alat tradisional (ani-ani) dan dilakukan bersama petani lain dengan sistem *bawon*. Kearifan lokal merupakan instrumen yang menjadikan bangsa Indonesia dikenal sebagai bangsa yang rukun dan menghargai budaya bangsanya (Wahyudi *et al.*, 2017).

Sistem pengetahuan dan tradisi bertani, seperti misalnya menjaga keberagaman jenis benih, persiapan lahan, persiapan benih, penanaman, perawatan, pemanenan, sampai pada pola konsumsi. Pertanian padi adalah sistem pengetahuan yang hidup dan menghidupi pemiliknya. Budaya menjual memang dilakukan pada keadaan terpaksa dan terdesak. Varietas padi lokal adalah varietas padi yang sudah lama beradaptasi di daerah tertentu sehingga varietas ini mempunyai karakteristik spesifik lokasi di daerah tersebut. Setiap varietas mempunyai keunggulan dan kelemahan begitu juga dengan varietas padi lokal. Penggunaan alat-alat tradisional dalam berbudidaya padi sawah dapat menghemat biaya karena relatif murah. Membasmi berbagai hama dilakukan dengan menggunakan dedak dicampur minyak tanah, abu pembakaran, orang-orangan, dan plastik yang mengelilingi petak tanaman padi yang melindungi tanaman padi hingga pada pemanenan, untuk mendapatkan hasil maksimal. Pemeliharaan tanaman dari serangan hama tikus dengan cara menjaga tanaman pada sore dan malam hari akan menumbuhkan sikap rajin petani untuk sawah. Pemberantasan hama tikus dengan menggunakan jimat (lidi, bawang merah, bawang putih, dan cabe merah), petani tidak mengeluarkan biaya yang besar dalam pengendalian hama.

Pranoto mongso (penentuan musim) merupakan waktu musim yang digunakan oleh para petani sebagai patokan untuk mengolah pertanian. *Pranoto mongso* mengikuti tanda-tanda alam berdasarkan mongso (musim) dalam bercocok tanam. Petani akan memulai pertanian dengan menggunakan hitungan kalender Jawa dan melihat tanda-tanda alam. Oleh karena itu, tanah tidak jenuh dan memberi waktu kepada tanah untuk mengumpulkan

unsur hara. Melalui perhitungan *pranoto mongso*, alam dapat menjaga keseimbangannya.

Subak adalah suatu organisasi masyarakat adat yang mengelola irigasi untuk sistem pengairan di Pulau Bali. Subak memiliki karakteristik sosio-agraris-religius yang menekankan pada keseimbangan dan keharmonisan antarmanusia, alam, dan Tuhan sebagai pencipta alam semesta. Sistem pengairan ramah lingkungan seperti ini juga terdapat di daerah lain seperti Dharma Tirta di Jawa Tengah, Mitracai di Jawa Barat, dan Tolai di Sulawesi Tengah.

Sistem surjan, sistem ini merupakan aksi adaptasi petani di daerah dengan topografi rendah dan mudah tergenang air. Nilai-nilai kearifan lingkungan dalam pengelolaan sawah surjan antara lain:

1. Pengolahan tanah dengan membuat guludan beralur, yaitu setiap manipulasi mekanik terhadap tanah yang diperlukan untuk menciptakan keadaan tanah yang baik bagi pertumbuhan tanaman. Tujuan utama pengolahan tanah adalah penyiapan tempat tumbuh bagi bibit, menciptakan daerah perakaran yang baik, membenamkan sisa-sisa tanaman, dan memberantas gulma. Pembuatan guludan, yaitu tumpukan tanah yang dibuat memanjang menurut arah garis kontur, bertujuan untuk mengatur drainase dengan membuat tumpukan tanah pada suatu jalur memanjang searah lereng sehingga terbentuk di kiri kanan tumpukan berupa saluran-saluran drainase. Tinggi guludan dibuat sekitar 45-60 cm dari dasar saluran, dengan lebar berkisar antara 7-28 meter. Pembuatan saluran drainase dengan pembuatan guludan ini merupakan adaptasi petani terhadap kondisi lahan yang berlereng kurang dari satu persen dan permeabilitas tanah rendah.
2. Pola tanam polikultur, petani sawah surjan menerapkan pola tanam polikultur dengan menanam beberapa jenis tanaman budidaya, yaitu tanaman padi pada alur bawah, dan tanaman palawija pada alur atas atau guludan. Tanaman palawija yang ditanam bisa beberapa macam antara lain cabai, bawang merah, terong, tomat, atau tanaman palawija lainnya. Dari hasil kajian, menunjukkan bahwa sawah surjan lebih tahan terhadap ledakan populasi hama kepinding tanah daripada sawah lembaran. Adanya modifikasi habitat dengan adanya alur (habitat akuatik) dan guludan (habitat terestrial/darat) menyebabkan lebih banyak komponen hayati yang saling berinteraksi sehingga ekosistem berjalan lebih stabil dan lebih tahan terhadap ledakan populasi jenis hama tertentu.

Pada lahan gambut untuk pertanian, kearifan lokal meliputi tata kelola, teknologi budidaya, pola tanam dan peralatan pertanian. Pemanfaatan lahan gambut berbasis kearifan lokal pada sub-sektor peternakan dapat dilakukan dengan menggembalakan hewan peliharaan di hutan rawa gambut untuk dapat memanfaatkan makanan yang ada di hutan rawa gambut. Rawa gambut dapat dikelola secara tradisional dengan sistem *beje* dan sistem karamba untuk budidaya ikan. Pemanfaatan sumber daya hutan gambut dapat dikelola dengan membentuk organisasi masyarakat desa dalam memanfaatkan hasil hutan seperti getah kayu gembor, garu, damar, ramin, dan rotan secara berkelanjutan.

BAB VII

ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI PENANGGULANGAN KERUSAKAN LAHAN PERTANIAN

Muhammad Husaini

Bagi seorang petani lahan sebagai salah satu faktor produksi yang paling utama jika dibandingkan dengan faktor produksi lainnya. Sampai dengan saat ini lahan masih sebagai media utama bagi tanaman. Pertumbuhan tanaman di atasnya sangat tergantung kepada kondisi lahan. Lahan yang sehat akan memberikan produksi yang optimal bagi petani sebagai pengelola. Lahan pertanian ibarat mobil bagi pengusaha rental, agar memberikan hasil yang optimal dan ekonomis secara berkelanjutan, maka mobil tersebut harus dikelola dengan baik melalui perawatan secara rutin.

Beberapa pengalaman menunjukkan bahwa jika petani salah dalam mengelola lahan dengan cara menanam tanaman yang tidak sesuai dengan kondisi lahan, maka dalam jangka waktu tertentu, lahan tersebut tidak lagi memberikan hasil yang optimal bagi petani dan pengembalian lahan atau penyehatan lahan diperlukan investasi yang besar, serta memakan waktu yang cukup lama.

Pengalaman buruk dalam pengelolaan lahan pertanian di lahan pasang surut pernah dialami seorang petani transmigran di Kalimantan Selatan. Sebagai seorang petani transmigran sangat bangga mendapatkan lahan seluas 2,25 ha sehingga malam hari pun, ketika bulan purnama, petani tersebut mengolah lahannya. Karena kekurangan pengertian tentang lahan pasang surut, maka lahan tersebut ditanami ubi kayu. Hasil panen pertama sangat memuaskan umbinya besar-besar. Panen kedua umbinya mulai mengecil dan pada akhirnya panen ketiga dan keempat umbinya sangat kecil dan hasil produksi sudah tidak ekonomis lagi dalam arti perbandingan

antara biaya dan penerimaan kurang dari satu. Pada akhirnya lahan tersebut sudah tidak bisa ditanami lagi. Untuk melakukan penyehatan lahan seperti keadaan semula diperlukan biaya yang sangat besar dan waktu yang cukup lama. Berdasarkan pengalaman tersebut diperlukan pengetahuan yang cukup dalam pengelolaan lahan usaha tani, agar diperoleh hasil yang optimal.

Pengalaman buruk pengelolaan lahan kering oleh industri pengolahan tepung ubi kayu. Dalam sejarahnya di Kalimantan Selatan terdapat dua pengolahan tepung ubi kayu. Pertama, di Kabupaten Banjar Binuang, sekarang masuk Kabupaten Tapin sekitar tahun 1960-an dan kedua di Kabupaten Tanah Laut sekitar tahun 1990-an. Keduanya tidak dapat bertahan lama. Permasalahan utamanya adalah pengelolaan lahan yang kurang memadai, antara unsur hara yang diberikan tidak sesuai dengan unsur hara yang diserap oleh tanaman ubi kayu yang terkenal boros dalam serapan unsur hara. Sehingga produksinya tidak sesuai dengan kapasitas pabrik pengolahan dengan ketersediaan bahan bakunya. Kedua, industri pengolahan tepung ubi kayu tersebut menjadi tidak ekonomis. Tanpa keseimbangan pemberian unsur hara, maka dalam jangka panjang lahannya menjadi rusak sehingga rasio antara penerimaan dengan biayanya kurang dari satu atau tidak menguntungkan.

Berbekal pengalaman tersebut, pengelolaan lahan untuk pertanian menjadi sangat penting bagi petani, agar lahan memberikan hasil yang ekonomis bagi petani, dengan cara mengembalikan unsur hara yang telah dimanfaatkan oleh tanaman, atau dengan cara mengembalikan unsur hara yang hilang. Jika hal tersebut dilakukan, maka lahan tersebut dalam jangka panjang akan memberikan imbalan yang ekonomis bagi petani sebagai pengelola usaha tani.

Sesungguhnya sudah sejak lama lahan-lahan pertanian produktif di Indonesia mengalami penurunan produktivitas sebagai akibat dari degradasi lahan. Pada tahun 80-an dikenal dengan gejala *levelling off*. Gejala *levelling off* ditandai dengan pelandaian produksi sebagai akibat dari pemanfaatan lahan secara intensif, kondisi ini menyebabkan lahan-lahan produktif mengalami kelelahan (*exhausted soil*). Sehingga secara ekonomis, yaitu perbandingan biaya dengan penerimaan menjadi menurun dan untuk menghasilkan produksi seperti semula diperlukan biaya yang besar, salah satunya melalui pemupukan berimbang (*balance fertilizer*) yang gencar dilakukan oleh pemerintah sekitar tahun 80-an. Di samping itu juga dilakukan penggunaan pupuk organik dan perbaikan pola tanam.

Pengelolaan lahan agar terjadi peningkatan penyehatan lahan pertanian terutama pada lahan-lahan marginal untuk memperbaiki kondisi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, diperlukan pemberian bahan organik ke dalam tanah (Arafah, 2011). Selama ini petani lebih suka menggunakan pupuk kimia, jika dibandingkan dengan pupuk organik dengan harga yang relatif murah karena disubsidi oleh pemerintah dan relatif mudah diperoleh. Dengan perilaku tersebut yang sudah cukup lama, petani sering mengeluh lahan pertaniannya menjadi keras karena yang diperbaiki hanya kondisi kimia tanahnya saja. Sementara, sifat fisik dan biologi tanah tidak bisa diperbaiki dengan hanya mengandalkan pupuk kimia saja, kecuali dengan ditambah dengan pupuk organik atau pupuk kandang karena pupuk organik mampu memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Kondisi ini telah ditanggapi pemerintah, di mana dalam penyaluran pupuk kepada petani juga dibarengi dengan pemberian pupuk organik.

Pengelolaan lahan pertanian agar dapat memberikan hasil yang optimal, diperlukan pengetahuan yang cukup serta diimbangi dengan kondisi perekonomian petani. Melihat kondisi saat ini yang menunjukkan bahwa pengelolaan lahan pertanian tidak sesuai dengan kaidah-kaidah yang telah digariskan, misalnya rekomendasi pemupukan yang dihasilkan melalui kajian-kajian ilmiah. Hasil survei petani padi dan jagung, serta komoditas lainnya, misalnya bahwa telah direkomendasikan dosis pemupukan untuk Urea sekitar 150 kg/ha, pupuk Ponska 200 kg/ha, tetapi yang dilaksanakan petani jauh di bawah dari rekomendasi tersebut, kadang kala cenderung melebihi rekomendasi untuk pupuk urea. Sementara itu, pupuk lainnya masih di bawah rekomendasi.

Pupuk organik hampir tidak diberikan sama sekali. Hal ini disebabkan kondisi perekonomian petani yang kurang mendukung untuk melaksanakan rekomendasi tersebut. Dalam jangka panjang akan berdampak besar terhadap penyediaan produksi tanaman pangan. Hal ini dapat dilihat dari penurunan produktivitas usaha tani padi yang semula 3,5–4,0 ton/ha menjadi rata-rata hanya sebesar 2,5–3,0 ton/ha. Sehingga untuk peningkatan produksi tanaman pangan lebih mengandalkan kepada peningkatan luas tanam, jika dibandingkan dengan peningkatan produktivitas usaha tani melalui penerapan rekomendasi pemupukan sesuai anjuran atau disebut dengan penerapan teknologi.

Tidak jauh berbeda dengan tanaman jagung, dengan kondisi perekonomian petani yang terbatas, pemupukan yang dilakukan petani juga kadang kala untuk pupuk tertentu seperti urea sering diberikan berlebih

sebagai biaya penyehatan lahan. Selain peningkatan penggunaan input juga disebabkan oleh kenaikan harga-harga input yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis finansial masih layak untuk diusahakan dengan berbagai kriteria investasi berikut.

Setiap investasi tentunya akan diperoleh keuntungan dengan asumsi bahwa investasi tersebut dikelola dengan baik dan diperhitungkan berdasarkan kriteria investasi yang direkomendasikan. Berdasarkan hasil perhitungan dengan asumsi yang sudah digariskan, maka keuntungan yang diperoleh dari usaha tani jagung rata-rata sebesar Rp33.140.185/ha per tahun. Keuntungan disebut juga sebagai penerimaan, yaitu hasil produksi dikali dengan harga yang diterima.

Net benefit, diperhitungkan sebagai keuntungan dari usaha tani jagung yang besarnya sangat fluktuatif sepanjang tahun sesuai dengan penerima (*benefit*) yang diperoleh dengan biaya yang dikeluarkan (*cost*). Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata *net benefit* yang diperoleh sebesar Rp15,417,094/ha per tahun.

7.1.1.2 Net Present Value (NPV)

Net present value (NPV) sebagai nilai sekarang dari selisih antara keuntungan dengan *cost* pada *discount rate* tertentu. NPV menunjukkan kelebihan manfaat dibandingkan dengan yang diinvestasikan. NPV sebagai metode yang digunakan untuk memperhitungkan nilai waktu dari *intestacy* yang sudah dilakukan sehingga sebagai salah satu informasi, seberapa besar keuntungan nilai sekarang yang diperoleh dari investasi yang dilakukan pada tahun sebelumnya.

Tabel 7.4 Perhitungan Net Present Value (NPV) usaha tani jagung per hektar

Tahun	<i>Benefit</i> (Bt)	<i>Cost</i> (ct)	<i>Net Benefit</i>	NPV 12%
0	-	14,920,915	(14,920,915)	(14,920,915)
1	34,031,111	23,310,776	10,720,335	9,571,728
2	37,100,000	23,544,837	13,555,163	10,806,093
3	40,940,000	24,732,933	16,207,067	11,535,870
4	42,530,000	25,052,837	17,477,163	11,107,053
5	44,180,000	25,052,837	19,127,163	10,853,266
				38.953.094

Sumber: Balittra, 2021

Berdasarkan hasil perhitungan besarnya nilai NPV atas suku bunga pinjaman komersial yang diberlakukan oleh Bank Rakyat Indonesia Tahun 2021 sebesar 12% per tahun, dengan produksi jagung yang dihasilkan, yaitu sebesar Rp38,953,094 dan bernilai lebih dari nol serta positif (Tabel 4). Dengan kata lain, selama 6 Tahun, investasi usaha tani jagung sekarang akan memberikan keuntungan sebesar nilai NPV tersebut, atau secara finansial usaha tani jagung tersebut layak dan menguntungkan untuk diusahakan.

7.1.1.3 Internal Rate of Return

Nilai *Internal Rate of Return* (IRR) sebagai salah satu kriteria investasi yang digunakan sebagai informasi persentase keuntungan dari usaha tani jagung setiap tahun. Selain itu, juga untuk mengetahui tingkat pengembalian internal terhadap bunga pinjaman untuk investasi usaha tani jagung. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai IRR yang diperoleh sangat besar mencapai sebesar 84% dan lebih besar dari nol (Tabel 7.5), serta sangat jauh dari bunga pinjaman yang digunakan oleh Bank Rakyat Indonesia sebesar 12%/tahun, dengan kata lain investasi usaha tani jagung layak. Hal ini berarti tingkat bunga tertinggi yang dapat dibayarkan usaha tani jagung sangat besar sehingga bunga yang ditawarkan saat ini untuk usaha tani jagung sangat menguntungkan dan sangat prospektif untuk masa yang akan datang bagi investor.

7.1.1.4 Net Benefit Cost Ratio (Net B/C)

Net benefit cost ratio (Net B/C) adalah perbandingan antara jumlah NPV positif dengan jumlah NPV negatif. Nilai Net B/C sebagai gambaran seberapa kali lipat diperoleh manfaat dari investasi usaha tani jagung. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Net B/C* yang diperoleh sebesar 2.61. Hal ini menunjukkan bahwa setiap pengeluaran nilai sekarang untuk investasi usaha tani jagung sebesar Rp1, akan memberikan keuntungan atau manfaat sebesar sebesar Rp2.61 pada tahun yang akan datang (Tabel 7.5).

Tabel 7.5 Kriteria investasi usaha tani jagung selama 6 Tahun

Kriteria Investasi	Nilai	Kriteria
<i>Net Present Value</i> (NPV)	38,953,094	<i>Feasible</i>
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	84%	<i>Feasible</i>
<i>Net B/C</i>	2.61	<i>Feasible</i>

Sumber: Balittra, 2021

Dengan kata lain, investasi pada usaha tani jagung masih menguntungkan dan layak untuk diusahakan, meskipun dilakukan penyehatan lahan melalui penggunaan kapur dan pupuk kandang.

7.1.2 Analisis Keuntungan dan Kelayakan Usaha tani Padi Melalui Perbaikan Lahan

Usaha tani padi tidak berbeda dengan usaha tani jagung yang termasuk kedalam tanaman semusim. Tanaman padi sebagai tanaman yang paling strategis karena menyangkut kehidupan masyarakat yang makanan utamanya berasal dari padi. Hasil produksi padi selalu berfluktuasi sepanjang tahun. Salah satunya disebabkan oleh perubahan iklim dan tingkat kesuburan lahan, serta pluktuasi luas panen. Sampai dengan saat ini luas panen padi mencapai 10,41 juta hektar pada 2021. Sementara itu, pada 2020 luas panen padi mencapai 10,66 juta hektar atau terjadi penurunan luas panen mencapai sebesar 2,30%.

Seiring dengan fluktuasi luas panen, maka produksi padi juga turut berpluktuasi, misalnya pada Tahun 2021 produksi padi mencapai 54,42 juta ton dalam bentuk gabah kering giling atau yang dikenal dengan GKG. Jika dibandingkan dengan produksi padi pada tahun sebelumnya, yaitu Tahun 2020 yang mencapai 54,65 juta ton, maka produksi padi pada mengalami penurunan sebesar 0,43%.

Berdasarkan hasil produksi padi, maka dapat dihitung seberapa besar produksi beras dengan mengalikan dengan faktor konversi padi menjadi beras, yaitu sekitar 0,60, maka diperoleh produksi beras pada 2021 mencapai sebesar 31,3 juta ton. Jika angka tersebut dibandingkan dengan konsumsi beras yang mencapai 30,03 juta ton, maka masih terjadi surplus yang mencapai sebesar 1,27 juta ton. Surplus beras setiap tahun selalu berfluktuasi dan sangat tergantung kepada hasil produksi padi.

Selama 2020–2021, terjadi peningkatan jumlah penduduk sepanjang tahun dengan laju pertumbuhan yang mencapai 0,98% selama. Hal ini menunjukkan bahwakebutuhan konsumsi beras akan meningkat sepanjang tahun. Minimal produksi padi setiap tahunnya meningkat sebesar 1% per tahun untuk mengimbangi pertumbuhan jumlah penduduk tersebut. Dengan kata lain, prospek usaha tani padi ke depan akan menjadi cerah.

Sebagaimana dengan usaha tani padi yang selama ini masih mengandalkan pupuk kimia, saat ini para petani menggunakan pupuk kimia. Selain itu, petani juga sudah mulai menggunakan pupuk organik, baik yang sudah jadi maupun menggunakan pupuk kandang dari kotoran ternak sapi, kambing, dan ternak ayam. Dosis yang digunakan petani untuk usaha tani

padi mencapai 3–4 ton/ha per tahun, dengan total biaya sebesar Rp1,8 juta/ha per tahun. Penggunaan pupuk organik sebagai tambahan biaya untuk penyehatan lahan usaha tani padi. Dengan penambahan penggunaan pupuk kandang tersebut, maka biaya usaha tani meningkat menjadi Rp8,8 juta/ha per tahun.

Tabel 7.6 Analisis biaya, penerimaan, keuntungan dan kelayakan usaha tani padi

Komponen Biaya	Tanpa Pupuk Organik	Dengan Pupuk Organik
Biaya Tetap (<i>Fixed Cost</i>)	356.500	376.500
Biaya Variabel (<i>Variable Cost</i>)	6.713.500	8.513.500
Biaya Total (<i>Total Cost</i>)	7.070.000	8.890.000
Penerimaan Total (<i>Total Revenue</i>)	17.865.000	25.500.000
Profit (Rp/ha)	10.795.000	16.610.000
<i>Revenue Cost Ratio</i> (RCR)	2,53	2,86

Sumber: Balittra, 2021

Selain terjadi peningkatan biaya produksi, produksi padi juga meningkat cukup besar yang semula rata-rata 3,97 ton/ha menjadi rata-rata sebesar 5,10 ton/ha, atau naik sebesar sebesar 1,13 ton/ha atau naik 29% dari produksi tanpa pupuk kandang, dengan nilai sebesar Rp5,65 juta/ha, suatu nilai yang cukup besar. Melalui pemulihan lahan usaha tani dengan penggunaan pupuk kandang, maka produksi dan keuntungan usaha tani padi meningkat hampir sepertiganya. Dengan kata lain, untuk peningkatan produktivitas usaha tani melalui penggunaan pupuk organik sebagai bagian dari usaha pemulihan lahan, secara finansial masih menguntungkan.

Berdasarkan analisis RCR, usaha tani tanpa pupuk kandang, diperoleh nilai RCR 2,53, sedangkan dengan menggunakan pupuk kandang diperoleh nilai RCR meningkat menjadi 2,86. Dengan kata lain, dengan penggunaan pupuk kandang sebagai pemulihan lahan, maka usaha tani padi lebih menguntungkan dan lebih layak (Tabel 7.6).

Lahan-lahan pertanian saat ini bersaing dengan kebutuhan pembangunan, karena letaknya sangat strategis dekat dengan perkotaan, sehingga harganya sangat mahal dan petani cenderung untuk menjual lahannya. Kondisi ini menyebabkan lahan-lahan pertanian yang relatif subur digunakan untuk sektor lain seperti permukiman dan sektor perdagangan, serta industri. Dampaknya lahan-lahan pertanian letaknya menjadi sangat jauh dan cenderung kurang subur, bahkan cenderung rusak. Kondisi ini

menyebabkan biaya usaha tani menjadi lebih, sehingga perbandingan antara penerimaan dan biaya kurang dari 1, yang berarti usaha tani tersebut tidak menguntungkan.

BAB VIII

PERLINDUNGAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN PERTANIAN DALAM PERSPEKTIF

Wahida Annisa Yusuf, Muhammad Noor, A. Wihardjaka

Pada pertemuan Stockholm tahun 1972, dunia internasional bersepakat untuk penyelesaian bersama tentang kerusakan dan pencemaran lingkungan yang saat ini menjadi masalah serius internasional *Tech-Cooperation Aspac* FAO menyatakan bahwa 69 persen tanah pertanian di Indonesia dikategorikan mengalami kerusakan berat (tandus) yang disebabkan penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang berlebihan. Kondisi seperti ini merupakan salah satu penyebab Indonesia menjadi sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim.

Indonesia dikenal sebagai pengguna pupuk yang tinggi, khususnya untuk budidaya tanaman pangan dan hortikultura Berdasarkan data bahwa hampir 20,4 juta orang terlibat dalam kegiatan pertanian pangan dan sekitar 18 juta orang untuk komoditas padi (Biro Pusat Statistik, 2013). Salah satu upaya pencegahan terhadap kerusakan lingkungan adalah pengembangan sistem produksi dengan tetap berupaya mempertahankan keanekaragaman hayati pertanian sehingga proses alamiah dalam ekosistem alam tetap berlangsung secara lestari, yaitu mengkombinasikan antara sains modern dengan kearifan lokal petani sehingga diperoleh budidaya pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pemerintah telah mengeluarkan kebijakan berkaitan pengendalian kerusakan lahan dan pencemaran lingkungan yang dituangkan dalam undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang merupakan penyempurnaan dari UU Nomor 23/1997. Penyempurnaan berupa penguatan prinsip terhadap perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup berdasar pada tata kelola

pemerintahan yang baik. Pemerintah perlu melakukan advokasi terkait substansi UU No 2/2009 terkait kebijakan PPLH kepada pemerintah daerah sehingga kepedulian dan komitmen daerah terhadap kerusakan lingkungan sebagai tanggung jawab lebih nyata dalam implementasinya.

8.1 KERANGKA PIKIR

Keberadaan hutan di Indonesia setiap tahunnya semakin menyusut. Data dari “*The State of Indonesia’s Forest (SOFO)*” yang dirilis pada Desember 2020 menunjukkan bahwa hutan Indonesia hanya tinggal 46,8 juta hektar, termasuk yang dikoneversi menjadi APL sebesar 1,5 juta hektar. Salah satu kerugian dari kegiatan penebangan dan/atau kebakaran hutan dalam pembukaan untuk pertanian adalah meningkatnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Peningkatan tersebut dapat menimbulkan pemanasan *global* yang berdampak terhadap perubahan iklim. Perubahan iklim berdampak terhadap terganggunya pola tanam, produksi biomassa, dan sistem tata air seemsta (hidrologi). Penggunaan bahan agrokimia yang melebihi anjuran dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan/degradasi lahan dan pencemaran lingkungan. Rendahnya pemahaman terhadap lingkungan pertanian serta ketidakpatuhan terhadap peraturan perundang-undangan dalam pengelolaan lingkungan hidup mengakibatkan terjadinya hal tersebut. UU Nomor 32/2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU PPLH) merupakan arahan yang perlu dan penting untuk mendapatkan perhatian bersama.

Kerusakan dan pencemaran lingkungan pertanian perlu segera diselesaikan sebelum menimbulkan dampak yang lebih parah. Pasal 1 ayat (2) UU No 32/ 2009 tentang bagaimana bentuk penyelesaiannya sampai dengan berbagai ancaman pidana terhadap para pelanggarnya tercantum pada Bab XV tentang Ketentuan Pidana, sehingga bentuk pelanggaran pidana terhadap pencemaran dan perusakan lingkungan hidup dapat dikenakan hukuman dan sanksi. Pasal 71 ayat (2) UU No. 32/2009 menyebutkan bahwa menteri, gubernur, atau bupati/walikota memiliki kewenangan untuk mendelegasikan kepada pejabat/instansi teknis untuk melakukan pengawasan atau pemantauan terhadap kondisi lingkungan hidup di masing-masing daerah.

