

DEDIK BUDIANTA

PENGELOLAAN KESUBURAN TANAH



**MENDUKUNG PELESTARIAN
SUMBERDAYA LAHAN DAN
LINGKUNGAN**

PENGELOLAAN KESUBURAN TANAH

**MENDUKUNG PELESTARIAN
SUMBERDAYA LAHAN DAN LINGKUNGAN**

**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

PENGELOLAAN KESUBURAN TANAH

**MENDUKUNG PELESTARIAN
SUMBERDAYA LAHAN DAN LINGKUNGAN**

Dedik Budianta



**PENGELOLAAN KESUBURAN TANAH
MENDUKUNG PELESTARIAN SUMBERDAYA
LAHAN DAN LINGKUNGAN
Dedik Budianta**

UPT. Penerbit dan Percetakan
Universitas Sriwijaya 2022
Kampus Unsri Palembang
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. 0711-360969
email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com
website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 005.140.1.6.2021
Anggota IKAPI No. 001/SMS/96

xii + 294 halaman : 16 x 24 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN : 978-623-399-045-5

Kata Pengantar

Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan buku “Pengelolaan Kesuburan Tanah: untuk mendukung pelestarian sumberdaya lahan dan lingkungan” yang dapat digunakan sebagai referensi untuk mata kuliah Ilmu Kesuburan Tanah atau Pengelolaan kesuburan tanah lanjut pada Program Sarjana maupun Pasca Sarjana Unsri maupun perguruan tinggi lainnya. Pada revisi buku ini penulis menambahkan satu sub bab pada BAB IV Pengelolaan Lahan Rawa Pasang Surut yaitu tentang penanaman sorgum pada tanah pasang surut dengan pemanfaatan sumberdaya lokal (kotoran ayam, kotoran sapi dan vermikompos) yang merupakan hasil penelitian unggulan profesi tahun 2021 yang dibiayai oleh Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2021 No. SP DIPA-023.17.2.677515/2021, tanggal 23 November 2020 Sesuai dengan SK Rektor No: 0014/UN9/SK.LP2M.PT/2021 Tanggal 25 Mei 2021. Penambahan sub bab ini dirasa sangat penting untuk menambah informasi/ilmu kepada pembaca atau mahasiswa atau peneliti tentang pengelolaan kesuburan tanah di lahan pasang surut.

Informasi pengelolaan kesuburan tanah ini masih sangat diperlukan baik oleh petani, mahasiswa pertanian, peneliti maupun praktisi dibidang pertanian maupun perkebunan. Untuk mendapatkan pustaka yang berbahasa Indonesia tentang unsur hara ataupun pengelolaan kesuburan tanah masih sangat sedikit, sehingga mahasiswa yang sedang mengambil matakuliah kesuburan tanah ataupun mahasiswa yang sedang mengambil penelitian tentang pengelolaan kesuburan tanah sangat kesulitan untuk mendapatkan

bahan pustaka tersebut. Lebih-lebih pustaka tentang pengelolaan unsur hara yang berkaitan dengan pelestarian sumberdaya lahan dan lingkungan. Mudah-mudahan buku ini dapat memenuhi kebutuhan buku referensi untuk para mahasiswa, peneliti maupun pengajar yang sedang membahas tentang pengelolaan kesuburan tanah.

Dengan selesainya buku ini, penulis menghaturkan terima kasih kepada kawan-kawan sejawat serta mahasiswa saya yang telah menyampaikan kritik dan saran untuk perbaikan penulisan buku berikutnya.

Januari 2022

Penulis

Daftar Isi

	Halaman
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	xii
I Pendahuluan	1
1.1. Pentingnya Unsur Hara Untuk Tanaman	9
1.2. Hubungan Jenis Tanah Dengan Unsur Hara	14
1.3. Hubungan Unsur Hara Dengan Kesehatan Tanaman	17
1.4. Hubungan Unsur Hara Dengan Produksi Tanaman	23
II Unsur hara Yang Dibutuhkan Tanaman	27
2.1. Pengertian Unsur Hara	27
2.2. Sumber Unsur Hara	31
2.3. Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Dalam Tanah	35
2.4. Peranan dan Fungsi Unsur Hara	37
2.5. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Ketersediaan Unsur Hara	69
2.6. Cara-cara Penentuan Kebutuhan Unsur Hara Untuk Tanaman	80
III Pengelolaan Tanah Masam	91
3.1. Pengertian Tanah Masam	91
3.2. Kendala Tanah Masam	101
3.3. Mengatasi Kendala Tanah Masam	111
IV Pengelolaan Lahan Pasang Surut	125
4.1. Pengertian Lahan Rawa Pasang Surut	125
4.2. Kendala Tanah Rawa Pasang Surut	127
4.3. Cara Mengatasi Tanah Sulfat Masam	132
4.4. Evaluasi Lahan Sulfat Masam	140
4.5. Kondisi Biologi Tanah Pasang Surut	149
4.6. Pertumbuhan Tanaman Sorghum di Lahan Pasang Surut	160
V Pengelolaan Tanah Basa atau Alkalis	167
5.1. Pengertian Tanah Basa	167
5.2. Kendala Tanah Basa	172

	5.3. Mengatasi Kendala Tanah Basa	173
VI	Pengapuran	181
	6.1. Pengertian Kapur Pertanian	181
	6.2. Tujuan Pemberian Kapur	183
	6.3. Bentuk-bentuk Kapur Pertanian	184
	6.4. Metode Pemberian Kapur	185
	6.5. Status Kapur Dalam Tanah	189
	6.6. Manfaat Kapur Terhadap Sifat Kimia Tanah	190
	6.7. Manfaat Pengapuran Terhadap Sifat Fisika Tanah	193
	6.8. Manfaat Pengapuran Terhadap Sifat Biologi Tanah	196
VII	Pengelolaan Bahan Organik	199
	7.1. Pengertian Bahan Organik Tanah	199
	7.2. Peran Bahan Organik bagi Kesuburan Tanah	206
	7.3. Peranan Bahan Organik Dalam Pelapukan Batuan dan Mineral	218
	7.4. Peranan Bahan Organik Dalam Pembentukan Horison Tanah	225
	7.5. Peranan Bahan Organik Dalam Agregasi Tanah	229
	7.6. Kandungan Humat dan Fulvat Dalam Bahan Organik	233
	7.7. Pemilihan Bahan Organik Tanah Sebagai Amelioran	240
	7.8. Praktek Penerapan Bahan Organik	242
	7.9. Pengaruh Curah Hujan Terhadap Bahan organik	245
	7.10. Bahan Organik Sebagai Penentu Kualitas dan Kesehatan Tanah	246
VIII	Evaluasi Kesuburan Tanah	253
	8.1. Diagnosis Gejala Kekahatan Unsur Hara	254
	8.2. Analisis Jaringan Tanaman	257
	8.3. Analisis Tanah	258
	8.4. Uji Biologis	259
	Daftar Pustaka	267
	Istilah-istilah dalam kesuburan tanah	279

Daftar Tabel

	Halaman
Tabel 1.1. Kisaran Umum Konsentrasi Logam berat Pada Pupuk Anorganik dan Organik	19
Tabel 1.2. Rerata Kandungan Logam Berat Pb dalam Tanah Sawah Intensifikasi Tugumulyo	21
Tabel 1.3. Kandungan Kadmium (Cd) Pada Lahan Sawah Intensifikasi Belitang	21
Tabel 1.4. DosisPupuk P Terhadap Hasil Panen Padi Gogo (Gabah Kering Giling)	25
Tabel 2.1. Rerata Kadar Hara Dalam Tanaman	29
Tabel 2.2. Unsur Hara Esensial, Bentuk Yang Diserap dan Fungsinya Dalam Tanaman	30
Tabel 2.3. Unsur Hara Makro dan Mikro Yang Dibutuhkan Tanaman Untuk Pertumbuhannya	32
Tabel 2.4. Pengaruh Kemasaman Terhadap Beberapa Reaksi Dalam Tanah	72
Tabel 2.5. Beberapa Reaksi Oksidasi dan Reduksi Yang Penting Dalam Tanah	73
Tabel 2.6. Estimasi Jumlah Hara Yang Disuplai Oleh Tiga Mekanisme Kepada Akar Jagung Yang Tumbuh Dalam Tanah Lempung Debu Yang Dipupuk Dosis Tinggi dan pH Tanah 6,8	74
Tabel 2.7. Dosis Pupuk Untuk Kakao Berdasarkan Produktifitasnya (PTP XXIII)	83
Tabel 2.8. Dosis Pupuk Untuk Kopi Berdasarkan Produktifitasnya (PTP XXIII)	84
Tabel 4.1. Hasil analisis tanah sulfat masam di Karang Agung Sumatera Selatan	134
Tabel 4.2. Penggunaan Lahan Pertanian di Sekitar Mulia Sari dan Banyu Urip	141
Tabel 4.3. Kemasman Tanah (pH tanah), H^+ and Al^{3+} dapat tertukar	146
Tabel 4.4. Kadar C-organik, Kapasitas Tukar Kation and Kandungan Pirit	148
Tabel 4.5. Beberapa Kation basa Natrium, Calsium	149

	and Magnesium yang dapat dipertukarkan	
Tabel 4.6.	Kandungan N, P and K pada lahan pasang surut	149
Tabel 4.7.	Isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari tipologi lahan A, B, C, dan D	153
Tabel 4.8.	Hasil Identifikasi bakteri pelarut fosfat	155
Tabel 4.9.	Isolat bakteri pemfiksasi nitrogen yang diperoleh dari tipologi lahan A, B, C, dan D	158
Tabel 4.10	Pengaruh pemberian pupuk kotoran ayam dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorghum	162
Tabel 4.11	Pengaruh pemberian pupuk kandang ayam dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K	163
Tabel 4.12	Pengaruh pemberian vermikompos dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum	164
Tabel 4.13	Pengaruh pemberian vermikompos dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K	164
Tabel 4.14	Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum	166
Tabel 4.15	Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K	166
Tabel 5.1.	Daftar Tanaman Yang Memiliki Toleransi Terhadap Salinitas	177
Tabel 6.1.	Nilai Netralisasi Beberapa Bahan Kapur Yang Umum Dipakai	185
Tabel 6.2.	Kebutuhan Kapur Berdasarkan Pengukuran pH Dengan Buffer Solution	187
Tabel 6.3.	Pengaruh Pemberian Kapur dan Pupuk Hijau Terhadap Kandungan Hada Dalam Tanaman Kedelai	191
Tabel 6.4.	Pengaruh Kadar Kapur Terhadap Kemantapan Agregat Tanah (%)	194
Tabel 6.5.	Pengaruh Kadar Kapur Terhadap	195

	Permeabilitas Tanah (Cm/jam)	
Tabel 6.6.	Daya Tumpu Tanah (kg/cm^3) Pada penambahan 5 % Kapur Tanah	195
Tabel 7.1.	Komposisi Kimia Bahan Tanaman Sebagai Sumber Bahan Organik Yang Akan Diberikan Ke dalam Tanah	207
Tabel 7.2.	Biomassa Cacing Tanah Pada beberapa Kondisi Lahan	221
Tabel 8.1.	Deskripsi Umum Kenampakan Gejala-gejala Kekahatan Hara Dari Sejumlah Hara	256
Tabel 8.2.	Contoh Ekstrak Untuk Penetapan Total Hara	259
Tabel 8.3.	Contoh Ekstrak Untuk Penetapan Ketersediaan hara	260
Tabel 8.4.	Pengaruh Dosis Pupuk Kandang Terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah Pasir	263
Tabel 8.5.	Pengaruh Dosis Pupuk Kandang Terhadap Kerapatan dan Distribusi Pori Tanah	264

Daftar Gambar

	Halaman
Gambar 1.1. Arah Hubungan Antara Tanaman, Tanah dan Iklim	12
Gambar 2.1. Siklus Unsur Hara Nitrogen	39
Gambar 2.2. Ketersediaan Unsur Hara Berdasarkan pH tanah	78
Gambar 4.1. Hasil isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat	154
Gambar 4.2. Hasil isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat dari lahan pasang surut Tipologi lahan A, B, C dan D	155
Gambar 4.3. Hasil isolasi dan skrining bakteri pemfiksasi nitrogen	157
Gambar 4.4. Hasil pemurnian isolat bakteri pemfiksasi nitrogen	159
Gambar 7.1. Peranan Bahan Organik Dalam Translokasi Ion Logam	227
Gambar 7.2. Peranan Bahan Organik Dalam Pembentukan 2 Tipe Tanah “climax”	228
Gambar 7.3. Beberapa Peranan Bahan organik Dalam Agregat Tanah	233
Gambar 7.4. Skematis Sinkronisasi Saat Ketersediaan hara dan hasil Mineralisasi Dengan Saat Tanaman Membutuhkannya Pada Berbagai Macam Masukan Bahan Organik (a) Kualitas Tinggi, (b) Kuliatas Rendah, (c) Campuran Kualitas Tinggi dan Rendah, dan (d) Tanpa Masukan Bahan Seresah	242

BAB I

PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu komponen penyusun lahan yang sangat diperlukan untuk media tumbuh tanaman, sehingga tanah sangat penting diperhatikan dan dikelola untuk pertumbuhan dan produksi pangan. Berkaitan dengan itu, tanah juga sebagai tempat hidup semua organisme mulai dari organisme tingkat rendah (mikrobia) sampai organisme tingkat tinggi (tanaman). Sebagai tempat hidup organisme, tanah mempunyai peranan utama untuk penopang salah satu faktor penting pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu pemasok unsur hara atau makanan. Dengan demikian tanah yang subur artinya tanah yang kaya unsur hara yang akan memberikan produksi tanaman yang tinggi. Secara alami tanah dapat memasok kebutuhan hara yang dibutuhkan tanaman untuk kehidupannya, tetapi hara yang ada dalam tanah semakin berkurang jumlahnya akibat diserap terus menerus oleh tanaman ataupun hilang terbawa hasil panen atau hilang bersama air limpasan akibat curah hujan yang tinggi sehingga unsur hara tersebut harus ditambah dari luar melalui pengelolaan hara dalam tanah atau pengelolaan kesuburan tanah. Secara harfiah kesuburan tanah adalah kemampuan suatu tanah sebagai media tumbuh tanaman untuk menghasilkan produk tanaman yang diinginkan pada lingkungan tempat tumbuh tertentu dan terbatas. Produk tanaman yang dihasilkan dapat berupa buah, biji, daun, bunga, umbi, akar, getah, kayu, serat dan lain sebagainya. Sedangkan

Notohadiprawiro dkk (1984) mentakrifkan kesuburan tanah adalah mutu tanah untuk berocok tanam, yang ditentukan oleh interaksi sejumlah sifat fisika, kimia dan biologi bagian tubuh tanah yang menjadi habitat akar-akar aktif tanaman. Lebih lanjut mereka menyebutkan bahwa ada akar yang berfungsi menyerap air dan larutan hara, dan ada yang berfungsi sebagai penjangkar tanaman. Kesuburan habitat akar dapat bersifat hakiki dari bagian tubuh tanah yang bersangkutan, dan/atau imbas oleh keadaan bagian lain tubuh tanah dan/atau diciptakan oleh pengaruh anasir lain dari lahan, yaitu bentuk muka lahan, iklim dan musim. Karena bukan sifat tanah yang dipentingkan melainkan mutu maka kesuburan tanah tidak dapat diukur atau diamati, akan tetapi hanya dapat ditaksir secara langsung berdasarkan keadaan tanaman yang teramati dan gejala yang dimunculkan dari hasil kinerja tanaman yang hidup di atas tanah. Hanya dengan cara penaksiran yang pertama dapat diketahui sebab-sebab yang menentukan dan mempengaruhi kesuburan tanah. Dengan cara penaksiran kedua hanya dapat diungkapkan tanggapan tanaman terhadap keadaan tanah yang dihadapi. Secara dini status kesuburan tanah dapat dilihat dari gejala-gejala tumbuh yang diperlihatkan secara fisik oleh tanaman yang bersangkutan seperti pertumbuhannya kerdil, bentuk roset, daun kecil-kecil, daun menggulung, daun seperti terbakar dan lain-lain. Sedangkan untuk menelusuri lebih lanjut mengenai status kesuburan tanah dapat diketahui melalui analisis tanah dan daun/jaringan tanaman, sehingga dapat diketahui kecukupan hara dalam tanah dan tanaman. Menurut Foth dan Ellis (1997), kesuburan tanah adalah sebagai status suatu tanah yang menunjukkan

kapasitas untuk memasok unsur-unsur utama dalam jumlah yang mencukupi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman tanpa adanya konsentrasi meracun dari unsur manapun. Pengertian tersebut menunjukkan bahwa tanah yang subur mempunyai kemampuan memasok unsur hara dalam jumlah yang cukup dan seimbang kepada tanaman, sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan sehat (karena tidak ada unsur hara yang meracun) dan dapat memproduksi sesuai dengan potensinya.

Tanah memiliki kesuburan yang berbeda-beda tergantung sejumlah faktor pembentuk tanah yang merajai di lokasi tersebut, yaitu bahan induk, iklim, relief, organisme, atau waktu. Tanah sebagai media tumbuh tanaman merupakan fokus utama dalam pembahasan pengelolaan kesuburan tanah, sedangkan kinerja tanaman merupakan indikator utama mutu kesuburan tanah tersebut. Dengan demikian kesuburan tanah tidak terlepas dari keseimbangan sifat biologi, fisika dan kimia tanah. Ketiga sifat tanah tersebut saling berinteraksi dan sangat menentukan tingkat kesuburan tanah pertanian. Tanpa disadari selama ini sebagian besar petani di Indonesia hanya mementingkan kesuburan tanah yang bersifat kimia saja yaitu perbaikan mutu tanah dengan pemberian pupuk baik pupuk organik berupa kompos, pupuk hijau atau pupuk kandang atau pupuk anorganik seperti Urea, TSP, KCl dan NPK dan sebagainya secara terus menerus dengan dosis yang tidak spesifik lokasi, sehingga terkadang terjadi kelebihan hara di satu tempat tetapi kekurangan hara di tempat lain, tanpa memperhatikan sifat fisik tanah ataupun biologi tanah. Tanpa disadari juga pemakaian pupuk anorganik yang tidak tepat (tepat dosis, waktu, cara) dapat

menyebabkan pencemaran sumberdaya lahan dan lingkungan. Selain itu pemakaian pupuk anorganik yang terus menerus dapat menyebabkan akumulasi logam berat misal kadmium atau timbal dalam tanah yang membahayakan kesehatan hewan dan manusia. Sehingga pemupukan harus dilakukan secara arif dan spesifik lokasi untuk meminimalisasi dampak negatif yang ditimbulkan. Petani belum banyak yang memahami bagaimana melakukan pengelolaan kesuburan fisika dalam usahatannya. Kesuburan fisika seperti perbaikan struktur tanah, pengolahan tanah yang baik, perbaikan respirasi tanah, perbaikan agregat tanah akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Keadaan fisika tanah ini luput dari perhatian petani, walaupun tanpa disadari petani juga sudah melakukannya dalam setiap usaha taninya, tetapi bukan untuk perbaikan kesuburan fisika tanah melainkan perbaikan kimia tanah untuk menambah unsur hara. Misalnya pemakaian kompos atau bahan organik atau pupuk hijau ke dalam tanah, terlebih dahulu dapat memperbaiki kesuburan fisika tanah seperti perbaikan struktur tanah (tanah yang mampat menjadi lebih sarang atau tanah yang porus menjadi lebih baik strukturnya karena agregat akan terbentuk), perbaikan kelembaban tanah karena bahan organik mampu mengikat atau menahan air yang lama, bahan organik dapat memperbaiki permeabilitas dan respirasi tanah dll. Setelah itu akan terjadi penguraian bahan organik lebih lanjut dengan melepaskan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Sedangkan kesuburan biologi tanah dimaksudkan untuk meningkatkan kehidupan jasad renik dalam tanah. Hal ini sebenarnya juga telah dilakukan oleh petani yang pada awalnya hanya dimaksudkan untuk

memperbaiki kesuburan kimia tanah. Misalnya pemberian bahan organik dan sejenisnya dalam tanah dapat menarik perhatian hadirnya jasad-jasad hidup baik mikro maupun meso mendekati bahan organik tanah tersebut. Karena bahan organik sebagai sumber makanan jasad-jasad hidup tanah tersebut, sehingga bahan organik dapat dikatakan sebagai pembangkit jasad hidup tanah (*soil regeneration*). Dalam kondisi lapangan, adanya onggokan bahan organik di suatu tempat maka di dalamnya akan terdapat jasad-jasad hidup tanah baik mikro maupun meso dalam tanah dan jasad-jasad tersebut selanjutnya sangat bermanfaat sebagai pengurai bahan organik itu sendiri dan akhirnya akan terjadi pelepasan berbagai unsur hara ke dalam tanah.

Dalam pertanian modern yang bersifat ekstraktif dan intensif, kesuburan tanah merupakan bagian agrosistem yang bersifat dinamis (Price, 2006) yang dapat berubah menurun atau meningkat yang terjadi secara alami ataupun akibat aktifitas manusia. Penurunan kesuburan tanah dapat berupa berkurangnya konsentrasi hara yang tersedia, penurunan kandungan bahan organik, kapasitas tukar kation, dan perubahan pH, atau yang sering disebut sebagai penurunan kesuburan kimiawi (Hartemink, 2006). Penurunan tersebut dapat terjadi karena beberapa hal, antara lain: (i) pemiskinan hara, (ii) penambangan hara, (iii) pengasaman tanah, (iv) kehilangan bahan organik, dan (v) peningkatan kadar unsur-unsur beracun (seperti melimpahnya logam-logam amfoter (Al, Mn dan Fe) dalam tanah). Penurunan kesuburan tanah secara alami dapat terjadi misalnya melalui erosi tanah oleh air limpasan (*run off*) yang menyebabkan hilangnya lapisan tanah bagian atas (*arable layer*) yang relatif subur

dan meninggalkan lapisan permukaan tanah baru yang kurang subur atau tidak subur. Penurunan kesuburan tanah akibat aktifitas manusia, misalnya eksploitasi hara tanah melalui pemanenan seluruh bagian tanaman tanpa pasokan hara yang memadai (atau tanpa pengembalian biomassa ke dalam tanah) dan pengolahan tanah yang berlebihan yang menyebabkan kehilangan bahan organik tanah, sehingga tidak mampu mengikat hara. Sedangkan peningkatan kesuburan tanah secara alami terjadi misalnya akibat penambahan bahan-bahan erupsi gunung berapi yang membawa mineral hara seperti sulfur, penambahan N oleh jasad mikro bebas dalam tanah yang bersimbiosis dengan tanaman leguminosa. Selain itu peningkatan kesuburan tanah juga dapat terjadi akibat pemberian bahan-bahan yang mengandung unsur hara seperti pupuk buatan, pupuk kandang, pupuk hijau dari tanaman legum atau kombinasi dari semua itu (Hartemink, 2006).

Pemupukan akan efektif jika pupuk yang ditebarkan dapat menambah atau melengkapi unsur hara yang secara *in situ* telah tersedia dalam tanah. Karena hanya bersifat menambah atau melengkapi unsur hara, maka sebelum digunakan harus diketahui gambaran keadaan tanahnya, khususnya kemampuan awal tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Dalam mendukung kehidupan tanaman, tanah memiliki empat fungsi utama yaitu (1) memberi atau memasok unsur hara dan sebagai media perakaran, (2) menyediakan air dan sebagai tempat penampung air, (3) menyediakan udara untuk respirasi akar dan fauna tanah, dan (4) sebagai media tumbuh tanaman. Tidak adanya hambatan interaksi ketiga sifat-sifat tanah (fisika, kimia dan biologi tanah) akan memberikan kesuburan tanah

yang baik dan ideal. Apabila salah satu sifat tanah terkendala, maka kesuburan tanah yang diperlihatkanpun akan mengalami ketidakseimbangan akibatnya akan ditunjukkan oleh kinerja pertumbuhan tanaman yang tidak sempurna dan akhirnya produk tanaman yang diharapkan tidak akan terwujud dengan kata lain terjadi kegagalan panen. Untuk itulah diperlukan pengelolaan kesuburan tanah yang tepat untuk menjadikan unsur hara yang ada dalam tanah atau ditambahkan akan tersedia secara keberlanjutan dan mudah diserap oleh tanaman untuk proses biokimia dalam tubuh tanaman tanpa mencemari sumberdaya lahan dan lingkungan. Artinya pemberian hara ke dalam tanah sebenarnya hanya bila diperlukan saja atau hanya bila tanaman kelihatan lapar. Untuk itu diperlukan pengetahuan bagaimana mengidentifikasi tanaman lapar sehingga dengan cepat dan tepat menambahkan zat makan yang hanya diperlukan saja sehingga yang tidak diperlukan tidak harus ditambahkan untuk menekan adanya pencemaran sumberdaya lahan dan lingkungan. Keterlambatan identifikasi kelaparan hara oleh tanaman menyebabkan tanaman tidak mau atau lambat merespon hara yang diberikan sehingga tanaman dapat mengalami kematian yang sebelumnya ditunjukkan oleh ketidakmauan merespon terhadap hara yang ditambahkan.

Ada dua pengertian kesuburan tanah yang harus dibedakan jelas dan harus dipahami oleh para pelaku pertanian dan/atau perkebunan, Yang pertama ialah kesuburan tanah aktual, yaitu kesuburan tanah hakiki (asli, alamiah). Yang kedua adalah kesuburan tanah potensial, yaitu kesuburan tanah maksimum yang dapat dicapai dengan intervensi teknologi yang mengoptimumkan semua faktor.

Seberapa banyak intervensi teknologi yang layak diterapkan tergantung pada (1) imbalan antara tambahan hasil panen atau nilai tambah komoditas yang diharapkan akan dapat dihasilkan, dan tambahan biaya produksi yang harus dikeluarkan, (2) kemampuan masyarakat membiayai intervensi tersebut, dan (3) ketrampilan teknik masyarakat menerapkan intervensi tersebut secara sinambung. Ketiga faktor pertimbangan itu saling pengaruh mempengaruhi. Meskipun menurut pertimbangan pertama intervensi yang direncanakan dapat diterima, namun rencana itu menjadi tidak layak kalau masyarakat tidak mampu membiayainya dan/atau tidak berketerampilan teknik untuk melaksanakannya (Notohadipraiwo dkk, 1984). Namun demikian dalam pengelolaan kesuburan tanah pada hakekatnya mengelola unsur hara baik yang ada dalam tanah maupun unsur hara yang berupa masukan atau input produksi yang sengaja ditambahkan untuk memanipulasi kesuburan tanah agar dapat mendukung untuk pertumbuhan tanaman. Perlu diperhatikan terutama di negara-negara tropika basah dimana curah hujan sangat tinggi sangat mempengaruhi kesuburan tanah. Karena curah hujan yang tinggi akan melindi unsur-unsur hara dari lapisan olah tanah (*arable layer*) yang umumnya relatif subur dan tempat berjangkarnya akar tanaman yang menyisakan logam-logam aluminium, besi dan mangan yang mana logam-logam tersebut merupakan logam amfoter yang merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman. Curah hujan juga akan mempercepat pelapukan mineral tanah dan menghasilkan mineralogi klei (*clay*) yang dirajai oleh kandiit dan mineral seskuioksida seperti gibsit (Conyers, 1986). Gibsit sebagai sumber aluminium yang dapat larut

dan terhidrolisis menghasilkan ion hidrogen yang akhirnya menyebabkan pH masam. Semakin banyak ion hidrogen yang dilepaskan, pH tanah semakin masam dan pertumbuhan tanaman akan terhambat karena hampir semua unsur hara tidak tersedia pada kondisi masam.

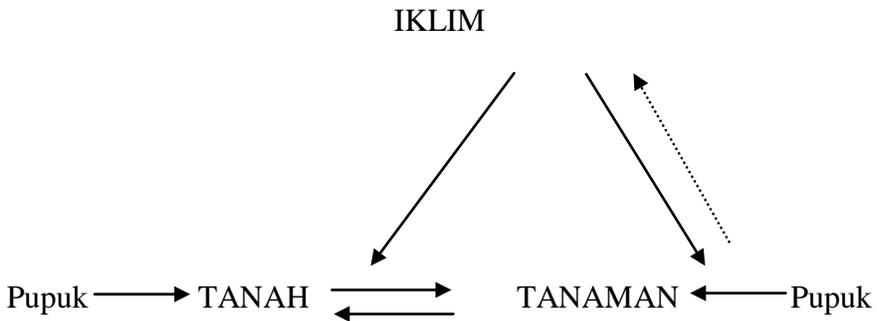
1.1. Pentingnya Unsur Hara Untuk Tanaman

Seperti halnya makhluk hidup lainnya, tanaman juga memerlukan makanan atau zat atau unsur hara untuk hidup dan berkembang serta untuk memproduksi sesuai dengan yang diharapkan misalnya untuk menghasilkan biji, buah, serat, bahan segar, bunga, kayu, getah dan sebagainya. Dengan demikian dalam kegiatan pertanian intensif dimana hasilnya harus cepat diperoleh dengan produksi yang tinggi untuk memenuhi kebutuhan manusia yang cenderung terus meningkat, pemberian hara dalam bentuk pupuk dalam jumlah yang cukup dan seimbang merupakan salah satu bagian yang tidak dapat ditinggalkan. Selain itu pada pertanian modern dengan teknologi molekuler yang tinggi telah ditemukannya kultivar-kultivar baru, tanaman tersebut harus cepat dan tepat dalam pemberian makanan, tanaman-tanaman tersebut sangat sensitif terhadap perubahan hara dalam tanah atau dengan perkataan lain kultivar-kultivar baru yang mempunyai kemampuan produksi yang tinggi, sangat memerlukan kondisi yang prima dalam tanah, tanaman tersebut tidak mau tumbuh dalam kondisi tercekam terutama tercekam hara yang diperlukan untuk tumbuhnya. Berbeda dengan pertanian tradisional dengan jumlah penduduk yang masih sedikit, tanah yang

masih luas tersedia, kebutuhan makanan tanaman dapat diperoleh dengan mudah tanpa menanam yang terlalu banyak dan didukung oleh areal untuk bercocok tanam masih sangat luas. Terkadang pada pertanaman ladang berpindah petani tidak perlu menambah pupuk dari luar karena tanah masih mencukupi kebutuhannya sendiri. Namun dengan perkembangan sains dan teknologi serta jumlah penduduk yang terus meningkat, kebutuhan makanan menjadi target utama yang harus segera disediakan. Kelambanan atau kegagalan dalam penyediaan bahan pangan dapat mempengaruhi kondisi politik suatu negara dan menyebabkan ketidak tentaman manusia. Selain itu, dengan ditemukannya jenis klon atau varitas tanaman unggul memerlukan perhatian yang lebih serius serta perlu perlakuan agronomik yang tepat yang mengakibatkan tanaman sangat intensif dan rakus dalam menyerap unsur hara. Di lain pihak, persediaan unsur hara di dalam tanah sudah tidak dapat mengimbangi laju penyerapan oleh tanaman dan ada persaingan lain dengan jasad hidup dalam tanah ataupun persaingan dengan kation/anion penjerap hara oleh partikel tanah. Dengan demikian agar produksi tanaman dapat dicapai maksimal, diperlukan suplemen unsur hara dari luar dalam bentuk pupuk, walaupun secara alami unsur hara sudah ada di dalam tanah tetapi tidak mencukupi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Ketidacukupan unsur hara dalam tanah akan mengakibatkan tanaman tidak mampu memproduksi secara maksimal atau bahkan tanaman tidak dapat menyelesaikan daur hidupnya atau tanaman akan merana dan akhirnya mati.

Tanah dan iklim yang merupakan faktor lingkungan yang sangat mempengaruhi tempat tumbuh tanaman mempunyai hubungan timbal balik yang sangat erat dengan tanaman. Tanah selain sebagai tempat berpijaknya akar tanaman sekaligus juga sebagai pemasok unsur hara yang diperlukan tanaman, juga sebagai tempat hidup untuk berbagai jasad dalam tanah seperti cacing tanah, bakteri dan fungi dan juga sebagai tempat terjadinya reaksi fisik kimia tanah dan juga sebagai tempat terjadinya reaksi fisik kimia tanah. Sebaliknya sisa-sisa tanaman (guguran daun, cabang dan ranting) merupakan bahan yang dapat memperkaya unsur hara tanah setelah didekomposisi oleh jasad tanah atau mikroba tanah. Hubungan antara tanaman dan iklim lebih cenderung ke hubungan yang searah, yaitu kondisi iklim mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akan tetapi dalam skala mikro, dalam batas-batas tertentu kondisi tanaman dapat berpengaruh terhadap keadaan iklim mikro, seperti pembukaan lahan yang serempak dan bersih dapat menyebabkan naiknya suhu tanah. Antara tanah dan iklim hanya terdapat hubungan yang searah, yaitu kondisi iklim berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah. Karena hubungan yang demikian, sering sifat-sifat tanah diprediksi dari keadaan iklim. Gambaran hubungan antara tanaman, tanah dan iklim dapat dilihat pada Gambar 1.1. Memperhatikan arah panah yang ditunjukkan oleh skema tersebut dapat dilihat faktor mana yang dapat dimanipulasi atau dikelola sehingga kesuburan tanah dapat menjadi lebih baik dan cocok untuk pertumbuhan tanaman. Dengan demikian kegagalan panen dapat dihindari secara dini melalui pengelolaan tanah tersebut. Kegiatan ini dapat merupakan kegiatan pengelolaan kesuburan tanah

baik kesuburan kimiawi, fisika dan kesuburan biologi tanah. Pengelolaan kesuburan tanah yang tepat dapat mendukung pelestarian sumberdaya lahan dan pelestarian lingkungan. Artinya tidak terjadi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh kelimpahan hara di badan perairan (eutrofikasi) maupun dampak negatif lain yang diakibatkan oleh senyawa kimia yang dikeluarkan oleh pupuk-pupuk kimia yang diberikan dalam tanah.



Gambar 1.1. Arah hubungan antara tanaman, tanah dan iklim

Berdasarkan hubungan antara tanaman dan tanah tersebut juga dapat diketahui faktor-faktor pembatas pertumbuhan/produktivitas tanaman yang berasal dari tanah yang dapat berupa sifat kimia, fisika maupun biologi. Apabila faktor-faktor pembatasnya adalah kurang tersedianya unsur hara, pemupukan merupakan penyelesaian yang paling tepat dan cepat. Pemupukan dapat dilakukan lewat tanah atau langsung ke tanaman lewat daun atau dapat diinjeksikan ke batang tanaman. Antara tanah dan iklim terdapat hubungan yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap tanaman. Kondisi iklim sangat

menentukan keberadaan unsur hara di dalam tanah, baik unsur yang berasal dari pupuk maupun yang bukan berasal dari pupuk. Keberadaan unsur hara di dalam tanah ini mempengaruhi jumlah penyerapannya oleh tanaman.

Iklim dapat berpengaruh langsung terhadap tanaman dalam hal penyerapan unsur hara. Pengaruh dari iklim dapat melalui air, suhu, kelembaban, dan penyinaran matahari. Perubahan atas faktor-faktor tersebut akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan jumlah unsur hara yang diserap tanaman. Apabila penyerapan unsur hara oleh tanaman terganggu atau tidak sampainya unsur hara ke tempat yang semestinya (daun sebagai tempat asimilasi) maka pertumbuhan dan perkembangan tanaman juga akan terganggu dengan ditunjukkan oleh pertumbuhan tanaman yang tidak normal (pendek, kerdil, kurus, lemas, dan lain-lain), atau terdapat gejala kekahatan unsur hara (misal: tanaman klorosis, terdapat bercak-bercak merah atau ungu, mati pucuk, roset, dan lain-lain). Gangguan penyerapan unsur hara dapat ditunjukkan oleh eksterimnya kondisi tanah misalnya terlalu masam, terlalu basa/alkalis, terlalu salin atau terdapatnya unsur antagonis terhadap unsur hara utama yang diperlukan, adanya gangguan fisik perakaran dan sebagainya.

Dengan demikian unsur hara sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan setiap tanaman. Kekurangan salah satu unsur hara, tanaman akan menunjukkan kelainan pertumbuhannya atau bahkan tanaman akan mati sebelum waktunya. Untuk itu kehadiran unsur hara dalam jumlah tertentu sangat mutlak diperlukan, kalau terdapat faktor-faktor pembatas untuk menyediakan

unsur hara dalam tanah, harus dihilangkan atau diminimalkan sehingga ketersediaan unsur hara dapat diserap tanaman untuk pertumbuhannya.

1.2. Hubungan Jenis Tanah dengan Unsur Hara

Dari sejumlah unsur hara yang berasal dari pupuk yang diberikan ke tanaman melalui tanah, tidak semuanya dapat diserap oleh tanaman. Sebagian dari pupuk tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman disebabkan oleh beberapa hal, antara lain pencucian keluar jangkauan perakaran, erosi, menguap, disemat oleh partikel tanah, immobilisasi oleh jasad renik dan khusus untuk nitrogen mengalami proses denitrifikasi seperti yang terjadi pada tanah-tanah sawah yang tergenang atau tanah-tanah rawa untuk pertanian.

Pencucian unsur hara dapat terjadi secara intensif pada daerah bercurah hujan tinggi dengan tekstur pasiran yang bersifat porous (misal tanah-tanah entisol = USDA atau Regosol = FAO)). Senyawa yang sangat mudah mengalami pencucian adalah NO_3^- (nitrat) serta molekul urea, karena tidak terjerap oleh koloid tanah. Kecepatan menurunnya nitrat dan urea ini kurang lebih sama dengan kecepatan menurunnya air, sehingga senyawa nitrogen ini juga cepat hilang bersama air irigasi. Gejala-gejala hilangnya senyawa nitrat dan urea ini dapat dilihat pada tanah-tanah sawah di tanah regosol di daerah Klaten, Jawa Tengah atau daerah Sleman, Yogyakarta. Sebaliknya senyawa fosfat hanya sedikit mengalami pencucian, dan itupun hanya terjadi pada pemupukan P dosis tinggi. Ion-ion fosfat banyak dijerap oleh logam-logam amfoter seperti aluminium, besi dan mangan pada

tanah-tanah masam (misalnya Utisol, Oxisol, Andisol dan Alfisol), dan oleh kalsium ataupun magnesium pada tanah-tanah basa atau alkalis (misal: Vertisol dan Mollisol), sehingga fosfat menjadi tidak tersedia untuk tanaman. Gejala-gejala rendahnya ketersediaan P dapat dilihat pada tanah-tanah Podsolik Merah Kuning (Ultisol) di Sumatera, Kalimantan atau Irian Jaya dan pada tanah-tanah Grumusol (vertisol) di Gunung Kidul Yogyakarta, sehingga pada tanah-tanah tersebut diperlukan pupuk P dengan dosis tinggi atau dikombinasi dengan bahan organik. Unsur kalium juga merupakan obyek pencucian hara di dalam tanah, dan laju pencuciannya lebih cepat daripada fosfor tetapi lebih lambat daripada urea dan nitrat. Pencucian K juga dapat terjadi apabila pada tanah-tanah masam diberi kapur dengan dosis tinggi. Karena ion Ca^{2+} yang berlebihan dapat mendesak ion K^+ sehingga hilang dari mintakat perakaran akibatnya terjadi gejala kekahatan Kalium.

Kehilangan unsur hara karena erosi terjadi pada tanah dengan topografi miring tanpa teras dan curah hujan tinggi, dan pada kondisi tersebut jumlah kehilangan unsur hara dapat mencapai 50% (dapat terjadi pada tanah-tanah Ultisol). Penguapan terhadap unsur hara dapat hilang dalam bentuk gas, misalnya nitrogen dalam bentuk NH_3 atau N_2 . Penguapan ini banyak terjadi pada tanah-tanah sawah, rawa lebak atau pasang surut dengan temperatur tinggi, kelembaban rendah, atau lahan yang mengandung kapur dan kapasitas pertukaran rendah.

Proses sematan (*fixation*) oleh koloid tanah terjadi pada senyawa-senyawa amonium, fosfat, dan kalium. Amonium dan kalium disemat terutama oleh tanah yang banyak mengandung mineral klei

(*clay mineral*) montmorilonit pada tanah Vertisol. Mineral ini ditandai dengan sifat mengembang mengerut yang besar, dan proses sematan terjadi pada saat mengerut (kering). Sematan fosfor terjadi pada pH rendah ($< 5,0$) oleh logam-logam Fe, Al, dan Mn pada tanah Ultisol dan Oxisol, sedangkan proses sematan P pada pH tinggi ($> 8,0$) dilakukan oleh ion Ca dan/atau Mg terjadi pada tanah-tanah Vertisol atau Mollisol.

Immobilisasi adalah penggunaan senyawa nitrogen tanah oleh jasad renik untuk sintesis protoplasma tubuhnya. Dengan adanya proses immobilisasi, maka nitrogen yang semua dapat dimanfaatkan oleh tanaman menjadi tidak dapat dimanfaatkan, akan tetapi proses tersebut bersifat sementara. Setelah jasad renik mati, sel-sel tubuhnya mengalami perombakan dan melepaskan nitrogen yang dapat diserap tanaman. Peristiwa itu erat hubungannya dengan pemberian bahan organik dengan nisbah C/N tinggi di dalam tanah. Denitrifikasi merupakan proses reduksi nitrat secara biokimia menjadi gas N_2 , N_2O dan NO pada kondisi anaerob (absen oksigen). Peristiwa denitrifikasi dapat terjadi pada lahan-lahan rawa atau sawah yang digenangi secara terus-menerus dalam waktu lama.

Dengan adanya proses-proses kehilangan unsur hara tersebut di atas, jelas bahwa sifat dan karakteristik tanah sangat mempengaruhi status hara dalam tanah, yang akibatnya dapat mempengaruhi efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman. Sebagai contoh rata-rata kehilangan unsur hara N, P dan K berturut-turut 2,5; 1,5; dan 2,5 kali lipat dari jumlah unsur yang diserap tanaman, atau efisiensi

penyerapan unsur hara N, P dan K dari pupuk berturut-turut sebesar 28, 39 dan 28 persen.

1.3. Hubungan Unsur Hara Dengan Kesehatan Tanaman

Tanaman yang sehat memerlukan makanan yang cukup dan seimbang serta makanan yang tidak mengandung logam-logam yang berbahaya untuk kesehatan hewan dan manusia yang memakannya. Tanaman yang kekurangan makanan baik yang berasal dari dalam tanah, air maupun udara, maka tanaman tersebut akan rentan terhadap penyakit atau tanaman mudah terserang oleh penyakit. Untuk mengantisipasi sejak dini, agar tanaman tetap sehat maka tanaman perlu mendapatkan makanan yang cukup dan aman untuk kesehatan. Makanan diperlukan oleh tanaman untuk mensukseskan proses metabolisme tanaman tersebut dan menghasilkan proksimat yang dapat dimanfaatkan oleh hewan dan manusia. Misalnya dalam proses metabolisme protein, maka unsur hara nitrogen, sulfur dan fosfor sangat diperlukan. Unsur hara tersebut diperlukan sebagai prekursor pembentukan protein. Demikian juga dalam proses metabolisme lemak, karbon, hidrogen dan fosfat juga diperlukan. Salah satu hasil lain dari metabolisme adalah energi dan energi diperlukan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanaman yang cukup energi, maka tanaman akan sehat. Energi juga sangat diperlukan untuk pembentukan fase generatif seperti anak, bunga dan buah.

Kekahatan unsur hara akan mempercepat proses kematian tanaman. Misalnya tanaman kekurangan nitrogen akan menyebabkan

tanaman klorosis. Kalau tanaman klorosis, menyebabkan daunnya tidak hijau dan kekurangan klorofil. Tanaman yang kekurangan klorofil di daun, maka proses asimilasi tidak maksimal akibatnya tanaman akan kekurangan makanan. Akhirnya zat makanan tidak cukup didistribusikan ke seluruh tanaman dan tanaman tidak dapat berkembang serta lambat laun akan mati. Selain itu, dalam proses asimiliasi akan dihasilkan energi dan tanaman yang kekurangan energi juga tidak akan tumbuh dengan sempurna dan berkembang secara maksimal. Untuk padi, tidak akan dihasilkan anakan yang banyak, untuk tanaman buah-buahan tidak akan berbuah lebat dan sebagainya. Selain dengan yang dikemukakan di atas, unsur hara yang ditambahkan ke dalam tanah melalui pemupukan dengan tidak teratur dan seimbang sesuai dengan kaidah tepat dosis akan terjadi akumulasi logam-logam ikutan lain dalam tanah (misalnya TSP mengandung logam ikutan kadmium dan timbal, lihat Tabel 1.1). Pemberian TSP yang berlebihan dan berlangsung lama (bertahun-tahaun) dan tidak teratur sama halnya menambah logam berat kadmium dan timbal dalam tanah terserap oleh tanaman. Walaupun logam kadmium dan timbal tersebut tidak diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhannya akan tetapi secara pasif logam-logam tersebut dapat terserap oleh tanaman melalui osmosis dan difusi dan dapat melonggok ke dalam bagian-bagian tubuh tanaman. Hewan dan manusia yang makan bagian tanaman tersebut, maka logam kadmium dan timbal akan pindah ke hewan dan manusia. Logam tersebut bersifat karsinogenik dan membahayakan untuk manusia dan hewan yang mengkonsumsinya. Untuk itu tanaman juga harus sehat dari serapan

logam-logam berat yang berbahaya untuk kesehatan manusia. Tanaman yang sehat akan mempengaruhi hewan dan manusia yang mengkonsumsi tanaman tersebut.

Tabel 1.1. Kisaran umum konsentrasi logam berat pada pupuk organik dan anorganik (mg kg^{-1})

Unsur	Pupuk Fosfat	Pupuk Nitrat	Pupuk Kandang	Kapur	Kompos
Boron (B)	5-115	-	0,3-0,6	10	-
Kadmium (Cd)	0,1-170	0,05-8,5	0,1-0,8	0,04-0,1	0,01-100
Kobalt (Co)	1-12	5,4-12	0,3-24	0,4-3	-
Kromium (Cr)	66-245	3,2-19	1,1-55	10-15	1,8-410
Tembaga (Cu)	1-300	-	2-172	2-125	13-3580
Raksa (Hg)	0,01-1,2	0,3-2,9	0,01-0,36	0,05	0,09-21
Mangan (Mn)	40-2000	-	30-969	40-1200	-
Molibdenum (Mo)	0,1-60	1-7	0,05-3	0,1-15	-
Nikel (Ni)	7-38	7-34	2,1-30	10-20	0,9-279
Timbal (Pb)	7-225	2-27	1,1-27	20-1250	1,3-2240
Stibium (Sb)	<100	-	-	-	-
Selenium (Se)	0,5	-	2,4	0,08-0,01	-
Uranium (U)	30-300	-	-	-	-
Vanadium (V)	2-1600	-	-	20	-
Zinc (Zn)	50-1450	1-42	15-566	0-450	82-5894

Sumber: Alloway (1995)

Timbal mempunyai efek racun terhadap susunan saraf pusat, terutama pada kanak-kanak (balita). Input atau asupan logam berat Pb ke dalam tubuh selain melalui pernapasan dalam bentuk partikulat,

dapat juga melalui absorpsi oleh kulit dan saluran makanan. Pada orang dewasa, efek yang ditimbulkan oleh logam berat Pb antara lain menyebabkan tekanan darah tinggi, penurunan hemoglobin, pusing dan pada dosis tinggi dapat menyebabkan encephalopathy. Sedangkan pada kanak-kanak, selain gejala atau efek yang terjadi pada orang dewasa, ditambah dengan penurunan intelegensia (Notodarmojo, 2004). Pada tanah-tanah sawah yang telah dibuka lama telah terjadi akumulasi logam berat Pb (timbal) yang sudah dalam taraf membahayakan, artinya pemupukan anorganik yang berlebihan telah diketahui dapat mencemari lahan (Tabel 1.2 dan Tabel 1.3). Menurut Beijer dan Jernelov (1986), lahan-lahan pertanian yang telah dikelola secara intensif telah menunjukkan adanya timbunan logam berat akibat dari penggunaan bahan-bahan agrokimia. Penggunaan pupuk terutama pupuk fosfat yang terus menerus dengan dosis tinggi pada sistem pertanian intensif dapat menimbulkan terjadinya pencemaran logam berat, walaupun secara mandiri tanah mampu menyerap logam berat, tetapi kalau jumlahnya melebihi ambang batas maka logam tersebut akan ikut diserap oleh tanaman.

