

Pengelolaan Lahan Kering Masam untuk Budi Daya Kedelai

Sudaryono¹

Ringkasan

Lahan kering masam Ultisol yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, dan Papua menjadi tumpuan pengembangan kedelai. Kondisi lahan kering Ultisol harus diperbaiki agar memiliki tingkat kesesuaian dan kesuburan yang layak untuk pengembangan kedelai. Inti masalah pada tanah Ultisol adalah: (1) Al yang dapat dipertukarkan (A_{ld}) dan kejenuhan Al tanah tinggi sehingga menjadi racun dan menghambat ketersediaan P karena fiksasi (Al-P) sehingga P tidak tersedia untuk tanaman; (2) kadar besi (Fe) tinggi, potensial menjadi racun dan memfiksasi P (Fe-P) sehingga ketersediaan P rendah tersedia; (3) kadar bahan organik umumnya rendah, menyebabkan daya sangga (*buffering capacity*) tanah rendah. Tanaman kedelai tidak dapat tumbuh optimal pada Ultisol yang memiliki kemasaman tinggi (pH tanah < 4,5) dan kejenuhan A_{ld} > 20%. Untuk pemecahan masalah keracunan Al dan Fe pada Ultisol umumnya memakai amelioran tanah dengan bahan baku mineral seperti kapur pertanian (kalsit atau CaCO₃, kapur tohor atau CaOH), dolomit maupun zeolit. Detoksifikasi Al dan Fe pada Ultisol dengan pupuk organik belum banyak dikerjakan sehingga membuka topik penelitian selanjutnya. Penggunaan pupuk organik, khususnya limbah pabrik tapioka dan pupuk kandang terfermentasi, memiliki arti penting untuk budi daya kedelai di lahan kering masam. Kesuburan tanah ideal untuk lahan kering masam dapat diwujudkan melalui tindakan manipulatif pengelolaan lahan, baik bersifat fisik-mekanik, maupun kimia, hayati, dan konservasi. Tindakan praktis yang disarankan adalah (1) perbaikan kesuburan fisik melalui penyiapan lahan untuk mencapai kondisi solum tanah cukup dalam (40-50 cm), struktur tanah gembur, daya simpan lengas meningkat, (2) perbaikan kesuburan kimia melalui ameliorasi tanah (zeolit, dolomit, kapur, amelioran organik), pemupukan organik dan anorganik (NPK, dan hara mikro), (3) perbaikan kesuburan hayati dengan pupuk hayati yang mengandung mikroba tanah terutama bakteri pelarut fosfat, mikoriza, dan bakteri penambat N nonsimbiotik, dan (4) pengaturan pola tanam atau rotasi tanaman yang lebih produktif.

Kedelai menjadi komoditas strategis di Indonesia jika dikaitkan dengan lima hal berikut: (1) kebutuhan kedelai dalam negeri tinggi, mencapai 2,02 juta ton; (2) pasok kedelai dalam negeri tidak mencukupi; (3) luas tanam dan panen kedelai terus menurun; (4) impor kedelai terus meningkat; dan (5) peningkatan produktivitas dengan intensifikasi kurang

¹ Peneliti Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang

menggairahkan petani karena laju pengembalian keuntungan kecil. Peningkatan pasok kedelai dalam negeri dapat dicapai terutama melalui perluasan areal tanam ke lahan kering di Sumatera, Kalimantan, Nusa Tenggara Barat (NTB), dan atau Nusa Tenggara Timur (NTT), yang memiliki sumber daya lahan yang masih sangat luas (Balitkabi 2004; BPS 2005).