8.2 PERMASALAHAN KERUSAKAN LAHAN DAN PENCEMARAN LINGKUNGAN PERTANIAN

Kerusakan lahan dan pencemaran lingkungan pertanian pada dasarnya karena aktivitas manusia yang bersifat eksploitatif. Degradasi sumber daya

dan sosial. Pengendalian dan penanganan perubahan iklim bukan merupakan beban bagi suatu Negara, tetapi merupakan suatu keharusan dengan semakin meningkatnya kesadaran terhadap dampak negatif perubahan iklim. Untuk itu, perlu adanya kebijakan untuk mengatur kegiatan pertanian yang menjadi sumber emisi GRK menjadi kegiatan rendah karbon, seperti sistem pertanian lahan sawah, aktivitas pemupukan, pembakaran lahan, penggunaan kapur, dan juga peternakan.

8.4 REKOMENDASI KEBIJAKAN DAN SARAN TINDAK LANJUT

Implementasi UU No. 32/2009 sangat menentukan keberhasilan upaya pengendalian kerusakan lahan dan lingkungan terutama di sektor pertanian. Upaya pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup meliputi: (a) pencegahan, (b) penanggulangan, dan (c) pemulihan. Selain dari pemahaman tentang substansi regulasi/kebijakan tersebut di atas, diperlukan juga kepedulian dan komitmen pemerintah daerah terhadap kerusakan lingkungan sebagai tanggung jawab bersama. Untuk itu, diperlukan dorongan yang kuat dari pimpinan nasional terhadap pemerintah daerah terutama pemerintah kabupaten/kota. Perlu dilakukan advokasi kepada pemerintah daerah secara lebih intensif oleh lembaga yang berwenang. Tujuannya untuk mengantisipasi perubahan iklim dan mendorong petani agar meningkatkan kemampuannya dalam menghasilkan produk pertanian yang tinggi, aman, dan berkualitas. Dalam hal ini, pemerintah harus berfungsi sebagai fasilitator melalui kebijakan yang dapat memberikan insentif bagi produsen untuk mengadopsi GAP (*Good Agricultural Practices*) dalam budidaya pertanian dan insentif bagi konsumen yang mengkonsumsi produk bersih. Pemberian insentif perlu juga diberikan pada Pemda yang telah mengimplementasikan UU No. 32/2009, yang secara nyata dapat mengendalikan kerusakan lahan dan lingkungan pertanian.

Implementasi UU No. 32/2009 terkait dengan lahan gambut dapat menjadi contoh, yakni sebagai tindak lanjut disusunnya Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut (RPPEG) di tingkat pemerintah pusat oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan pemerintah daerah oleh Dinas Lingkungan Hidup Provinsi. Bersamaan dengan hal tersebut dibentuknya TRGD (Tim Restorasi Gambut Daerah) pada setiap provinsi sebagai tim pelaksana dan pemantau kegiatan restorasi yang diamanahkan dalam UU No.32/2009 di atas. Implementasi dari UU No. 32/2009 (PPLH) terkait dengan ekosistem gambut ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) No.71/2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut yang kemudian diturunkan ke pemerintah

daerah menjadi Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut Daerah. (PPEGD).

BAB IX PENUTUP

A. Wihardjaka dan E.S. Harsanti

Aktivitas manusia dengan berbagai kebutuhan bahan pangan dan non-pangan telah memanfaatkan sumber daya alam dan kekayaan yang terkandung dalam *Planet Biru* ini. Undang-Undang Dasar 1945 pasal 33 ayat 3 mengamanatkan bahwa bumi, air, dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dapat dimanfaatkan untuk kemakmuran rakyat. Artinya, semua sumber daya alam harus dapat dimanfaatkan sesuai peruntukannya dengan tetap memperhatikan kelestarian lingkungannya. Kesadaran akan aspek lingkungan menjadi tumpuan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di berbagai sektor, termasuk sektor pertanian. Sasaran pembangunan pertanian dalam mewujudkan kedaulatan dan kemandirian pangan termasuk di dalamnya ketahanan dan keamanan pangan tentu akan memanfaatkan sumber daya alam dan sumber daya lahan pertanian, secara arif bijaksana dengan memperhatikan aspek ekologis dan keberlanjutan (*sustainable*) sehingga kerusakan lahan dan lingkungan pertanian dapat diminimalkan.

Buku ini menyoroti kerusakan sumber daya lahan dan lingkungan pertanian pada berbagai agroekosistem dengan mengidentifikasi penyebab atau sumber kerusakan/degradasi sumber daya lahan, mengkarakteristikan kerusakan sumber daya lahan dan lingkungan pertanian, serta pencemaran bahan berbahaya beracun yang berasal dari bahan agrokimia, menyehatkan lahan dan lingkungan melalui pengelolaan sistem pertanian ramah lingkungan berkelanjutan dan terpadu yang dilengkapi dengan analisis kelayakan dan ekonomi beserta kebijakan implementasi ke depannya.

Pertambahan penduduk, kemiskinan, alih fungsi lahan, dan perubahan iklim menjadi faktor pemicu terjadinya kerusakan sumber daya lahan dan lingkungan pertanian. Peningkatan kebutuhan bahan pangan dari populasi manusia yang terus bertambah cenderung mengeksploitasi lahan

- Pemanfaatan sumber daya alam secara terbuka wajib dilengkapi dengan kajian analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL). Pembekalan bagi pendamping petani dan teknologi di lapangan dan pengambil kebijakan di daerah perlu digalakan. Selain memfasilitasi edukasi berupa sekolah lapang seperti sekolah lapang iklim, sekolah lapang integrasi tanaman-ternak, sekolah lapang pengelolaan tanaman terpadu, sekolah lapang pengendalian hama terpadu atau organisme pengganggu tanaman, dan sebagainya. Peningkatan akses publik terhadap informasi kerusakan sumber daya lahan dan lingkungan terkait dampak perubahan iklim beserta penanggulangannya.

Khusus terkait antisipasi dampak perubahan iklim, sektor pertanian telah menyediakan berbagai program dan rekomendasi. Menurut Balitbangtan (2011), antisipasi perubahan iklim diarahkan pada (i) pengembangan infrastruktur terutama jaringan irigasi, (ii) pengembangan sistem prediksi hujan dan awal musim, peringatan dini banjir, longsor, kekeringan, dan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), (iii) penyusunan peta jalan mitigasi dan adaptasi, (iv) peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam pemahaman perubahan iklim dan penerapan teknologi adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, dan (v) penyusunan dan penerapan peraturan perundangan tentang lahan pertanian. Target penurunan emisi GRK nasional tertuang Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 terutama dari lahan gambut, tanaman pangan dan hortikultura, tanaman perkebunan, dan peternakan. Kegiatan mitigasi diarahkan pada (i) pengelolaan dan optimalisasi lahan gambut dan pengembangan sistem peringatan dini kebakaran lahan pertanian, (ii) penerapan teknologi budidaya tanaman rendah emisi, penggunaan mikroba berguna untuk meningkatkan sekuestrasi karbon, (iii) pengembangan dan peremajaan lahan perkebunan, penerapan sistem PLTB, pemanfaatan limbah perkebunan sebagai sumber bahan organik, pakan ternak dan bioenergi, dan (iv) pemanfaatan kotoran/urin ternak dan peningkatan kualitas pakan ternak. Kementerian Pertanian menargetkan adaptasi melalui program (i) reorientasi perluasan areal pertanian baru, pengembangan sarana dan pengelolaan air, (ii) pengembangan varietas tanaman dan galur ternak yang toleran terhadap cekaman lingkungan, (iii) pengembangan teknologi pengelolaan lahan dan air, (iv) pengembangan sistem kelembagaan petani untuk perlindungan petani terhadap dampak perubahan iklim, dan (v) pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak untuk mengurangi risiko iklim ekstrem (Balitbangtan, 2011).

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. 2000. *Statistik Indonesia 2000*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. hal. 25.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. 2013. *Statistik Indonesia 2013*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. hal. 194-195.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. 2018. *Statistik Indonesia 2018*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Abdurrahman, M. I., Chaki, S., dan Saini, G. (2020). Stubble burning: Effects on health dan environment, regulations and management practices. *Environmental Advances*, 2(October), 100011. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100011>
- Abuarab, M.; Mostafa, E.; Ibrahim, M. Effect of air injection under subsurface drip irrigation on yield and water use efficiency of corn in a sandy clay loam soil. *J. Adv. Res.* 2013, 4, 493–499
- Acton, D.; Gregorich, L. Understanding soil health. In *The Health of Our Soil*; Acton, D.F., Gregorich, L.J., Eds.; Towards sustainable agriculture in Canada; Centre of Land and Biological Resources Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada: Ottawa, ON, Canada, 1995; p. 138.
- Adenipekun, C. and I. Fasidi. 2005. Bioremediation of oil-polluted soil by *Lentinus subnudus*, a Nigerian white-rot fungus. *Afri-can Journal of Biotechnology*, vol. 4, no. 8, pp. 796–798, 2005.
- Adenisatrawan, A. dan Yadin, Y.I., 2019. Pola Penanggulangan Kerusakan Lingkungan Efek Eksplorasi Dan Produksi Tambang Nikel Pt. Sambas Minerals Mining Dan Pt. Macika Mada Madana (Studi Kasus: Kec. Palangga Selatan, Kab. Konawe Selatan). *Al-'Adl*, 12(1), pp.135-153.
- Adhikary, R. (2020). Causes and Effect of Soil Erosion and its Preventive Measures. *Advanced Agriculture*, August. <https://doi.org/10.30954/ndp-advagr.2020.19>

- Agbede TM dan Oyewumi, A. 2022. Benefits of biochar, poultry manure and biochar–poultry manure for improvement of soil properties and sweet potato productivity in degraded tropical agricultural soils. *Resources, Environment and Sustainability* 7 (2022) 100051. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100051>
- Agber, P.I. (2011). Testing the effectiveness of soil productivity assessment models in Makurdi, Benue State, Nigeria. Ph.D Thesis, Dept. of Soil Sci. Univ. of Agric Makurdi.
- Agus F, Husnain, dan Yustika R.D. 2016. Improving Agricultural Resilience to Climate Change Through Soil Management. *Jurnal Litbang Pertanian* 34 (4): 147- 158.
- Agus, F., Soelaeman, Y dan Anda, M. 2019. Petunjuk Teknis Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang untuk Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Agviolita, P., Yushardi, Y. dan Anggraeni, F.K.A., 2021. Pengaruh perbedaan biochar terhadap kemampuan menjaga retensi pada tanah. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2):267-273.
- Ajon A.T., Agber P.I., Ali A. 2018. Evaluation of Soil Erosion Effects on Soil Productivity Using Productivity Index Model in Makurdi, Benue State, Nigeria. *World Journal of Research and Review (WJRR)* Volume-7, Issue-2, August 2018 Pages 26-31, ISSN:2455-3956.
- Akhmad, R. (2021). Pola Tanam Pertanian Lahan Kering untuk Sistem Polikultur Terintegrasi di Pulau Lombok, Indonesia. *Jurnal Pendidikan Geosfer*, 6(2), 155–163. <https://doi.org/10.24815/jpg.v6i2.23780>
- Alakukku, Laura. 2012. 28 Soil Compaction: 217-221.
- Albertus, Friendly., Zalukhu, Yosana. 2019. Dampak dan Pengaruh Pertambangan Batubara Terhadap Masyarakat dan Lingkungan di Kalimantan Timur. *Jurnal Legalitas* 4(1): 42-56.
- Alexander, I dan Nadapdap, HJ. Analisis daya saing ekspor biji kopi indonesia di pasar global tahun 2002-2017. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian (J-SEP)*, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 1-16
- Altieri, M.A.; Nicholls, C.I. Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 2003, 72, 203–211. [CrossRef]
- Ambarsari, H. dan Qisthi, A., 2017. Remediasi merkuri (Hg) pada air limbah tambang emas rakyat dengan metode lahan basah buatan terpadu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), pp.148-156.

- Andareswari, N., Hariyadi, S., dan Yulianto, G. 2019. Karakteristik dan strategi pengelolaan limbah cair usaha tapioka di Bogor Utara. *Jurnal Ecolab*, 13(2), 85–96.
- Andini, L. and Ajiningrum, P.S. 2020. Peran kulit nanas sebagai bioaktivator dan penambahan biochar tempurung kelapa dalam meningkatkan hasil produksi tanaman kedelai (*Glycinee max (L) Merrill*). *STIGMA: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 13(02):29-34.
- Antonious, G.; Turley, E.; Snyder, J. Chicken manure enhanced yield and quality of field-grown kale and collard greens. *J. Environ. Sci. Health B* 2014, 49, 299–304.
- Anwar, S. 2007. Luas Lahan Kritis di Indonesia. Informasi disampaikan kepada para pemangku kepentingan, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya. Direktorat Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Ditjen RLPS, Jakarta.
- Apriyani, S., Suprptomo, E., Ispatrika, A, dan Duri. 2021. Pengaruh Pupuk Anorganik dan Pupuk Kandang terhaap Kandungan C-Organik, Pertumbuhan, dan Hasil Jagung Varietas NK 212 pada Lahan Sawah Tadah Hujan. Prosiding Seminar Nasional Virtual, Serangga Vektor-Penyakit Tanaman Tropis: Keragaman dan Teknik Pengendaliannya. Universitas Bengkulu.
- Apzani, W., Sudantha, I.M. and Fauzi, M.T. 2015. Aplikasi biokompos stimulator *Trichoderma spp.* dan biochar tempurung kelapa untuk pertumbuhan dan hasil jagung (*Zea mays L.*) di lahan kering. *Jurnal Agroteknologi*, 9(01):21-35.
- Aqil, M., Bunyamin, Z., dan Andayani, N.N. 2013. Inovasi Teknologi Adaptasi Tanaman Jagung terhadap Perubahan Iklim. Seminar Nasional inovasi Teknologi Pertanian: 39-48.
- Aqil, M., Firmansyah, I. U., dan Akil, M. 2007. Pengelolaan air tanaman jagung. *Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros*.
- Arafah. 2011. Kajian pemanfaatan pupuk organik pada tanaman padi sawah di Pinrang Sulawesi Selatan. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*. 4(1): 11-18
- Ardhaneswari, M dan Wispriyono, B. 2022. Analisis risiko Kesehatan akibat pajanan senyawa nitrat dan nitrit pada air tanah di Desa Cihambulu Subang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia* 21 (1): 65-72p.
- Ardiansyah, R., Banuwa, I. S., dan Utomo, M. 2015. Pengaruh Sistem Olah Tanah Dan Residu Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang Terhadap

- Struktur Tanah, Bobot Isi, Ruang Pori Total Dan Kekerasan Tanah Pada Pertanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(2).
- Ardiwinata, A.N., Ginoga, L.N., Sulaeman, E., and Harsanti, E.S. 2020. Pesticide residue monitoring on agriculture in Indonesia. *Jurnal Sumber daya Lahan* 12 (2): 133-144
- Ardiwinata, A.N., Harsanti, E.S., Kurnia, A., and Sulaeman, E. 2021. The distribution of paraquat and carbosulfan residues in Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 648 (2021) 012114.
- Ardiwinata, AN, Sulaeman, E, Priyatna, N., Harsanti, E.S., dan Wahyuni, S. 2015. Urea Berlapis Arang Aktif. Uraian Paten. Nomor Paten IDP000038786
- Ariani, R. dan U. Haryati. 2019. Sistem *Alley Cropping*: Analisis SWOT dan Strategi Implementasinya di Lahan Kering DAS Hulu. *Jurnal Sumber daya Lahan* 12(1): 13-31.
- Arif, N., Yadav, V., Singh, S., Singh, S., Ahmad, P., Mishra, R. K., Sharma, S., Tripathi, D. K., Dubey, N. K., dan Chauhan, D. K. (2016). Influence of high and low levels of plant-beneficial heavy metal ions on plant growth and development. *Frontiers in Environmental Science*, 4(NOV). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00069>
- Ariningsih, E., Rachman, B., Sudaryanto, T., Ariani, M., Septanti, K. S., dan Adawiyah, C. R. 2021. Strategies for sustainable corn production: a case of South Lampung District, Lampung Province, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 892 (1): 1-7
- Ariyanti, S., dan Raharjo, B. B. 2012. Hubungan jarak sumur dari sungai tercemar limbah tapioka dengan kadar sianida. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(2), 144–150.
- Arora S, Sahni D. 2016. “Pesticides effect on soil microbial ecology and enzyme activity: A review”. *J. Appl. Nat. Sci.* 8:1126–1132.
- Aryanti, E. dan Hera, N. 2019. Sifat kimia tanah area pasca tambang emas: (Studi Kasus Pertambangan Emas Tanpa Izin di Kenegerian Kari Kecamatan Kuantan Tengah, Kabupaten Kuantan Singingi). *Jurnal Agroteknologi*, 9(2) : 21.
- Asmarhansyah, Badayos, R.B., Sanchez, P.B., Sta Cruz, P.C. and Florece, L.M. 2017. Land suitability evaluation of abandoned tin-mining areas for agricultural development in Bangka Island, Indonesia. *J. Degrade. Min. Land Manage.* 4(4): 907-918.

- Astuti, A. D. 2014. Irrigation water quality parameters based on DHL, TDS, pH in paddy fields of Bulumanis Kidul Village Margoyoso Subdistrict. *Jurnal Litbang*, X(1), 35–42.
- Atafar, Z., Mesdaghinia, A., Nouri, J., Homae, M., Yunesian, M., Ahmadimoghaddam, M., dan Mahvi, A. H. (2010). Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1–4), 83–89. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0659-x>
- Atagan, H.I, R. Hayne, and F. Wallis, “Optimization of soil physical and chemical conditions for the bioremediation of creosote-contaminated soil,” *Biodegradation*, vol. 14, no. 4, pp. 297–307, 2003.
- Atagan, H.I. R. Hayne, and F. Wallis, “Optimization of soil physical and chemical conditions for the bioremediation of creosote-contaminated soil,” *Biodegradation*, vol. 14, no. 4, pp. 297–307, 2003.
- Atandi, J.G.; Haukeland, S.; Kariuki, G.M.; Coyne, D.L.; Karanja, E.N.; Musyoka, M.W.; Fiaboe, K.K.; Bautze, D.; Adamtey, N. Organic farming provides improved management of plant parasitic nematodes in maize and bean cropping systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2017, 247, 265–272. [CrossRef]
- Baćmaga, M., Wyszowska, J., dan Kucharski, J. (2016). The effect of the Falcon 460 EC fungicide on soil microbial communities, enzyme activities and plant growth. *Ecotoxicology*, 25(8), 1575–1587. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1713-z>
- Badan Standardisasi Nasional. 2009. SNI 7387:2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan’, *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*, p. 17.
- Baenanda, L. 2019. Sejarah dan Perkembangan Revolusi Industri. *Binus University, January*, 1–7.
- Baja, S. (2005). The Use of remote sensing technology for agricultural development planning. South Celebes case study. Space Technology and Application Conference towards Competitive ASEAN. Badan Pengkajian dan Penerapan Technology, Jakarta, 5-6 August 2005.
- Bal ZG and DI Dent. 2006. Global assessment of land degradation and improvement: Pilot study in Kenya, Report 2006/01, ISRIC-World Soil Information, Wageningen, p. 42.
- Balai Penelitian Tanah. 2009. Analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.

- Balasubramanian, A. (2017). Soil Erosion- Causes and Effects Soil Erosion – Causes and Effects By Prof . A . Balasubramanian Centre for Advanced Studies in Earth Science , University of Mysore , Mysore. Centre for Advanced Studies in Earth Science, March, 7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26247.39841>
- Balingtan. 2015. Penelitian Delineasi Sebaran Residu Senyawa POPs dan Logam Berat di Lahan Pertanian di DAS Serayu, Jawa Tengah. Laporan Akhir Tahun 2015. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Balingtan. 2018. Delineasi Pencemaran Residu Bahan Agrokimia Pada Lahan Sawah Dan Hortikultura Di Das Citarum. Laporan Akhir Tahun 2018. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Balitbangtan. 2011. Road Map Strategi Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Bariot Hafif. 2020. Soil Deterioration of Plantation Land and Strategies for Its Prevention and Handling. *Perspektif, Rev.Pen. Tan. Industri* Vol. 19 No. 2 /Des. 2020. Hlm 105-121 DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/psp.v19n2.2020.105-121>
- Bassouny, M.; Chen, J. Effect of long-term organic and mineral fertilizer on physical properties in root zone of a clayey Ultisol. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2016, 62, 819–828. [CrossRef]
- Battez, A. H., dan Rodríguez, E. 2022. Removal of heavy metals and hydrocarbons by microalgae from wastewater in the steel industry. 64 (April).
- Berendsen, R.L.; Pieterse, C.M.; Bakker, P.A. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends Plant Sci.* 2012, 17, 478–486. [CrossRef]
- Bernhard, A., 2010. The Nitrogen Cycle: Processes, Players and Human Impact. *Nature Education Knowledge*, 2(2):12.
- Bird, AMM, G. Kay dan B. Muirhead. 2016. Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar, and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *Science of the Total Environment*, 550:459- 470.
- Blake L (2005) Acid rain and soil acidification. In: Hillel D *et al* (eds) *Encyclopedia of soils in the environment*. Academic, New York, pp 1–11
- Blum, J., Melfi, A. J., Montes, C. R., Gomes, T. M., 2013. Nitrogen and phosphorous leaching in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and sewage effluent. *Agric. Water Manage.* 117, 115–122.

- Bolan NS, Curtin D, Adriano DC (2005) Acidity. In: Hillel, D (ed.) encyclopedia of soils in the environment. Elsevier pp 11–17
- Borrow, C.J. 1991. Land Degradation: Development and Breakdown of the Terrestrial Environments. Cambridge University Press. USA
- Bouchez, T., D. Patureau, P. Dabert *et al.*, “Ecological study of a bioaugmentation failure,” *Environmental Microbiology*, vol. 2, no. 2, pp. 179–190, 2000.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2003. Statistik Indonesia 2002. BPS Jakarta
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2021. Statistik Indonesia 2020. BPS Jakarta
- Brassard, P., Godbout, S., Lévesque, V., Palacios, J.H., Raghavan, V., Ahmed, A., Hogue, R., Jeanne, T. and Verma, M. 2019. Biochar for soil amendment. *Char and Carbon Materials Derived from Biomass*, 109-146.
- BRIN. 2021 <https://www.brin.go.id/brin-lakukan-analisis-wilayah-terdampak-letusan-semeru-dengan-data-citra-satelit/> diunduh tanggal 10 Juni 2022
- Brito, A.S., Libardi, P.L., Ghiberto, P.J., 2009. Water flux density, actual evapotranspiration and water storage in two sugar-cane cropped soils. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 30, 295–303.
- Broda, P. 1992. Using microorganisms for bioremediation - the barriers to implementation. *Trends in Biotechnology*, vol. 10, no. 9, pp. 303-304, 1992.
- Budi Heri Pirngadi. 2004. Pengendalian Kerusakan Lahan, Hutan Dan Air. *INFOMATEK Volume 6 Nomor 1 Maret 2004*.
- Bui, E. N. (2017). Causes of soil salinization, sodification, and alkalinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*.
- Cannell, R.; Hawes, J. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Field Crops Res.* 1994, 30, 245–282. [CrossRef]
- Celik, A.; Altikat, S.; Way, T. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil Tillage Res.* 2013, 131, 20–27. [CrossRef]
- Chalise, D., Kumar, L., dan Kristiansen, P. (2019). Land degradation by soil erosion in Nepal: A review. *Soil Systems*, 3(1), 12.
- Chandini, Kumar, R., Kumar, R., dan Prakash, O. (2019). The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem Chapter - 5 The Impact of Chemical Fertilizers on Our Environment and Ecosystem. February.

- Chang, E.; Chung, R.; Wang, F. Effect of different types of organic fertilizers on the chemical properties and enzymatic activities of an Oxisol under intensive cultivation of vegetables for 4 years. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2008, 54, 587–599. [CrossRef]
- Chang, E.; Wang, C.; Chen, C.; Chung, R. Effects of long-term treatments of different organic fertilizers complemented with chemical N fertilizer on the chemical and biological properties of soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2014, 60, 499–511. [CrossRef]
- Chauhan, A and B. Mittu. 2015. Soil Health - An Issue of Concern for Environment and Agriculture. *J. Bioremediation dan Biodegradation.* 6: 286), 6:3 DOI: 10.4172/2155-6199.1000286
- Chaussod, R. La qualité biologique des sols: Des concepts aux applications. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 2002, 88, 61–68.
- Chen, M., Lu, W., Hou, Z., Zhang, Y., Jiang, X., dan Wu, J. (2017). Heavy metal pollution in soil associated with a large-scale cyanidation gold mining region in southeast of Jilin, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 3084-3096.
- Cheng CH, Lehmann J, Thies JE, Burton SD, Engelhard MH (2006) Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Org Geochem* 37(11):1477–1488
- Cheng, V.J., Bekhit, A.A., McConnell, M., Mros, S., Zhao, J., 2012. Effect of extraction solvent: waste fraction and grape variety on the antimicrobial and antioxidant activities of extracts from wine residue from cool climate. *Food Chem.* 134, 474–482.
- Chimwamurombe, P. M., dan Mataranyika, P. N. (2021). Factors influencing dryland agricultural productivity. *Journal of Arid Environments*, 189(June), 104489. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104489>
- Chou, Y.; Shen, F.; Chiang, S.; Chang, C. Functional diversity and dominant populations of bacteria in banana plantation soils as influenced by long-term organic and conventional farming. *Appl. Soil Ecol.* 2017, 110, 21–33. [CrossRef]
- Ciarkowska, K. “Assessment of heavy metal pollution risks and enzyme activity of meadow soils in urban area under tourism load: a case study from Zakopane (Poland),” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 14, pp. 13709– 13718, 2018.
- Dai, Z., Xiong, X., Zhu, H., Xu, H., Leng, P., Li, J., Tang, C., dan Xu, J. 2021. Association of biochar properties with changes in soil bacterial,

- fungal and fauna communities and nutrient cycling processes. *Biochar*, 3(3):239-254.
- Dailidiene, I. dan L. Davulienė. 2008. Salinity trend and variation in the Baltic sea near the Lithuanian coast and in the Curonian Lagoon in 1984-2005. *Journal of Marine System*, 74:20-29.
- Damalas, C.A, S.D. Koutroubas. 2016. "Farmers' exposure to pesticides: toxicity types and ways of prevention". *Toxics*. 4(1) E1. <https://doi.org/10.3390/toxics4010001>.
- Damalas, C.A. 2009. "Understanding benefits and risks of pesticide use". *Sci. Res. Essays*. 4(10): 945-949. <https://doi.org/10.5897/SRE>.
- Damarswasty, L., Widiarti, I. W., dan Yudono, A. R. A. (2022). Kajian Kerentanan Kualitas Air Bawah Tanah Terhadap Potensi Pencemaran Industri Kerajinan Logam di Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 4(1), 34-46.
- Dariah, A., dan Las, I. (2010). Ekosistem Lahan Kering Sebagai Pendukung Pembangunan Pertanian. Balai Besar Litbang Sumber daya Lahan Pertanian, 2007, 46–66. <http://new.litbang.pertanian.go.id/buku/membalik-kecenderungan-degrad/BAB-III-2.pdf>
- Debertin David L. 1986. *Agricultural Production Economics*. Macmillan Publishing Company. New York.
- Departemen Pertanian. (2006). Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 47/Permentan/ OT.140/10/2006 Tentang Pedoman Umum Budidaya Pertanian pada Lahan Pegunungan. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Derikvandy, A., Reza, H., Banaee, M., Sureda, A., Haghi, N., dan Reza, A. 2020. *Chemosphere genotoxicity and oxidative damage in zebra fish (Danio rerio) after exposure to effluent from ethyl alcohol industry*. 251.
- Dewata, Indang dan Yun Hendri Danhas. 2018. *Pencemaran Lingkungan*. Depok: Rajawali Pers. PT. Rajagrafindo Persada.
- Dewi, D. M., Hadisusanto, S., dan Sudjino. 2016. Pengaruh Limbah Cair Industri Tekstil di Sungai Citarum Majalaya, Bandung Terhadap Hasil Panen Padi (*Oryza sativa* L. cv Inpari 19). Skripsi. Fakultas Biologi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Dewi, T., Handayani, C.O., dan Sudin, A.F. 2017. Sebaran residu insektisida klordan, diazinon, dan klorpirifos di lahan sayuran Provinsi Sulawesi Selatan. Prosiding Workshop dan Seminar Internasional Inovasi Pestisida Ramah Lingkungan Mendukung Swasembada Pangan.