Tabel 1.2. Rerata kandungan logam berat Pb dalam tanah sawah intensifikasi Tugu Mulyo

No	Tahun Pembukaan Lahan Sawah	Kandungan Pb (mg kg ⁻¹)
1	1938	23,33 ± 1,90
2	1949	21,48 ± 0,71
3	1983	15,02 ± 3,00
4	1997	10,12 ± 2,14

Sumber: Adhitama, 2011

Tabel 1.3. Kandungan Kadmium (Cd) Pada Lahan Sawah Intensifikasi Belitang

No	Umur Sawah (thn)	Cd (µg g ⁻¹)
1	0	0,00
2	15	10,00
3	30	11,66
4	60	11,66

Sumber: Budianta dan Tambas, 2004

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa pupuk fosfat mengandung logam berat Pb antara 5-156 mg kg⁻¹ (Setyorini *et al.*, 2003). Apabila pupuk tersebut digunakan secara terus menerus dengan dosis dan intensitas yang berlebihan, dapat meningkatkan kandungan Pb yang tersedia dalam tanah, sehingga meningkatkan serapan Pb oleh tanaman (Charlena, 2004). Adanya logam berat dalam tanah pertanian dapat menurunkan produktivitas tanah dan mutu hasil pertanian. Selain itu juga logam berat dapat membahayakan kesehatan manusia

melalui konsumsi produk pangan yang tercemar, hal ini dikarenakan logam berat terserap ke dalam jaringan akar yang selanjutnya masuk ke dalam siklus rantai makanan (Subowo *et al.*,1999). Moshman (1997), mengungkapkan bahwa akumulasi logam berat Pb pada tubuh manusia yang terus menerus bertambah dapat mengakibatkan anemia, kemandulan, penyakit ginjal, kerusakan syaraf dan kematian. Menurut Budianta dan Tambas (2004), bahwa pupuk fosfat (TSP) juga mengandung logam berat kadmium (Cd) sebesar 20 mg kg⁻¹ dan mampu menyebabkan lahan sawah yang sudah lama diberi pupuk fosfat secara terus menerus tercemar melewati batas toleransi yang diperbolehkan yaitu 3 mg kg⁻¹ (Mengel dan Kirkby, 1987). Ini berarti untuk lahan sawah yang mempunyai kandungan Cd > 3 µg g⁻¹ diindikasikan sudah tercemar Cd. Seperti telah diketahui bahwa Cd merupakan bahan ikutan pupuk P (Salam *et al.*, 1998). Tertimbunnya kadmium dalam tanah yang berasal dari berbagai sumber, erat kaitannya dengan sifat kadmium yang mudah teradsorpsi oleh klei dan bahan organik tanah atau mengendap bersama ion fosfat, karbonat, sulfida, dan hidroksida. Masukkan Cd melalui pupuk umumnya lebih besar dibandingkan keluaran Cd akibat pelindian, sehingga akumulasi Cd di dalam tanah cenderung meningkat. Menurut Kasno dan Sofyan (1998), pupuk SP-36 dan TSP masing-masing mengandung Cd sekitar 11-20 µg g⁻¹. Konsentrasi logam berat Cd dalam tanah, air pengairan dan gabah ditemukan cenderung meningkat dan mendekati ambang kritis untuk konsumsi. Kadmium merupakan logam berat yang bersifat toksik untuk tanaman, hewan dan manusia. Pada manusia Cd dapat menyebabkan penyakit kanker, ginjal, dan rapuhnya tulang.

Dalam tanah, Cd merupakan logam berat yang mempunyai mobilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam berat lainnya, sehingga peluang Cd terserap tanaman sangat besar.

Tanah yang tercemar oleh Cd akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang tumbuh di atasnya dan kemampuan tanah dalam menyerap Cd dipengaruhi oleh bentuk Cd dan jenis tanaman. Kandungan Cd dalam tanah berkorelasi nyata dan positif terhadap kandungan Cd dalam beras (Subowo, et al., 1994). Tanaman padi akan keracunan Cd apabila kandungan Cd dalam pucuk berkisar antara 5-10 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Chino, 1981). Diantara berbagai tanaman sayuran, bayam merupakan tanaman sayuran yang sangat peka terhadap adanya logam Cd dalam tanah. Biomassa tanaman bayam akan menurun dengan semakin meningkatnya kadar Cd dalam tanah (Lehoczky et al., 1996).

1.4. Hubungan Unsur Hara Dengan Produksi Tanaman

Tujuan utama penanaman adalah untuk dipetik hasilnya, disamping untuk melihat fisik pertumbuhannya. Hasil yang diharapkan dari penanaman dapat berupa serat, bahan hijauan maupun biji-bijian, kayu dan bunganya. Untuk menghasilkan produksi sesuai dengan potensinya maka tanaman memerlukan sejumlah unsur hara tertentu. Tanaman yang kekurangan unsur hara, tidak dapat memproduksi secara maksimal. Untuk itu agar tanaman dapat memproduksi secara maksimal, maka penambahan unsur hara yang berasal dari pupuk sangat diharapkan.

Secara alami tanah mampu menyediakan unsur hara secara mandiri, tetapi karena tanah-tanah di daerah tropika seperti Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi, maka proses pencucian atau erosi tidak dapat dihindari dan menyebabkan hilangnya sejumlah unsur hara di lapisan olah tanah. Fenomena tersebut dapat mengakibatkan unsur hara yang dikandung oleh tanah cepat keluar mintakat perakaran dan mengakibatkan hara dalam tanah terus berkurang. Dan lambat laun tanah menjadi miskin unsur hara. Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah tersebut tidak dapat tumbuh secara baik dan tidak dapat berproduksi secara maksimal. Tanah-tanah yang miskin unsur hara adalah tanah-tanah yang telah mengalami pencucian lanjut, seperti tanah Ultisol, Alfisol dan Oxisol yang dikenal dengan tanah-tanah merah atau tanah-tanah tua. Tanah-tanah tersebut dicirikan oleh kemasaman yang tinggi, dengan kelarutan aluminium, besi dan mangan yang tinggi pula serta ketersediaan hara-hara yang dibutuhkan tanaman sangat rendah. Tanah tersebut juga mempunyai kandungan bahan organik yang rendah dengan kapasitas tukar kation yang rendah pula. Umumnya tanah-tanah tersebut kalau diusahakan untuk budidaya tanaman pangan akan memberikan hasil yang rendah sampai sangat rendah kalau tidak diperhatikan kesuburannya dan potensi utama tanah-tanah tersebut adalah untuk budidaya tanaman tahunan atau tanaman perkebunan.

Masing-masing unsur hara baik makro maupun mikro mempunyai fungsi dan peranan yang spesifik bagi tanaman. Apabila terjadi kekahatan salah satu unsur hara tersebut, maka akan mempengaruhi produksi tanaman. Contohnya pada tanaman padi.

Pada waktu fase primordia, unsur hara fosfor sangat berperan pada saat pembentukan anakan padi. Pada fase bunting atau pengisian bulir, unsur hara kalium amat dibutuhkan oleh tanaman padi untuk sintesa tepung. Pada beberapa tanaman yang produksinya berupa daun seperti tanaman sayur-sayuran (sawi, kol, bayam dan kangkung), unsur hara nitrogen yang lebih berperan dalam produksinya, karena unsur hara nitrogen amat diperlukan pada fase vegetatif tanaman. Penelitian yang mengkaji peranan unsur hara tertentu telah banyak dilakukan sejak lama. Penambahan unsur hara tertentu ke dalam tanah mampu meningkatkan produksi dan bahan keringnya. Contohnya pada percobaan penanaman padi gogo yang diberi penambahan unsur hara P berupa pupuk fosfat dengan berbagai takaran di daerah Jatinangor.

Tabel 1.4. Dosis Pupuk P terhadap Hasil Panen Padi Gogo (Gabah Kering Giling)

	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ /ha)			Rata-rata (g/polybag)
	0	50	75	
24,44	37,63	29,56	27,65	29,82 a
40,77	33,30	50,83	33,89	39,70 b
46,02	31,97	44,74	21,69	36,11 ab
33,97	41,08	46,15	45,89	41,02 c

Sumber : Fitriatin, dkk (2009)

Pada Tabel 1.4 di atas terlihat bahwa penambahan pupuk fosfat mampu meningkatkan produksi padi gogo yang ditumbuhkan dalam polybag. Sampai dengan penambahan 100 kg P₂O₅, hasil produksi padi gogo masih terlihat tinggi. Unsur hara yang diberikan pada tanaman padi mampu menyediakan unsur hara yang cukup dan

berimbang melalui tanah. Unsur hara yang diperoleh dari tanah menyebabkan tanaman mendapatkan energi yang cukup dalam mendukung pertumbuhan pada fase vegetatif, sehingga hasil akhir tanaman padi yang diperoleh lebih maksimal.

BAB II

UNSUR HARA UNTUK TANAMAN

2.1. Pengertian Unsur Hara

Unsur Hara merupakan sumber makanan tanaman baik yang terdapat di dalam tanah, air maupun udara atau yang merupakan unsur pupuk yang diperlukan tanaman, dengan kata lain, unsur hara merupakan nutrisi yang terkandung di dalam tanah, air maupun udara atau pupuk dan dibutuhkan oleh tanaman untuk mensukseskan daur hidupnya. Unsur Hara sangat dibutuhkan untuk tumbuh dan berkembangnya suatu tanaman dan menghasilkan produk sesuai potensinya. Kebutuhan unsur hara sangat mutlak dibutuhkan bagi setiap tanaman dan tidak dapat digantikan oleh unsur lain dan kebutuhan setiap tanaman berbeda tergantung jenis tanamannya. Jika kekurangan unsur hara akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman itu sendiri bahkan tanaman dapat mengalami kematian.

Berdasarkan keutamaannya unsur hara dibedakan menjadi dua jenis unsur hara yaitu unsur hara esensial dan unsur hara non esensial. Unsur hara esensial adalah unsur hara yang mutlak diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya walaupun hanya sedikit yang dibutuhkan tetapi harus ada. Jika tidak terdapat unsur hara dalam tanah, tanaman tidak dapat menyelesaikan daur hidupnya. Sedangkan unsur hara non esensial adalah unsur hara yang tidak mutlak diperlukan oleh tanaman, sehingga jika tidak ada unsur hara

dalam tanah tanaman tetap hidup dan berkembang. Menurut Arnon dan Stout (1939) dalam Mengel dan Kirkby (1978) terdapat tiga kriteria unsur hara dikatakan esensial yaitu (1) tidak adanya unsur hara tersebut mengakibatkan pertumbuhan tanaman tidak normal, tanaman gagal menyelesaikan daur hidupnya, atau kematian lebih awal, (2) fungsi unsur tersebut spesifik dan tidak dapat digantikan oleh unsur yang lain, dan (3) unsur tersebut mempengaruhi langsung pertumbuhan atau metabolisme tanaman.

Fungsi atau gawai hara tanaman bersifat spesifik dan tidak dapat digantikan oleh unsur lain dan apabila tidak tersedia suatu hara dalam tanah, maka tanaman tidak dapat menyerap unsur hara yang diperlukan akibatnya kegiatan metabolisme tanaman akan terganggu atau berhenti sama sekali dan akhirnya tanaman dapat mengakhiri hidupnya sebelum sampai berproduksi sesuai potensinya. Disamping itu, umumnya tanaman yang kekurangan atau kekahatan suatu unsur hara akan menampilkan gejala-gejala pada suatu organ tertentu yang spesifik yang umumnya disebut gejala kekahatan unsur hara. Gejala ini akan hilang apabila hara tanaman yang kahat ditambahkan ke dalam tanah atau diberikan lewat daun, sehingga tanaman akan tercukupi unsur haranya dan tanaman kembali melanjutkan pertumbuhannya. Langkah ini harus hati-hati dilakukan karena memerlukan ketelitian dan kecermatan dalam menentukan jenis unsur hara yang kahat dan yang akan ditambahkan. Kesalahan dalam menentukan jenis unsur hara yang kahat akan menyebabkan kesalahan dalam menentukan jenis unsur hara yang akan ditambahkan untuk memulihkan unsur hara yang kurang tersebut.

Tabel 2.1. Rerata Kadar Hara Dalam Tanaman

Hara	Berat Atom	Kadar	
		uMol/g	ppm
Molibden (Mo)	95,94	0,001	0,1
Tembaga (Cu)	63,54	0,10	6,0
Seng (Zn)	65,37	0,30	20,0
Mangan (Mn)	54,94	1,0	50,0
Boron (B)	10,84	2,0	20,0
Besi (Fe)	55,85	2,0	100,0
Klor (Cl)	35,45	3,0	100,0
			%
Sulfur (S)	32,06	30	0,1
Fosfor (P)	30,88	60	0,2
Magnesium	24,31	80	0,2
(Mg)	40,08	125	0,5
Kalsium (Ca)	39,10	250	1,0
Kalium (K)	14,00	1.000	1,5
Nitrogen (N)	16,00	30.000	45,0
Oksigen (O)	12,01	40.000	45,0
Karbon (C)	1,00	60.000	6,0
Hidrogen (H)			

Sumber: Epstein, 1972

Kandungan hara dalam setiap tanaman berbeda-beda, tergantung pada jenis hara, jenis tanaman, kesuburan tanah atau jenis tanah dan pengelolaan tanaman. Rerata kandungan hara dalam jaringan tanaman mulai dari yang berkadar rendah sampai kadar paling tinggi disajikan pada Tabel 2.1.

Unsur hara esensial dibedakan menjadi dua jenis, yaitu jenis hara bukan mineral dan hara mineral. Hara bukan mineral meliputi karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Ketiga hara tersebut dikatakan hara bukan mineral karena tidak berasal dari mineral yang ada di dalam tanah. Walaupun menyusun sekitar 95% biomassa tanaman, unsur-unsur tersebut tidak menjadi perhatian penting di

dalam nutrisi tanaman, karena pasokannya selalu dapat terpenuhi dari biosfer yaitu dapat berasal dari air dan udara. Salah satu peranan terpenting dari tiga unsur bukan mineral adalah bahwa ketiganya terlibat dalam proses fotosintesis. Unsur hara mineral tanaman meliputi nitrogen (N), fosfor (P), sulfur (S), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), molibdenum (Mo), boron (B), dan klorin (Cl). Unsur hara esensial, bentuk yang diserap dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Unsur hara esensial, bentuk yang diserap dan fungsinya dalam tanaman

Unsur hara esensial	Bentuk yang diserap	Fungsinya dalam tanaman
C, H, O, N, S	Bentuk-bentuk ion dalam larutan (HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-}) atau bentuk gas dari atmosfer (O_2 , N_2 , SO_2)	Penyusun umum bahan-bahan organik
P, B	Bentuk ion dalam larutan (PO_4^{3-} , BO_2^{3-})	Reaksi transfer energi, dan pergerakan karbohidrat
K, Mg, Ca	Bentuk ion dalam larutan (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^-)	Fungsinya non spesifik atau komponen-komponen spesifik senyawa organik

		atau untuk mempertahankan keseimbangan ionik
Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	Ion-ion atau kelat dalam larutan (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , MoO^- , Zn^{2+})	Transpor elektron dan katalis untuk enzim

Sumber: Mengel dan Kirkby, 1987

2.2.Sumber Unsur Hara

Berdasarkan sumbernya unsur hara dapat berasal dari dalam tanah, air dan udara. Yang berasal dari dalam tanah banyak ragamnya dan berasal dari mineral anorganik misalnya Ca, K, Na, Mg, Fe dll, dan bahan organik misalnya C, N, P, S, dan banyak kation-kation seperti Ca, Mg, K, Na dsb. Sedangkan yang berasal dari air C, H, O, dan juga kation-kation lainnya dan yang berasal dari udara umumnya Nitrogen. Dalam penyerapan unsur hara oleh tanaman dilakukan secara simultan tidak terpisah-pisah atau sendiri-sendiri.

Terdapat 16 unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman. Berdasarkan tingkat kebutuhannya, unsur hara dapat digolongkan menjadi 2 bagian yaitu **unsur hara makro** dan **unsur hara mikro** (Tabel 2.3). Davidescu (1988) mengusulkan bahwa batas perbedaan unsur hara makro dan mikro adalah 0,02 % dan bila kurang dari jumlah tersebut disebut unsur hara mikro. Ada juga unsur hara yang tidak mempunyai fungsi pada tanaman, tetapi kadarnya cukup tinggi dalam tanaman dan tanaman yang hidup pada suatu tanah tertentu

selalu mengandung unsur hara tersebut misalnya unsur hara Al (Aluminium), Ni (Nikel) dan Fe (Besi).

Tabel 2.3. Unsur makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya

Unsur hara makro	Unsur hara mikro
Karbon (C)	Boron (B)
Hidrogen (H)	Klorin (Cl)
Oksigen (O)	Tembaga (Cu)
Kalsium (Ca)	Besi (Fe)
Magnesium (Mg)	Mangan (Mn)
Nitrogen (N)	Molibdenum (Mo)
Fosfor (P)	Seng (Zn)
Kalium (K)	
Sulfur (S)	

Sumber: Jones et al., 1991

Unsur hara makro adalah unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah besar (0,1%-0,5%), yang termasuk unsur hara makro adalah C, H, O, N, P, K, Ca, S dan Mg. sedangkan unsur hara mikro adalah unsur hara dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah kecil/sedikit kurang dari 0,0025%, yang termasuk unsur hara mikro adalah Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Na dan Cl. Kebutuhan unsur hara ini mutlak bagi setiap tanaman dan tidak bisa digantikan oleh unsur yang lain tentunya dengan kadar yang berbeda sesuai jenis tanaman dan potensinya yang dihasilkan sebab jika kekurangan unsur hara esensial akan menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman itu sendiri.

Seperti manusia, tanaman memerlukan makanan yang sering disebut hara tanaman. Berbeda dengan manusia yang menggunakan

yang kadarnya relatif tinggi dan sering melebihi kadar P (Fosfor). Silikon (Si) pada tanaman padi dianggap penting walaupun tidak diperlukan dalam proses metabolisme tanaman. Jika tanaman padi mengandung Si yang cukup, maka tanaman tersebut lebih segar dan tidak mudah roboh diterpa angin sehingga seakan akan Si meningkatkan produksi tanaman padi.

Berdasarkan sumber penyerapannya, unsur hara dapat diserap melalui 2 (dua) cara yaitu unsur hara yang diserap dari udara dan unsur hara yang diserap dari tanah.

a. Diserap dari Udara

Unsur hara yang diserap dari udara adalah C, O, dan S, juga N, yaitu dalam bentuk CO_2 , O_2 , dan SO_2 , serta N_2 . Penyerapan N baik dari udara maupun dari tanah diasimilasikan dalam proses reduksi dan aminasi. Nitrogen (N) udara diserap dari N_2 bebas lewat bakteri bintil akar dan NH_3 diserap lewat stomata tanaman. Senyawa CO_2 diasimilasikan dengan proses karboksilasi dan terbentuk karboksilat bersama-sama dengan penyerapan O_2 dan H_2O . Sedangkan unsur H diserap dalam bentuk H_2O dan direduksi menjadi H^+ dan kemudian ditransfer ke dalam senyawa nikotinamide adenosine dinukleotida (NADP^+) menjadi NADPH . Senyawa ini merupakan senyawa penting bagi tanaman sebagai koenzim dasar dalam proses oksidasi reduksi.

b. Diserap dari tanah

Penyerapan unsur hara dilakukan oleh akar tanaman dan diambil dari kompleks jerapan tanah ataupun dari larutan tanah berupa

kation dan anion. Ada pula yang dapat diserap dalam bentuk khelat yaitu ikatan kation logam dengan senyawa organik. Dewasa ini kebanyakan unsur hara mikro diberikan lewat daun (dengan aplikasi pupuk cair).

2.3.Mekanisme Penyerapan Unsur Hara Dalam Tanah

Unsur hara dapat tersedia di sekitar akar tanaman melalui 3 mekanisme penyediaan unsur hara, yaitu: (1) aliran massa, (2) difusi, dan (3) intersepsi (pencegatan) akar. Proses penyerapan unsur hara dengan energi aktif dapat berlangsung apabila tersedia energi metabolik. Energi metabolik tersebut dihasilkan dari proses pernapasan akar tanaman. Selama proses pernapasan akar tanaman berlangsung akan dihasilkan energi metabolik dan energi ini mendorong berlangsungnya penyerapan unsur hara secara aktif. Apabila proses pernapasan akar tanaman berkurang akan menurunkan pula proses penyerapan unsur hara melalui proses aktif. Bagian akar tanaman yang paling aktif adalah bagian dekat ujung akar yang baru terbentuk dan rambut-rambut akar. Bagian akar ini merupakan bagian yang melakukan kegiatan respirasi (pernapasan) terbesar. Mekanisme penyediaan unsur hara dalam tanah melalui tiga mekanisme, yaitu:

a. Aliran Massa (*mass flow*)

Mekanisme aliran massa adalah suatu mekanisme gerakan unsur hara di dalam tanah menuju ke permukaan akar bersama-sama dengan gerakan massa air. Proses penyerapan unsur hara ini disebut

sebagai proses pasif. Selama masa hidup tanaman mengalami peristiwa penguapan air yang dikenal dengan peristiwa transpirasi. Selama proses transpirasi tanaman berlangsung, terjadi juga proses penyerapan air oleh akar tanaman. Pergerakan massa air ke akar tanaman akibat langsung dari serapan massa air oleh akar tanaman terikut juga terbawa unsur hara yang terkandung dalam air tersebut. Peristiwa tersedianya unsur hara yang terkandung dalam air ikut bersama gerakan massa air ke permukaan akar tanaman dikenal dengan Mekanisme Aliran Massa. Unsur hara yang ketersediaannya bagi tanaman melalui mekanisme ini meliputi: nitrogen (98,8%), kalsium (71,4%), belerang (95,0%), dan molibdenum (95,2%).

b. Difusi

Ketersediaan unsur hara ke permukaan akar tanaman, dapat juga terjadi karena melalui mekanisme perbedaan konsentrasi atau kepekatan hara antara di luar akar dan di dalam tubuh tanaman. Konsentrasi unsur hara pada permukaan akar tanaman lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi hara dalam larutan tanah dan konsentrasi unsur hara pada permukaan koloid klei serta pada permukaan koloid organik. Kondisi ini terjadi karena sebagian besar unsur hara tersebut telah diserap oleh akar tanaman. Tingginya konsentrasi unsur hara pada ketiga posisi tersebut menyebabkan terjadinya peristiwa difusi dari unsur hara berkonsentrasi tinggi ke posisi permukaan akar tanaman. Peristiwa pergerakan unsur hara yang terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi unsur hara tersebut dikenal dengan mekanisme penyediaan hara secara difusi. Perbedaan

konsentrasi tersebut terdiri dari aktif dan pasif. Beberapa unsur hara yang tersedia melalui mekanisme difusi ini, adalah: fosfor (90,9%) dan kalium (77,7%).

c. Intersepsi Akar

Mekanisme intersepsi akar sangat berbeda dengan kedua mekanisme sebelumnya. Kedua mekanisme sebelumnya menjelaskan pergerakan unsur hara menuju ke akar tanaman, sedangkan mekanisme ketiga ini menjelaskan gerakan akar tanaman yang memperpendek jarak dengan keberadaan unsur hara. Peristiwa ini terjadi karena akar tanaman tumbuh dan memanjang, sehingga memperluas jangkauan akar tersebut. Perpanjangan akar tersebut menjadikan permukaan akar lebih mendekati posisi dimana unsur hara berada, baik unsur hara yang berada dalam larutan tanah, permukaan koloid klei dan permukaan koloid organik.

Mekanisme ketersediaan unsur hara tersebut dikenal sebagai mekanisme intersepsi akar. Proses penyerapan dengan mekanisme ini dikatakan sebagai penyerapan hara aktif. Unsur hara yang ketersediaannya sebagian besar melalui mekanisme ini adalah: kalsium (28,6%).

2.4.Peranan dan Fungsi Unsur Hara

Dalam hidupnya tanaman paling sedikit membutuhkan 16 macam unsur, 3 unsur (oksigen, hidrogen dan karbondioksida) diperoleh dari udara, sementara 13 lainnya diserap tanaman melalui tanah. Ke-13 unsur ini dibagi menjadi 2, yaitu: unsur hara makro

(dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak), dan unsur hara mikro (dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit) yang mempunyai fungsi masing-masing.

2.4.1. Unsur Hara Makro

a. Nitrogen (N)

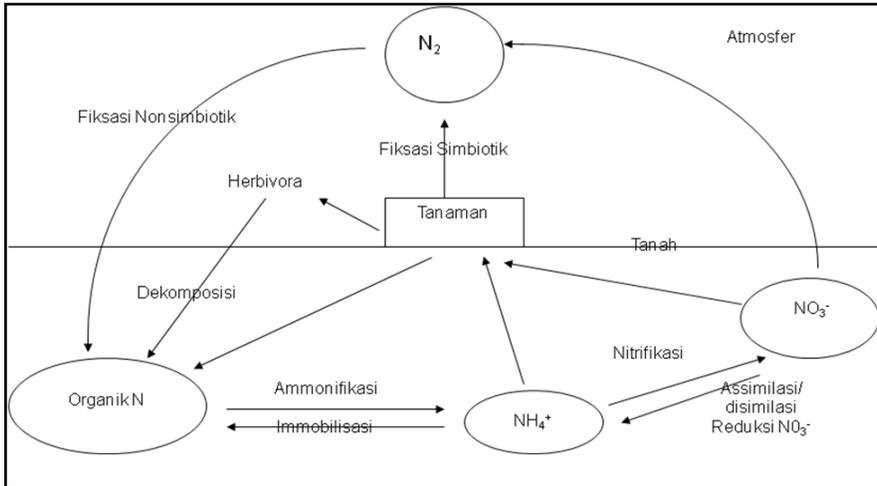
Bentuk dan fungsi N

Nitrogen dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang banyak, umumnya menjadi faktor pembatas pada tanah-tanah yang tidak dipupuk. Berupa asam amino, amida dan amin yang berfungsi sebagai kerangka (*building blocks*) dan senyawa antara (*intermediary compounds*). Berupa protein, khlorofil, asam nukleat: protein/ensim mengatur reaksi biokimia, N merupakan bagian utuh dari struktur klorofil, warna hijau pucat atau kekuningan disebabkan kekahatan N, N juga sebagai bahan dasar atau prekursor DNA dan RNA. Tanaman bila kekurangan N daunnya akan pucat kekuningan bahkan menguning, tanaman akan tumbuh kerempeng dan tersendat. Namun walau demikian bila terlalu banyak N tanaman akan lemah, lemas dan lembek sehingga mudah rebah, dan sangat disukai hama dan penyakit, terlalu banyak N juga menyebabkan tanaman lambat berbuah dan lambat masak.

Mobilitas N

Unsur N sangat mobil dalam jaringan tanaman, dialihtempatkan dari daun yang tua ke daun yang muda. Gejala kekahatan klorosis muncul pada daun di bagian bawah yaitu daun yang lebih tua. Jika berlebihan N akan merangsang pertumbuhan

vegetatif, laju fotosintesis tinggi, penggunaan CH_2O juga tinggi, akibatnya menghambat kematangan tanaman, jaringan menjadi sukulen, tanaman rebah, mudah terserang penyakit.



Gambar 2.1. Siklus unsur hara Nitrogen

Sumber N

Beberapa sumber N adalah : perombakan bahan organik: daur N; penyematan biologis: simbiotik dan non simbiotik; deposisi atmosfer: karena muatan listrik dan kegiatan industri; pupuk N dan rabuk, kompos dan biosolid. Unsur N dapat diperoleh dari Urea (N 45%), Amoniumsulfat atau ZA (N: 21% + S:24%), Amoniumnitrat (N 35% dalam bentuk nitrat). Dari ke-3 macam sumber N tersebut, yang paling baik dalam bentuk nitrat (terutama untuk tanaman hortikultura dan buah), tetapi untuk tanaman padi N nitrat kurang baik untuk tanaman padi dibanding ZA.

Bentuk N yang diserap tanaman

Bentuk NH_3 (amoniak) diserap oleh daun dari udara atau dilepaskan dari daun ke udara, jumlahnya tergantung konsentrasi di udara. Sebagian besar N diambil akar dalam bentuk anorganik yaitu NH_4^+ (ammonium) and NO_3^- (nitrat). Jumlahnya tergantung kondisi tanah, nitrat lebih banyak terbentuk jika tanah hangat, lembab dan aerasi baik. Penyerapan NH_4^+ lebih banyak terjadi pada pH tanah netral, sedangkan NO_3^- pada pH rendah. Senyawa NO_3^- umumnya bergerak menuju akar karena aliran masa, senyawa NH_4^+ bersifat tidak mobil, gerakan disebabkan oleh difusi juga aliran masa. Senyawa ammonium ini tidak harus direduksi di dalam tubuh tanaman sehingga menghemat energi, kandungan protein tanaman lebih tinggi (CH_2O). Keseimbangan kation/anion: mengurangi penyerapan Ca, Mg, K, tetapi meningkatkan penyerapan fosfat, sulfat dan klor. Suasana pH risosfer: akar melepas H^+ .

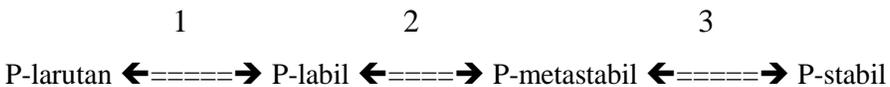
Senyawa nitrat harus direduksi terlebih dahulu di dalam tubuh tanaman sebelum disintesis menjadi asam amino, NO_3^- dan NH_3 . Keseimbangan kation/anion: meningkatkan penyerapan Ca, Mg, K, tetapi menurunkan penyerapan fosfat, sulfat, dan klor. Suasana pH risosfer: akar melepas HCO_3^- (OH^-) Jika kadar NH_4^+ tinggi dapat bersifat meracun, NH_4^+ dan NH_3 , sedangkan jika kelebihan NO_3^- dapat secara aman disimpan dalam vakuola. Preferensi tanaman: kebanyakan tanaman tumbuh baik pada kondisi campuran, tanaman yang tahan terhadap suasana masam umumnya lebih baik jika diberi NH_4^+ , sebaliknya keluarga terung-terungan (*Solanaceae*) lebih

menyukai NO_3^- , karena membutuhkan banyak kation lainnya (penyerapan nitrat merangsang penyerapan kation).

b. Fosfor (P)

Bentuk dan fungsi P di dalam jaringan tanaman

Fosfor (P) dibutuhkan tanaman dalam jumlah relatif besar, sedikit lebih kecil dibawah N dan K, setara dengan S, Ca dan Mg. Fosforus berfungsi untuk pertumbuhan akar, pembungaan, pemasakan buah/biji/gabah. Unsur P juga berfungsi untuk penyusunan inti sel, lemak dan protein. Hanya sekitar 10-30% P yang diberikan dalam bentuk pupuk dapat diserap oleh tanaman. Bentuk P dalam tanah dibedakan dalam P-organik dan P-inorganik. Bentuk P organik terdapat dalam humus tanah dan bahan organik tanah lainnya. Bentuk inorganik terdapat sebagai P-larutan dan P-fase padatan, yang dibedakan dalam 3 kategori, yaitu (1) bentuk yang cepat, (2) bentuk yang sedang lambat, dan (3) bentuk yang tidak mengadakan keseimbangan dengan P-larutan, karena tanpa reaksi balik. P-organik dan P-mineral primer tergolong bentuk terakhir. Keseimbangan hara P dapat pula disederhanakan sebagai berikut:



Reaksi 1 berjalan cepat, reaksi 2 lambat dan reaksi 3 amat lambat. Reaksi 1 adalah proses erapan, dan oleh karena itu P-labil disebut P-tererap, yaitu bentuk yang cepat mengadakan keseimbangan reaksi dengan P-larutan. Reaksi 2 dan 3 adalah reaksi lambat dalam proses

fiksasi P. P-metastabil dan P-stabil disebut pula P-nonlabil, termasuk kategori ke-2 yaitu bentuk yang sedang sampai lambat atau semua dalam mengadakan keseimbangan dengan P-larutan.

Mobilitas P

Unsur fosfor (P) sifatnya mobil dalam tanaman, mudah dipindahkan dari bagian daun yang tua ke titik tumbuh. Gejala kekahatan P akan menampakkan pertumbuhan tanaman kerdil, pertumbuhan akar buruk, kedewasaan terlambat, warna daun hijau kelam, muncul warna keunguan misalnya pada jagung. Jika P berlebihan dalam tanah meskipun tidak secara langsung meracuni tanaman, akan menyebabkan merangsang pertumbuhan organisme perairan, mempercepat eutrofikasi, P tanah yang berlebih meningkatkan pengangkutan P dalam sedimen, air limpasan. P yang ditambahkan dalam bentuk pupuk, hanya sekitar 50% P yang dapat terekstraksi dalam tanah setelah empat bulan dan dapat tersediakan untuk tanaman (Budianta dan Vanderdeelen, 2000). Selanjutnya Budianta dan Vanderdeelen (2000) juga telah mengamati bahwa pemberian kapur dalam tanah yang dimaksudkan untuk menaikkan pH tanah, P yang terekstraksi dalam tanah dapat menurun mencapai 15-20%. Hal ini dapat disebabkan P yang ada dalam tanah dapat bereaksi dengan kalsium (Ca) yang terlarut yang dilepaskan dari kapur.

Sumber P

Perombakan bahan organik: menyumbang 20-80% dari total P dalam tanah. Selain itu rabuk, kompos dan biosolid merupakan

sumber P. Pelarutan mineral P : mineral primer dan sekunder, mineral primer sangat lambat tersedia menjadi sumber jangka panjang. Pengendapan sedimen erosi dapat menjadi sumber P dalam tanah. Sumber unsur P yang banyak beredar di pasaran yaitu SP 36 dengan kandungan P 36%, Dobelsuperfosfat atau DS (P 36-38 %).

Bentuk P yang diserap tanaman

Kebanyakan P diserap dalam bentuk ion anorganik orthofosfat: HPO_4^{2-} atau H_2PO_4^- . Jumlahnya tergantung pH larutan, pada pH 7,2 jumlahnya setara, HPO_4^{2-} lebih banyak jika kondisi tanah alkalin, sedangkan H_2PO_4^- lebih banyak jika kondisi tanah masam. Akar juga menyerap beberapa fosfat organik: asam nukleat, fitin, kontribusi terhadap keseluruhan hara P masih kecil.

Penyerapan H_2PO_4^- lebih cepat dibanding HPO_4^{2-} , hal ini terkait dengan muatan divalen vs. monovalen. Keseimbangan kation/anion : penyerapan fosfat meningkatkan penyerapan Ca, Mg, K, keseimbangan muatan, pengakutan kooperasi; penyerapan fosfat dapat menghambat penyerapan nitrat dan sulfat, penghambatan kompetisi. pH risosfer: akar melepas HCO_3^- (OH^-)

Gerakan P menuju akar

Ion HPO_4^{2-} atau H_2PO_4^- terutama bergerak menuju akar karena difusi, yaitu 1). kadar dalam tanah rendah : sekitar 0,05 ppm, 2). adanya reaksi penjerapan, presipitasi di dalam tanah, 3). ion fosfat bergerak < 1 mm dalam satu musim tanam, 4). ukuran dan kerapatan sistem perakaran sangat penting dalam proses penyerapan P.

c. Kalium (K)

Bentuk dan fungsi K dalam tanaman

Unsur K dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang besar, yakni terbesar kedua setelah hara N. Pada tanah yang subur kadar K dalam jaringan hampir sama dengan N. Ion K^+ tidak menjadi komponen struktur dalam senyawa organik, tetapi bentuknya semata ionik, K^+ berada dalam larutan atau terikat oleh muatan negatif dari permukaan jaringan misalnya: $R-COO^-K^+$. Fungsi utama K adalah mengaktifkan enzim-enzim dan menjaga air sel.

Enzim yang diaktifkan antara lain: sintesis pati, pembuatan ATP, fotosintesis, reduksi nitrat, translokasi gula ke biji, buah, umbi atau akar. Pengaturan air sel: K^+ mengatur potensial air sel dan osmosis, Na^+ dapat menggantikan fungsi K^+ pada sebagian spesies. Turgor sel: ketegaran tanaman, pembukaan dan penutupan stomata. Pengambilan air oleh akar: tarikan osmotik. K dan ketahanan terhadap cekaman: ketahanan terhadap kekeringan: mengatur transpirasi dan penyerapan air oleh akar, musim dingin atau beku, ketahanan terhadap serangan penyakit jamur, ketahanan terhadap serangan serangga, mengurangi kerebahan : batang lebih kuat.

Mobilitas K

Unsur K sangat lincah dalam tubuh tanaman, mudah dipindahkan dari daun tua ke bagian titik tumbuh. Gejala kehahatan: klorosis/nekrosis ujung dan tepi daun, dimulai dari daun tua atau bagian bawah tanaman (jika disebabkan kegaraman, maka gejala tepi terbakar dimulai pada daun muda), pada legum: muncul becak putih

atau nekrosis pada tepi daun, sering jumbuh dengan bekas gigitan serangga, tanaman rebah, tidak tahan kekeringan, rentan terhadap serangan penyakit dan serangga.

Jika K berlebihan tidak secara langsung meracuni tanaman. Kadar K dalam tanah yang tinggi dapat menghambat penyerapan kation yang lain (antagonis) dapat mengakibatkan kekahatan Mg dan Ca. K dapat mengatasi gangguan karena kelebihan N yang merangsang pertumbuhan vegetatif, tanaman menjadi sukulen (basah), mudah rebah dan rentan terhadap serangan penyakit/serangga, sedangkan K memiliki pengaruh yang sebaliknya.

Sumber K

Bahan organik dapat sebagai sumber K karena sebagian besar K mudah terlindi dari seresah tanaman. Pelepasan tersebut tidak berkaitan dengan tingkat perombakan sebagaimana N atau P, hal ini disebabkan K tidak menjadi komponen dalam struktur senyawa organik. Rabuk, kompos dan biosolid menyediakan K dalam bentuk terlarut, sehingga segera tersedia bagi tanaman. Sebagai K^+ dalam kompleks pertukaran, pertukaran merupakan reaksi dalam tanah yang paling penting bagi ketersediaan K. Kebanyakan tanah memiliki kadar K total yang tinggi, K yang dimiliki tersebut lebih banyak dibanding hara yang lain, sedangkan untuk tanah pasir secara alami kandungan K memang rendah, sumber K adalah mineral feldspar dan mika, yang akan tersedia dengan lambat, ini menjadi sumber K dalam jangka panjang, K tersedia merupakan sebagian kecil saja dari K total.

Sumber unsur K di pasaran yaitu KCl (K 60%), kalium sulfat atau sering disebut ZK (zwavelzure kalium, K 49-52%) dan KNO_3 . Sekedar informasi bahwa dalam penggunaan pupuk KCl kita harus lebih hati-hati, ini dikarenakan KCl mengandung klor (Cl) yang cukup tinggi, sehingga dapat berpengaruh negatif terhadap tanaman yang peka terhadap clor.

Bentuk K yang diserap tanaman

Unsur K diserap dalam bentuk kation (K^+). Konsumsi berlebihan: jika K^+ terlarut sangat tinggi, tanaman akan menyerap lebih banyak K dibanding yang diperlukan, ini menyebabkan kelebihan (banyak sekali) K yang terangkut oleh panen, sehingga dapat menyebabkan ketimpangan hara bagi ternak, yakni kekurangan Ca, Mg, Na.

Gerakan K menuju akar

Kadar K dalam larutan tanah umumnya 1-10 ppm, sedangkan rerata untuk tanah pertanian adalah 4 ppm. K^+ bergerak karena difusi dan aliran massa. K bergerak menuju akar terutama oleh difusi, pada kebanyakan tanah besarnya mencakup 90%. Jangkauan gerakan K sangat terbatas, selama satu musim tanam hanya 1-4 mm. Gerakan K karena aliran massa sangat penting pada tanah yang memiliki K tinggi, demikian juga K yang berasal dari pupuk K yang diberikan, atau pada tanah dengan KTK yang rendah.

d. Kalsium (Ca)

Bentuk dan fungsi Ca dalam tanaman

Kalsium (Ca) merupakan hara makro sekunder, dibutuhkan dalam jumlah cukup besar, lebih sedikit dibanding N dan K, serupa jumlahnya dengan P, S, dan Mg. Kebanyakan Ca berada dalam dinding sel dan dinding membran: hara “apoplastik”, fungsi utama berada di luar sitoplasma, perannya dalam metabolisme sedikit, menjadi jembatan divalen yang menghubungkan antar molekul dan bersifat reversible.

Kalsium (Ca) sebagai komponen struktural membran sel, menjaga stabilitas membran dan integritas sel: mengatur selektivitas serapan ion, mengatur permeabilitas membran dan mencegah kebocoran larutan dalam sel. Komponen struktural dinding sel, berupa Ca-pektat di lamela tengah diantara dinding sel yang saling berdekatan berfungsi menguatkan dinding sel dan ketahanan terhadap infeksi jamur, atau berada di antara dinding sel dengan membran plasma, fungsi membran.

Kalsium diperlukan dalam pemanjangan dan pembelahan sel: membentuk dinding sel dan membran sel yang baru, ini merupakan fungsi pengaturan sebagaimana fungsi struktur, dan ikatan yang reversible di dalam membran dan dinding sel memungkinkan sel untuk tumbuh dan berkembang. Fungsi Kalsium adalah untuk menyusun klorofil, kalsium juga dibutuhkan enzim untuk metabolisme karbohidrat, serta mempergiat sel meristem.

Mobilitas Ca

Unsur Ca sangat tidak mobil dalam tanaman, alih tempat terbatas dari daun tua ke bagian yang sedang tumbuh, dapat menyebabkan kekurangan Ca dalam buah, umbi dan titik tumbuh akar dan batang, kekahatan Ca dapat saja terjadi pada tanah yang memiliki kadar Ca yang tinggi, terutama jika laju transpirasinya rendah. Gejala kekahatan pertumbuhan titik tumbuh batang dan akar terhambat, daun pada jagung lengket (*sticky*), daun yang baru terbentuk tergulung, gangguan fisiologis pada organ penyimpanan: “*blossom end rot*” pada tomat dan lombok, “*bitter pit*” pada apel atau terbakar pada tepi daun serta, “*cupping*” pada daun muda, ujung daun terbakar pada sawi. Keturahan Ca tidak secara langsung meracuni tanaman atau organisme lain, tanah yang memiliki Ca tinggi dapat menghambat serapan hara yag lain, dapat juga menyebabkan kekahatan K atau Mg

Sumber Ca

Sebagian besar Ca dapat dengan cepat terlindi dari seresah tanaman, sebagian yang lain mengalami mineralisasi pada awal tahapan perombakan bahan tersebut. Pupuk hijau, kompos dan biosolid merupakan sebagian besar Ca adalah larut dalam air, bentuk yang segera tersedia, dapat dengan mudah hilang sebelum bahan tersebut diberikan di lapangan. Ca^{2+} merupakan kation yang dapat dipertukarkan, pertukaran kation merupakan reaksi paling penting bagi unsur Ca dalam tanah.

Kehadiran mineral Ca di dalam tanah sangat bervariasi. Pada tanah yang kasar kadar Ca lebih rendah dibanding tanah yang halus teksturnya, kadar Ca juga rendah pada tanah yang sudah terlapuk

lanjut, kadarnya cukup banyak pada tanah humida, atau wilayah beriklim temperate, tanah permukaan mungkin memiliki kadar Ca yang lebih rendah karena sifatnya asam. Kadar Ca tinggi pada tanah kapuran (tanah gampingan), terbentuk senyawa Ca karbonat, terbentuk Gypsum (CaSO_4) pada tanah kering.

Kapur dan pupuk merupakan sumber Ca yang diberikan ke dalam tanah adalah senyawa untuk menetralkan kemasaman tanah, terutama CaCO_3 (kalsium karbonat) dan CaMgCO_3 (Dolomit). Gypsum digunakan untuk memasok Ca tanpa mempengaruhi pH tanah, Ca juga terkandung dalam pupuk superfosfat (TSP)

Serapan Ca oleh tanaman

Unsur Ca diserap dalam bentuk kation divalen Ca^{2+} . Penyerapan Ca^{2+} terbatas pada ujung akar: wilayah perakaran muda yang memiliki dinding sel endodermis belum mengalami suberisasi. Ca memasuki pembuluh xilem melalui jalur apoplastik. Pengangkutan menembus membran terbatas, diperlukan pertumbuhan akar terus menerus agar pengambilan Ca mencukupi kebutuhan. Pengangkutan melalui xilem, Ca terbawa oleh aliran air transpirasi. mobilitas lewat floem terbatas

Gerakan Ca menuju akar

Kation Ca^{2+} dipasok oleh intersepsi akar dan aliran masa, Ca^{2+} di kebanyakan tanah bersifat sangat mobil, kadar dalam larutan tanah 30-300 ppm, kecukupan untuk tanaman secara umum > 15 ppm, Ca

akan mengumpul di sekitar akar, pada tanah yang memiliki kadar Ca yang tinggi.

Pertukaran kation (*cation exchange*)

Reaksi pertukaran kation merajai kelakuan Ca dalam tanah. Terjadi keseimbangan yang cepat antara Ca tertukar dengan Ca larutan. Ca tertukar menyangga Ca dalam larutan. Ikatan Ca^{2+} lebih kuat dibanding kation lain dengan urutan: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$.

Ketersediaan Ca bagi tanaman

Kejenuhan basa dan pH tanah: kejenuhan Ca^{2+} yang tinggi diperlukan agar hara ini tersedia bagi tanaman. Angkanya beragam sesuai tipe tapak pertukaran : kejenuhan pada lempung 2:1 besarnya $>70\%$, sedangkan pada bagan organik tanah dan lempung 1:1 besarnya 40 to 50%. Pada ph yang rendah Ca kurang tersedia: disebabkan kejenuhan Ca^{2+} rendah, adanya Al^{3+} dalam larutan menghambat penyerapan Ca^{2+} . Kation yang lain misalnya Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ jika kadarnya tinggi akan menghambat penyerapan Ca, sebaliknya anion Nitrat akan meningkatkan serapan Ca.

e. Magnesium (Mg)

Bentuk dan fungsi Mg dalam tanaman

Magnesium (Mg) merupakan hara makro sekunder, diperlukan tanaman dalam jumlah relatif banyak, lebih sedikit dibanding N dan K, serupa jumlahnya dengan P, S dan Ca; umumnya $\text{Mg} < \text{Ca}$. Mg sangat esensial untuk fotosintesis: menjadi atom pusat dari molekul

klorofil, jumlahnya 15- 20% total Mg dalam tanaman. Komponen struktural pada ribosom: sintesis protein. Sebagai aktivasi enzim transposporilase, menciptakan warna hijau pada daun, membentuk karbohidrat, lemak/minyak, transfer fosfat dan gugus karboksil, yaitu reaksi ATP dan transfer energi, fiksasi CO₂ oleh RuBP carboxylase.

