

Rasionalisasi Pola Rotasi Tanaman Pangan Berbasis Ketersediaan Air

Rationalizing Crop Rotation Pattern of Food Crops Based on Water Availability

Abdul Karim Makarim, Ikhwani, dan Made Jana Mejaya

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

Jl. Merdeka 147 Bogor, Indonesia

E-mail: akarimmakarim@gmail.com

Naskah diterima 14 November 2017, direvisi 29 November 2017, dan disetujui diterbitkan 3 Desember 2017

ABSTRACT

Rotation of food crops on farm lands within one cropping year is becoming more important, since the practices could increase the planting and harvesting area of the main crop. Opening new farm lands is prohibitive due to the limited availability of land resources. Crop rotation if rationally applied could overcome drought stress, increased food crop production and farmers' incomes per year, increased soil fertility, and promoted the production sustainability. Crop rotation would be successful escaping drought stress, if water requirement for the choice of crops and areas of crops in each season during the year was less than the water availability from both rainfall and irrigation. The crop rotation could be optimized by selecting crop varieties which are more drought tolerance and have shorter growing duration, more efficient in using water and have high productivity. Other consideration needs to be taken into account including economic value, socio-cultural aspects and in a particular case also includes political and environmental aspect.

Keywords: Food crops, crop rotation, water requirement, rasionalize.

ABSTRAK

Rotasi tanaman dalam setahun menjadi isu penting untuk diterapkan, mengingat dengan cara ini areal tanam/panen komoditas utama dapat diperluas dengan tanpa membuka lahan baru yang semakin sulit tersedia. Cara rotasi ini apabila diterapkan secara rasional dapat menghindarkan pertanian dari kekeringan, meningkatkan produksi pangan, menambah pendapatan petani per tahun, meningkatkan kesuburan tanah dan keberlanjutan penggunaan lahan. Pola rotasi dapat berhasil (tanpa kekeringan) apabila jenis komoditi dan luas tanamnya per musim disesuaikan dengan ketersediaan air; dioptimalkan dengan cara efisiensi penggunaan air, penyesuaian varietas, peningkatan produktivitas tanaman, serta mempertimbangkan aspek ekonomi (harga jual produk di pasar), sosial-budaya (kebutuhan petani dan masyarakat), politik (sesuai dengan program pemerintah), serta ramah lingkungan.

Kata kunci: Tanaman pangan, rotasi pertanian, kebutuhan air, rasionalisasi.

PENDAHULUAN

Sistem produksi padi di masa kini dan mendatang menurut Cantrell dan Hettel (2004) sebaiknya dapat memenuhi kebutuhan penduduk di suatu negara atau swasembada. Hal ini dapat tercapai apabila dapat memenuhi beberapa persyaratan sbb: (1) menaikkan produktivitas lahan, sebab ada kecenderungan terjadi penurunan luas tanah per

kapita, sedangkan jumlah penduduk semakin meningkat; (2) meningkatkan efisiensi penggunaan air pada sistem irigasi padi sawah, sebab sumber daya alam semakin langka untuk pertanian dan semakin ketat persaingannya dengan sektor lain; (3) teknologi baru yang dihasilkan dapat digunakan oleh petani miskin sehingga efektif mengurangi kemiskinan dan memperkuat ketahanan pangan; (4) "bersahabat" dengan lingkungan, tidak hanya

dapat mengurangi penggunaan air tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan pencemaran agrokimia lainnya di tanah, air, udara dan biodiversitas; (5) lebih tahan terhadap hama dan penyakit, sehingga penggunaan pestisida (agrokimia) dapat dikurangi, kesehatan manusia dan lingkungannya lebih terjamin; (6) lebih toleran terhadap cekaman abiotik terutama terhadap kekeringan, namun juga terhadap angin, dan kerusakan oleh faktor cuaca lainnya, sehingga lebih toleran perubahan iklim; (7) hasil padi lebih berkualitas guna memenuhi permintaan konsumen (rasa, aroma, fisik nasi, nilai gizi); dan (8) sistem pertanian padi yang lebih menguntungkan, yang lebih tinggi dengan biaya yang lebih murah.

Rotasi tanaman yaitu praktik penanaman beberapa jenis tanaman secara bergiliran di satu luasan lahan, merupakan cara yang tepat untuk diterapkan (Anonim 2017). Sejak tahun 6.000 SM, petani Timur Tengah telah mempraktikkan rotasi tanaman meski tanpa pemahaman mengenai ilmu kimia (Pertanian Sehat Indonesia.2015; Anonim 2017).

Petani di Indonesia secara sadar telah mengetahui pentingnya penerapan pola tanam dalam usaha pertanian secara rotasi. Pertimbangannya adalah memanfaatkan lahan untuk memproduksi komoditas guna mencukupi kebutuhan pangan (konsumsi) atau komoditas yang mudah dijual sebagai sumber pendapatan (Pertanian Sehat Indonesia 2015). Pola rotasi tersebut dapat berbeda antarwilayah, disebabkan oleh perbedaan kondisi iklim, khususnya ketersediaan air. Setiawan (2009) melaporkan di Jawa Timur pada musim tanam ke-3 terdapat 80 model kombinasi tanaman, dan terbanyak adalah jagung dan kacang tanah.