- Pati, 6-7 September 2017. Balai Besar Litbang Sumber daya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 139-144p
- Dewi, T., Marthono, E., Hanudin, E., dan Harini, R. 2021. Source identification and spatial distribution of heavy metal concentration in shallot fields in Brebes Regency, Central Java, Indonesia. *J. Applied and Environmental Soil Science* Vol 2021.
- Dharmayanthi Emilia, Zulkarnaini, Sujianto. 2018. Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Padi Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Lingkungan, Ekonomi dan Sosial Budaya di Desa Jatibaru Kecamatan Bunga Raya Kabupaten Siak. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 5(1): 34-39
- Dhokpande, S.R., and J. P. Kaware, "Biological methods for heavy metal removal- a review," *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 304–309, 2013.
- DiBiase, R. A., dan Whipple, K. X. (2011). The influence of erosion thresholds and runoff variability on the relationships among topography, climate, and erosion rate. *Journal of Geophysical*
- Dinas TPH. 2021. Master Plan Pengembangan Kawasan Pertanian Berbasis Korporasi Petani di Kalimantan Selatan. Dinas TPH dan Faperta ULM. Banjarbaru
- Direktorat Pupuk dan Pestisida. 2021. Sistem Informasi P.estisida. Direktorat PSP, Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Dirjen Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial, Kementerian Kehutanan 2011
- Djuwansah, M. 2013. Status natrium pada tanah tercemar limbah industri tekstil di rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 37(1), 25–34.
- Doran, J.W.; Zeiss, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Appl. Soil Ecol.* 2000, 15, 3–11. [CrossRef]
- Dotaniya, M.; Meena, V.; Basak, B.; Meena, R. Potassium uptake by crops as well as microorganisms. In *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*; Meena, V.S., Maurya, B.R., Verma, J.P., Meena, R.S., Eds.; Springer: New Delhi, India, 2016; pp. 267–280.
- Dua, Xingwu, Yun Xie, Tinghai Ou, Hongmei Lu. 2011. Effects of soil erosion on long-term soil productivity in the black soil region of northeastern China. *Catena* 87 (2011) 268–275. doi:10.1016/j.catena.2011.06.012

- Dunne, T. and Leopold, L.B. (1978) *Water in Environmental Planning*. Freeman, New York, 818 p.
- Efthimiou, N., Psomiadis, E., dan Panagos, P. (2020). Fire severity and soil erosion susceptibility mapping using multi-temporal Earth Observation data: The case of Mati fatal wildfire in Eastern Attica, Greece. *Catena*, 187(October 2019), 104320. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104320>
- Elaine Wheaton. Suren Kulshreshtha. 2017. Environmental Sustainability of Agriculture Stressed by Changing Extremes of Drought and Excess Moisture: A Conceptual Review. *Sustainability*. Sustainability 2017, 9, 970; doi:10.3390/su9060970
- El-Wakeil, N., Gaafar, N., Sallam, A., dan Volkmar, C. (2013). Side Effects of Insecticides on Natural Enemies and Possibility of Their Integration in Plant Protection Strategies. *Insecticides - Development of Safer and More Effective Technologies*, May 2014. <https://doi.org/10.5772/54199>
- Enrico. 2019. Dampak limbah cair industri tekstil terhadap lingkungan dan aplikasi tehnik Eco Printing sebagai usaha mengurangi limbah. *Moda*, 1(1), 5–13.
- Ervandi, D., Rachman, A dan Agus, F. 2019. Rehabilitasi lahan bekas tambang timah untuk pertanian *dalam* Petunjuk Teknis Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang untuk Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Fageria, N. Green manuring in crop production. *J. Plant Nutr.* 2007, 30, 691–719.
- Fakultas Pertanian Univ.Jember. 2020. Pemanfaatan Burung Hantu (*Tyto alba*) Sebagai Predator Alami Tikus Sawah (*Rattus argentiventer*). Proteksi Tanaman Faperta Jember. Jember
- FAO, 1998. Terminology for Integrated Resources Planning and Management. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. [http://refhub.elsevier.com/S0012-8252\(21\)00190-2/rf0590](http://refhub.elsevier.com/S0012-8252(21)00190-2/rf0590)
- FAO. (2019). Soil erosion. In *Australian Surveyor* (Vol. 8, Issue 5). <https://doi.org/10.1080/00050326.1941.10437468>
- FAO. 1994. Land degradation in South Asia, its severity, causes, and effects upon the people. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAO. 2019. Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.p. 100.

- Retrieved from http://www.iamb.it/uploads/attachments/794/web_Sustainable_land_management_and_land_restoration.pdf
- Farraji, H., N. Q. Zaman, R. Tajuddin, and H. Faraji, “Advantages and disadvantages of phytoremediation: a concise review,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 2, pp. 69–75, 2016.
- Fath, B. D., dan Jorgensen, S. E. (2020). Managing Soils and Terrestrial Systems. In *Managing Soils and Terrestrial Systems*. <https://doi.org/10.1201/9780429346255>
- Fauci, M.F.; Dick, R.P. Plant response to organic amendments and decreasing inorganic nitrogen rates in soils from long-term experiment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1994, 58, 134–138. [CrossRef]
- Fernandes, V.C.; Domingues, V.F.; de Freitas, V.; Delerue-Matos, C.; Mateus, N. Strawberries from integrated pest management and organic farming: Phenolic composition and antioxidant properties. *Food Chem.* 2012, 134, 1926–1931. [CrossRef]
- Fernandez-Salvador, J.; Strik, B. Liquid corn and fish fertilizers are good options for fertigation in blackberry cultivars grown in an organic production system. *Hortic. Sci.* 2015, 50, 225–233. [CrossRef]
- Fitrianah, L. and Purnama, A.R., 2019. Sebaran Timbal pada Tanah di Areal Persawahan Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Research and Technology*, 5(2), pp.106-116.
- Follet, R.H., Murphy, Donahue, R.L. (1981). *Fertilizer and Soil Amendments*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Friedlova, M. (2010). The influence of heavy metals on soil biological and chemical properties. *Soil and Water Research*, 5(1), 21–27. <https://doi.org/10.17221/11/2009-swr>
- Fu, Y, Luo, Y, Auwal, M, Singh, BP, Zwieten, LV, Xu, J. 2022. Biochar accelerates soil organic carbon mineralization via rhizodeposit-activated Actinobacteria. *Biology and Fertility of Soils*. <https://doi.org/10.1007/s00374-022-01643-y>
- Gani, A., Rosdiana, R. and Ndibale, W., 2021. Analisis Kualitas Air Pasca Tambang Emas di Desa Wumbubangka, Kecamatan Rarowatu, Kabupaten Bombana. *Jurnal TELUK: Teknik Lingkungan UM Kendari*. 1(2), pp.1-4.
- Ganie, S.A., Molla, K.A., Henry, R.J., Bhat, K.V. dan Mondal, T.K., 2019. Advances in understanding salt tolerance in rice. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(4), pp.851-870.

- Gaskell, M.; Smith, R. Nitrogen sources for organic vegetable crops. *Hort Technology* 2007, 17, 431–441. [CrossRef]
- Gathala, M.K.; Timsina, J.; Islam, M.S.; Rahman, M.M.; Hossain, M.I.; Harun-Ar-Rashid, M.; Ghosh, A.K.; Krupnik, T.J.; Tiwari, T.P.; McDonald, A. Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain farmers' yields and increase profits in South Asia's rice–maize systems: Evidence from Bangladesh. *Field Crops Res.* 2015, 172, 85–98. [CrossRef]
- Gemilang, W.A. dan Kusumah, G. 2016. Gejala intrusi air laut di daerah pesisir Padelegan, Pademawu dan sekitarnya. *Jurnal Kelautan* 9 (2): 99-106p.
- Gerhardt, K. E., Gerwing, P. D., dan Greenberg, B. M. 2017. Opinion: Taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. *J. Plant Science.* 256: 170-185.
- Ghiberto, P.J., Moraes, S.O., 2011. Comparison of methods for hydraulic conductivity determination in a Typic Hapludox. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 35, 1177–1188
- Gittinger J. Price. 1986. *Analisa Ekonomi Proyek-Proyek Pertanian: Edisi Kedua, Telah Direvisi dan diperluas Lengkap.* UI-Press-John Hopkins.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. *Biol. Fertil. Soils* 35:219-230.
- Gong, W.; Yan, X.; Wang, J.; Hu, T.; Gong, Y. Long-term application of chemical and organic fertilizers on plant-available nitrogen pools and nitrogen management index. *Biol. Fertil. Soils* 2011, 47, 767–775. [CrossRef]
- Gozubuyuk, Z.; Sahin, U.; Ozturk, I.; Celik, A.; Adiguzel, M.C. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *CATENA* 2014, 118, 195–205. [CrossRef]
- Guzali, G., Adiwirman, A., dan Wawan. 2016. Penggunaan biochar berbahan baku tempurung kelapa dan pelepah sawit pada pembibitan utama kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di medium gambut. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 5(2):55-61.
- Gyamfi, E., Appiah-Adjei, E. K., dan Adjei, K. A. (2019). Potential heavy metal pollution of soil and water resources from artisanal mining in

- Kokoteasua, Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 450-456.
- Hadini, L. O., Sartohadi, J., Setiawan, M. A., Mardiatno, D., dan Christanto, N. (2021). Geosfera Indonesia Sediment Flow Characteristics in The Upper Slope of Volcanic. 6(3), 241–259.
- Hafif, B., 2021. Kerusakan Tanah Pada Lahan Perkebunan Dan Strategi Pencegahan Serta Penanggulangannya/Soil Deterioration of Plantation Land and Strategies for Its Prevention and Handling. *Perspektif*, 19(2), pp.105-121.
- Hakim, T. F. P., Widodo, P., dan Sudiana, E. (2015). Variasi Morfologi Bambu Tali [*Gigantochloa apus* (Schult. F.) Kurz.] pada Berbagai Ketinggian Tempat di Sub Daerah Aliran Sungai Pelus. *Biosfera*, 32(1), 42–50.
- Hale S. E., V. Alling, V. Martinsen, J. Mulder, G.D. Breedveld, and G. Cornelissen. 2013. The Sorption and Desorption of PHospHate-P, Ammonium-N and Nitrate-N in Cacao Shell and Corn Cob Biochars. *Chemosphere* 91 (2013) 1612–1619.
- Hamzah, A. and Hapsari, R.I., 2017. Prosiding Remediasi Lahan Pertanian Yang Tercemar Logam Berat Untuk Menghasilkan Produk Pangan Yang Sehat.
- Handa, I.T.; Aerts, R.; Berendse, F.; Berg, M.P.; Bruder, A.; Butenschoen, O.; Chauvet, E.; Gessner, M.O.; Jabiol, J.; Makkonen, M. Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes. *Nature* 2014, 509, 218–221. [CrossRef] [PubMed]
- Handayani, C.O., Sukarjo, dan Dewi, T. 2022. Penilaian tingkat cemaran logam berat pada lahan pertanian di hulu Sungai Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan Vol 20 Issue 3*: 508-516p.
- Handayani, C.O., Sukarjo, S. and Dewi, T., 2022. Penilaian Tingkat Cemaran Logam Berat Pada Lahan Pertanian di Hulu Sungai Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), pp.508-516.
- Hanudin, E., Iskyati, W. and Yuwono, N.W. 2021. Improving Nutritional Value of Cow Manure with Biomass Ash and Its Response to the Growth and K-Ca Absorption of Mustard on Inceptisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 752(1):012015.
- Hao L, Sun G, Liu YQ, Gao ZQ, He JJ, Shi TT, Wu BJ. 2014. Effects of precipitation on grassland ecosystem restoration under grazing exclusion in Inner Mongolia, China. *Landscape Ecology* 29: 1657-1673. DOI: 10.1007/s10980-014-0092-1

- Hardjowigeno, S. 2003. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Harris, J. Soil microbial communities and restoration ecology: Facilitators or followers? *Science* 2009, 325, 573–574. [CrossRef]
- Hendri, J. dan Saidi, B.B., 2020, November. Pengaruh Ameliorasi Lahan yang Terkena Intrusi Air Laut terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal* (No. 1, pp. 605-615).
- Henrianto, A., Okalia, D. dan Mashadi, M. 2019. Uji beberapa sifat fsika tanah bekas tambang emas tanpa izin (PETI) di Tiga Kecamatan di daratan Sepanjang Sungai Kuantan. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 1(1) : 19–31.
- Herdyansah, A dan Rahmawati, D. 2017, Dampak intrusi air laut pada kawasan pesisir Surabaya Timu. *Jurnal Teknik ITS* 6 (2), 2337-3520.
- Herlambang, S., A.Z. Purwono., H.T. Sutiono., Y.M. Putra., dan S. Rina N. 2018. Penerapan Biochar Tempurung Kelapa dan Bahan Limbah Organik Untuk Memperbaiki Tanah Inceptisol Potorono Yogyakarta. *Seminar Nasional UPNV Yogyakarta*
- Herman, W. dan Prameswari, W. 2019. Ketersediaan hara posfor dengan penambahan biochar pada entisol pesisir pantai. *Jurnal Embrio*, 11(02):45-50.
- Hermawan, I. 2013. “Analisis perdagangan beras dan ketahanan pangan di negara-negara Asia Tenggara”. *Politica*. 4(2): 157-195.
- Hidayat, R.S. 2000. Pengamatan habitat daun dewa [*Gynura Procumbens* (Lour.) Merr]. *Warta Tumbuhan Obat Indonesia*.
- Hindersah R., Risamasu R, Kalay A. M., Dewi T. dan Makatita I. 2018. Mercury contamination in soil, tailing and plants on agricultural fields near closed gold mine in Buru Island, Maluku. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 5(2) : 1027–1034.
- Hindersah, R. Kalay, A.M., Risamasu, R. and Dewi, T. 2020. Arsenic in gold mine tailing and agricultural soil in Buru Island of Maluku. *Soilrens*, 18(1) : 10-15.
- <http://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/tabid/673/Default.aspx> diunduh Mei 2022
- Hua, L., Wu, W., Liu, Y., McBride, M.B. and Chen, Y. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. *Environmental Science and Pollution Research* 16:1–9.

- Huang, Y., Sun, W.J., Zhang, W., dan Yu, Y.Q. 2010. Changes in soil organic carbon of terrestrial ecosystems in China: a mini review. *Sci. China Life Sci.*, 53: 766- 775.
- Iai S, Ichii K. 2010. Soils and foundations during earthquakes. *Soils Found.* 50(6):937–953. doi:10.3208/sandf.50.937.
- IBI. 2015. IBI Biochar Standards Version 2.1. <<http://www.biocharinternational.org/characterizationstandard>>. Diakses 23 Maret 2022.
- Idrus, A. dan Rahmah, Y.P. 2021. Sosialisasi pengendalian kerusakan lahan akibat pertambangan rakyat di Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal ABDI.* 7(1), 12-17
- Indratin I, Budihardjo MA, Helmi M. 2020. Distribution of parathion insecticide residue in shallot agriculture land in wanasari sub-district, Brebes regency. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020*, Palembang 20 Oktober 2020. pp. 506-514. Palembang: Penerbit dan Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).
- Indratin, Poniman, dan Sukarjo. 2017. Sebaran residu DDT di lahan pertanian Kabupaten Wonosobo. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Pertanian VII 2017*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Indratin, Wahyuni, S., and Sutriadi, M.T. 2021. Identification of organochlorine insecticide contamination on shallot land in Nganjuk Regency, East Java Province, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 648 (2021) 012114.
- Iovieno, P.; Morra, L.; Leone, A.; Pagano, L.; Alfani, A. Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biol. Fertil. Soils* 2009, 45, 555–561. [CrossRef]
- IPBES, 2018. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – The Assessment Report on Land Degradation and Restoration. IPBES secretariat, Bonn, Germany. [http://refhub.elsevier.com/S0012-8252\(21\)00190-2/rf0905](http://refhub.elsevier.com/S0012-8252(21)00190-2/rf0905)
- Irzon, R. 2021. Penambangan Timah di Indonesia: Sejarah, Masa Kini, dan Prospekti. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3), 179-189.
- Iskandar, T. dan Rofiatin, U. 2017. Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pyrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1):28-35.

- Jabro, J.D.; Stevens, W.B.; Evans, R.G.; Iversen, W.M. Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains. *Appl. Eng. Agric.* 2009, 25, 377–382. [CrossRef]
- Jamison Dean T., and L.J. Lau. 1982. *Farmer Education and Farm Efficiency*. The John Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Jana, I.W, I.G. Sudarmanto, N.K. Rusminingsih. 2014. “Pengaruh aktivitas pertanian terhadap kualitas air irigasi di Subak Tegalampit Payangan Gianyar”. *Jurnal Skala Husada*. 11(1): 34-40.
- Jat, M.L.; Gathala, M.K.; Saharawat, Y.S.; Tatarwal, J.P.; Gupta, R. Double no-till and permanent raised beds in maize–wheat rotation of North-Western Indo-Gangetic Plains of India: Effects on crop yields, water productivity, profitability and soil physical properties. *Field Crops Res.* 2013, 149, 291–299. [CrossRef]
- Jeshika. (2019). Perkembangan industri nasional menuju industri. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 8(1), 1766–1775.
- Jindo. K, H. Mizumoto. , Y. Sawada , M. A. Sanchez-Monedero , and T. Sonoki.2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11, 6613–6621, 2014
- Juneri R. dan Mubarok A. 2019. Peran pemerintah Kabupaten Dharmasraya dalam memperbaiki kerusakan lahan bekas tambang. *Jurnal Perspektif : Jurnal Kajian Sosiologi dan Pendidikan*. 2 (3) : 140-148.
- Kadariah.2001. *Evaluasi Proyek Analisis Ekonomi*.Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. Jakarta.
- Kairis, O., Karavitis, C., Salvati, L., Kounalaki, A., dan Kosmas, K. (2015). Exploring the Impact of Overgrazing on Soil Erosion and Land Degradation in a Dry Mediterranean Agro-Forest Landscape (Crete, Greece). *Arid Land Research and Management*, 29(3), 360–374. <https://doi.org/10.1080/15324982.2014.968691>
- Kaiser, M.S. 2021. Land Degradation: Causes, Impacts, and Interlinks with the Sustainable Development Goals. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds) *Responsible Consumption and Production*. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71062-4_48-1

- Karlen, D.; Mausbach, M.; Doan, J.; Cline, R.; Harris, R.; Schuman, G. Soil quality: A concept definition and framework or evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1997, 61, 4–10. [CrossRef]
- Karolinoerita, V dan Yusuf, W.A. 2020. Salinisasi lahan dan permasalahannya di Indonesia. *Jurnal Sumber daya Lahan* 14 (2): 91-99p.
- Kay, 2016, William M Edward, Patricia A. Duffy, *Farm Management*, McGraw Hill Education, USA.
- Kemenperin. (2020). *Laporan Informasi Industri Tahun 2020. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.*
- Kementan. 2020. Outlook Jagung. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Kementan. 2021. Analisis Kinerja Perdagangan Jagung. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral. 2020. Booklet : Peluang investasi emas-perak Indonesia.
- Kementerian ESDM. 2015. Renstra Kementerian ESDM 2015-2019. Kementerian ESDM, Jakarta.
- Khan, M. N., dan Mohammad, F. (2015). Eutrophication: Challenges and solutions. *Judicature*, 99(2), 3. <https://doi.org/10.13140/2.1.3673.8884>
- Khmelevtsova, L. E., Sazykin, I. S., Azhogina, T. N., dan Sazykina, M. A. (2022). Influence of Agricultural Practices on Bacterial Community of Cultivated Soils. *Agriculture (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture12030371>
- Kindu M, Schneider T, Teketay D, Knoke T: Changes of ecosystem service values in response to land use/land cover dynamics in Munessa-Shashemene landscape of the Ethiopian highlands. *Sci Total Environ* 2016, 547:137–147
- Kitamura, R., Sugiyama, C., Yasuda, K., Nagatake, A., Yuan, Y., Du, J., Yamaki, N., Taira, K., Kawai, M., dan Hatano, R. (2021). Effects of Three Types of Organic Fertilizers on Greenhouse Gas Emissions in a Grassland on Andosol in Southern Hokkaido, Japan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.649613>
- KLH. 2004. Strategi Nasional dan Rencana Aksi Pengelolaan Lahan Basah Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- KLHK, (2021). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2020. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jenderal Pengendalian

- Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi
- Komarawidjaja, W. (2017). Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di Desa Jelegong, Kecamatan Rancaekek, Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 173.
- Komarawidjaja, W. 2017. “Paparan limbah cair industri mengandung logam berat pada lahan sawah di desa Jelegong, kecamatan Rancaekek, kabupaten Bandung”. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 18(2): 173-181.
- Komarayati, S., dan Pari, G. 2014. Kombinasi pemberian arang hayati dan cuka kayu terhadap pertumbuhan jabon dan sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(1):12-20.
- Kordi, K.M.G.H. dan A.B. Tancung. 2010. *Pengelolaan Kualitas Air*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Krisnohadi, A., 2017. Evaluasi Lahan Pertanian Untuk Pencegahan Degradasi Dan Kekritisan Lahan Kota Singkawang. *Jurnal Pedon Tropika* 1(3), pp.57-68.
- Kumar, R., Kranthi, S., Nitharwal, M., Jat, S. L., dan Monga, D. (2012). Influence of pesticides and application methods on pest and predatory arthropods associated with cotton. *Phytoparasitica*, 40(5), 417–424. <https://doi.org/10.1007/s12600-012-0241-5>
- Kurnia, U. dan Sutrisno, N. 2008. Strategi pengelolaan lingkungan pertanian. *Jurnal Sumber daya Lahan* 2(1): 59-74.
- Kurniawan, M. W., Purwanto, P. dan Sudarno, S. 2014. Strategi pengelolaan air limbah sentra UMKM batik yang berkelanjutan di Kabupaten Sukoharjo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 11(2), 62.
- Kusumoarto, A. and Hidayat, R., 2019. Pemantauan Dan Pengendalian Kerusakan Lahan Untuk Produksi Biomassa Di Kawasan Kabupaten Kuningan Jawa Barat. *Lakar: Jurnal Arsitektur*, 1(1), pp.1-20.
- Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., dan Bernoux, M. 2015. Soil erosion in the humid tropics: a systematic quantitative review. *Agriculture, Ecosystems dan Environment*, 203(May), pp.127–39.
- Lal, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability* 2015, 7, 5875–5895. [CrossRef]
- Las, I., K. Subagyono, A.P. Setiyanto. 2006. “Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian”. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 25(3): 173-193.

- Las, I., K. Subagyono, dan A.P Setiyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. *J. Litbang Pertanian* 25(3):106–115.
- Las, I., K. Subagyono, dan A.P Setiyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. *J. Litbang Pertanian* 25(3):106–115.
- Lasat, M. 1999. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–25, 1999.
- Lehmann, J. 2007. A Handful of Carbon. *Nature*. Vol.447 (7141), pp143-144
- Lehmann, J. dan S. Joseph. 2015. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Publisher Routledge.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient Availability and Leaching in Archaeological Anthrosol and Ferrasol of The Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure, and Charcoal Amendments. Cornell University. New York.
- Leskovar, D.; Othman, Y. Organic and conventional farming differentially influenced soil respiration, physiology, growth, and head quality of artichoke cultivars. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 2018, 18, 865–880. [CrossRef]
- Leskovar, D.; Othman, Y.; Dong, X. Strip tillage improves soil biological activity, fruit yield and sugar content of triploid watermelon. *Soil Tillage Res.* 2016, 163, 266–273. [CrossRef]
- Lewis, J.D., McKane, R.B., Tingey, D.T., and Beedlow, P.A (2000). Vertical gradients in photosynthetic light response within an old-growth Douglas-fir and western hemlock canopy. *Jurnal Tree Physiology* Heron Publishing—Victoria, Canada, 20
- Li A, Wu JG, Huang JH. 2012a. Distinguishing between human-induced and climate-driven vegetation changes: a critical application of RESTREND In Inner Mongolia. *Landscape Ecology* 27: 969-982. DOI: 10.1007/s10980-012-9751-2
- Li SY, Verburg PH, Lv SH, Wu JL, Li XB. 2012b. Spatial analysis of the driving factors of grassland degradation under conditions of climate change and intensive use in Inner Mongolia, China. *Regional Environmental Change* 12: 461-474. DOI: 10.1007/s10113-011-0264-3

- Liang, B., J. Lehmann., D. Solomon., J. Kinyangi., J. Grossman., B.O'Neill., J. O. Skjemstad., J. Thies., F. J. Luizao., J. Petersen., and E. G. Neves. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci Soc Am J.* 70: 1719- 1730
- Liang, X., Ning, X. an, Chen, G., Lin, M., Liu, J., dan Wang, Y. 2013. Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 128–134.
- Luo, L. Ma, Y., Zhang, S., Wei, D., and Zhu, Y-G. . 2009. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management* 90: 2524-2530.
- M. Lasat, “Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues,” *Journal of Hazardous Substance Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–25, 1999.
- M. Vhahangwele and L. M. Khathutshelo, “Environmental contamination by heavy metals,” in *Heavy Metals*, H. Saleh and R. F. E. S. Aglan, Eds., Intech Open, 2018.
- M. Vidali, “Bioremediation. An overview,” *Pure and Applied Chemistry*, vol. 73, no. 7, pp. 1163–1172, 2001.
- Macil, P.J., Ogola, J.B. and Odhiambo, J.J. 2020. Response of soil pH and nodulation of three chickpea genotypes to biochar and Rhizobium inoculation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(18):2377-2387.
- MacIvor, J. S., Ranalli, M. A., dan Lundholm, J. T. (2011). Performance of dryland and wetland plant species on extensive green roofs. *Annals of Botany*, 107(4), 671–679. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr007>
- Mäder, P.; Fließbach, A.; Dubois, D.; Gunst, L.; Fried, P.; Niggli, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 2002, 296, 1694–1697. [CrossRef]
- Maftuah, E., dan Nursyamsyi, D., 2015. Potensi Berbagai bahan Organik Rawa Sebagai Sumber Biochar. *Jurnal Biodiv*, 1(4):776-781.
- Mahmood, I, S.R. Imadi, K. Shazadi, A. Gul, K.R. Hakeem. 2016. “Effects of pesticides on environment”, in: Hakeem, K.R., Akhtar, M.S., Abdullah, S.N.K. (Eds), *Plant, Soil and Microbes*. Springer, Cham. Hal 254-269. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13.
- Mailendra, M. dan Buchori, I. 2019. Kerusakan lahan akibat kegiatan kenambangan emas tanpa izin di sekitar Sungai Singingi Kabupaten

- Kuantan Singingi. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 15(3) : 174–188.
- Majalah Gatra, 2019. Rusaknya Lahan Pertanian Ancam Ketahanan Pangan. <https://www.gatra.com/news-444808-ekonomi-pengamat-rusaknya-lahan-pertanian-ancam-ketahanan-pangan.html> 16 September 2019.
- Maksymiv, I. (2015). Pesticides: Benefits and Hazards. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, 2(1), 70–76. <https://doi.org/10.15330/jpnu.2.1.70-76>
- Manullang D. W. S., Gusmini, Rezki D. 2021. Karakteristik Sifat Kimia Tanah Dan Kandungan Merkuri Pada Lahan Bekas Tambang Emas Dan Lahan Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) Characteristics of Soil Chemical and Mercury (Hg) Content of Former Gold Mine Land And Oil Palm (*Elaeis guinens*). *Jurnal Riset Perkebunan*. 2(1) : 1–10.
- Mariyanto, M., Amir, M. F., Utama, W., Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R., dan Sudarningsih, S. (2019). Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 675, 632–641.
- Markandeya, Mohan, D., dan Prasad, S. (2022). Hazardous consequences of textile mill effluents on soil and their remediation approaches. *Cleaner Engineering and Technology*, 7(October 2021).
- Markham, K.H., 1988. Cara Mengidentifikasi Flavonoid. (Edisi 2). Penerjemah: K. Padmaewinata dan I. Soediro. Bandung: Penerbit ITB.
- Marsuyetno. 2013. Analisis implementasi kebijakan pengelolaan lingkungan hidup di Sumatera Utara (Studi pada Badan Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Utara). *Jurnal Administrasi Publik (JAP)* Vol. 1 No.2, Desember 2013.
- Marwanto, S., Rachman, A., Erfandi, D., dan Subiksa, I.G.M. 2009. Tingkat salinitas tanah pada lahan sawah intensif di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Inovasi Sumber daya Lahan, Bogor 24-25 Nopember 2009 Buku II: Teknologi Konservasi, Pemupukan, dan Biologi Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber daya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.