Lahan kering masam menjadi tumpuan perluasan areal tanam kedelai dengan pertimbangan: (1) keterbatasan areal tanam kedelai di Jawa dan Bali, (2) alih fungsi lahan pertanian ke nonpertanian masih tinggi, dan (3) potensi lahan kering di luar Jawa dan lahan kering masam Ultisol cukup luas (LPT 1969). Lahan perkebunan karet dan kelapa sawit yang baru ditanam dan kebun peremajaan potensial untuk perluasan areal tanam kedelai melalui sistem tanam tumpangsari. Tanaman karet/kelapa sawit muda memberikan peluang bagi pertanaman tumpangsari hingga berumur 5 tahun. Tumpangsari kedelai dengan karet/kelapa sawit muda dapat memberikan tambahan pendapatan dan memberikan kontribusi bagi peningkatan kesuburan lahan yang berdampak positif terhadap kesuburan tanaman pokok. Kedelai juga dapat ditumpangsarikan dengan tebu pada periode tanam empat bulan pertama. Dalam prakteknya di lapangan, sistem ini tidak berkembang seperti yang diharapkan. Nilai ekonomi kedelai yang rendah merupakan salah satu kendala pengembangan tumpangsari kedelai dan tebu.

Produktivitas agroekologi lahan kering masam umumnya suboptimal karena memiliki beberapa masalah: (1) jaminan pasok lengas tanah tidak mantap; (2) kesuburan kimiawi tanah kurang baik, terdapat gejala kekahatan unsur hara; (3) kesuburan fisik tanah kurang baik, kemampuan menahan lengas tanah rendah, struktur gumpal atau masif (padat); (4) gangguan OPT cukup banyak sehingga perlu perhatian lebih intensif; (5) koordinasi, pendampingan penerapan teknologi, dan penyuluhan agak sulit.

Pemberdayaan lahan kering untuk pengembangan kedelai diyakini dapat mengatasi kekurangan produksi nasional. Strategi pemberdayaan lahan kering dicapai dengan meningkatkan efisiensi masukan teknologi budi daya kedelai, terutama pada komponen teknologi (1) pemulihan (rehabilitasi) dan pelestarian kesuburan lahan kering masam untuk meningkatkan produktivitas dengan jalan optimasi penetapan takaran pupuk organik dan amelioran yang efektif, (2) optimasi penetapan rekomendasi pemupukan P dan K, (3) optimasi tata ruang tumbuh tanaman kedelai untuk meningkatkan transformasi energi surya agar dicapai hasil maksimum dengan input minimum, dan (4) peningkatan efisiensi biaya produksi melalui mekanisasi, baik untuk pengendalian hama dan penyakit maupun pengendalian gulma yang efisien dan ramah lingkungan.

Sasaran pemberdayaan lahan kering untuk sistem produksi kedelai adalah mengangkat (1) komoditas kedelai menjadi produk unggulan nasional, (2) sumber daya petani yang kompetitif untuk menjadi subjek pembangunan pertanian khususnya tanaman pangan, dan (3) harkat lahan kering menjadi

lahan produktif. Agroekologi lahan kering memiliki peluang satu atau dua kali musim tanam, yang digambarkan oleh pola tanam: (1) kedelai -/- jagung -/- kacang-kacangan lain, (2) jagung -/- kedelai -/- kacang-kacangan lain, (3) tumpangsari jagung + kedelai -/- kacang tanah -/- kedelai, (4) tumpangsari ubi kayu + kedelai -/- kacang tanah.

Dampak pemberdayaan lahan kering untuk budi daya kedelai adalah: (1) menjamin kontinuitas dan keberlanjutan pasokan kedelai, (2) menjamin keamanan dan kemandirian pangan nasional, dan (3) terwujudnya sistem agribisnis secara utuh dengan pendekatan holistik berbasis kedelai.