Kini penerapan rotasi tanaman semakin penting, mengingat besarnya dampak perubahan iklim, khususnya perubahan pola curah hujan. Menyempitnya luas lahan pertanian akibat konversi untuk keperluan non pertanian mengharuskan ditingkatkannya frekuensi pertanaman dalam setahun. Apriyana dan Kailaku (2015) menggambarkan bahwa terjadinya perubahan pola curah hujan di beberapa lokasi di Jawa telah mengubah waktu tanam padi sawah dan berkurangnya areal tanam, selain menurunnya produktivitas. Oleh sebab itu, dalam menentukan pola rotasi, baik jenis tanaman/komoditas, maupun luasannya dan waktu tanam perlu mempertimbangkan kondisi iklim dan ketersediaan air.

Tulisan ini memberikan dasar ilmiah dalam pemilihan komoditas/tanaman pangan pada dalam pola rotasi satu tahun. Dasar ilmiah yang dimaksud adalah pertimbangan pola rotasi dalam aspek lingkungan, teknis, ekonomis, sosial, budaya, politis; yang diharapkan dapat memberikan saran pola rotasi optimal dalam setahun di suatu wilayah.

POLA ROTASI SERBAGUNA

Pola rotasi dalam perkembangannya memiliki banyak tujuan dan pertimbangan. Kalau rotasi tanaman sebelumnya bertujuan terutama untuk mencukupi kebutuhan pokok (padi) dan selebihnya palawija untuk dijual agar mendatangkan pendapatan, tanpa mempertimbangkan ketersediaan air, maka pola rotasi tanaman mempunyai beberapa tujuan sbb:

- (a) ketahanan pangan, yaitu meningkatkan produksi pangan melalui perluasan areal tanam/panen dengan meningkatkan frekuensi tanam per tahun, disesuaikan dengan ketersediaan air (Makarim *et al.* 2005, Muamar *et al.* 2012).
- (b) mempertimbangkan harga pasar dari komoditas yang akan ditanam pada musim tertentu, sehingga pendapatan per tahun lebih tinggi (Arsyad dan Sembiring 2003, Pertanian Sehat Indonesia 2015)
- (c) menanam jenis komoditas yang diperlukan masyarakat untuk memenuhi nilai budaya/tradisi (beras ketan; beras merah; hanjeli dsb) pada areal dan musim tertentu (Setiawan 2009)
- (d) peningkatan kesuburan/kimia tanah, karena adanya dekomposisi sisa-sisa tanaman sebelumnya, terutama dari jenis legume (kedelai) yang ditunjukkan oleh meningkatnya C organik tanah dan hara (Padmini *et al.* 2008, Sumarno 2011, Loretta *et al.* 2016), Karbon, hidrogen dan oksigen, merupakan hara makro tanaman.
- (e) rotasi tanaman meningkatkan kualitas struktur tanah, karena peningkatan bahan organik, perbaikan aerasi dan pergantian antara tanaman berakar dalam dengan tanaman berakar dangkal (Katsvairo *et al.* 2002, Govaerts *et al.* 2008).
- (f) mencegah akumulasi hama dan penyakit yang sering menyerang tanaman yang ditanam tunggal atau satu jenis (Pertanian Sehat Indonesia 2015).
- (g) meningkatkan populasi dan jenis mikroorganisme penyubur tanah serta menekan nematode dan patogen lainnya (Prihastuti 2011, Thirdyawati *et al.* 2013, Silva *et al.* 2013).
- (h) meningkatkan produktivitas padi (Sumarno 2011) dan jagung (Smeltekop *et al.* 2002) setelah sebelumnya lahan ditanami kedelai, atau ditanam bersamaan karena adanya efek berantai dari pertanaman sebelumnya, sehingga terjadi keberlanjutan usaha (Prihastuti 2011).

Uraian tersebut terlihat bahwa manfaat rotasi tanaman tidak semuanya secara kuantitatif atau berbasis ekonomi, namun juga dampaknya terhadap sistem usahatani.

Keuntungan rotasi tanaman tidak langsung terlihat pada lahan dan musim tanam bersangkutan, tetapi juga dapat dirasakan pada tahun-tahun berikutnya. Dalam analisis ekonomi usahatani, keuntungan yang tidak terukur tersebut tidak tercatat, sehingga mengecilkan manfaat rotasi tanaman.

FAKTOR PEMBATAS ROTASI TANAMAN PANGAN

Banyak manfaat dari penerapan rotasi tanaman dalam setahun, baik terhadap kesuburan lahan, produktivitas dan produksi tanaman maupun peningkatan pendapatan dan pengurangan infestasi hama-penyakit tanaman, sehingga usaha tani lebih berkelanjutan. Namun, keberhasilan pola rotasi tanaman ditentukan oleh beberapa faktor, terutama ketersediaan air, tenaga kerja, dan rendahnya keuntungan karena rendahnya hasil tanaman pada musim kemarau ke-2 (MK-2) dan tingginya risiko kekeringan (Pertanian Sehat Indonesia 2015; Apriyana dan Kailaku 2015).

Ketersediaan air sering tidak menentu terutama pada musim tanam ke-2 (MK-1) dan ke-3 (MK-2), sehingga menjadi pembatas penerapan rotasi tanaman (Apriyana dan Kailaku 2015). Petani tidak bisa memaksakan tanam padi tiga kali setahun pada banyak wilayah yang tidak cukup air. Perubahan iklim global dan kejadian El-Nino (kemarau panjang) menambah sulitnya menduga ketersediaan air yang berakibat kepada sulitnya memilih pola rotasi (jenis tanaman dan luas tanam tiap musim) (Farhan 2001), Apabila pola rotasi tanaman diterapkan seperti biasanya, perubahan iklim, berpotensi menyebabkan pertanian terancam banjir atau kekeringan yang berakibat pada gagal panen. Oleh sebab itu perlu selalu mempertimbangkan ketersediaan air pada setiap musim tanam.