- Masganti, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, dan R. Yusuf. 2014. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumber daya Lahan* 8(1): 59-66.
- Massah, J., dan Azadegan, B. (2016). Effect of chemical fertilizers on soil compaction and degradation. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, 47(1), 44-50.
- Mastur, S., Suswati, D. and Hatta, M., 2017. The effect of ameliorants on improvement of soil fertility in post gold mining land at West Kalimantan. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 4(4), p.873.
- Matoh, T.; Saraswati, R.; Phupaibul, P.; Sekiya, J. Growth characteristics of *Sesbania* species under adverse edaphic conditions in relation to use as green manure in Japan. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 1992, 38, 741–747. [CrossRef]
- Mazida, I. K., dan Widodo, B. S. (2020). Strategi Penghidupan Petani Padi Dalam Memanfaatkan Air Limbah Tapioka Untuk Irigasi Sawah Di Desa Pohijo Kecamatan Margoyoso Kabupaten Pati. Mulyani, S., Zahrah, S. dan Sulhaswardi, S. 2021. Analisis Kandungan Unsur Hara Dan Total Mikroba Tanah Bekas Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Dari Beberapa Kecamatan Kabupaten Kuantan Singingi. *Jurnal Agroteknologi*, 11(2) : 67.
- Medina-Bellver, J.I., P. Marín, A. Delgado *et al.*, “Evidence for *in situ* crude oil biodegradation after the Prestige oil spill,” *Environmental Microbiology*, vol. 7, no. 6, pp. 773– 779, 2005.
- Messiga, A. J., Dyck, K., Ronda, K., van Baar, K., Haak, D., Yu, S., dan Dorais, M. (2020). Nutrients leaching in response to long-term fertigation and broadcast nitrogen in blueberry production. *Plants*, 9(11), 1530.
- Michael Stocking dan Niamh Murnaghan. 2000. *Land Degradation – Guidelines For Field Assessment*. Overseas Development Group University of East Anglia Norwich, UK.
- Mieussens, L., dan Veron, F. (2017). A kinetic model for rain falling on water waves. 19(1990), 17620.
- Mikkelsen, R.; Hartz, T. Nitrogen sources for organic crop production. *Better Crops* 2008, 92, 16–19.
- Mindarti, W., Sassongko, P.E., Khasanah, U. dan Pujiono, P. 2018. Rasionalisasi peran biochar dan humat terhadap ciri fisik-kimia tanah. *Folium Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1):34-42.

- Minhas, P.S., Ramos, T.B., Ben-Gal, A. and Pereira, L.S., 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, 227, p.105832.
- Mishra, P. K., Rai, A., Abdelrahman, K., Rai, S. C., dan Tiwari, A. (2022). Land Degradation, Overland Flow, Soil Erosion, and Nutrient Loss in the Eastern Himalayas, India. *Land*, 11(2), 1–16. <https://doi.org/10.3390/land11020179>
- More, S.D. Soil quality indicators or sustainable crop productivity. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 2010, 58, 5–11.
- Morikawa, T., *et al.* (2004). "Nigellamines A3 A4 A5 and C, New Dollabelane Type Diterpene Alkaloids, With Lipid Metabolism Promoting Activities From Egyptian Medicinal Food Black Cummin". *Chem Pharm Bull*: 52(4); 494-497.
- Mudjiatko, Dharma Febiansyah, Trimaijo. 2017. Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Potensi Erosi Dan Sedimentasi Pada Das Merbau Dan Das Ukui Pada Danau Kayangan Kota Pekanbaru. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu 2017*. 317-326.
- Muliawan, N.R.E., J. Sampurno, dan M.I. Jumarang. 2016. Identifikasi nilai salinitas pada lahan pertanian di Daerah Jungkat berdasarkan metode daya hantar listrik (DHL). *Prisma Fisika*, 4(2): 69-72.
- Muliawan, N.R.E., Sampurno, J., dan Jumarang, M.I. 2016. Identifikasi nilai salinitas pada lahan pertanian di daerah Jungkat berdasarkan metode daya hantar listrik (DHL). *Prisma Fisika IV (02)*: 69-72p.
- Mullins, G.L.; Alley, S.E.; Reeves, D.W. Tropical maize response to nitrogen and starter fertilizer under strip and conventional tillage systems in southern Alabama. *Soil Tillage Res.* 1998, 45, 1–15. [CrossRef]
- Mulyani, A., Kuncoro, D., Nursyamsi, D., dan Fahmuddin, A. 2016. Analisis konversi lahan sawah: penggunaan data spasial resolusi tinggi memperlihatkan laju konversi yang mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 40(2): 121-133.
- Mustafizur Rahman GKM, M. Mizanur Rahman, M. Saiful Alam, M. Ziauddin Kamal, H. A. Mashuk, Rahul Datta, and Ram Swaroop Meena. *Biochar and Organic Amendments for Sustainable Soil Carbon and Soil Health. Carbon and Nitrogen Cycling in Soil*. 2020. ISBN 978-981-13-763-6. Springer

- Muzaidi, I., Anggarini, E. and Prayuga, H.M.R., 2018. Studi Kasus Permasalahan Sungai Teluk Dalam, Banjarmasin. *Media Teknik Sipil*, 16(2), pp.108-114.
- Nicholson Walter. 1983. *Intermediate Microeconomic: And its Application (third edition)*. The Dryden Press. Hinsdale. Illinois.
- Nicholson Walter. 1994. *Microeconomic Theory: Basic Principles and Extensions*. The Dryden Press. Hinsdale. Illinois.
- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., dan Hens, L. (2016). Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4(July), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00148>
- Nigussie, A., Kissi, E. and Misganaw, M. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian J. Agric. dan Environ. Sci.*, 12 (3): 369-376.
- Noerwahju, A. S., Meitiniarti, V. I., dan Kasmiyati, S. 2019. Dekolorisasi pewarna toska menggunakan koagulan ferro sulfat dan lumpur aktif dari pabrik tekstil di salatiga pada kondisi aerob. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 500.
- Noordwijk, V. dan Hairiah. (2006). Agricultural Intesification, Soil Biodiversity and Agro- ekosistem Function. *Agrivita* volume 28 No 3.
- Notohadiprawiro, T. 1999. Disampaikan pada Seminar Penyusunan Kriteria Kerusakan Tanah/Lahan, Asmendep I LH/Bapedal, Yogyakarta, 1-3 Juli 1999
- Nugroho, K. 2015. Penurunan permukaan lahan gambut. IPN Toolbox Tema C Subtema C6. www.cifor.org/ipn-toolbox.
- Nur AM. 2010. Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya*. 7(1). doi:10.15294/jg.v7i1.92.
- Nurcholis, M. *et al.* 2017. Heavy metals distribution in the Artisanal gold mining area in Wonogiri. *Indonesian Journal of Geography*. 49(2) : 133–144.
- Nurhayati. 2008. Tanggap Tanaman Kedelai di Tanah Gambut Terhadap Pemberian Beberapa Jenis Bahan Perbaikan Tanah. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Okur, B., dan Örcen, N. (2020). Soil salinization and climate change. In *Climate change and soil interactions* (pp. 331-350). Elsevier.

- Olaniran, A.O., A. Balgobind, and B. Pillay, "Bioavailability of heavy metals in soil: impact on microbial biodegradation of organic compounds and possible improvement strategies," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 14, no. 5, pp. 10197–10228, 2013.
- Olaniran, A, A. Balgobind, and B. Pillay, "Bioavailability of heavy metals in soil: impact on microbial biodegradation of organic compounds and possible improvement strategies," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 14, no. 5, pp. 10197–10228, 2013.
- Organic Production/Organic Food: Information Access Tools. USDA. Available online: <https://www.nal.usda.gov/afsic/organic-productionorganic-food-information-access-tools> (accessed on 8 June 2020).
- Othman, Y.; Leskovar, D. Organic soil amendments influence soil health, yield, and phytochemicals of globe artichoke heads. *Biol. Agric. Hortic.* 2018, 34, 258–267. [CrossRef]
- P. Audet, "Examining the ecological paradox of the 'mycorrhizal-metal-hyperaccumulators'," *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 59, no. 4, pp. 549–558, 2013.
- Paputri, D.M.W., Handayani, C.O., Sukarjo, Rianto, S., and Purnariyanto, F. 2021. Identification of cobalt in paddy field in Karawang and Bekasi Districts. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 648 (2021) 012114.
- Paranychianakis, N.V.; Chartzoulakis, K.S. Irrigation of Mediterranean crops with saline water: From physiology to management practices. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2005, 106, 171–187
- Parkash, V. and Singh, S., 2020. Potential of biochar application to mitigate salinity stress in eggplant. *HortScience*, 55(12), pp.1946-1955.
- Pasaribu, S.M., K. Suradisastra., B. Sayaka dan A. Dariah. 2010. BAB II: Pengendalian dan Pemulihan Degradasi Ekosistem Pertanian. Dalam *Membalik Kecenderungan Degradasi Sumber Daya Lahan dan Air*. Badan Litbang Pertanian, Jakarta. 404 halaman.
- Patty, J. O., Siahaan, R., dan Maabuat, P. V. 2018. Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara - Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa - North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, 8(1).

- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2000. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa. In: Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa. p. 14.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Pemerintah. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- Pérez-Lucas, G., Vela, N., El Aatik, A., dan Navarro, S. (2019). Environmental Risk of Groundwater Pollution by Pesticide Leaching through the Soil Profile. *Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment*, 1–27. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82418>
- Pertiwi, K.N., Herlambang, S. and Nurcholis, M. 2020. Kadar C organik setelah periode tanam padi ke dua dengan aplikasi biochar pada lahan bekas tambang batu bata di Potorono Yogyakarta. *Jurnal Tanah Dan Air*, 16(1):1-11.
- Piranti, A.S. 2019. Pengendalian Eutrofikasi Danau Rawapening. UNSOED Press, Purwokerto.
- Pohan, D. A. S., Budiyono, B., dan Syafrudin, S. (2017). Analisis Kualitas Air Sungai Guna Menentukan Peruntukan Ditinjau Dari Aspek Lingkungan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 63.
- Poniman dan Indratin. 2014. Residues of organochlorine and organophosphate in vegetables and soil from Magelang Regency, Central Java Province. *Jurnal Tanah dan iklim (Eds.Khusus)*: 21-26p
- Poniman P, Soeprbowati TR, Helmi M. 2020. Distributions residue of endosulfan and DDT in lands agricultural wanasari sub-district, Brebes regency. In: Herlinda S *et al.* (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020*, Palembang 20 Oktober 2020. pp. 779-789. Palembang: Penerbit dan Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).
- Poniman, Indratin, Sembiring F. 2017. Deteksi residu mancozeb dan propineb di sentra penghasil sayuran dataran tinggi Provinsi Sumatera Utara. *Prosiding Semninar Nasional Hasil-hasil Penelitian Pascasarjana*. Universitas Diponegoro, Semarang. 142-148p

- Pradnyawan, S.W.H., W. Mudyantini, dan Marsusi. 2005. Growth, nitrogen, chlorophyll, and carotenoid content of *Gynura procumbens* (Lour) Merr. leaves at different shade. *Biofarmasi* 3 (1)
- Pramudyanto, B., 2014. Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan di Wilayah Pesisir. *Jurnal Lingkar Widya Swara*, 1(4), pp.21-40.
- Prasetya, A., Utami, SNH., and Hanudin, E. 2021. Effects of shade and biochar application on the quercetin content of longevity spinach in inceptisol. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021:1-12.
- Purbalisa, W. Anik H., Sukarjo. 2018. Arsenic Quality Standard on an Inceptisol Soil of Grobogan with Rice Indicator Plant. *Jurnal Tanah dan Sumber daya Lahan Vol 5 No 1* : 621-627, e-ISSN:2549-9793.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2004. Teknologi konservasi tanah pada lahan kering berlereng. *Puslitbang Tanah dan Agroklimat*. Bogor.
- Puslitbangtanak, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. (2004). Teknologi konservasi tanah pada lahan kering berlereng. *Puslitbang Tanah dan Agroklimat*. Bogor.
- Putri, Vici Islami., Mukhlis., dan B. Hidayat. 2017. Application of Some Type Biochar for Repairing the Chemical Properties of Ultisol and the Growth of Corn Plants. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU Vol.5. No. 4, Oktober 2017 (107): 824- 828*
- Putu, S. (2015). Efektivitas Implementasi Kebijakan Pemerintah Daerah dalam Mengendalikan Alih Fungsi Lahan Sawah Subak: Studi Kasus di Kabupaten Badung, Bali. Universitas pendidikan ganesha dan universitas udayana.
- Qiu, M.; Zhang, R.; Xue, C.; Zhang, S.; Li, S.; Zhang, N.; Shen, Q. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil. *Biol. Fertil. Soils* 2012, 48, 807–816. [CrossRef]
- Quinteros, E., Ribó, A., Mejía, R., López, A., Belteton, W., Comandari, A., ... dan López, D. L. (2017). Heavy metals and pesticide exposure from agricultural activities and former agrochemical factory in a Salvadoran rural community. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1662-1676.
- R. A. W. RA and F. E. Okieimen, “Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation,” *International Scholarly Research Notices*, vol. 2011, Article ID 402647, 20 pages, 2011.

- Rabinowitz, P., dan Conti, L. (2013). Links among human health, animal health, and ecosystem health. *Annual Review of Public Health*, 34, 189–204. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-031912-114426>
- Rachman, A., Dariah, A., dan Sutono, S. 2018. Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi. IAARD Press. Jakarta.
- Rachman, A., I G.M. Subiksa, D. Erfandi, and P. Slavich. 2008. Dynamics of tsunami-affected soil properties. P 51–64. In F. Agus and G. Tinning (eds). Proc. of Internat. Workshop on Post Tsunami Soil Management.
- Rachmaningrum, M., Wardhani, E., dan Pharmawati, K. 2015. Konsentrasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Perairan Sungai Citarum Hulu Segmen Dayeuhkolot-Nanjung. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Februari*, 3(1), 1–11.
- Rahayu, R., Saidi, D. dan Herlambang, S. 2020. Pengaruh biochar tempurung kelapa dan pupuk kandang sapi terhadap sifat kimia tanah dan produksi tanaman sawi pada tanah pasir pantai. *Soil and Water Journal*, 16(2):69-78.
- Rahma Yulis, P. A. 2019. Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) Air Sungai Singingi Di Kabupaten Kuantan Singingi Riau. *Journal of Research and Education Chemistry*, 1(2), 30.
- Rani, L, K. Thapa, N. Kanojia, N. Sharma, S. Singh, A.S. Grewal, A.L. Srivastav, J. Kaushal. 2020. “An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment”. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>.
- Rasman, R., Hasmayani, H. (2019). Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kandungan Timbal (Pb) Pada Bawang Merah (*Allium Cepa*) Di Desa Pekalobean Kabupaten Enrekang. *Jurnal Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 18(1), 47-52.
- Rasmussen, L.D. S. J. Sørensen, R. R. Turner, and T. Barkay, “Application of a mer-lux biosensor for estimating bioavailable mercury in soil,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 32, no. 5, pp.639–646, 2000.
- Redha, A. Flavonoid: Struktur, Sifat Antioksidatif dan Peranannya dalam Sistem Biologis. *Jurnal Berlian Vol 9 (2)*:196-202.
- Remus Pravalie. 2021. Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103689>

- Rezki M., Zulkarnaini, Anita S. 2017. Kajian Dampak Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) terhadap Lingkungan Sungai Batang Kuantan Kecamatan Kuantan Mudik Kabupaten Kuantan Singingi Riau. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 11 (2) : 106 - 115.
- Riah, W, K. Laval, E. Laroche-Ajzenberg, C. Mouglin, X. Latour, I. Trinsoutrot-Gattin. 2014. "Effects of pesticides on soil enzymes: a review". *Environ. Chem. Lett.* 12: 257-273. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0458-2>.
- Riddick, E. W. (2022). Topical Collection: Natural Enemies and Biological Control of Plant Pests. 13–15.
- Ritung, S., Suryani, E., D. Subardja, Sukarman, Nugroho, K., Suparto, Hikmatullah, Mulyani, A., Tafakresnanto, C., Sulaeman, Y., Subandiono, R. E., Wahyunto, Ponidi, Prasodjo, N., Suryana, U., Hidayat, H., Priyono, A., dan Supriatna, W. (2015). Sumber Daya Lahan Pertanian Indonesia.
- Riza, I. A. I. Rumanti, dan M. Alwi. (2014). Degradasi lahan dan isu lingkungan. Repositori Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Rochman, A., Maryanto, J. dan Herliana, O. 2021. Serapan nitrogen dan fosfor serta hasil kedelai edamame (*Glycinee max (L.) Merrill*) pada tanah alfisol akibat aplikasi biochar dan vermikompos. *Buletin Palawija*, 19(1):22-30.
- Rofik, M. and Mokhtar, A., 2021, June. PENCEMARAN DALAM LINGKUNGAN HIDUP. In Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur (Vol. 1).
- Rohmawati, I. dan Ulfah, M. 2018. Productivity and growth performance of edamame (*Glycine Max L Merril*) due to the addition of sitokinin. *Journal of Physics*, 1025.
- Romano-Armada, N., Yañez-Yazlle, M.F., Irazusta, V.P., Rajal, V.B. dan Moraga, N.B., 2020. Potential of bioremediation and pgp traits in streptomyces as strategies for bio-reclamation of salt-affected soils for agriculture. *Pathogens*, 9(2), p.117.
- Roohi, M., Riaz, M., Arif, M. S., Shahzad, S. M., Yasmeen, T., Riaz, M. A., Tahir, S., dan Mahmood, K. 2016. Varied effects of untreated textile wastewater onto soil carbon mineralization and associated biochemical properties of a dryland agricultural soil. *Journal of Environmental Management*, 183, 530–540.
- Rosariastuti, M.R., Supriyadi, S. dan Widiastuti, W., 2020. Teknologi Fitoremediasi Untuk Penanganan Pencemaran Logam Berat

- Di Lahan Pertanian Di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 18(1), pp.25-36.
- Rosidah, Mun F, Amirin A., Gabriel A., Zaini A. 2009. Toxicology evaluation of standardized methanol extract of *Gynura procumbens*. *Journal Of Ethnopharmacology*. 2009; 1:244–9.
- Roy, M., Sen, P., dan Pal, P. 2020. An integrated green management model to improve environmental performance of textile industry towards sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 271.
- Rusdiyana, A Nurwahyunani dan A Marianti. 2021. Analisis Peran Petani dalam Konservasi Lahan Pertanian Berbasis Kearifan Lokal. *Indonesian Journal of Conservation* 10(1):42-47
- Sabli, T.E, Zahrah, S. 2015. “Reduksi kandungan fosfat dalam air limbah deterjen menggunakan sistem rawa bambu”. *Junal Dinamika Pertanian*. 30(2): 101-108.
- Sahu, N.; Vasu, D.; Sahu, A.; Lal, N.; Singh, S.K. Strength of Microbes in Nutrient Cycling: A Key to Soil Health. In *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture*; Meena, V., Mishra, P., Bisht, J., Pattanayak, A., Eds.; Springer: Singapore, 2017; pp. 69–86. [CrossRef]
- Sahu, P.; Singh, D.; Prabha, R.; Meena, K.; Abhilash, P. Connecting microbial capabilities with the soil and plant health: Options for agricultural sustainability. *Ecol. Indic.* 2019, 105, 601–612. [CrossRef]
- Sakinah, D.G, E.T.S. Putra dan R. Rogomulyo. 2018. Production and Flavonoid Contents of Sambung Nyawa Leaves (*Gynura procumbens* (Lour.) Merr.) in Three Stages of Agroforestry. *Vegetalika*. 2018. 7(3): 1-15
- Salawati, M. Basir, I. Kadekoh, A. R. Thaha. Potency of Rice Husk Biochar on Modifying Soil pH, CEC, C- Organic and Available P in Wetland Rice of Inceptisols. *J. Agroland* 23 (2) : 101 – 109
- Sanchez, P.A. (2004). *Properties and Management of soils in the Tropics*. John Wiley dan Sons, New York.
- Saputro, C.I, Surendro, B., Amin, M (2018). Pengaruh Jenis Permukaan Terhadap Besarnya Limpasan Air. *Reviews in Civil Engineering*. 2(2): 58-67
- Sayqal A, Ahmed OB. *Advances in Heavy Metal Bioremediation: An Overview*. *Appl Bionics Biomech*. 2021;2021:1609149. Published 2021 Nov 11. doi:10.1155/2021/1609149

- Scholz, N.L., E. Fleishman, L. Brown, I. Werner, M.L. Johnson, M.L. Brooks, dan C.L. Mitchelmore. 2012. A perspective on modern pesticides, pelagic fish declines, and unknown ecological resilience in highly managed ecosystems. *Bioscience* 62(4):428–434.
- Schrama, M.; de Haan, J.; Kroonen, M.; Verstegen, H.; Van der Putten, W. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2018, 256, 123–130. [CrossRef]
- Setiady, T. 2017. Pencegahan Pencemaran Air Sungai Citarum Akibat Limbah Industri. *Yustitia*, 3(2), 185–198.
- Setyorini, D., S. Rochayati, dan I. Las. 2010. Pertanian pada Ekosistem Lahan Sawah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. IPB Press, Bogor.
- Setyorini, D., Soeparto, dan Sulaeman. 2003. Kadar logam berat dalam pupuk. dalam *Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian: Pertanian Produktif Ramah Lingkungan Mendukung Ketahanan dan Keamanan Pangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Shao, Y.; Xie, Y.; Wang, C.; Yue, J.; Yao, Y.; Liu, W. Effects of different soil conservation tillage approaches on soil nutrients, water use and wheat-maize yield in rainfed dry-land regions of North China. *Eur. J. Agron.* 2016, 81, 37–45. [CrossRef]
- Sharma, P., Tripathi, S., Vadakedath, N., dan Chandra, R. 2021. Corrigendum to “In-situ toxicity assessment of pulp and paper industry wastewater on *Trigonella foenum-graecum* L: Potential source of cytotoxicity and chromosomal damage” [*Environ. Technol. Innov.* (2020) 101251] (*Environmental Technology dan Innovation*, (S2. *Environmental Technology and Innovation*, 22).
- Sharma, S., Kulkarni, J. dan Jha, B., 2016. Halotolerant rhizobacteria promote growth and enhance salinity tolerance in peanut. *Frontiers in microbiology*, 7, p.1600.
- Sheik, C. S., Mitchell, T. W., Rizvi, F. Z., Rehman, Y., Faisal, M., Hasnain, S., ... dan Krumholz, L. R. (2012). Exposure of soil microbial communities to chromium and arsenic alters their diversity and structure. *PloS one*, 7(6), e40059.
- Shiu, J.-H.; Huang, Y.-C.; Lu, Z.-T.; Jien, S.-H.; Wu, M.-L.; Wu, Y.-T. Biochar-Based Compost Affects Bacterial Community Structure and

- Induces a Priming Effect on Soil Organic Carbon Mineralization. *Processes* 2022, 10, 682. <https://doi.org/10.3390/pr10040682>
- Singh, J.S. *Plant–Microbe Interactions: A Viable Tool for Agricultural Sustainability Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets*; Arora, N.K., Ed.; Springer: New Delhi, India; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; Dordrecht, The Netherlands; London, UK, 2015; p. 384.
- Singh, R. 2014. 2014. Microorganism as a tool of bioremediation technology for cleaning environment: a review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2014.
- Sivakumar, D., A. Kandaswamy, V. Gomathi, R. Rajeshwaran, and N. Murugan. 2014. Bioremediation studies on reduction of heavy metals toxicity. *Pollution Research*, vol. 33, no. 3, pp.553–558
- Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S. G., dan Nowatzki, J. (2018). Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. *Soil and Tillage Research*, 175, 234-243.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., dan Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62(5), pp.1367–77
- Sohi SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R (2010) A review of biochar and its use and function in soil. In: Sparks DL (ed) *Advances in agronomy*. Academic, Burlington, pp 47–82
- Sokouti, R., dan Nikkami, D. (2017). Optimizing land use pattern to reduce soil erosion. *Eurasian Journal of Soil Science (Ejss)*, 6(1), 75–75. <https://doi.org/10.18393/ejss.284269>
- Spokas, K. A., K B. Cantell, J. M. Novak, D. W. Archer, J. A. Ippolito, H. P., Collin, A. A. Boateng, I. M. Lima, M. C. Lamb, A. J. Mc Aloon, R. D. Lentz, and K. A. Nichols. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomics impact beyond carbon sequestration. *Journal Environ Qual*, 41(4):973-989.
- Steiner, C. 2007. Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish carbon sink-research and prospects. *Soil Ecology Res Dev*, 1-6.
- Steiner, C., W.G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J.L.V. de Macêdo, W.E.H. Blum, W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant soil* 291: 275-290

- Steinnes, A. 1995. Mercury. In Alloway, B.J. (Ed). Heavy Metal in Soils. Chapman dan Hall. Glasgow, UK., pp 411-428.
- Stroo, H.F., A. Leeson, and C. H. Ward Eds, Bioaugmentation for Groundwater Remediation, Springer, New York, 2013.
- Subandi. 2013. Peran dan pengelolaan hara kalium untuk produksi pangan di Indonesia. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian*, 6(1):1-10.
- Subowo, E., Turhekih, Kurniawansyah Nasution, I. 1999. Identifikasi dan Evaluasi Pencemaran Cd Pada Padi Gogo. *Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan*. Puslitanak. Bogor.su
- Sudantha, I.M. dan Swardji, S. 2019. Pemberian biochar dan biokompos terhadap pertumbuhan, hasil, dan serapan n tanaman kedelai (*Glycyne Max (L) Merr.*). *Jurnal Pertanian Agros*, 21(2):265-274.
- Suharmiati, dan, H. Maryani, 2003, Khasiat dan Manfaat Daun Dewa dan Sambung Nyawa, Cetakan II, 5, 9, 10, Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Suhartono. 2012. Unsur-unsur nitrogen dalam pupuk urea. UPN Veteran, Yogyakarta
- Sukarjo, Purbalisa, W., Handayani, C.O., dan Harsanti, E.S. 2019. Penilaian resiko kontaminasi logam berat di lahan sawah dan tanaman padi di DAS Brantas, Kabupaten Jombang. *Jurnal Tanah dan Sumbidaya Lahan Vol 6 (1): 1033-1042p.*
- Sukarjo, Zulaehah, I. Handayani, C.O., and Zu'amah, H. 2021. Heavy metal pollution assessment in paddy fields and dryland in Bandung District, West Java. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 648 (2021) 012114.
- Sukarman, Mulyani, A., dan Purwanto, S. 2018. Modifikasi metode evaluasi kesesuaian lahan berorientasi perubahan iklim. *Jurnal Sumber daya Lahan* 12 (1): 1-11p.
- Sumantri, A. *et al.* 2014. Logam Merkuri pada Pekerja Penambangan Emas Tanpa Izin Mercury in the Illegal Gold Mining Workers. *Jurnal kesehatan Masyarakat*. 8(8) : 398–403.
- Sumardika, I.W., Jawi, I. M. 2012. Ekstrak Air Daun Ubi Jalar Ungu memperbaiki Profil Lipid dan Meningkatkan Kadar SOD Darah Tikus Yang Diberi Makanan Tinggi Kolesterol. *Medicina* Vol 43 (2):67-70.
- Sunarto. 2011. Toleransi Kedelai terhadap Tanah Salin. *Bul. Agron.* (29) (1) 27-30.
- Sunarto. 2011. Toleransi kedelai terhadap tanah salin. *Buletin Agronomi* 29 (1): 27-30p.