Mobilitas Mg

Magnesium (Mg) bersifat mobil dalam tanaman: dialihtempatkan dari daun tua ke titik tumbuh. Gejala kekahatan yang muncul: dimulai pada daun tua di bagian bawah tanaman; kenampakan utama berupa klorosis kekuningan diantara tulang daun (interveinal chlorosis), sedangkan tulang daun tetap hijau, hal ini mirip dengan gejala kekahatan Fe; pada beberapa tanaman daun di bagian bawah membentuk *a reddish-purple cast*; jika lanjut daun mengalami nekrosis. Kelebihan Mg tidak secara langsung meracuni tanaman atau organisme, kelebihan Mg dapat disimpan di vakuola, kadar Mg yang tinggi dalam tanah menghambat penyerapan kation yang lainnya, misalnya mengakibatkan kekahatan K atau Ca.

Sumber Mg

Bahan organik merupakan sumber Mg, kebanyakan Mg segera terlindi dari seresah, sisanya mengalami mineralisasi pada tahap awal perombakan residu tersebut. Pupuk hijau, kompos dan biosolid banyak Mg terlarut, segera tersedia. Oleh karena itu dengan mudah hilang sebelum diberikan ke lahan. Ion Mg²⁺ termasuk kation dapat ditukar, pertukaran kation termasuk reaksi terpenting bagi Mg dalam tanah.

Pelarutan mineral Mg: yaitu mineral primer atau mineral klei sekunder, tanah kasar lebih sedikit kandungan Mg dibanding tanah halus, kadar Mg lebih tinggi pada lahan kering semi arid atau arid.

Magnesium berada dalam senyawa yang digunakan untuk mentralkan pH tanah, terutama dalam bentuk batu kapur dolomit (CaMgCO_3), bentuk yang lain misalnya garam Epsom (MgSO_4) dan $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$ (Sul-Po-Mag)

Bentuk Mg yang diserap tanaman

Magnesium (Mg) diserap tanaman dalam bentuk kation divalen Mg^{2+} .

Gerakan Mg menuju akar:

Ion Mg^{2+} dipasok oleh aliran massa (*mass flow*) dan pencegatan akar (*root interception*). Penyerapan hara melalui pencegatan akar Mg jauh lebih rendah dibanding pada Ca. Kadar dalam larutan tanah 5-50 ppm, pada tanah iklim sedang (temperate).

Pertukaran kation

Reaksi pertukaran kation paling menentukan kelakuan Mg dalam tanah. Keseimbangan cepat antara tertukar dengan terlarut: Mg tertukar menyangga Mg dalam larutan, ingat faktor kuantitas dan intensitas. Mg^{2+} diikat lebih kuat dibanding kation monovalen: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$

Ketersediaan Mg bagi tanaman

Kejenuhan Mg dan pH: diperlukan kejenuhan $Mg^{2+} > 10\%$ agar mencukupi tanaman, kejenuhan Mg^{2+} diperlukan lebih tinggi pada tanah lempung 2:1 dibanding, tanah dengan KTK yang bersumber dari bahan organik atau lempung 1:1, Mg kurang tersedia pada pH rendah: karena kejenuhan Mg^{2+} lebih rendah, kehadiran Al^{3+} dalam larutan menghambat penyerapan Mg^{2+} . Kation lain: Jika kadar Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ tinggi akan mengganggu penyerapan Mg^{2+} , Nitrat dibandingkan Ammonium, akan meningkatkan serapan Mg^{2+} .

f. Sulfur (S)

Bentuk dan fungsi S dalam tubuh tanaman

Unsur S diperlukan oleh tanaman dalam jumlah relatif banyak, lebih sedikit dibanding N atau K, serupa dengan P, Ca dan Mg.; sebagai penyusun asam amino esensial: sistin, sistein dan metionin, 90% S dalam tanaman berupa protein, ikatan disulfida, susunan protein dan aktivitas enzim, pembentukan klorofil; Ferredoksin: protein Fe-S, reaksi redoks: fotosintesis, penyematan nitrogen, reduksi nitrat dan sulfat; koensim: koensim A dan vitamin, biotin, thiamine, B1; senyawa volatil: tanaman keluarga Onion dan crucifer (cabbage). belerang juga berfungsi untuk pembentukan bintil akar pada kacang-kacangan dimana bintil akar tersebut sangat penting untuk menambat nitrogen (bekerja sama dengan bakteri *rhizobium*). Bawang merah dan bawang putih memerlukan belerang dalam jumlah besar.

Mobilitas S

Unsur S relatif tidak mobil dalam tanaman: tidak segera dapat dialihtempatkan dari daun yang tua ke bagian titik tumbuh, gejala kekahatan muncul pertama pada bagian atas yaitu daun muda. Gejala kekahatan: kerdil (*stunted*), pertumbuhan spiral (*spindly growth*), seringkali seluruh tanaman menjadi klorosis seragam (*uniformly chlorotic*), tanaman Crucifer membentuk warna kemerahan dan ungu, kadar protein rendah, pengumpulan N bukan protein. Jika kadar S berlebihan tidak secara langsung mempengaruhi tanaman tersebut atau organisme yang memakannya, tetapi dapat menyebabkan masalah kegaraman karena S merupakan anion yang dominan pada tanah salin, pelindian yang hebat dari SO_4^- meningkatkan kehilangan kation.

Sumber S

Sulfur (S) didapatkan dari proses perombakan bahan organik tanah, karena 90% S dalam tanah berada dalam bentuk organik tersebut. Sulfat yang terjerap pada tapak pertukaran anion dari oksida Al dan Fe merupakan juga sumber S dalam tanah. Pada musim kering, sulfida terdapat dalam bentuk anaerob. Sulfur juga didapatkan dari pengendapan atmosfer dari industri, hujan asam.

Pada tanah pasiran sering kekahatan S, karena rendahnya bahan organik tanah dan pelindian yang hebat terhadap SO_4 , kebutuhan tanaman beragam: diperlukan oleh alfalfa, clovers, canola, kubis dan sayuran serupa, Brassicas, bawang merah dan bawang putih, rerumputan atau legum, rumput menyerap S lebih cepat dibanding legum. Sumber sulfur: S unsur (tidak segera tersedia, harus dioksidasi

lebih dahulu menjadi SO_4 , oksidasi berlangsung dalam reaksi masam). Sumber lain ikut dalam superfosfat. SSP (14% S), TSP (1,5% S).

Bentuk S yang diserap tanaman

Penyerapan langsung SO_2 oleh daun: jumlahnya kecil, jika kadar S dalam udara tinggi akan meracuni tanaman. Penyerapan akar terutama dalam bentuk: sulfat (SO_4^-).

Gerakan S menuju akar

Di dalam tanah sulfat bergerak karena aliran massa dan difusi. Terutama beregerak karena aliran massa (mass flow), difusi memiliki arti penting pada tanah dengan kadar S yang rendah. Kadar dalam larutan tanah 5-20 ppm. Aras yang mencukupi kebutuhan tanaman 3-5 ppm dalam tanah.

2.4.2. Unsur Hara Mikro

a. Besi (Fe)

Fe dalam tanaman

Unsur Fe diserap akar dalam bentuk Fe^{2+} atau Fe^{3+} , Fe^{3+} umumnya direduksi menjadi Fe^{2+} sebelum penyerapan, bentuk Fe^{3+} sangat penting untuk rerumputan. Reaksi redoks: pembentukan klorofil, penyusun sitokrom, ferredoxin, leghemoglobin, diperlukan untuk fotosintesis, respirasi dan penyematan N. Tidak mudah dipindahkan antar jaringan tanaman, kekahatan muncul pertama kali pada titik tumbuh yaitu daun yang muda.

Gejala kekahatan pertumbuhan berhenti, klorosis di antara tulang daun yaitu pada daun muda, jika parah daun berwarna putih. Keracunan terjadi pada tanah dengan drainase sangat buruk, kondisinya reduksi dan banyak Fe^{2+} terlarut misalnya pada tanah sawah.

Fe dalam tanah

Mineral Fe sangat melimpah di kerak bumi, juga dalam tanah dalam bentuk mineral primer, bagian dari klei, oksida dan hidroksida. Larutan Tanah: kelarutan mineral Fe sangat rendah, mineral amorf $\text{Fe}(\text{OH})_3$ mengatur kadar Fe dalam larutan tanah. Pada tanah dengan drainase baik, kondisinya teroksidasi kadar $\text{Fe}^{3+} > \text{Fe}^{2+}$. Sebaliknya pada tanah jenuh air Fe^{3+} mengalami reduksi menjadi Fe^{2+} . Kelarutan Fe dan pH tanah, reaksi: $\text{Fe}(\text{OH})_3 (\text{soil}) + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$, kelarutan Fe^{3+} berkurang 1.000 kali jika pH meningkat 1 unit. Kekahatan Fe sering dijumpai pada tanah dengan pH tinggi

Gerakan Fe menuju akar

Besi (Fe) bergerak karena difusi dan aliran massa. Kadar Fe dalam larutan tanah sangat rendah yaitu $\text{Fe}^{3+} = 10^{-6} - 10^{-24}$ M. Total Fe dalam larutan terlalu rendah untuk mencukupi kebutuhan tanaman. Khelasi diperlukan, meningkatkan bentuk terlarut dan meningkatkan Fe yang terbawa difusi dan aliran masa.

Khelasi

Ikatan kompleks antara ion logam dengan senyawa organik: senyawa organik disintesis oleh akar, hasil perombakan bahan organik

tanah atau sisa tanaman, hasil metabolisme mikrobia, contoh khelat alami : asam sitrat dan asam oksalat, sedang khelat buatan : DTPA. Khelat (*chelate = claw*), ikatan ganda, ion logam sebagai pusat sedang senyawa organik mengelilinginya.

Khelat larut air meningkatkan ketersediaan hara mikro Fe, Zn, Mn, Cu, mencegah dari reaksi presipitasi/adsorpsi. Pada tanah gambut khelasi oleh gugus fungsional justru menurunkan ketersediaan Cu.

Penyerapan khelat Fe

Khelat Fe menembus akar tanaman, Fe^{3+} dilepaskan pada permukaan akar, khelat bebas kembali ke larutan tanah (*bulk solution*), khelat tersebut mengikat ion Fe^{3+} yang lainnya, khelasi mengambil ion Fe bebas dari dalam larutan tanah, menyebabkan kadar Fe dalam larutan menurun yang akan diikuti pelepasan Fe yang semula terjerap atau melarutkan Fe dari mineral.

Pengaruh Tanaman

Tanaman memiliki efisiensi penyerapan Fe yang berbeda-beda (faktor genotip). Adaptasi akar dalam menyerap Fe: Pemasaman rizosfer (melepas H^+), melepas agen khelasi (phytosiderophores), melepas agen pereduksi (phenolic compounds), meningkatkan laju serapan Fe (reduksi Fe^{3+} lebih cepat), pengangkutan Fe dari akar ke daun lebih baik (sel pemindah, asam sitrat dan asam organik lainnya).

Kekahatan Fe

Kekahatan Fe disebabkan klorosis karena pengapuran (kedelai, *blueberry*), tanah kapuran dengan pH tinggi (drainase dan aerasi buruk, kadar bikarbonat tinggi). Kadar bahan organik rendah (tanah kapuran tererosi), di wilayah ini agen khelasi sangat sedikit. Interaksi hara: kekahatan muncul karena kelebihan Cu, Mn, Zn, Mo dan P. Pemasaman karena penyerapan $\text{NH}_4\text{-N}$ di risosfer meningkatkan serapan Fe.

Sumber Fe

Pupuk kandang dan pupuk organik lainnya dapat menambah khelat. Pemupukan ke tanah kurang efektif karena Fe menjadi tidak tersedia sehingga aplikasi pada tanaman (pupuk daun atau injeksi) lebih efektif. Khelat Fe: cukup efektif jika diberikan ke tanah, tapi harganya mahal, umumnya digunakan untuk komoditas yang bernilai tinggi.

b. Tembaga (Cu)

Cu dalam tanaman

Diserap dalam bentuk Cu^{2+} atau kompleks organik. Reaksi redoks: komponen plastosianin, sitokrom oksidase, enzim oksidase; diperlukan dalam proses fotosintesis, respirasi, lignifikasi, pembentukan serbuk sari, dan penyerbukan. Cu tidak mudah dipindahkan antar jaringan, kekahatan muncul pada titik tumbuh, daun yang muda.

Gejala kekahatan: warna hijau muda, biru muda, kekuningan pada daun muda; tepi daun menggulung, ujung daun kering; daun layu; pembentukan dan buah biji buruk.

Cu dalam tanah

Meskipun kecil Cu terdapat dalam mineral primer dan sekunder. Larutan tanah: kelarutan Cu ditentukan oleh pH larutan dan proses jerapan pada permukaan mineral dan organik; di dalam larutan terutama berbentuk khelat. Kelarutan Cu dan pH: Tanah-Cu (mineral) + $2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+}$. Cu terlarut berkurang 100 kali jika pH naik 1 unit. Reaksi hidrolisis Cu: pH <7, Cu^{2+} dominan, jika pH >7, CuOH^+ dominan, pH meningkat diikuti peningkatan jerapan Cu.

Tembaga (Cu) dijerap oleh klei, oksida Al, Fe, Mn dan permukaan organik; (jerapan Cu ini paling kuat dibanding hara mikro lainnya); jerapan dalam bentuk dapat ditukar pada permukaan klei; bahan organik mengurangi atau meningkatkan ketersediaan Cu: jika bahan organik tidak larut berarti mengurangi Cu dari larutan, tetapi khelat yang larut meningkatkan ketersediaan Cu; sebagian besar Cu dapat disekap (*occluded*) atau diendapkan dalam struktur lempung atau mineral oksida

Gerakan Cu menuju akar

Ion Cu^{2+} bergerak karena difusi. Khelasi meningkatkan Cu terlarut, difusi khelat Cu sangat penting untuk mencukupi kebutuhan tanaman.

Kekahatan Cu

Kekahatan Cu Sering dijumpai pada tanah organik yang mempunyai kapasitas jerapan tinggi. Dapat terjadi pada tanah pasiran yang sudah terlindi dan memiliki pH tinggi. Interaksi hara: kadar Fe, Zn, dan P memicu kekahatan Cu. Tanaman peka: biji-bijian, wortel, bawang merah sering terjadi kekahatan Cu.

Sumber Cu

Pupuk kandang dan pupuk organik lainnya: menambah khelat, pupuk dari kandang babi dan biosolid dapat mengandung Cu sangat tinggi. Sumber anorganik: khelat Cu diberikan sebagai pupuk daun atau lewat tanah efektivitasnya sama.

c. Mangan (Mn)

Mn dalam tanaman

Diserap akar dalam bentuk Mn^{2+} , atau dalam kompleks organik. Berfungsi dalam fotosintesis: memecah air dan evolusi oksigen Reaksi redoks (Mn^{2+} / Mn^{3+}), dekarboksilasi, hidrolisis. Mn dapat mengganti Mg^{2+} dalam reaksi fosforilasi. Mangan (Mn) tidak mudah dipindahkan antar jaringan, kekahatan muncul paad titik tumbuh, daun yang muda. Gejala kekahatan muncul klorosis antara tulang daun yan muda serupa dengan kekahatan Fe, daun kehilangan warna tidak merata (*spot*). Keracunan Mn dapat terjadi pada tanah yang sangat masam. Becak hitam atau coklat (endapan MnO_2) dengan cincin pucat, terjadi pada daun tua, disebabkan kekahatan Fe, Mg, Ca.

Mn dalam tanah

Berupa mineral primer, klei, oksida dan hidroksida. Larutan tanah: kelarutan Mn dikontrol oleh pH tanah, kondisi redoks dan adsorpsi pada permukaan organik; sejumlah Mn^{2+} dijerap dalam bentuk tertukar pada permukaan lempung; kebanyakan yang berada dalam larutan tanah berbentuk khelat.

Kelarutan Mn: ditentukan oleh kelarutan MnO_2 , lebih terlarut pada pH yang rendah dan potensi redoks rendah, $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$, kelarutan menurun 100 kali jika pH naik 1 unit, kenaikan pH meningkatkan kompleksasi pada permukaan bahan organik padat

Gerakan Mn menuju akar

Mn bergerak karena difusi. Khelasi meningkatkan Mn yang terlarut, kebanyakan Mn menembus akar dalam bentuk khelat.

Kekahatan Mn

Terjadi pada tanah dengan pH tinggi, tanah kapuran atau tanah dengan daya sangga rendah dikapur berlebihan, serta sering terjadi pada tanah dengan kadar bahan organik tinggi.

Interaksi hara: disebabkan kadar Cu, Fe, dan Zn tinggi. Pemasaman karena pupuk NH_4-N meningkatkan ketersediaan Mn. Iklim kering menyebabkan kekahatan, kondisi oksidasi.

Keracunan Mn

Terjadi pada tanah yang sangat masam. Hal ini dapat diatasi dengan pengapuran, untuk mengurangi Mn yang tersedia

Sumber Mn

Mangan terdapat pada pupuk kandang dan pupuk organik lainnya, juga meningkatkan khelat. Sumber anorganik Mn-sulfat: sumber yang umum, aplikasi tanah atau daun seimbang efektivitasnya, diberikan dalam larikan lebih efektif dibanding disebar. Mn khelat: untuk pupuk daun, aplikasi di tanah kurang efektif, karena Fe atau Ca dapat mengganti Mn dalam khelat tersebut.

d. Seng (Zn)

Zn dalam tanaman

Diserap dalam bentuk Zn^{2+} . Aktivitas enzim: struktur, fungsi atau kofaktor regulator; metabolisme karbohidrat, sintesis protein; zat pengatur tumbuh triptofan, IAA (auksin).

Seng (Zn) tidak mudah dipindahkan antar jaringan tanaman, kekahatan muncul pada titik tumbuh di daun muda, pada beberapa tanaman gejala muncul pada daun tua, Gejala kekahatan: pertumbuhan kerdil ruas pendek, roset, kekurangan IAA; warna hijau muda, kuning atau putih pada daun; daun kecil, sempit dan tebal; pengguguran daun; buah tidak terbentuk.

Zn dalam tanah

Unsur Zn ditemukan sedikit pada mineral primer dan sekunder. Larutan tanah: kelarutan Zn dikendalikan oleh pH larutan dan jerapan oleh mineral dan organik; yang larut kebanyakan dalam bentuk khelat. Kelarutan Zn dan pH tanah: tanah-Zn + 2H⁺ → Zn²⁺; jika pH naik 1 unit kelarutan berkurang 100 kali; pH meningkat diikuti peningkatan jerapan.

Jerapan Zn: Zn dijerap oleh lempung, oksida Al-Fe, bahan organik dan karbonat; kekuatan jerapan dapat ditukar sampai sangat sukar dilepas; kompleks organik dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaan Zn seperti pada Cu.

Gerakan Zn menuju akar

Seng (Zn) bergerak terutama karena difusi, sebagian kecil oleh aliran massa. Khelasi sangat penting agar mencukupi kebutuhan tanaman, meningkatkan jumlah Zn terlarut, meningkatkan Zn yang bergerak karena difusi dan aliran massa.

Kekahatan Zn

Kekahatan Zn sering dijumpai pada tanah kapuran pH tinggi: wilayah tererosi, tanah permukaan hilang, tanah dengan tekstur sangat halus, karena kapasitas jerapan yang tinggi, kondisi dingin dan basah, kekahatan awal musim semi. Kelebihan Cu, Fe, Mn, dan P memicu kekahatan Zn; pemasaman karena pupuk ammonium meingkatkan ketersediaan Zn. Sering juga terjadi pada tanaman peka: seperti jagung dan kedelai.

Sumber Zn

Pupuk kandang dan sumber organik dapat menambah khelat. Sumber anorganik adalah Zn-sulfat (efektif untuk di tanah) dan pupuk daun (tanaman buah, pembibitan). Khelat Zn untuk daun atau tanah, semuanya efektif.

e. Boron (B)

B dalam tanaman

Diserap akar dalam bentuk H_3BO_3 . Boron berperan dalam pengangkutan gula; permeabilitas membran; komponen dinding sel; pembentukan serbuk sari; pemanjangan, pembelahan dan diferensiasi sel. Kebanyakan B diperlukan pada jaringan ekstraseluler (dinding sel, lignifikasi, diferensiasi xilem), serupa dengan watak apoplastik dari Ca.

Boron tidak mudah dipindahkan dalam jaringan tanaman; kekahatan muncul pada titik tumbuh atau daun muda. Gejala kekahatan ditandai dengan titik tumbuh (tunas atau akar) berhenti; klorosis daun, daun termuda mati; ruas memendek, terbentuk roset; batang dan tangkai menebal; bunga berguguran, pembentukan buah dan biji buruk sekali. Keracunan B disebabkan kisaran yang sempit antara kekahatan dan keracunan hara, berupa klorosis atau nekrosis pada ujung dan tepi daun.

Boron dalam tanah

Boron dalam tanah berbentuk mineral turmalin (borosilikat). Pada bahan organik, B berperan sebagai penyusun bahan organik dan

ikatan kompleks organik. Dijerap oleh klei, oksida Fe dan Al. Larutan tanah: pada pH 5-9 dirajai oleh H_3BO_3 ; kelarutan B dikendalikan oleh reaksi adsorpsi-desorpsi permukaan mineral; ketersediaan B dipengaruhi oleh pH larutan, jumlah lempung, oksida dan bahan organik tanah.

Ketersediaan B

Unsur B sangat tersedia pada tanah masam, sebaliknya terjerap kuat oleh oksida dan lempung pada pH > 6.5. B dapat terlindi pada tanah pasiran yang masam. Pada tanah yang kering: kebanyakan B diserap secara pasif bersama air, seperti Ca, didistribusikan ke tanaman melalui sistem transpirasi, pengambilan dan pengangkutan yang terus menerus dalam xilem sangat penting

Gerakan B menuju akar

Unsur B bergerak karena aliran masa (kebanyakan) dan difusi (sangat penting jika B dalam tanah rendah).

Keracunan B

Keracunan B dapat dijumpai pada tanah yang sangat kering, air irigasi yang kadar B nya tinggi; atau pada tanah masam. Jika Ca rendah menyebabkan kepekaan terhadap B.

Pupuk B

Pupuk kandang dan bahan organik. Senyawa anorganik: Borax (natrium borat, solubor (pupuk daun dan tanah).

f. Klor (Cl)**Cl dalam tanaman**

Diserap akar dalam bentuk Cl^- dapat juga diserap lewat daun. Fungsi unsur hara ini berkaitan dengan air dalam tanaman; osmotik, turgor daun, counterion K^+ ; diperlukan dalam evolusi O_2 (fotosintesis). Cl Sangat mudah bergerak dalam tanaman.

Gejala kekahatan tanpak pada tanaman yang layu; klorosis daun; pertumbuhan akar terhambat; nekrosis daun dan berwarna seperti tembaga. Kelebihan Cl dapat menyebabkan penyerapan air berkurang; daun menebal dan menggulung; mutu buah dan umbi berkurang.

Cl dalam tanah

Klorin (Cl) dalam tanah sangat mobil, mudah terlindi. Merupakan anion utama pada tanah salin, mengumpul di tanah kering, berada sedikit di atas *water table*, darinase internal buruk, berasal dari air irgasi. Sedikit sekali Cl dalam bahan organik, atau terjerap di permukaan mineral

Ketersediaan Cl

Dalam tanah Cl sangat terlarut dan sangat tersedia bagi tanaman. Pada tanah yang sangat hebat pelindiannya mungkin muncul kekahatan. Interaksi hara antara nitrat dan sulfat dapat menghambat penyerapan Cl.

Gerakan Cl

Unsur Cl bergerak menuju akar bersama aliran massa.

Keracunan Cl

Keracunan Cl lebih sering dijumpai dibanding kekahatan Cl. Unsur ini menekan pertumbuhan tanaman dengan mekanisme: sumbangan garam yang tinggi dalam tanah, bagi tanaman yang peka terhadap Cl misalnya: kacang-kacangan, tanaman buah, kapas dan tembakau.

Pupuk Cl

Unsur Cl terdapat dalam rabuk dan sumber organik lainnya meski sedikit. Sumber anorganik: pupuk KCl, atau gram lainnya.

g. Molobdenum (Mo)

Mo dalam tanaman

Diserap akar dalam bentuk MoO_4^{2-} (molybdate). Dibutuhkan dalam jumlah lebih sedikit dibandingkan hara mikro yang lainnya. Mo berperan dalam penyerapan dan pengangkutan Fe dan bersifat agak mudah dipindahkan dalam jaringan tanaman.

Gejala kekahatan: seperti gejala kekahatan N. Keracunan Mo jarang dijumpai. Jika kadarnya sangat tinggi dalam hijauan makanan ternak dapat meracuni ternak.

Mo dalam tanah

Mo berasal dari mineral primer mengandung molybdate dan bahan organik di dalam tanah. Terjerap pada permukaan oksida Fe dan Al, mirip jerapan P (ikatan lebih ringan, karena dapat didesak oleh fosfat). Mo larutan tanah kadarnya sangat rendah.

Ketersediaan Mo

Jika pH meningkat Mo menjadi tersedia, 1 unit kenaikan pH meningkatkan ketersediaan Mo 10 kali (berbeda dengan hara mikro lainnya). Kekahatan dijumpai pada tanah masam, atau tanah dengan oksida Fe-Al. Jika sulfat tinggi menghambat serapan Mo, nitrat meningkatkan serapan Mo, ammonium menurunkan serapan Mo.

Gerakan Mo menuju akar

Mo bergerak ke akar karena aliran masa (kebanyakan) dan difusi (penting jika Mo tanah rendah).

Keracunan Mo

Molybdenosis pada ternak karena tidak seimbang antara Mo dan Cu dalam pakan. Pada tanah netral atau alkalin sering juga terjadi keracunan Mo. Ketersediaan Cu rendah, misalnya pada gambut.

Pupuk Mo

Pupuk kandang dan bahan organik lainnya meski kadarnya kecil tapi sudah mencukupi, karena memang kebutuhan Mo juga kecil. Pada sumber anorganik : Ammonium dan natrium molybdates,

diberikan sebagai pupuk daun atau pupuk tanah, atau diberikan untuk benih (seed treatments). Pengapuran dapat mengatasi kekahatan Mo

2.5.Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ketersediaan Unsur Hara

Ketersediaan hara bagi tanaman ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan tanah memasok hara dan faktor-faktor yang mempengaruhi kemampuan tanaman untuk menggunakan unsur hara yang disediakan.

2.5.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi larutan hara dalam tanah

Unsur hara yang larut dalam larutan-tanah berasal dari beberapa sumber seperti pelapukan mineral primer, dekomposisi bahan organik, deposisi dari atmosfer, aplikasi pupuk, air irigasi, rembesan air tanah dari tempat lain, dan lainnya.

Ion-ion nitrat dan klorida sangat mudah larut dan lazimnya tidak membentuk senyawa yang tidak-larut dengan komponen tanah. Akibatnya nitrat dan klorida yang ditambahkan ke tanah akan tetap berbentuk anion dalam larutan tanah hingga diserap oleh akar tanaman atau jasad renik, tercuci, atau mengalami reaksi denitrifikasi nitrat. Anion sulfat dalam tanah-tanah netral dan alkalis mempunyai perilaku yang serupa dengan nitrat, tetapi dalam tanah-tanah masam cenderung untuk dijerap oleh koloid tanah. Kebanyakan unsur hara lainnya membentuk beberapa tipe senyawa yang kurang melarut dan cenderung mempertahankan konsentrasi kesetimbangan dalam larutan tanah. Dengan demikian kation-kation larut air akan berkesetimbangan dengan kation tukar; kation-kation

seperti Cu dan Zn mempunyai ciri-ciri asam Lewis (sebagai aseptor elektron) dapat membentuk kompleks dengan bahan organik tanah; ion ferri dan Al membentuk hidroksida atau oksida hidrous yang tidak melarut; fosfor membentuk senyawa Fe-fosfat, Al-fosfat dan Ca-fosfat yang tidak melarut.

Kelarutan oksida-oksida hidrous dari Fe dan Al secara langsung tergantung pada konsentrasi hidroksil (OH^-) dan menurun kalau pH meningkat. Kation hidrogen (H^+) bersaing secara langsung dengan kation-kation asam Lewis lainnya membentuk tapak kompleks, dan oleh karenanya kelarutan kation kompleks seperti Cu dan Zn akan meningkat dengan menurunnya pH. Konsentrasi kation hidrogen menentukan besarnya KTK tergantung-muatan (*dependent charge*) dan dengan demikian akan mempengaruhi aktivitas semua kation tukar. Kelarutan Fe-fosfat, Al-fosfat dan Ca-fosfat sangat tergantung pada pH, demikian juga kelarutan anion molibdat (MoO_4) dan sulfat yang terjerap. Anion molibdat dan sulfat yang terjerap, dan fosfat yang terikat Ca kelarutannya akan menurun kalau pH meningkat. Selain itu, pH juga mengendalikan kelarutan karbonat dan silikat, mempengaruhi reaksi-reaksi redoks, aktivitas jasad renik, dan menentukan bentuk-bentuk kimia dari fosfat dan karbonat dalam larutan tanah. Kondisi pH tanah merupakan faktor penting yang menentukan kelarutan unsur yang cenderung berkesetimbangan dengan fase padatan (Tabel 2.4).

Kandungan air yang mendekati atau melebihi kondisi kejenuhan merupakan sebab utama dari buruknya aerasi karena kecepatan difusi oksigen melalui pori yang terisi air jauh lebih

lambat daripada pori yang berisi udara. Ikhtisar beberapa reaksi redoks yang penting disajikan dalam Tabel 2.5.

Informasi dalam tabel ini menyatakan bahwa kalau tanah yang semula dalam kondisi oksidasi menjadi lebih reduksi maka akan dapat terjadi reaksi-reaksi berikut ini. Pengasaman mineral silikat dapat menggeser "muatan patahan" dari negatif menjadi positif. Faktor lain yang sangat penting dalam menentukan konsentrasi hara dalam larutan tanah adalah potensial redoks (Eh). Faktor ini berhubungan dengan keadaan aerasi tanah yang selanjutnya sangat tergantung pada laju respirasi jasad renik dan laju difusi oksigen. Ia mempengaruhi kelarutan unsur hara mineral yang mempunyai lebih dari satu bilangan oksidasi (valensi). Unsur-unsur ini adalah C, H, O, N, S, Fe, Mn, dan Cu. Faktor lain, seperti suhu dan kekuatan ionik larutan-tanah, juga dapat mempengaruhi reaksi-reaksi yang mengendalikan konsentrasi hara dalam larutan tanah.

2.5.2. Pergerakan Unsur Hara menuju Permukaan Akar

a. Intersepsi akar (*root interception*)

Kalau akar tanaman tumbuh dan berkembang dalam tanah, mereka menempati ruang yang semula ditempati oleh unsur hara. Oleh karena itu permukaan akar harus kontak dengan unsur hara ini selama proses penggantian ruang tersebut. Estimasi sumbangan intersepsi akar terhadap kebutuhan hara tanaman dapat dilakukan atas dasar tiga asumsi: 1). Jumlah maksimum hara yang diintersep adalah jumlah yang diperkirakan tersedia dalam volume tanah yang ditempati oleh akar, 2). Akar menempati rata-rata 1% dari total volume tanah,

3). Sekitar 50% dari total volume tanah terdiri atas pori, oleh karenanya akar menempati sekitar 2% dari total ruang pori.

Tabel 2.4. Pengaruh kemasaman terhadap beberapa reaksi dalam tanah

No.	Gugusan yang terpengaruhi	Reaksi-reaksi umum
1.	Hidroksida dan Oksida	$xAl_3^{+} + 3xOH^{-} \rightleftharpoons AlxOH(3x-y)^{y+} + yOH^{-} \rightleftharpoons xAl(OH)_3$ $xFe_3^{++} + 3xOH^{-} \rightleftharpoons FexOH(3x-y)^{y+} + yOH^{-} \rightleftharpoons$ $xFe(OH)_3 \rightleftharpoons 0.5xFe_2O_3 + 3x H_2O$
2.	Karbonat	$CaCO_3 + 2H^{+} \rightleftharpoons Ca^{++} + CO_2 + H_2O$
3.	Kompleks*)	$CuCh + 2H^{+} \rightleftharpoons Cu^{++} + H_2Ch$
4.	Fosfat	$Fe(OH)_2H_2PO_4 + OH^{-} \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + H_2PO_4^{-}$ $Al(OH)_2H_2PO_4 + OH^{-} \rightleftharpoons Al(OH)_3 + H_2PO_4^{-}$ $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14H^{+} \rightleftharpoons 10Ca^{++} + 6H_2PO_4^{-} + 2H_2O$
5.	Silikat	$Mg_2SiO_4 + 4 H^{+} \rightleftharpoons 2Mg^{++} + Si(OH)_4$ $SiO_2 + H_2O + OH^{-} \rightleftharpoons OSi(OH)_3^{-}$
6.	KTK	$M^{+}X^{-} + H^{+} \rightleftharpoons M^{+} + HX (**)$
7.	(tergantung pH) Muatan pada Patahan Silikat	
8.	Sistem redoks	$Mn_2^{+} + H_2O + O_2 \rightleftharpoons 2 H^{+} + MnO_2$ $2Fe_2^{+} + 5 H_2O + O_2 \rightleftharpoons 4H^{+} + 2Fe(OH)_3$ $H_2S + 2O_2 \rightleftharpoons 2H^{+} + SO_4^{-}$ $NH_4^{+} + 2O_2 \rightleftharpoons 2 H^{+} + NO_3^{-} + H_2O$
9.	Ion dalam larutan	$HPO_4^{-} + H^{+} \rightleftharpoons H_2PO_4^{-}$ $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^{-} + H^{+} \rightleftharpoons CO_3^{=} + 2 H^{+}$ $Cu^{++} + OH^{-} \rightleftharpoons CuOH^{+}$

Keterangan: *) Ch adalah khelat, mencerminkan elektron donor. (**)

X merupakan tapak muatan yang tergantung pH, terutama karboksilat dan fenolat, M+ merupakan kation tukar.

- (a). denitrifikasi nitrat, kombinasi reaksi 1 dan 4
- (b). reduksi MnO_2 menjadi Mn^{++} , reaksi no. 5
- (c). reduksi Cu^{++} menjadi Cu^{+} , reaksi no. 7
- (d). reduksi oksida hidrous Fe^{+++} menjadi Fe^{++} , no. 8
- (e). reduksi $SO_4^{=}$ menjadi H_2S , reaksi no. 9

- (f). produksi CH₄, reaksi no. 10
- (g). produksi H₂, reaksi no. 12

Tabel 2.5. Beberapa reaksi oksidasi-reduksi yang penting dalam tanah

No.	Eh (mV)	Reaksi
1.	968	$2\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons \text{N}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
2.	815	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$
3.	771	$\text{Fe}_3^+ + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$
4.	421	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$
5.	401	$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O}$
6.	345	$\text{NO}_2^- + 8\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$
07.	-135	$\text{Cu}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+$
8.	-185	$\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 3 \text{H}_2\text{O}$
9.	-214	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8e \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$
10.	-245	$\text{CO}_2 + 8\text{H}^+ + 8e \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
11.	-278	$\text{N}_2 + 8\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+$
12.	-414	$2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{H}_2$

Sumber: Garrels dan Christ (1965)

b. Aliran massa (*mass-flow*)

Air secara terus-menerus bergerak mendekati atau menjauhi permukaan akar. Sejumlah air kontak dengan permukaan akar kalau ia diserap untuk menggantikan kehilangan transpirasi. Sejumlah air lainnya kontak dengan permukaan akar kalau ia bergerak dalam responnya terhadap gradien potensial air dalam tanah. Air tanah ini mengandung unsur hara terlarut dan jumlah unsur hara tertentu yang diangkut ke permukaan akar oleh salah satu dari proses ini disebut sebagai hara yang diangkut oleh aliran massa.

Persentase kebutuhan hara yang dapat dipenuhi oleh aliran massa tergantung pada: 1). kebutuhan tanaman akan unsur hara, 2). konsentrasi hara dalam larutan tanah, 3). jumlah air yang ditranspirasikan per unit bobot jaringan, 4). volume efektif air, yang bergerak karena gradien potensial dan yang kontak dengan permukaan akar.

Kontribusi proses yang terakhir ini sulit ditentukan, sehingga estimasi kontribusi hara dari aliran massa biasanya didasarkan atas konsentrasi hara dan jumlah air transpirasi per satuan bobot jaringan. Estimasi seperti ini disajikan dalam Tabel 2.6. Tampak bahwa aliran massa dapat menjadi kontributor dominan untuk hara Ca, Mg, Zn, Cu, B dan Fe. Demikian juga, akurasi hasil estimasi masih dapat dipertanyakan karena asumsi-asumsi yang terlibat.

Tabel 2.6. Estimasi jumlah hara yang disuplai oleh tiga mekanisme kepada akar jagung yang tumbuh dalam tanah lempung-debu yang dipupuk dosis tinggi dan pH tanah 6.8

Unsur hara	Total Serapan	Jumlah yang disuplai oleh:		
		Intersepsi	Aliran massa kg/ha	Difusi
Ca	23	66	175	-
Mg	28	16	105	-
K	135	4	35	96
P	39	1	2	36
Mn	0.23	0.1	0.05	0.08
Zn	0.23	0.1	0.53	-
Cu	0.16	0.01	0.35	-
B	0.07	0.02	0.70	-
Fe	0.80	0.10	0.53	0.17

Sumber: Barber (1966).

Tampak bahwa aliran massa dapat menjadi kontributor dominan untuk hara Ca, Mg, Zn, Cu, B dan Fe. Demikian juga, akurasi hasil estimasi masih dapat dipertanyakan karena asumsi-asumsi yang terlibat.

c. Difusi (*diffusion*)

Dari estimasi dalam Tabel 4 tampak bahwa kebutuhan P dan K biasanya tidak dapat dipenuhi dari intersepsi dan aliran massa. Oleh karena itu harus dipenuhi oleh proses difusi.

Persamaan berikut ini melukiskan faktor-faktor penting yang menentukan kecepatan difusi unsur hara menuju ke permukaan akar:

$$dq/dt = DAP(C1 - C2) / L$$

dimana:

dq/dt = mencerminkan laju difusi ke permukaan akar

D = koefisien difusi unsur hara dalam air

A = luas penampang yang diasumsikan mencerminkan total permukaan penyerapan dari akar tanaman untuk maksud difusi ini.

P = fraksi dari volume tanah yang ditempati oleh air (juga termasuk faktor tortuosity)

C1 = konsentrasi hara terlarut pada suatu titik yang berjarak L dari permukaan akar

C2 = konsentrasi hara terlarut pada permukaan akar

L = jarak dari permukaan akar ke titik tertentu C1.

Persamaan ini tidak akan berlaku secara tepat untuk sistem tanah, akan tetapi ia mampu menunjukkan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kecepatan difusi unsur hara seperti P dan K ke permukaan akar, yaitu:

- 1). Faktor P. Ini mencerminkan fraksi dari total volume tanah yang mengandung air. Laju difusi akan tergantung pada kadar air tanah, dan tanah yang bertekstur halus diharapkan akan memungkinkan difusi yang lebih cepat pada kondisi konsentrasi larutan yang sama dibandingkan dengan tanah yang teksturnya kasar karena ia mempunyai kapasitas menahan air yang lebih besar pada potensial air tanah yang setara.
- 2). Besarnya gradien konsentrasi $(C_1 - C_2)/L$. Konsentrasi yang tidak sama akan menyediakan gaya dorong bagi difusi. Kalau C_1 merupakan konsentrasi larutan tanah dan C_2 konsentrasi pada permukaan akar, laju difusi akan lebih tinggi kalau C_1 semakin besar dan C_2 semakin kecil dan L konstan. Sehingga kemampuan tanaman untuk menyerap hara menurunkan konsentrasi C_2 hingga sangat rendah dan hal ini akan meningkatkan laju difusi yang tinggi karena konsentrasi hara dalam larutan (C_1) menjadi tinggi. Faktor jarak L akan dipengaruhi oleh adanya faktor kapasitas dalam kesetimbangan dengan larutan tanah karena reaksi kesetimbangan akan cenderung mempertahankan konsentrasi yang relatif tinggi di dekat permukaan akar.
- 3). Faktor A. Mencerminkan total luas permukaan akar yang tersedia untuk penyerapan dan menjadi faktor yang sangat penting. Sejumlah hara yang sama dapat diserap dengan laju yang lebih lambat per satuan luas permukaan kalau total luas permukaan penyerapan lebih besar. Oleh karena itu, luasnya sistem perakaran merupakan faktor penting yang mengenga-

ruhi serapan yang dikendalikan oleh difusi. Distribusi akar dalam kaitannya dengan distribusi spasial unsur hara tersedia dan air tersedia sangat penting. Unsur hara, baik alami maupun yang ditambahkan, cenderung terkonsentrasi dalam tanah lapisan olah. Akan tetapi lapisan tanah ini cenderung untuk mengering selama periode kekeringan dan ketersediaan hara tersebut menurun secara drastis. Sehingga ketersediaan hara pada tahun-tahun kering akan banyak ditingkatkan kalau ada suplai hara dan air dalam subsoil dan kalau distribusi akar dalam subsoil memadai jumlahnya. Operasi pengolahan tanah dapat mempengaruhi distribusi spasial dan ketersediaan hara.

2.5.3. Pembaharuan Hara dalam Larutan Tanah

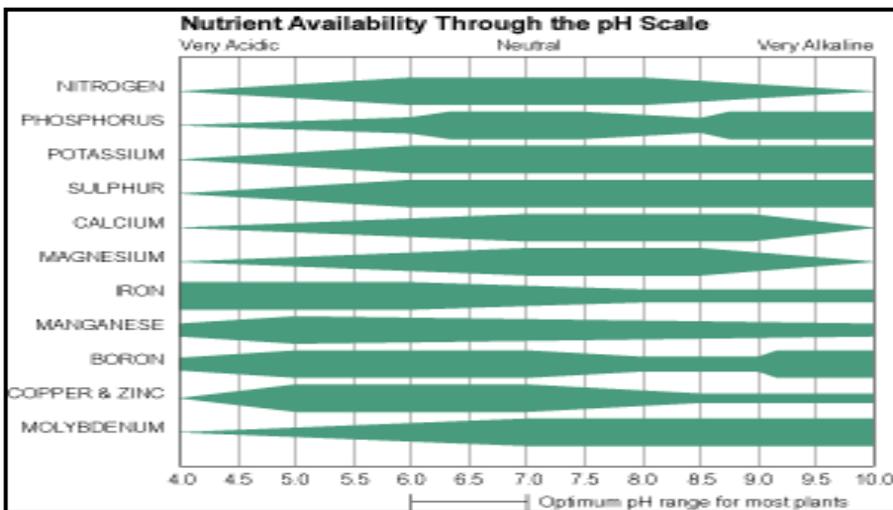
Kalau unsur hara diambil dari larutan tanah, akan terjadi kecenderungan untuk menggantikan defisit hara dari fase padatan tanah. Konsentrasi hara dalam larutan tanah sering disebut sebagai faktor intensitas dan sumber hara pada fase padatan tanah yang mensuplai kembali larutan tanah disebut sebagai faktor kapasitas.

Faktor kapasitas dapat dibagi-bagi secara sembarangan menjadi tiga kategori, yaitu:

- 1). bentuk-bentuk yang berkesetimbangan secara cepat dengan larutan tanah.
- 2). bentuk-bentuk yang berkesetimbangan secara lambat hingga agak lambat (kesetimbangan semu) dengan larutan tanah

- 3). bentuk-bentuk yang tidak berkesetimbangan dengan larutan tanah, karena tidak ada reaksi balik (unsur hara dibebaskan tetapi tidak dijerap kembali).

Bentuk-bentuk yang kesetimbangan secara cepat dengan larutan tanah akan berupa K-tukar, Ca-tukar atau Mg-tukar dan P-permukaan. Teladan bentuk-bentuk yang lambat berkesetimbangan dengan larutan tanah adalah K-terfiksasi dan P yang terdifuse ke bawah permukaan mineral penyerap atau ke dalam interior agregat tetapi masih dapat terdifusi kembali ke permukaan dalam jangka waktu yang cukup panjang kalau gradien aktivitasnya menjadi sesuai. Beberapa mineral primer dapat menunjukkan kecenderungan untuk mengalami reaksi balik kalau laju dekomposisinya dikendalikan oleh konsentrasi produk dekomposisi dalam larutan tanah.



Gambar 2.2. Ketersediaan unsur hara berdasarkan pH tanah (Mengel dan Kirkby, 1978)

2.5.4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kemampuan Tanaman Menyerap Hara

Faktor-faktor tanah yang mempengaruhi kemampuan tanaman menyerap hara adalah :

- (1). Konsentrasi oksigen dalam udara tanah.

Energi yang diperlukan untuk serapan hara berasal dari proses respirasi dalam akar tanaman. Untuk semua tanaman akuatik ternyata proses respirasi ini tergantung pada suplai oksigen dalam udara tanah. Oleh karena itu aerasi yang buruk akan menghambat proses penyerapan unsur hara, disamping mempengaruhi tingkat oksidasi beberapa macam unsur hara.

- (2). Temperatur tanah.

Penyerapan unsur hara berhubungan dengan aktivitas metabolik yang selanjutnya sangat tergantung pada suhu. Konsentrasi hara dalam larutan tanah yang lebih besar seringkali diperlukan untuk mencapai laju pertumbuhan maksimum dalam kondisi tanah dingin dibandingkan dengan tanah-tanah yang hangat.

- (3). Reaksi-reaksi antagonistik yang mempengaruhi serapan hara.

Walaupun konsentrasi hara pada permukaan akar dapat menjadi faktor paling kritis yang mempengaruhi laju serapan hara pada kondisi lingkungan normal, reaksi-reaksi antagonistik di antara ion-ion juga dapat menjadi penting. Kurva baku respon hasil tanaman terhadap penambahan unsur hara tunggal mula-mula menunjukkan daerah respon pertumbuhan kemudian daerah hasil maksimum yang mendatar, dan akhirnya zone depresi hasil kalau konsentrasi mendekati tingkat toksik. Kisaran hasil maksimum di daerah yang

mendatar tergantung pada hara (sempit untuk unsur mikro, lebar untuk unsur makro) dan pada konsentrasi relatif unsur hara lainnya. Suatu teladan kondisi yang terakhir ini adalah terjadinya depresi hasil akibat penambahan K pada tanah-tanah yang miskin Mg. Efek antagonistik K terhadap serapan Mg dapat mengakibatkan depresi hasil karena kekahatan Mg.

(4). Substansi toksik.

Suatu substansi yang mengganggu proses metabolisme tanaman juga dapat mempengaruhi serapan hara. Substansi toksik seperti ini di antaranya adalah konsentrasi Mn atau Al yang tinggi dalam tanah masam, konsentrasi garam terlarut yang sangat tinggi dan jumlah B yang berlebihan.

2.6. Cara-cara Penentuan Kebutuhan Unsur Hara Untuk Tanaman

Pada prinsipnya kebutuhan unsur hara untuk tanaman tidak dapat diketahui dengan pasti, yang dapat dilakukan hanyalah mendekati kebutuhan tersebut. Pendekatan kebutuhan unsur hara ini akan lebih bersifat sementara bila sudah dikaitkan dengan nilai ekonomi, dan kebutuhan unsur hara dengan sasaran hasil fisik belum tentu sama dengan kebutuhan unsur hara dengan sasaran hasil ekonomi. Meskipun demikian biasanya kebutuhan unsur hara dengan sasaran hasil fisik lebih dahulu yang dicari, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan untuk mencari nilai ekonomi tertinggi.