KECUKUPAN AIR SUATU POLA ROTASI

Fungsi air dalam tanaman adalah sbb: (1) penyusun tubuh tanaman (70-90%) (2) pelarut dan medium reaksi biokimia; (3) medium transpor senyawa; (4) memberikan turgor bagi sel (penting untuk pembelahan sel dan pembesaran sel); (5) bahan baku fotosintesis; dan (6) menjaga suhu tanaman supaya konstan (Ayu 2014). Oleh sebab itu, kurangnya ketersediaan air sering menjadi pembatas pertumbuhan tanaman, sehingga kadar air tanah perlu diupayakan optimum.

Kecukupan air bagi tanaman pada suatu pola rotasi merupakan langkah awal untuk mempertimbangkan apakah suatu rotasi tanaman memungkinkan diterapkan pada suatu wilayah. Kecukupan air (KCA) adalah selisih

antara ketersediaan air (KSA) pada suatu wilayah dan pada suatu periode tanam dengan kebutuhan air pertanaman (KAP) pada setiap periode/musim, dengan rumus sbb:

$$KCA = KSA - KAP \dots\dots\dots (1) \quad (\text{Afandi 2013})$$

KCA = Kecukupan air;
KSA = Ketersediaan air; dan
KAP = Kebutuhan air pertanaman

Persyaratan agar suatu pertanaman dapat diterapkan pada suatu musim adalah $KCA > 0$ atau terdapat kelebihan air. Bila $KCA < 0$, maka pertanaman akan kekeringan yang berakibat tidak normalnya produktivitas hingga gagal panen. Oleh sebab itu perlu dipertimbangkan kebutuhan air pertanaman sebagai dasar perhitungan. Kebutuhan air suatu tanaman dapat didefinisikan sebagai jumlah air yang diperlukan untuk memenuhi kehilangan air melalui evapotranspirasi (ET-tanaman) tanaman yang sehat, tumbuh pada sebidang lahan yang luas dengan kondisi tanah yang tidak mempunyai pembatas antara lengas tanah dan kesuburan tanah, dan mencapai potensi produksi penuh pada kondisi lingkungan tumbuh tertentu (Sumarno 2011, Muamar *et al.* 2012, Afandi 2013). Perbedaan nyata kebutuhan air bergantung pada jenis tanaman, seperti padi sawah dan palawija lahan kering. Pada pertanaman padi sawah terdapat kegiatan penyiapan lahan dan pengairan selama pertumbuhan tanaman, yang banyak memerlukan air. Pada pertanaman palawija lahan kering tidak ada kegiatan penyiapan lahan secara basah dan pengairan terus menerus.

Kebutuhan Air Padi di Sawah

Kebutuhan air tanaman padi pada lahan sawah terdiri atas (1) penyiapan lahan, (2) penggunaan konsumtif untuk pertumbuhan, (3) perkolasi, dan (4) penggantian lapisan air (Afandi 2013).

Penyiapan lahan. Kegiatan ini memerlukan banyak air, terutama sewaktu pengolahan tanah dan evaporasi. Beberapa faktor yang menentukan kebutuhan air sewaktu pengolahan tanah adalah: (1) karakteristik tanah, (2) lamanya pengolahan, (3) tersedianya tenaga dan ternak, serta (4) mekanisasi pertanian. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan ditentukan oleh kedalaman tanah dan porositas tanah,

$$PWR = \frac{(Sa-Sb)N.d}{10^4} + Pd + F1 \dots\dots (2) \quad (\text{Afandi 2013})$$

PWR = kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm)
Sa = kejenuhan tanah setelah penyiapan lahan (%)
Sb = kejenuhan tanah sebelum penyiapan lahan (%)

- N = porositas tanah (% , rata-rata per kedalaman tanah)
- d = asumsi kedalaman tanah setelah penyiapan lahan (mm)
- Pd = kedalaman genangan setelah penyiapan lahan (mm)
- F 1 = kehilangan air di sawah per hari (mm)

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (PWR) dilaporkan sekitar 250 mm, meliputi untuk penyiapan lahan dan penggenangan lapisan air awal setelah tanam pindah selesai. Untuk lahan yang sudah lama tidak ditanami (bero), PWR dilaporkan sekitar 300 mm. Kebutuhan air untuk persemaian, termasuk untuk penyiapan lahan.

Dari rumus kebutuhan air (Afandi 2013) tersebut dapat diberi contoh hitungan sebagai berikut:

- apabila kebutuhan air untuk
- menjenuhkan (S) = 250 mm,
 - perkolasi (P) = 2 mm per hari,
 - lamanya pengolahan tanah (T) = 30 hari
 - evaporasi potensial (Eo) = 4 mm per hari,

kebutuhan air untuk pengolahan lahan (IR) dihitung sbb:

- a. air untuk mengganti evaporasi dan perkolasi (M)
 $M = E_o + P = 4 + 2 = 6 \text{ mm/hari}$
- b. konstanta (k)
 $k = MT/S = 6 \cdot 30/250 = 0.72$
 $IR = M \cdot (e^{kT} / (e^k - 1))$ (e = bilangan eksponen: 2,7182)
 $IR = 6(e^{0.72 \cdot 30} / (e^{0.72} - 1)) = 11,69 \text{ mm/hari}$

Penggunaan konsumtif. Jumlah penggunaan air oleh tanaman (*consumptive use*) untuk pertumbuhan, sama dengan jumlah air untuk evapotranspirasi tanaman, yang dipengaruhi oleh jenis tanaman, umur tanaman, dan faktor iklim.

$$ET = kc \times ETo \dots\dots\dots (3) \text{ (Afandi 2013)}$$

- ET = Evapotranspirasi suatu tanaman (mm/hari)
- ETo = Evaporasi tetapan/tanaman acuan (mm/hari)
- kc = Koefisien tanaman, berbeda dengan k di atas, yaitu angka untuk konversi dari ETo ke besarnya evapotranspirasi suatu tanaman/varietas. Besarnya kc dipengaruhi oleh jenis tanaman, varietas dan umur tanaman (Sofiyuddin *et al.* 2012).