Permasalahan pada Lahan Kering Ultisol

Masalah umum lahan kering Ultisol adalah tanahnya yang bereaksi masam, kandungan aluminium tinggi, kandungan bahan organik dan ketersediaan hara bagi tanaman rendah (Burrman 1980). Tanah Ultisol terbentuk dari bahan induk masam dengan curah hujan tinggi (2500-3500 mm/th), dicirikan oleh mineral lempung kaolinit dengan tipe kisi 1 : 1, pH sangat masam hingga masam (3,5-5,5), bertekstur lempung (clay), dengan struktur gumpal di lapisan bawah dan memiliki horison argilik, kapasitas tukar kation < 16 me/100 g lempung, dan kejenuhan basa < 35% (LPT 1969). Upaya perluasan areal tanam kedelai seyogianya diarahkan ke lahan kering yang agak masam (pH 4-5,5), dengan kejenuhan aluminium 25-30%. Hal ini dimaksudkan agar input produksi tidak terlalu tinggi sehingga efisiensi ekonomi masih dapat dicapai. Ragam kesuburan lahan kering sangat ditentukan oleh ragam topogeografisnya. Lahan kering masam Ultisol dan Oxisol yang sebagian besar terdapat di Sumatra, Kalimantan, dan Papua.

Inti masalah pada Ultisol adalah: (1) Kadar Al dapat ditukar dan kejenuhan Al tinggi, sehingga dari aspek kimia tanah menjadi pembatas secara langsung, Al merupakan racun dan secara tidak langsung menghambat ketersediaan P karena fiksasi (Al-P) sehingga tidak tersedia untuk tanaman dan hasil menjadi rendah; (2) Kadar besi (Fe) juga potensial menjadi racun dan memfiksasi P; (3) Kadar bahan organik umumnya rendah. Pemberian amelioran organik di samping meningkatkan kandungan bahan organik tanah, juga sekaligus untuk menginaktifkan senyawa Al dan Fe agar tidak meracun dan mengurangi fiksasi P oleh Al dan Fe. Diketahui bahwa asam humat dan fulfat dapat mengikat Al dan Fe dalam bentuk chelate; (4) Dekomposisi bahan organik menghasilkan derivat asam fenolat yang dalam jumlah banyak dapat menjadi racun bagi tanaman. Derivat asam fenolat dapat dinetralkan dengan kation polivalen seperti Al, Fe, Ca, dan Zn. Senyawa Fe^{+3} lebih efektif dan stabil berikatan dengan senyawa-senyawa organik dibandingkan dengan kation Al^{+3} , Ca^{+2} , Cu^{+2} , dan Fe^{+2} ; (5) Bahan organik menjadi faktor penting pada Ultisol dengan

pertimbangan di samping memiliki daya ameliorasi juga dapat memberikan nutrisi (lengkap hara makro dan mikro) yang langsung tersedia untuk tanaman setelah mengalami mineralisasi (6) Bahan organik menjadi faktor penting pada Ultisol karena dapat berfungsi sebagai pembenah tanah (*soil conditioner*) yang memperbaiki sifat fisik tanah, antara lain memperbaiki agregasi tanah, ratio pori makro dan mikro tanah yang berperan mengatur imbalan lengas dan udara tanah. Taufiq *et al.* (2004) melaporkan bahwa masalah utama di lahan kering Lampung Tengah dan Tulang Bawang untuk budi daya kedelai adalah pH rendah (< 5), kejenuhan Al tinggi (12,0-40,1% di Lampung dan 18,4-47,6% di Tulang Bawang), Fe tersedia tinggi (41,30-73,43 ppm), status P dan K tersedia rendah. Toleransi tanaman kedelai terhadap kejenuhan Al adalah 20% (Hartatik *et al.* 1987).