- Sungkawa D. 2016. Dampak Gempa Bumi Terhadap Lingkungan Hidup. *J Geogr Gea*. 7(1). doi:10.17509/gea.v7i1.1706.
- Supenah, P., Widiastuti, E., dan Priyono, R. E. 2015. Kajian Kualitas Air Sungai Condong yang terkena Buangan Limbah Cair Industri Batik Trusmi Cirebon. *Biosfera*, 32(2), 110.
- Supreeth, M., M.A. Chandrashekar, N. Sachin, N.S. Raju. 2016. "Effect of chlorpyrifos on soil microbial diversity and its biotransformation by *Streptomyces* sp. HP-11. 3 *Biotech*". 6(2): 147. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0462-2>.
- Supriatna, S., Siahaan, S. and Restiaty, I., 2021. Pencemaran Tanah Oleh Pestisida di Perkebunan Sayur Kelurahan Eka Jaya Kecamatan Jambi Selatan Kota Jambi (Studi Keberadaan Jamur Makroza dan Cacing Tanah). *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 21(1), pp.460-466.
- Supriyadi. 2018. Perspektif keamanan dan kualitas tanah dalam pertanian berkelanjutan. Orasi Pengukuhan Guru Besar Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Suryani, A, S. 2019. Permasalahan dan Tantangan Konservasi Tanah dan Air. Kajian singkat terhadap isu aktual dan strategis. Vol. XI, No.06
- Susanti, R., Mustikaningtyas, D., dan Sasi, F. A. 2014. Analisis Kadar Logam Berat Pada Sungai di Jawa Tengah. *Saintekno*, 12(1).
- Sutanto, R., 2001. Pencemaran tanah dan air tanah oleh pestisida dan cara menanggulangnya. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 7(1), pp.9-15.
- Sutono, S., dan Kurnia, U. 2012. Identifikasi Kerusakan Lahan Sawah Di Rancaekek Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Prosiding*, 283–296.
- Sutriadi, M.T. and Sukristiyonubowo. 2013. Pencemaran nitrat pada air sungai Sub DAS Klakah, DAS Serayu di system pertanian sayuran dataran tinggi. *Jurnal Tanah dan Iklim* Vol 37 (1): 35-44p
- Sutrisno, N., Setyanto, P., dan Kurnia, U. 2009. Perspektif dan urgensi pengelolaan lingkungan pertanian yang tepat. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2(4): 286-291.
- Sutrisno, S. and Kuntastyuti, H., 2015. Pengelolaan cemaran kadmium pada lahan pertanian di Indonesia. *Buletin Palawija*, 13(1), pp.83-91.
- Swarnkumar Reddy, dan Osborne, W. J. 2020. Heavy metal determination and aquatic toxicity evaluation of textile dyes and effluents using

- Artemia salina*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25(March).
- Swati Tyagi, Neelam Garg, Rajan Paudel. 2014. Environmental Degradation: Causes and Consequences. *Biological sciences*. Vol. 81, No. 8-2, pp. 1491-1498, 2014 DOI: 10.13187/er.2014.81.1491 www.erjournal.ru
- Szalai, Z., Szabo, J., Kovacs, J., Mészáros, E., Albert, G., Centeri, C., Szabo, B., Madarasz, B., Zachary, D., dan Jakab, G. (2016). Redistribution of Soil Organic Carbon Triggered by Erosion at Field Scale Under Subhumid Climate, Hungary. *Pedosphere*, 26(5), 652–665. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60074-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60074-1)
- Tambun, B.V., Lihawa, F., Yusuf, D. (2013). Pengaruh erosi permukaan terhadap kandungan unsur hara N, P, K tanah pada lahan pertanian jagung di Desa Ulanta Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo
- Tan, D., Adedoyin, F.F., Alvarado, R., Ramzan, M., Kayesh, Md S., and Shah, M.I. 2022. The effects of environmental degradation on agriculture: Evidence from European countries. *Gondwana Research* 106: 92-104. Doi: 10.1016/j.gr.2021.12.009
- Tando, E. dan Asaad, M. 2018. Respon aplikasi biochar ampas sagu, pupuk kandang dan jerami padi terhadap serapan hara N, P, K Dan C pada tanaman kacang tanah (*Arachis Hypogaea L.*). *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 21(3):189-200.
- Tanjung, R.H.R, B. Hamuna, Alianto. 2019. “Konsentrasi Surfaktan dan Minyak di Perairan Depapre, Kabupaten Jayapura, Provinsi Papua”. *Buletin Oseanografi Marina*. 8 (1): 49-54. <https://doi.org/10.14710/buloma.v8i1.22264>.
- Tarigan, A.A.L.B., Riniarti, M., Prasetya, H., Hidayat, W., Niswati, A., Banuwa, I.S. dan Hasanudin, U. 2021. Pengaruh biochar pada simbiosis *Rhizobium* dan akar sengon laut (*paraserianthes falcataria*) dalam media tanam. *Journal of People, Forest and Environment*, 1(1):11-20.
- Thapa, B. A. K. Kc, and A. Ghimire, “A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil,” *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 164–170, 2012.
- Tian, D., dan Niu, S. (2015). A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters*, 10(2), 024019.

- Tipayarom D, Oanh NK (2007) Effects from open rice straw burning emission on air quality in the Bangkok Metropolitan region. *Sci Asia* 33(3):339–345
- Tomasoa, L.E. dan Prasetyo S.Y. 2018, Analisis Index Vegetasi Pesisir Pantai Aceh Pasca Tsunami Menggunakan Citra Satelit Landsat 7 dan Landsat 8 Dengan Metode Clustering Algoritma K-Means, *Indonesia Journal of Computing and Modeling*, 28-35.
- Tóth, G. Agri-Environmental Soil Quality Indicator in the European Perspective; European Commission Joint Research Centre, OECD: Ispra, Italy, 2008; p. 12.
- Triadi, L.B. 2020. Restorasi lahan rawa gambut melalui metode pembasahan (sekat kanal) dan paludikultur. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(2): 103- 118.
- Triyono, A., Purwanto, dan Budiyo. 2014. Akumulasi nitrat pada lahan pertanian dan potensi pencemaran nitrat dalam air tanah. *Jurnal Ekosains Vol VI (2): 14-23p.*
- UNCCD, 1994. United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. Paris, France. [http://refhub.elsevier.com/S0012-8252\(21\)00190-2/rf2240](http://refhub.elsevier.com/S0012-8252(21)00190-2/rf2240)
- Undang Kurnia, Husen Suganda, Rasti Saraswati, dan Nurjaya. 2004. Teknologi Pengendalian Pencemaran Sawah. Dalam: Tanah sawah dan teknologi Pengelolaannya. Balai Penelitian Tanah, Bogor. <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/publikasi-mainmenu-78/buku-mainmenu-85.html?start=18>.
- Undang-Undang No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- UNEP (United Nation Environmental Programme). 1992. Desertification, land degradation [definitions]. *Desertification Control Bulletin* 21.
- Upadhyay, P., dan Jaiswal, S. K. (2020). Plant Responses to Soil Pollution. *Plant Responses to Soil Pollution*, October. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-4964-9>
- Utami, S.W., Sunarminto, B.H. dan Hanudin, E. 2018. Pengaruh limbah biogas sapi terhadap ketersediaan hara makro-mikro inceptisol. *Soil and Water Journal*, 14(2):50-59.

- Valireana Darwis, 2014. Kajian Analisis Usahatani Penggunaan Pupuk Organik Non Komersial Terhadap Hasil Dan Pendapatan Petani Padi. SEPA: Vol. 10 No.2 Februari 2014: 286 – 297
- Verdiana, M.A., Sebayang, H.T. dan Sumarni, T. 2017. Pengaruh Berbagai Dosis Biochar Sekam Padi dan Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung (*Zea mays L.*). Jurnal Produksi Tanaman, 4(8):611-616.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. An overview,” Pure and Applied Chemistry, vol. 73, no. 7, pp. 1163–1172, 2001.
- Vyn, T.; Faber, J.; Janovicek, K.; Beauchamp, E. Cover crop effects on nitrogen availability to corn following wheat. Agron. J. 2000, 92, 915–924. [CrossRef]
- W. Mangunwardoyo, T. Sudjarwo, and M. P. Patria, “Bioremediation of effluent wastewater treatment plant Bojongsoang Bandung Indonesia using consortium aquatic plants and animals,” International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, vol. 14, no. 1, pp. 150–160, 2013.
- Wahyuni, S., Indratin, Poniman, Ardiwinata, A.N. 2019. Identifikasi cemaran insektisida profenofos dari lahan bawang merah di Kabupaten Brebes. Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah 17 (2): 207-215p.
- Wahyunto dan A. Dariah. 2014. Degradasi Lahan di Indonesia: Kondisi Existing, Karakteristik, dan Penyeragaman Definisi Mendukung Gerakan Menuju Satu Peta. Jurnal Sumber daya Lahan Vol. 8 No. 2, Desember 2014; 81-93
- Wahyunto dan Darian, A. 2014. Degradasi lahan di Indonesia: Kondisi existing, karakteristik, dan penyeragaman definisi mendukung gerakan menuju satu peta. Jurnal Sumber daya Lahan 8(2): 81-93.
- Wang, G. Y. Hang, B. Xiao *et al.*, “Toxicity from water containing arsenic and fluoride in Xinjiang,” Fluoride, vol. 30, no. 2, pp. 81–84, 1997.
- Wantesan, S. 2015. Residu pupuk nitrogen di lingkungan perairan hulu daerah aliran sungai Tondano, Provinsi Sulawesi Utara. Jurnal Bumi Lestari 15 (2): 176-183p.
- Wardana, W. 2013. Technical Document on Degraded/ Abandoned Land in Indonesia. UNDP-REDD.
- Widyarningsih, W. 2010. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Dewa (*Gynura procumbens*) Dengan Metode DPPH (1,1-difenil-

- 2-pikrilhidrasil). Prosiding Seminar Nasional Kosmetika Alami : 109-115.
- Winardi, W., Priyarsono, D. S., Siregar, H., dan Kustanto, H. 2019. Peranan Kawasan Industri dalam Mengatasi Gejala Deindustrialisasi. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 19(1), 84–95.
- Woese, K.; Lange, D.; Boess, C.; Bögl, K. A comparison of organically and conventionally grown foods-results of a review of the relevant literature. *J. Sci. Food Agric.* 1997, 74, 281–293. [CrossRef]
- Worthington, V. Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Altern. Complement. Med.* 2001, 7, 161–173. [CrossRef]
- WRI (World Resources Institute). 2012. How to Identify Degraded Land for Sustainable Palm Oil in Indonesia. WRI/Sekala Working Paper. World Resources Institute and Sekala, Washington D.C. USA.
- Wu, L., Jiang, Y., Zhao, F., He, X., Liu, H., dan Yu, K. (2020). Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66648-9>
- Xiu, L., Zhang, W., Sun, Y., Wu, D., Meng, J. dan Chen, W. 2019. Effects of biochar and straw returning on the key cultivation limitations of Albic soil and soybean growth over 2 years. *Catena*, 173:481-493.
- Yan, A., W. Yamin, T. S. Ngin, M. Y. M. Lokman, G. Subhadip, C. Zhong. 2020. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land, *Frontiers in Plant Science*, VoLUME=11, YEAR=2020, URL=<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2020.00359>, DOI=10.3389/fpls.2020.00359, ISSN=1664-462X
- Yang, Y., Ma, S., Zhao, Y., Jing, M., Xu, Y. and Chen, J. 2015. A field experiment on enhancement of crop yield by rice straw and corn stalk-derived biochar in Northern China. *Sustainability*, 7(10):13713-13725.
- Yao, Y.; Gao, B.; Zhang, M.; Inyang, M.; Zimmerman, A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in sandy soil. *Chemosphere*.2012.1467-1471.
- Yi H, Güneralp B, Kreuter UP, Güneralp _ I, Filippi AM: Spatial and temporal changes in biodiversity and ecosystem services in the San

- Antonio River Basin, Texas, from 1984 to 2010. *Sci Total Environ* 2018, 619–620:1259–1271.
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X. dan Gao, B. 2019. Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. *Journal of environmental management*, 232:8-21.
- Yudhistira, Wahyu Krisna Hidayat, Agus Hadiyanto. 2011. Kajian Dampak Kerusakan Lingkungan Akibat Kegiatan Penambangan Pasir Di Desa Keningar Daerah Kawasan Gunung Merapi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol 9 (2):76-84. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/ilmulingkungan>
- Yulianti, R., Sukiyah, E. dan Sulaksana, N. 2016. Dampak Limbah Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) terhadap Kualitas Air Sungai Limun Kabupaten Sarolangun Propinsi Jambi. *Bulletin of Scientific Contribution*, 14(3) : 251–262.
- Yulis, P.A.R. 2018. Analisis kadar logam merkuri (Hg) dan (Ph) air Sungai Kuantan terdampak penambangan emas tanpa izin (PETI). *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia*. 2(1), pp.28-36.
- Yulnafatmawita., Yasin, S., Kurnia, E.F. and Haris, Z.A. 2020. Impact of Gold Mining on Physical Properties of Inceptisols in Muaro Sijunjung, West Sumatra Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1):012041.
- Zeyauallah, M., M. Atif, B. Islam *et al.* 2009. Bioremediation: a tool for environmental cleaning. *African Journal of Microbiology Research*, vol. 3, no. 6, pp. 310–314, 2009.
- Zhang, H., C. Chen., E.M. Gray, S. E. Boyd., H. Yang, dan D. Zhang. 2016. Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils; a phosphat adsorbent and a source of available phosphorus. *Journal Geoderma*, 276:1-6.
- Zhang, X., Zhou, J., Xu, Z., Zhu, P., dan Liu, J. 2021. Characterization of heavy metals in textile sludge with hydrothermal carbonization treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 402(August 2020).
- Zhao, W., Q. Zhou, Z. Tian, *et al.*, 2018. Apply biochar to ameliorate soda saline-alkali land, improve soil function and increase corn nutrient availability in the Songnen Plain. *Science of the Total Environment*.
- Zhao, W.; Yang, X.; Yu, H.; Jiang, W.; Sun, N.; Liu, X.; Liu, X.; Zhang, X.; Wang, Y.; Gu, X. RNA-Seq-based transcriptome profiling of early nitrogen deficiency response in cucumber seedlings provides new

- insight into the putative nitrogen regulatory network. *Plant Cell Physiol.* 2015, 56, 455–467. [CrossRef] [PubMed]
- Zhao, X., W. Wang., F. Zhang, J. Deng, Z. Li, B. Fu. 2014. Comparative metabolite profiling of two rice genotypes with contrasting salt stress tolerance at the seedling stage. *Plos One* Volume 9, Issue 9, e108020.
- Zoffoli, H.J.O., Sobrinho, M.M.B., Zonta, E., Luisi, M.V, Marcon, G., and Tolon-Becerra, A. 2013. Inputs of heavy metals due to agrichemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. *Environ Monit Asses* 185:2423-2437.

GLOSARIUM

- Abiotik** : komponen penyusun ekosistem yang berasal dari segala bentuk benda tidak hidup di permukaan bumi yang memberikan manfaat dan pengaruh bagi kehidupan manusia dan makhluk-mahluk hidup.
- Absorpsi** : proses penyerapan suatu zat di dalam reaksi kimia
- Aerasi** : Proses penambahan udara ke dalam tanah oleh air dan udara yang ada di atmosfer
- Agroekosistem** : sebuah sistem lingkungan atau ekosistem yang telah dimodifikasi dan dikelola oleh manusia untuk kepentingan produksi pangan, serat dan berbagai produk pertanian lain.
- Agroforestri** : salah satu upaya konservasi dalam bentuk sistem pertanaman yang merupakan kegiatan kehutanan yang dilakukan bersama pertanian, perikanan, dan peternakan ke arah usaha tani terpadu sehingga tercapai optimalisasi penggunaan lahan
- Agrokimia** : Bahan kimia yang digunakan dalam pertanian, yang memiliki fungsi untuk membantu pertumbuhan dan menjaga keamanan tanaman guna mendapatkan hasil panen yang diinginkan
- Akumulasi Garam Mineral** : Kumpulan mineral yang terdiri dari senyawa kristalin atau dua unsur yaitu Natrium (Na) dan Klorin (Cl).
- Akumulasi** : Tambahan secara berkala atas suatu jumlah dasar atau awal
- Amalgamasi** : Proses pengikatan logam emas dari bijih tersebut dengan menggunakan merkuri (Hg) dalam tabung yang disebut sebagai gelundung (amalgamator)

Ampak	: Pembibitan tahap ke dua, setelah bibit berumur sekitar 40 hari, bibit dipindah lagi ke pembibitan ke tiga.
Ambang kritis	: Suatu kondisi yang mendekati batas-batas atau kerusakan yang berujung kematian
Amelioran	: Bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik dan kimia.
Antropogenik	: aktivitas manusia baik sengaja maupun tidak sengaja dan dilakukan secara terus-menerus yang memberikan dampak buruk bagi masyarakat karena memicu atau mempercepat terjadinya bencana
Aplikasi	: Penggunaan atau penerapan
Bahan agrokimia	: Bahan kimia yang digunakan untuk pertanian seperti pestisida, pupuk, dan bahan-bahan lain
Bahan pembenah	: Bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kesuburan tanah guna mendukung pertumbuhan tanaman
Bahan pembenah tanah	: Bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kesuburan tanah guna mendukung pertumbuhan tanaman.
Batas Maksimum Residu (BMR)	: Batas dugaan maksimum residu pestisida yang diperbolehkan yang terdapat dalam berbagai hasil pertanian.
Bakteri	: Makhluk hidup kecil bersel tunggal, cepat berkembang biak dengan membelah diri, ada yang berbahaya dan ada yang tidak, dapat menyebabkan peragian, pembusukan, dan penyakit
Benefit	: Manfaat atau keuntungan atau penerimaan dari setiap investasi yang dikeluarkan
Belukar	: Tumbuhan kayu-kayuan kecil dan rendah
Bioaugmentasi	: Teknik menebarkan mikroba ketika terjadi pencemaran minyak
Bioavailabilitas	: ketersediaan sejumlah logam yang dapat diserap oleh hayati (organisme dan tumbuhan) yang dapat menimbulkan respon fisiologis atau toksik.

Bioremediasi	: Upaya perbaikan dengan melibatkan proses biologi
Biotik	: komponen lingkungan hidup dari sekumpulan makhluk hidup meliputi, manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan atau organisme yang ada dilingkungan sekitar.
Biochar	: arang aktif yang terbuat dari proses pyrolysis (pembakaran anaerob)
Bioremediasi	: Upaya perbaikan dengan melibatkan proses biologi
Biodiversitas	: Keanekaragaman flora dan fauna
Biogas	: Gas dari kotoran ternak
Biomassa	: Banyaknya materi organik yang berasal dari tanaman pertanian. Biomassa dapat diukur dengan mengetahui berat atau volume bagian-bagian tanaman.
Biopestisida	: Pestisida berasal dari alam yang tersusun dari hewan, tumbuhan, bakteri dan mineral. Biopestisida juga mencakup organisme hidup yang dapat mengendalikan OPT pertanian
Biostimulasi	: Proses penambahan suatu nutrisi dan oksigen ke dalam suatu situs atau tempat yang tercemar dengan bertujuan untuk mendukung pertumbuhan dan aktifitas bakteri yang ada di dalam tempat tercemar tersebut
Blooming algae	: Atau ledakan alga yang merupakan kejadian atau kondisi dimana suatu perairan baik kolam, danau, maupun rawa mengalami ledakan populasi plankton yang cukup besar
Bulk Density	: Berat suatu tanah dalam satuan volume tertentu. Satuan massa tanah adalah g/cm^3 .
Cekaman Osmotik	: Kondisi perubahan lingkungan pada proses osmosis dan mengakibatkan terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tanaman
Deforestasi	: Aktivitas penebangan hutan

Dekomposer Serasah	: Organisme yang berperan dalam memecah senyawa kompleks dalam protoplasma tumbuhan mati, kemudian menyerap dan memanfaatkan unsur-unsur yang berguna dari produk dekomposisi
Daya dukung lahan dan lingkungan	: kemampuan suatu lahan dan lingkungan untuk mendukung kehidupan yang pada umumnya tergantung pada persentasi lahan yang dapat dipakai untuk pertanian dan besarnya hasil pertanian persatuan luas dan waktu.
Denitrifikasi	: Terbentuknya molekul nitrogen menjadi nitrat
Defisiensi	: kekurangan suatu unsur dengan menampakkan respon
Degradasi	: Kemunduran, kemerosotan, penurunan, dan sebagainya kualitas sesuatu
Denitrifikasi	: Proses reduksi nitrat menjadi nitrogen dalam bentuk gas dalam kondisi oksigen rendah atau anaerob.
Dekomposisi	: Proses perombakan bahan organik, yang dilakukan oleh sejumlah organisme
Dekomposer	: Organisme yang menguraikan sisa-sisa organisme untuk diubah menjadi bahan anorganik.
DHL	: Kemampuan tanah untuk menghantarkan arus listrik. Daya hantar listrik tanah dan terjadi karena eksistensi kandungan garam bebas yang terdapat pada kadar air tanah dan kandungan ion dapat ditukar yang terdapat pada permukaan partikel padat tanah
Disosiasi larutan tanah	: Pemecahan senyawa kompleks dalam larutan tanah menjadi partikel atau ion.
Dispersi agregat	: Pemisahan partikel-partikel tanah
<i>Dissolved Organic Carbon</i> (DOC)	: Konsentrasi karbon yang terlarut
Difusi	: Proses berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah

Dosis	: Kadar dari sesuatu yang dapat memengaruhi suatu organisme secara biologis; makin besar kadarnya, makin besar pula dosisnya
Drainase	: Saluran yang digunakan untuk menyalurkan massa air berlebih dari satu tempat ke tempat lain
Ekosistem	: Suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik tak terpisahkan antara makhluk hidup dengan lingkungannya.
Ekologi	: Ilmu yang mempelajari interaksi antar makhluk hidup serta lingkungannya
Ekonomi	: Ilmu sosial yang mempelajari perilaku manusia dalam mengelola sumber daya yang terbatas dan menyalurkannya kedalam berbagai individu atau kelompok yang ada dalam suatu masyarakat
Endapan Sulfur	: Sulfur yang berkumpul di dalam larutan tanah dan menjadi sedimen
Erosi	: Pengikisan lapisan tanah atau batuan yang disebabkan oleh kekuatan air, angin, pengaruh gaya berat, ataupun organisme hidup.
Eutrofikasi	: pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrien yang berlebihan ke dalam ekosistem air khususnya diakibatkan oleh limbah fosfat (PO_4^{3-}), khususnya dalam ekosistem air tawar.
Eutrofikasi Permukaan Air	: Suatu kondisi terjadinya pencemaran pada permukaan air akibat penambahan nutrisi berlebih ke dalam ekosistem air
Feasible	: Layak atau dapat dilaksanakan sesuai dengan kriteria investasi
Fitodegradasi	: pemecahan bahan polutan organik
Fitoekstraksi	: penggunaan tanaman dalam mengekstrak logam berat di dalam tanah
Fitofiltrasi	: penggunaan tanaman dengan hidroponik untuk adsorpsi logam berat di air tanah dan limbah cair
Fitoremediasi	: upaya dekontaminasi dengan menggunakan tanaman

Fitostabilisasi	: pemanfaatan tanaman untuk menekan availabilitas logam berat
Fitovolatilisasi	: pemanfaatan tanaman menyerap logam berat dan dilepaskan ke atmosfer
Fitoremediasi	: Perbaikan lahan dengan menggunakan tumbuhan
Fungisida	: Pestisida yang secara spesifik membunuh atau menghambat cendawan penyebab penyakit
Fixed Cost	: Biaya Tetap, biaya yang tidak tergantung kepada produksi
Gas Rumah Kaca (GRK)	: Gas-gas di dalam atmosfer yang dapat menangkap sinar panas matahari
GEE	: <i>Google Earth Engine</i> . Merupakan sebuah platform berbasis cloud untuk analisa data geospasial terutama data raster
Gempa bumi tektonik	: gempa bumi yang disebabkan oleh pergeseran lempeng batuan dalam perut Bumi
Gempa bumi vulkanik	: <i>gempa bumi</i> yang terjadi karena adanya aktivitas gunung berapi berupa pergerakan magma
Gletser	: endapan es yang besar dan tebal yang terbentuk di atas permukaan tanah yang merupakan akibat akumulasi endapan salju atau es yang mengeras dan membatu selama kurun waktu tertentu yang sangat lama
Gross B/C	: <i>Gross Benefit Cost Ratio</i> , perbandingan antara biaya dengan manfaat
Hama	: Organisme yang dianggap merugikan dan tak diinginkan dalam kegiatan sehari-hari manusia. Istilah ini paling sering dipakai atau umum hanya untuk hewan.
Hidrologi	: Ilmu tentang air di bawah tanah, keterdapatannya, peredaran dan sebarannya, sifat kimia dan fisiknya, reaksi dengan lingkungan, termasuk hubungannya dengan makhluk hidup
Hutan Hujan Tropis	: Hutan dengan kondisi iklim selalu basah

Hortikultura	: Kelompok tanaman yang terdiri dari komoditas sayuran, buah-buahan dan bunga-bunga
Iklim	: Ukuran rata-rata dan variabilitas kuantitas yang relevan dari variabel tertentu (seperti temperatur, kelembapan, curah hujan, sinar matahari), pada periode waktu tertentu di suatu wilayah
Iluviasi	: Proses pengendapan bahan tanah yang merupakan hasil dari pemindahan dari horizon satu ke horizon yang lain di dalam tanah
Indikator Pendorong	: Parameter yang fokusnya pada kondisi dimana intervensi perbaikan mungkin diperlukan untuk mencegah kerusakan lahan
Indikator Respons	: Parameter yang dicirikan dengan Tindakan yang dilakukan untuk kegiatan perlindungan lahan
Intrusi	: naiknya batas antara permukaan air tanah dengan permukaan air laut ke arah daratan.
Intrusi air laut	: Masuknya air laut ke bawah tanah melalui akuifer di daratan atau daerah pantai.
Infiltrasi	: Proses masuknya air ke dalam tanah
Insurance	: Asuransi, perjanjian antara dua pihak, pemegang polis membayar iuran dan perusahaan asuransi akan memberikan jaminan jika terjadi sesuatu
Invention	: Penemuan tentang teknik produksi yang baru
Innovation	: Aplikasi teknologi secara komersial
Inovasi	: Proses dan/atau hasil pengembangan pemanfaatan/mobilisasi pengetahuan, keterampilan dan pengalaman untuk menciptakan atau memperbaiki produk, proses, dan/atau sistem yang baru, yang memberikan nilai yang berarti atau secara signifikan
Insektisida	: Bahan kimia bersifat racun yang dipakai untuk membunuh serangga. Insektisida dapat memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, tingkah laku, perkembangbiakan dan kesehatan serangga