Pada saat tanaman mulai tumbuh, kebutuhan air konsumtif terus meningkat sesuai stadia pertumbuhan yang akan mencapai maksimum pada fase vegetatif maksimum. Setelah mencapai fase maksimum dan berlangsung fase generatif beberapa saat menurut jenis tanaman, kebutuhan air konsumtif menurun sejalan dengan proses pemasakan gabah/biji. Masa tumbuh padi varietas unggul lebih pendek dari padi varietas lokal.

Perkolasi. Laju perkolasi air bergantung pada sifat tanah; Pada tanah liat berat (*heavy clay*), pengolahan (*puddling*) yang baik adalah laju perkolasi 1-3 mm/hari. Pada tanah yang lebih ringan (berpasir), laju perkolasi > 1-3 mm/hari (Afandi 2013).

Untuk menentukan laju perkolasi perlu diperhitungkan tinggi muka air tanah dan rembesan air akibat meresapnya air melalui tanggul sawah.

Penggantian lapisan air. Setelah pemupukan perlu dijadwalkan dan mengganti lapisan air menurut kebutuhan. Penggantian diperkirakan sebanyak dua kali, yaitu masing-masing 50 mm satu dan dua bulan setelah tanam pindah (atau 3,3 mm/hari selama 1/2 bulan) (Afandi 2013).

Sumber Air Tanaman Padi Sawah

Sumber air utama bagi padi sawah berasal dari hujan efektif dan air irigasi. Hujan efektif adalah curah hujan yang jatuh selama masa tumbuh tanaman, yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air konsumtif tanaman (Afandi 2013), Kriteria perencanaan irigasi mengusulkan hitungan hujan efektif berdasarkan data pengukuran curah hujan di stasiun terdekat, Pada wilayah yang memiliki fasilitas jaringan irigasi atau lahan sawah beririgasi, sumber airnya dapat dijadikan andalan untuk mengairi pertanaman dibandingkan dari hujan.

Dengan demikian, kecukupan air untuk pertanaman padi sawah adalah: (1) ketersediaan air (hujan efektif + irigasi), dikurangi (2) kebutuhan air total tanaman seperti diuraikan di atas.

Kebutuhan Air Tanaman Palawija

Tanaman semusim selain padi yang dibudidayakan petani di lahan sawah atau lahan kering, kebutuhan airnya sama dengan kebutuhan air konsumtif tanaman itu sendiri, yaitu jumlah air yang secara potensial diperlukan untuk memenuhi pemakaian air konsumtif (evapotranspirasi) pada suatu areal tanaman agar dapat tumbuh normal (Muamar *et al.* 2012). Tanaman pada lahan kering pada musim kemarau atau saat kekurangan air dibedakan ke dalam kelompok tanaman palawija, yaitu. palawija yang butuh banyak air (kacang tanah, ketela); palawija yang butuh sedikit air (jagung dan kedelai); dan palawija yang membutuhkan sangat sedikit air (sorgum dan kacang hijau).

Sebagai gambaran, kebutuhan air konsumtif tanaman jagung selama 100 hari adalah 614 mm (Muamar *et al.* 2012), dan untuk tanaman kedelai varietas Tanggamus 490 mm (Yuliatwati *et al.* 2014, Suryanti *et al.* 2015).. Kedelai varietas Grobogan dan Galunggung toleran kekeringan membutuhkan air 4,87-4,98 mm/hari dan

efisiensi penggunaan air 5,16 g/mm. Varietas Burangrang, Kaba, Argomulyo, Panderman, Ijen, Baluran, Petek, dan Malabar agak toleran kekeringan dengan kebutuhan air 3,98-6,14 mm/hari dan efisiensi penggunaan air 3,69-5,51 g/mm. Varietas Sibayak, Anjasmoro, Wilis, Garut, Gepak Kuning, Sinabung, dan Seulawah tidak toleran kekeringan dengan kebutuhan air 5,37-5,95 mm/hari dan efisiensi penggunaan air 3,49-5,60 g/mm (Suryanti *et al.* 2015).

Hasil penelitian Faridah (2003) menunjukkan koefisien tanaman jagung terendah diperoleh pada awal pertumbuhan, yaitu 0,43 dan tertinggi pada fase pertengahan pertumbuhan 1,11. Evapotranspirasi acuan tanaman jagung selama pertumbuhannya berkisar antara 3,74-4,40 mm/hari. Kebutuhan air tanaman jagung pada berbagai umur bervariasi antara 1,98-7,22 mm/hari.