Pemberdayaan limbah organik dan pupuk kandang sebagai pupuk organik di samping meningkatkan bahan organik tanah sekaligus menginaktivkan senyawa Al dan Fe agar tidak meracuni dan mengurangi fiksasi P oleh Al dan Fe. Diketahui bahwa asam humat dan fulfat dapat mengikat Al dan Fe dalam bentuk chelate. Fraksi P-organik mengandung 2 % P sebagai asam nukleat, 1 % sebagai fosfolipid, 35 % sebagai inositol fosfat, dan sisanya belum diketahui secara jelas. Senyawa inositol heksafosfat dapat bereaksi dengan Fe dan Al membentuk garam yang sukar larut, demikian juga Ca. Garam ini sukar didegradasi oleh mikrobia tanah. Pengolahan tanah sampai lapis bawah (*sub soil*) yang dibarengi dengan ameliorasi akan memperbesar volume jeluk medan tanah (*effective soil depth*), memperbaiki struktur tanah, aerasi tanah, transformasi unsur hara, dan menggiatkan kinerja mikro-organisme tanah.

Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

Kedelai memerlukan syarat tumbuh tertentu, di antaranya iklim, ketersediaan air, dan kondisi tanah. Kriteria kesesuaian lahan untuk usahatani kedelai adalah sangat sesuai (S1), sesuai (S2), kurang sesuai (S3), dan tidak sesuai (N) (Tabel 1). Kriteria ini penting sebagai petunjuk dalam perencanaan, penerapan, dan pengembangan teknologi budi daya kedelai. Komponen teknologi utama dan pilihan sangat ditentukan oleh karakteristik agroekologi.

Pengembangan kedelai di lahan kering masam berhadapan dengan sifat-sifat kemasaman tanah yang bersumber dari aluminium (Al) dan senyawa besi (Fe). Tindakan teknis ameliorasi lahan akan menjadi bagian penting dari komponen teknologi baku untuk mengurangi aktivitas Al maupun Fe di lahan kering masam. Komposisi mineral lahan kering masam didominasi oleh mineral lempung tipe 1 : 1, maka pemakaian pupuk organik juga menjadi komponen baku dalam budi daya kedelai di lahan kering masam sehingga dapat meningkatkan kadar bahan organik tanah, meningkatkan kapasitas menahan lengas tanah, kapasitas tukar kation tanah (KTK), jumlah koloid organik tanah

Tabel 1. Kriteria kesesuaian lahan untuk tanaman kedelai.

Karakteristik	Tingkat kesesuaian lahan			
	S1 (sangat sesuai)	S2 (sesuai)	S3 (agak sesuai)	N (tidak sesuai)
Suhu				
Suhu rata-rata °C	23-28	29-30 22-20	21-32 19-18	> 32 < 18
Ketersediaan air				
Bulan kering (<75 mm)	3-7,5	7,6-8,5	8,6-9,5	>9,5
Curah hujan rata-rata (mm/th)	1500-1000	2500-1500 1000-700	3500-2500 700-500	> 3500 < 500
Lingkungan akar				
Drainase	Cukup baik	Agak berlebihan	Buruk	Sangat buruk
Tekstur tanah lapisan atas ^{x)}	L, S, CL,	SL, SC	LS, SiC, C	G, S Mass. C
Kedalaman tanah (cm)	>50	30-49	15-29	<15
Retensi hara				
KTK (me/100 g)	>25	25-15	15-5	<5
PH	6,0-7,0	7,1-7,5 5,9-5,5	7,6-8,5 5,4-5,0	>8,5 < 20
Ketersediaan hara				
N total (%)	>1,0-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	<0,1
P ₂ O ₅ tersedia (Bray 4) (ppm)	>50	50-15	<15	<5
P ₂ O ₅ tersedia (Olsen 3) (ppm)	>15	15-5	<5	<2
K tersedia (me/100 g)	0,8-0,4	0,4-0,2	0,2-0,03	<0,03
Salinitas/kegaraman (mmhos/cm)				
Lapis tanah bawah	< 2,5	2,5-4	4-8	> 8
Kemiringan lahan (%)	0-5	5-15	15-20	> 20
Kejenuhan Al (Al/KTK) %	< 20	20-30	30-40	> 40

^{x)} Tekstur: Clay (C) = lempung, Clay loam (CL) = geluh berlempung, Loam (L) = geluh, Sandy clay loam (SCL) = geluh lempung berpasir, Sandy clay (SC) = lempung berpasir, Sandy loam (SL) = geluh berpasir, Silt (Si) = debu, Silty clay (SiC) = lempung berdebu, Silt loam (SiL) = geluh berdebu, Sand (S) = pasir, Gravels (G) = berbatu, Massive clay (Mass.C) = lempung pejal.