Secara garis besar terdapat lima metode pendekatan untuk mengetahui kebutuhan unsur hara tanaman, yaitu (1) berdasarkan

gejala visual kekahatan, (2) berdasarkan hasil percobaan pemupukan, (3) berdasarkan macam dan jumlah unsur hara yang diangkut hasil panen, (4) berdasarkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah, dan (5) berdasarkan tingkat penyerapan unsur hara oleh tanaman (hasil analisa jaringan tanaman).

2.6.1. Berdasarkan Gejala Visual Kekahatan

Gejala kekahatan unsur hara pada tanaman biasanya terlihat pada daun. Pemberian hara atau pemupukan yang dilakukan berdasarkan adanya gejala kekahatan ini bersifat kualitatif, sedangkan penentuan jumlahnya bersifat perkiraan atau trial and error, kecuali sudah ada hasil percobaan sebelumnya.

Metode kualitatif ini cepat dapat dilakukan segera setelah timbulnya gejala (symptom), tetapi mengandung beberapa kelemahan, antara lain:

- 1) Gejala kekahatan unsur hara secara nisbi sulit dibedakan dengan gejala serangan penyakit (patologis) lainnya.
- 2) Apabila terjadi kekahatan lebih dari satu unsur hara, gejala yang timbul sulit lagi dikenali.
- 3) Jumlah unsur hara yang diperlukan secara pasti belum dapat ditentukan.
- 4) Apabila timbul gejala kekahatan yang tampak secara visual berarti tanaman sudah cukup lanjut mengalami kekurangan hara (berarti penambahan hara sudah agak terlambat), sehingga tanggapan tanaman terhadap pemberian unsur hara agak lambat.

2.6.2. Berdasarkan Hasil Percobaan

Metode ini merupakan satu-satunya metode langsung untuk mendekati kebutuhan unsur hara tanaman, yaitu dengan cara membuat satu seri percobaan dari beberapa macam dan/atau dosis unsur hara yang diberikan ke tanaman pada suatu lingkungan tertentu. Produksi yang diperoleh dipasangkan dengan macam/dosis unsur hara yang bersangkutan untuk dibuat grafik. Berdasarkan grafik ini dapat diketahui macam/dosis optimum untuk masing-masing unsur hara.

Percobaan pemberian hara (pemupukan) dapat dilakukan dengan faktor tunggal, artinya unsur hara yang dicoba hanya satu macam, sedang unsur hara lainnya dianggap; dapat pula dilakukan dengan multifaktor, misalnya kombinasi pemupukan nitrogen dan fosfor. Penentuan dosis pupuk berdasarkan percobaan pemupukan ini merupakan metode yang paling dapat dipercaya, akan tetapi mempunyai beberapa kelemahan sebagai berikut:

- 1) memerlukan lokasi percobaan yang cukup banyak agar dapat mewakili semua kondisi lingkungan
- 2) untuk tanaman tahunan (sawit, kopi, kakao, dan lain-lain) memerlukan waktu cukup lama sebelum hasilnya dapat digunakan
- 3) hasil percobaan hanya dapat digunakan untuk lokasi tertentu (spesifik lokasi) dan harus diuji lebih dahulu apabila akan diterapkan di tempat lain

2.6.3. Berdasarkan Unsur Hara Yang Diangkut Hasil Panen

Untuk mempertahankan produktivitas tanaman, maka semua unsur hara yang diangkut hasil panen dari dalam tanah harus diganti dengan pengembalian unsur hara dalam bentuk pupuk. Cara ini diawali dengan menganalisis kadar-kadar unsur hara di dalam tanah yang dipanen, kemudian dikalikan dengan bobot kering bahan yang dipanen.

Pada Tabel 2.7, merupakan contoh pemakaian metode ini pada tanaman kakao dengan dasar kadar N, P₂O₅, dan K₂O pada biji kakao berturut-turut sebesar 12,8%, 12%, dan 15%. Sedangkan pada Tabel 5, menyajikan contoh pemakaian metode replacement treatment ini untuk tanaman kopi, dengan dasar kadar N, P₂O₅, dan K₂O pada biji kopi adalah berturut-turut 13,5%, 5,6%, dan 15%.

Tabel 2.7. Dosis pupuk untuk kakao berdasarkan produktivitasnya (PTP XXIII)

Produktivitas (kg/ha/th)	Dosis pupuk (kg/ha/th) ¹⁾		
	Urea	TSP	KCl
1000	310	260	350
1200	370	310	420
1400	440	360	490
1600	500	420	560
1800	560	470	630
2000	620	520	700

¹⁾ Untuk urea ditambah 10%, TSP ditambah 0% dan KCl ditambah 30%

Metode ini mempunyai kelebihan dalam hal kecepatannya untuk segera dapat digunakan. Agar ketepatannya terjamin, setiap kali panen

seharusnya diadakan analisis kadar hara di dalam hasil panen untuk dasar penentuan dosis pupuk berikutnya, tetapi di dalam praktek kebanyakan hanya dilakukan satu kali analisis yang kemudian dijadikan pedoman penentuan dosis pupuk pada tahun-tahun berikutnya. Kelemahan metoda ini adalah apabila digunakan untuk tanaman yang produktivitasnya rendah serta tanaman yang belum berproduksi. Untuk tanaman tahunan yang pasti pemanenannya. Mulai dilakukan karena panen hanya terjadi pada bulan-bulan tertentu dalam satu tahun, tetapi untuk tanaman yang tidak pasti pemanennya sulit dilakukan.

Tabel 2.8. Dosis pupuk untuk kopi berdasarkan produktivitasnya (PTP XXIII)

Produktivitas (kg/ha/th)	Dosis pupuk (kg/ha/th) ¹⁾		
	Urea	TSP	KCl
1000	345	130	345
1200	410	160	410
1400	480	180	480
1600	550	210	550
1800	620	230	620
2000	690	260	690

¹⁾ Untuk urea ditambah 15%, TSP ditambah 7% dan KCl ditambah 38%

2.6.4. Berdasarkan Hasil Analisis Tanah

Metoda ini bertitik tolak pada suatu kaidah bahwasannya pemupukan hanya diperlukan jika jumlah unsur hara di dalam tanah lebih rendah dari yang dibutuhkan tanaman. Penjabaran kaidah tersebut di atas adalah makin rendah kadar hara di dalam tanah, makin

banyak unsur hara yang harus ditambahkan sebagai pupuk dan sebaliknya. Untuk dapat menentukan berapa jumlah pupuk yang ditambahkan maka perlu diketahui dahulu hubungan antara kadar unsur hara tanah dengan respons produktivitas tanaman terhadap penambahan sejumlah unsur hara tertentu. Mengingat perubahan kadar unsur hara di dalam tanah relatif agak lambat, maka analisis tanah ulangan dilakukan setiap 4 atau 5 tahun sekali.

Kelebihan metoda ini adalah cepat dan mudah digunakan serta biaya analisisnya lebih rendah, karena cukup dilakukan sekali analisis untuk 4 atau 5 tahun. Adapun kelemahan-kelemahannya adalah (1) metoda analisis tanah yang berbeda mempunyai korelasi yang berbeda pula dengan respon tanaman terhadap penambahan unsur hara. Oleh karena itu untuk setiap tanah dan tanaman perlu dicari dulu metoda analisis tanah yang mempunyai korelasi paling erat dengan respons tanaman, (2) diperlukan contoh tanah untuk dianalisis yang betul-betul mewakili, karena jumlah contoh tersebut hanya satu bagian dari 2-3 juta bagian tanah olah per hektar. Jika keragaman sifat tanah cukup besar diperlukan contoh tanah yang terpisah, dan (3) pengambilan contoh tanah pada musim yang berlainan kadang-kadang memberikan hasil analisis yang berlainan pula.

Kapasitas tanah untuk memasok hara bagi tanaman sangat beragam. Beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas pasok hara tanah adalah kadar hara tersedia, kadar hara total, kadar bahan organik, dan jumlah serta jenis mineral liat (*clay mineral type*). Tanah-tanah yang kandungan hara tersedianya sama, dapat mempunyai kapasitas pasok hara yang tidak sama. Oleh sebab itu, faktor tersebut

dan karakteristik tanggap tanaman harus diperhatikan dalam penilaian kesuburan tanah dan penyusunan rekomendasi pemupukan (Whitnet et al., 1985).

Menurut Mclean (1977) ada dua konsepsi dalam interpretasi analisis tanah yang telah digunakan secara luas. Konsepsi tersebut adalah (a) tingkat ketersediaan hara, dan (b) nisbah kejenuhan kation. Konsep yang pertama melibatkan penilaian tingkat ketersediaan hara tanah berdasarkan percobaan lapangan. Kelemahannya adalah bahwa metoda ini hanya mempertimbangkan sedikit atau bahkan tidak ada interaksi antara unsur hara, sedang kelebihanannya adalah bahwa konsepsi ini dapat diterapkan untuk semua unsur hara yang diperlukan tanaman. Sebaliknya, konsepsi kedua mempertimbangkan interaksi antar kation dan bertujuan agar suatu nisbah kation yang spesifik dapat diperoleh. Proses ini melibatkan penetapan KTK dan usaha yang diperlukan untuk memperoleh nisbah tertentu antara ion k, Mg, dan Ca dalam tanah. Kelemahan dari metoda ini anatara lain adalah (a) banyak kondisi yang spesifik sehingga teknik ini tidak efisien dan (b) rumitnya tahapan penghitungan yang mengakibatkan hubungan antara satu dengan lainnya terlalu disederhanakan. Di samping itu, dari perhitungan dosis dengan cara ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa suatu tanah yang kandungan N-nya lebih rendah tidak memerlukan pupuk N, sedang tanah lain yang kadar N-nya lebih tinggi justru memerlukan pupuk N. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa usaha untuk mencapai nisbah ideal antara K, Ca dan Mg tidak berakibat nyata terhadap peningkatan produksi (Jones et al., 1991).

2.6.5. Berdasarkan Hasil Analisis Jaringan Tanaman

Analisis tanaman adalah penetapan konsentrasi atau fraksi terekstrak suatu unsur dalam suatu contoh dari bagian tertentu suatu tanaman, misalnya daun, pada waktu atau stadia pertumbuhan (Munson and Nelson, 1973). Sesungguhnya analisis tanaman tidak hanya penetapan konsentrasi unsur hara dalam bagian tanaman melainkan suatu studi keterkaitan antara kandungan hara tanaman dan pertumbuhannya. Dalam studi ini konsentrasi hara-hara dalam bagian tertentu tanaman ditetapkan dan digunakan sebagai petunjuk untuk menilai penyerapan hara oleh tanaman sampai saat pengambilan contoh (Ulrich and Hills, 1973).

Dalam analisis jaringan tanaman digunakan prinsip dasar bahwa tanaman itu sendiri sebagai pengekstrak unsur hara dari tanah, sehingga untuk mengetahui kebutuhannya tinggal menganalisis jumlah unsur hara yang diekstrak/diserap tanaman tersebut. Untuk tanaman tahunan yang dianalisis adalah daun, sedangkan untuk tanaman musiman dapat digunakan dapat berupa daun ataupun berangkasan pucuk (shoot) sesuai dengan peruntukannya. Daun merupakan dapur yang mengolah makanan untuk pertumbuhan tanaman, termasuk bagian tanaman yang dipanen. Keadaan hara dalam daun sering digunakan untuk mencirikan keadaan hara tanaman. Konsentrasi suatu hara dalam tanaman pada suatu stadia tumbuh merupakan nilai integral semua faktor yang mempengaruhi konsentrasi hara sampai saat pengambilan contoh. Oleh karena itu analisis daun dapat digunakan untuk menilai status hara tanaman. Makin tinggi dosis unsur hara yang diberikan ke tanaman, produksi

juga meningkat sampai mendekati maksimum, sedangkan konsentrasi unsur hara di dalam jaringan tanaman masih meningkat terus meskipun produksi sudah mencapai maksimum. Pemberian pupuk yang melebihi keperluan untuk mencapai produksi maksimum ini disebut penyerapan berlebihan yang tidak bermanfaat, bahkan untuk unsur-unsur tertentu dapat menyebabkan keracunan pada tanaman.

Dengan analisis jaringan tanaman dapat diketahui banyaknya unsur hara yang secara aktual dapat diserap tanaman, sedangkan dengan analisis tanah baru diperoleh perkiraan unsur hara yang memungkinkan untuk diserap tanaman. Kelemahan metoda analisis jaringan ini adalah (1) diperlukan contoh jaringan yang dapat mewakili lahan yang akan dipupuk, (2) bagian dan umur jaringan tanaman yang diambil harus memenuhi kriteria tertentu agar dapat dibandingkan dengan standar, serta yang mempunyai korelasi erat dengan produksi.

Analisis tanaman, seperti halnya analisis tanah, dapat dimanfaatkan untuk menyusun rekomendasi pemupukan. Rekomendasi pemupukan berdasarkan analisis tanah dapat diterapkan untuk lokasi yang ada tanamannya maupun yang belum ditanami. Sebaliknya, analisis tanaman hanya dapat diterapkan pada lokasi yang sudah ditanami. Analisis jaringan tanaman untuk menetapkan status hara tanaman telah lama dikenal. Secara umum manfaat analisis tanaman atau daun digunakan untuk (1) memantau dan menilai efisiensi program uji tanah, (2) mengukur keefektifan takaran pupuk, cara, sumber, dan waktu pemberian pupuk, (3) menentukan pengaruh lingkungan terhadap ketersediaan unsur hara dan serapannya oleh

tanaman, (4) mempelajari pengaruh interaksi hara-hara dalam pupuk terhadap serapan hara, (5) membandingkan efisiensi penggunaan pupuk antara varietas tanaman, dan (6) mengkaitkan hasil percobaan larutan hara dan percobaan lapangan (Geraldson et al., 1963).

2.6.6. Kombinasi Metoda analisis tanah dan tanaman

Pada awal pemupukan, biasanya pada saat tanaman belum menghasilkan, dilakukan analisis kadar unsur hara tanah. Dari analisis ini dapat diketahui status tiap-tiap unsur hara di dalam tanah tersebut. Apabila terdapat unsur hara yang berstatus rendah atau sangat rendah, maka dilakukan pemupukan yang mengandung unsur-unsur hara yang bersangkutan. Banyaknya unsur hara yang diberikan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$H = (S-T) \times L \times D \times Bv$$

Dimana:

- H : banyaknya unsur hara yang diberikan
- S : kadar unsur hara standar yang akan dicapai
- T : kadar unsur hara tanah aktual
- L : luas daerah perakaran
- D : kedalaman daerah perakaran
- Bv: berat volume tanah

Berdasarkan unsur hara yang sudah diketahui jumlahnya ini, jumlah pupuk yang diberikan dapat dihitung berdasarkan kadar unsur hara di dalam pupuk, sedangkan jenis pupuk ditentukan berdasarkan kesesuaian antara sifat pupuk, sifat tanah, sifat tanaman, dan biaya.

$$P = H \times (100/Hp)$$

Dimana :

- P : banyaknya pupuk yang diberikan

H : banyak unsur hara yang diberikan
 Hp: kadar hara di dalam pupuk

Jenis dan dosis pupuk tadi untuk selanjutnya diperlakukan sebagai percobaan pemupukan. Analisis daun dilakukan untuk mengetahui status tiap-tiap unsur hara dengan cara membandingkan terhadap standar. Bila kadar hara daun di luar kisaran normal, dilakukan koreksi dosis pupuk sebagai berikut:

$$Pk = (Kn/K) \times P$$

Dimana:

Pk : dosis pupuk setelah dikoreksi
 Kn : kadar hara daun standar
 K : kadar hara daun aktual
 P : dosis pupuk tahun sebelumnya

Bila kadar hara daun aktual lebih rendah dari kadar hara daun standar, koreksi dosis pupuk dilakukan apabila tidak dijumpai adanya faktor lingkungan yang menghambat penyerapan unsur hara. Untuk keperluan koreksi di atas, analisis daun dilakukan sekali setiap tahun, sedangkan analisis tanah dilakukan sekali setiap lima tahun. Oleh karena itu koreksi dosis pupuk berdasarkan hasil analisis tanah juga dilakukan setiap 5 tahun yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_5 = \{(Kn/k + S/T)/2\} \times P$$

Dimana :

P₅ : Dosis pupuk yang telah dikoreksi setiap lima tahun sekali berdasarkan hasil analisis tanah
 Kn : kadar hara daun standar
 K : kadar hara daun aktual
 S : kadar hara tanah standar
 T : kadar hara tanah aktual
 P : dosis pupuk tahun sebelumnya

BAB III

PENGELOLAAN TANAH MASAM

3.1. Pengertian Tanah Masam

Tanah masam adalah tanah-tanah dengan pH rendah sampai sangat rendah (di bawah 6) karena kandungan ion H^+ (hidrogen) yang tinggi. Umumnya tanah-tanah di daerah tropika dengan curah hujan tinggi banyak ditemukan tanah-tanah masam. Tanah masam dapat berupa tanah mineral masam dan tanah organik masam (gambut). Tanah mineral masam umumnya dijumpai pada tanah-tanah merah yang umumnya merupakan tanah-tanah tua yang telah berpelapukan lanjut, sedangkan tanah organik masam umumnya tersebar pada tanah-tanah di dataran rendah, cekungan ataupun rawa atau tanah organik di pegunungan (dataran tinggi), namun sangat sedikit tanah organik masam dijumpai pada dataran tinggi misal gambut pegunungan. Pada tanah mineral masam lahan kering banyak ditemukan ion Al^{3+} yang bersifat masam karena dengan air ion Al^{3+} tersebut dapat menghasilkan ion H^+ . Dalam keadaan tertentu, yaitu apabila tercapai kejenuhan ion Al^{3+} dalam tanah, terdapat ion Al-hidroksida, dengan demikian kehadiran Al dalam tanah dapat menimbulkan variasi kemasaman tanah (Yulianti, 2007). Tanah mineral dan organik masam di dunia (menurut klasifikasi USDA) terdiri atas 8 ordo tanah, yaitu Inceptisol, Entisol, Ultisol, Alfisol, Spodosol, Oxisol, Andisol dan Histosol. Tanah mineral masam yang terluas dan yang paling bermasalah di Indonesia adalah

Ultisol atau dikenal dengan nama Podsolik Merah Kuning (PMK) menurut system klasifikasi Lembaga Penelitian Tanah Bogor. Oleh karena itu masalah tanah mineral masam di Indonesia dapat digambarkan oleh kelakuan dan berbagai masalah tanah Ultisol atau PMK yang dikandungnya.

Tanah mineral masam dalam pengertian sempit yang didasarkan pada taksonomi adalah kelas reaksi tanah yaitu masam (*acidic*), tanah mineral yang memiliki pH lebih kecil dari 5.0 (0.01 M CaCl_2 ; 2:1) pada seluruh lapisan tanah (*control section*) atau sekitar pH 5.5 (H_2O ; 1:1). Bila pH (H_2O ; 1:1) rendah dan curah hujan lebih dari 200 mm per bulan dan didukung pula oleh temperatur yang tinggi maka proses pelapukan batuan berjalan lebih cepat bila dibandingkan dengan daerah-daerah beriklim kering. Tingginya curah hujan tersebut menyebabkan hilangnya hara dari mintakat perakaran melalui pencucian sehingga menimbulkan terbentuknya tanah mineral masam yang dicirikan oleh tingginya konsentrasi Al, Fe atau Mn. Ketiga unsur tersebut yang paling dominan adalah dalam tanah masam adalah Al, sehingga kejenuhan Al sering digunakan sebagai indikator tingkat kemasaman tanah .

Tanah mineral masam banyak dijumpai di wilayah beriklim tropika basah, seperti Indonesia. Luas areal tanah bereaksi masam seperti Ultisol, Oxisols dan Spodosol, masing-masing sekitar 18,4, 5,0 dan 56,4 juta ha atau seluruhnya sekitar 67% dari luas total tanah di Indonesia (Nursyamsi et al, 1996). Luasnya tanah masam tersebut sebenarnya mempunyai potensi yang besar untuk pengembangan usaha pertanian, tetapi sampai sekarang masih belum dapat

dimanfaatkan secara maksimal mengingat beberapa kendala yang terdapat pada tanah masam. Tanah ordo lain yang bersifat masam adalah Inseptisol dan Entisol, juga Andisol. Andisol umumnya dijumpai pada daerah volcano atau pasca vulcano yang dicirikan oleh adanya imogilit dan umumnya tanah tersebut bersolum dalam dan sering mengalami longsoran akibat gaya berat tanah yang berada pada lereng yang tajam.

Kemasaman tanah ditentukan oleh kadar atau kepekatan ion hidrogen di dalam larutan tanah. Bila kepekatan ion hidrogen di dalam tanah terlalu tinggi maka tanah akan bereaksi masam dan mempunyai pH tanah yang rendah. Sebaliknya, bila kepekatan ion hidrogen terlalu rendah maka tanah akan bereaksi basa atau alkalis atau mempunyai pH tanah yang tinggi. Pada kondisi ini kadar kation OH^- lebih tinggi dari ion H^+ . Proses pembentukan tanah mineral masam menurut Notohadiprawiro (1986) berasal dari proses pelapukan yang sangat intensif karena berlangsung pada daerah tropika yang bersuhu panas dan bercurah hujan tinggi. Dan pada tanah mineral masam ini terkeal adanya proses pelindian dan podsolisasi. Akibatnya terjadi pemindahan klei dan hara lain dalam tanah dengan meninggalkan kation-kation Si dan Al residual.

Ada beberapa penyebab umum yang menyebabkan tanah bereaksi masam (pH rendah). Pertama adalah **curah hujan yang tinggi**. Pada daerah dengan iklim tropika basah, dengan curah hujan yang tinggi, secara alami tanah akan menjadi masam akibat pencucian unsur hara yang ada (terutama basa-basa tertukar) yang mengalami migrasi ke daerah yang lebih rendah dan yang tinggal adalah

seskuioksida-seskuioksida. Kedua adalah **pupuk yang dapat berfisologis masam**. Pupuk nitrogen seperti Urea, ZA (Amonium Sulfat), KCl, ZK adalah pupuk yang mempunyai pengaruh mengasamkan tanah. Keempat jenis pupuk tersebut ZA yang paling terkenal cepat memasamkan tanah karena dalam reaksi akhirnya dihasilkan asam sulfat kuat yang dapat melepaskan ion hidrogen yang menyebabkan pH menjadi rendah. **Drainase** yang kurang baik, genangan air yang terus menerus pada tanah yang berawa atau tanah-tanah sawah, tanah pada keadaan yang demikian selalu masam. **Adanya unsur berlebihan** seperti Al (Alumunium), Fe (Besi) dan Mn (Mangaan) dalam kadar yang berlebih, seperti yang terdapat pada tanah Ultisol, Oxisol, Spodosol dan Andisol. Logam-logam tersebut apabila terhidrolisis akan melepaskan ion hidrogen. Ion hidrogen menyebabkan nilai pH yang rendah. **Proses dekomposisi bahan organik**, pada tanah-tanah yang memiliki bahan organik tinggi seperti pada tanah gambut selalu dijumpai tanah masam dengan pH rendah, hal itu karena proses dekomposisi bahan organik yang dalam prosesnya akan mengusir dan mengeluarkan gugus-gugus fungsional yang melepaskan hidrogen dalam tanah.

Untuk mengenal lebih jauh tentang kendala dan pengelolaan tanah masam ini, sebaiknya terlebih dahulu mengenal karakteristik dari beberapa ordo berikut :

3.1.1. Entisols

Merupakan jenis tanah yang paling muda dan belum berkembang serta belum menunjukkan proses horisonisasi. Tanah ini

dapat berasal dari abu vulkan dan endapan sedimen. Di Indonesia tanah ini banyak terdapat di sekitar daerah gunung berapi, biasanya ditandai dengan dominasi pasir atau di sekitar pantai ataupun sungai-sungai besar. Warna tanahnya dominan kelabu dan biasanya lapis olahannya dangkal dan kadang sudah bertemu batuan di bawahnya. Keunggulan jenis tanah ini secara fisik adalah memiliki drainase dan aerasi yang baik. Kelemahan tanah ini adalah miskin bahan organik dan juga hara tanah. Pengelolaan untuk jenis tanah ini sebaiknya perlu memperkaya bahan organiknya untuk memperbaiki struktur tanah yang porous dan juga sebagai sumber hara N. Disamping itu juga meminimalkan kehilangan hara karena sifat porous tanah ini akibat tingginya permeabilitas tanah.

3.1.2. Inceptisols

Tanah ini sudah lebih berkembang dibandingkan dengan Entisols. Tanah Inceptisols menyebar paling luas dibandingkan jenis tanah lainnya, yaitu sekitar 70,5 juta ha atau sekitar 37,5% dari luas daratan Indonesia. Jenis tanah ini tersebar luas di daerah rawa lebak ataupun rawa pasang surut. Tanah ini dapat dijumpai terutama di pulau-pulau besar seperti: Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Yang perlu diperhatikan pada tanah ini adalah miskin K dan biasanya pH tanah sangat masam-agak masam. Pengelolaan untuk tanah ini lebih pada memperkaya K dan menetralkan pH tanah. Pemberian bahan organik juga sangat dianjurkan untuk memperbaiki kesuburan tanah ini, Tanah ini dapat digunakan untuk kegiatan pertanian tanaman pangan tetapi lebih

disukai untuk tanaman tahunan seperti kelapa setelah diperbaiki sifat fisik dan kimianya. Tanah-tanah pada jenis ini umumnya merupakan daerah tujuan transmigrasi dari daerah yang padat penduduknya. Berbeda dengan tanah-tanah asal transmigran yang umumnya relatif lebih subur, maka pertanian pada jenis tanah ini kurang menunjukkan hasil yang maksimal. Oleh karena umumnya tanah ini dijumpai pada daerah rawa lebak dan rawa pasang surut yang teknik budidayanya sangat berbeda dengan yang di daerah non rawa maka keberhasilan budidayanya sangat ditentukan oleh pengelolaan tata air mikro dan input produksi yang tepat. Umumnya tanah-tanah tersebut sangat masam, sehingga pengelolaan kemasaman pada tanah-tanah tersebut merupakan kunci keberhasilan budidaya di tanah-tanah inceptisol.

3.1.3. Alfisols

Tanah ini telah mengalami perkembangan profil tanah, solum tanah umumnya bervariasi mulai dari sedang hingga dangkal kedalamannya, warna tanah mulai dari coklat hingga kemerahan, tekstur lum (geluh) sampai klei, struktur tanah gumpal bersudut, konsistensi teguh dan lekat apabila basah, pH tanah bersifat netral hingga agak basa (alkalis), kejenuhan basa tinggi, daya absorpsi sedang, permeabilitas (daya lulus air) tanah sedang dan peka terhadap erosi, bahan induk tanahnya umumnya berasal dari batuan kapur keras (limestone) dan tufa vulkanis bersifat basa. Penyebaran di daerah beriklim sub humid, bulan kering nyata. Curah hujan kurang dari 2500 mm/tahun, di daerah pegunungan lipatan, topografi karst dan lereng vulkan ketinggian di bawah 400 m. Kendala tanah ini adalah miskin N, P dan bahan organik, sehingga

pengelolaannya lebih diarahkan pada memperkaya N, P dan bahan organik. Jenis tanah ini dapat dilihat di daerah Gunung Kidul yang berasosiasi dengan Vertisol. Tanah ini juga termasuk miskin hara sehingga tidak optimal untuk budidaya tanaman pangan. Pemberian bahan organik sangat dianjurkan, disamping untuk menambah unsur hara juga dapat memperbaiki sifat fisik tanah.

3.1.4. Ultisols

Tanah ini di Indonesia sering dikenal dengan PMK (Podsolik Merah Kuning). Tanah ini umumnya memiliki lapisan akumulasi klei dan dijumpai horison argilik. Tanah ini juga sangat terkenal karena adanya proses podsolisasi tanah. Tanah mineral ini telah berkembang lanjut, solum dalam, tekstur klei hingga berpasir, struktur gumpal, konsistensi lekat, bersifat agak asam (pH kurang dari 5.5), kesuburan rendah hingga sedang, kejenuhan basa rendah, peka terhadap erosi tanah. Tanah ini berasal dari batuan pasir kuarsa, tufa vulkanik, bersifat asam. Tanah ini tersebar di daerah beriklim basah tanpa bulan kering, curah hujan lebih dari 2500 mm/tahun. Kendala utama tanah ini adalah selain bersifat masam juga miskin hara. Pengelolaan tanahnya lebih diarahkan untuk meningkatkan pH tanah dan pemupukan K dan P. Umumnya tanah-tanah jenis Ultisol ini sangat baik untuk perkebunan (karet ataupun kelapa sawit). Karena pH tanah yang masam maka tanah-tanah ini kurang cocok untuk digunakan budidaya tanaman pangan. Tanah ini banyak dijumpai di Pulau Sumatra, Kalimantan dan Papua.

3.1.5. Spodosols

Tanah ini mungkin termasuk salah satu tanah yang kurang baik untuk budidaya tanaman pertanian karena kesuburannya yang sangat rendah. Tanah ini juga mengalami proses podsolisasi yang sangat intensif dan menghasilkan horison spodik yang berwarna gelap ke hitam dan meninggalkan warna putih di lapisan atas yang menunjukkan warna pasir putih (albino) yang menghasilkan horison ohric. Tanah ini sering dikenal dengan nama tanah podsol (FAO) atau Spodosol (USDA). Tingginya kandungan pasir kuarsa menyebabkan tanah podsol (spodosol) ini relatif masam dan miskin hara. Selain itu juga adanya lapisan padas (akumulasi besi, aluminium dan bahan organik) di lapisan bawah tanah (*sub soil*) menjadi kendala bagi perakaran tanaman yang sulit untuk menembusnya. Jika akan dikembangkan untuk budidaya pertanian, maka diperlukan tanaman yang memiliki perakaran dalam dan kuat menembus lapisan padas, disamping itu juga memerlukan input hara yang cukup tinggi. Lebih disarankan sebagai hutan konservasi. Contoh tanah Spodosol banyak dijumpai di daerah Kalimantan Tengah dan spot-spot di Pulau Bangka. Karena proses podsolisasi yang sangat intensif, maka tanah ini sangat miskin hara dan kurang cocok untuk tanaman pangan. Tanah ini masih dapat diusahakan untuk budidaya tanaman tahunan yang berupa perkebunan (umumnya perkebunan kelapa sawit).

3.1.6. Oxisols

Tanah ini banyak ditemukan di hutan hujan tropis, merupakan tanah khas tropis dan termasuk yang sudah tua. Tanah ini umumnya ditemukan di bawah lereng tanah Andisol. Tanah Oxisols sering

dikenal sebagai tanah laterit, mengalami pelapukan lanjut, warna merah dan kekuningan. Termasuk tanah yang kurang subur karena didominasi oksida-oksida besi dan aluminum serta tingginya pelindian pada tanah ini, sehingga tanah ini miskin hara disamping kapasitas tukar kation rendah. Defisiensi P sangat tinggi karena terjadi fiksasi oleh mineral klei serta kemasaman tanah. Untuk budidaya tanaman, tanah Oxisols sangat cocok untuk tanaman karet dan kelapa atau dapat juga ditanami tanaman kopi. Jika akan dijadikan lahan budidaya, tanah ini perlu diperbaiki dengan cara menetralkan pH tanah, penambahan bahan organik serta pemupukan P. Tanah ini banyak dijumpai di Sumatera, Kalimantan maupun Papua.

3.1.7. Andisols

Ordo ini merupakan ordo tanah yang paling muda, Ordo tanah ini banyak ditemukan pada daerah pegunungan berapi ataupun telah mengalami pasca volcano. Tanah ini dicirikan tinggi kandungan andik yang berasal dari bahan magma. Tanah ini berada pada daerah yang bersuhu dingin. Umumnya tanah ini miskin kandungan P dan bahan organik. Tetapi tanah ini relatif subur dengan solum tanah yang dalam. Umumnya jenis tanah ini ditanami tanaman sayuran (kobis, wartel, sledri, cabai, dll), kentang, kopi dan lain-lain. Tanah ini banyak ditemukan di sekitar pegunungan api di Pulau Jawa dan Luar Jawa. Warna tanah ini gelap agak kecoklatan dan kalau di pegang terasa rapuh. Makanya jenis tanah ini sering mengalami luncuran atau terbis kalau kena hujan tinggi. Tanah ini juga sangat baik untuk budidaya tanaman obat-obatan (seperti di daerah Tawangmangu) atau untuk tanaman bunga.

3.1.8. Histosols

Tanah ini merupakan tanah organik yang umumnya bersifat masam dan disebut juga tanah Organosol. Secara umum tanah ini dikenal sebagai tanah organik (gambut), karena hampir 80% lebih bahan induknya merupakan bahan yang berupa jaringan tanaman atau seresah-serasah tanaman yang belum melapuk secara sempurna. Umumnya tanah ini dijumpai di daerah-daerah yang tergenang permanen yang menyebabkan lambatnya pelapukan bahan organik tersebut atau dapat ditemukan pada daerah pegunungan yang mempunyai suhu rendah yang menghambat terjadinya dekomposisi bahan organik. Kendala pada tanah ini adalah kemasaman yang ekstrim, kelarutan Al dan Fe yang tinggi serta keberadaan pirit yang terjadi pada lahan rawa pasang surut. Pengelolaan pada tanah ini lebih diarahkan bagaimana memanfaatkan gambut yang dangkal dan bukan gambut yang dalam. Juga pengolahan tanah yang mempertimbangkan kedalaman pirit, kesalahan dalam pengolahan tanah bisa berakibat munculnya kemasaman ekstrim akibat oksidasi pirit. Serta upaya untuk menetralsir kemasaman tanah untuk menciptakan suasana ketersediaan hara. Tanah-tanah jenis ini banyak dijumpai di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua. Umumnya tanah ini telah dibuka untuk kegiatan perkebunan kelapa sawit dan pertanian pasang surut. Sebanarnya tanah Histosol terutama yang dalam (lebih dari 3 m) direkomendasikan untuk kawasan konservasi terutama untuk konservasi air dan plasma nutfah. Pembukaan lahan gambut yang berlebihan dapat mempengaruhi pemanasan global karena gambut juga sebagai konservasi karbon.

3.2. Kendala Tanah Masam

Kendala utama dari tanah mineral masam untuk pengembangan agroekosistem meliputi kendala kimiawi, fisik, dan biologi tanah. Untuk mengetahui kendala yang dihadapi pada tanah masam, maka akan dibahas beberapa kendala yang umum dihadapi oleh tanah-tanah masam, terutama kendala untuk kegiatan budidaya tanaman.

3.2.1. Kendala kimiawi

Kendala-kendala kimiawi pada tanah-tanah masam terutama tidak terlepas dari akibat proses pedologi yang terjadi pada tanah masam tersebut. Tanah-tanah masam banyak dijumpai pada daerah-daerah yang memiliki curah hujan tinggi seperti di Indonesia. Kendala utama kimiawi pada tanah masam antara lain adalah pH tanah yang rendah bahkan sampai sangat rendah, kandungan bahan organik yang rendah, kelarutan Al, Fe dan Mn yang tinggi, ketersediaan P dan Mo rendah, ketersediaan kation-kation basa dan kejenuhan basa yang rendah, terjadi pelindian intensif, kehilangan mineral primernya dan memiliki mineral kaolinit, oksida besi dan aluminium yang lebih dominan, kapasitas tukar kation rendah, dan bila terlarut, mineral Al, Fe dan Mn akan menjadi bahan toksik dalam tanah dan akan meracuni tanaman. Muatan permukaan pada tanah mineral masam umumnya dirajai oleh muatan terubahkan, dimana daya sangga tanah menjadi tinggi sehingga pemberian pengapuran dan pemupukan memerlukan dosis yang lebih tinggi dan sangat dianjurkan penggunaan bahan organik.

Tanah-tanah mineral masam umumnya banyak dijumpai sebagai lahan kering. Lahan kering tergolong suboptimal karena tanahnya kurang subur, bereaksi masam, mengandung Al, Fe, dan/atau Mn dalam jumlah tinggi sehingga dapat meracuni tanaman. Lahan masam pada umumnya miskin bahan organik dan hara makro N, P, K, Ca, dan Mg. Pemberian bahan ameliorasi kapur, bahan organik, dan pemupukan N, P, dan K merupakan kunci untuk memperbaiki kesuburan lahan kering masam.

Pada umumnya lahan kering masam dirajai oleh tanah Ultisol, yang dicirikan oleh kapasitas tukar kation (KTK) dan kemampuan memegang/menyimpan air yang rendah, tetapi kadar Al dan Mn tinggi. Oleh karena itu, kesuburan tanah Ultisol sering kali hanya ditentukan oleh kadar bahan organik pada lapisan atas, dan bila lapisan ini tererosi maka tanah menjadi miskin hara dan bahan organik. Di samping itu, kekahatan fosfor merupakan salah satu kendala terpenting bagi usaha tani di lahan masam. Hal ini karena sebagian besar koloid dan mineral tanah yang terkandung dalam tanah Ultisol mempunyai kemampuan menyemat fosfat cukup tinggi, sehingga sebagian besar fosfat dalam keadaan tersemat oleh Al dan Fe, tidak tersedia bagi tanaman maupun biota tanah (Notohadiprawiro, 2006).

Usaha pertanian di tanah Ultisol akan menghadapi sejumlah permasalahan. Tanah Ultisol umumnya mempunyai pH rendah yang menyebabkan kandungan Al, Fe, dan Mn terlarut tinggi sehingga dapat meracuni tanaman. Jenis tanah ini biasanya miskin unsur hara esensial makro seperti N, P, K, Ca, dan Mg; unsur hara mikro Zn, Mo, Cu, dan

B, serta bahan organik . Meskipun secara umum tanah Ultisol atau Podsolik Merah Kuning banyak mengandung Al dapat ditukar (Al-dd) (20-70%) tinggi, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa contoh tanah tersebut mengandung Al-dd relatif rendah (< 20%). Tanah di Kayu Agung, Indralaya, dan Prabumulih (Sumatera Selatan), misalnya, mempunyai kejenuhan Al-dd berturut-turut 11,08%, 1,01%, dan 17,26% di Jawa Barat 13,40% dan 11 dari 28 contoh tanah lapisan atas yang berasal dari Lampung Tengah juga memiliki kejenuhan Al-dd yang rendah (Taufiq et al. 2003).

Kendala pengembangan lahan Podzolik Merah Kuning beriklim basah dengan topografi bergelombang cukup kompleks. Kesalahan dalam pengelolaan merupakan penyebab degradasi lahan yang mendasar. Di daerah tropika basah yang topografinya bervariasi dari datar, bergelombang hingga bergunung, erosi tanah merupakan salah satu penyebab degradasi lahan yang dominan disamping penyebab lain seperti pencucian hara dan akumulasi unsur-unsur beracun. Lahan kering Podzolik Merah Kuning beriklim basah didominasi oleh tanah masam PMK dengan bahan induk yang miskin unsur hara (Partohardjono et al, 1994). Oleh karena itu lahan ini tergolong lahan marginal yang tingkat produktivitasnya rendah. Kesuburan tanah ini secara alamiah sangat tergantung pada lapisan atas yang kaya bahan organik tetapi bersifat labil. Sifat kimia dan fisika tanah PMK yang jelek merupakan kendala misalnya tanah yang bereaksi masam sampai sangat masam. Kandungan dan kejenuhan aluminiumnya tinggi yang dapat meracuni tanaman dan daya fiksasi yang tinggi terhadap P (fosfor). Kandungan bahan organik, KTK dan

kejenuhan basahnya umumnya rendah. Mineral klei umumnya dirajai oleh kaolinit yang tidak banyak memberikan sumbangan terhadap kesuburan tanah serta sebagian besar tanah ini mempunyai kapasitas memegang air yang rendah dan peka terhadap erosi (Arief dan Irman, 1997). Dampak langsung dari wilayah yang mengalami erosi adalah terjadinya suatu areal yang secara bertahap menjadi tandus dengan konsekuensi penduduk yang tinggal disekitarnya akan menjadi miskin (Pandang dan Subandi, 1997).

Tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering PMK yang kritis tidak mampu memproduksi secara optimal jika dikelola secara konvensional (Hakim et al, 1997). Sedangkan pembuatan teras dan galengan memerlukan biaya yang tinggi dan petani tidak memiliki cukup biaya. Mineral Kaolin telah lama dikenal akan reaktivitasnya terhadap fosfat, karena kaolin merupakan mineral klei yang merajai terutama pada tanah-tanah mineral masam seperti Ultisols, Alfisols dan Oxisols maka reaktivitasnya terhadap fosfat perlu dipertimbangkan sebagai landasan pengelolaan P pada tanah-tanah ini. Wild (1950) melakukan penelitian tentang reaksi fosfat dengan lempung alumino-silikat dan berkesimpulan bahwa montmorillonit dan kaolinit menjerap P dalam jumlah yang hampir sama apabila ukuran partikelnya serupa. Ia mengusulkan dua mekanisme retensi P oleh mineral-mineral klei, yaitu pertukaran ion fosfat dengan gugus hidroksil pada lapisan gibbsite dan/atau sebagai anion tertukarkan yang mengimbangi muatan positif hasil protonasi ion. Muljadi et al. (1966) berkesimpulan bahwa isotherm retensi P adalah sama untuk

kaolinit, gibbsite dan pseudoboehmite, perbedaannya adalah pada jumlah tapak retensi.

Oksida-oksida besi dan aluminium maupun aluminosilikat, yang merupakan komponen utama fraksi klei tanah-tanah mineral masam, mampu menjerap P. Meskipun demikian perlu disadari bahwa terdapat perbedaan kekuatan ikatan retensi yang bersumber pada perbedaan sifat ikatan antara anion fosfat dengan oksida-oksida besi dan klei alumino silikat. Perbedaan ini akan menimbulkan perilaku dan tanggapan yang berbeda terhadap perlakuan pemberian fosfat ke dalam tanah sebagai pupuk. Dalam hubungan ini nisbah antara oksida besi dan klei silikat perlu dipertimbangkan sebagai dasar pengelolaan P terutama pada tanah-tanah mineral masam. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kemampuan retensi P dari kaolin dan oksida-oksida besi yang diperoleh dari tanah-tanah mineral masam di Indonesia.

Tanaman kedelai mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan di tanah Ultisol asal dibarengi dengan pengelolaan tanaman dan tanah yang tepat. Umumnya tanah tersebut mempunyai pH yang sangat masam hingga agak masam, yaitu sekitar 4.1-5.5, jumlah basa-basa dapat ditukar tergolong rendah hingga sedang dengan kompleks adsorpsi dirajai oleh Al, dan hanya sedikit mengandung kation Ca dan Mg. Kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) lapisan atas tanah umumnya rendah hingga sedang (Subagyo et al., 2000).

Kekahatan kalium merupakan kendala yang sangat penting dan sering terjadi di tanah Ultisol. Masalah tersebut erat kaitannya dengan bahan induk tanah yang miskin K, hara kalium yang mudah tercuci

karena KTK tanah rendah, dan curah hujan yang tinggi di daerah tropika basah sehingga K banyak yang tercuci. Upaya untuk meningkatkan produksi kedelai di tanah masam dapat dilakukan melalui pengelolaan tanaman yang sesuai dan manipulasi tanah yang tepat. Pemupukan kalium memegang peranan yang sangat penting dalam meningkatkan produksi kedelai di tanah Ultisol. Hara kalium merupakan hara makro bagi tanaman yang dibutuhkan dalam jumlah banyak setelah N dan P (Nursyamsi,2006).

Bahan induk pembentuk tanah gambut (Histosol) adalah bahan organik hasil akumulasi bagian bagian tanaman hutan hujan tropika. Gambut tropika umumnya berukuran kasar sekasar batang, dahan dan ranting tumbuhan, sehubungan hal itu maka penetapan karakteristik gambut dengan metode konvensional menjadi bias. Lingkungan pembentukan tanah gambut jenuh dengan air sehingga bersifat reduktif, pada lingkungan reduktif memungkinkan berbagai jenis dan ukuran bahan sisa tumbuhan tersimpan sampai ratusan tahun. Beberapa lokasi yang tempat pembentukannya berhubungan dengan mangrove, bahan mineral bawah gambut berpotensi mengandung bahan sulfidik, bila terjadi perubahan lingkungan dari reduktif menjadi oksidatif oleh karena drainase air, maka akan menimbulkan dampak nyata berupa penurunan permukaan lahan (*subsidence*) dan oksidasi bahan sulfidik yang memasamkan lingkungan.

Tanah gambut umumnya terbentuk karena kondisi jenuh air atau karena temperatur yang rendah, sehingga proses dekomposisi berlangsung nisbi lambat dibanding proses akumulasi. Keadaan tersebut menyebabkan selalu terjadi surplus bahan organik yang tidak

terombakkan (Radjagukguk, 1997). Adimihardja *et al.* (1998) menyebutkan bahwa tanah gambut terbentuk dari endapan bahan organik sedenter (pengendapan setempat) yang berasal dari sisa jaringan tumbuhan yang menumbuhi dataran rawa dengan ketebalan bervariasi, tergantung keadaan topografi/tanah mineral di bawahnya. Bahan dasar penyusun tanah gambut didominasi oleh lignin dengan lingkungan yang kahat oksigen, sehingga proses dekomposisi bahan organiknya lambat.

3.2.2. Kendala fisik

Kendala fisik yang terdapat pada tanah mineral masam yaitu stabilitas agregat rendah, daya simpan air rendah, dan mudah mengalami erosi karena stabilitas rendah dan terletak pada daerah lereng. Tanah masam di Indonesia memiliki ciri-ciri tekstur klei, struktur gumpal, permeabilitas rendah, stabilitas agregat baik, pH rendah, KTK rendah, aras N, P, Ca, Mg sangat rendah, vegetasi alami alang-alang (*Imperata cylindrica*) dan hutan (Hardjowigeno, 1993), fraksi klei dirajai oleh mineral-mineral bermuatan terubahkan seperti kaolinit, gipsit dan/atau goetit (Ismail *et al.*, 1993). Tanah ini di Indonesia terbentuk di daerah yang bercurah hujan tinggi (2500-3000 mm per tahun), topografi berombak hingga berbukit dengan ketinggian 50-350 mm di atas muka air laut, batuan induk granit, abu vulkan atau andesit. Tekstur tanah Ultisol bervariasi, berkisar dari pasir (*sandy*) sampai dengan klei. Fraksi klei tanah ini umumnya dirajai oleh mineral silikat tipe 1:1 serta oksida dan hidroksida Fe dan Al, sehingga fraksi klei tergolong beraktivitas rendah dan daya memegang lengas juga rendah. Tanah Ultisol mempunyai daya

simpan air terbatas, kedalaman efektif terbatas dan derajat agregasi rendah dan kemantapan agregat lemah baik pada lahan berlereng maupun datar. Kerentanan terhadap erosi membuat tanah akan semakin cepat berkurang kesuburannya terutama pada lapisan atas dan akan terakumulasi di bagian yang lebih rendah (Notohadiprawiro, 2006).

Pada lahan kering Podzolik Merah Kuning beriklim basah dirajai oleh tanah masam PMK dengan bahan induk yang miskin unsur hara (Partohardjono et al, 1994). Oleh karena itu lahan ini tergolong lahan marginal yang tingkat produktivitasnya rendah. Kesuburan tanah ini secara alamiah sangat tergantung pada lapisan atas yang kaya bahan organik tetapi bersifat labil. Kalau lahan ini diolah untuk budidaya tanaman, kandungan bahan organik yang memadai, produktivitas lahan cepat pula menurun dan akhirnya menjadi lahan kritis. Tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering PMK yang kritis tidak mampu berproduksi secara optimal jika dikelola secara konvensional (Hakim et al, 1997). Sedangkan pembuatan teras dan galengan memerlukan biaya yang tinggi dan petani tidak memiliki cukup biaya. Sifat fisika tanah gambut, khususnya hidroliknya ditentukan oleh tingkat pelapukan bahan organiknya. Menurut Hardjowigeno (1996) sifat-sifat fisik tanah gambut yang penting adalah: tingkat dekomposisi tanah gambut; kerapatan lindak, irreversible dan subsiden. Noor (2001) menambahkan bahwa ketebalan gambut, lapisan bawah, dan kadar lengas gambut merupakan sifat-sifat fisik yang perlu mendapat perhatian dalam pemanfaatan gambut.