Kebutuhan air tanaman kedelai selama pertumbuhannya rata-rata $4,88 \pm 1,55$ mm/hari atau $48,8$ m³/ha/hari yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan. Koefisien tanaman jagung rata-rata 0,85 sedangkan kedelai 0,75. Oleh sebab itu, kebutuhan air tanaman jagung dihitung $0,85/1,55 \times$ kebutuhan air, sedang untuk tanaman kedelai $5,53 \pm 1,76$ mm/hari atau $55,3 \pm 17,6$ m³/ha/hari

DASAR PEMILIHAN TANAMAN UNTUK POLA ROTASI

Pola rotasi yang rasional dipilih berdasarkan kriteria: (1) kebutuhan dan kecukupan air; (2) keuntungan ekonomi tertinggi per musim per tahun; dan (3) pertimbangan lain seperti permintaan pasar dan kebijakan pemerintah (Makarim *et al.* 2015). Komponen rotasi yang memenuhi syarat kecukupan air per musim berdasarkan persamaan (1) di atas, yaitu $KCA = KSA - KAP > 0$ (KCA = kecukupan air; KSA = Ketersediaan air; dan KAP = Kebutuhan air pertanaman) (Afandi 2013), dapat diajukan sebagai calon komponen rotasi untuk musim tertentu.

Rumus KCA dapat digunakan sebagai strategi pemilihan jenis tanaman dalam pola rotasi. Apabila $KCA < 0$ berarti suatu jenis tanaman tidak bisa dipilih karena kebutuhan airnya tinggi (padi misalnya), maka luas tanam padi perlu dikurangi diganti dengan tanaman yang kebutuhan airnya rendah (jagung atau kedelai), sehingga nilai KAP turun dan KCA naik > 0 (agar tidak terjadi kekeringan). Apabila terjadi keterbatasan suplai atau ketersediaan air (KSA) akibat kemarau, misalnya, maka nilai KAP harus diturunkan agar KCA tidak negatif, dengan cara memilih jenis tanaman yang kebutuhan airnya rendah atau mengurangi luas area tanaman yang kebutuhan airnya tinggi, sehingga bisa terselamatkan. Apabila tanaman padi sawah dipaksa ditanam dengan luas yang sama dari biasanya, maka ketersediaan air tidak mencukupi,

sehingga mengalami kekeringan. Praktik demikian sering terjadi di beberapa sentra produksi padi pada musim kemarau (MK) 2 atau 1 (Makarim *et al.* 2015). Varietas padi berumur genjah atau sangat genjah dan toleran kekeringan, yang kebutuhan airnya rendah, dapat digunakan asal tidak menurunkan produktivitas atau harga berasnya; Cara lain adalah mengubah cara budi daya padi dengan mengurangi pengguna air sewaktu penyiapan lahan dan cara pengairan tidak tergenang terus, yaitu secara basah-kering (*intermittent*) atau pengairan macak-macak (Abdulrachman *et al.* 2006, Farhan 2001, Saula *et al.* 2014).

Evaluasi lanjutan yang diperlukan terhadap pilihan pola rotasi dari berbagai kombinasi tanaman agar tercukupi ketersediaan airnya adalah sbb (Makarim *et al.* 2015):

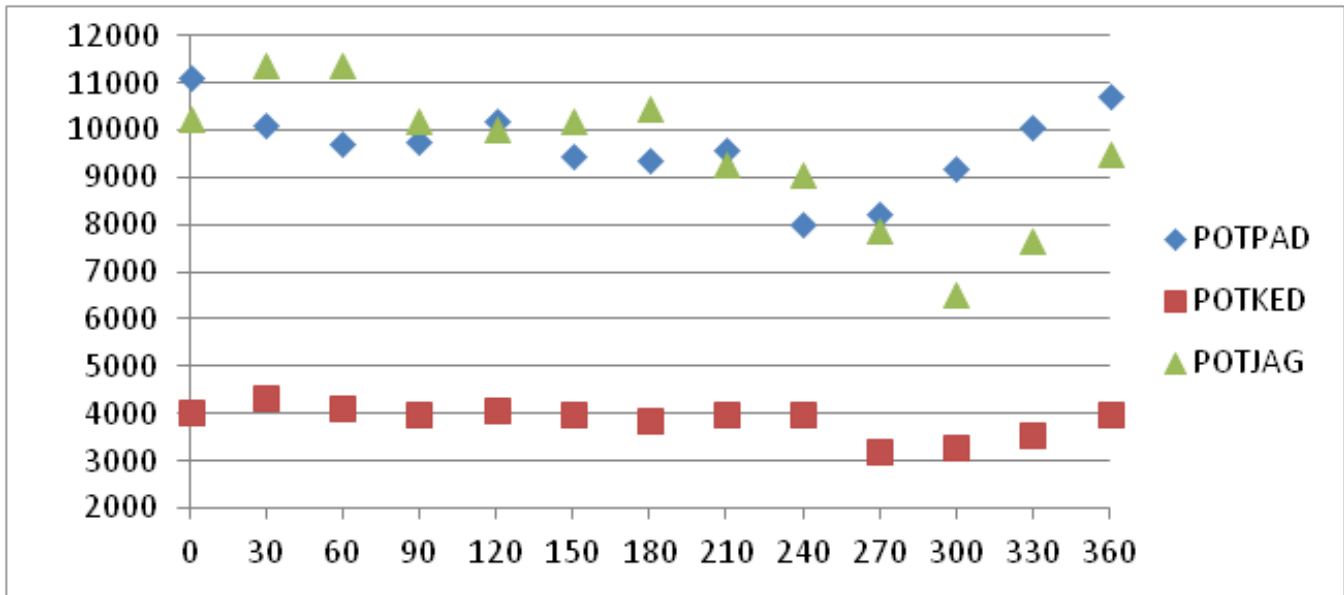
- Potensi hasil tanaman per musim tanam pada lokasi tertentu.
- Total keuntungan tiap pola rotasi (dalam Rp/ha/tahun) Informasi harga komoditas diambil pada musim berbeda dan luas tanaman per musim di suatu wilayah.
- Pertimbangan lain seperti ketersediaan tenaga kerja, risiko gagal panen, ketersediaan pasar dan lainnya ikut menentukan pilihan jenis tanaman dalam pola rotasi.