Sumber: CSR-FAO 1983; Landon 1984

yang dapat membentuk khelat (*chelate*) senyawa Al dan Fe sehingga membantu pengendalian kemasaman dan keracunan tanaman. Komponen pemupukan terutama adalah penambahan hara P dan K, mengingat ketersediaan kedua unsur ini di lahan kering masam pada umumnya rendah.

Tanaman kedelai memiliki syarat tumbuh sebagai berikut: (1) ketinggian tempat 0-1500 m dpl (di atas permukaan laut), namun yang optimum sekitar

650 m dpl; (2) suhu optimum 29,4°C; (3) toleransi terhadap naungan < 40%; (4) mampu beradaptasi pada iklim yang luas, optimum pada tipe iklim C1-2, D1-3, dan E1-2; (5) kedelai merupakan tanaman hari pendek (< 12 jam/hari); (6) konsumsi air 64-75 cm/musim tanam atau setara dengan curah hujan 200-300 mm/musim tanam; (7) beradaptasi luas terhadap tanah namun subur dan gembur, pH optimal 6,2-7,0, kejenuhan Al < 20%; dan (8) setiap ton biji kedelai mengangkut hara sekitar 66 kg N, 15,5 kg P, 39,7 kg K, 7,5 kg Mg, dan 7 kg S (Baharsjah 1985; PPI 1985; Halliday and Trenkel 1992; Hartatik dan Adiningsih 1987; Widjaja-Adhi 1985). Berdasarkan sifat dan kemampuan beradaptasi pada iklim yang luas maka tanaman kedelai dapat tumbuh dengan baik pada iklim B1, C, D, dan E. Pada daerah yang memiliki tipe iklim B tanaman kedelai juga dapat tumbuh dengan baik asal panen jatuh pada musim kering sehingga tidak mengalami kesulitan untuk proses pascapanennya (pengeringan).

Pengelolaan Lahan Kering Masam

Tanah merupakan bodi yang unik, terdiri atas fasa padat, cair, udara, dan fasa kehidupan (hayati; mikro organisme tanah). Interaksi dari keempat fasa tersebut menghasilkan suatu kondisi lingkungan yang akan mempengaruhi keragaan makhluk lain, dalam hal ini tanaman yang hidup di dalam lingkungan tersebut. Proses maupun reaksi yang berlangsung di dalam tanah dapat bersifat tunggal maupun kombinasi, atau saling mengait antara yang satu dengan yang lain. Proses yang terjadi dapat bersifat fisik, kimia, biofisik, biokimia, dan fisiologis.

Tanah ideal untuk tanaman kedelai meliputi tiga aspek kesuburan, yaitu kesuburan fisik, kimia, dan biologi atau hayati tanah. Kesuburan tanah ideal menyangkut imbanan yang rasional dari ketiga aspek kesuburan tersebut. Kesuburan fisik tanah berkaitan dengan banyak hal, antara lain jeluk mempan tanah (*soil effective depth*), struktur, imbanan ruang pori makro dan mikro, imbanan lengas dan udara tanah, kekuatan tanah (*soil strength*), pemadatan (*soil compaction*), pencucian atau pelindian (*leaching*) unsur hara, translokasi dan pengendapan partikel lempung dan unsur hara pada lapisan tanah bawah. Kesuburan fisik akan mempengaruhi sirkulasi udara, dinamika lengas tanah, proses kimiawi, hayati maupun fisiologi tanaman. Kesuburan kimia tanah akan berkaitan dengan reaksi oksidasi – reduksi dalam tanah, mineralisasi unsur hara, transformasi unsur hara, substitusi isomorfi senyawa logam ke struktur kisi mineral, proses dekomposisi bahan organik, reaksi pertukaran unsur hara, ketersediaan kation bagi tanaman, proses serapan air dan hara dari tanah ke dalam akar tanaman. Kesuburan hayati menggambarkan keragaan jenis, jumlah, dan aktivitas mikro organisme tanah. Kegiatan mikro organisme tanah yang memiliki peran terhadap kesuburan tanah adalah proses