Gambut kasar mempunyai porositas yang tinggi, daya memegang air tinggi, namun unsur hara masih dalam bentuk organik dan sulit tersedia bagi tanaman. Gambut kasar mudah mengalami penyusutan yang besar jika tanah direklamasi. Gambut halus memiliki ketersediaan unsur hara yang lebih tinggi memiliki kerapatan lindak yang lebih besar dari gambut kasar (Hardjowigeno, 1996). Tanah gambut mempunyai kerapatan lindak (bulk density) yang sangat rendah yaitu kurang dari $0,1 \text{ gr/cm}^3$ untuk gambut kasar, dan sekitar $0,2 \text{ gr/cm}^3$ pada gambut halus.

Dibanding dengan tanah mineral yang memiliki kerapatan lindak $1,2 \text{ gr/cm}^3$ maka kerapatan lindak gambut adalah sangat rendah. Rendahnya kerapatan lindak menyebabkan daya dukung gambut (*bearing capacity*) menjadi sangat rendah, keadaan ini menyebabkan rebahnya tanaman tahunan seperti kelapa dan kelapa sawit pada tanah gambut.

Tanah gambut jika di drainase secara berlebihan akan menjadi kering dan kekeringan gambut ini disebut sebagai irreversible artinya gambut yang telah mengering tidak akan dapat menyerap air kembali yang dikenal dengan sifat hidrofobik. Perubahan menjadi kering tidak balik ini disebabkan gambut yang suka air (hidrofilik) berubah menjadi tidak suka air (hidrofobik) karena kekeringan, akibatnya kemampuan menyerap air gambut menurun sehingga gambut sulit diusahakan bagi pertanian. Berkurangnya kemampuan menyerap air menyebabkan volume gambut menjadi menyusut dan permukaan gambut menurun (kempes). Adanya sifat gambut yang mudah mengalami *subsidence* (ambles), maka bangunan-bangunan air yang

dibuat di lahan gambut tidak tahan lama karena mudah pecah akibat sifat fisik gambut yang dimiliki.

Kadar lengas gambut (*peat moisture*) ditentukan oleh kematangan gambut. Pada gambut alami kadar lengas gambut sangat tinggi mencapai 500-1.000 % bobot, sedangkan yang telah mengalami dekomposisi berkisar antara 200-600 % bobot. Kadar lengas gambut fibrik lebih besar dari gambut hemik dan saprik. Kemampuan menyerap air gambut fibrik lebih besar dari gambut sapris dan hemist, namun kemampuan fibris memegang air lebih lemah dari gambut hemik dan saprist (Noor, 2001). Tingginya kemampuan gambut menyerap air menyebabkan tingginya volume pori-pori gambut, mengakibatkan rendahnya kerapatan lindak dan daya dukung gambut (Mutalib et al, 1991).

3.2.3. Kendala biologi

Kendala Biologi pada tanah mineral masam antara lain ditandai dengan aktivitas mikroorganisme menjadi kurang, dan tidak semua mikroorganisme hidup pada tanah masam karena memiliki pH yang ekstrim. Secara umum aktivitas mikroorganisme tanah berada pada kisaran pH netral, kecuali fungi dan beberapa bakteri. Beberapa bakteri dapat berkembang pada pH ekstrim 2 – 5 seperti *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Thiobacillus thiooxidans* yang mendapatkan energi dari oksidasi senyawa besi dan sulfur. Kebanyakan bakteri akan berkembang secara optimum pada pH netral, seperti bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan tanaman legum akan aktif membentuk bintil akar dan mengfiksasi N dari udara pada kisaran pH

6.5 sampai 7.0. Bakteri dekomposer dan nitrifikasi seperti *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* akan aktif melakukan dekomposisi bahan organik pada pH tanah yang netral. Kandungan bahan organik tanah sangat mempengaruhi aktivitas cacing tanah. Bahan organik adalah sumber makanan dan energi bagi aktivitas cacing tanah, dan efek samping dari aktivitas cacing tanah seperti pembuatan lubang tanah, sekresi yang mengeluarkan asam organik dan meningkat ketersediaan hara serta mengeluarkan zat atau hormon pengatur tumbuh. Dengan demikian pemeliharaan bahan organik tanah sangat menentukan dinamika keberlanjutan agroekosistem pada lahan mineral masam.

Pada tanah gambut, perbaikan drainase akan menyebabkan air keluar dari gambut kemudian oksigen masuk kedalam bahan organik dan meningkatkan aktifitas mikroorganisme, akibatnya terjadi dekomposisi bahan organik dan gambut akan mengalami ambles (*subsidence*) sehingga permukaan gambut mengalami penurunan.

3.3. Mengatasi Kendala Tanah Masam

Aryantha (2002) menjelaskan ada tiga konsep untuk memperbaiki kesuburan tanah secara umum, yaitu yang berwawasan lingkungan atau berkelanjutan adalah Low External Input Agriculture (LEIA) dan Low External Input Sustainable Agriculture (LEISA), dan pertanian modern yang tergantung dengan bahan kimia adalah High External Input Agriculture (HEIA)

LEIA adalah sistem yang memanfaatkan sumberdaya lokal yang sangat intensif dengan sedikit atau sama sekali tidak menggunakan masukan dari luar sehingga tidak terjadi kerusakan

sumberdaya alam. Pendaauran hara di dalam usahatani dengan sumber-sumber yang berasal dari luar usaha tani. Kegiatan ini berguna untuk menambahkan hara kepada tanah dari luar usaha tani. Bahan-bahan yang digunakan: sampah, kompos, limbah, dll. Pendaauran hara di dalam usaha tani dengan sumber-sumber yang berasal dari usaha tani itu sendiri. Pendaauran ini dapat dilewatkan dengan ternak atau pengembalian sisa-sisa biomassa hasil panen. Cara ini tidak menambahkan hara kepada tanah, tetapi hanya mengembalikan hara yang tidak terangkut ke luar bersama dengan hasil panen . Pendaauran hara di dalam petak pertanaman. Kegiatan ini biasanya melibatkan tanaman legum (cover crop) untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan N pada tanaman pokok.

HEIA adalah merupakan sistem pertanian yang menggunakan masukan dari luar (secara berlebihan). Umumnya berupa bahan-bahan agrokimia konvensional yang memang disengaja dibuat untuk input produksi. Sistem ini sangat tergantung senyawa kimia sintetis (pupuk, pestisida, zat pengatur tumbuh). Dapat berpengaruh buruh pada keseimbangan lingkungan dan kesehatan manusia .

LEISA adalah pertanian dengan masukan rendah tetapi mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya alam (tanah, air, tumbuhan dan hewan), manusia (tenaga, pengetahuan dan keterampilan) yang tersedia ditempat dan layak secara ekonomis, mantap secara ekologis, adil secara sosial dan sesuai dengan budaya lokal. Ciri-ciri sistem ini (a) berusaha mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya lokal dengan mengkombinasikan berbagai komponen sistem usahatani (tanaman, hewan, tanah, air, iklim dan manusia) sehingga saling melengkapi dan

memberikan efek sinergi yang luar biasa,(b) berusaha mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya lokal dengan mengkombinasikan berbagai komponen sistem usahatani (tanaman, hewan, tanah, air, iklim dan manusia) sehingga saling melengkapi dan memberikan efek sinergi yang luar biasa.

Prinsip dasar LEISA adalah menjamin kondisi tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman, khususnya dengan mengelola bahan organik dan meningkatkan kehidupan mikroorganisme di dalam tanah (*soil regenerator*), mengoptimalkan ketersediaan dan menyeimbangkan aliran unsur hara, khususnya melalui penambahan Nitrogen, pendaur ulangan unsur hara dan pemanfaatan pupuk luar sebagai pelengkap,, meminimalkan kerugian sebagai akibat radiasi matahari, udara dan air dengan pengelolaan iklim mikro, pengelolaan air dan pengendalian erosi, saling melengkapi dan sinergi dalam penggunaan sumberdaya genetik yang mencakup penggabungan dalam sistem pertanian terpadu dengan tingkat keanekaragaman fungsional tinggi .

Upaya untuk mengatasi persoalan kesuburan tanah-tanah masam dengan memperhatikan tiga konsep pengelolaan kesuburan tanah di atas adalah dengan mengkombinasikan antara praktek usaha tani dengan penerapan bioteknologi tanah yang menekankan pada komponen mengamankan suplai N di dalam sistem tanah-tanaman dengan pengayaan fiksasi N₂ secara biologis (Notohadiprawiro, 1990). Teknologi ini mencakup segala upaya untuk memanipulasi jasad renik dalam tanah dan proses metabolik mereka untuk mengoptimalkan produktivitas pertanaman. Teknologi yang

digunakan juga terbagi menjadi dua jenis yaitu teknologi masukan tinggi dan teknologi masukan rendah.

3.3.1. Teknologi masukan tinggi

Teknologi masukan dikatakan tinggi dengan ciri-ciri boros energi dan biaya tinggi serta memiliki prinsip mengubah kondisi lahan agar sesuai dengan tanaman yang akan ditanam. Pada tanah masam teknologi yang digunakan yaitu dengan pemberian kapur. Pengapuran akan mempengaruhi hampir seluruh masalah yang dialami tanah masam. Pengapuran dapat menyelesaikan beberapa masalah antara lain : 1). Mengendapkan Al dan mengatasi keracunan tanah karena Al, 2). Menaikkan pH, 3). Meningkatkan ketersediaan P dan unsur mikro lain seperti Mo, 4). Menyediakan Ca atau Mg (meningkatkan KTK tanah). 5). Kegiatan mikroorganisme meningkat, 6). Memperbaiki struktur tanah. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada BAB V. Sekarang telah diketahui bahwa pemakaian bahan-bahan agrokimia yang berlebihan dalam proses budidaya tanaman dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air. Pemakaian pupuk P yang berlebihan dapat meninggalkan kandungan logam berat kadmium (Cd) dalam tanah dan dapat diserap oleh tanaman dan dapat termakan oleh hewan dari rumput yang mengandung Cd. Logam berat ini sangat berbahaya bagi hewan dan manusia.

3.3.2. Teknologi masukan rendah

Teknologi masukan rendah memiliki ciri-ciri hemat energi dan biaya relatif lebih murah. Teknologi masukan rendah memiliki

prinsip adaptasi tanaman yaitu menyesuaikan jenis tanaman agar sesuai dengan kondisi tanah yang ingin digunakan. Beberapa usaha pada tanah masam yang dimasukkan dalam teknologi masukkan rendah antara lain :

a. Pemanfaatan bahan organik

Penggunaan bahan organik akan sangat membantu dalam menyediakan hara bagi tanaman. Pada tanah, bahan organik mampu meningkatkan pasokan dan kemampuan mengikat hara. Selain itu banyak lagi fungsi dari bahan organik yang lainnya seperti memperbaiki agregat tanah (proses granulasi, karena bahan organik berfungsi sebagai lem partikel tanah), meningkatkan aktivitas mikroorganisme, KTK menjadi tinggi dan daya menyimpan air lebih baik lagi. Bahan organik dapat mengikat Al dan Mn, sehingga mencegah efek meracun pada kedua unsur tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada BAB VI tentang Pemberian Bahan Organik.

b. Memasok Ca dan Mg lewat kapur atau abu

Pengapuran dikatakan sebagai masukkan rendah jika jumlah kapur yang digunakan tidak besar. Maksudnya kapur yang diberikan dalam jumlah tertentu saja hanya untuk mengubah sebagian masalah yang ada pada tanah masam yaitu untuk memasok Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg). Kapur yang diberikan akan memenuhi kebutuhan Ca dan Mg yang diperlukan oleh tanaman. Apabila kendala utama pada tanah masam diketahui sebagai kekurangan Ca dan Mg, maka

bahan kapur dapat diberikan sebagai pupuk dan dalam takaran yang relatif rendah. H Apabila kemasaman tanah berpengaruh pada simbiosis legum-Rhizobium (yang berperan dalam penyediaan unsur hara N), bahan kapur dapat diberikan secara setempat. Apabila bahan kapur tidak dijumpai terutama di luar Jawa, maka penggunaan abu atau hewa-hewan karang dari laut dapat direkomendasikan.

c. **Pengelolaan P**

Kekahatan P merupakan salah satu kendala utama bagi kesuburan tanah masam, karena P tersemaat menajdi tidak tersediakan untuk tanaman. Tanah ini memerlukan P dengan takaran tinggi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman. Pengelolaan P lewat pemupukan yang tepat dengan didasarkan pada empat tepat yaitu tepat takaran, tepat jenis, tepat waktu dan tepat penempatannya sangat diperlukan. Pengelolaan P menggunakan sumber yang lebih murah misalnya menggunakan mikoriza dalam pupuk yang diberikan agar dapat melarutkan sebagian sumber hara yang kurang melarut. Paduan pemupukan P dengan pemberian bahan organik sangat dianjurkan agar pemupukan P efisien atau pemberian P dalam bentuk batuan fosfat juga sangat baik karena batuan fosfat memiliki efek ganda, selain dapat memasok P juga dapat meningkat pH tanah melalui reaksi basa dari kandungan logam alkali tanah yang dimiliki.

Salah satu masalah yang dihadapi dalam budidaya tanaman pangan pada lahan gambut adalah rendahnya retensi P dalam tanah (Widjaja-Adhi, 1997). Secara kimiawi ada dua masalah pada lahan gambut berkaitan dengan pemupukan P yakni kemasaman yang tinggi

dan daya jerap P yang rendah. Pemberian pupuk fosfat dengan takaran yang relatif tinggi dapat membantu mengurangi efek kemasaman tanah. Pemberian 100 kg TSP dianggap setara dengan pemberian ¼ ton bahan kapur (CaCO_3), sehingga perlu dipertimbangkan nilai ekonomis dalam penggunaan pupuk P pada tanah masam. Selain TSP terdapat juga pupuk SP-36, SSP, DAP. Pupuk tersebut mudah larut dalam air sehingga sebagian besar P akan segera difiksasi oleh Al dan Fe yang terdapat di dalam tanah dan P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Fosfat alam dengan kandungan Ca setara CaO yang cukup tinggi (>40%) umumnya mempunyai reaktivitas tinggi sehingga sesuai digunakan pada tanah-tanah masam. Sebaliknya, fosfat alam dengan kandungan sesquioksida tinggi (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) tinggi kurang sesuai digunakan pada tanah-tanah masam. Hasil penelitian penggunaan P-alam bermutu tinggi secara langsung pada tanaman perkebunan (kelapa sawit, karet dan kakao) di lahan masam dan rawa menunjukkan prospek yang baik. Efektivitas pupuk P-alam sebanding atau bahkan lebih unggul dari pada pupuk TSP yang mudah larut.

d. Pengelolaan hara yang tepat

Pengelolaan hara tanah meliputi pendauran hara atau siklus hara dalam tanah. Kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal. Ketersediaan hara bagi tanaman sangat penting bagi pertumbuhan tanaman sehingga siklus hara perlu dijaga keberlangsungannya. Pada tanah masam, pengelolaan kesuburan tanah hendaknya memperhatikan karakteristik masing-masing jenis tanahnya. Pada tanah Gambut misalnya, lahan

gambut yang telah dibuka antara 2-3 tahun mulai mengalami kemerosotan kesuburan, sehingga memerlukan masukan berupa bahan amelioran seperti kapur, fosfat alam, pupuk makro dan mikro. Masalah serupa juga telah dikemukakan oleh Sanchez (1977) yang mengungkapkan bahwa masalah yang dihadapi pada tanah tropika basah seperti Oxisol dan Ultisol antara lain adalah fiksasi P yang tinggi, keracunan Al, kekurangan unsur-unsur hara penting dan kapasitas memegang air yang rendah. Perbaikan kesuburan podsolik merah kuning dapat dilakukan melalui pengapuran. Dengan cara ini pH naik dan sifat meracun dari aluminium serta keaktifan dari aluminium untuk mengikat P dapat diminimumkan. Pemupukan NPK serta pemberian bahan organik dan atau pengembalian sisa panen perlu mengiringi tindakan tersebut.

f. Penggunaan tanaman toleran

Penggunaan varietas yang toleran merupakan salah satu dari cara mengatasi masalah dalam tanah masam dengan menggunakan prinsip teknologi masukkan rendah. Tanaman yang cocok atau toleran pada tanah masam yaitu karet, nanas, kelapa sawit. Varietas ini dapat dihasilkan melalui beberapa cara atau metode yaitu persilangan dan rekayasa genetika. Tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering PMK yang kritis tidak mampu berproduksi secara optimal jika dikelola secara konvensional (Hakim et al, 1997). Akan tetapi, tanaman kedelai mempunyai prospek yang cukup besar untuk dikembangkan di tanah Ultisol asal dibarengi dengan pengelolaan tanaman dan tanah yang tepat. Umumnya tanah tersebut mempunyai pH yang sangat masam

hingga agak masam, yaitu sekitar 4.1-5.5, jumlah basa-basa dapat ditukar tergolong rendah hingga sedang dengan kompleks adsorpsi didominasi oleh Al, dan hanya sedikit mengandung kation Ca dan Mg. Kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) lapisan atas tanah umumnya rendah hingga sedang (Subagyo et al., 2000).

Varietas kedelai toleran tanah masam sudah banyak ditemukan Badan Litbang Pertanian. Lahan masam bukan hanya mengandung Al dan Mn tinggi yang meracuni tanaman kedelai, tetapi kandungan hara N, P, K, Ca, Mg, dan hara lainnya rendah. Dalam kondisi lahan masam yang miskin hara, tidak mungkin ada varietas kedelai yang dapat tumbuh dan menghasilkan biji secara normal. Berikut adalah beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengelolaan tanaman kedelai di lahan kering masam dengan sistem budidaya.

1). Waktu tanam

Kedelai tidak memiliki preferensi terhadap jenis tanah tertentu, sedikit membutuhkan air dan lebih produktif ditanam pada musim kemarau. Pada lahan kering, kedelai ditanam sesudah padi gogo atau jagung.

2). Penggunaan varietas toleran

Varietas kedelai toleran tanah masam sudah banyak ditemukan Badan Litbang Pertanian. Lahan masam bukan hanya mengandung Al dan Mn tinggi yang meracuni tanaman kedelai, tetapi kandungan hara N, P, K, Ca, Mg, dan hara lainnya rendah. Dalam kondisi lahan masam yang miskin hara, tidak mungkin ada varietas kedelai yang dapat tumbuh dan menghasilkan biji secara normal.

3). Ameliorasi

Tanah masam perlu disehatkan dengan meningkatkan pH dan menaikkan kejenuhan basa, serta pengkayaan unsure haranya. teknik ameliorasi tanah masam sebagai berikut:

- **Pengapuran untuk meningkatkan pH dan mengatasi keracunan Al.**

Dosis kapur disesuaikan dengan pH tanah, umumnya sekitar 3 t/ha, berkisar antara 1-5t/ha. Kapur yang baik adalah kapur magnesium atau dolomit yang dapat sekaligus mensuplai Ca dan Mg.

- **Ameliorasi pada lapisan tanah bawah (sub-soil) menggunakan gypsum.**

Pengapuran pada permukaan tanah hanya akan mengoreksi pH pada lapisan olah tanah, sedangkan pada lapisan sub-soil pH masih rendah dan keracunan Al masih terjadi. Oleh karena itu, pemberian gypsum pada lapisan sub-soil dapat memperbaiki pertumbuhan akar menjadi lebih dalam.

- **Pengkayaan fosfat tanah dengan pemupukan P dosis tinggi.**

Pada lahan masam dengan kandungan fosfat rendah (sekitar 4 ppm P) yang disertai kapasitas fiksasi P yang tinggi, pengkayaan fosfat dalam tanah (build-up soil P level) merupakan persyaratan mutlak untuk memperoleh produksi kedelai yang tinggi.

- **Pengkayaan bahan organik.**

Dengan pengapuran dan pemupukan saja, kandungan bahan organik tanah akan cepat menurun bila tidak diikuti pengembalian residu tanaman ke dalam tanah. Pola tanam yang mengikutkan leguminosa untuk ditanam ke tanah, pengembalian residu tanaman, dan pemupukan dengan kompos sangat dianjurkan.

- **Pengkayaan kalium.**

Pengkayaan K diperlukan bila ketersediaan K dalam tanah kurang dari 30 ppm dan kandungan liat lebih dari 18%. Takaran pupuk K secara umum adalah 100 kg K₂O/ha, dengan cara ditebarkan bersamaan pupuk P dan dimasukkan ke dalam lapisan olah tanah dengan cara bajak.

- **Pengkayaan hara mikro.**

Bila tanah diduga kahat unsur mikro terutama Zn, Fe, S, B, dan Mo, pemberian pupuk mikro dalam bentuk chelat atau fritted trace element perlu dilakukan.

4.) Teknik pengelolaan tanah

Ada dua pendekatan dalam pengelolaan tanah di tanah-tanah masam yaitu jangka pendek dan jangka panjang. Jangka Pendek dengan pemberian pupuk organik. Petani menyadari bahwa pemberian pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah. Menurut mereka, pengaruh pupuk organik dalam memperbaiki kesuburan tanah sangat lambat akan tetapi pengaruhnya lebih tahan lama. Sedangkan pupuk buatan pengaruhnya cepat terlihat akan tetapi hanya tahan beberapa

minggu atau bulan. Pupuk organik yang digunakan adalah pupuk hijau, kotoran ternak, bagas, dan sebagainya. Berdasarkan pengalaman bahwa pengusahaan tanaman semusim yang sebagian besar biomasanya tidak dikembalikan, lebih cepat menguras zat makanan yang ada di tanah, mereka mulai belajar mengembalikan sisa-sisa panen ke lahan.

Jangka panjang dengan pencegahan erosi. Pada dasarnya petani menyadari pentingnya pencegahan erosi di lahan-lahan kering, terutama pada lahan yang curam. Beberapa usaha yang telah dicoba adalah dengan membuat guludan sejajar kontur atau menggunakan batang pohon yang ditebang pada saat pembukaan lahan sebagai teras-teras akan tetapi karena intensitas curah hujan yang tinggi serta struktur tanah yang kurang mantap menyebabkan guludan tersebut mudah longsor. Sebagian petani ada yang membuat guludan tegak lurus arah kontur, sehingga air limpasan bisa mengalir lebih cepat. Cara ini memang bisa mengurangi kerusakan guludan dan mempercepat pengatusan air karena tanaman tertentu tidak menyukai tanah yang terlalu basah, tetapi pengikisan tanah (erosi) tetap terjadi.

5). Pengaturan pola tanam

Pemberaan. Untuk mempertahankan kesuburan tanah, petani memberakan lahan [Bahasa Jawa: *bero*] atau membiarkan semak belukar tumbuh di lahan yang telah diusahakan beberapa musim. Menurut mereka, tanaman akan tumbuh lebih baik pada lahan yang sebelumnya diberakan. Bera dengan hanya mengandalkan suksesi alami memerlukan waktu lebih lama untuk mengembalikan kesuburan

tanah. Pemberaan juga dapat menghilangkan gas-gas yang tersekap dalam tanah atau adanya polusi tanah akan hilang yang dapat menyebabkan tanah sehat kembali. Pemberaan juga memberi kesempatan jasad-jasad tanah berkembang karena bermanfaat dalam transformasi dan translokasi hara dalam tanah. Jasad-jasad tanah baik mikro maupun meso dapat bermanfaat sebagai dekomposer bahan organik dalam tanah. Selanjutnya bahan organik memiliki gawai ganda yang banyak manfaatnya untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Tumpanggilir. pengusahaan satu jenis tanaman semusim saja selama tiga tahun berturut-turut menyebabkan tanah menjadi “kurus” dan “cepat tnadus”. Menurut pengamatan petani, jenis tanaman pangan yang banyak menguras zat makanan dalam tanah adalah ubikayu, ketela rambat dan kacang tanah. Untuk itu setelah tanaman ini dipanen maka periode berikutnya diusahakan untuk tanaman jenis lain. Selain dapat memutus rantai hama dan penyakit juga dapat memperbaiki kesuburan tanah secara alami.

Tumpangsari. Beberapa petani juga melakukan tumpangsari di lahan mereka. Pada umumnya dasar keputusan petani untuk memilih sistem tumpangsari adalah karena alasan ekonomi, bukannya kesadaran untuk mempertahankan kesuburan tanah. Tumpangsari ternyata memiliki keunggulan tersebut. Tumpangsari merupakan salah satu konsep pertanian organik karena dalam suatu areal ditanami lebih dari satu tanaman manfaatnya dalam tanah tidak ada pengurusan hara tertentu melainkan saling melengkapi dan menambah. Keuntungan yang lain juga untuk mengatasi gagal panennya salah satu jenis tanaman yang dibudidyakan karena akan disulih oleh jenis tanaman

yang lain yang ditanam bareng. Di Pulau Jawa sistem ini sangat populer misal dalam satu areal ditanami tiga jenis tanaman yaitu jagung, kedelai dan cabai atau jagung bawang merah cabai dan lain-lain,

BAB IV

PENGELOLAAN LAHAN RAWA PASANG SURUT

4.1. Pengertian Lahan Rawa Pasang Surut

Di Indonesia banyak dijumpai lahan rawa pasang surut terutama lahan-lahan yang dekat dengan sepanjang pantai. Lahan pasang surut umumnya dijumpai lahan mineral maupun lahan gambut. Lahan-lahan mineral tersebut umumnya merupakan lahan sulfat masam. Sekitar 8,3 juta ha tanah sulfat masam (*acid sulphate soil*) terdapat di daratan Asia Selatan dan Tenggara. Diantaranya Negara-negara Asia tersebut, Indonesia memiliki luasan paling besar yaitu sekitar 4.5 juta ha dan di susul Vietnam memiliki 1,0 juta ha (Van Alphen, 1984). Tanah tersebut terbentuk di dataran delta dan pantai (estuarin) yang banyak terdapat di daerah tropika, dan luas seluruhnya di dunia sekitar 12 juta ha (Bos, 1990). Di Indonesia tanah ini tersebar di wilayah Sumatra, Kalimantan dan Irian Jaya.

Tanah sulfat masam umumnya memiliki sifat-sifat khas yang dicirikan oleh bahan-bahan sulfida atau horizon sulfur pada profil tanah dan memiliki pH tanah yang rendah dari masam sampai sangat masam menurut jeluk (kedalaman). Tanah sulfat masam terdiri atas tanah sulfat masam tereduksi yang dinamakan tanah sulfat masam potensial dan tanah sulfat masam teroksidasi yang dinamakan tanah sulfat masam aktual atau umum disebut tanah sulfat masam. Tanah sulfat masam potensial termasuk ke dalam ordo Entisol, terdiri atas

tiga sub group yaitu Typic Sulfaquept dan Sulfic Fluvaquent dan Sulfic Haplaquent. Tanah sulfat masam aktual termasuk ordo Inceptisol, terdiri atas dua sub group yaitu Typic Sulfaquept dan Sulfic Tropaquept (Soil Survey staff, 1987).

Karakteristik tanah sulfat masam adalah pH kurang dari 3.5 (H_2O , 1:1), ada horizon sulfur atau bercak-bercak jarosit dengan Hue 2,5Y atau lebih dan Chrome 6 atau lebih sebaliknya tanah sulfat masam potensial tidak memperlihatkan bercak-bercak jarosit (Soil Survey Staff, 1987). Typic Sulfaquept merupakan tanah sulfat masam yang mempunyai horizon sulfur hingga batas jeluk 50 cm dari permukaan tanah. Kemasaman sangat tinggi dengan pH di bawah 3.5. Untuk Sulfic Tropaquept mempunyai karakteristik yaitu pH (H_2O , 1:1) 3,5-4,0 dengan bercak-bercak jarosit antara 50 cm-150 cm (Soil Survey Staff, 1987).

Berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh tanah sulfat masam di atas maka tanah sulfat masam termasuk kelompok tanah-tanah marginal yang memiliki tahana (status) kesuburan tanah rendah. Oleh karena itu untuk mengelola tanah tersebut diperlukan masukan teknologi tinggi terutama dibidang kesuburan tanah dan teknik reklamasi tanah. Walaupun tahana kesuburan tanah sulfat masam termasuk rendah, namun di Indonesia tanah tersebut sebanyak 10% telah dibuka untuk lahan pertanian di daerah Kalimantan Selatan sekitar 250.000 ha dan dari seluas itu sekitar 135.000 ha dikelola untuk lahan persawahan (Noorsyamsi et al, 1984).

Apabila tanah sulfat masam dikelola dengan baik maka daerah yang memiliki tanah tersebut berpeluang besar untuk dikembangkan

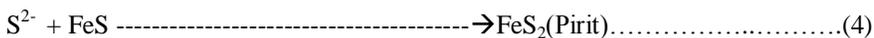
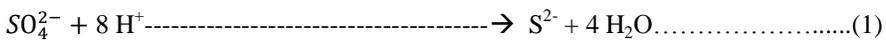
menjadi daerah pertanian dan pemukiman penduduk, lebih-lebih didukung daerahnya sangat luas dengan timbunan datar dan tersedia cukup air. Akan tetapi apabila tanah sulfat masam akan dibuka untuk lahan pertanian banyak menghadapi kendala kesuburan tanah. Kendala-kendala tersebut antara lain: pH tanah yang rendah yaitu kurang dari 4,0 untuk tanah sulfat masam potensial dan dapat mencapai 2,0-3,0 untuk tanah sulfat masam aktual, keracunan Al dan Fe serta unsur-unsur N, P, K, Ca dan Mg dalam keadaan kahat. Umumnya bila tanah tersebut langsung dimanfaatkan untuk budidaya padi sawah hasilnya sangat rendah (500-1000 kg ha⁻¹) bila dibandingkan dengan tanah-tanah bukan sulfat masam (4000-5000 ha⁻¹) (Bloomfield dan Coutie, 1973). Oleh karena tanah sulfat masam itu terdiri atas dua macam yaitu tanah sulfat masam potensial dan sulfat masam aktual maka selanjutnya bila menyebut tanah sulfat masam saja dimaksudkan untuk tanah sulfat masam aktual.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dikaji mendalam tentang permasalahan tanah-tanah sulfat masam dan cara mengatasinya agar tanah tersebut dapat dimanfaatkan untuk media budidaya tanaman pangan.

4.2. Kendala Tanah Rawa Pasang Surut

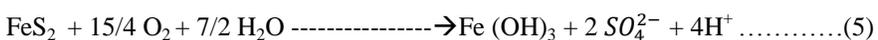
Sebelum membahas tentang permasalahan yang dihadapi pada rawa pasang surut dalam hal ini tanah sulfat masam, maka terlebih dahulu akan dikemukakan sedikit mengenai proses terbentuknya tanah sulfat masam. Pembentukan tanah sulfat masam diawali dengan kondisi tergenang di dataran pantai. Keadaan drainase yang jelek

disertai penimbunan bahan organik dari tanaman *Avicenia* dan *Rhizopora sp* mengakibatkan kondisi tanah semakin anaerob (reduktif) (Williams dan Joseph, 1976). Kondisi ini sangat menguntungkan tereduksinya sulfat dari air laut menjadi sulfid (reaksi 1). Reduksi sulfat ini membutuhkan lingkungan yang sangat reduktif ($Eh \pm -220$ mV). Reaksi ini dapat dipercepat dengan hadirnya mikroorganisme pereduksi dari jenis bakteri *Desulfovibrio desulfurican* dan *Desulfotomaculum sp* (Mohr et al., 1972; Bloomfield dan Coulter, 1973; De Conink, 1978; Rowell, 1981). Mikroorganisme tersebut berperan dalam mereduksi sulfat menjadi sulfid. Sulfid yang terbentuk selanjutnya bereaksi dengan besi ferro (Fe^{2+} aktif dari sedimen, Rowell, 1981) membentuk endapan hitam yang disebut pirit (reaksi 4). Proses ini dapat dijumpai di sekitar daerah transmigrasi Karang Agung Sumatera Selatan dimana pirit dapat dijumpai di permukaan tanah sampai jeluk 55 cm (Ardi S. et al., 1986). Reaksi pembentukan pirit selengkapnya dapat dibaca di bawah ini :

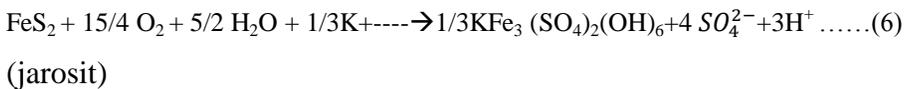


(De Conink, 1978)

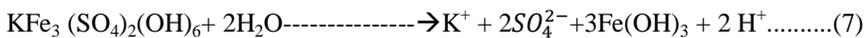
Jika pada suatu saat lahan di atas kering dan pirit bersinggungan dengan udara bebas maka pirit akan teroksidasi menghasilkan asam sulfat yang mengakibatkan pH tanah turun tajam sehingga tanah menjadi masam (pH sekitar 3,0) (reaksi 5).



Oksidasi dapat dipercepat dengan hadirnya bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* (Van Breeman dan Pons, 1978). Bakteri tersebut aktif bekerja pada pH 2,0 sampai 3,5 dan berperan dalam mengoksidasi Fe(II) menjadi Fe(III) dan bakteri ini juga melibatkan diri dalam mengalihkan rupa (transformasi) S elementer menjadi ion sulfat (Rowell, 1981). Apabila dalam tanah banyak mengandung ion K^+ dan Na^+ maka akan terbentuk jarosit dan natrojarosit (reaksi 6). Jarosit akan stabil dalam kondisi oksidasi dan kondisi masam (Eh lebih dari 400-500 mv; ph 2-4) (Konsten et al.,1990).



Jarosit yang terbentuk dapat terhidrolisa menjadi ferri oksida dan sejumlah asam sulfat (reaksi 7).



Bila dihasilkan asam sulfat sebanyak $0,48 \text{ g.l}^{-1}$ dapat memberikan pH sekitar 2.0 (De Conink, 1978)

Apabila kalsium karbonat dalam tanah sangat rendah maka asam sulfat yang terbentuk tidak dapat dinetralkan sehingga akan merusak lempung alumino-silikat dengan menghasilkan asam lemah $Si(OH)_4$ dan kation-kation lain seperti Ka^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} dan Fe^{3+} (De Coninck, 1978). Ion Ca^{2+} diendapkan dalam bentuk $CaSO_4$, beberapa K^+ dan Na^+ membentuk jarosit dengan melepas ion dan natrojarosit, Mg^{2+} berada dalam larutan. Fe^{2+} dioksidasi menjadi Fe^{3+} dan diendapkan dalam bentuk $Fe(OH)_3$ atau diendapkan dalam bentuk jarosit dengan melepaskan ion H^+ dan Al^{3+} paling sedikit mengalami hidrolisa (De Conink, 1978)

Jadi dengan sederetan reaksi di muka dapat disimpulkan bahwa ciri tanah sulfat masam adalah reaksi tanah (pH) yang sangat rendah (di bawah 3,5 (pH H₂O, 1:1) dan terbentuknya jarosit atau natrojarosit (soil Survey Staff, 1987). Akibat pengatusan (drainase) tanah potensial sulfat masam (*potensial acid sulphate soil*) menyebabkan terbentuknya tanah sulfat masam yang memiliki beberapa kendala (*constraint*). Selanjutnya akan dibahas tiga kendala utama yang selalu dihadapi apabila tanah ini akan dimanfaatkan untuk lahan pertanian. Adapun kendala utama kesuburan tanah adalah : a. kemasaman tanah yang tinggi. b. keracunan Al dan Fe, dan c. kekahatan unsur-unsur N,P, K, Ca dan Mg.

a. Kemasaman Tanah (pH)

Apabila tanah potensial sulfat masam teroksidasi oleh pengatusan, penurunan muka air atau lapisan tanah yang mengandung pirit mengering, mengakibatkan pirit bersinggungan dengan udara bebas dan menghasilkan ferri oksida dan asam sulfat. Asam sulfat ini menyebabkan pH tanah turun sangat tajam dan dapat mencapai sekitar 2,0 -3,5 (Marius, 1982). Kondisi lingkungan dengan pH serendah ini tidak mungkin menyediakan lingkungan pelantar (*media*) tumbuh bagi pertumbuhan tanaman terutama padi, kisaran pH optimum bagi pertumbuhan padi adalah 5,0 -6,5 (Hausenbuiller, 1981). Akibatnya tanah sulfat masam tidak subur. Kemasaman tanah yang tinggi ini mempunyai hubungan erat dengan ketersediaan hara bagi pertumbuhan tanaman. Ketersediaan hara maksimum berada pada pH larutan tanah sekitar netral (Lucas dan David *cit* Mengel dan Kirkby, 1978).

b. Keracunan Fe dan Al

Penyebab ketidaksuburan tanah sulfat masam ini adalah melimpahnya unsur-unsur Al dan Fe yang dapat menimbulkan keracunan pada tanaman, dan munculnya kekahatan sejumlah unsur hara penting (P, K, Ca, Mg dan Si) serta sifat fisik tanah yang tidak menguntungkan (Van Breemen dan Pons, 1978). Van den Eelaart dan Boissevain (1986) telah mengamati bahwa air tanah yang menggenangi tanah sulfat masam memiliki kandungan Fe^{2+} di atas 100 ppm, selanjutnya bila ditanami padi sawah pertumbuhan tanaman kerdil dengan perkembangan akar terhambat dan bila dianalisis daunnya menunjukkan bahwa kandungan Fe^{2+} dan Al^{3+} berturut-turut sebesar 1600 ppm (5 kali lebih besar dari yang diijinkan untuk persyaratan tumbuh) dan 500 ppm (1,5 kali lebih besar dari yang diijinkan). Asam sulfida yang dihasilkan akan menghambat respirasi dan menurunkan daya oksidasi akar yang selanjutnya menyebabkan toksisitas Fe^{2+} karena akar tidak panjang dan tidak mampu mengoksidasi Fe^{2+} tersebut. Dengan demikian penyerapan hara terhambat.

Aluminium terlarut atau tertukarkan mencapai jumlah meracuni dalam kisaran pH 3,5 sampai 4,5 (Moorman dan Van Breemen, 1978). Konsentrasi Al meningkat dengan faktor kelipatan 10 pada setiap penurunan setengah unit pH (Nung dan Ponnampereuma, *cit* Ponnampereuma, 1977). Keracunan Al akan menghambat pertumbuhan akar, akar menebal, tidak dapat memanjang dan tidak bercabang normal (Sanchez, 1976).

Beberapa minggu setelah tergenang, konsentrasi Fe^{2+} pada tanah sulfat masam meningkat. Ini disebabkan oleh reduksi ferri (Fe^{3+}) menjadi ferro (Fe^{2+}) dengan bantuan mikroorganisme (Moorman dan Van Breemen, 1978). Proses reduksi dalam suasana masam menghasilkan Fe^{2+} terlarut di atas aras meracun (300 ppm) dan sangat tergantung pada tersedianya senyawa ferri yang mudah tereduksi.

c. Kekahatan Unsur-unsur N, P, K, Ca dan Mg.

Kekahatan hara banyak disebabkan oleh ketidaksesuaian lingkungan, terutama pH larutan tanah (Mengel dan Kirkby, 1978). Alih rupa (transformasi) unsur-unsur hara seperti N dan P dari bentuk organik ke bentuk anorganik banyak terganggu, demikian pula penyematan (fiksasi) N bebas simbiotik maupun non simbiotik. Hal ini disebabkan karena pergantian populasi mikroorganisme dari bakteri actinomycetes dan fungi, begitu kemasaman meningkat (Pearson, *cit* Hairunsyah, 1987). Kekahatan P terutama disebabkan oleh tersematnya P pada fraksi Al dan Fe terlarut dalam suasana masam. Menurut Coleman *et al.*, (*Cit.* Sanchez, 1976) 1 me Al bertukarkan mampu menyemat 70 ppm P tersedia.

Dalam suasana sangat masam ion Ca^{2+} yang terjerap pada permukaan lempung mudah ditukar oleh H^+ menjadi Ca^{2+} yang mudah terlindi (Mengel dan Kirkby, 1978). Oleh karena itu ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada tanah masam tropika banyak hilang terlindi.

4.3. Cara Mengatasi Tanah Sulfat Masam

Untuk menanggulangi pengaruh buruk dari tanah-tanah sulfat masam dan agar tanah tersebut dapat dimanfaatkan untuk lahan

pertanian, maka perlu dilakukan usaha-usaha perbaikan yang dapat menekan atau mengurangi kendala-kendala tanah sulfat masam yang merugikan. Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai hampiran (*approach*) antara lain : (a) mempertahankan kondisi tumpat air (*waterlogged*), (b) pemberian kapur dan pemupukan, (c) usaha pengatusan dan pelindian, (d) menghambat oksidasi pirit, dan (e) penyesuaian tanaman toleran di tanah masam.

a. Mempertahankan Kondisi Tumpat Air

Mempertahankan dalam kondisi tumpat air dapat dilakukan dengan menggenangi lahan atau dengan mempertahankan permukaan air tanah di atas horison sulfurik. Hasil analisis tanah dari Suhartini *et al.* (1986) menunjukkan bahwa tanah yang dikeringkan memiliki pH sekitar 3,0 – 3,5 lebih rendah dari pada lahan basah (3,5 – 4,0) dan kadar Al dan H tertukar lebih tinggi dari pada lahan basah (Tabel 4.1). Apabila ditanami padi sawah lahan basah sangat baik dibandingkan dengan lahan kering. Karena tanaman padi yang ditumbuhkan di lahan basah dapat berkurang akibat pengaruh buruk dari pembentukan asam. Hasil produksi padi di lahan basah dapat mencapai 4,6 ton ha⁻¹ lebih tinggi dari pada di lahan yang dikeringkan (2 ton ha⁻¹).

b. Pemberian Kapur dan Pemupukan

Pemberian kapur bertujuan untuk menurunkan kemasaman tanah dengan menetralkan Al tertukarkan. Ini dapat dicapai dengan menaikkan pH sampai 5,5 (Sanchez, 1976). Percobaan di Thailand menunjukkan bahwa pemberian kapur dengan aras 3 – 6 ton ha⁻¹ memberikan efek positif terhadap hasil gabah padi. Efek positif ini

ditunjukkan dengan pengendapan Al tertukarkan (Van Breemen *cit.* Anonim, 1981).

Untuk menduga kebutuhan kapur tanah-tanah sulfat masam dapat juga dihitung dengan kandungan S yang teroksidasi (berdasarkan persentase berat kering), distribusi vertikal, berat volume tanah dan jeluk akar. Dent (1986) telah menghitung bahwa kemasaman yang berasal dari 1 kg S dapat dinetralisasi dengan 3,1 kg CaCO_3 murni.

Pengapuran tanah untuk mengatasi kemasaman sebagai usaha merubah kondisi tanah agar sesuai untuk media pertumbuhan tanaman merupakan suatu perlakuan yang mempunyai dampak rumit terhadap sifat-sifat kimia, fisika maupun biologi tanah. Pengapuran akan berpengaruh baik jika pH tanah sulfat masam di bawah 4,0. Pengaruh utama yang dianggap menguntungkan dari pemberian kapur pada tanah sulfat masam adalah terjadinya pengendapan Al, menurunkan konsentrasi Fe^{3+} , menurunkan konsentrasi H_2S dan meningkatkan ketersediaan P. Pengapuran optimum pada tanah yang mempunyai pH 3,5 – 4,0 jarang yang melampaui 3 – 6 ton ha^{-1} , pemberian yang terlampau tinggi akan berpengaruh kurang baik terhadap tanaman (Van Breemen dan Pons, 1978).

Tabel 4.1. Hasil analisis tanah sulfat masam di Karang Agung Sumatera Selatan (Suhartini, *et al.*, 1986)

Parameter yang di sidik	Lahan Kering	Lahan Basah
pH (H_2O , 1:2,5)	3,00	4,00
(KCl, 1:2,5)	3,10	3,25
N – Total (%)	0,19	0,11
C – Total (%)	3,51	2,52
Humus	6,05	4,34
C/N ratio	18,18	22,30

P – tersedia	9,00	17,10
S – tersedia	196,00	268,00
Ca (me/100 g tanah)	0,64	0,55
Mg (me/100 g tanah)	1,22	0,66
K (me/100 g tanah)	0,25	0,21
Na (me/100 g tanah)	0,31	0,30
KPK (me/100 g tanah)	16,89	12,81
Al _{dd} (me/100 g tanah)	6,32	2,77
H _{dd} (me/100 g tanah)	0,62	0,41
Fe (ppm)	185,00	200,00
Mn (ppm)	9,59	5,31
Cu (ppm)	0,10	0,21
Zn (ppm)	0,43	1,43

Pemberian kapur yang dikombinasi dengan pemupukan P akan lebih menunjukkan hasil yang nyata bahkan dapat mengurangi aras kapur yang diberikan. Hasil percobaan Manuel pillai *et al.* (1986) di Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa pemberian kapur 500 kg ha⁻¹ dikombinasi dengan pupuk P takaran 90 kg ha⁻¹ memberikan hasil paling tinggi untuk padi sawah dibandingkan dengan takaran P 45 dan 135 kg.ha⁻¹ pada takaran kapur yang sama, sedang sumber P yang berasal dari TSP.

c. Usaha Pengatusan dan Pelindian

Pada prinsipnya usaha ini dilakukan untuk melindi asam yang larut berupa asam sulfat dan garam aluminium sulfat pada pH di bawah 3,5. Akan tetapi karena daya hantar hidrolik tanah sangat rendah dan tingginya muka air tanah, usaha ini banyak mengalami kegagalan.

Asam yang larut di lapis atas (topsoil) sebagian dapat dilindi dengan pengatusan ke samping (lateral drainage). Penggenangan atau penggelontoran dengan disertai pemberian NaCl (100 kg.ha⁻¹) pada

tanah sulfat masam sebelum penggenangan dapat memudahkan untuk mengurangi aluminium tertukar (Van Breemen, 1980).

Menurunkan kemasaman dan logam-logam yang toksis dengan usaha di atas dirasa kurang praktis bila pirit berada dalam jeluk yang dangkal (Dent, 1986). Namun demikian usaha di atas masih dapat menguntungkan seandainya pengatusan dilakukan dalam jeluk yang dangkal kemudian dilanjutkan dengan usaha pelindian. Jeluk pengatusan dangkal yang disarankan Dent (1986) adalah pembuatan parit dengan jeluk 0,3 – 0,6 m dan lebar 1 m. Daur pelindian diulang kembali setiap 2 atau 3 kali sampai seluruh daerah itu tergenangi oleh air tawar dari sungai. Rupanya-rupanya usaha tersebut tidak sia-sia karena bila tanah sulfat masam tanpa diatus hanya menghasilkan gabah 0,2 – 0,5 ton.ha⁻¹ dan setelah diatus dengan jeluk dangkal serta dilanjutkan dengan pelindian hasil gabah meningkat menjadi 4 ton.ha⁻¹ (Dent, 1986).