IRR	: <i>Internal Rate of Return</i> , tingkat pengembalian internal terhadap bunga pinjaman untuk setiap investasi
Isoquant	: Kurva yang menunjukkan semua input produksi yang mampu menghasilkan kuantitas <i>output</i> yang sama
Karbonisasi	: pembakaran biomassa secara anaerob dengan residu karbon tinggi
Keanekaragaman hayati	: variabilitas di antara makhluk hidup dari semua sumber, termasuk interaksi ekosistem terestrial, pesisir dan lautan dan ekosistem akuatik lain serta kompleks ekologi tempat hidup makhluk hidup menjadi bagiannya
Kebakaran lahan	: Merupakan api yang tidak terkendali di daerah memiliki vegetasi yang mudah terbakar dan terjadi di daerah pedesaan
Kekahatan Unsur Hara	: Suatu kondisi tanah kekurangan unsur hara dan menimbulkan gejala-gejala tertentu khususnya pada tanaman
Keracunan Unsur Hara	: Suatu kondisi tanah kelebihan unsur hara dan memengaruhi proses dan hasil produksi pada tanaman.
Kekeringan	: Merupakan keadaan kekurangan pasokan air pada suatu daerah dalam masa yang berkepanjangan (beberapa bulan hingga bertahun-tahun)
Kemasaman (Tanah)	: Suatu parameter penunjuk keaktifan ion H ⁺ dalam suatu larutan, yang berkesetimbangan dengan H ⁺ tidak terdesosiasi dari senyawa-senyawa dapat larut dan tidak larut yang ada didalam sistem
Kerusakan Lahan	: Penurunan produktivitas lahan, dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi
Kesuburan (Tanah)	: Kemampuan suatu tanah untuk menghasilkan produk tanaman yang diinginkan, pada lingkungan tempat tanah itu berada
Keragaman hayati tanah (<i>soil biodiversity</i>)	: keragaman yang ada di dalam tanah baik bakteri, jamur serta fauna lainnya

Kesehatan tanah	: kapasitas tanah yang berfungsi dalam ekosistem, untuk mempertahankan produktivitas biologis, menjaga kualitas lingkungan, dan meningkatkan kesehatan tanaman dan hewan
Khelating	: Reaksi antara suatu atom dengan suatu ligan membentuk senyawa kompleks
Kompos	: Hasil penguraian dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembap dan aerobik atau anaerobik.
Konduktivitas Hidrolik	: Pengukuran yang menyatakan kemampuan suatu tanah dalam meloloskan air.
Kontaminan	: bahan pengotor atau pencemar bahan lainnya
Kontaminasi	: Keberadaan suatu ketidakmurnian atau elemen lain yang dapat merusak, mengganggu, menginfeksi, atau membuat tidak layak suatu material, objek fisis, lingkungan hidup, tempat kerja dll.
Koloid	: suatu bentuk campuran (sistem dispersi) dua atau lebih zat yang bersifat heterogen namun memiliki ukuran partikel terdispersi yang cukup besar (1-10000 nm), sehingga mengalami Efek Tyndall
Lacak	: Pembibitan tahap ke tiga. Lamanya bibit dipertahankan pada pembibitan ke tiga ini (lacakan) ini tergantung pada kedalaman air di sawah
Lahan kritis	: Lahan yang fungsinya kurang baik sebagai media produksi, baik untuk menumbuhkan tanaman yang dibudidayakan maupun yang tidak dibudidayakan
Lahan rawa bongkor	: lahan gambut atau lahan sulfat masam yang telah terdegradasi atau mengalami penurunan kesuburan drastis sebagai akibat kesalahan pengelolaan dan faktor alami, sehingga terjadi penurunan produktivitas dan tidak sesuai lagi untuk pertumbuhan tanaman

Lahan rawa terdegradasi	: lahan pertanian yang produktivitasnya telah menurun dan bahkan kurang sesuai lagi untuk pertanian sehingga menjadi tidak produktif dan tidak dimanfaatkan lagi atau menjadi terlantar.
Lahan sulfat masam	: lahan yang memiliki horizon sulfidik dan atau sulfurik di dalam kedalaman 120 cm dari permukaan tanah mineral.
Limpanan	: air yang mengalir di atas permukaan karena penuhnya kapasitas infiltrasi tanah
Limbah	: Zat yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik
Limpanan Permukaan (<i>Run-Off</i>)	: Aliran air dari curah hujan di atas permukaan tanah, sungai, atau saluran buatan dan akan tertampung pada suatu titik tertentu.
Logam Berat	: Logam dengan berat jenis sama dengan atau lebih dari 5,0 gram/cm ³
Logam berat	: logam yang memiliki berat jenis lebih besar dari 5 g/cm ³ , yang pada tingkat tertentu menjadi bahan beracun dan sangat berbahaya bagi makhluk hidup
Makrofita akuatik	: tumbuhan air yang hidup mengapung, tenggelam, melayang dan tumbuh di permukaan, dasar, dan pinggir perairan
Mikroba	: Organisme yang berukuran sangat kecil sehingga untuk mengamatinya diperlukan alat bantuan
Mikroba Tanah	: Organisme yang hidup di tanah dan memiliki ukuran sangat kecil sehingga memerlukan alat bantu mikroskop untuk mengidentifikasinya
Mineralisasi Bahan Organik	: Suatu proses perubahan unsur hara organik menjadi anorganik akibat adanya proses biokimia
Mixed farming	: usaha tani yang dilakukan lebih dari jenis komoditas pada waktu yang bersamaan
Mitigasi	: upaya pengendalian untuk mengurangi resiko
Model	: Deskripsi yang menjelaskan suatu objek, sistem, atau konsep, yang sering kali berupa penyederhanaan

Monokultur	: Suatu cara menanam dengan satu jenis tanaman dalam satu musim tertentu.
<i>Nationally Determined Contribution</i>	: dokumen kontribusi yang ditetapkan secara nasional yang memuat komitmen dan aksi iklim sebuah negara yang dikomunikasikan kepada dunia melalui United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
NDVI	: <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> . Indeks yang menunjukkan tingkat kebasahan suatu area
NDWI	: <i>Normalized Difference Water Index</i> . Indeks kerapatan vegetasi, atau tingkat kehijauan tanaman
<i>Net B/C</i>	: <i>Net Benefit Cost Ratio</i> , perbandingan antara biaya dengan manfaat bersih. sebagai gambaran seberapa kali lipat diperoleh manfaat dari investasi
Nitrifikasi	: Perubahan senyawa nitrogen menjadi nitrat oleh bakteri
Nitrifikasi	: Reaksi oksidasi, proses yang mengoksidasi ammonia menjadi nitrit atau nitrat
<i>Nonpoint-source pollutant</i>	: sumber kontaminasi berasal dari berbagai sumber tidak hanya satu titik sumber
<i>Non-Volumetric</i>	: Parameter pengukuran yang tidak memiliki volume
NPV	: <i>Net Present Value</i> , sebagai nilai sekarang dari selisih antara <i>benefit</i> dengan <i>cost</i> pada <i>discount rate</i> tertentu.
Oksidasi	: Pelepasan elektron pada suatu molekul dan menghasilkan ion hidrogen di dalam tanah yang ditandai dengan bercak seperti karat pada lapisan tanah.
Oksidasi	: Reaksi dalam tanah yang menghasilkan ion hidrogen dapat menyebabkan terjadinya pengasaman tanah
OPT (Organisme Pengganggu Tumbuhan)	: Semua organisme yang mempunyai potensi menimbulkan kerusakan ekonomis atau gangguan pada tanaman budidaya, termasuk didalamnya adalah hama, penyakit dan gulma

Organoklorin	: Bahan campuran yang terdiri lebih dari 2 senyawa klorin
Osmotik	: tekanan yang dibutuhkan untuk mempertahankan kesetimbangan antara suatu larutan dan pelarut murninya yang dipisahkan oleh suatu membran semipermeabel yang dapat ditembus hanya oleh pelarut tersebut
Pangan	: Segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati 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 lain yang digunakan dalam proses penyiapan, pengolahan, dan atau lainnya
<i>Payback period</i>	: Waktu yang dibutuhkan untuk menutup kembali investasi yang dikeluarkan
Penggundulan Hutan	: Kegiatan penebangan hutan atau tegakan pohon sehingga lahannya dapat dialihgunakan untuk penggunaan nonhutan, seperti pertanian dan perkebunan, peternakan, atau permukiman.
Penggurunan	: Jenis degradasi lahan ketika lahan yang relatif kering menjadi semakin gersang, kehilangan badan air, vegetasi, dan juga hewan liar. Penggurunan umumnya disebabkan oleh berbagai faktor seperti perubahan iklim dan kegiatan manusia
Pencucian	: Teknik memulihkan tanah yang tercemar, kembali ke kondisi awal atau semula. Sehingga tidak menyebabkan terjadinya penghantaran polutan ke media lain.
Pendekatan pengelolaan adaptif (<i>adaptive management approach</i>)	: suatu cara pengelolaan lahan rawa bongkor yang melibatkan semua pihak yang berperan dan berkepentingan untuk mengambil langkah secara bertanggungjawab mengatasi perubahan dengan lebih baik.
Pencemaran	: Masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/ atau komponen lain ke dalam air atau udara

- Penambangan tanpa izin (PETI) : Usaha pertambangan yang dilakukan oleh perseorangan, sekelompok orang, atau perusahaan yayasan berbadan hukum yang dalam operasinya tidak memiliki Izin dan instansi pemerintah sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku
- Pemadatan tanah : Proses mengeluarkan udara dari dalam pori-pori tanah
- Pencucian unsur hara : Proses hilangnya unsur hara terlarut di dalam tanah akibat terbawa aliran atau pergerakan air dari atas permukaan ke bagian bawah hingga kedalaman tertentu.
- Pengasaman Tanah : Proses pelapukan batuan sebagai akibat dari kondisi asam dalam tanah.
- Perubahan iklim : Perubahan signifikan pada iklim, suhu udara dan curah hujan. Hal ini disebabkan oleh naiknya temperatur bumi akibat dari peningkatan konsentrasi gas rumah kaca pada atmosfer bumi
- Perkebunan : Kegiatan yang mengusahakan tanaman tertentu (karet, kopi, teh dll) pada tanah dan/atau media tumbuh lainnya dalam ekosistem yang sesuai: mengolah dan memasarkan barang dan jasa hasil tanaman tersebut dengan bantuan ilmu pengetahuan dan teknologi, permodalan serta manajemen untuk mewujudkan kesejahteraan bagi pelaku usaha perkebunan dan masyarakat
- Permafroz : lapisan tanah beku yang terdiri dari batuan, tanah, sedimen, dan jumlah es yang berbeda yang mengikat unsur-unsur bersama yang berada di bawah suhu 0 °C selama beberapa tahun
- Persistent Organic Pollutants* : bahan yang sifat beracun, sulit terurai, bioakumulasi dan terangkut, melalui udara, air, dan spesies berpindah dan melintasi batas internasional serta tersimpan jauh dari tempat pelepasan, tempat bahan tersebut berakumulasi dalam ekosistem darat dan air

Perkolasi Air	: Suatu proses masuknya air mulai dari lapisan permukaan ke dalam tanah secara gravitasi hingga mencapai titik jenuh air pada luasan dan jenis tanah tertentu.
Perspektif	: Sudut pandang manusia dalam memilih opini dan kepercayaan mengenai suatu hal
Pestisida	: Zat yang beracun untuk membunuh hama; racun pembasmi hama; racun hama
Pirit	: sulfida besi dengan rumus kimia FeS_2 (besi(II) disulfida)
Pori-pori tanah	: Bagian pada tanah yang berisi udara dan air dan tidak berisi bahan padat tanah
Produktivitas	: nilai rata-rata hasil produksi
Produktivitas lahan	Kemampuan atau daya dukung lahan pertanian dalam memproduksi tanaman.
Profit	: Keuntungan, yaitu selisih antara biaya total dengan penerimaan total
<i>Production possibility set</i>	: Kurva kemungkinan Produksi, kurva yang merepresentasikan jumlah maksimum yang dapat diproduksi
<i>Production function</i>	: Fungsi produksi, sebagai bentuk fungsi matematika yang menggambarkan hubungan antara <i>output</i> dengan input faktor
QGIS	: Quantum GIS. Merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis <i>open-source</i> yang dapat dijalankan dalam berbagai sistem operasi
Reduksi	: Penambahan elektron oleh sebuah molekul, atom atau ion
Reduksi Pencucian Nitrat	: Reaksi di dalam tanah yang menghasilkan pengurangan terjadinya pencucian senyawa nitrat.
Resistansi tanah	: Suatu kemampuan tanah untuk menahan (ketahanan tanah)
Residu	: endapan atau bahan sisa sebagai hasil proses reaksi

Retensi	: pengikatan atau penyimpanan suatu unsur di dalam tanah
Rehabilitasi Lahan	: Upaya untuk memulihkan, mempertahankan, dan meningkatkan fungsi hutan dan lahan guna meningkatkan daya dukung, produktivitas dan peranannya dalam menjaga sistem penyangga kehidupan.
Reklamasi lahan rawa	: Upaya meningkatkan fungsi dan pemanfaatan rawa untuk kepentingan masyarakat luas
Redoks	: istilah yang menjelaskan berubahnya bilangan oksidasi (keadaan oksidasi) atom-atom dalam sebuah reaksi kimia
Residu pestisida	: sisa pestisida, termasuk hasil perubahannya yang terdapat pada atau dalam jaringan manusia, hewan, tumbuhan, air, udara atau tanah
Resistensi	: Kemampuan organisme untuk menahan, melawan, dan menghentikan efek membinasakan dari obat antibiotik
Retakan	: Renggangan pada tanah yang terjadi karena tekanan (shear/compression joints), biasanya terlihat paralel dengan gejala sesar dan karena tarikan (tension joints), biasanya berbentuk tidak teratur dengan bidang-bidang tidak rata dan selalu terbuka
RGB	: Metode komposit Red Green Blue (RGB) atau dikenal dengan “ <i>true colour</i> ” Metode ini untuk melihat kenampakan warna secara visual sehingga interpretasi terhadap citra satelit dapat relatif lebih mudah dilakukan
Rhizobium	: Bakteri yang berfungsi untuk pembentukan bintil akar pada tanaman kacang-kacangan
Rhizodeposit	: senyawa-senyawa yang dikeluarkan oleh akar tanaman
Risiko ekologis	: Tingkat pencemaran logam berat dalam tanah berdasarkan faktor kontaminasi logam berat dan respons lingkungan terhadap kontaminan

<i>RCR</i>	: <i>Revenue Cost Ratio</i> , yaitu perbandingan antara biaya dengan penerimaan
Salinisasi	: Merupakan proses peningkatan kadar garam mudah larut di dalam tanah
Salinitas	: tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas juga dapat mengacu pada kandungan garam dalam tanah
Sedimen	: pecahan-pecahan material yang umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan secara kimia
Semak	: Tumbuhan seperti perdu, tetapi lebih kecil dan rendah, hanya cabang utamanya yang berkayu
<i>Shadow Price</i>	: Harga Bayangan, sebagai pencerminan nilai sosial yang sesungguhnya dari input atau hasil produksi. Atau harga yang nilainya tidak sama dengan harga pasar
Siklus nutrisi	: perubahan atau perputaran unsur di dalam system
Skema relasi (<i>causal loops</i>)	: pendekatan dalam pemecahan masalah dengan melihat kompleksitas dari sistem yang digambarkan dengan sebuah diagram berupa garis lengkung yang berujung panah yang menghubungkan satu faktor dengan faktor lainnya
Solum	: bagian dari profil tanah yang terbentuk sebagai akibat proses pembentukan tanah
Spread of innovation	: Bagaimana teknologi tersebut diadopsi oleh korporasi dan petani
SPOT	: Satellites Pour l'Observation de la Terre. Merupakan satelit konstelasi yang digunakan untuk observasi bumi, menggunakan pencitraan optik dengan hasil resolusi tinggi
Subsistensi	: pergerakan permukaan tanah ke bawah atau penurunan muka tanah, penurunan tanah, amblesan tanah

Sulfat Masam (lahan)	: Jenis tanah atau tipologi lahan yang dijumpai di lahan rawa pasang surut. Terbentuk sekitar 10.000 tahun yang lalu melalui proses peningkatan permukaan air laut, dimana air laut banyak mengandung sulfat tercampur dengan oksida besi dan bahan organik.
Sumber antropogenik	: Sumber polutan berasal dari kegiatan manusia
Surjan (budidaya)	: Sistem pertanian campuran yang dicirikan oleh perbedaan tinggi permukaan bidang tanam pada suatu luasan lahan. Perbedaan ketinggian ini minimal 50 cm.
Tandan	: Tangkai dengan kumpulan buah buah
Tailing	: Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan
Terasering	: metode konservasi dengan membuat teras-teras yang dilakukan untuk menahan air sehingga mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan, serta memperbesar peluang penyerapan air oleh tanah
Toksisitas	: tingkat merusaknya zat terhadap organisme
Total Cost	: Biaya Total, penjumlahan antara biaya tetap dengan biaya variabel
Topografi	: studi tentang permukaan tanah
Unsur Hara Makro	: Senyawa-senyawa di dalam tanah yang keberadaannya dibutuhkan dalam jumlah besar atau banyak.
Unsur Hara Mikro	: Senyawa-senyawa di dalam tanah yang keberadaannya dibutuhkan dalam jumlah yang kecil atau sedikit.
<i>Variable Cost</i>	: Biaya Variabel, yaitu biaya yang tergantung kepada produksi
Vegetasi	: Kumpulan dari beberapa jenis tumbuhan yang tumbuh bersama-sama pada suatu tempat
Volatilisasi	: Kehilangan N dalam bentuk gas NH_3

Zona agroekologi (AEZ) : hasil pengelompokan tanah, bentuk wilayah dan iklim dari suatu wilayah yang sangat membantu dalam pembangunan sistem pertanian suatu daerah

INDEKS

A

abiotik 87, 91, 100, 120, 122, 123, 127, 190
adsorpsi 89, 99, 241
aerasi 3, 32, 33, 90, 137, 140, 143
aerob 18, 51, 55, 94, 219
agroekosistem 14, 17, 93, 122, 124, 132, 145, 189
agrokimia v, 3, 21, 43, 47, 48, 92, 117, 126, 134, 135, 143, 182, 185, 189, 190, 238
akumulasi 12, 20, 21, 34, 35, 36, 51, 72, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 126, 135, 141, 147, 190, 242
alih fungsi lahan 118, 189, 191
ambang kritis 13, 43
amelioran 7
anorganik 24, 27, 42, 43, 44, 76, 93, 94, 97, 104, 129, 130, 149, 190, 240, 246
antropogenik 13, 49, 191, 253
aplikasi 23, 24, 37, 77, 82, 85, 86, 88, 97, 99, 114, 123, 134, 138, 143, 147, 166, 205, 221, 224, 230
arang aktif 239
arsen 6
arsenik 93
azolla 105
azoxystrobin 23

B

bacillus 95, 96, 122, 131, 144
bahan agrokimia v, 3, 21, 43, 47, 48, 117, 126, 134, 135, 143, 182, 185, 189, 190
bahan pembenah tanah 82, 88
bakteri 41, 42, 51, 83, 85, 86, 87, 90, 93, 94, 106, 122, 131, 136, 144, 239, 244, 247
bakteri nitrifikasi 51
banjir 5, 10, 18, 19, 28, 30, 117, 125, 127, 132, 183, 190, 191, 194
bawang merah 49, 50, 53, 134, 135, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 156, 157, 232
biotik 87, 91, 122, 123, 127, 132, 190
belukar 11, 104
benefit 176, 177, 191, 247
beras 6, 52, 107, 119, 178, 209
berat timbal 4, 7
bioaugmentasi 90, 91
biochar 8, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 114, 130, 143, 144, 196, 197, 200, 202, 207, 209, 210, 215, 217, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 228, 230, 233, 234
biodegradasi 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97
biodiversitas 2, 129

biogas 184, 231
biologis 2, 3, 17, 32, 37, 76, 77, 89,
91, 93, 95, 97, 105, 241, 245
biomassa 37, 38, 39, 76, 77, 78, 87,
97, 99, 100, 104, 105, 107, 111,
133, 182, 192, 210, 244
biopestisida 131, 141, 145
bioremediasi 88, 89, 90, 92, 93, 94,
95, 97
biosparging 90
biostimulasi 90
biota tanah 22, 37, 76, 92, 107
bioventing 90
BMR 23, 53, 54, 184, 186, 238
BOD (*Biological Oxygen Demand*)
57, 58
bulk density 33, 34

C

cattail 105
cekaman osmotik 35
cemaran v, 17, 50, 62, 65, 69, 80, 208,
229, 232
COD 55, 57, 58
curah hujan 14, 22, 28, 29, 30, 37, 44,
124, 125, 140, 243, 246, 249

D

daerah aliran sungai 24, 66, 151, 232
data spasial 218
debu 11, 63, 72, 94, 115
deforestasi 38
degradasi vii, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12,
22, 43, 72, 75, 78, 89, 116, 117,
118, 126, 137, 155, 160, 182,
183, 189, 190, 191, 192, 248
degradasi lahan vii, 1, 2, 3, 6, 8, 12,
22, 72, 116, 137, 155, 160, 182,
192, 248
dekomposer 38
dekomposer serasah 38
dekomposisi 18, 77, 86, 87, 93, 122,
240
deltametrin 24

denitrifikasi 44, 51, 83
DHL 14, 17, 40, 60, 71, 72, 73, 74,
199, 218, 240
diazinon 53, 203
difusi 28
disosiasi larutan tanah 240
dispersi agregat 32
dissolved organic carbon (DOC) 37
dosis 19, 37, 51, 86, 118, 121, 126,
129, 130, 135, 138, 141, 145,
161, 162
drainase 2, 3, 16, 17, 18, 32, 33, 35,
44, 45, 75, 76, 78, 80, 81, 137,
140, 143, 157
duckweed 105

E

eceng gondok 105
ekologi 4, 31, 37, 50, 94, 105, 118,
124, 144, 154, 241
ekonomi 6, 10, 18, 31, 38, 69, 86, 94,
98, 114, 118, 121, 122, 123,
133, 134, 148, 152, 153, 154,
162, 173, 175, 183, 189, 192,
216
ekosistem 2, 3, 12, 15, 17, 22, 23, 24,
27, 28, 31, 38, 39, 44, 47, 62,
76, 77, 83, 98, 99, 114, 122,
123, 126, 132, 147, 149, 157,
181, 187, 191, 237, 241, 244,
245, 249
eksploitasi 9, 13
endapan sulfur 44
endosulfan 26, 53, 54, 221
endrin 54
erosi 1, 2, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 32,
33, 34, 37, 38, 44, 45, 69, 70,
79, 98, 104, 112, 115, 117, 121,
125, 128, 133, 137, 150, 152,
153, 155, 190, 191, 230
erosi tanah 1, 14, 15, 44, 104, 112,
115, 117
eutrofikasi 17, 24, 28, 37
eutrofikasi permukaan air 37

F

feasible 177, 241
fipronil 23, 24
fitoekstraksi 98, 99, 100
fitofiltrasi 98, 99
fitoremediasi 7, 90, 98, 99, 100, 104
fitostabilisasi 98, 99
fitovolatilisasi 98, 99, 104
fixed cost 165, 171
food security 5
fungisida 53, 136

G

gambut 12, 13, 17, 18, 19, 36, 40,
106, 158, 187, 191, 194, 207,
217, 219, 231, 245
gangguan 2, 23, 24, 25, 30, 44, 76, 80,
97, 121, 183, 184, 190, 247
gas rumah kaca (GRK) 24, 28, 45,
186, 191
GEE 242
gempa bumi 10, 11, 242
Gross B/C 162, 242

H

hama 22, 23, 25, 28, 47, 78, 106, 119,
120, 122, 123, 127, 131, 132,
135, 136, 138, 141, 143, 144,
145, 148, 149, 151, 152, 154,
156, 157, 163, 184, 185, 194,
247, 250
herbisida 23, 24
hidrologi 2, 33, 182
hormon 25
hortikultura 13, 114, 117, 118, 134,
135, 181, 184, 186, 194
hujan asam 27
hutan hujan tropis 38

I

iklim v, 1, 5, 12, 13, 22, 28, 30, 31,
38, 44, 47, 72, 77, 114, 115,
118, 120, 122, 124, 126, 127,

133, 134, 152, 153, 164, 178,
181, 182, 186, 187, 189, 191,
193, 194, 221, 228, 242, 247,
248, 249, 254

iluviasi 32
imidacloprid 23, 24
indikator pendorong 243
industri tekstil 27, 35, 55, 57, 59, 60,
80, 81, 204, 205
infiltrasi 15, 22, 33, 34, 36, 246
innovation 166, 252
inovasi 197, 203, 216, 228, 229, 243,
268, 280
input 16, 36, 92, 106, 111, 114, 116,
133, 151, 154, 155, 163, 164,
165, 166, 167, 168, 169, 170,
171, 176, 244, 250, 252
insektisida 6, 43, 53, 203, 232
insurance 165
intrusi air laut 7, 20, 21, 72, 73, 74,
183, 191, 209
invention 166
irigasi 3, 11, 23, 27, 30, 41, 43, 44, 49,
52, 56, 57, 58, 66, 74, 80, 112,
113, 114, 124, 125, 126, 132,
146, 151, 157, 194, 211
IRR 162, 177, 244
isoquant 167

J

jagung 13, 15, 33, 51, 94, 106, 111,
112, 113, 118, 126, 127, 128,
129, 130, 131, 132, 133, 134,
144, 161, 162, 164, 165, 171,
172, 173, 174, 175, 176, 177,
178, 197, 230
jerami 20, 94, 120, 144, 151, 156, 230

K

kadmium 4, 7, 41, 56, 93, 229
kanker 23, 25, 37, 135
karbamat 53
karbon 2, 3, 18, 22, 25, 28, 37, 38, 39,
77, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90,