perombakan dan mineralisasi bahan organik tanah menjadi unsur hara, proses penambatan N udara oleh bakteri rhizobium, proses pelepasan fosfat oleh bakteri pelarut fosfat atau kerja asosiasi oleh mikorisa, dan penyediaan senyawa belerang oleh bakteri pelarut belerang (*Thiobacillus* sp.). Jadi kesuburan tanah ideal memiliki matra (*dimension*) yang sangat luas dan memiliki indikator yang sangat banyak dan kompleks.

Tindakan praktis yang dapat disarankan untuk memperbaiki kesuburan fisik, kimia, dan hayati tanah dilakukan tunggal (parsial), bersamaan (komplementer), maupun terpadu (terintegrasi). Langkah pertama perbaikan kesuburan fisik tanah masam harus memperhatikan kemiringan (slope), pola drainase alami (*natural drainage pattern*), dan tebal lapisan tanah (solum). Faktor ini akan menentukan ketepatan pemilihan jenis dan cara pengelolaan lahan tahap selanjutnya. Lahan masam yang memiliki kemiringan tinggi dan pola drainase alami yang kurang terkendali diperlukan tindakan-tindakan konservasi lahan. Lahan kering masam yang masih memiliki solum tebal (> 50 cm) memerlukan pengelolaan yang nisbi mudah karena tidak memerlukan manipulasi fisik yang berat atau mahal. Pada lahan kering masam dengan solum tipis (< 20 cm), diperlukan pengolahan tanah yang dalam hingga pada kedalaman 40 cm untuk mempertebal solum tanah dengan menggunakan traktor besar. Pengolahan tanah dalam akan memperbaiki jeluk mempan tanah sehingga pertumbuhan dan perkembangan akar lebih baik dan sehat. Penggunaan pembenah tanah atau amelioran (zeolit, dolomit, kapur pertanian) serta amelioran organik diperlukan pada tanah bersolum tebal maupun tipis. Amelioran mineral dan organik di samping memiliki peranan untuk memperbaiki sifat fisik tanah seperti perbaikan agregasi dan struktur tanah, juga memperbaiki sifat kimia tanah, seperti peningkatan pH atau penurunan kemasaman tanah, penurunan kejenuhan Al hingga < 20%, dan pengurangan aktivitas Fe.

Perbaikan kesuburan kimia lahan kering masam dapat dilakukan dengan tindakan manipulatif untuk mengubah sifat-sifat kimia tanah yang kurang sesuai, seperti meningkatkan pH tanah dan status keharaan tanah melalui pemupukan, baik makro (NPK) maupun mikro (Zn, Cu). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, tindakan perbaikan lahan bermakna ganda atas sifat fisik maupun kimia bahkan biologi. Penggunaan pupuk organik berupa kompos maupun kotoran ternak yang sudah matang (C/N ratio < 12) memiliki tiga manfaat sekaligus, yaitu (1) perbaikan sifat fisik tanah dalam bentuk perbaikan agregasi dan struktur tanah menjadi gembur, peningkatan kapasitas tanah menahan lengas tanah), (2) perbaikan kesuburan kimia tanah, seperti penambahan unsur hara secara lengkap, peningkatan kapasitas tukar kation (KTK), penambahan senyawa fenol untuk mengkhelasi senyawa Fe dan Al sehingga tidak meracun, (3) perbaikan kesuburan hayati tanah, bahan organik merupakan sumber karbon mikrobial sehingga meningkatkan aktivitas mikrobial tanah dalam melakukan transformasi keharaan tanaman.