Xuan *et al. cit* Dent (1986) melaporkan bahwa horison sulfur berada pada jeluk 30-60 cm yang mirip dengan bahan sulfidik dan sangat membahayakan apabila muncul ke permukaan tanah. Asam-asam bebas yang dihasilkan kebanyakan teronggok pada musin kering dan dapat dilindi dengan jaringan drainase, kemudian reduksi tanah dapat terjadi dalam kondisi tergenang yang dapat meningkatkan pH dan mengurangi aras meracun Al.

d. Menghambat Oksidasi Pirit

Menetralisasi asam sulfat yang dihasilkan oleh oksidasi pirit dengan menggunakan kapur aras tinggi banyak mengalami kesulitan. Hal ini dikarenakan agihan pirit yang tidak merata. Demikian juga

penggunaan kapur aras tinggi sering menimbulkan kapur turah (overliming) yang menyebabkan kemasifan tanah (Pulford *et al.*, 1986). Apabila tindakan ini tetap dilakukan maka tindakan ini tidak efisien, karena selain harga kapur yang mahal juga di daerah pirit langka kapur sehingga harus mendatangkan dari luar. Oleh karena itu harus dipilih alternatif lain untuk mengurangi kemasaman tanah. Caranya adalah menghambat oksidasi pirit. Dalam upaya ini dilakukan dengan memperhatikan tahapan penting selama oksidasi pirit yaitu alih rupa tersebut sebagai laju penentu (reaksi 8) tetapi pada tanah yang sedikit pirit, oksidasi pirit oleh ion ferri merupakan laju penentu (reaksi 9).



Dengan reaksi di atas maka dapat ditentukan tindakan penghambatan oksidasi pirit yaitu dalam bentuk pembentukan besi kompleks atau besi terendapkan. Adapun model penghambatan pirit dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Bakteriasid

Bakteriasid yang digunakan adalah Pansid (2,2' dihidroksi 5,5' diklorofenilamin). Perlakuan ini dimaksudkan untuk mencegah aktifnya bakteri *Thiobasillus ferrooxidans* yang mengoksidasi ferro menjadi ferri yang selanjutnya meningkatkan pembentukan asam sulfat.

2. Senyawa 1:10 fenantrolin

Perlakuan ini dapat menghasilkan penghambatan pelepasan asam sulfat dan menstabilisasi ion ferro dalam larutan. Senyawa 1:10 fenantrolin ini merupakan agensia kelat yang bereaksi secara spesifik dengan ion Ferro membentuk besi-kompleks.

3. Senyawa Pembentuk Fe-kelat dan Fe-endapan

Pada perlakuan ini digunakan empat jenis senyawa yaitu fosfat, silikat, sitrat dan EDDA. Keempat senyawa ini dapat mencegah pembentukan asam dalam suspensi tetapi pola pelepasannya berbeda-beda diantara keempat senyawa tersebut. Senyawa sitrat dan EDDHA (Ethylene diamine di-orthohydroxyphenylacetic acid) dikenal sebagai pembentuk kompleks besi (III). Fosfat bereaksi dengan besi (III) membentuk endapan ferri-P yang stabil dalam kondisi masam. Perlakuan dengan fosfat menyebabkan konsentrasi besi dalam larutan menurun hampir mendekati nol. Silikat dengan besi membentuk kompleks yang dapat larut atau mengendap tetapi tergantung pH dan konsentrasi besi. Pada tingkatan awal membentuk endapan kuning yang menunjukkan kompleks Fe silikat yang larut. Tindakan ini lebih jitu seandainya dikombinasi dengan usaha pelindian, karena pelindian dalam suasana alkalin dapat menurunkan Fe dan Al tertukar yaitu masing-masing 2,72 me% menjadi 1,16 me% dan 11,88 me% menjadi 6,84 me%. Selain itu dalam suasana alkalin oksidasi pirit dapat terhambat (Maas, 1989). Hal ini dapat ditunjukkan bahwa tanah sulfat masam apabila diperlakukan dalam suasana alkalin kandungan sulfatnya turun sangat tajam yaitu 12,5 me% menjadi 2,89 me%. Amelioran yang digunakan adalah air laut 12,5% (Maas, 1989).

4. Penggunaan sisa-sisa industri arang dan pemanfaatan pupuk organik.

PFA (Pulverized Fuel Ash) merupakan sisa-sisa dari pabrik arang api yang mempunyai komponen 50% SiO_2 . Akibatnya ion H^+ , Fe^{2+} dan Fe^{3+} dapat terjerap pada permukaan PFA ini. Hasilnya menunjukkan warna kuning yang berarti terjadi ikatan e-silikat. Analisis air menunjukkan bahwa Si dari PFA sekitar 10-60 mg.l^{-1} .

Pemanfaatan pupuk organik dari kotoran ayam dan sisa-sisa kayu dapat menghambat pelepasan asam sulfat dan besi dari oksidasi pirit. Mekanisme ini diduga dengan terbentuknya kelat ion Fe^{2+} atau Fe^{3+} dengan gugus fungsional dari sisa-sisa kayu dan kotoran ayam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu amandemen yang dapat menghambat oksidasi pirit.

e. Adaptasi Tanaman Toleran di Tanah Masam

Bohn *et al*(1979) mengatakan bahwa pengelolaan tanah masam membutuhkan tanaman yang tenggang (toleran) masam untuk menurunkan biaya pengapuran yang besar karena ketersediaan kapur, transportasi, dan biaya untuk menumbuk.

Tanaman tenggang masam adalah tanaman yang tenggang terhadap kemasaman tanah yang mencakup tenggang terhadap Al dan Fe (atau Mn), dan kekahatan N, P, Ca, Mg dan hara-hara mikro seperti Zn dan Co (Sanchez dan Salinas, 1981). Menurut Foy (cit. Sanchez, 1976) tanaman yang tenggang masam terhadap Aluminium tertular tinggi mempunyai sifat-sifat : (1) akar dapat berkembang dan tidak rusak pada kondisi masam, (2) aktifitas akar dapat menaikkan pH di daerah perakaran, (3) translokasi Al ke pucuk tanaman rendah (Al

diakumulasi di akar), (4) Al di akar tidak menghambat penyerapan Ca, Mg, K dan P, dan (5) pada tanaman padi dengan kandungan silikat tinggi tenggang terhadap kemasaman tanah.

Beberapa jenis tanaman pangan yang tenggang masam antara lain kentang dapat hidup di atas tanah dengan pH di bawah 5,5 (Sanchez dan Salinas, 1981). Cassava (ketela pohon) sangat tenggang terhadap aras Al dan Mn tinggi dan aras Ca, N dan K rendah (Gomes dan Howeler, *bock cit.* Sanchez dan Salinas, 1981).

Untuk tanaman tahunan, beberapa tanaman yang tenggang masam antara lain kopi dapat tumbuh pada pH 3,8 tanpa pengapuran (Sanchez, 1976). Teh dapat hidup pada pH 4,5 walaupun pada kondisi ini unsur P terjepap tetapi akarnya dapat mengakumulasi Al sehingga tanaman tidak terganggu adanya Al yang toksis (Young, 1976). Tanaman karet mempunyai kisaran pH optimum 4,0 – 6,5 dan dapat hidup pada kisaran pH 3,5 – 8,0 (Anonim *cit.* Young, 1976)

4.4. Evaluasi Lahan Sulfat Masam

Penelitian ini telah dilaksanakan di Desa Mulia Sari dan Desa Banyu Urip Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Penelitian dimulai dengan pengambilan Sampel tanah yang mempunyai tipe A, B,C dan D di desa Mulia Sari dan Banyu Urip, Telang II. Pengambilan Sampel dilaksanakan pada bulan Agustus 2016 (Budianta et al., 2017). Hasil pengambilan sampel tanah di uji kimia tanah di laboratorium melalui laboratorium tanah di Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Uji biologi juga dilakukan pada laboratorium biologi Universitas Sriwijaya.

4.4.1. Kondisi Lahan pada Lokasi Sampling

Dua belas Sampel tanah dari lapisan olah pada kedalaman 0-20 cm diambil dari empat tipologi yang berbeda dari areal pertanian di musim kemarau pada bulan Agustus 2016, sedangkan periode musim kemarau biasanya terjadi pada bulan April hingga Oktober dan sampling diambil dari dua daerah transmigrasi dari Telang II Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan yang terletak di desa Mulia Sari dan Banyu Urip (Budianta et al., 2017). Sejak 1981, rawa pasang surut daerah Telang II telah direklamasi dan sekitar 13.800 ha areal tersebut memiliki potensi untuk pertanian (Marlina et al., 2015). Di dua tempat sampling tanah yang terdiri dari 4 tipologi lahan yang berbeda dari tanah rawa tipologi A dan B terletak di Desa Mulia Sari dan tipologi C dan D di Desa Banyu Urip. Penggunaan lahan pertanian di sekitar Mulia Sari dan Banyu Urip dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Penggunaan Lahan Pertanian di Sekitar Mulia Sari dan Banyu Urip (Intimulya Multikencana, 2009 dalam Budianta et al., 2017)

No	Desa	Lahan Pertanian (ha)	Penggunaan Lahan
1	Tegal Sari	1,787.27	Kelapa : 48.17 ha Kelapa Sawit : 135.43 ha Padi : 1,603.40 ha Parit tertier e: 44 ha
2	Mulia Sari	1,057.70	Semua Tanaman Padi Parit tertier : 44 ha
3	Banyu Urip	1,431.85	Semua Padi Parit tertier : 44 ha
4	Bangun Sari	1,431.85	Semua padi Parit tertier : 44 ha
5	Sumber Mekar	785.93	Tanaman padi Parit tertier 44 ha

Empat jenis tipologi lahan pasang surut yang berada di Desa Mulia Sari dan Banyu Urip berdasarkan limpahan air, yaitu (1) Tipe A, banjir terjadi baik selama pasang rendah dan tinggi, (2) tipe B, banjir terjadi hanya ketika pasang tinggi, (3) jenis C, tidak pernah banjir bahkan selama pasang tinggi dan kedalaman air tanah < 50 cm, dan (4) jenis D, tidak pernah banjir bahkan selama pasang tinggi dan kedalaman air tanah > 50 cm (Widjaya-Adhi et al, 1992; Rahmi et al, 2015). Pengambilan contoh tanah di dua desa di Mulia Sari ditemukan tipe A dan B yang terletak di wilayah selatan masing-masing berada pada jembatan kesembilan belas dan ketiga (Rahmi et al., 2015), sementara tipe C dan D diperoleh di desa Banyu Urip masing-masing berada di jembatan keempat selatan dan pada keempat jembatan utara. Selama sampling, tipe A terlihat dalam kondisi tanah kosong setelah panen padi yang ditumbuhi rumput rawa, selanjutnya semua jenis B, C, dan D masing-masing sedang ditanami tanaman jagung dalam kondisi hampir panen (Budianta et al., 2017). Dengan pemupukan pada dosis tinggi di tanah rawa ini, dapat dipanen sekitar 4-7,5 beras ton/ha di Mulia Sari (Rahmi et al., 2015). Sementara tipe C dari lahan rawa di Kalimantan Selatan dapat ditanami kedelai setelah tanah diperbaiki dengan pengapuran dan mendapatkan kenaikan kedelai sekitar 2,4 ton/ha (Wijanarko et al. 2016).

4.4.2. Evaluasi lahan pasang surut yang telah dibuka 30 tahun di Transmigrasi Telang II, Tanjung Lago, Sumatera Selatan

Lahan rawa pasang surut disebut juga lahan sub-optimal dan umumnya mempunyai ekosistem marginal dan rapuh, tetapi lahan

tersebut memiliki potensi dimanfaatkan untuk pengembangan tanaman pangan seperti padi, kedelai dan jagung, serta tanaman hortikultura seperti jeruk dan sayuran (Koesrini . et al, 2013; Koesrini et al, 2014).. Menurut Widjaya Adhi et al. (1992) dalam Budianta et al (2017) bahwa lahan basah dibedakan berdasarkan pada kondisi pasang surut di musim hujan dan pengaruh air laut di musim kemarau, dibagi menjadi tiga zona, yaitu: 1) payau (zona I), 2) air tawar pasang surut (zona II) dan non pasang surut (zona III). Lahan pasang surut berdasarkan agro-ekosistem dapat dibagi menjadi empat tipologi utama yaitu lahan potensial, tanah sulfat masam, lahan gambut dan lahan garam. 1) Lahan Potensial adalah tanah pada lapisan atas 0 - 50 cm, memiliki kandungan pirit rendah 2 persen dan belum mengalami proses oksidasi. 2) tanah sulfat masam adalah tanah yang memiliki lapisan pirit atau sulfida pada kedalaman <50 cm dan semua tanah yang memiliki lapisan sulfirik, meskipun kedalaman pirit berada pada lapisan > 50 cm. Lapisan pirit adalah lapisan sulfida dengan kadar pirit > 2 persen. Sedangkan bahan sulfirik adalah lapisan yang menunjukkan jerosite (lapisan coklat) atau proses oksidasi pirit dengan pH (H₂O) <3,5. Tanah sulfat masam dibagi menjadi (i) Sulfat masam aktual yang sebenarnya disebut tanah sulfat masam saja, dan (ii) Sulfat masam potensial yang tidak atau belum mengalami proses oksidasi pirit. 3) Lahan gambut adalah lahan basah yang memiliki lapisan gambut dan gambut tebal ditandai dengan gambut dangkal (ketebalan 50-100 cm), gambut sedang (ketebalan 100 - 200 cm), gambut agak dalam (200-300 cm) dan gambut dalam (> 300 cm). Muktamar dan Adiprasetyo (1993) dalam Budianta et al (2017)

mengatakan bahwa gambut memiliki prospek besar untuk budidaya tanaman. Untuk kelapa dan budidaya kelapa sawit dapat dilakukan pada gambut menengah dan dalam, 4) lahan Salin adalah tanah yang menerima pengaruh air asin garam, ketika di bawah pengaruh air laut / asin selama 4 bulan dalam setahun dan kandungan dari Na dalam larutan tanah 8 persen sampai 15 persen. Berdasarkan hydrotopography, lahan rawa dibagi menjadi empat jenis yang membutuhkan manajemen yang berbeda. Tipe A adalah daerah rawa yang selalu pasang baik pasang besar dan pasang kecil. Tipe B adalah tanah yang tergenangi hanya dengan diluapi pasang surut. Tipe C adalah tanah yang tidak tergenangi karena luapan, baik pada pasang besar dan kecil, tapi kedalaman air tanah kurang dari 50 cm dari permukaan tanah. Tipe D tidak pernah terluapi baik pada pasang besar dan kecil, tapi kedalaman air tanah lebih dari 50 cm dari permukaan tanah. Berdasarkan agro-ekosistem, Mulia Sari dan Banyu Urip memiliki tanah sulfat masam potensial dan air tawar pasang surut. Petani menanam padi, jagung dan kelapa di tanah mereka untuk memenuhi kehidupan mereka dan mendapatkan penghasilan (Budianta et al, 2017). Untuk lebih memahami beberapa sifat kimia tanah rawa pasang surut setelah dibuka 30 tahun yang lalu, akan dibahas beberapa sifat kimia di bawah ini.

a. Kemasaman Tanah

Kemasaman tanah yang ditunjukkan oleh pH adalah salah satu faktor yang paling mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman, karena beberapa hara yang dibutuhkan tanaman akan sulit

tersedia untuk pertumbuhan tanaman dalam kondisi masam. Kemasman yang tinggi di tanah sulfat masam dapat terjadi proses pedogenesis dan/atau karena akar mengeluarkan asam-asam organik yang menyebabkan nilai pH tanah rendah (Tuyen et al., 2006). Kondisi kemasman akan meningkat dengan hadirnya kation trivalence (Al^{3+}) (Kochian et al., 2005). Pada rawa pasang surut yang telah dibuka lebih dari 30 tahun ini menunjukkan pH tanah masih di bawah 5,0 dengan nilai pH berkisar 4,0-4,59 (sangat masam hingga masam) yang terjadi semua tipologi lahan A, B, C dan D dengan diikuti oleh tingginya H^+ dan Al^{3+} (Tabel 4.2). Nilai H^+ dan Al^{3+} dapat dipertukarkan berkisar antara 0,65-1,0 cmol (+) kg^{-1} untuk ion H^+ dan 1,77-4,49 cmol (+) kg^{-1} untuk ion Al^{3+} (Tabel 4.3) (Budianta et al., 2017).

Kemasman yang tinggi atau pH terendah ditunjukkan pada lahan yang mempunyai nilai H^+ dan Al^{3+} dipertukarkan tertinggi yang ditemukan pada tipologi lahan A dengan kondisi lahan setelah panen padi (Tabel 4,2), itu bisa disebabkan oleh proses nitrifikasi dari pemupukan nitrogen yang menyebabkan pH tanah menurun. Hasil yang mirip dilaporkan pada tanah sulfat masam yang berasal dari Merbok, Kedah, Peninsular, Malaysia bahwa tanah memiliki Al^{3+} yang dapat dipertukarkan 4,26 cmol (+) kg^{-1} (Elisa et al., 2016). Sagala (2010) dalam Budianta et al (20017) melaporkan bahwa pH tanah yang berasal dari Banyu Urip memiliki nilai 4,6, dan setelah diberi kapur dengan dosis 2,5 ton ha^{-1} pH tanah meningkat hingga 5.36.

Tabel 4.3. Kemasman Tanah (pH tanah), H⁺ and Al³⁺ dapat tertukar (Budianta et al., 2017)

No	Tipologi Lahan	pH Tanah (1:1)	H ⁺	Al ³⁺ dapat tertukar
			(Cmol(+) kg ⁻¹)	
1	A	4.05 ± 0.07	1.00 ± 0.16	4,49 ± 0.66
2	B	(sm)	0.65 ± 0.13	2,27 ± 0.13
3	C	4.59 ± 0.22 (m)	0.75 ± 0.19	2,03 ± 0.55
4	D	4.44 ± 0.09 (sm) 4.55 ± 0.08 (m)	0.87 ± 0.10	1,77 ± 0.36

Keterangan : Sm: sangat masam, m : masam

d. Kadar Karbon Organik Total dan Kapasitas Tukar Kation

Bahan organik memiliki kemampuan untuk mengurangi toksisitas Al dalam tanah melalui mekanisme kelasi (Shamsuddin *et al.*, 1994). Karbon organik dan kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi masih terjadi pada empat tipologi lahan rawa baik di Mulia Sari dan Banyu Urip (Tabel 4.4). Kisaran karbon organik diperoleh antara 44,11-62,57 g kg⁻¹, sedangkan KTK dengan nilai 23,20-30,45 cmol (+) kg⁻¹. Hasil serupa ditemukan oleh Sagala (2010) dan Sagala et al (2011) bahwa asam sulfat tanah dari Banyu Urip memiliki C-organik 62,0 g kg⁻¹.

Bahan organik adalah juga merupakan faktor yang paling penting bagi KTK tanah, karena komponen tanah yang dikenal mempengaruhi KTK tanah adalah bahan organik dan kandungan klei (Rashidi dan Seilsepour 2008). Sedangkan kandungan pirit pada rawa

pasang surut sudah rendah berkisar antara 0,22-0,39% (Tabel 4.4). Shamsudin et al (1994) menemukan bahwa C organik tanah sulfat masam yang berasal dari Malaysia mempunyai nilai antara 41,9-74,9 g kg⁻¹ yang kandungan pirit berkisar antara 0,02-0,60%.

e. Kandungan kation-Kation Basa

Fluktuasi kation basa yang dapat dipertukarkan seperti Na⁺, Ca²⁺ dan Mg²⁺ disajikan pada Tabel 4.5. Kalsium dalam tanah diperoleh sangat rendah pada lahan rawa pasang surut yang telah dibuka lebih dari 30 tahun dengan nilai antara 0,79-1,83 cmol (+) kg⁻¹. Kation-kation Ca²⁺ dan Mg²⁺ dipertukarkan terendah ditemukan pada lahan rawa pasang surut. Hal ini dikarenakan kemungkinan terjadinya pencucian logam keluar dari lapis olah. Sementara magnesium ditemukan mulai dari sangat rendah sampai dengan rendah dengan nilai 0,15-0,90 cmol (+) kg⁻¹ (Tabel 4,4). Kation dipertukarkan sangat tinggi dengan nilai 0,80-1,99 cmol (+) kg⁻¹ hanya ditemukan untuk Na⁺ di tipologi A dan tipologi C, itu berarti bahwa pedogeneis tanah sulfat masam benar-benar terjadi karena ada air garam dari laut yang masuk melalui pasang surut pada kondisi pasang. Natrium juga merupakan hara makro, tetapi tidak semua tanaman memerlukan logam ini. Hal ini dikarenakan fungsi natrium dalam tanah dapat digantikan oleh adanya kalium dalam tanah atau dapat berasal dari pupuk. Kalau petani aktif melakukan penambahan hara melalui pemupukan, maka pengaruh buruk dari sifat-sifat tanah sulfat masam dapat diperbaiki, apalagi sebelumnya diberi tambahan kapur dan/atau kompos.

Tabel 4.4. Kadar C-organik, Kapasitas Tukar Kation and Kandungan Pirit (Budianta et al., 2017)

No	Tipologi Lahan	Karbon organik (g/kg)	Kapasitas Tukar Kation (Cmol (+)/kg)	Pyrite (%)
1	A	51.97 ± 9.77	30.45 ± 7.53	0.39±0.18
2	B	(St)	(t)	0.22±0.03
3	C	62.56 ± 6.52	24.65 ± 6.64 (t)	0.31±0.05
4	D	(St)	23.20 ± 2.511	0.25±0.03
		44.11 ± 7.11 (t)	(s)	
		55.43 ± 6.08 (St)	30.45 ± 0.00 (t)	

Keterangan: St = sangat tinggi, t = tinggi, s = sedang, r = rendah

f. Kadar N total, P Bray dan K dalam Tanah

Nitrogen merupakan unsur hara makro esensial yang paling banyak dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhannya terutama untuk fase vegetatif, sehingga kekuarangan nitrogen tanaman akan kerdil dan tidak memberikan hasil yang maksimal. Nitrogen total dalam tanah rawa pasang surut yang telah dibuka lebih dari 30 tahun ditemukan sangat rendah dengan nilai berkisar 1,48-1,67 g kg⁻¹ (Tabel 4.6), sedangkan kandungan fosfat sangat rendah hanya diperoleh pada tipologi A, tiga tipologi lainnya P ditemukan sangat tinggi akibat sudah lama lahan ini dikasih pupuk P terus menerus oleh Petani. Selanjutnya, K dipertukarkan diperoleh mulai dari nilai rendah sampai tinggi dengan nilai 0,28-0,79 cmol (+) kg⁻¹ (Tabel 4.6).

Table 4.5. Beberapa Kation basa Natrium, Calcium and Magnesium yang dapat dipertukarkan (Budianta et al., 2017)

No	Tipologi lahan	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		Dapat dipertukarkan (Cmol (+)/kg)		
1	A	0.80 ± 0.27 (t)	0.79 ± 0.17 (sr)	0.15 ± 0.06 (sr)
2	B	0.69 ± 0.16 (s)	1.83 ± 0.17 (sr)	0.44 ± 0.04 (r)
3	C	1.99 ± 1.13 (st)	1.77 ± 0.19 ((sr)	0.90 ± 0.53 (r)
4	D	0.24 ± 0.04 (r)	1.70 ± 0.27 (sr)	0.54 ± 0.17 (r)

Keterangan: St = sangat tinggi, t = tinggi, s = sedang, r = rendah

Tabel 4.6. Kandungan N, P and K pada lahan pasang surut (Budianta et al., 2017)

No	Tipologi lahan	N total (g/kg)	P (mg/kg)	K Cmol(+)/kg
1	A	1.68 ± 0.93	9.40 ± 2.32	0.28 ± 0.13 (r)
2	B	(r)	(sr)	0.79 ± 0.48 (t)
3	C	1.87 ± 0.07	71.35 ± 23.19	0.32 ± 0.00 (r)
4	D	(r)	(st)	0.58 ± 0.08 (r)
		1.48 ± 0.27 (r)	70.25 ± 7.88 (st)	
		1.68 ± 0.24 (r)	58.95 ± 12.54 (st)	

Keterangan: St = sangat tinggi, t = tinggi, s = sedang, r = rendah, sr = sangat rendah

4.5. Kondisi Biologi Tanah Pasang Surut

4.5.1. Pengambilan sampel

Sampel yang digunakan sebagai sumber isolat diambil dari 4 (empat) tipologi lahan lahan pasang surut masing-masing dari 3 (tiga) titik sampling. Empat tipologi pasang surut yang dimaksud adalah tipologi A, tipologi B, tipologi C, dan tipologi D. Pengambilan sampel dilakukan secara aseptik dan ditempatkan pada kantong plastik steril.

4.5.2. Isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat

Dari sampel tanah *rhizosphere* selanjutnya masing-masing dibuat seri pengenceran dengan cara 10 gram sampel tanah dihaluskan dan dimasukkan ke dalam 90 ml larutan fisiologis steril (8,5 gram NaCl dalam 1000 ml akuades), selanjutnya dibuat seri pengenceran mulai 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , dan 10^{-6} . Isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat menggunakan medium Pikovskaya (5 g glukosa, 10 g $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, 0,5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2 g KCl, 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, sedikit sekali MnSO_4 , sedikit sekali FeSO_4 , 0,5 g yeast ekstrak, dalam 1000 ml akuades). Dari pengenceran 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} yang dibuat masing-masing diambil 1 ml kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri steril dan kemudian ditambahkan 15 ml medium Pikovskaya yang masih cair tetapi suhunya masih $\pm 40^\circ\text{C}$, lalu dihomogenkan dengan cara memutar-mutar cawan petri yang telah berisi mikroba dan media, kemudian didiamkan hingga membeku dan diinkubasi pada suhu 37°C di dalam inkubator selama 2 x 24 jam (Premono, 1994). Pertumbuhan bakteri dan fungi yang berpotensi melarutkan fosfat diindikasikan oleh adanya zona bening di sekitar koloni bakteri dan fungi yang tumbuh yang merupakan indikator adanya pelarutan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ oleh bakteri.

4.5.3. Pemurnian bakteri pelarut fosfat

Dari semua isolat bakteri yang membentuk zona bening selanjutnya dimurnikan dengan cara mengambil masing-masing isolat kemudian dipindahkan ke medium Pikovskaya yang baru dengan metode cawan gores (*streak plate*) dan diinkubasi pada suhu 37°C

selama 2 x 24 jam. Isolat yang menunjukkan adanya pertumbuhan yang sudah murni (hanya satu macam) merupakan isolat yang murni, sedangkan isolat yang belum murni akan dimurnikan lagi sampai didapatkan isolat murni (Enriquez, *et al*, 1994).

4.5.4. Isolasi, seleksi, dan pemurnian bakteri pemfiksasi nitrogen

Dari sampel perakaran tanah (*rhizosphere*) selanjutnya masing-masing dibuat seri pengenceran dengan cara 10 gram sampel dimasukkan ke dalam 90 ml larutan fisiologis steril (8,5 gram NaCl dalam 1000 ml akuades), selanjutnya dibuat seri pengenceran mulai 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , dan 10^{-6} .

Isolasi bakteri pemfiksasi nitrogen menggunakan medium LGI (1g CaCO_3 , 1g K_2HPO_4 , 0,2 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,1 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5,0 mg $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 5 g sukrosa, 5 mL bromophenol blue solution, 1000 ml akuades). Dari pengenceran 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} yang dibuat masing-masing diambil 1 ml kemudian dimasukkan ke dalam cawan petri steril dan kemudian ditambahkan 15 ml medium LGI yang masih cair tetapi suhunya masih $\pm 40^\circ\text{C}$, lalu dihomogenkan dengan cara memutar-mutar cawan petri yang telah berisi mikroba dan media, kemudian didiamkan hingga membeku dan diinkubasi pada suhu 37°C di dalam inkubator selama 2 x 24 jam. Pertumbuhan bakteri yang berpotensi memfiksasi nitrogen diindikasikan oleh adanya pertumbuhan bakteri karena medium LGI tidak mengandung nitrogen (N).

4.5.5. Pemurnian bakteri pemfiksasi nitrogen

Dari semua isolat bakteri yang tumbuh pada medium LGI selanjutnya dimurnikan dengan cara mengambil masing-masing isolat kemudian dipindahkan ke medium LGI yang baru dengan cara cawan gores (*streak plate*) dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 2 x 24 jam. Isolat yang menunjukkan adanya pertumbuhan yang sudah murni (hanya satu macam) merupakan isolat yang murni, sedangkan isolat yang belum murni akan dimurnikan lagi sampai didapatkan isolat murni (Enriquez, *et al*, 1994).

4.5.6. Identifikasi bakteri pelarut fosfat dan bakteri pemfiksasi nitrogen

Isolat bakteri pelarut fosfat dan bakteri pemfiksasi nitrogen yang telah murni selanjutnya akan diidentifikasi menggunakan pendekatan biologi molekuler berbasis gen 16S rRNA. Tahapan penelitian yang telah dilakukan meliputi isolasi DNA dengan Kit *Wizard Genomic DNA* purifikasi (Promega), amplifikasi fragmen gen 16S-rRNA dengan metode *Polymerase Chain Reaction (PCR)*, elektroforesis, sekuensing menggunakan jasa 1st Base Malaysia, dan analisis filogenetik menggunakan metode BLAST melalui situs *National Centre for Biotechnology Information (NCBI)*.

4.5.7. Hasil isolasi, skrining, dan pemurnian bakteri pelarut fosfat

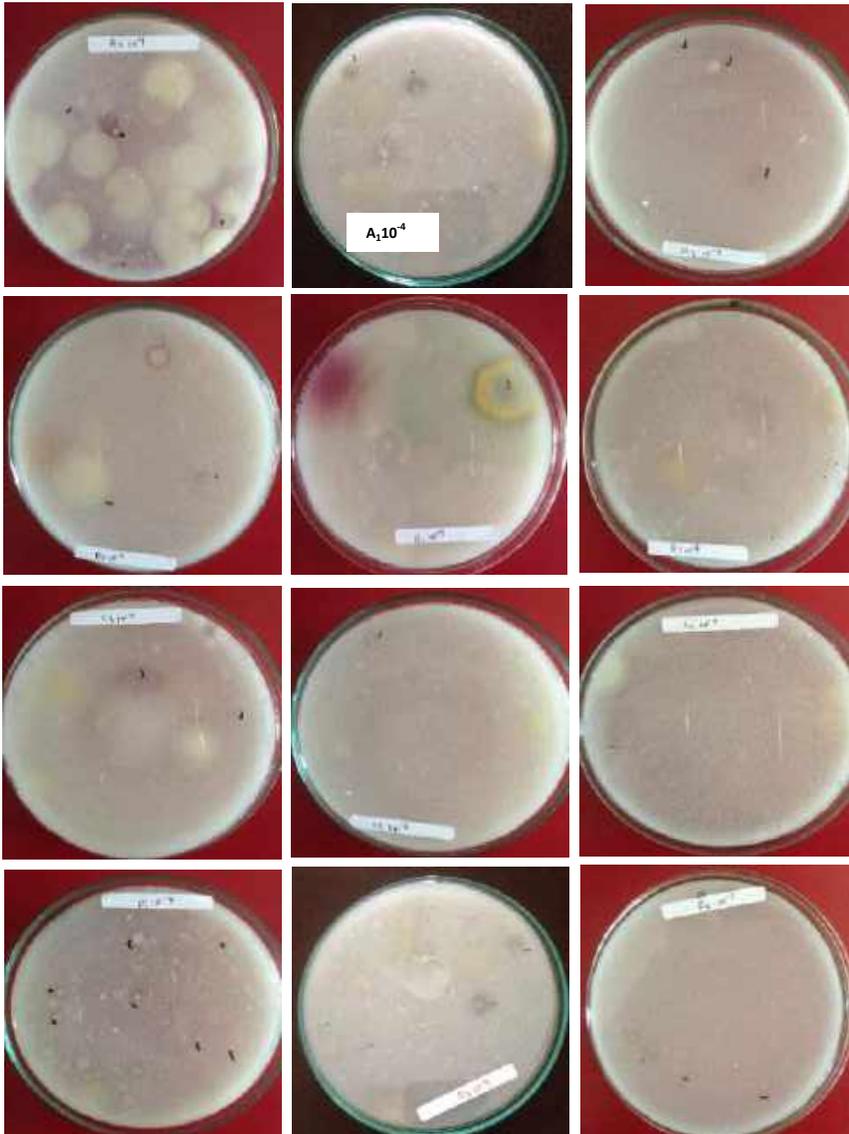
Isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat dilakukan dengan menggunakan medium Pikovskaya dengan indikator jika terbentuk zona bening (*clear zone*) di sekeitar koloni bakteri maka dapat

dipastikan bahwa isolate bakteri tersebut dapat melarutkan fosfat. Dari proses isolasi dan skrining dapat dilihat bahwa ditemukan isolate bakteri pelarut fosfat dari sampel tipologi lahan A, B, C, dan D. Hasil isolasi dan skring bakteri pelarut fosfat menunjukkan hasil yang masih padat dan zona bening yang terbentuk juga masih terlihat belum optimal (Gambar 1). Isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari proses skrining selanjutnya dimurnikan agar diperoleh isolat murni bakteri pelarut fosfat. Isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari hasil pemurnian sebanyak 11 isolat bakteri dengan perincian dari tipologi lahan A diperoleh 1 (satu) isolat, dari tipologi lahan B diperoleh 5 (lima) isolat, dari tipologi lahan C diperoleh 2 (dua) isolat, dan dari tipologi lahan D diperoleh 3 (tiga) isolat bakteri pelarut fosfat (Tabel 4.7 dan Gambar 4.1).

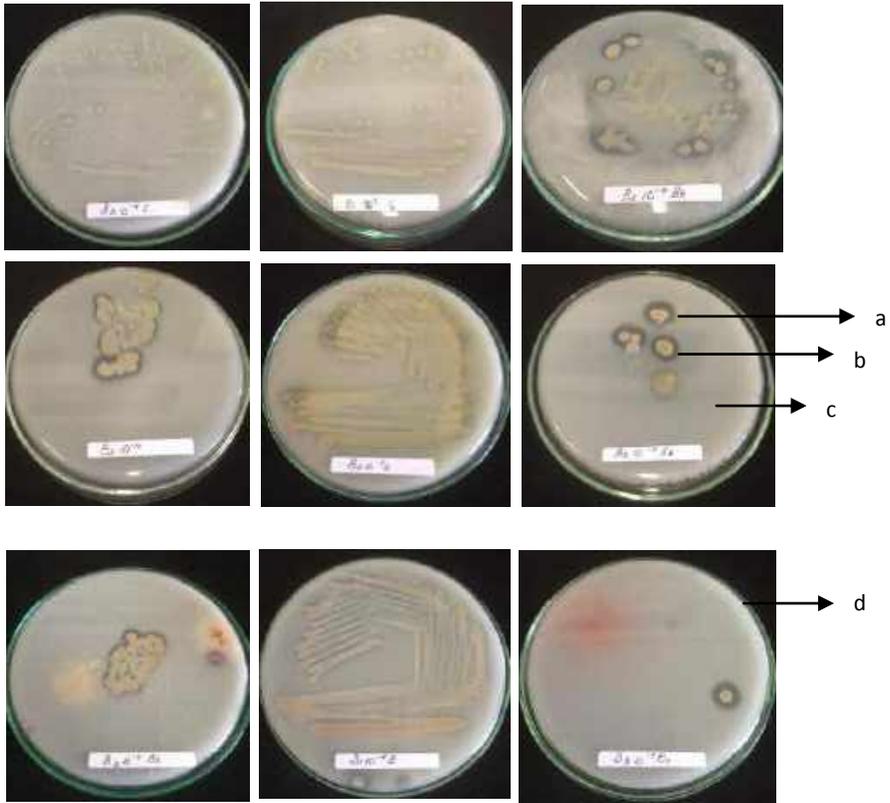
Tabel 4.7. Isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari tipologi lahan A, B, C, dan D

No.	Asal Isolat	Jumlah isolat	Kode isolat
1.	TIPOLOGI A (S:02°41'24'', E:104°45'25'')	1	A _{3b}
2.	TIPOLOGI B (S: 02°39'26'', E:104°44'27'')	5	B _{1b} , B _{2bd} , B _{2e} , B _{3b1} , B _{3b2}
3	TIPOLOGI C (S:02°39'44'', E:104°44'027'')	2	C _{1a} , C _{2a}
4	TIPOLOGI D S:02°38'37'', E:104°43'16'')	3	D _{1b} , D _{1d} , D _{3b}

Dari 11 isolat bakteri pelarut fosfat hasil skrining dapat dilihat bahwa kemampuan melarutkan fosfatnya berbeda-beda, hal ini data dilihat dari besar-kecilnya zona bening yang dibentuk oleh masing-masing bakteri (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Hasil isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat



Gambar 4.2. Hasil isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat dari lahan pasang surut Tipologi lahan A, B, C dan D
 a. Koloni bakteri b. Zona bening (*clear zone*) c. Medium Pikovskaya

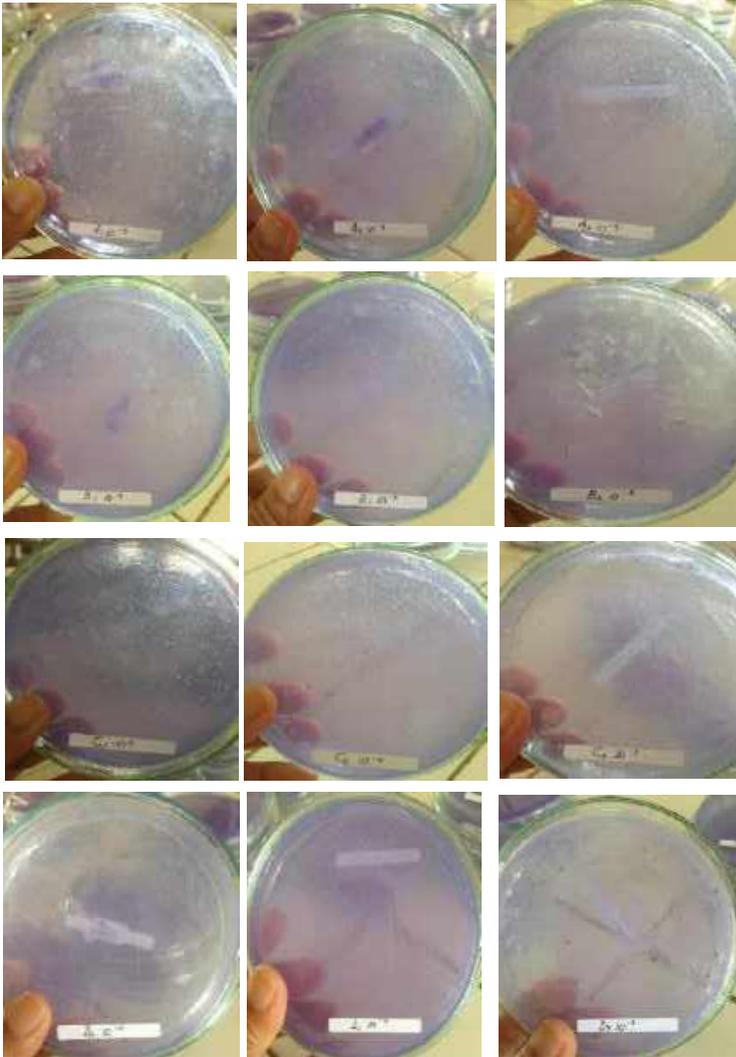
Tabel 4.8. Hasil Identifikasi bakteri pelarut fosfat

No.	Kode isolat	Spesies bakteri
1	A3b	<i>Bacillus mycoides</i>
2	B1b	<i>Bacillus altitudinis</i>
3	B2bd	<i>Burkholderia arboris</i>
4	B2e	<i>Burkholderia metallica</i>
5	B3bb	<i>Burkholderia cepacia</i>

6	B3bc	<i>Burkholderia latens</i>
7	C1a	<i>Belum teridentifikasi</i>
8	C2a	<i>Belum teridentifikasi</i>
9	D1b	<i>Burkholderia cepacia</i>
10	D1d	<i>Rhizobium miluonense</i>
11	D3b1	<i>Burkholderia cepacia</i>

4.5.8. Hasil isolasi, skrining, dan pemurnian bakteri pemfiksasi nitrogen

Isolasi dan skrining bakteri pemfiksasi nitrogen dilakukan dengan menggunakan medium LGI dengan indikator jika bakteri bisa tumbuh pada medium LGI yang bebas nitrogen berarti bakteri tersebut dapat memfiksasi nitrogen. Dari proses isolasi dan skrining dapat dilihat bahwa ditemukan isolat bakteri pemfiksasi nitrogen dari sampel tipologi lahan A, B, C, dan D. Hasil isolasi dan skring bakteri pemfiksasi nitrogen menunjukkan hasil yang masih padat dan dapat merubah warna medium dari biru karena adanya mengandung bromophenol blue (Gambar 4.3).



Gambar 4.3. Hasil isolasi dan skrining bakteri pemfiksasi nitrogen

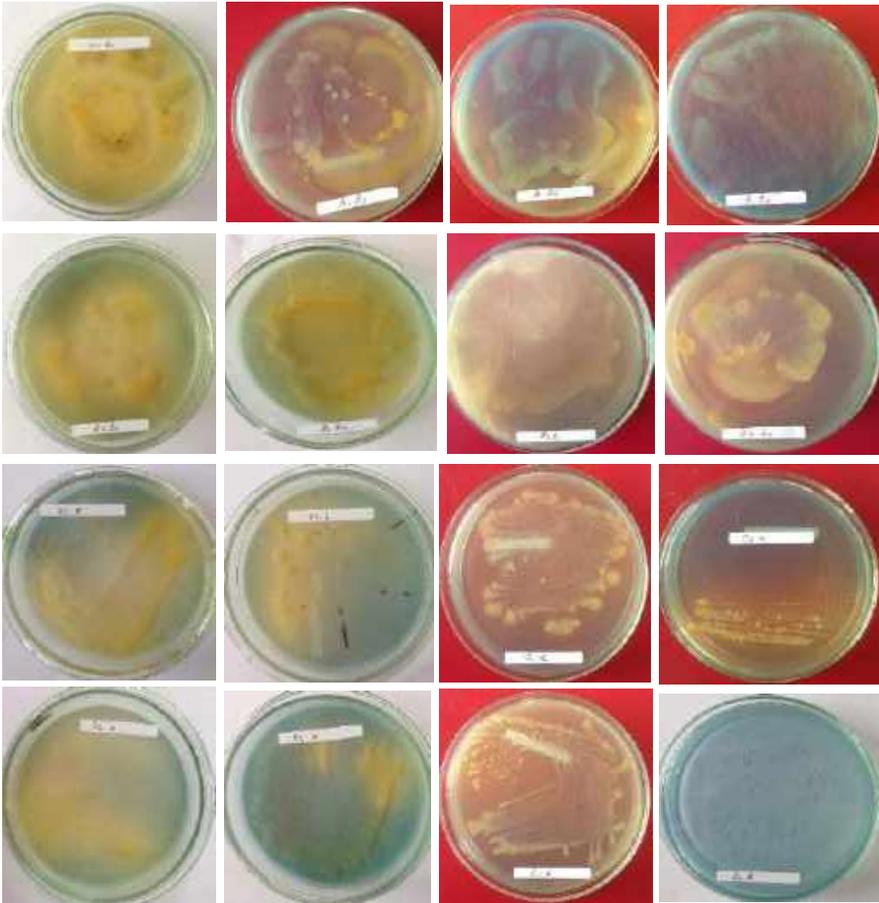
Isolat bakteri pemfiksasi nitrogen yang diperoleh dari proses skrining selanjutnya dimurnikan agar diperoleh isolat murni bakteri pemfiksasi nitrogen. Isolat bakteri pemfiksasi nitrogen yang diperoleh dari hasil pemurnian sebanyak 20 isolat bakteri dengan perincian dari tipologi

lahan A diperoleh 4 (empat) isolat, dari tipologi lahan B diperoleh 4 (empat) isolat, dari tipologi lahan C diperoleh 4 (empat) isolat, dan dari tipologi lahan D diperoleh 4 (empat) isolat bakteri pemfiksasi nitrogen (Tabel 4.9).

Tabel 4.9. Isolat bakteri pemfiksasi nitrogen yang diperoleh dari tipologi lahan A, B, C, dan D

No.	Asal Isolat	Jumlah isolat	Kode isolat
1.	Tipologi A (S:02°41'24'',E:104°45'25'')	8	A1b3, A1b4, A1b5, A2b1, A2b2, A2b4, A3b1, A3b2
2.	Tipologi B (S: 02°39'26'', E:104°44'27'')	4	B2b4,B2b5, B3b4, B3b1
3	Tipologi C (S:02°39'44'', E:104°44'027'')	4	C1a, C1b, C2b, C3b
4	Tipologi D (S:02°38'37'', E:104°43'16'')	4	D1a, D1b,D2a, D3b

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa jumlah isolat yang banyak dijumpai pada lahan tipologi A, sedangkan untuk lahan tipologi B,C,dan D, diperoleh isolat yang sama yaitu masing-masing 4 (empat isolat), hal ini diduga berhubungan dengan kondisi tanah pada masing-masing tipologi lahan. Isolat murni bakteri pemfiksasi nitrogen yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4. Hasil pemurnian isolat bakteri pemfiksasi nitrogen

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Diperoleh 11 isolat bakteri pelarut fosfat dari lahan pasang surut, satu isolat dari lahan tipologi A, 5 (lima) isolat dari lahan tipologi B, 2 (dua) isolat dari lahan tipologi C, dan 3 (tiga) isolat dari lahan tipologi D.
2. Sembilan isolat bakteri pelarut fosfat dari lahan pasang surut teridentifikasi sebagai *Bacillus mycoides*, *Bacillus altitudinis*,

Burkholderia arboris, *Burkholderia metallica*, *Burkholderia cepacia*, *Bulkholderia latens*, *Rhizobium miluonense*, dan 2 (dua) isolat belum teridentifikasi

3. Diperoleh 20 isolat bakteri pemfiksasi nitrogen dari lahan pasang surut, 8 (delapan) isolat dari lahan tipologi A dan masing-masing 4 (empat) isolat dari lahan tipologi B,C,dan D.

4.6. Pertumbuhan Tanaman Sorgum di Lahan Pasang Surut

Pertumbuhan sorgum ini merupakan hasil penelitian hibah profesi tahun 2021. Sorgum merupakan salah satu tanaman sereal alternatif yang tepat untuk diusahakan di lahan sub optimal pasang surut. Tanaman Sorgum lebih tahan kekeringan dibandingkan dengan tanaman pangan lainnya misalnya jagung, dan gandum. Sumarno dan Karsono (1995) menyatakan bahwa tanaman sorgum mampu tumbuh dan berproduksi di lahan-lahan yang kesuburannya rendah dan biji sorgum dapat diusahakan sebagai bahan baku industri, pangan, dan pakan ternak. Hoeman (2007) melaporkan bahwa sorgum memiliki kandungan protein yang tinggi, resisten terhadap hama dan penyakit serta memiliki daya adaptasi yang baik sehingga tanaman ini bisa menjadi pilihan untuk dibudidayakan dilahan yang kurang subur atau marginal.

Di Sumatera Selatan memiliki lahan pasang surut yang cukup luas. Dan sampai saat ini masih diupayakan untuk budidaya tanaman pangan (misal Kedelai, padi dll), walaupun hasilnya masih sangat rendah (Budianta et al., 2019). Kendala utama pada pengusahaan pertanian pada lahan pasang surut yakni masalah kesuburan tanah, dan

pH tanah (Budianta et al., 2017). Upaya penting yang perlu dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut dengan memanfaatkan bahan organik atau pupuk organik. Bahan organik merupakan bahan-bahan yang berasal dari sisa-sisa tanaman, sampah rumah tangga dan kotoran ternak. Bahan organik atau kompos dan pupuk kandang dapat digunakan sebagai sumber unsur hara yang murah dan aman terhadap tanah dan lingkungan. Misal pupuk kandang merupakan salah satu sumberdaya lokal yang dihasilkan dari kotoran ternak misalnya sapi, ayam, kambing dan ternak lainnya. Kandungan humus pada kotoran ternak tanah mampu memperbaiki sifat kimia tanah dan unsur hara tanah diantaranya $pH < N$, $P < K$ dll. Selain itu pula kotoran ternak juga memberikan kontribusi terhadap perbaikan biologi tanah yang menyumbangkan energi bagi kehidupan mikroba tanah. Hasil penelitian Adimiharja et al., (2000) menyatakan bahwa penggunaan kotoran hewan sebanyak 5 ton/ha mampu meningkatkan kandungan C-organik tanah dan berkorelasi positif terhadap produksi jagung dan kedelai. Selanjutnya Safitri (2010) melaporkan bahwa penggunaan pupuk kotoran ayam dengan pemberian 10 dan 15 ton/ha menunjukkan perbaikan tanah terutama sifat fisiknya.