Potensi Hasil Tanaman, Pendapatan, dan Tanaman Terpilih

Potensi hasil didefinisikan sebagai hasil tanaman pada kondisi lingkungan tanpa cekaman (biotik dan abiotik), kecuali secara alamiah akibat kondisi radiasi surya, suhu maksimum (suhu di siang hari), suhu minimum (suhu di malam hari), dan sifat internal tanaman (morfo-fisiologi genetik) (Penning de Vries *et al.* 1989). Secara praktisnya, potensi hasil tanaman pada lingkungan tertentu dipengaruhi oleh waktu tanam dan varietas yang digunakan (Popp *et al.* 2002). Sebagai contoh disajikan dugaan potensi hasil padi, jagung, dan kedelai pada waktu tanam berbeda di Kabupaten Semarang (Gambar 1).

Potensi hasil padi dan jagung merespon kondisi iklim (radiasi surya, suhu maksimum dan minimum) yang ditunjukkan oleh variasi hasil pada waktu tanam berbeda. Potensi hasil padi tertinggi terjadi apabila tanam November-Februari, yaitu > 10 /ha, sedangkan potensi hasil tertinggi jagung apabila musim tanam antara Januari-Maret, yaitu > 11 t/ha (Makarim *et al.* 2015). Informasi ini diperlukan sebagai salah satu dasar pertimbangan dalam pemilihan tanaman pada pola rotasi setahun.

Sebaliknya, potensi hasil kedelai relatif stabil pada waktu tanam berbeda dalam setahun, secara teoritis



Gambar 1 . Dugaan besarnya potensi hasil (kg/ha) komoditas padi (POTPAD), jagung (POTJAG), dan kedelai (POTKED) di sekitar Semarang menggunakan model dinamik ROTIAE.CSM.
 Sumber: (Makarim *et al.* 2015)

Tabel 1. Potensi hasil padi, jagung, dan kedelai pada waktu tanam berbeda secara terpisah (*single commodity*), pendapatan dan jenis tanaman terpilih berdasarkan harga gabah, biji jagung, dan biji kedelai berturut-turut Rp 4000, Rp 4.000, dan Rp 8.000/kg.

Waktu tanam (Julian)	Hasil (kg/ha)			Pendapatan (Rp.juta/ha)			Tanaman terpilih
	Padi	Kedelai	Jagung	Padi	Kedelai	Jagung	
1	6300	2288	5802	25.2	18.3	23.2	Padi
30	5732	2458	6450	22.9	19.7	25.8	Jagung
60	5495	2339	6455	22.0	18.7	25.8	Jagung
90	5516	2254	5786	22.1	18.0	23.1	Jagung
120	5776	2309	5671	23.1	18.5	22.7	Padi
150	5364	2267	5780	21.5	18.1	23.1	Jagung
180	5309	2180	5923	21.2	17.4	23.7	Jagung
210	5441	2262	5260	21.8	18.1	21.0	Padi
240	4549	2262	5120	18.2	18.1	20.5	Jagung
270	4662	1807	4465	18.6	14.5	17.9	Padi
300	5200	1852	3703	20.8	14.8	14.8	Padi
330	5710	2008	4339	22.8	16.1	17.4	Padi

Sumber: Makarim *et al.* 2015

berkisar antara 3,0-4,5 ton biji/ha. Angka ini jauh di atas hasil aktual, yaitu dengan selisih 0,5-1,5 t/ha. Menurut Popp *et al.* (2002), hasil kedelai di lapang juga ditentukan oleh waktu tanam, varietas, dan penyiapan lahan.

Pemilihan jenis tanaman dalam pola rotasi sebaiknya juga didasarkan pada harga jual komoditas, yaitu gabah, biji kedelai, dan biji jagung pada saat akan dijual, yang berpengaruh terhadap pendapatan pada setiap waktu tanam (Tabel 1). Berdasarkan kombinasi jenis tanaman dan waktu tanam, terdapat 11 kombinasi pola rotasi pertanaman, nilai tertinggi (Rp 68,8 juta/tahun) diperoleh dari pola rotasi padi-padi-jagung yang ditanam masing-

masing pada bulan Januari, Mei, dan September (Tabel 2).

UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS DALAM ROTASI

Kualitas pola rotasi seperti produktivitas, keuntungan, stabilitas, dan keberlanjutan perlu ditingkatkan dan dievaluasi. Produktivitas dari setiap jenis tanaman pada musim tertentu perlu dioptimalkan. Dalam pola rotasi selalu ada residu sisa pertanaman sebelumnya baik

Tabel 2. Total pendapatan tiga komoditas (padi, jagung dan kedelai) dari 11 kombinasi pola tanam dan bulan tanam, menggunakan Sistem Pakar Rotasi Padi, Jagung, Kedelai (SIPARO PAJALE).