Perbaikan kesuburan hayati lahan kering masam dapat dilakukan dengan penggunaan pupuk hayati yang mengandung mikroba pelarut fosfat, bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik, dan mikoriza. Bakteri pelarut fosfat diperlukan pada lahan kering masam untuk merombak ikatan P-Al atau P-Fe. Penambahan populasi bakteri penambat nitrogen nonsimbiotik pada lahan kering masam akan lebih efektif dibandingkan dengan rizobium.

Pola tanam dan rotasi tanaman yang produktif dapat membantu perbaikan kesuburan tanah masam. Pengaturan sistem tanam dan kombinasi pertanaman akan menciptakan lingkungan tumbuh yang kondusif, interaksi positif, dan sinergisme positif di antara tanaman satu dengan yang lain, sehingga pemanfaatan sinar matahari, air, dan hara tanah dapat optimal. Pemilihan kombinasi tanaman antara lain memperhatikan sifat kanopi, berkanopi lebat dikombinasikan dengan yang kurang lebat, pergiliran pertanaman sereal dengan tanaman kacang-kacangan, sistem pertanaman tumpangsari antara tanaman sereal, atau umbi-umbian dengan tanaman kacang-kacangan, kombinasi antara tanaman yang berakar dangkal dan dalam, interkropping antara tanaman tahunan dengan tanaman semusim.

Pelestarian Kesuburan Tanah

Masalah dan tantangan yang dihadapi ke depan dalam pengembangan kedelai di lahan kering masam adalah meningkatkan efisiensi masukan teknologi budi daya kedelai. Komponen teknologi yang diperlukan adalah untuk: (1) pemulihan (rehabilitasi) dan pelestarian kesuburan lahan kering masam untuk meningkatkan produktivitas; optimasi penetapan pupuk organik dan amelioran yang efektif, (2) pemeliharaan jeluk medan tanah yang efektif untuk jangkauan perakaran, (3) optimasi penetapan rekomendasi pemupukan terutama P dan K, dan hara mikro, (4) optimasi tata ruang tumbuh tanaman kedelai untuk meningkatkan transformasi energi surya agar dicapai hasil maksimum dengan input minimum, (5) peningkatan efisiensi biaya produksi kedelai melalui mekanisasi, dan pengendalian gulma secara efisien dan ramah lingkungan.

Setelah perbaikan tanah dicapai pada tingkat produktivitas yang diinginkan (ideal) maka tahap selanjutnya adalah pelestarian produktivitas tanah agar tetap memiliki stabilitas, produktivitas, kontinuitas, ekuitabilitas, dan sustainabilitas kesuburan. Hakekat pelestarian produktivitas tanah pada dasarnya adalah mengacu kepada keseimbangan neraca lingkungan (*environmental balance budget*). Contoh khusus yang menyangkut unsur hara, usahatani modern harus memiliki konsep perencanaan pengelolaan hara berimbang (*balance budget nutrient plan*). Implikasi dari konsep neraca hara berimbang adalah penggantian hara yang hilang atau terangkut dari lahan produksi baik melalui hasil panen, sisa hasil tanaman yang terangkut keluar, pelindian, maupun terangkut oleh aliran permukaan (*run off*).