Walaupun tidak berbeda nyata, tetapi pemberian pupuk kotoran ayam cenderung meningkatkan serapan N, P dan K pada tanaman sorghum. Akan tetapi pada takaran pupuk kotoran ayam tertinggi (8,5 ton/ha), serapan hara cenderung menurun kecuali untuk serapan N terjadi peningkatan serapan N sebesar 14,29 % dibanding dengan takaran pupuk kotoran ayam 6,5 ton/ha, hal ini kemungkinan disebabkan dalam kandungan pupuk kotoran ayam mengandung hara

nitrogen yang lebih tinggi dibanding dengan hara P dan K. Kandungan N total sebesar 1,10 %. Pada Tabel 4.10, terlihat bahwa walaupun tidak berbeda nyata tetapi pemberian pupuk kotoran ayam cenderung meningkatkan pertumbuhan dan hasil sorghum, pada takaran pupuk kotoran ayam yang tertinggi dengan dosis 8,5 ton/ha pertumbuhan tanaman cenderung menurun walapun hasil sedikit meningkatkan produksi biji sekitar 5,99%. Sedangkan pemberian kapur tidak meningkatkan secara nyata terhadap pertumbuhan dan hasil sorghum akan tetapi pemberian kapur cenderung meningkatkan pertumbuhan dan hasil sorghum, Pemberian kapur secara nyata hanya terjadi pada tinggi tanaman dengan peningkatan sebesar 17,77 % yaitu dari tinggi 96,50 tanpa kapur meningkat menjadi 113,65 cm dengan pemberian kapur sebesar 0,4 ton/ha (Tabel 4.10).

Tabel 4.10. Pengaruh pemberian pupuk kotoran ayam dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorghum

Perlakuan	Peubah yang Diamati				
	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai/tan)	Berat segar (g/tan)	Berat kering (g/tan)	Produksi (g/tan)
Pemberian Pupuk Kotoran Ayam (ton/ha)					
0	92,53	7,22	13,33	1,86	5,03
5	97,24	6,95	16,43	3,06	5,64
6,5	118,22	7,73	20,53	4,26	5,68
8,5	112,31	7,72	17,16	4,35	6,02
Pemberian Kapur					
0	96,50 ^a	21,25	13,38	2,68	5,74
0,4	113,65 ^b	23,17	20,34	4,08	5,45
BNT.05	15				

Ket : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang yang tidak sama berarti berbeda tidak nyata pada taraf uji BNT 5%.

Pemberian kapur cenderung meningkatkan serapan N sampai dosis tertinggi, tetapi untuk serapan P dan K pada dosis tertinggi serapan P dan K cenderung menurun (Tabel 4.12). Walaupun tidak berbeda nyata tetapi pemberian kapur cenderung meningkatkan serapan N, P dan K tetapi tidak cenderung meningkatkan produksi sorgum.

Pemberian vermikompos seiring dengan penambahan dosis cenderung meningkatkan jumlah daun dan berat segar, sedangkan takaran yang paling tinggi yaitu 7,5 ton/ha vermikompos cenderung menurunkan peubah itu kecuali untuk tinggi tanaman, berat kering dan produksi pertanaman. Tinggi tanaman naik sekitar 1 %, berat kering naik 6.03% dan produksi per tanaman naik 1,3% dibanding dengan dosis yang lebih rendah (5 ton/ha).

Tabel 4.11. Pengaruh pemberian pupuk kandang ayam dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K

Peubah yang diamati				
Perlakuan	Produksi (ton/ha)	Serapan N (g/tan)	Serapan P (g/tan)	Serapan K (g/tan)
Pemberian Pupuk Kandang Ayam (ton/ha)				
0	0,93	0,045	0,0024	0,045
5	1,04	0,045	0,0045	0,055
6,5	1,05	0,07	0,0049	0,095
8,5	1,11	0,08	0,0041	0,090
Pemberian Kapur (ton/ha)				
0	1,06	0,046	0,0028	0,058 ^a
0,4	1,00	0,073	0,0047	0,085 ^b
BNT.05	15			0,017

Ket : Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang yang tidak sama berarti berbeda tidak nyata pada taraf uji BNT 5%.

Tabel 4.12. Pengaruh pemberian vermikompos dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum

Perlakuan	Peubah yang Diamati				
	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai/tan)	Berat segar (g/tan)	Berat kering (g/tan)	Produksi (g/tan)
Pemberian Vermikompos (ton/ha)					
0	99,22	8	15,75	2,77	5,82
2,5	95,60	8	14,08	2,00	6,12
5	100,23	7,5	16,69	2,82	5,83
7,5	101,14	7,5	15,11	2,99	5,91
Pemberian Kapur					
0	100,15	8	15,67	8,04	5,96
0,4	97,94	7,5	15,14	12,24	5,88
BNT.05					

Selanjutnya pada Tabel 4.13 terlihat bahwa pemberian vermikompos sampai dosis 5 ton/ha cenderung meningkatkan serapan N dan P kemudian takaran dinaikan menjadi 7,5 ton/serapan N dan P cenderung menurun, sedandhkan serapan K pada dosis pemberian vermikompos tertinggi serapan K masih naik. Kenaikan serapan pada dosis tertinggi sebesar 7,67 % dibanding dosis yang lebih rendah (Tabel 4.9).

Tabel 4.13. Pengaruh pemberian vermikompos dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K

Perlakuan	Peubah yang diamati			
	Produksi (ton/ha)	Serapan N (mg/tan)	Serapan P (mg/tan)	Serapan K (mg/tan)
Pemberian Vermikompos (ton/ha)				
0	1,08	63,55	3,69	31,93
2,5	1,14	49,81	2,60	20,05
5	1,08	75,51	4,41	27,77
7,5	1,09	71,50	3,32	29,90

Pemberian Kapur (ton/ha)				
0	1,10	65,95	3,88	29,70
0,4	1,09	64,22	2,99	25,12

Ket : tidak ada beda nyata

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam terlihat bahwa pemberian pupuk organik kotoran sapi, kapur dan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan oleh tinggi tanaman, jumlah daun, berat segar dan berat kering serta tidak berpengaruh terhadap berat biji pertanaman maupun per ha (Tabel 4.11). Selanjutnya, pemberian kotoran sapi, kapur dan interaksinya juga tidak berpengaruh nyata terhadap serapan N, P dan K (Tabel 4.13).

Walaupun pemberian kotoran sapi, kapur dan interaksi keduanya tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil sorghum, akan tetapi pemberian kotoran sapi sampai takaran 10 ton/ha cenderung meningkatkan tinggi tanaman, biomassa dan produksi tanaman, sebaliknya tidak merubah jumlah daun semakin tinggi takaran kotoran sapi. Pemberian dosis kotoran sapi yang semakin tinggi sampai dosis 15 ton/ha cenderung menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman sorghum. Pemberian kapur dengan dosis 0,4 ton/ha tidak memperbaiki pertumbuhan dan hasil yang lebih baik, artinya tanaman sorghum ini dapat tumbuh pada tanah yang kesuburannya rendah.

Kaitannya dengan serapan N, P dan K, pemberian pupuk kotoran sapi cenderung meingkatkan serapan N, P dan K, tetapi pada takaran yang tinggi serapan hara tersebut cenderung menurun.

Demikian juga pemberian kapur tidak nyata meningkatkan serapan N, P dan K bahkan pemberian kapur cenderung menurunkan serapan N, P dan K pada tanaan sorghum. Hal ini mungkin disebabkan apakah dosis kapur yang diberikan masih sangat rendah hanya 0,4 ton/ha (Tabel 4.15).

Tabel 4.14. Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi dan kapur terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum

Perlakuan	Peubah yang Diamati				
	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai/tan)	Berat segar (g/tan)	Berat kering (g/tan)	Produksi (g/tan)
Pemberian Pupuk Kandang Sapi (ton/ha)					
0	103,29	8,11	16,13	3,01	4,59
5	107,21	8,11	20,98	4,50	4,09
10	111,105	7,95	16,34	4,14	5,10
15	103,95	8,05	15,06	2,89	4,69
Pemberian Kapur					
0	108,78	8,03	17,68	3,71	4,51
0,4	104,01	8,08	16,56	3,54	4,73

Tabel 4.15. Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi dan kapur terhadap hasil tanaman sorgum (ton/ha) dan serapan N, P dan K

Perlakuan	Peubah yang diamati			
	Produksi (ton/ha)	Serapan N (g/tan)	Serapan P (g/tan)	Serapan K (g/tan)
Pemberian Pupuk Kandang Sapi (ton/ha)				
0	0,85	7,29	0,37	9,72
5	0,76	8,15	0,55	13,31
10	0,96	8,21	0,38	11,64
15	0,87	6,35	0,26	7,02
Pemberian Kapur (ton/ha)				
0	0,84	8,15	0,42	10,53
0,4	0,88	6,85	0,36	10,31

Ket : tidak ada beda nyata

BAB V

PENGELOLAAN TANAH BASA ATAU ALKALIS

5.1. Pengertian Tanah Basa

Tanah basa merupakan tanah yang mempunyai pH tanah tinggi (terutama di atas 7) atau banyak mengandung ion OH^- atau yang mempunyai derajat kemasaman rendah. Di daerah tropika basah, tanah yang mempunyai pH tinggi dirajai oleh tanah-tanah bergaram seperti tanah salin, tanah sodik dan tanah alkalin. Dalam klasifikasi USDA, yang merupakan tanah basa adalah Mollisol, Vertisol, Aridisol, dan beberapa tanah Marin. Selain itu kita mengenal istilah tanah bergaram yang terdiri dari tanah Salin, Alkalin dan Sodik.

Tanah-tanah salin dan sodik yang biasa disebut Aridisol adalah tanah-tanah yang tersebar di daerah beriklim kering dengan curah hujan rerata kurang dari 500 mm per tahun. Jumlah air yang berasal dari presipitasi tidak cukup untuk menetralkan jumlah air yang hilang akibat evaporasi dan evapotranspirasi. Sewaktu air diuapkan ke atmosfer, garam-garam tertinggal dalam tanah. Proses penimbunan garam mudah larut dalam tanah ini disebut salinisasi. Garam-garam tersebut terutama adalah NaCl , Na_2SO_4 , CaCO_3 , dan/atau MgCO_3 . Dulu, tanah-tanah yang terbentuk disebut tanah salin, tanah alkali putih atau soloncak. Tanah salin di dunia meliputi “salt marshes” di daerah temperate dan daerah pasang surut (mangrove swamps) di daerah sub tropik dan tropik. Tanah salin dapat ditemukan di dua

daerah yang berbeda, yaitu daerah pantai yakni salinitas yang disebabkan oleh genangan air atau intrusi air laut dan daerah arid dan semi arid yakni salinitas yang disebabkan oleh avaporasi air tanah atau air permukaan.

Tanah tergolong salin apabila mengandung garam dalam jumlah yang cukup untuk mengganggu pertumbuhan kebanyakan spesies tanaman. Kalau dianalisis tanahnya dikatakan tanah salin apabila mempunyai nilai DHL lebih besar dari 4 deci siemens/m (ekivalen dengan 40 mM NaCl) dan persentase natrium yang dapat ditukar (ESP) kurang dari 15. Walaupun pH tanah salin dapat bervariasi dalam rentang yang lebar, namun kebanyakan tanah tersebut mempunyai pH tanah mendekati netral atau sedikit alkali. Berikut ini akan diberikan contoh tanah-tanah yang mempunyai pH basa.

5.1.1. Mollisols

Tanah ini berkembang pada vegetasi padang rumput atau lereng gunung, memiliki solum tanah yang dangkal. Bahan induk tanah ini berasal dari batuan kapur, sehingga kebanyakan ditemukan di daerah karst (berkapur). Tanah ini dapat ditemukan di Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta yaitu sekitar Sungai Oya. Tanah ini sangat cocok digunakan untuk budidaya tanaman tahunan seperti jati (*Tectona grandis*). Keunggulan tanah ini adalah kaya bahan organik, struktur tanah remah dan aerasi yang baik. Walau kandungan klei (clay) agak tinggi tetapi tanah ini tidak keras kalau kering melainkan lunak kalau ditekan-tekan. Bisa dikatakan inilah tanah yang ideal,

karena secara fisik dan kimia baik. Kendala pada tanah ini adalah topografi yang berbukit serta solum yang dangkal. Sehingga jika akan digunakan sebagai lahan budidaya sangat riskan terjadinya erosi. Kalaupun untuk budidaya tanaman lebih diarahkan sebagai tanaman tumpang sari dengan tanaman hutan rakyat (agroforestry). Biasanya pada tanah ini lebih diarahkan untuk hutan konservasi atau padang rumput.

5.1.2. Vertisols

Tanah ini termasuk jenis yang unik diantara tanah mineral yang berkembang dari batuan kapur. Keberadaan mineral montmorilonit menyebabkan tanah ini mampu mengembang dan mengerut. Pada musim penghujan akan mengembang, sementara pada musim kemarau tanah akan kering dan retak-retak. Kaya akan klei, relatif memiliki pH netral sampai alkalin. Tanah ini sangat keras apabila kondisi kering dan bengkah-bengkah (crack). Kendala dalam budidaya tanaman adalah sifat kembang kerut tanaman ini menyebabkan kerusakan pada perakaran tanaman (putus), selain miskin P, karena terikat mineral klei dan kandungan Ca yang tinggi. Jika akan digunakan untuk budidaya tanaman sangat perlu dipertimbangkan keberadaan irigasi. Tanah ini berwarna gelap sampai hitam dan banyak dijumpai di daerah Gunung Kidul, Kulon Progo, Yogyakarta. Tanah ini dapat diusahakan untuk tanaman pangan misal padi sawah dan tanaman musiman lainnya. Penambahan bahan organik sangat baik diberikan pada jenis tanah ini.

5.1.3. Aridisols

Jenis tanah ini hanya ditemukan di daerah yang memiliki iklim kering yang tegas, kondisi tanah lebih banyak kekurangan air, sangat rendah kandungan bahan organik, serta mengarah pada akumulasi garam pada permukaan. Termasuk tanah yang tidak subur, hanya tanaman yang toleran kekeringan dan kadar garam tinggi yang bisa bertahan pada jenis tanah ini.

Tanah salin adalah tanah yang mempunyai kadar garam netral larut dalam air sedemikian sehingga dapat mengganggu pertumbuhan dengan kebanyakan tanaman. Kurang dari 15% KTK tanah ditempati oleh NK dan biasanya nilai pH > 8,5. Jenis tanah ini mempunyai garam bebas dan Na⁺ yang dipertukarkan. Selama garam ada dalam jumlah berlebih, tanah-tanah tersebut akan terflokulasi dan pH nya biasanya ≤8,5. jika tanah ini dilindi, kadar garam bebas menurun dan reaksi tanah dapat menjadi sangat alkalin (pH > 8,5) akibat berhidrolisis Na⁺ yang dapat dipertukarkan. Tanah sodik adalah tanah salin dengan kadar Natrium (Na) yang lebih tinggi.

Tanah alkalin adalah tanah dengan tingkat kebasaaan tinggi dan dicirikan oleh DHL <> 15%. Kebanyakan dari Na⁺ -nya ada dalam bentuk dipertukarkan dan hanya sejumlah kecil dari garam bebasnya terdapat dalam larutan tanah. Nilai pH tanah berkisar dari 8,5 hingga 10,0 sebagai akibat irigasi, kondisi akan sangat alkalin dapat terbentuk pada tanah ini dan pH tanah setinggi 10 merupakan hal yang umum ditemukan pada tanah alkalin.

Akan tetapi dari yang diuraikan di atas bahwa pH tanah bukan merupakan suatu metode yang baik untuk pencirian tanah-tanah ini.

Tanah-tanah salin mempunyai pH tanah = 8,5 atau lebih rendah. Tanah-tanah sodik dapat memiliki pH tanah = 10, tetapi beberapa tanah ini dapat bereaksi netral, sedang yang lain bereaksi masam. Untuk membedakan tanah-tanah salin dan sodik dari jenis-jenis tanah yang lain. Laboratorium Salinitas Amerika Serikat (Richards, 1954) mengusulkan garam terlarut dari kadar Na^+ tertukarkan sebagai kriteria.

Faktor utama penyebab tanah bergaram adalah tingginya endapan Ca, Na dan Mg. Selain itu di daerah-daerah iklim kering, salinisasi merupakan suatu gejala alamiah. Oleh karena itu, kemungkinan salinisasi dianggap rendah jika air dengan DHL = 3,0 deci siemens/m atau lebih tinggi digunakan untuk irigasi dalam kurun waktu bertahun-tahun, bahkan juga pada tanah-tanah bukan salin. Sewaktu air diuapkan ke atmosfer, garam-garam tertinggal dalam tanah. Endapan garam-garam inilah yang terkadang menyebabkan pH tanah meningkat.

Beberapa proses air di bawah tanah salah satunya adalah intrusi, yaitu pergerakan air yang merembes di dalam tanah. Untuk tanah yang dekat dengan air laut (kawasan pantai) air tanahnya akan mengalami intrusi dari air lautnya sehingga mengandung garam.

Penambahan air bagi lahan pertanian (irigasi) perlu diketahui kualitas airnya. Apabila mengandung garam tentunya akan mempengaruhi kegaraman di dalam tanah. Tentunya juga akan mempengaruhi pH tanahnya. Pemupukan yang terlalu insentif atau terus menerus tanpa memperbaiki kualitas tanahnya akan menimbulkan penambahan endapan-endapan unsur hara dalam tanah.

Apabila endapan Na, Ca dan Mg yang terlalu tinggi menyebabkan tanah tersebut bergaram.

5.2. Kendala Tanah Basa

Seperti halnya tanah masam, kendala-kendala yang dihadapi oleh tanah alkalis adalah kendala fisika, kimia dan biologi. Selanjutnya di bawah ini akan dibahas beberapa kendala tanah basa atau alkalis, yaitu:

5.2.1. Kendala kimiawi.

Kendala kimiawi yang paling muncul adalah pH tanah. Sesuai dengan namanya tanah basa, maka tanah-tanah basa mempunyai pH tanah yang tinggi. Nilai pH yang tinggi pada banyak di antara tanah-tanah tersebut menurunkan ketersediaan sejumlah hara mikro. Jenis tanah ini sering kahat dalam Fe, Cu, Zn, dan/atau Mn. Adanya ion Na^+ dalam jumlah tinggi dapat mempertahankan partikel-partikel tanah tetap tersuspensi. Sebaliknya tanah yang memiliki Ca tinggi dapat menghambat serapan hara yang lain, dapat juga menyebabkan kekahatan K atau Mg. Jika K berlebihan tidak secara langsung meracuni tanaman. Kadar K dalam tanah yang tinggi dapat menghambat penyerapan kation yang lain (antagonis) dapat mengakibatkan kekahatan Mg dan Ca.

Selain pH tanah, tanah-tanah basa juga memiliki nilai salinitas yang umumnya relatif tinggi. Tingginya nilai salinitas dapat berakibat buruknya pertumbuhan tanaman. Tanaman akan mengalami plasmolisis, sehingga tanaman akan menampakkan kelayuan dan akhirnya tanaman dapat mengalami kematian.

5.2.2. Kendala fisika.

Tanah-tanah basa atau alkalis umumnya memiliki kandungan klei yang relatif tinggi. Umumnya dijumpai klei tipe 2:1 yang dapat mengembang mengkerut. Pada saat musim penghujan tanah-tanah tersebut mengalami genangan sebaliknya pada saat musim kemarau tanah akan mengalami retak-retak atau mengalami bengkah (*Cracking*). Dengan pengeringan, tanah membentuk lempeng-lempeng keras, dan terjadi pembentukan kerak di permukaan. Yang tersebut terakhir ini menurunkan porositas tanah dan aerasi terhambat.

5.3. Mengatasi Kendala Tanah Basa

5.3.1. Peningkatan pemanenan air tawar

Air tawar adalah satu-satunya bahan penting untuk desalinisasi di daerah dekat panta atau sepanjang pantai. Dengan curah hujan yang tinggi, hasilnya cukup positif untuk mentralkan atau melarutkan garam-garam yang mengendap. Bagaimanapun juga, pastikan bahwa air tersebut benar-benar melewati mintakat perakaran untuk melaksanakan fungsinya. Sebagai tambahan, beberapa wilayah di pantai timur Sumatra pada kenyataannya cukup kering, sehingga dibutuhkan pendekatan yang lebih hati-hati dalam mengatasi masalah salinisasi. Dalam konteks kualitas, 'air bersih' diartikan sebagai air dengan daya hantar listrik rendah, dan memiliki nilai EC yang kurang dari 0,5 mS/cm. Air yang memiliki nilai sampai 2,0 mS/cm juga masih dapat digunakan, tetapi pengaruh pencuciannya akan lebih rendah. Untuk mengujinya, celupkan elektroda (EC meter) ke dalam air tanpa tanah. Air hujan adalah

yang ideal, karena nilai EC-nya hampir 0. Beberapa pola pemanenan air sederhana juga akan meningkatkan penggunaan air hujan secara efisien. Banyak saluran irigasi di pantai timur, apabila berfungsi, memiliki air dengan kualitas yang baik, tetapi yang terbaik terlebih dulu adalah mengecek nilai EC-nya.

Hati-hati menggunakan air dari sumur dangkal, karena air tanah mungkin telah menjadi asin, baik karena genangan akibat tsunami maupun bocoran di bawah permukaan tanah dari tambak-tambak yang terletak di dekatnya: nilai EC-nya mungkin sampai 10 mS/cm atau lebih. Air dari sumur bor mungkin lebih dapat digunakan, tetapi air tersebut lebih dibutuhkan untuk konsumsi manusia (air minum) selain juga biaya pemompaannya yang lebih mahal. Pemanenan air tawar dari air hujan sangat dianjurkan untuk daerah-daerah di sepanjang pantai yang umumnya airnya asin akibat intrusi air laut. Air asin sangat terasa terjadi pada saat musim kemarau tiba. Air tawar yang terkumpul dapat digunakan untuk kebutuhan manusia maupun dapat digunakan untuk menyiram tanaman dan kebutuhan binatang piaraan.

5.3.2. Perbaikan drainase

Drainase yang baik sama pentingnya dengan air tawar untuk mencuci secara efektif garam dari suatu lahan. Kecuali jika daya serap alami tanah dan kondisi drainase yang baik memungkinkan terjadinya perkolasi air dan drainase dari lahan, pencucian mungkin merupakan satu-satunya cara yang berhasil walaupun tidak seluruhnya, sekalipun dengan menggunakan air berkualitas baik.

Secara ideal, membersihkan endapan lumpur debu pada saluran drainase merupakan faktor penting lainnya dari proses rehabilitasi. Memperbaiki kondisi drainase permukaan dengan cara menggali saluran di lahan sawah adalah alternatif yang efektif. Penggelontoran secara cepat, dengan atau tanpa pencampuran juga dapat dipertimbangkan untuk kondisi-kondisi tertentu. Untuk tanaman-tanaman lahan kering bernilai ekonomi yang ditanam dalam kondisi basah, pembuatan bedengan sangat direkomendasikan untuk menjamin kondisi yang paling cocok bagi akar tanaman.

5.3.3. Pengolahan lapisan atas tanah

Satu pilihan yang efektif untuk mempercepat pencucian garam adalah menghancurkan lapisan atas tanah dengan pengolahan tanah, baik dengan atau tanpa mencampur bagian permukaan tersebut dengan tanah di bawahnya. Untuk lahan kering, hal ini akan meningkatkan perkolasi karena akan memutus pori-pori tanah. Untuk lahan sawah, pencampuran akan secara aktif melepaskan garam ke dalam air, yang kemudian akan dibuang dengan cara penggelontoran lapisan permukaan. Pada kawasan sawah tadah hujan, ini dapat dilakukan selama musim kemarau ketika tanah lebih keras dan pekerjaannya menjadi lebih mudah, antara lain untuk membantu proses pencucian pada saat musim hujan berikutnya mulai.

5.3.4. Membuang lapisan permukaan

Untuk mengeruk lapisan klei di permukaan adalah sesuatu yang menarik sebagai cara tercepat untuk membuang garam. Bagaimana pun juga perlu dipikirkan, bahwa hanya 1 cm endapan per hektar sama dengan 100 meter kubik. Satu meter kubik kurang lebih sekitar 15 gerobak dorong penuh, dan standar muatan truk besar adalah 8 sampai 10 ton. Pilihan ini hanya dapat dibenarkan dalam keadaan pengecualian, seperti pembersihan untuk tanaman yang mempunyai nilai ekonomis tinggi.

Dalam hal ini, keuntungan secara ekonomis sudah harus dikalkulasikan terlebih dahulu. Sebagai tambahan, lahan harus disiapkan dengan hati-hati agar tidak terjadi intrusi air garam dari lahan di sekitarnya. Pengerukan tanah yang bergaram secara layak juga merupakan masalah; penimbunan kawasan pantai mungkin efektif dilihat dari segi salinitas, tetapi membawa resiko lain bagi lingkungan.

5.3.6. Pemupukan

Pupuk hanya sebagai sumber nutrisi tanaman dan tidak dapat membuang garam dari tanah. Akan tetapi pupuk organik dan pemulsaan dapat membantu menurunkan salinitas tanah dengan memperbaiki struktur tanah dan dengan demikian juga perkolasi-nya.

5.3.7. Tanaman Adaptif (toleran)

Tanaman yang toleran terhadap garam mungkin dapat menjadi pilihan praktis selama proses rehabilitasi. Pilihan jenis

tanaman adaaptif sangat aman dan tidak memerlukan banyak input produksi yang berlebihan. Berikut ini adalah daftar singkat dari tanaman-tanaman yang toleran terhadap garam (Tabel 5.1). Namun demikian, perlu dipertimbangkan bahwa memperkenalkan tanaman baru tidaklah mudah. Evaluasi secara teliti menyangkut kemampuan adaptasi, pasar dan hambatan-hambatan teknis harus dihindarkan, dan saran dari para ahli sangat dibutuhkan.

Tabel 5.1. Daftar tanaman yang memiliki toleransi terhadap salinitas

	Toleransi Tinggi	Toleransi Sedang
Field crops	Barley, Kapas	Gandum, Kedelai, Sorghum, Padi, Kacang Tanah
Buah-buahan	Kurma	Pomegranate, Ara, Zaitun, Anggur, Rockmelon, Mulberry
Sayuran	Asparagus, Bayam	Tomat, Brokoli, Kol, Bunga kol, Jagung manis, Mentimun
Tanaman Pakan Ternak	Rumput Rhodes, Kikuyu, Almum, Pangola, Wimmera ryeglass, Lucerne, Phasey bean, Siratro, Buffel, Sabi, Guinea	Berseem clover, Snail medic, Barrel medic, Blycine, Perennial, Strawberry clover, Paspalum, Rumput Sudan
Tanaman Hias	Carnation, Clematis	Bougenvil, Krisant , Kembang sepatu

(Sumber FAO, Maret 2005)

FAO,2003, FAO field guide 20 things of salinity (diakses 5 Nov 2010)

5.3.8. Penggunaan Bahan Organik

Bahan organik di dalam tanah dapat berperan sebagai sumber unsur hara, memelihara kelembaban tanah, sebagai buffer dengan mengkhelat unsur-unsur penyebab salinitas sehingga dapat meningkatkan ketersediaan unsur-unsur hara. Kandungan bahan organik di kebanyakan tanah saat ini terdapat indikasi semakin merosot. Sekitar 80 % lahan sawah kandungan C organik tanahnya kurang dari 1 % (Aphani, 2001), apalagi pada lahan-lahan kering. Kandungan C organik kurang dari 1 % menyebabkan tanah tidak mampu menyediakan unsur hara yang cukup, disamping itu unsur hara yang diberikan melalui pupuk tidak mampu dipegang oleh komponen tanah sehingga mudah tercuci, kapasitas tukar kation menurun, agregasi tanah melemah, unsur hara mikro mudah tercuci dan daya mengikat air menurun. Pada tanah dengan kandungan C organik rendah menyebabkan kebutuhan pemupukan makin meningkat dengan efisiensi yang merosot akibat tingginya tingkat pencucian.

5.3.9. Penggunaan Gypsum

Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang tinggi. Gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Penelitian pengaruh gypsum pada tanah salin telah dilakukan oleh Hasibuan (1995). yang membuktikan bahwa pemberian gypsum 10 ton/ha dapat menurunkan DHL (Daya Hantar Listrik) tanah salin dari 4,2 mmhos/cm menjadi 3,5 mmhos/cm, Na tertukar menurun dari 22 cmol(+)/kg menjadi 16 Cmol(+)/kg. Selain itu, P tersedia juga

meningkat dari 35% menjadi 70% (Sari, 2011). Gypsum menggantikan ion sodium dalam tanah dengan kalsium dan sebagai akibatnya secara aktif membuang sodium dan meningkatkan perkolasi tanah. Pilihan ini dapat diaplikasikan hanya ketika pH tanah lebih dari 8,5 (misalnya tanah sodik). Gypsum dapat menurunkan pH tanah yang berarti memperbaiki suasana kemasaman menjadi mendekati netral. Hal ini mengakibatkan perbaikan ketersediaan unsur hara meningkatkan dapat diserap oleh tanaman,

Amezketta et al (2005) memberikan kesimpulan bahwa pemberian gypsum dapat menurunkan equivalent sodium percentage (ESP) sebesar 50% dan menurunkan sodium adsorption ratio (SAR). Kandungan Na yang rendah mengakibatkan tersedianya Ca, Mg, K, dan S. Hal ini dengan Yuanchim (2003) yang melaporkan bahwa terjadi perubahan kesuburan tanah pada tanah salin yang mengalami reklamasi (perbaikan) dengan penambahan gypsum, yaitu kesuburan tanah menjadi lebih baik dan terjadi penurunan salinitas.

BAB VI

PENGAPURAN

6.1. Pengertian Kapur Pertanian

Berdasarkan berbagai masalah tanah masam yang telah dikemukakan dalam bab sebelumnya, maka prinsip utama pengelolaan tanah masam adalah menaikkan pH tanah, menetralkan kation-kation penyebab kemasaman tanah dan mengurangi kejenuhan Al yang meracun, serta meningkatkan ketersediaan hara tanaman, terutama unsur hara P sehingga sesuai dengan pertumbuhan tanaman yang optimal. Dari berbagai hasil penelitian tentang pemanfaatan tanah masam di dunia, termasuk Indonesia, dapat dinyatakan bahwa salah satu teknologi untuk mengendalikan masalah tanah masam adalah teknologi pengapuran.

Kapur banyak mengandung unsur Ca. Akan tetapi, pemberian kapur ke dalam tanah, khususnya dalam pertanian, bukan hanya semata-mata tanah kekurangan unsur Ca, melainkan karena tanah tersebut dalam kondisi masam. Oleh karena itu, pH tanah perlu dinaikkan agar unsur-unsur hara seperti P mudah diserap oleh tanaman dan keracunan Al dapat dihindari, serta tanaman akan terpenuhi unsur Ca dan Mg. Dengan demikian kapur pertanian adalah bahan alam yang mengandung Ca dan/atau Mg. Bahan-bahan tersebut dapat berupa kalsit, dolomit, kapur tohor dll. Apabila tidak ditemukan bahan kapur terutama di luar pulau jawa, maka pengganti kapur dapat digunakan abu tanaman. Abu juga banyak mengandung logam alkali

dan alkali tanah dan umumnya abu juga bersifat alkalis. Akan tetapi reaksi abu tidak lebih cepat apabila dibandingkan dengan reaksi kapur dalam tanah.

Pemberian kapur dalam usaha pengelolaan tanah-tanah masam didasarkan atas beberapa pertimbangan. Pertama, reaksi kapur sangat cepat dalam menaikkan pH tanah dan menurunkan kelarutan Al yang meracun. Sebagai contoh: pemberian dolomit dengan dosis 4,14 ton ha^{-1} pada tanah Ultisol dapat meningkatkan pH sekitar 1,3 unit dari pH awal 4,72, tetapi selanjutnya pH tanah akan turun sekitar 0,9 unit setelah kapur dalam tanah tersebut didiamkan selama 20 bulan dalam tanah (Budianta dan Vanderdeelen, 2000). Kedua, respons tanaman sangat tinggi terhadap pemberian kapur pada tanah masam. Ketiga, efek sisa kapur atau manfaat kapur dapat dinikmati selama 3 sampai 4 tahun berikutnya. Keempat, bahan kapur cukup tersedia dan relatif murah, termasuk di Indonesia, terutama di pulau Jawa, karena sumber-sumber bahan kapur banyak ditemukan di pulau Jawa.

Pengapuran tanah sebagai usaha merubah kondisi tanah agar sesuai sebagai medium pertumbuhan tanaman merupakan suatu perlakuan yang mempunyai dampak rumit (kompleks) terhadap sifat kimia, fisika maupun biologi tanah (Radjagukguk, 1983). Pada bab ini, akan diulas satu persatu tentang pentingnya pengapuran untuk tanah-tanah masam, dampaknya bagi tanah dan perkembangan teknologi pengapuran.

6.2. Tujuan Pemberian Kapur

Pemberian kapur pada tanah masam dimaksudkan untuk menurunkan atau meniadakan pengaruh Al terhadap pertumbuhan tanaman, serta meniadakan selaput Al pada akar tanaman, sehingga tanaman dapat mengambil hara dengan optimum. Pengapuran dapat meningkatkan ketersediaan hara P, Ca dan Mg dalam tanah melalui perbaikan kemasaman tanah. Pemberian kapur dalam tanah dapat meningkatkan pH tanah, sehingga unsur hara lain dalam tanah tersedia optimum. Selain itu pengapuran dapat meningkatkan aktivitas biologi tanah, seperti meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan memperbaiki pembentukan bintil-bintil akar pada tanaman leguminosa. Pada umumnya, pH tanah yang dikehendaki untuk pertumbuhan tanaman agar optimal adalah pH tanah netral yaitu 6,5-7,0 karena pada kondisi pH netral unsur hara dapat tersedia secara optimal dan mikroorganisme dan tanaman juga dapat berkembang dengan maksimal. Sebagai contoh pemberian dolomit sebanyak 4,14 ton/ha pada tanah Ultisol dapat memperbaiki pertumbuhan kedelai dan memberikan hasil kedelai 1,70 ton/ha, dan hasilnya dapat ditingkatkan lebih dari dua kalinya bila ditambah pupuk hijau sebesar 6,84 ton/ha dengan hasil 3,13 ton/ha (Budianta, 2001).

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemberian kapur pertanian antara lain adalah : 1). Angka pH tanah yang ingin dicapai, 2). Jenis kapur yang diberikan yang dinyatakan dengan kandungan setara CaCO_3 , 3). Besarnya ukuran partikel kapur. Semakin halus kapur, semakin sedikit kapur yang diberikan, karena semakin halus semakin cepat bereaksi dengan kation-kation masam, dan 4). Kelas

tekstur tanah. Semakin tinggi kandungan klei tanah, semakin tinggi kapur yang diberikan, 5). Kadar bahan organik tanah. Bahan organik menentukan kapasitas adsorpsi dan daya penyangga tanah. Semakin banyak kandungan bahan organik tanah, daya penyangga tanah semakin besar sehingga diperlukan lebih banyak kapur. Kalau sulit dijumpai kapur pertanian maka harus dicari bahan sulih untuk kapur tersebut. Bahan-bahan yang dapat digunakan adalah abu tanaman ataupun kerangka hewan-hewan laut (ciliata, molusca, binatang karang dll). Bahan-bahan yang terakhir itu mudah ditemukan dimanapun berada di seluruh dunia. Pemanfaatnya cengkang hewan-hewan laut harus ditumbuk halus agar memudahkan terjadinya reaksi di dalam tanah.

6.3. Bentuk-bentuk Kapur Pertanian

Kapur pertanian terdiri dari beberapa jenis, yang masing-masing mempunyai susunan kimia dan tingkat kelarutan yang berbeda. Bahan kapur yang biasa dipakai dalam pertanian biasanya adalah batuan kalsium karbonat/*calcitic limestone* (CaCO_3) atau batuan kalsium-magnesium karbonat/*dolomitic limestone* ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) yang ditambang dari endapan alamiah dan dihaluskan hingga mencapai tingkat kehalusan tertentu. Selain kalsium karbonat dan dolomit tersebut, terdapat juga bahan-bahan kapur lain yang sering digunakan yaitu kalsium oksida (CaO), kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan kalsium silikat (CaSiO_3) dan gypsum (CaSO_4). Bahan-bahan kapur tersebut berbeda dalam nilai netralisasi. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.1. Dalam menentukan nilai netralisasi, kalsium

karbonat biasanya dipakai sebagai tolok ukur karena mempunyai nilai indeks 100.

Tabel 6.1. Nilai netralisasi beberapa bahan kapur yang umum dipakai

Bahan	Nilai Netraliasi (%)
CaO	179
Ca(OH) ₂	136
CaMg(CO ₃) ₂	109
CaCO ₃	100
CaSiO ₃	86

Sumber : Tisdale & Nelson (1965)

6.4. Metode Penentuan Kapur

Untuk menentukan kebutuhan kapur pada lahan pertanian, ada 3 (tiga) metode utama yang dapat dipakai, yaitu : 1). Metode titrasi, 2). Metode buffer solution dan 3). Metode atas dasar jumlah Al-dd.

6.4.1. Metode Titrasi

Metode ini dilakukan dengan cara mentitrasi contoh tanah dengan suatu larutan basa standar dan menentukan jumlah basa yang dibutuhkan untuk menaikkan pH tanah ke suatu tingkat tertentu. Sebanyak 1 miliekuivalen basa yang terpakai per 100 gram tanah adalah setara dengan 2,25 ton kalsium karbonat murni per hektar pada kedalaman kurang dari 30 cm tanah di lapangan. Metode ini kurang praktis dan akurat dilakukan, mengingat bahwa pekerjaan ini hanya dilakukan pada cuplikan tanah yang terlalu sedikit yang diambil dari lapangan. Metode ini tidak populer sebagai metode untuk penentuan kebutuhan kapur.

6.4.2. Metode Buffer Solution

Metode ini merupakan lanjutan dari metode titrasi. Apabila pH di lapangan menunjukkan kemasaman tinggi, larutan contoh tanah ditambahkan larutan penyangga dan menentukan pH akhir dari suspensi tanah dan larutan penyangga. Nilai pH dari campuran tersebut mengindikasikan tingkat kemasaman tanah. Sesudah kalibrasi di lapangan, jumlah kapur yang dibutuhkan ditentukan dengan refleksi pada tabel kebutuhan kapur. Akan tetapi yang perlu diingat adalah jumlah penurunan pH dari semula dan setelah ditambah larutan penyangga. Misalnya, penurunan pH sebesar 0,1 dari pH semula penyangga, setara dengan kebutuhan kapur sebesar 1 ton per hektar. Seandainya pH tanah awal adalah 5,5, pH larutan penyangga 6,8 dan pH dari campuran tanah-larutan penyangga adalah 6,3. Maka, kebutuhan kapur tersebut adalah $0,5/0,1 = 5$ ton per hektar (untuk menaikkan pH dari 5,5 menjadi 6,8). Metode ini mudah dilakukan dan praktis disesuaikan dengan besarnya menaikkan pH tanah. Umumnya metode ini sangat baik diterapkan untuk penentuan kebutuhan kapur pada tanah-tanah gambut yang memiliki kandungan bahan organik sangat tinggi (Tabel 6.2). Bahan organik juga dapat menyangga tingkat kemasaman dalam tanah.

Tabel 6.2. Kebutuhan kapur berdasarkan pengukuran pH dengan buffer solution

pH dengan buffer solution	Kebutuhan kapur giling (ton/ha)			
	Tanah Mineral		Tanah Organik	
	Agar pH menjadi			
	7,0	6,5	6,0	5,2
6,8	3,1	2,7	2,2	1,6
6,7	5,4	4,7	3,8	2,9
6,6	7,6	6,5	5,4	4,0
6,5	10,1	8,5	6,9	5,4
6,4	12,3	10,5	8,5	6,5

Sumber : Hardjowigeno (1986)

6.4.3. Metode atas dasar jumlah Al-dd (Aluminum yang dapat dipertukarkan)

Metode ini dilakukan atas dasar jumlah atau kadar Al-dd (Al yang dapat dipertukarkan) pada lapisan atas (topsoil). Kamprath (1980) menyarankan agar rekomendasi pengapuran didasarkan atas Al-dd (dengan ekstraksi 1 N KCl) dan takaran atau dosis bahan kapur dihitung dengan mengalikan jumlah miliekuivalen Al-dd per 100 gram tanah dengan faktor 1,5. Ini menghasilkan jumlah miliekuivalen kalsium yang dibutuhkan dalam bentuk bahan kapur. Dengan demikian, setiap miliekuivalen Al-dd dibutuhkan 1,5 miliekuivalen kalsium yang setara dengan 1,65 ton kalsium karbonat per hektar.

Menurut Sanchez (1976) dalam Hardjowigeno (2002), dengan menggunakan kapur 1,5 x Al-dd (ton/ha) dapat menetralkan 85-90 % Al-dd dalam tanah yang mengandung 2-7 % bahan organik. Di dalam tanah masam, selain ditemukan ion Al-dd ditemukan pula ion H⁺ yang dilepaskan oleh bahan organik atau Fe dan Al hidroksida. Dengan

demikian, pada tanah yang mengandung bahan organik yang lebih tinggi akan diperlukan lebih banyak kapur, misalnya 2 x Al-dd dan sebagainya. Metode ini sangat populer di Indonesia dimana penyebab utama kemasaman tanah-tanah mineral masam di Indonesia adalah karena tingginya kandungan Aluminium dalam tanah. Metode ini mudah dipraktikkan cukup menentukan kandungan Al tertukar dalam tanah dengan larutan KCl 1 N dan kandungan Aluminiumnya dapat ditentukan dengan menggunakan titrasi atau spektrofotometer.

Contoh perhitungan kebutuhan kapur berdasarkan Al-dd adalah :

Diketahui pada tanah topsoil dengan kedalaman lapisan olah 20 cm, mengandung Al-dd sebesar 1 me/100 g. Berat tanah 20 cm lapisan olah adalah 2.000.000 kg/ha (bulk density 1 g/cm³). Bila kebutuhan kapur ditetapkan 1,5 x Al-dd, berapakah kebutuhan CaCO₃ (kapur murni) yang dibutuhkan?. Untuk melakukan perhitungan, kita terlebih dahulu harus mengetahui berat atom penyusun CaCO₃, yaitu Ca=40 ; C=12 dan O=16, sehingga berat molekul CaCO₃ adalah 100.

Kebutuhan kapur 1,5 x Al-dd artinya diperlukan Ca sebanyak :

$$\begin{aligned}
 &= 1,5 \times 1 \text{ me}/100\text{g} \\
 &= 1,5 \times 40/2 \text{ me}/100\text{g} \\
 &= 30 \text{ mg}/100\text{g} \\
 &= 300 \text{ mg}/1.000.000 \text{ g} \\
 &= 600 \text{ kg}/2.000.00 \text{ kg atau sama dengan } 600 \text{ kg/ha Ca.
 \end{aligned}$$

Sehingga CaCO₃ yang dibutuhkan adalah $100/40 \times 600 \text{ kg} = 1500 \text{ kg/ha}$ atau 1,5 ton/ha.

6.5. Status Kapur di Dalam Tanah

Tanah berkapur dengan sifat basa yang tinggi sangat berkebalikan dengan tanah yang kaya akan bahan organik. Bahan organik memiliki sifat masam yang sangat tinggi sehingga kurang baik untuk pertumbuhan tanaman. Kalau kedua hal ini dipadukan maka hasilnya akan saling melengkapi kekurangan kedua jenis tanah tersebut. Tanah akan menjadi kaya bahan mineral dan ber pH netral yang baik untuk pertanian.

Tanah Ultisol memiliki kadar kapur dan bahan organik cukup tinggi sehingga kecenderungan lebih subur daripada tanah yang lain. Mg dan Ca sangat diperlukan tanaman untuk menguatkan batang. Kadar Kapur jenis tanah dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah Alfisol, Entisol, Vertisol, Rendzina dan Ultisol. Tanah Entisol tidak berbahan induk kapur seperti karsit, dolomit dan lain-lain sehingga kadar kapur dalam tanah tidak begitu tinggi. Biasanya tanah Entisol memiliki bahan induk abu vulkanik dan batuan sediment dan pasir.

Tanah Alfisol berbahan induk yang kaya akan kapur dan mengandung konkresi kapur dan besi. Dalam pembentukan tanah larutan-larutan besi terutama dari sumber-sumber bukan kapur dan sedikit berkapur atau dolomite menyusup ke dalam retakan-retakan dan lubang-lubang batu kapur dalam sehingga Fe bersentuhan dengan Ca yang mengendap.

Tanah Ultisol merupakan tanah yang memiliki kadar kapur terendah baik secara teoritis. Tanah ini meliputi tanah-tanah yang mengalami pelapukan intensif dan perkembangan tanah selanjutnya

sehingga terjadi pencucian unsur basa, bahan organik dan silika dengan meninggalkan sesquioksida sebagai sisa berwarna merah. Warna tanah tergantung susunan mineralogi bahan induk. Bahan induk ini berasal dari batuan induk vulkanik baik tuff maupun batuan beku.

Tanah Vertisol berbatuan induk kapur dan klei sehingga kedap air. Selain itu terbatas pada tanah yang bertekstur halus atau terdiri atas bahan-bahan yang mengalami pelapukan seperti batu kapur, batu napal, tuff, endapan alluvial dan abu vulkanik. Warna tanah dipengaruhi oleh kandungan humus dan kapur.

6.6. Manfaat Pengapuran Terhadap Sifat Kimia Tanah

Pengapuran dapat dikatakan sebagai upaya pengendalian yang tepat terhadap sifat kimia tanah masam. Seperti yang sudah dijelaskan pada Bab III, bahwa tanah masam mempunyai berbagai kriteria kendala yang mempengaruhi kesuburan tanahnya. Pengapuran dapat menyelesaikan beberapa masalah kimia pada tanah masam, antara lain: 1). Mengendapkan Al dan mengatasi keracunan tanah karena Al, 2). Menaikkan pH, 3). Meningkatkan ketersediaan P dan unsur mikro lain seperti Mo, 4). Menyediakan Ca atau Mg (meningkatkan KTK tanah). Pengapuran juga dapat meningkatkan kandungan K, Ca dan Mg dalam tanaman kedelai (Tabel 6.3).

Karena unsur Ca bersifat tidak mudah bergerak, maka kapur harus ditanamkan sampai mencapai kedalaman lapisan tanah yang mempunyai konsentrasi Al tinggi. Hal ini agak sulit dilakukan di lapangan, karena dibutuhkan tenaga dalam jumlah banyak dan menimbulkan masalah baru yaitu pemadatan tanah sehingga

menyebabkan struktur tanah menjadi jelek karena kapur berfungsi sebagai lem partikel-partikel tanah. Alternatif lain adalah menambahkan dolomit ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$) yang lebih mudah bergerak, sehingga mampu mencapai lapisan tanah bawah dan menetralkan Al.