Bulan	P-P-P	K-K-K	J-J-J	P-P-J	P-P-K	P-J-P	P-J-J	P-J-K	P-K-P	P-K-J	P-K-K
1-5-9	66.5	54.9	66.4	68.8	66.4	66.1	68.4	66.0	61.9	64.2	61.8
2-6-10	63.0	52.3	66.8	62.2	58.8	64.7	63.9	60.5	59.7	58.9	55.5
3-7-11	64.0	51.0	64.3	58.0	58.0	66.5	60.5	60.5	60.2	54.2	54.2
4-8-12	66.7	52.2	61.5	61.2	59.9	65.9	60.5	59.2	63.0	57.5	56.2

Keterangan: P=padi; J= jagung; dan K= kedelai; Angka 1-12 adalah Januari- Desember
 Sumber: Makarim *et al.* (2015)

berupa batang, daun maupun akar yang bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman berikutnya. Tanaman kacang-kacangan diketahui banyak menyumbang hara N, K dan C-organik (Sumarno 2011, Padmini *et al.* 2008).

Produktivitas (disingkat Y, kg/ha) suatu tanaman pangan (padi, jagung, kedelai, kacang hijau dll.) merupakan hasil perkalian antara populasi/jumlah rumpun per satuan luas (per ha) (disingkat JR/ha) dikali hasil per rumpun (kg/rumpun) (Yr) atau ditulis: $Y = JR \times Yr$ (Pratiwi *et al.* 2010, Suhartatik *et al.* 2011). JR dapat diatur jumlah dan orientasinya di lapang. Semakin rapat jarak tanam semakin besar populasi tanaman per satuan luas. Namun Yr juga dipengaruhi oleh JR, yang secara umum semakin banyak JR semakin kecil Yr (Pratiwi *et al.* 2010, Saula *et al.* 2014). Besar penurunan tersebut berbeda antarvarietas padi (Suhartatik *et al.* 2011). Di lain pihak, hasil per rumpun (Yr) juga dipengaruhi oleh (1) hasil potensial varietas, (2) ketahanan varietas terhadap cekaman kekeringan (Savitri 2010); (3) musim tanam dan lokasi (radiasi, suhu maks dan suhu min.), (4) kesuburan tanah, (5) ketersediaan air (hujan dan irigasi), (5) efektivitas dan efisiensi input (air, pupuk, bahan organik, pestisida) (Makarim *et al.* 2000), serta (6) pengelolaan (Arsyad dan Sembiring 2003). Singkatnya, produktivitas tanaman pangan dapat ditingkatkan secara efisien melalui prinsip pengelolaan tanaman terpadu (PTT) (Makarim *et al.* 2005, Abdurachman *et al.* 2006). Oleh sebab itu, hasil tanaman berbeda menurut lokasi dan musim, tingkat pengelolaan, dan kondisi lingkungan.

KESIMPULAN

Pemilihan pola rotasi tanaman pada suatu lokasi ditentukan oleh banyak faktor. Hal yang perlu dipertimbangkan yaitu ketersediaan air, produktivitas, dan total keuntungan dalam satu tahun. Faktor lain seperti pemutusan siklus hama dan penyakit, peningkatan kesuburan tanah termasuk mikroorganisme penambat N dan pathogen nematode, perluasan areal tanam/panen per tahun perlu mendapatkan perhatian. Pemilihan jenis

tanaman dalam pola rotasi juga ditentukan oleh ketersediaan air; dengan membatasi luas areal tanam padi pada musim kemarau agar tidak terjadi kekeringan.

Kompleksnya pertimbangan dalam penentuan pola rotasi tanaman dalam satu tahun memerlukan perhitungan secara otomatis, seperti model dinamik, agar pemilihan pola rotasi di suatu wilayah dapat diduga secara akurat dan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, S., A.K. Makarim, Irsal Las, and I. Juliardi. 2006. Integrated crop management experiences on lowland rice in Indonesia. *In* Sumarno, Suparyono, A.M. Fagi and M.O. Adnyana (eds.) Rice industry, culture and environment. Proceedings of the International Rice Conference 2005, Tabanan, Bali, Indonesia Book 1. Indonesian Center for Rice Research (ICRR), p.143-154.
- Afandi, M. 2013. Analisis kebutuhan air irigasi dan rotasi tanaman. <https://www.slideshare.net/MunsyAfandi/analisis-kebutuhan-air>
- Anonim. 2017. Rotasi tanaman. Wikipedia bahasa Indonesia. Ensiklopedia bebas. https://id.wikipedia.org/wiki/Rotasi_tanaman_sejarah
- Apriyana, Y. dan T.E. Kailaku. 2015. Variabilitas iklim dan dinamika waktu tanam padi di wilayah pola hujan monsun dan equatorial. Proc.Sem.Nas.Bio.Dev. Indon 1(2):366-372.
- Arsyad, D.M. dan H. Sembiring. 2003. Pengembangan tanaman kacang-kacangan di Nusa Tenggara Barat. J. Litbang Pertanian 22(1):9-15.
- Ayu, I.W. 2014. Kebutuhan air tanaman. Fakultas Pertanian, Prodi Agroteknologi UNSA.
- Cantrell, R.P. and G.P. Hettel. 2004. New challenges and technological opportunities for rice-based production systems for food security and poverty alleviation in Asia and the pacific. International Conference on Rice in Global Markets and Sustainable Production Systems, FAO, Rome, February 12-13, 2004.