- 94, 96, 107, 115, 121, 133, 134,
150, 153, 154, 187, 194, 240,
244
- karbosulfan 24, 54
- karsinogenik 97
- keanekaragaman hayati 3, 12, 15, 17,
22, 24, 31, 37, 38, 76, 78, 105,
116, 181, 183, 190
- kebakaran lahan 18, 19, 244
- kekahatan unsur hara 244
- kekeringan 5, 10, 12, 16, 21, 28, 29,
30, 79, 114, 117, 120, 127, 128,
151, 183, 186, 190, 191, 194
- kemasaman 21, 57, 82
- kemasaman tanah 21
- keracunan 3, 21, 34, 36, 63
- keracunan unsur hara 34, 36
- kering tidak balik 19
- kerusakan lahan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,
9, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 21,
31, 32, 37, 39, 41, 43, 45, 63,
116, 163, 170, 181, 183, 185,
187, 189, 190, 193, 210, 211,
243
- kesehatan 12, 14, 23, 24, 25, 41, 47,
63, 76, 77, 78, 80, 82, 85, 88,
92, 93, 97, 99, 100, 106, 107,
111, 112, 114, 115, 116, 121,
123, 126, 130, 134, 136, 152,
184, 185, 190, 193, 228, 243,
245
- kesehatan tanaman 76, 93, 152, 245
- kesuburan 5, 13, 15, 22, 23, 25, 28,
36, 37, 38, 54, 59, 63, 65, 69,
76, 77, 82, 83, 84, 87, 88, 93,
98, 114, 121, 126, 130, 137,
154, 155, 156, 178, 238, 245
- kesuburan tanah 13, 15, 22, 25, 36,
37, 54, 59, 63, 69, 76, 77, 82,
83, 84, 88, 93, 98, 114, 121,
126, 130, 137, 154, 155, 238
- khelasi 82
- kimia 1, 2, 3, 5, 12, 16, 18, 19, 23, 24,
25, 27, 34, 40, 41, 43, 47, 51,
55, 56, 57, 59, 63, 64, 65, 69,
71, 72, 75, 76, 77, 78, 80, 82,
84, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 94,
95, 97, 106, 111, 112, 114, 115,
116, 118, 121, 123, 126, 130,
131, 133, 135, 137, 138, 141,
142, 144, 145, 147, 149, 150,
151, 152, 155, 161, 171, 173,
175, 178, 181, 185, 192, 193,
198, 199, 217, 223, 237, 238,
242, 243, 244, 250, 251, 252
- klorpirifos 23, 53, 144, 203
- kompos 7, 24, 48, 85, 106, 111, 130,
143, 144, 149, 151, 154
- konduktivitas hidrolik 33
- konsentrasi 4, 7, 17, 19, 24, 25, 28,
35, 36, 37, 41, 43, 50, 51, 52,
53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 65,
67, 72, 81, 82, 89, 90, 91, 98,
100, 105, 186, 190, 191, 249
- konservasi vii, 5, 6, 8, 16, 37, 107,
112, 114, 115, 121, 124, 127,
128, 129, 132, 133, 137, 149,
150, 151, 152, 153, 193, 222,
237, 253
- kontaminasi 42, 43, 50, 54, 78, 88, 89,
90, 91, 97, 117, 190, 228, 247,
251
- kromium 7, 57
- ## L
- lahan basah 7, 16, 17, 39, 105, 190,
196
- lahan kering 11, 13, 14, 15, 16, 39, 72,
124, 126, 132, 133, 140, 155,
160, 175, 190, 197, 222
- lahan kritis 2, 4, 6, 14, 19, 82, 150,
151
- lahan sayuran 49, 53, 203
- lahan sulfat masam 12, 18, 21, 245
- lempung 33, 63, 83, 84, 86, 106, 107,
110
- lestari 9, 155, 181
- limbah 4, 6, 7, 21, 27, 28, 35, 40, 41,
42, 43, 47, 54, 55, 56, 57, 58,

59, 60, 67, 78, 80, 81, 83, 88, 89, 92, 95, 96, 97, 98, 104, 116, 130, 133, 134, 150, 151, 184, 194, 196, 197, 198, 204, 205, 213, 225, 231, 241

Limpasan Permukaan (*Run-Off*) 246

lingkungan v, vii, viii, 1, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 31, 33, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 52, 54, 55, 62, 63, 65, 67, 69, 71, 72, 75, 76, 82, 84, 85, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 104, 105, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 130, 131, 133, 134, 135, 137, 141, 143, 145, 148, 149, 151, 153, 154, 155, 157, 164, 174, 175, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 205, 213, 214, 216, 224, 229, 232, 237, 239, 240, 242, 244, 245, 251, 267, 276

litogenik 49

logam berat v, 4, 7, 23, 24, 27, 40, 41, 42, 43, 44, 48, 49, 50, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 65, 67, 69, 80, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 126, 208, 213, 226, 228, 241, 242, 251, 272

longsor 5, 10, 13, 16, 190, 194

M

mancozeb 221

merkuri 7, 41, 63, 65, 66, 93, 192, 196, 234, 237

metalklorpirifos 23

mikroba 17, 24, 38, 40, 42, 59, 70, 78, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 97, 105, 106, 107, 112, 114, 126, 130, 131, 143, 194, 238, 245

mikroba tanah 38, 42, 70, 87, 107, 112, 114

mikroorganisme 7, 19, 22, 28, 38, 43, 71, 83, 85, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 114, 116, 122, 137

mineralisasi bahan organik 36

mixed farming 246

model 127, 133, 150, 154, 217, 225

monokultur 34

N

nabati 111, 114, 141, 145

NDVI 247

NDWI 247

Net B/C 162, 177, 247

nitrat 32, 35, 48, 50, 51, 52, 83, 105, 116, 197, 229, 231, 240, 247, 250

nitrifikasi 35, 44, 51

non-volumetrik 32

NPV 162, 176, 177, 247

nutrisi 5, 14, 34, 36, 37, 38, 76, 77, 78, 79, 84, 85, 87, 89, 90, 91, 93, 94, 97, 108, 114, 122, 239, 241, 252

O

oksidasi 18, 21, 36, 40, 51, 68, 82, 87, 89, 247, 251

organik 2, 3, 7, 8, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 27, 34, 35, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 57, 63, 64, 65, 71, 76, 77, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 98, 99, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 122, 129, 130, 134, 135, 137, 138, 141, 143, 144, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 160, 161, 162, 163, 164, 171, 178, 179, 183, 184, 185, 190, 194, 197, 221, 239, 245, 246, 253, 281

organisme 7, 22, 23, 25, 27, 28, 42,

- 48, 75, 76, 77, 78, 94, 116, 135, 144, 185, 191, 194, 238, 239, 240, 241, 247, 251, 253
- organofosfat 53
- organoklorin 43, 53, 184
- output 116, 166, 167, 168, 169, 170, 244, 250
- P**
- pangan v, 5, 6, 10, 12, 13, 22, 28, 31, 42, 43, 66, 73, 77, 78, 88, 100, 117, 118, 119, 123, 126, 134, 135, 141, 161, 181, 183, 186, 189, 190, 191, 192, 194, 209, 216, 228, 237, 248
- parakuat 54
- patogen 76, 77, 78, 122, 136, 137, 142, 143, 144, 151
- payback period* 248
- pemadatan tanah 32, 33, 34
- Penambangan tanpa izin (PETI) 249
- pencemaran v, vii, viii, 3, 4, 6, 7, 9, 12, 16, 17, 21, 23, 24, 27, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 50, 51, 54, 56, 57, 62, 65, 67, 76, 78, 80, 116, 117, 135, 181, 182, 183, 184, 185, 187, 189, 191, 192, 193, 231, 238, 241, 251, 279
- industri 41
- lingkungan v, viii, 3, 4, 12, 21, 43, 47, 65, 76, 117, 135, 181, 182, 185
- pencucian 17, 19, 21, 32, 34, 36, 37, 44, 49, 51, 63, 69, 72, 77, 80, 81, 83, 92, 97, 98, 111, 250
- pencucian hara 36, 77
- pencucian unsur hara 34, 36, 37
- pengasaman tanah 18, 34, 35, 116, 247
- penggundulan hutan 1, 3, 29
- penggurunan 1, 117
- perak 41, 93, 212
- perkebunan 11, 23, 83, 88, 117, 147, 148, 150, 154, 155, 184, 186, 194, 248, 249, 284
- perkolasi 33, 36, 70
- perkolasi air 36
- Persistent Organic Pollutants* 21, 25, 184, 185, 249
- perspektif 1
- pertambangan vii, 3, 7, 29, 34, 35, 40, 43, 45, 47, 60, 62, 63, 66, 67, 78, 192, 210, 249
- perubahan iklim v, 1, 5, 12, 22, 28, 31, 44, 77, 115, 118, 120, 124, 126, 127, 133, 134, 152, 153, 178, 181, 182, 186, 187, 189, 191, 193, 194, 228, 248
- pestisida v, 1, 3, 4, 5, 6, 12, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 41, 43, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 82, 92, 94, 95, 108, 115, 117, 118, 123, 124, 126, 131, 134, 135, 141, 144, 145, 147, 149, 151, 155, 163, 164, 165, 175, 181, 184, 185, 186, 190, 229, 238, 251, 268, 272
- piretroid 53
- pirit 18, 21
- polusi 3, 9, 16, 29, 34, 45, 50, 90, 91, 98, 100, 104
- poplar 105
- pori-pori tanah 32, 33, 249
- production function* 250
- production possibility set* 250
- produktivitas vii, 2, 5, 6, 15, 19, 21, 24, 30, 31, 33, 44, 47, 59, 73, 75, 76, 77, 78, 84, 88, 93, 114, 118, 119, 120, 121, 124, 126, 127, 128, 130, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 143, 148, 149, 151, 152, 155, 160, 161, 162, 179, 186, 190, 191, 192, 193, 244, 245, 251
- lahan vii, 2, 5, 19, 21, 59, 76, 134, 143, 155, 191, 192, 244
- pertanian 5, 6, 30, 44, 75, 134, 149
- profit 168, 169
- pupuk 1, 3, 4, 5, 6, 12, 16, 19, 20, 21,

24, 25, 34, 35, 37, 43, 44, 47,
48, 49, 50, 51, 78, 82, 83, 84,
86, 88, 106, 107, 111, 114, 115,
116, 117, 118, 120, 121, 126,
129, 130, 134, 135, 137, 138,
140, 141, 143, 144, 147, 149,
150, 151, 152, 153, 154, 155,
156, 160, 161, 162, 163, 164,
165, 171, 172, 173, 175, 178,
179, 181, 184, 197, 199, 223,
226, 228, 230, 232, 238

Q

QGIS 250

R

racun 22, 25, 54, 78, 80, 114, 243, 250
ramah v, vii, 3, 55, 91, 93, 97, 98, 117,
118, 119, 126, 128, 133, 135,
137, 141, 143, 145, 151, 153,
157, 164, 181, 189, 192, 193,
276

Rawa Lebak 280

RCR 164, 166, 172, 173, 174, 179,
252

reduksi 36, 68, 82, 89, 93

rehabilitasi lahan vii, 1, 193

reklamasi 7, 62, 70, 71, 98, 99

remediasi 80, 94, 97, 98, 99, 105

residu v, 3, 23, 35, 37, 43, 52, 53, 54,
82, 92, 108, 116, 126, 135, 141,
143, 144, 184, 186, 190, 203,
210, 221, 238, 244, 268, 272

resistansi tanah 250

resistensi 34

retakan 21

retensi 36, 38, 77, 79, 83, 84, 87, 106,
196

revolusi hijau 22, 47, 155, 190

RGB 251

rhizodeposit 85, 86, 206

S

salinisasi 3, 5, 34, 35, 72, 76

saluran 16, 18, 27, 30, 35, 137, 140,
157, 246

sebaran 4, 27, 35

semak 11, 104, 133

semak belukar 104

semprot 43

senyawa 3, 23, 27, 28, 51, 55, 57, 75,
76, 80, 84, 88, 89, 90, 97, 98,
104, 108, 147, 184, 192, 197,
237, 240, 244, 245, 247, 248,
250, 251, 253

shadow price 162

sifat kimia tanah 25, 65, 71, 82, 84,
86, 223

sintesis v

sosial 10, 18, 31, 69, 118, 126, 144,
148, 153, 183, 184, 186, 187,
192, 193, 241, 252

subsiden 18, 117

sulfat masam 12, 18, 21, 245, 246

sumber daya alam 4, 9, 28, 44, 126,
149, 155, 162, 189, 193, 194

surjan 157

swasembada 190

T

tailing 67, 69, 253

tambang emas 43, 60, 61, 62, 63, 65,
67, 196, 198, 209

tanah longsor 10, 13

tanggul 30

taxes 165

teknologi v, vii, 7, 8, 10, 47, 54, 76,
78, 88, 91, 92, 98, 116, 118,
119, 121, 124, 125, 141, 142,
149, 155, 158, 161, 164, 165,
166, 167, 168, 170, 173, 174,
175, 184, 190, 192, 193, 194,
231, 243, 249, 252, 276

tektonik 10, 11, 242

tempurung 83, 88, 130, 144, 197, 207,
223

tepung 111, 160

timbangan 4, 7, 41, 93, 241

toksikologi 78
toksisitas 23, 25, 36, 89, 91
tongkol 94, 130, 131, 144
top soil 2, 45, 71, 77
total cost 165
tsunami 10, 11, 72, 223

U

unsur hara makro 19, 36, 71
unsur hara mikro 36
urea 35, 51, 129, 130, 134, 143, 144,
149, 161, 228

V

Variable Cost 179, 253
vegetasi 2, 3, 14, 15, 22, 31, 37, 38,
39, 69, 99, 115, 153, 155, 244,
247, 248
vulkanik 10, 11, 242

BIOGRAFI PENULIS



Wahida Annisa Y. Menyelesaikan S1 bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat (1999), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2010), dan S3 bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2014). Saat ini menjabat Kepala Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan). Penulis menjadi peneliti Ahli Madya pada Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi tahun 2018-2021. Menjadi Ketua Kelompok Peneliti Pemulihan dan Mikrobiologi Rawa tahun 2020-2021. Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana penelitian tim peneliti (RPTP) tahun 2015-2021. Mengikuti pelatihan/kursus: 1) *Basic Training Course CO₂ Emission Estimation From Peatland in Central Kalimantan* (Penyelenggara IJ Redd+ Project JICA) tahun 2015; 2) *Advance Training Course GHG Emission Estimation From Peatland in Central Kalimantan* (Penyelenggara IJ Redd+ Project JICA) tahun 2015; 3) Workshop peningkatan Kapasitas Negosiasi dan Diplomasi (Penyelenggara: Pusklat KEMENLU, Balitbangtan, tahun 2015; 4) *The International Course On Climate Change and Food Security Nexus in Wageningen, The Nethederland* (Penyelenggara: CDI, Wageningen), Tahun 2016; 5). Sebagai nara sumber pada seminar (1) Seminar Nasional "Soil Collaboration Fair 2017" dengan Topik Pertanian Presisi Sebagai upaya Penunjang Kedaulatan Pangan Indonesia, UGM Yogyakarta, 21 Oktober 2017; (2) Seminar "Bamboo for Biochar" dengan judul Peran Biochar di Lahan Rawa Pasang Surut, UGM Yogyakarta 15 Maret 2019; (3) Seminar Nasional hari Pangan Sedunia (HPS Ke-38) dengan Topik: "Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Produksi Pangan, Banjarbaru, 17 Oktober 2019; (4) *Workshop on the use rock phosphate to increase soil fertility and crop*

productivity (Penyelenggara OCP SA and IAARD), Tahun 2019. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: annisabalittra77@gmail.com



Helena Lina Susilawati. Menyelesaikan S1 dari jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Sebelas Maret, Surakarta pada tahun 2002 dan melanjutkan pendidikan S3 dari *Department of Environmental Horticulture, Graduate School of Horticulture, Chiba University, Japan* dan selesai tahun 2016. Saat ini sebagai peneliti Ahli Madya pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran klimatologi, dan Hidrologi. Menjadi penanggung jawab Laboratorium Gas Rumah Kaca pada tahun 2007. Ketua Kelompok Peneliti Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca tahun 2008-2011. Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana penelitian tim peneliti (RPTP) pada tahun 2009-2021. Tahun 2005 mengikuti Pelatihan Klasifikasi Tanah di Pati, Jawa Tengah. Pada tahun 2007, mengikuti pelatihan Analisis Logam Berat dan Residu Agrokimia. Sebagai delegasi yang mewakili kegiatan *Field Measurements of Greenhouse Gas Emissions (CH₄, N₂O) from Direct Seeded Rice in Central Java* di Vientiane Laos pada tahun 2011. Pada tahun 2013, mengikuti *GHG Inventories in Asia (WGIA11)* di Tsukuba, Jepang. Pada tahun 2016, mengikuti pelatihan *Climate Change and Food Security Nexus 2* dengan penyelenggara *CDI-Wageningen University* di Wageningen, Belanda dan pelatihan editing kreatif di Cisarua, Bogor. Pada tahun 2017, mengikuti *Improvement of N₂O Emission Factor from Nitrous Oxide from Agriculture Soil Management* yang diselenggarakan oleh USAID di Hyderabad, India dan pelatihan karya tulis ilmiah internasional di Sentul, Bogor. Pada tahun 2018, mengikuti *Rice Landscape and Climate Change* yang diselenggarakan oleh APEC di Bangkok, Thailand. Pada tahun 2019, mengikuti *establishing Climate Smart Villages in ASEAN Region to Improve Food Security and Resiliency in Local Community* yang diselenggarakan oleh CCAFS SEA di Los Banos, Filipina. Pada tahun 2020, mengikuti *training on the Introduction and Usage of Tools/Methods to Develop and Improve the Quality and Evaluation of the National Greenhouse Gas Inventories*

yang diselenggarakan oleh CCROM SEAP-IPB dan Pemerintah Belanda dilakukan secara online. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: helenalina_s@yahoo.com



Anicetus Wihardjaka dilahirkan di Padang Panjang, tanggal 17 April 1964. Penulis menyelesaikan S1 dari Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 1990, S2 dari Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor tahun 2001, dan S3 dari Sekolah Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada tahun 2011. Hingga sekarang, penulis adalah peneliti utama di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, dengan bidang penelitian ilmu tanah dan lingkungan pertanian. Penulis pernah menjabat sebagai Pimpinan Bagian Proyek Litbang Sumber Daya Lingkungan (sejak Januari 2003-2005), asisten peneliti pada Lembaga Penelitian Padi Internasional (IRRI) pada tahun 1990–1992, penanggungjawab penelitian kerja sama antara Arcadia-UC Davis-BB BIOGEN tahun 2013-2017, menjadi anggota tim lingkungan Kementerian Pertanian tahun 2019-2020, menjadi pengurus organisasi ilmiah Perhimpunan Agronomi Indonesia (PERAGI) komda Jawa Tengah tahun 2018 s.d. sekarang, menjadi pengurus Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO) komda Jawa Tengah tahun 2019 s.d. sekarang, kemudian menjadi Koordinator Program pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian sejak tahun 2013–2021. Pelatihan yang pernah diikuti di antaranya *Expert Dialogue Workshop* yang diselenggarakan oleh DCCCEE di Australia pada tahun 2013, pelatihan Ahli Pengadaan Nasional tahun 2012, *Data Management Course* tahun 2001, *Researcher Links Climate Challenge (RLCC) Workshop* di Thailand tahun 2017, SRINM Course di Philipina, dan INSURF Course di Philipina tahun 1991. Penulis mendapatkan tanda kehormatan SATYA LENCANA KARYA SATYA XX pada tahun 2016. Penulis juga menjadi penelaah dan penyunting pada jurnal nasional maupun internasional. Beberapa hasil penelitian telah dipublikasikan ke dalam Prosiding dan Jurnal baik nasional maupun internasional.

Email: a_wihardjaka@yahoo.co.id.



Elisabeth Srihayu Harsanti. Menyelesaikan S1 pada jurusan Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (1994), S2 dalam program studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada (2008), dan S3 program studi Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia (2017). Saat ini sebagai peneliti Ahli Madya pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan

Hidrologi; **Bidang Penelitian Ilmu Lingkungan dan Pencemaran Sumber daya Lahan.** Menjadi Ketua Kelompok Peneliti Evaluasi dan Pengendalian Pencemaran Pertanian di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian tahun 2017 hingga sekarang. Mengikuti training Analisis residu pestisida di Laboratorium Analisis Residu di Cimanggu Bogor (2003); Magang analisis tanah di Laboratorium Balittanah (2010); *On Job-training di International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Filipina* (Februari – Mei 2012). *Short Training “Botanical Pesticides: Plant extraction method and evaluation of the effect on pest insect” in Queensland University, Australia* (6-10 August 2018); Delegasi RI pada *Sidang Codex Committee on Pesticide Residue CCPR51* di Macau, China (8-13 April 2019). Pernah menjadi narasumber, (1) Workshop Hortikultura Ramah Lingkungan dengan di Ditjen Hortikultura dengan topik ”Penggunaan Pestisida: Kondisi saat ini dan Dampak Penggunaan Pestisida terhadap manusia dan Lingkungan” , (2) Narasumber Seminar Nasional IPA XI di UNNES dengan topik “Dukungan Inovasi Ramah Lingkungan dalam Pembelajaran IPA di Masa Pandemi”. Dan (3) Seminar Daring Seri #12 di SIL Universitas Indonesia dengan topik “Inovasi Tanaman Pangan Keluarga dalam Masa Pandemi”. Pernah terlibat Penelitian kerjasama, “*Mitigation of Pesticide Residue Through Promotion Use of Biopesticide*” (Penelitian Kerjasama APAARI-Litbang Pertanian, 2021); dan penanggungjawab kegiatan Penelitian kerjasama Balingtan-PT TJS (2019). Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik nasional maupun Internasional.

Email: esharsanti@gmail.com



Terry Ayu Adriany. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman (2009). Saat ini sebagai peneliti Ahli Muda pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian dengan bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi anggota 1) Kelompok Peneliti Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca tahun 2011 sampai sekarang; 2) Kegiatan kerjasama penelitian dengan *National Agriculture and Food Research Organization* (NARO) pada kegiatan MIRSA-3 dengan judul penelitian *Development of comprehensive rice cultivation technologies that reduce greenhouse emissions in Asia* pada tahun 2019-2021; 3) Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO) pada tahun 2019 sampai sekarang; 3) Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana operasional penelitian pertanian (ROPP) pada tahun 2018-2021. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) *The Rice Landscapes and Climate Change workshop* 10-12 Oktober 2018 dengan penyelenggara kegiatan *Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific*; 2) *Regional Workshop on Improvement and Development of Methane Emission Factor from Rice Cultivation*, Pati, 1-4 Februari 2016, penyelenggara *United States Agency of International Development* (USAID). Menghadiri seminar internasional dan nasional: 1) *Seminar Internasional 1st International Conference on Sustainable Tropical and Management; Virtual*, 16-18 September 2020, *Oral Presenter*, penyelenggara *Indonesian Center of Agricultural Land Resource Research and Development*; 2) *Seminar Nasional Hasil Penelitian Pertanian XI Penguatan penelitian dalam rangka mendukung implementasi Smart Eco Bio-Production*, penyelenggaraan Universitas Gadjah Mada; Telah menghasilkan publikasi pada prosiding dan jurnal ilmiah baik internasional maupun nasional.

Email: terry_jaa@yahoo.com



Triyani Dewi. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2003), S2 dalam bidang studi Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan (PSL), Institut Pertanian Bogor (2012), dan S3 bidang studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada (2021). Saat ini sebagai peneliti Ahli Muda pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Pernah mengikuti pelatihan/pertemuan:

- 1). *Agricultural Courses on The Development of Tropical Wheat* tahun 2012 di Salatiga (Penyelenggara UKSW Salatiga)
- 2). *Workshop on Phytotechnologies as Remediation for Contaminated Sites* tahun 2012 di Taiwan (Penyelenggara Taiwan Environmental Protection Administration);
- 3). *Workshop* Penyiapan Karya Tulis Ilmiah untuk Jurnal Internasional tahun 2013 di Bandung dan Bogor (Penyelenggara Pusat Perpustakaan dan Penyebaran Teknologi Pertanian, Kementerian Pertanian);
- 4). Magang “Ketidakpastian Pengukuran dalam ISO 17025: 2005” tahun 2013 di Yogyakarta (Penyelenggara Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, UGM);
- 5). Anggota DELRI pada sidang *Codex Committee on Contaminants in Foods* (CCCF) ke-8 tahun 2014 di Hague, Netherland;
- 6). *4th Annual Review dan Planning Meeting Climate Change Adaptation in Rainfed Rice Areas* (CCARA) tahun 2014 di Vientiane, Laos (Penyelenggara *International Rice Research Institute*);
- 7). Pelatihan *Corrective Action - Preventive Action (CAPA) for Laboratory dan Services* tahun 2014 di Jakarta;
- 8). Anggota DELRI pada sidang *Codex Committee on Contaminants in Foods* (CCCF) ke-9 tahun 2015 di New Delhi, India;
- 9). *Training on Quality Assurance of Testing Data* tahun 2015 di Bandung (Penyelenggara RC Chem Learning Centre);
- 10) *1st Annual Review and Planning Meeting for CCADS-RR* tahun 2016 di Bogor (Penyelenggara *International Rice Research Institute*);
- 11). Sebagai narasumber pada Kegiatan Mentan Sapa Petani dan Penyuluh Pertanian (MSPP) Volume 43 secara virtual tanggal 19 November 2021 (Penyelenggara Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian). Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/ Jurnal baik Nasional maupun Internasional.

Email: triyaniidewi@yahoo.com.



Ali Pramono. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Mikrobiologi, Jurusan Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (1998), S2 dalam bidang studi Bioteknologi, Fakultas Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada (2011). Saat ini sebagai peneliti Ahli Muda pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi Ketua Kelompok Peneliti

Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca pada tahun 2013 sampai sekarang. Ditugaskan sebagai penanggungjawab rencana operasional penelitian tim peneliti (ROPP) pada tahun 2013-2021. Pernah mengikuti pelatihan/kursus : 1) *Training on WeRise, a Seasonal weather forecast-based decision support system for intensifying rainfed rice production in Southeast Asia* di Filipina, tahun 2015; 2) *Training on Green Agricultural Cultivation and Management* di Taiwan, tahun 2016; 3) *Training Sustainable Agriculture based on Sufficiency Economy Philosophy* di Thailand, tahun 2018; 4) *Online Training on the Introduction and Usage of Tools/Methods to Develop and Improve the Quality and Evaluation of the National Greenhouse Gas Inventories* tahun 2020; 5) *Training Penggunaan 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories* untuk Pengembangan Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca, tahun 2021; 6) *The Agricultural SdanT (Green Rice) Professionals Workshop for BRI Countries in Southeast Asia secara online*, tahun 2021. Sebagai narasumber pada *Workshop Rice Landscapes and Climate Change* di Bangkok, tahun 2018. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: ali_pramono@yahoo.com.



Asep Kurnia. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Hama Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (2000), S2 dalam bidang studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Gifu University, Jepang (2016). Saat ini sebagai peneliti Ahli Muda pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Bidang Penelitian Pencemaran Lingkungan. Ditugaskan sebagai penanggung jawab

rencana penelitian tim peneliti (RPTP) pada tahun 2017-2021. Manajer Teknis Laboratorium 2017-Sekarang. Delegasi Republik Indonesia pada *Codex Committe for Pesticides Residue Meeting* ke 52 Tahun 2021. Delegasi Republik Indonesia pada ASEAN EWG MRLs 25-26 Tahun 2021 dan 2022. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) *Short Training Course on Plant Extraction Methodologies Australia*, 2018; 2) *South East Asia Laboratory Network (SEALNET) Workshop*, Bogor, 2017 3) *Marco Satellite Symposium NIAES*, Jepang, 2012 (4) Pelatihan analisis residu pestisida dan logam berat, Pati 2007 (5) Pelatihan operasional GC dan AAS, Pati, 2007. (6) Pelatihan operasional HPLC, Jakarta, 2011. (7) Pelatihan operasional GC-MS Pati, 2018. (8) Sosialisasi ISO/IEC 17025:2017, Pati, 2019. Sebagai nara sumber pada acara (1) *Sharing invaluable insights and inspirations to the students and teachers with the topic "Should farmers use chemical pesticides without considering their consumer health and environmental impact to increase agricultural productivity?"* Online, 2021. (2) FGD Dalam rangka pelaksanaan proyek WIPO GREEN *Acceleration Project*, Online, 2021 (3) Bimbingan Teknis dalam rangka World soil day, dengan tema "Tanah sehat demi terwujudnya pertanian berkelanjutan", online, 2020. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: asep_balingtan@yahoo.co.id.