Sistem Produksi Kedelai

Keragaan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman kedelai merupakan hasil resultante antara faktor tanaman (genetik), lingkungan (abiotik dan biotik), dan pengelolaan tanaman (*crop management*). Faktor tanaman merupakan faktor internal yang mencerminkan kemampuan maksimal tanaman untuk menghasilkan. Lingkungan dan pengelolaan tanaman merupakan faktor eksternal yang berpengaruh terhadap keragaan pertumbuhan vegetatif dan generatif. Kondisi lingkungan eksternal yang memungkinkan tanaman tumbuh dan berkembang maksimal adalah lingkungan tumbuh ideal. Kriteria lingkungan tumbuh ideal adalah karakter atau sifat-sifat lingkungan tumbuh, baik yang terukur (*tangible*) maupun tidak terukur (*intangible*). Lingkungan terdiri atas dua macam, yaitu lingkungan abiotik dan biotik.

Lingkungan abiotik mencerminkan lingkungan nirhidup yang terdiri atas anasir tanah, air, dan iklim. Tanah, air dan iklim merupakan faktor lingkungan tanaman sebagai medium tumbuh yang memiliki kontribusi sangat besar terhadap keragaan pertumbuhan tanaman. Lingkungan biotik mencerminkan lingkungan yang hidup, meliputi anasir hama, penyakit, gulma, dan jasad hayati dalam tanah (mikroba tanah).

Kesimpulan

Kesuburan tanah yang ideal dari lahan kering masam untuk budi daya kedelai dapat diwujudkan melalui tindakan manipulatif pengelolaan lahan, baik bersifat fisik-mekanik, maupun kimia, hayati, dan konservasi. Tindakan praktis yang disarankan adalah (1) perbaikan kesuburan fisik melalui penyiapan lahan untuk mencapai kondisi solum tanah yang cukup dalam (40-50 cm), struktur tanah gembur; (2) perbaikan kesuburan kimia melalui ameliorasi tanah (zeolit, dolomit, kapur, amelioran organik), pemupukan organik dan anorganik (NPK, dan hara mikro tertentu); (3) perbaikan kesuburan hayati dengan pupuk hayati yang mengandung mikroba tanah, terutama bakteri pelarut fosfat, mikoriza, dan bakteri penambat N non simbiotik; dan (4) pengaturan pola tanam atau rotasi tanaman yang lebih produktif.

Pustaka

Balitkabi. 2004. Rencana induk program penelitian. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian tahun 2005-2009. Malang.

- Baharsjah, Yustika S., D. Suardi, dan I. Las. 1985. Hubungan iklim dengan pertumbuhan kedelai. p. 87-1002. *Dalam: S. Somaatmadja et al. (Eds.). Kedelai*. Puslitbangtan. Bogor.
- Biro Pusat Statistik. 2005. Production of secondary food crop in Indonesia. <http://www.bps.go.id/sector/agri/pangan/indexhuni>.
- Buurman, P. 1980. Red soil in Indonesia. Cent. for. Agr. Pub. and Doc. Wageningen.
- Halliday, D.J. dan M.E.Trenkel. 1992. IFA world fertilizer use manual. International Fertilizer Industry Association (IFA). Paris.
- Hartatik, W. dan J.S. Adiningsih. 1987. Pengaruh pengapuran dan pupuk hijau terhadap hasil kedelai dan pada tanah Podsolik Sitiung di rumah kaca. Pemb. Pen. Tanah dan Pupuk 7:1-4.
- LPT (Lembaga Penelitian Tanah). 1969. Kemungkinan perluasan areal pertanian di dataran Indonesia. Menara Perkebunan 38 (3/4):6-15.
- PPI. 1985. Plant nutrient uptake at high yield levels. Back cover. Better crops International I (2) December 1985.
- Taufiq, A., H. Kuntastuti, dan A. G. Manshuri. 2004. Pemupukan dan ameliorasi lahan kering masam untuk peningkatan produktivitas kedelai. Makalah Lokakarya Pengembangan kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004. p. 21-40.
- Widjaja-Adhi, I Putu G. 1985. Pengapuran tanah masam untuk kedelai. p. 171-188. *Dalam: S. Somaatmadja et al. (Eds.). Kedelai*. Puslitbangtan. Bogor.