- Farhan, A. 2001. Meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam rangka menghadapi kekeringan pada saat terjadi El-Nino. *Jurnal Ilmiah IPB*.10(1):121-127
- Faridah, S.N. 2003. Analisis kebutuhan air tanaman jagung (*Zea mays*, L) pada berbagai umur tanaman.
- Govaerts, B., M. Mezzalama, K. D. Sayre, J. Crossa, K. Lichter, V. Troch, K. Vanherck, P. D. Corte, dan J. Deckers. 2008. Longterm consequences of tillage, residue management, and crop rotation on selected soil microflora groups in the subtropical highlands. *Applied Soil Ecology* 38: 197-210.
- Katsvairo, T., W.J. Cox and H. van Es. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. *Agron. J*.94:299-304
- Loretta, T., A. Nastro and G. Baldoni. 2016. Long-term effects of crop rotation, manure fertilization on carbon sequestration and soil fertility. *European Journal of Agronomy*. 74: 47–55.
- Makarim, A.K., S. Abdurachman, dan S. Purba. 2000. Efisiensi input tanaman pangan melalui *prescription farming*. Dalam. A.K. Makarim dkk (eds). *Tonggak Kemajuan Penelitian Tanaman Pangan. Konsep dan Strategi Peningkatan Produksi Pangan*. Puslitbangtan Bogor. Halaman 90-103.
- Makarim, A.K., D. Pasaribu, Z. Zaini dan I. Las. 2005. Analisis dan sintesis pengembangan model pengelolaan tanaman terpadu padi sawah. Balai Penelitian Tanaman Padi. 18 halaman. ISBN 979-540-023-1.
- Makarim, A.K., I Putu Wardana, Ikhwan, B. Priatmojo dan D. Nugraha. 2015. Model dasar pola tanam setahun tanaman pangan. Laporan Hasil Penelitian. Puslitbang Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian. 76 halaman.
- Muamar, S. Triyono, A. Tusi, dan B. Rosadi. 2012. Analisis neraca air tanaman jagung (*Zea mays*) di Bandar Lampung. *J. Teknik Pertanian Lampung* 1(1):1-10.
- Padmini, O.S., Tohari, D. Prayitno dan A. Syukur. 2008. Kombinasi pupuk organik-NPK dalam rotasi tanaman berbasis padi untuk peningkatan sifat kimia tanah dan hasil padi. *Ilmu Pertanian* 15(1):59-68.
- Penning de Vries, F.W.T, H.H. van Laar and M.J. Kropff (eds.) *Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP)*. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. p.214-238.
- Pertanian Sehat Indonesia. 2015. Rotasi tanaman. https://pertaniansehat.com/read/2015/11/13/rotasi_tanam
- Popp, M., P. Terry, C. Ketsling, R.W. McNew, C.R. Oliver, C.R. Dillon, and D.M. Wallace. 2002. Planting date, cultivar, and tillage system effects on dryland soybean production. *Agron. J*.94:81-88
- Pratiwi, G.R., E. Suhartatik dan A.K. Makarim. 2010. Produktivitas dan komponen hasil tanaman padi sebagai fungsi dari populasi tanaman. In S. Abdurachman, H.M. Toha, dan A. Gani (eds.) *Inovasi Teknologi Padi untuk Mempertahankan Swasembada dan Mendorong Ekspor Beras*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Padi 2009, Buku 2. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. p.443-450.
- Prihastuti. 2011. Struktur Komunitas Mikroba Tanah dan Implikasinya dalam mewujudkan sistem pertanian berkelanjutan. *Jurnal El-Hayah* 1(4): 174-181.
- Saula, A., A. Nugraha, dan R. Soelistyono. 2014. Pengaruh jarak tanam dan waktu pengendalian pada metode SRI (System of Rice Intensification) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa*). *J. Produksi Tanaman* 2(2):121-127.
- Savitri, E.S. (2010). Pengujian in vitro beberapa varietas kedelai (*Glycine max* L. merr) toleran kekeringan menggunakan polyethylene glikol (PEG) 6000 pada media padat dan cair. *El-Hayah* 1(2): 9-13.
- Setiawan, E. 2009. Kearifan lokal pola tanam tumpangsari di Jawa Timur. *Agrovigor* 2(2):79-89
- Silva, A.P., L.C. Babujia, I.S. Matsumoto, M.F. Guimaraes and M. Hungria. 2013. Bacterial diversity under different tillage and crop rotation systems in an Oxisols of Southern Brazil. *The Open Agriculture Journal* 7(1): 40-47.
- Smeltekop, H., D.E. Clay and S.A. Clay. 2002. The impact of intercropping annual "soya" small middle on corn production. *Agron. J*.94:917-924.
- Sofiyuddin H.A, L.M. Martief, B.I. Setiawan dan C. Arif. 2012. Evaluasi koefisien tanaman padi berdasarkan konsumsi air pada lahan sawah. *Jurnal Irigasi* 7(2):127.
- Suhartatik, E. A.K. Makarim dan Ikhwan. 2011. Respon Lima varietas unggul baru terhadap perubahan jarak tanam. *Inovasi teknologi padi Mengantisipasi Cekaman Lingkungan Biotik dan Abiotik*. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Padi 2011. p.1259-1273.
- Sumarno. 2011. Perkembangan budi daya kedelai di lahan sawah. *IPTEK Tanaman Pangan* 6(2):139-151.
- Suryanti, S., D. Indradewa, P. Sudira, J. Widada. 2015. Kebutuhan air, efisiensi penggunaan air dan ketahanan kekeringan kultivar kedelai Agritech 35(1):1-14.
- Thiryawati, N.S., Sudaryono dan T. Yulianti. 2013. Pengaruh rotasi tanaman dan agen pengendali hayati terhadap nematode parasit tanaman. *J. Biotropika* 1(5):211-215.
- Yuliatwati, T., T.K. Manik, R.A.B. Rosadi. 2014. Pendugaan kebutuhan air tanaman dan nilai koefisien tanaman (Kc) kedelai (*Glycine max* (L), Merrill) varietas Tanggamus dengan metode Lysimeter. *J. Teknik Pertanian Lampung* 3(3):233-238.