Sukarjo. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada (1997), S2 dalam bidang studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2007). Saat ini sebagai peneliti Ahli Madya pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi Anggota Kelompok Peneliti Evaluasi dan Pengendalian Pencemaran Pertanian tahun 2013 sampai sekarang. Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana penelitian tim peneliti (RPTP) pada tahun 2015-2021. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) *FAO-OSU Training Course on Planning and Implementing Sustainable IPM System. in OSU-Oregon, USA* tahun 2013; 2) *International Training on Digital Soil Property Mapping and Map Delivery, Kementan Soil Partnership, FAO* tahun 2019. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.
Email: sukarjo@gmail.com



Ika Ferry Y. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret (2007) dan S2 pada bidang studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada (2022). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian dengan bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) *Regional Workshop on Improvement and Development of Emission Factor for Methane from Rice Cultivation.* Indonesia 2016. 2) Bimbingan Teknis Teknologi Pertanian Ramah Lingkungan 2018. 3) *International Workshop and Seminar on Ecofriendly Technology and Sustainable Food Self-Sufficiency* Indonesia 2018.
Email: ikkaferry@yahoo.co.id



Nurma Al Viandari. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (2016). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian dengan bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi anggota Kelompok Peneliti Emisi dan Adsorpsi Gas Rumah Kaca. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) sebagai peserta pada “2022 *Weekend Program*” (Diseenggarakan oleh *Department of Animal Science, National Chung Hsing University, Taiwan*), 2)

sebagai peserta pada Bimbingan Teknis Online Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika (Diselenggarakan oleh Balitjestro 2020), 3) sebagai peserta pada *Research Writing and Publication Workshop Series 2020* (Diselenggarakan oleh Elsevier). Telah menghasilkan beberapa publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: nurma.al.viandari@gmail.com



Eni Yulianingsih. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret (2001) dan S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2004). Saat ini sebagai peneliti Ahli Muda pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi Ketua Kelompok Peneliti Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca tahun 2018. Menjadi Ketua Kelompok Peneliti Emisi dan Absorpsi Gas Rumah Kaca tahun

2018. Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana operasional penelitian tingkat peneliti (ROPP) pada tahun 2014-2016. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) *Workshop Rice Technology Transfer System* tahun 2015 di Jeonju Korea Selatan; 2). Sebagai nara sumber pada bimbingan teknis (1) Pembuatan Pupuk Organik Cair Di Desa Bulumulyo Kecamatan Juwana Kabupaten Pati tahun 2021, 2) Pengambilan sampel Gas Rumah Kaca di Budiya Tanaman Perkebunan Ramah Lingkungan tanggal 22-23 Maret 2022 di Jombang. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal nasional.

Email: eniyluaningsih@gmail.com



Ina Zulaehah. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta (2005), S2 dalam bidang studi *Plant Genetic Resources Conservation and Management*. Fakultas Pertanian, Universitas the Philippines of Los Banos (2010). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan

Hidrologi. Menjadi Sekretaris Kelompok Peneliti Evaluasi dan Pengendalian Pencemaran Pertanian tahun 2020 sampai sekarang. Pernah mengikuti pelatihan/kursus : 1) Communication Skills Development Courses, IRRI tahun 2010; 2) Workshop Pengendalian Hama Terpadu pada Tanaman Tebu Guna Mendukung Kinerja Industri Gula yang Tangguh, tahun 2011; 3) Bimbingan Teknis Pengelolaan Biopestisida Ramah Lingkungan, tahun 2016; 4) Bimbingan Teknis Teknologi Pertanian Ramah Lingkungan, tahun 2018; 5) Bimbingan Teknis Pengujian Residu Pestisida, Tahun 2019; 6) *Training” Promoting Livelihood and Food Security Through Diversified Farming Practices Using Integrated System and Participatory Approaches”*, Tahun 2019. Email: izul_tbn@yahoo.com.



Sarah. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2017. Saat ini sedang menempuh program Magister di Universitas Diponegoro (UNDIP). Penulis adalah peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) Pelatihan Pengoprasian FTIR; 2) Pelatihan Pengoprasian GCMS. Telah menghasilkan publikasi

pada Prosiding/Jurnal Nasional.

Email: sarahbalingtan@gmail.com



Siska Apriyani. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu (2009) dan S2 dalam bidang studi Ilmu Pengelolaan Sumber daya Alam, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu (2017). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Penulis ditugaskan sebagai anggota penelitian rencana penelitian tim peneliti (RPTP) pada tahun 2020-2021 dan sebagai penanggung jawab Rencana Operasional Pelaksanaan Penelitian (ROPP) pada tahun 2021. Hingga saat ini aktif tergabung dalam kelti Evaluasi dan Pengendalian Pencemaran Pertanian (EP3), Balingtan. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.
Email: apriyanisiska86@gmail.com



Cicik Oktasari H. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Pembangunan Wilayah, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada (2008), S2 dalam bidang studi Ilmu Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada (2021). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Saat ini menjadi anggota Kelompok Peneliti Evaluasi dan Penanggulangan Pencemaran Pertanian. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) Pelatihan Audit Mutu Internal ISO 9001:2015 tahun 2018; 2) Pelatihan teknologi pertanian ramah lingkungan tahun 2018. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal Nasional.
Email: cicik.oktasari@gmail.com



Ria Fauriah M. Menyelesaikan S1 pada program studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin (2014) dan S2 pada program studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin (2021). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi Anggota Kelompok Peneliti Evaluasi dan Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Pertanian (EP3) tahun 2017 sampai sekarang. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.
Email: riafauriah@gmail.com



Anik Hidayah. Menyelesaikan S1 pada program studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Sebelas Maret (UNS) pada 2008, S2 pada program studi Bioteknologi Universitas Gadjah Mada (UGM) pada 2020. Saat ini sebagai Peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi sekaligus ditugaskan sebagai subkoordinator Pelayanan Teknis (Subkoor Yantek) Perencanaan Program dan Anggaran serta Monoring dan Evaluasi. Pernah ditugaskan sebagai Penanggungjawab Laboratorium Terpadu (2014-2017) dan mengikuti pelatihan/pertemuan: 1). *Binational Practical Course “Basic Methods In Plant Molecular Biology and Plant Physiology”* tahun 2018 di Yogyakarta (Penyelenggara *Research Center for Biotechnology UGM-Humboldt University Berlin*) 2). Anggota Delegasi Indonesia pada sidang *Codex Committee on Pesticide Residues Confirmation (CCPRC)* ke-53 tahun 2022 Email: anikhidayah2012@gmail.com.



Hidayatuz Zu'amah. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta (2012/13), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (2015/16). Saat ini sebagai peneliti Ahli Pertama pada Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Menjadi Anggota Kelompok Peneliti

Evaluasi Pengendalian Pencemaran Pertanian tahun 2020 sampai sekarang. Ditugaskan sebagai penanggung jawab rencana operasional Penelitian Pertanian (ROPP) pada tahun 2020. Pernah mengikuti pelatihan/kursus: 1) Pelatihan “*AFACI Training on Soil Organic Carbon Sequestration Modeling dan Mapping implemented*” yang diselenggarakan oleh FAO and AFACI, 17-21 Januari 2022. Sebagai pemrasaran pada seminar (1) Seminar Nasional Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) Tanah untuk Kedaulatan Pertanian dan Keberlanjutan Kehidupan dengan judul *Dinamika Populasi dan Keanekaragaman Collembola di Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat Kecamatan Bajubang Kabupaten Batanghari Provinsi Jambi, Universitas Brawijaya, 2015*; (2) Seminar Internasional “*1st International Conference on Sustainable Tropical Land Management*” dengan judul *Remediation of arsenic-contaminated soil by chelating agents in shallot plantation land in Bima, West Nusa Tenggara, 17 September 2020*; (3) Seminar Nasional “*Hasil Penelitian Pertanian XI*” dengan judul *Modifikasi Alat Filter Inlet Outlet (Fio) Dengan Biochar Tongkol Jagung Untuk Menjerap Kontaminan Logam Berat Air Irigasi, UGM, 20 November 2021*. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional. Email: aya_zuzun@gmail.com



Aprian Aji Santoso. Menyelesaikan studi S1 program studi Agroteknologi pada tahun 2015 dan studi S2 program Agronomi pada tahun 2018 di Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Jenderal Soedirman. Saat ini menjadi Peneliti Pertama di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian bidang kepakaran Ilmu Tanah, Agroklimatologi, dan Hidrologi. Telah menghasilkan publikasi pada Prosiding/Jurnal baik

Internasional maupun Nasional.

Email: apriansantoz@gmail.com



Nurhasan. Menyelesaikan S1 pada Jurusan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia (2004). Saat ini sedang menempuh studi S2 program Byresearch dengan beasiswa dari LIPI (BRIN) pada jurusan Geografi, FMIPA, UI. Di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) tercatat sebagai anggota kelompok peneliti evaluasi dan pengendalian pencemaran pertanian (EP3). Pernah mengikuti pelatihan/kursus:

1) sebagai peserta pada Sosialisasi ISO_IEC 17025_2017 tahun 2019 dan ISO 9001_2015 tahun 2018 (Diselenggarakan oleh Balingtan), 2) sebagai peserta pada Bimbingan Teknis Online Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika (Diselenggarakan oleh Balitjestro 2020), 3) sebagai peserta pada Workshop peningkatan pendayagunaan kebun percobaan tahun 2013 (Diselenggarakan oleh Badan Litbang Pertanian), 4) sebagai peserta pada pelatihan *Synthetic Aperture Radar RICE scape Training course* tahun 2013 (diselenggarakan oleh Balai Besar Litbang Sumber daya Lahan Pertanian), 5) sebagai peserta pada pelatihan Validasi Metode dan Estimasi Ketidakpastian tahun 2012 (Diselenggarakan oleh Balingtan), 6) sebagai peserta pada pelatihan Ahli Pengadaan Nasional tahun 2012 (diselenggarakan oleh Kementan), 7) sebagai peserta pada Seminar dan Pelatihan Jurnalistik tahun 2001 (diselenggarakan oleh Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia). Telah menghasilkan beberapa publikasi pada Prosiding/Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: cahayahasan@gmail.com

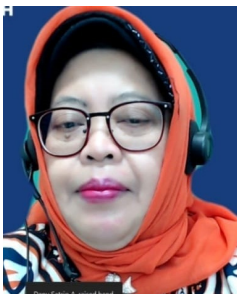


Muhammad Noor, lahir di Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Menyelesaikan Pendidikan Dasar dan Menengah di Banjarmasin (1964-1976). Melanjutkan S1 di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta (1978-1983), S2 pada Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (1985-1989), dan S3 (Program Doktor) pada Universitas Gadjah Mada (2000-2004). Sejak tahun 1987 ditetapkan sebagai PNS fungsional

peneliti pada Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (BALITTRA) di Banjarbaru, salah satu Unit Pelaksana Teknis (UPT) Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Dikukuhkan sebagai

Profesor Riset Bidang Kesuburan Tanah dan Biologi Tanah oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) tahun 2014 sebagai Profesor Riset ke-451. Sejak 2022 dilantik sebagai fungsional peneliti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Menulis beberapa buku teks ilmiah yang diterbitkan antara lain: Padi Lahan Marjinal. Penerbit Penebar Swadaya. 1996; Pertanian Lahan Gambut. Penerbit Kanisius. 2001; Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam, Penerbit RajaGrafindo Persada/Rajawali Press, 2004; Rawa Lebak: Ekologi, Pemanfaatan dan Pengembangannya, Penerbit RajaGrafindo Persada /Rajawali Press, 2007; Lahan Gambut: Pengembangan, Konservasi dan Perubahan Iklim, Penerbit Gajah Mada University/GMU Press, 2010; Debat Gambut: Ekonomi, Ekologi, Politik dan Kebijakan GMU Press, 2016; Kebakaran Lahan Gambut: Dari Asap sampai Kanalisasi, GMU Press, 2019; Pemanfaatan dan Pengelolaan Lahan Rawa: Kearifan, Kebijakan, dan Keberlanjutan ditulis dengan Dr. Yiyi Sulaeman, SP. M.Sc. GMU Press, 2021; dan Trivia Rawa: Serba-serbi Sumber Daya Lahan Rawa ditulis dengan Dr. Destika Cahyana, SP, M.Sc. dan Dr. Ir. Muhrizal Sarwani, M.Sc. Penerbit GMU Press, 2021. Memperoleh anugerah Agro Inovasi sebagai Inovator Luar Biasa Bidang Hak Cipta dan Merek oleh Menteri Pertanian pada tahun 2011 dan tanda jasa Karya Satya Lencana 30 tahun dari Pemerintah RI tahun 2016. Selain sebagai penulis dan nara sumber juga mengajar dan membimbing mahasiswa (S1, S2 dan S3), serta editor/penyunting/dewan redaksi/reviewer atau mitra bestari pada beberapa jurnal, buku, dan majalah ilmiah di perguruan tinggi dan lembaga/instansi pemerintah.

Email: m_noor_balittra@yahoo.co.id



Prof. Dr. Ir. Sri Nuryani Hidayah Utami, M.P., M.Sc. Lahir di Bantul, 1 Agustus 1965, dosen di Fakultas Pertanian UGM, Departemen Tanah sejak 1991. Lulusan S1 Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM (1989), Magister Ilmu Tanah UGM (1993), MSc Soil Science, ITC, University of Gent, Belgium (1996) dan S3 Ilmu Pertanian minat Ilmu Tanah UGM (2010). Selama 5 tahun terakhir telah melakukan lebih dari 90 penelitian (ketua dan anggota

Tim), 183 kegiatan pengabdian kepada masyarakat, menulis 126 publikasi di jurnal internasional dan nasional, 50 prosiding, 11 buku, 21 boo chapter

dan 8 HKI. Sejak 1 Juli 2022 diangkat sebagai Guru Besar di Fakultas Pertanian UGM. Jabatan yang pernah diemban di UGM adalah Kepala Pusat Studi Sumberdaya Lahan, Ketua Laboratorium Pengelolaan Tanah dan Lahan, Ketua Program Studi S1 dan S2 Ilmu Tanah, Wakil Dekan Bidang Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Alumni. Mengajar banyak Mata Kuliah di S1, S2 dan S3 antara lain Kesuburan Tanah, Watak dan Sifat Tanah, Perencanaan Pengembangan Wilayah, Masalah Khusus Rawa dan Gambut, Manajemen Resiko Lingkungan, Pertanian Organik, Perundangan Sumberdaya Lahan dll.



Angga Prasetya. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2014), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2018). Saat ini bekerja sebagai tenaga pendidik di Departemen Tanah Fakultas Pertanian UGM. Telah menghasilkan publikasi pada Jurnal baik Internasional maupun Nasional.

Email: Angga.prasetya.mc@ugm.ac.id



Dr. Ir. Benito Heru Purwanto, MP, M.Agr. lahir di Pekalongan Jawa Tengah tahun 1966. Pendidikan dasar sampai menengah diselesaikan di Pekalongan. Pendidikan sarjana S1 dan S2 di Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada diselesaikan tahun 1992 dan 1999. Pendidikan Doktor di Iwate University, Japan tahun 2004. Jabatan yang pernah diemban di Fakultas Pertanian mulai dari Ketua Laboratorium, Ketua Program Studi Ilmu Tanah, Ketua Departemen Tanah sampai Wakil Dekan Fakultas Pertanian Bidang Kemahasiswaan, Kerjasama dan Pengabdian kepada Masyarakat. Aktif dalam berbagai kegiatan ilmiah baik sebagai peserta, pemakalah, dan narasumber maupun sebagai penulis pada jurnal internasional bereputasi dan nasional terakreditasi. Aktif juga dalam kegiatan organisasi profesi seperti Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI). Banyak melakukan penelitian tentang pertanian organik dan emisi gas rumah kaca di lahan pertanian. Di Fakultas Pertanian Universitas

Gadjah Mada dipercaya untuk mengampu mata kuliah: Ilmu Kimia Tanah; Kesuburan dan Pemupukan Tanah; Watak dan Sifat Tanah; Biologi Tanah; Pertanian Organik; Pertanian Presisi; Kualitas Tanah; Geokimia Terapan; Manajemen Hara; dan Kimia Permukaan Partikel Tanah.



Mujiyo, lahir pada tanggal 10 Agustus 1973 di Sukoharjo. Pendidikan S1 di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta (1998). Pendidikan S2 di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2001). Pendidikan S3 di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2014). Pendidikan Profesi Insinyur di Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta (2019). Sejak tahun 2003, menjadi staff pengajar di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta dengan mata kuliah utama Pedologi, Morfologi dan Klasifikasi Tanah, Sistem Informasi Geografis, dan Survei Tanah dan Evaluasi Lahan. Semenjak tahun 2003 juga, aktif dalam mempublikasikan hasil kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dalam media jurnal, prosiding dan buku serta media lainnya. Pekerjaan survei tanah dan evaluasi lahan sudah beberapa kali dilakukan baik yang kerja sama dengan instansi pemerintah maupun swasta. Aktif sebagai nara sumber dan konsultan di bidang ilmu tanah dan pertanian, pengembangan kurikulum, akreditasi program studi dan akreditasi jurnal ilmiah. Aktif juga sebagai dewan redaksi dan *reviewer* di jurnal ilmiah bereputasi nasional dan internasional. Buku yang sudah dipublikasikan adalah Petunjuk Teknis Budidaya Padi Apung di Daerah Rawan Banjir (2019), Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka Program Studi Ilmu Tanah (2021), Budidaya dan Prospek Pemasaran Singkong Jarak Towo (2021) dan Bahan Ajar Mata Kuliah Survei Tanah dan Evaluasi Lahan (2022). Email: mujiyo@staff.uns.ac.id



Siti Maro'ah. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret (2011) dan S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2013). Sejak tahun 2020 sebagai staf pengajar di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Saat ini mengajar beberapa mata kuliah diantaranya Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Fisika Tanah, Pengelolaan Tanah dan Air, Agroklimatologi,

Studi Lapangan 1, Studi Lapangan 2, Edapologi dan Pengantar Pertanian Presisi. Menjadi anggota Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI). Saat ini juga tergabung pada Laboratorium Fisika tanah dan Konservasi Tanah dan Air, Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Pada tahun 2021 menjadi anggota dalam *Research Group (RG)* Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dan Agroekosistem dan tahun 2021 hingga sekarang tergabung dalam *Research Group (RG)* Sistem Pertanian Terpadu Berkelanjutan (*Sustainable Integrated Agricultural Systems*). Melalui RG ini, penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (P2M). Penulis aktif dalam kegiatan ilmiah tentang Ilmu Tanah yang dilaksanakan di dalam maupun di luar Lingkungan Universitas Sebelas Maret diantaranya *International Conference of Sains Tanah (Modern Soil and Management Toward Sustainable Environmental Resources)*, *International Conference on Environmental, Socio-Economic, and Health Impacts of Degraded and Mining Lands (ICESHIDM)*, *Indonesian Women in Soil Science*, dan Masyarakat Konservasi Tanah dan Air Indonesia. Email : maroah23@staff.uns.ac.id



Widyatmani Sih Dewi. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret (1986), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (1996), dan S3 bidang studi Ilmu-ilmu Pertanian, minat Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya (2007). Saat ini sebagai Lektor Kepala, dosen dan Kepala Program Studi Magister

Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Menjadi Ketua

Unit Penjaminan Mutu Fakultas Pertanian dari 2009 – 2018; Anggota Penjaminan Mutu Pascasarjana UNS tahun 2018-2020; Koordinator Bidang SPMI Universitas Sebelas Maret tahun 2018 – 2019; dan sebagai Sekretaris Program Doktor Ilmu Pertanian, Program Pascasarjana UNS 2012 s/d 2015; Ketua Gugus Kendali Mutu dan Koordinator program MBKM Program Studi Ilmu Tanah 2021 hingga sekarang; Saat ini sebagai Kepala Program Studi Magister Ilmu Tanah, Fak. Pertanian Univ. Sebelas Maret. Memiliki pengalaman mengajar dan meneliti terkait dengan bidang Biodiversitas makrofauna tanah, Biologi dan Kesehatan Tanah, Ekologi Tanah, Kualitas Tanah dan Evaluasi Kesuburan Tanah, serta survei dan evaluasi lahan perkebunan sawit. Telah menghasilkan sejumlah publikasi pada Prosiding/ Jurnal terindek nasional maupun bereputasi internasional.
Email: widyatmanisih@staff.uns.ac.id



Aktavia Herawati. Pendidikan Sarjana Pertanian diselesaikan pada tahun 2009 dan Master pada tahun 2011 di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Sejak tahun 2016, menjadi staff pengajar di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Saat ini beliau mengajar beberapa mata kuliah diantaranya Survei Tanah dan Evaluasi Lahan, Morfologi dan Klasifikasi Tanah, Pedologi, Geologi dan Mineralogi Tanah, Agroklimatologi dan Dasar-

dasar Ilmu Tanah. Beberapa organisasi yang aktif diikuti adalah Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI), Asosiasi Jurnal Pertanian Indonesia (AJPI), dan Himpunan Editor Berkala Ilmiah Indonesia (HEBII). Selain di bidang kepakaran keilmuan, penulis juga aktif di bidang jurnal yang dibuktikan keanggotaan di *Council of Asian Science Editors* (CASE) sejak 2021 sd sekarang, menjadi *editorial board* dan *reviewer* di beberapa jurnal nasional-internasioanl bereputasi. Sejak tahun 2016 bergabung dalam *Research Group* (RG) *Agricultural Development Based on Local Soil-Land Characteristics*. Melalui RG ini, penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (P2M). Hasil kegiatan P2M dipublikasikan dalam media jurnal nasional-internasional bereputasi, prosiding nasional-internasional dan buku serta media lainnya. Buku yang sudah dipublikasikan adalah Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka Program Studi Ilmu

Tanah (2021) dan Bahan Ajar Mata Kuliah Survei Tanah dan Evaluasi Lahan (2022). Aktivitas sebagai narasumber pada seminar (1) Webinar “Implementasi Pengelolaan Lahan Pasir berbasis Internet of Things (IoT)” dengan Topik Pengelolaan Lahan Pasir Pantai Secara Terpadu, UNUSIA, 14 November 2022; dan (2) Webinar “Seminar Nasional Peneliti Muda Ilmu Tanah Indonesia Berbagi” dengan judul Bahan Pembenh sebagai Alternatif Pengelolaan Tanah Pasir Pantai yang Berkelanjutan, 28 Januari 2021. Email: aktavia_h@staff.uns.ac.id



Ganjar Herdiansyah. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (2012), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran (2016). Sejak tahun 2019, menjadi staff pengajar di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret pada Laboratorium Pedologi dan Survey Tanah. Semenjak saat itu, aktif dalam mempublikasikan hasil kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dalam media jurnal, prosiding dan buku serta media lainnya. Buku yang sudah dipublikasikan adalah Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka Program Studi Ilmu Tanah (2021), Bahan Ajar Mata Kuliah Survei Tanah dan Evaluasi Lahan (2022) dan karya inovatif yang sudah dipublikasikan adalah Peta Jenis Tanah Kecamatan Jenawi Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah (2022). Email : ganjarh@staff.uns.ac.id



Sumani. Pendidikan Sarjana Pertanian diselesaikan pada tahun 1987 di Jurusan Budidaya Tanaman Universitas Sebelas Maret Surakarta dan Magister Sains pada tahun 1993 di Program Studi Agroklimatologi Institut Pertanian Bogor. Sejak tahun 1988 menjadi staff pengajar di Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret. Saat ini mengajar beberapa mata kuliah diantaranya Dasar-dasar Ilmu Tanah, Agroklimatologi, Studi Lapangan 1, Studi Lapangan 2, Iklim Mikro Tanah, serta Pengelolaan Lingkungan Pertanian Beberapa organisasi yang aktif diikuti adalah

Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI), Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia (PERHIMPI). Selain itu beliau aktif di dalam *Research Group* (RG) Perubahan Iklim dan Pengelolaan Sumberdaya Lahan. Bersama dengan semua tim RG ini, penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Email: sumani@staff.uns.ac.id



Rahayu. Menyelesaikan S1 pada bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah mada (1994-2000), S2 dalam bidang studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2001-2003), dan S3 Di Dankkok University Korea Selatan pada Fakultas *Bioresource Science*, Prodi Architecture *Landscape, Laboratorium turfgrass Management* (2007-2010). Menyelesaikan program Profesi Insinyur di UNS (2022). Saat ini sebagai Dosen tetap Prodi Ilmu tanah Universitas Sebelas Maret, untuk bidang Survey dan Klasifikasi Tanah dan *Turfgrass Management*. Saat ini diamanahi sebagai Kepala Laboratorium Survey Tanah dan Evaluasi lahan Prodi Ilmu Tanah UNS (2019-sekarang), Anggota *Korean Turfgrass Society* (2010-Sekarang), kepala Devisi pengembangan Usaha Unit KHDTK UNS (2019-sekarang), Koordinator Kerjasama dan Badan Pengembanagn Usaha FP UNS (2019-Sekarang). Kepala Unit Kuliah Kerja Nyata UNS (2012-2019), Koordinator Penelitian dan Pengabdian Masyarakat KPPMF Fakultas Pertanian UNS (2011-2012). Prestasi yang pernah diraih adalah Juara 1 Dosen Berprestasi tingkat Fakultas FP UNS (2013), Juara 1 Dosen berpreatssi tingkat Universitas UNS (2013). Saat ini juga masih menjalankan peran konsultan Lapangan GBK Jakarta, dan JIS Jakarta, serta Stadion Manahan Solo. Mata Kuliah yang diampu adalah Survey dan Ervaluasi Lahan, Pedologi, Morfologi dan Klasifikasi Tanah, Statistika, Rancangan Percobaan, dan *turfgrass Management*.
Email: rahayu_uns@yahoo.co.id



Muhammad Husaini. Menyelesaikan S1 pada Program Studi Sosial Ekonomi Pertanian, Fakultas Pertanian, (ULM) Universitas Lambung Mangkurat (1985), S2 dalam bidang studi Ekonomi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (1992), dan S3 bidang Ekonomi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada (2012). Saat ini sebagai Staf Pengajar pada Program Studi Agribisnis, Jurusan Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian ULM. Pengalaman penelitian secara selektif diantaranya Tahun 2013 Penelitian “Strategi Pengembangan Lombok Hiyung sebagai Komoditas Unggulan di Kabupaten Tapin; Analisis Ketahanan dan Kerentanan Pangan di Kabupaten Hulu Sungai Tengah dan Kabupaten Tanah Bumbu; Kemudian Tahun 2014 Penelitian tentang Kajian Profil Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UKMK), serta Kajian Rantai Pasokan dan Pemasaran Pangan di Kabupaten Hulu Sungai Tengah; Tahun 2015 Penelitian Analisis dan Penyusunan Pola Konsumsi dan Suplai Pangan; Tahun 2015 Kajian tentang Dampak Desa Mandiri Pangan di Provinsi Kalimantan Selatan; Tahun 2017 Analisis *Up Date* Ketahanan dan Kerentanan Pangan di Kab. Tanah Bumbu; Tahun 2019 *Sosial Mapping* PT BRE di Kabupaten Tapin; Tahun 2020 Penelitian tentang Model Ketahanan Pangan Rumah Tangga Petani di Kabupaten Batola; Tahun 2021 *Master Plan* Pengembangan Kawasan Pertanian Berbasis Korporasi Petani Di Kalimantan Selatan; Beberapa pengalaman penulisan Artikel dalam Jurnal Nasional dan Internasional antara lain”*Respon of Rice Supply in Paser Regency*” *IOSR Journal* 2019; *Respon of Rice Supply in Paser Regency; Household Food Consumption Patterns in Banjar Regency IOSR Journal* 2019; *Farmers Behavior in Allocation of Product and Marketed Surplus in Two Types Land as Basic Government Policy in Controlling Rice Supply in Banjar District IOSR Journal* 2021; Seminar Nasional Model Ketahanan Pangan Rumah Tangga Petani di Kabupaten Barito Kuala 2021; Seminar Regional Pola Konsumsi Pangan Rumah tangga Petani Integrasi Sawit dengan Pangan 2021. Pengalaman Menulis Buku: Metode Penelitian Sosial Ekonomi dan Model Persamaan Struktural 2012. Penghargaan Dosen Teladan III Tingkat Fakultas Pertanian dan Dosen Pendamping Terbaik pada Program Pendampingan di Provinsi Kalimantan Selatan 2017. Pengalaman mengajar: untuk jenjang S-2 Ekonomi Makro; Pembangunan Kebijakan Pertanian. Ekonometrika Lanjut; Metode Penelitian. Jenjang S-1 Perdagangan Internasional, Pembangunan dan Kebijakan Agribisnis;

Ekonometrika, Statistik Non Parametrik; Metode Riset Bisnis; Ketahanan Pangan dan Gizi.