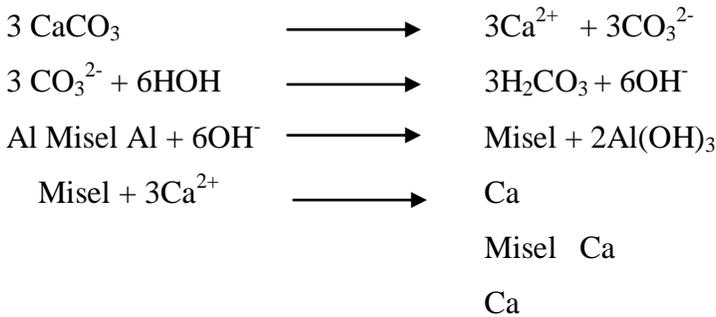
Tabel 6.3. Pengaruh pemberian kapur dan pupuk hijau terhadap kandungan hara dalam tanaman kedelai (Budianta, 2001)

Perlakuan		Kandungan hara (berdasarkan berat kering)				
Dolomit (ton ha ⁻¹)	Pupuk hijau (ton ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg
		%				
0	0	2,01a	0,28ab	0,95a	1,30a	0,15a
	3,42	2,03a	0,30ab	0,95a	1,19a	0,16a
	6,84	2,08a	0,30ab	1,02a	1,25a	0,32b
4,14	0	2,04a	0,26a	0,48b	1,09b	0,35b
	3,42	2,22a	0,27a	0,50b	1,79b	0,28b
	6,84	2,71a	0,32b	0,80b	1,98b	0,29b

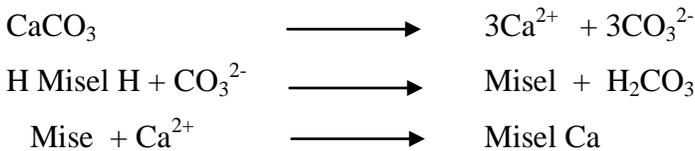
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama dalam setiap kolom tidak ada beda nyata pada tingkat murat BNT 5%

Nilai pH tanah dinaikkan sampai pada tingkat mana Al tidak bersifat racun lagi bagi tanaman dan unsur hara tersedia dalam kondisi yang seimbang di dalam tanah. Peningkatan pH tanah yang terjadi sebagai akibat dari pemberian kapur, tidak dapat bertahan lama, karena tanah mempunyai sistem penyangga, yang menyebabkan pH akan kembali ke nilai semula setelah beberapa waktu berselang. Reaksi yang terjadi pada tanah akibat pemberian kapur (CaCO_3) dapat digambarkan sebagai berikut :

Yang pertama adalah jika penyebab kemasaman tanah berasal dari ion Al^{3+} . Ion karbonat (CO_3^{2-}) dari kapur dibutuhkan untuk menghasilkan OH^- yang dapat menarik Al dari misel (kompleks jerapan), sehingga terbentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang tidak aktif. Setelah itu barulah ion Ca^{2+} dapat menempati misel.



Yang kedua adalah jika kemasaman tanah berasal dari ion H^+ . Kapur mempunyai kekuatan untuk menarik ion H^+ dari misel membentuk H_2CO_3 yang merupakan asam lunak. Misel yang telah bebas dari ion H segera ditempati oleh ion Ca^{2+} .



Dari kedua reaksi di atas yang berasal dari dua sumber kemasaman, dapat dilihat bahwa kapur yang dapat digunakan untuk menetralkan kemasaman tanah haruslah menyumbangkan ion karbonat dan atau ion hidroksil. Berarti kalsium yang akan menyumbangkan ion klor atau sulfat seperti CaCl_2 atau CaSO_4 tidak dapat digunakan sebagai kapur pertanian.

Perlu diketahui bahwa selain Al, pemberian kapur juga dapat menyebabkan polimerisasi terhadap Fe dan Mn, sehingga keracunan tanah akibat Fe dan Mn dapat ditekan. Sejalan dengan penurunan kemasaman tanah (peningkatan pH tanah), secara langsung ketersediaan hara Ca meningkat, sehingga ketersediaan unsur hara P dan Mo meningkat.

KTK meningkat sebagai akibat dari peningkatan pH tanah. Namun peningkatan KTK ini juga bersifat tidak tetap, karena sistem penyangga pH tanah tersebut di atas. Pemberian kapur seperti ini memerlukan pertimbangan yang seksama mengingat pemberian Ca dan Mg akan mengganggu keseimbangan unsur hara yang lain. Tanaman dapat tumbuh baik, jika terdapat nisbah Ca/Mg/K yang tepat di dalam tanah. Penambahan Ca atau Mg seringkali malah mengakibatkan tanaman menunjukkan gejala kekurangan K, walaupun jumlah K sebenarnya sudah cukup di dalam tanah. Masalah ini menjadi semakin sulit dipecahkan, jika pada awalnya sudah terjadi kahat unsur K pada tanah tersebut.

6.7. Manfaat Pengapuran Terhadap Sifat Fisika Tanah

Telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, bahwa pemberian kapur dapat memperbaiki sifat kimia tanah. Akan tetapi, pertumbuhan dan produksi tanaman tidak hanya tergantung dari sifat kimia tanah saja. Usaha pengapuran juga dapat memberikan dampak kepada sifat fisika tanah.

Dampak Penambahan kapur ke dalam tanah biasanya dilakukan sebagai usaha untuk menetralkan / mengurangi kemasaman

tanah. Dari sudut lain, pembahan kapur ke dalam tanah dapat memperbaiki agregat tanah menjadi lebih mantap. Kalsium memegang peranan penting dalam hal ini. Kalsium dapat memacu agregasi tanah melalui proses yang dikenal sebagai penjojotan (*floculation*). Floculation merupakan suatu gejala agregasi yang merupakan proses awal dari strukturisasi tanah.

Diamond dan Kinter (1965) dalam Soekodarmodjo (1983) menyatakan bahwa penambahan kapur ke dalam tanah mengakibatkan terbentuknya ikatan antar butir-butir klei oleh tetracalcium alumina hidrat dan calcium silicate hidrat yang menyebabkan agregat tanah menjadi lebih mantap (Tabel 6.4). Selain itu, Van Gense (1974) menyatakan bahwa pengurangan kadar lengas tanah terjadi karena tanah bereaksi dengan kapur, karena proses evaporasi yang terjadi menurunkan pengaruh pengapuran dalam tanah.

Tabel 6.4. Pengaruh kadar kapur terhadap kemandapan agregat tanah (%)

Kadar Ca ²⁺ Me/100g	Tanah	
	Bermuatan terubahkan	Bermuatan tetap
0,0	65,0	70,7
1,4	66,5	78,3
2,2	73,8	83,1
3,2	75,6	67,5
4,9	78,1	61,6
7,2	80,9	55,4

Sumber: Soekodarmodjo (1983).

Dalam hubungannya dengan pemadatan tanah, pemberian kapur perlu memperhatikan reaksi pozzolonik, yaitu reaksi

yang dapat menyebabkan rusaknya butir-butir lempung dan berubah menjadi kristalin baru. Struktur mineral tanah dapat rusak dan terjadi dispersi tanah. Pada akhirnya dapat menurunkan permeabilitas tanah (Harby and Thomson, 1973 dalam Soekodarmodjo, 1983). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.5. Shen dan Li pada tahun 1970 mendapatkan bahwa daya tumpu tanah (*bearing capacity*) naik pada saat penambahan kapur 5 %. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6.5. Pengaruh kadar kapur terhadap permeabilitas tanah (cm/jam)

Kadar Ca ²⁺ Me/100g	Lapisan Tanah			
	Atas		Bawah	
	Terubahkan	Tetap	Terubahkan	Tetap
0,0	48,30	0,03	23,10	0,04
1,4	69,90	0,09	43,00	0,08
2,2	90,96	0,12	59,40	0,09
3,2	102,40	0,09	88,50	0,07
4,9	120,10	0,08	108,90	0,06
7,2	130,30	0,06	110,60	0,06

Sumber: Soekodarmodjo (1983).

Tabel 6.6. Daya tumpu tanah (kg/cm²) pada penambahan 5 % kapur tanah

No	kontrol	Waktu (minggu)				
		1	2	4	8	12
		Daya tumpu (kg/cm ²)				
1	1,0	2,4	2,5	4,7	6,8	7,1
2	4,1	6,2	7,6	10,1	12,2	15,1
3	4,8	8,6	9,4	11,0	13,9	17,9
4	4,7	8,1	8,9	11,0	14,6	15,0
5	3,3	4,7	5,4	8,2	11,2	11,3

Sumber: Shen dan Li (1970)

Kapur merupakan bahan ameliorasi yang dapat memperbaiki sifat fisika tanah. Selain bidang pertanian, pemberian kapur juga diharapkan bermanfaat bagi bidang lainnya, seperti teknik sipil.

6.8. Manfaat Pengapuran terhadap Sifat Biologi Tanah

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa tanah masam mempunyai kendala biologi yang antara lain ditandai dengan aktivitas mikroorganisme menjadi kurang. pH tanah yang rendah pada tanah merupakan lingkungan yang kurang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman dan mikrobiologi, kecuali pada tanaman dan mikroorganisme yang tahan terhadap lingkungan asam.

Jika ditinjau dari mikrobiologi tanah, perubahan pH sangat besar pengaruhnya terhadap susunan dan jumlah populasi mikroorganisme tanah. Pada umumnya, aktifitas tertinggi mikroorganisme tanah berada pada pH netral. Beberapa proses di dalam tanah yang mempengaruhi melibatkan mikroorganisme tanah antara lain 1). Dekomposisi bahan organik (mineralisasi N organik dan P organik), 2). Aktifitas jasad mikroorganisme tanah pada fiksasi N_2 . Meskipun kisaran pH lingkungan bagi mikroorganisme tanah ini sangat luas, namun kisaran pH netral adalah yang paling baik bagi aktifitas mikroorganisme.

Beberapa mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik adalah fungi, bakteri dan aktinomisetes. Di samping mikroorganisme tanah, fauna tanah juga berperan dalam dekomposisi bahan organik antara lain yang tergolong dalam protozoa, nematoda, *Collembola*, dan cacing tanah. Fauna tanah ini berperan dalam proses

humifikasi dan mineralisasi atau pelepasan hara, bahkan ikut bertanggung jawab terhadap pemeliharaan struktur tanah (Tian, G. 1997). Pada pH netral hingga alkalis, bermacam-macam mikroorganisme tanah (bakteri, fungi, actinomycetes) mampu menghasilkan enzim-enzim penghidrolisa polisakaridanya lebih baik. Jika keadaan asam, yang berfungsi sebagai pengurai bahan organik didominasi oleh fungi. Aktifitas fungi masih pesat jika pH dibawah 5. Jika pH dinaikkan (dengan pemberian kapur), maka akan terjadi perubahan populasi dan jenis mikroba yang aktif dalam melakukan dekomposisi.

Pada dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob dan mesofil, pH antara 6,5-7,0 populasi aktif terdiri dari vibrio dan fungi. Sedangkan pada pH 5,0-6,2 peran vibrio lebih kecil dibandingkan fungi. Ion Ca, Mg dan Sn sangat diperlukan bagi aktifasi dan satbilitas enzim ekstraluler yang disekresi oleh mikroorganisme. Sehingga pada lingkungan yang asam (kekurangan ion Ca dan Mg) menyebabkan aktifitas sekresi enzim-enzim tersebut terhambat.

Bahan organik sumber nitrogen (protein) pertama-tama akan mengalami peruraian menjadi asam-asam amino yang dikenal dengan proses *aminisasi*, yang selanjutnya oleh sejumlah besar mikrobia heterotrofik mengurai menjadi amonium yang dikenal sebagai proses *amonifikasi*. *Amonifikasi* ini dapat berlangsung hampir pada setiap keadaan, sehingga amonium dapat merupakan bentuk nitrogen anorganik (mineral) yang utama dalam tanah (Tisdell dan Nelson, 1974). Nasib dari amonium ini antara lain dapat secara

langsung diserap dan digunakan tanaman untuk pertumbuhannya, atau oleh mikroorganisme untuk segera dioksidasi menjadi nitrat yang disebut dengan proses *nitrifikasi*. *Nitrifikasi* adalah proses bertahap yaitu proses *nitritasi* yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dengan menghasilkan nitrit, yang segera diikuti oleh proses oksidasi berikutnya menjadi nitrat yang dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* yang disebut dengan *nitratasi*. Nitrat merupakan hasil proses mineralisasi yang banyak disukai atau diserap oleh sebagian besar tanaman budidaya.

Dari proses mineralisasi di atas dapat dilihat bahwa aktifitas mikroorganisme mempunyai peran penting dalam hal itu. Kecepatan amonifikasi yang tinggi terdapat pada lingkungan yang memiliki pH netral dan alkalis, demikian juga bagi mikroorganisme yang berperan dalam nitrifikasi dan nitratasi. Kelompok mikroorganisme pelarut fosfat dibutuhkan pada saat mensekresi enzim fosfatasenya. pH optimum pada proses ini juga berada pada lingkungan netral. Dapat disimpulkan secara umum bahwa, pengapuran pada tanah masam dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap proses mineralisasi N organik dan P organik di dalam tanah.

pH tanah juga besar pengaruhnya bagi proses fiksasi N_2 . Gangguan terbentuknya bintil akar pada pH rendah disebabkan karena terhambatnya perkembangan populasi *Rhizobium* di dalam rhizosfer dan kekurangan unsur hara Ca. Pengapuran dapat memperbaiki lingkungan tanah sekitar akar, sehingga infeksi oleh *Rhizobium* dan proses pembentukan bintil akar dapat berlangsung.

BAB VII

PENGELOLAAN BAHAN ORGANIK TANAH

7.1. Pengertian Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah adalah bagian dari tanah yang merupakan suatu sistem yang sangat kompleks dan dinamis, yang bersumber dari sisa tanaman dan/atau binatang yang terdapat di dalam tanah yang terus menerus mengalami perubahan bentuk dan ukuran, karena dipengaruhi oleh faktor biologi, fisika, dan kimia (Kononova, 1961). Bahan organik tanah juga merupakan salah satu fase penyusun tanah (5%), selain mineral (45%), air (25%) dan udara (25%).

Menurut Stevenson (1994), bahan organik tanah adalah semua jenis senyawa organik yang terdapat di dalam tanah, termasuk seresah, fraksi bahan organik ringan, biomassa jasad renik, bahan organik terlarut di dalam air, dan bahan organik yang stabil atau humus. Bahan organik memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sehingga jika kadar bahan organik tanah menurun, kemampuan tanah dalam mendukung produktivitas tanaman juga menurun. Menurunnya kadar bahan organik merupakan salah satu bentuk kerusakan tanah yang umum terjadi. Menurut Dudal dan Deckers (1993), pengaruh menguntungkan adanya bahan organik tanah adalah kaitannya peranan bahan organik sebagai pemasok hara, meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, memperbaiki agregat tanah dan meningkatkan daya

tahan air serta mendukung aktifitas biologi tanah. Metode analitik yang digunakan untuk mencirikan bahan organik tanah dapat ditentukan dengan mengukur kandungan asam fulfat dan humat, nisbah C/N, nisbah lignin/N, perbandingan fraksi yang labil dan non labil, jumlah biomassa mikrobia, ukuran partikel, kepadatan, komposisi kimia, kandungan hara, dan laju mineralisasi.

Telah dijelaskan pada bab awal, bahwa tanah mineral masam memiliki kandungan bahan organik yang rendah. Lain halnya dengan tanah organik atau tanah Gambut (Histosol = USDA atau Organosol = FAO) memiliki kandungan bahan organik total yang sangat tinggi hampir mendekati 100% kandungan bahan organiknya. Dekomposisi yang terhambat menyebabkan tanah ini menjadi masam. Oleh karena itu, pemberian bahan organik sebagai amelioran tanah perlu memperhatikan tingkat kematangan bahan organik itu sendiri. Kandungan bahan organik tanah sangat erat hubungannya dengan sifat-sifat bahan organik itu sendiri dengan lingkungan. Kondisi lingkungan yang sangat berperan adalah iklim dan kondisi tanah. Dengan demikian derajat, aktifitas, kandungan hara dan agihan bahan organik tanah sangat tergantung pada temperatur, rejim air, struktur tanah, tekstur dan mineralogi klei, pH dan komposisi kimia tanah yang terbentuk. Kandungan humus juga sangat ditentukan oleh jenis tanah yang ada. Dalam kondisi alami kandungan humus sekitar 0,5% di daerah semi arid sampai 10% di daerah padang rumput. Bahan organik tanah umumnya berada pada lapisan permukaan tanah dan dapat mengalami translokasi ke lapisan yang lebih dalam pada daerah dengan curah hujan tinggi seperti yang terjadi pada tanah-tanah

Spodosol (USDA) atau Podsol (FAO) yang dapat dijumpai di Propinsi Kalimantan Tengah. Di Kalimantan Tengah terutama di Palangkaraya ditemukan tanah podsol yang sangat luas dimana lapisan permukaan tanahnya berupa pasir putih yang tidak subur dan lapisan bawahnya berupa horison spodik yang berwarna hitam yang kaya bahan organik akibat proses podsolisasi. Tanah ini tidak cocok untuk digunakan sebagai budidaya tanaman pangan karena kesuburannya sangat rendah dimana lapisan tanah atasnya miskin bahan organik tanah. Secara umum bahan organik tanah dapat dijumpai tinggi yang banyak ditemukan di lokasi sedimen aluvial (Inceptisol) dan semakin rendah pada tanah-tanah yang telah terlapukan lanjut seperti Ultisol dan Oxisol.

Bahan organik tanah dapat juga dikatakan sebagai bahan pembangun tanah (*soil building block*) artinya bahan organik tersebut dapat menjadikan tanah lebih subur, tanah lebih sehat, tanah lebih kaya unsur hara, tanah lebih kaya jasad-jasad renik dan tanah lebih lembab serta tanah warnyanya menjadi lebih kelam. Tanah-tanah yang demikian sangat ideal untuk media tumbuh tanaman. Dengan demikian bahan organik tanah dapat mendukung keberlanjutan sistem pertanian, sehingga tanah tidak cepat rusak dan tanah dapat digunakan sebagai sistem produksi secara terus menerus tanpa mencemari sumberdaya lahan dan lingkungan.

7.1.2. Sumber Bahan Organik

Bahan organik tanah dapat berasal dari: (1) sumber primer, yaitu: jaringan organik tanaman (flora) yang dapat berupa: (a) daun,

(b) ranting dan cabang, (c) batang, (d) buah, dan (e) akar. (2) sumber sekunder, yaitu: jaringan organik fauna, yang dapat berupa: kotorannya dan mikrofauna. (3) sumber lain dari luar, yaitu: pemberian pupuk organik berupa: (a) pupuk kandang, (b) pupuk hijau, (c) pupuk bokasi (kompos), dan (d) pupuk hayati.

Komposisi Biokimia Bahan Organik menurut Waksman (1948) dalam Brady (1990) bahwa biomass bahan organik yang berasal dari biomass hijauan, terdiri dari: (1) air (75%) dan 2) biomass kering (25%). Komposisi biokimia bahan organik dari biomass kering tersebut, terdiri dari: (1) karbohidrat (60%), (2) lignin (25%), (3) protein (10%), (4) lemak, lilin dan tanin (5%).

Karbohidrat penyusun biomass kering tersebut, terdiri dari: (1) gula dan pati (1% -s/d- 5%), (2) hemiselulosa (10% -s/d- 30%), dan (3) selulosa (20% -s/d- 50%). Berdasarkan kategori unsur hara penyusun biomass kering, terdiri dari: (1) Karbon (C = 44%), (2) Oksigen (O = 40%), (3) Hidrogen (H = 8%), dan (4) Mineral (8%).

7.1.3. Dekomposisi Bahan Organik

Proses dekomposisi bahan organik melalui 3 reaksi, yaitu: (1) reaksi enzimatik atau oksidasi enzimatik, yaitu: reaksi oksidasi senyawa hidrokarbon yang terjadi melalui reaksi enzimatik menghasilkan produk akhir berupa karbon dioksida (CO₂), air (H₂O), energi dan panas. (2) reaksi spesifik berupa mineralisasi dan/atau immobilisasi unsur hara essential berupa hara nitrogen (N), fosfor (P), dan belerang (S). (3) pembentukan senyawa-senyawa baru atau turunan yang sangat resisten berupa humus tanah.

Berdasarkan kategori produk akhir yang dihasilkan, maka proses dekomposisi bahan organik digolongkan menjadi 2, yaitu: (1) proses mineralisasi, dan (2) proses humifikasi. Proses mineralisasi terjadi terutama terhadap bahan organik dari senyawa-senyawa yang tidak resisten, seperti: selulosa, gula, dan protein. Proses akhir mineralisasi dihasilkan ion atau hara yang tersedia bagi tanaman. Proses humifikasi terjadi terhadap bahan organik dari senyawa-senyawa yang resisten, seperti: lignin, resin, minyak dan lemak. Proses akhir humifikasi dihasilkan humus yang lebih resisten terhadap proses dekomposisi.

Urutan kemudahan dekomposisi dari berbagai bahan penyusun bahan organik tanah dari yang terdekomposisi paling cepat sampai dengan yang terdekomposisi paling lambat, adalah sebagai berikut: (1) gula, pati, dan protein sederhana, (2) protein kasar (protein yang lebih kompleks), (3) hemiselulosa, (4) selulosa, (5) lemak, minyak dan lilin, serta (6) lignin.

Untuk mempertahankan dan meningkatkan bahan organik tanah, diperlukan pengelolaan yang tepat, yaitu dengan melakukan penambahan bahan organik. Masalah utama dalam penambahan bahan organik di lapang adalah masalah sinkronisasi dan ketidaktersediaan sumber bahan organik. Untuk membantu sinkronisasi antara ketersediaan hara dengan kebutuhan hara oleh tanaman, dapat dilakukan dengan pencampuran bahan yang berkualitas tinggi dengan yang berkualitas rendah, atau dengan upaya pengomposan.

7.1.4. Kompos

Menurut Hakim *et al.* (1986) bahwa secara umum kompos penting dalam meningkatkan kesuburan tanah baik fisik, kimia maupun biologi tanah. Sumber bahan organik sangat menentukan kecepatan bahan organik dan senyawa yang dihasilkan.

Kompos mempunyai urutan pertama dalam rangkaian budidaya tanaman karena jenis pupuk ini digunakan sebagai pupuk dasar. Senyawa atau unsur-unsur organik yang merupakan kandungan utama pupuk ini dapat dimanfaatkan oleh tanaman setelah melalui proses dekomposisi di dalam tanah (Marsono dan Sigit, 2001).

Pemupukan kompos menjadi penting karena kompos merupakan pupuk organik yang bahan bakunya telah mengalami proses pelapukan karena adanya interaksi antara mikroorganisme yang bekerja di dalamnya (Murbando, 2000). Selanjutnya dalam penelitian Reza (2006), dikatakan bahwa dengan penggunaan kompos dalam budidaya tanaman padi organik mampu menghasilkan 8-9 ton GKP/ha.

Proses pengomposan sangat dipengaruhi oleh sumber bahan organik yang digunakan sebagai bahan dasar pengomposan. Telah dijelaskan di atas bahwa terdapat urutan kecepatan dekomposisi bahan organik hingga menjadi kompos. Proses perombakan bahan organik secara alami membutuhkan waktu relatif lama (3-4 bulan) terutama yang mengandung lignin. Sebagian besar materi limbah organik gimnospermae dan angiospermae merupakan lignoselulosa. Hampir setengah materi lignoselulose merupakan senyawa selulose dan 15% sampai 36% adalah senyawa lignin.

Lignin merupakan polimer struktural fenilpropan pada tanaman vascular yang membuat kekakuan tanaman dan mengikat serat dinding sel bersama-sama, berfungsi menurunkan permeasi air melintasi dinding jaringan xilem dan membuat kayu resisten terhadap serangan mikroba. Lignin merupakan penghalang akses enzim selulolitik pada degradasi bahan berlignoselulose sehingga menghambat proses dekomposisi, sehingga sering menyebabkan penumpukan bahan organik. Sisa tanaman yang mengandung lignin lebih banyak akan mengalami proses dekomposisi lebih lambat dibanding tanaman yang mengandung lignin lebih sedikit.

Strategi untuk mempercepat proses biodekomposisi bahan organik dilakukan dengan memanfaatkan mikroba perombak lignin (lignolitik) dan selulosa (selulolitik) yang umumnya dari kelompok fungi dan diketahui menunjukkan aktivitas biodekomposisi paling signifikan.

Lambatnya proses perombakan bahan organik berlignoselulose pada lahan pertanian, khususnya pada lahan sawah, apalagi jika dihadapkan dengan masa tanam yang mendesak untuk menghasilkan produksi tinggi, sehingga pemanfaatannya sering dianggap kurang ekonomis dan tidak efisien. Jerami mengandung senyawa polimer selulosa (*ca* 40%), hemiselulosa (*ca* 35%), lignin (*ca* 15%). Untuk mengatasi hal tersebut di atas perlu segera dilakukan suatu upaya alternatif dalam meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan pemupukan yang ramah lingkungan, untuk keberlanjutan produktivitas tanah.

Upaya mempercepat proses pengomposan, meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan ketersediaan hara dalam tanah dapat dilakukan dengan menggunakan bioaktivator perombak bahan organik (biodekomposer) dan pupuk mikroba (biofertilizer) yang sesuai dengan kondisi tanah. Pemanfaatan biodekomposer, selain mempercepat proses pengomposan dan mengurangi volume bahan buangan, juga dapat menekan perkecambahan spora, larva insek, dan biji gulma sehingga pertumbuhan hama dan patogen, serta gulma di non-aktifkan atau bahkan dihentikan, dan volume bahan buangan, serta masalah lingkungan.

Walaupun penggunaan bahan organik sudah bukan bahan yang baru lagi, namun mengingat betapa pentingnya bahan organik dalam menunjang produktivitas tanaman dan sekaligus mempertahankan kondisi lahan yang produktif dan berkelanjutan, maka pembahasan terhadap bahan organik tidak henti-hentinya untuk dikaji.

7.2. Peran Bahan Organik bagi Kesuburan Tanah

Tidak ada satu pakarpun di dunia yang menolak akan banyaknya peran positif bahan organik yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah. Bahan organik dikenal juga sebagai gudang hara, sehingga bahan organik di samping berpengaruh terhadap pasokan hara tanah untuk pertumbuhan tanaman juga mempunyai peranan yang sangat penting terhadap sifat fisik, biologi dan kimia tanah. Syarat tanah sebagai media tumbuh dibutuhkan kondisi fisik dan kimia yang baik. Keadaan fisik tanah yang baik apabila dapat menjamin pertumbuhan

akar tanaman dan mampu sebagai tempat aerasi dan lengas tanah, yang semuanya berkaitan dengan peran bahan organik. Dalam kaitannya dengan lengas tanah, dalam hal ini bahan organik berfungsi sebagai spon yang mampu menahan lengas tanah, sehingga dapat menjaga kelembaban tanah. Peran bahan organik yang paling besar terhadap sifat fisik tanah meliputi : struktur, konsistensi, porositas, daya mengikat air, dan yang tidak kalah penting adalah peningkatan ketahanan terhadap erosi (Suntoro, 2003). Di bawah ini diberikan contoh kandungan hara dari dua jenis tanaman sebagai sumber bahan organik yang diberikan ke dalam tanah (Tabel 7.1).

7.2.1. Peran Bahan Organik Terhadap Kesuburan Fisik Tanah

Bahan organik mempunyai perilaku sebagai lem “alami” dalam tanah, sehingga bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah, yang mempunyai peran sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah, sehingga bahan organik dapat berfungsi dalam pembentukan struktur tanah (Suntoro, 2003).

Tabel 7.1. Komposisi kimia bahan tanaman sebagai sumber bahan organik yang akan diberikan ke dalam tanah (Bell dan Bessho, 1993).

No	Peubah	Konsentrasi (%)	
		Daun legum (<i>Calliandra calothyrsus</i> Meissn)	Jerami Gandum (<i>Hordeum vulgare</i> L.)
1	N total	3,32	0,65
2	Ca total	1,21	0,22

	Ca terekstrak ^b	0,82	0,15
	Ca larut air	0,55	0,10
3	Mg total	0,60	0,11
	Mg terekstrak	0,55 ^b	0,11
	Mg larut air	0,48	0,08
4	K total	0,57	3,66
	K terekstrak	0,54 ^b	3,18
	K larut air	0,49	2,82
5	Na total	0,02	0,39
	Na terekstrak	0,01 ^b	0,23
	Na larut air	<0,005	0,16
6	pH (air) = 1:10	5,9	6,2

Keterangan: ^b = Diekstrak dengan larutan 0,1M BaCl₂/0,1M NH₄Cl

Pengaruh pemberian bahan organik terhadap struktur tanah sangat berkaitan dengan adanya butir-butir partikel dalam tanah yang akan menyusun agregat tanah. Pada tanah klei yang berat, terjadi perubahan struktur gumpal kasar dan kuat menjadi struktur yang lebih halus tidak kasar, dengan derajat struktur sedang hingga kuat, sehingga lebih mudah untuk diolah. Komponen organik seperti asam humat dan asam fulvat dalam hal ini berperan sebagai sementasi partikel klei dengan membentuk kompleks klei-logam-humus (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003). Pada tanah pasiran, bahan organik dapat diharapkan merubah struktur tanah dari berbutir tunggal menjadi bentuk gumpal, sehingga meningkatkan derajat struktur dan ukuran agregat atau meningkatkan kelas struktur dari halus menjadi sedang atau kasar (Scholes *et al.*, 1994 dalam Suntoro, 2003). Bahkan bahan organik dapat mengubah tanah yang semula tidak berstruktur (kompak) dapat membentuk struktur yang remah, dengan derajat struktur yang sedang hingga kuat (Suntoro, 2003).

Terdapat 4 (empat) mekanisme pembentukan agregat tanah oleh adanya peran bahan organik yaitu (1) pemberian bahan organik dapat meningkatkan populasi jasad renik tanah baik jamur dan actinomycetes (sebagai *soil regenerator*). Melalui pengikatan secara fisik butir-butir primer tanah oleh miselia jamur dan *actinomycetes*, maka akan terbentuk agregat tanah; (2) pengikatan secara kimia butir-butir klei melalui ikatan antara bagian-bagian positif dalam butir klei dengan gugus fungsional yang bermuatan negatif (karboksil) senyawa organik yang berantai panjang (polimer); (3) pengikatan secara kimia butir-butir klei melalui ikatan antara bagian – bagian negatif dari klei dengan gugusan fungsional organik negatif (karboksil) senyawa organik berantai panjang dengan perantara logam-logam Ca, Mg, Fe dan ikatan hidrogen; (4) pengikatan secara kimia butir-butir klei melalui ikatan antara bagian-bagian negatif dari klei dengan gugus positif (gugus amina, amida, dan amino) senyawa organik berantai panjang (polimer) (Seta, 1987 dalam Suntoro, 2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa asam humat lebih bertanggung jawab pada pembentukan agregat pada tanah Entisol yang ditunjukkan oleh meningkatnya kemantapan agregat tanah (Pertoyo, 1999 dalam Suntoro, 2003).

Kandungan bahan organik yang cukup dalam tanah dapat memperbaiki kondisi fisik tanah agar tidak terlalu berat dan tidak terlalu ringan dalam pengolahan tanah. Berkaitan dengan pengolahan tanah, penambahan bahan organik akan meningkatkan kemampuannya untuk diolah pada kondisi yang agak kering dimana kandungan kelembabannya yang rendah. Di samping itu, penambahan bahan

organik akan memperluas kisaran kadar lengas untuk dapat diolah dengan alat-alat dengan baik, tanpa banyak mengeluarkan energi akibat perubahan kelekatan tanah terhadap alat. Pada tanah yang bertekstur halus (kleian), pada saat basah mempunyai kelekatan dan keliatan yang tinggi, sehingga sukar diolah (tanah berat), dengan tambahan bahan organik dapat meringankan pengolahan tanah dalam bentuk memperbaiki agregasi sehingga terjadi peningkatan porositas tanah. Pada tanah ini sering terjadi retak-retak pada saat musim kering (kemarau) yang berbahaya bagi perkembangan akar, maka dengan tambahan bahan organik kemudahan retak akan berkurang karena terjadi peningkatan kelembaban tanah akibat adanya bahan organik (Suntoro, 2003).

Pada tanah pasiran (dengan struktur *grain*) yang semula tidak lekat, tidak plastis, pada saat basah, dan gembur pada saat lembab dan kering, dengan tambahan bahan organik dapat menjadi agak lekat dan plastis serta sedikit teguh, sehingga mudah diolah. Di sini bahan organik berperilaku sebagai lem butiran tanah.

Pengaruh bahan organik terhadap sifat fisika tanah yang lain adalah terhadap peningkatan porositas tanah. Porositas tanah adalah ukuran yang menunjukkan bagian tanah yang tidak terisi bahan padat tanah yang terisi oleh udara dan air. Pori pori tanah dapat dibedakan menjadi pori mikro, pori meso dan pori makro. Pori-pori mikro sering dikenal sebagai pori kapiler, pori meso dikenal sebagai pori drainase lambat, dan pori makro merupakan pori drainase cepat. Tanah pasir yang banyak mengandung pori makro sulit menahan air, sedang tanah klei yang banyak mengandung pori mikro drainasenya jelek. Pori

dalam tanah menentukan kandungan air dan udara dalam tanah serta menentukan perbandingan tata udara dan tata air yang baik. Penambahan bahan organik pada tanah berpasir, akan meningkatkan pori yang berukuran menengah dan menurunkan pori makro. Dengan demikian akan meningkatkan kemampuan menahan air (Stevenson, 1984 dalam Suntoro, 2003). Hasil penelitian menunjukkan, penambahan bahan humat 1 persen pada Latosol mampu meningkatkan 35,75 % pori air tersedia dari 6,07 % menjadi 8,24 % volume (Herudjito, 1999 dalam Suntoro, 2003). Pada tanah halus lempung (*Clayey*), pemberian bahan organik akan meningkatkan pori meso dan menurunkan pori mikro. Dengan demikian akan meningkatkan pori yang dapat terisi udara dan menurunkan pori yang terisi air, artinya akan terjadi perbaikan aerasi untuk tanah lempung berat. Terbukti penambahan bahan organik yang berasal dari pupuk kandang akan meningkatkan pori total tanah dan akan menurunkan berat volume tanah (Wiskandar, 2002 dalam Suntoro, 2003).

Peranan bahan organik untuk meningkatkan porositas tanah di samping berkaitan dengan aerasi tanah, juga berkaitan dengan status kadar air dalam tanah. Penambahan bahan organik akan meningkatkan kemampuan menahan air (dalam hal ini bahan organik berperilaku sebagai spon) sehingga kemampuan menyediakan air tanah untuk pertumbuhan tanaman meningkat. Kadar air yang optimal bagi tanaman dan kehidupan mikroorganisme adalah sekitar kapasitas lapang. Penambahan bahan organik di tanah pasir akan meningkatkan kadar air pada kapasitas lapang, akibat dari meningkatnya pori yang berukuran menengah dan menurunnya pori

makro, sehingga daya menahan air meningkat, dan berdampak pada peningkatan ketersediaan air untuk pertumbuhan tanaman (Scholes *et al.*, 1994 dalam Suntoro, 2003). Terbukti penambahan pupuk kandang pada tanah Andisol mampu meningkatkan pori memegang air sebesar 4,73 % (dari 69,8 % menjadi 73,1 %) (Tejasuwarna, 1999 dalam Suntoro, 2003). Pada tanah berklei dengan penambahan bahan organik akan meningkatkan infiltrasi tanah akibat dari meningkatnya pori meso tanah dan menurunnya pori mikro (Suntoro, 2003).

7.2.2. Peran Bahan Organik terhadap Kesuburan Kimia Tanah

Pengaruh bahan organik terhadap kesuburan kimia tanah antara lain terhadap kapasitas pertukaran kation, kapasitas pertukaran anion, pH tanah, daya sangga tanah dan terhadap keheraan tanah (Suntoro, 2003). Penambahan bahan organik akan meningkatkan muatan negatif sehingga akan meningkatkan kapasitas Tukar kation (KTK). Bahan organik memberikan kontribusi yang nyata terhadap KTK tanah. Sekitar 20 – 70 % kapasitas pertukaran tanah pada umumnya bersumber pada koloid humus, sehingga terdapat korelasi antara bahan organik dengan KTK tanah (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003). Kapasitas tukar kation (KTK) menunjukkan kemampuan klei tanah untuk menahan kation-kation dan mempertukarkan kation-kation tersebut termasuk kation hara tanaman. Humus dalam tanah sebagai hasil proses dekomposisi bahan organik merupakan sumber muatan negatif tanah, sehingga humus dianggap mempunyai susunan koloid seperti klei, namun humus tidak semantap koloid klei, humus bersifat dinamik, mudah dihancurkan dan

dibentuk. Sumber utama muatan negatif humus sebagian besar berasal dari gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH) nya (Brady, 1990 dalam Suntoro, 2003). Dalam prakteknya penambahan jerami 10 t ha^{-1} pada Ultisol mampu meningkatkan 15,18 % KTK tanah dari 17,44 menjadi 20,08 cmol (+) kg^{-1} (Cahyani, 1996 dalam Suntoro, 2003).

Muatan koloid humus bersifat berubah-ubah tergantung dari nilai pH larutan tanah. Dalam suasana sangat masam (pH rendah), hidrogen akan terikat kuat pada gugus aktifnya yang menyebabkan gugus aktif berubah menjadi bermuatan positif (-COOH²⁺ dan -OH²⁺), sehingga koloid-koloid yang bermuatan negatif menjadi rendah, akibatnya KTK turun. Sebaliknya dalam suasana alkali larutan tanah banyak mengandung OH⁻, akibatnya terjadi pelepasan H⁺ dari gugus fungsional organik dan terjadi peningkatan muatan negatif (-COO⁻, dan -O⁻), sehingga KTK meningkat (Parfit, 1980 dalam Suntoro, 2003). Implikasinya penggunaan bahan organik dalam bentuk kompos memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap karakteristik muatan tanah masam (Ultisol) dibanding dengan pengapuran (Sufardi *et al.*, 1999 dalam Suntoro, 2003).

Pengaruh penambahan bahan organik terhadap pH tanah dapat meningkatkan atau menurunkan tergantung oleh tingkat kematangan bahan organik yang kita tambahkan dan jenis tanahnya. Penambahan bahan organik yang belum masak (misal pupuk hijau) atau bahan organik yang masih mengalami proses dekomposisi, biasanya akan menyebabkan penurunan pH tanah, karena selama proses dekomposisi akan melepaskan asam-asam organik yang menyebabkan menurunnya pH tanah. Namun apabila diberikan pada tanah yang masam dengan

kandungan Al tertukar tinggi, akan menyebabkan peningkatan pH tanah, karena asam-asam organik hasil dekomposisi akan mengikat Al membentuk senyawa kompleks, sehingga Al-tidak terhidrolisis lagi. Dilaporkan bahwa penambahan bahan organik pada tanah masam, antara lain Inseptisol, Ultisol dan Andisol mampu meningkatkan pH tanah dan mampu menurunkan Al tertukar tanah (Suntoro, 2001; Cahyani., 1996; dan Dewi, 1996 dalam Suntoro, 2003). Peningkatan pH tanah juga akan terjadi apabila bahan organik yang kita tambahkan telah terdekomposisi lanjut, karena bahan organik yang telah termineralisasi akan melepaskan mineralnya, berupa kation-kation basa (Suntoro, 2003).

Peran bahan organik terhadap pasokan hara dalam tanah tidak terlepas dengan proses mineralisasi yang merupakan tahap akhir dari proses penguraian bahan organik. Dalam proses mineralisasi akan dilepas mineral-mineral hara tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg, S, dll serta hara mikro) dalam jumlah tidak tentu dan relatif kecil. Hara N, P dan S merupakan hara yang relatif lebih banyak untuk dilepas dan dapat digunakan tanaman (Suntoro, 2003).

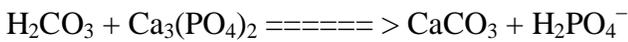
Bahan organik sebagai sumber nitrogen pertama-tama akan mengalami peruraian menjadi asam-asam amino yang dikenal dengan proses *aminisasi*, yang selanjutnya oleh sejumlah besar mikrobia heterotrofik mengurai menjadi amonium yang dikenal sebagai proses *amonifikasi*. *Amonifikasi* ini dapat berlangsung hampir pada setiap keadaan, sehingga amonium dapat merupakan bentuk nitrogen anorganik (mineral) yang utama dalam tanah (Tisdell dan Nelson, 1974 dalam Suntoro, 2003). Nasib dari amonium ini antara lain dapat secara

langsung diserap dan digunakan tanaman untuk pertumbuhannya, atau oleh mikroorganisme untuk segera dioksidasi menjadi nitrat yang disebut dengan proses *nitrifikasi*. *Nitrifikasi* adalah proses bertahap yaitu proses *nitritasi* yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dengan menghasilkan nitrit, yang segera diikuti oleh proses oksidasi berikutnya menjadi nitrat yang dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* yang disebut dengan *nitratasi*. Nitrat merupakan hasil proses mineralisasi yang banyak disukai atau diserap oleh sebagian besar tanaman budidaya. Namun nitrat ini mudah tercuci melalui air drainase dan menguap ke atmosfer dalam bentuk gas (pada drainase buruk dan aerasi terbatas) (Killham, 1994 dalam Suntoro, 2003).

Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan P dapat secara langsung melalui proses mineralisasi atau secara tidak langsung dengan membantu pelepasan P yang terfiksasi. Stevenson (1982) dalam Suntoro (2003) menjelaskan ketersediaan P di dalam tanah dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan organik melalui 5 aksi yaitu : (1) Melalui proses mineralisasi bahan organik terjadi pelepasan P mineral (PO_4^{3-}); (2) Melalui aksi dari asam organik atau senyawa pengkelat yang lain hasil dekomposisi, terjadi pelepasan fosfat yang berikatan dengan Al dan Fe yang tidak larut menjadi bentuk terlarut, $\text{Al (Fe)(H}_2\text{O)}_3 \text{ (OH) } 2 \text{ H}_2 \text{ PO}_4 + \text{Khelat} \implies \text{PO}_4^{2-} \text{ (larut)} + \text{Kompleks Al-Fe- Khelat}$ (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003), (3). Bahan organik akan mengurangi jerapan fosfat karena asam humat dan asam fulvat berfungsi melindungi sesquioksida dengan memblokir situs pertukaran; (4). Penambahan bahan organik mampu mengaktifkan proses penguraian bahan organik asli tanah; (5).

Membentuk kompleks fosfo-humat dan fosfo-fulvat yang dapat ditukar dan lebih tersedia bagi tanaman, sebab fosfat yang dijerap pada bahan organik secara lemah (Suntoro, 2003).

Untuk tanah-tanah berkapur yang banyak mengandung Ca dan Mg fosfat tinggi, karena dengan terbentuk asam karbonat akibat dari pelepasan CO₂ dalam proses dekomposisi bahan organik, mengakibatkan kelarutan P menjadi lebih meningkat, dengan reaksi sebagai berikut : CO₂ + H₂O ===== > H₂CO₃



Asam-asam organik hasil proses dekomposisi bahan organik juga dapat berperan sebagai bahan pelarut batuan fosfat, sehingga fosfat terlepas dan tersedia bagi tanaman (Suntoro, 2003).

Hasil proses penguraian dan mineralisasi bahan organik, di samping akan melepaskan fosfor anorganik (PO₄³⁻) juga akan melepaskan senyawa-senyawa P-organik

seperti fitine dan asam nucleic, dan diduga senyawa P-organik ini, tanaman dapat memanfaatkannya. Proses mineralisasi bahan organik akan berlangsung jika kandungan P bahan organik tinggi, yang sering dinyatakan dalam nisbah C/P. Jika kandungan P bahan tinggi, atau nisbah C/P rendah kurang dari 200, akan terjadi mineralisasi atau pelepasan P ke dalam tanah, namun jika nisbah C/P tinggi lebih dari 300 justru akan terjadi imobilisasi P atau kehilangan P (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003).

Bahan organik di samping berperan terhadap ketersediaan N dan P, juga berperan terhadap ketersediaan S dalam tanah. Di daerah humida, S-protein, merupakan cadangan S terbesar untuk keperluan

tanaman. Mineralisasi bahan organik akan menghasilkan sulfida yang berasal dari senyawa protein tanaman. Di dalam tanaman, senyawa *sestein* dan *metionin* merupakan asam amino penting yang mengandung sulfur penyusun protein (Mengel dan Kirkby, 1987 dalam Suntoro, 2003). Protein tanaman mudah sekali dirombak oleh jasad mikro. Belerang (S) hasil mineralisasi bahan organik, bersama dengan N, sebagian S diubah menjadi mantap selama pembentukan humus. Di dalam bentuk mantap ini, S akan dapat terlindung dari pembebasan cepat (Brady, 1990 dalam Suntoro, 2003). Seperti halnya pada N dan P, proses mineralisasi atau immobilisasi S ditentukan oleh nisbah C/S bahan organiknya. Jika nisbah C/S bahan tanaman rendah yaitu kurang dari 200, maka akan terjadi mineralisasi atau pelepasan S ke dalam tanah, sedang jika nisbah C/S bahan tinggi yaitu lebih dari 400, maka justru akan terjadi imobilisasi atau kehilangan S (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003).

7.2.3. Peran Bahan Organik terhadap Kesuburan Biologi Tanah

Bahan organik merupakan sumber energi bagi makro dan mikro-fauna tanah. Penambahan bahan organik dalam tanah akan menyebabkan aktivitas dan populasi mikrobiologi dalam tanah meningkat, terutama yang berkaitan dengan aktivitas dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Beberapa mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik adalah fungi, bakteri dan aktinomisetes. Di samping mikroorganisme tanah, fauna tanah juga berperan dalam dekomposisi bahan organik antara lain yang tergolong dalam protozoa, nematoda, *Collembola*, dan cacing tanah. Fauna tanah

ini berperan dalam proses humifikasi dan mineralisasi atau pelepasan hara, bahkan ikut bertanggung jawab terhadap pemeliharaan struktur tanah (Tian, 1997 dalam Suntoro, 2003).

Pengaruh positif yang lain dari penambahan bahan organik adalah pengaruhnya pada pertumbuhan tanaman. Terdapat senyawa yang mempunyai pengaruh terhadap aktivitas biologis yang ditemukan di dalam tanah adalah senyawa perangsang tumbuh (auxin), dan vitamin (Stevenson, 1982 dalam Suntoro, 2003). Senyawa-senyawa ini di dalam tanah berasal dari eksudat tanaman, pupuk kandang, kompos, sisa tanaman dan juga berasal dari hasil aktivitas mikrobia dalam tanah. Di samping itu, diindikasikan asam organik dengan berat molekul rendah, terutama bikarbonat (seperti *suksinat*, *ciannamat*, *fumarat*) hasil dekomposisi bahan organik, dalam konsentrasi rendah dapat mempunyai sifat seperti senyawa perangsang tumbuh, sehingga berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman (Suntoro, 2003).

7.3. Peranan Bahan Organik dalam Pelapukan Batuan dan Mineral

Pelapukan merupakan proses alamiah akibat bekerjanya gaya-gaya alam, baik secara fisik, kimiawi maupun biologi yang menyebabkan terjadinya pemecah-belahan, penghancuran, dan transformasi bebatuan dan mineral penyusunnya menjadi material lepas (regolit) di permukaan bumi (Hanafiah, 2005). Secara umum batuan terdiri dari tiga jenis, yaitu batuan beku (*igneous rocks*), batuan

sedimen (*sedimentary rocks*), dan batuan peralihan/metamorfik (*metamorphic rocks*).

Pelapukan batuan beku dan batuan metamorfik merubah bentuk padat menjadi bahan-bahan yang porous dan tidak kompak yang permukaan dan bentuk partikelnya sangat berbeda dibandingkan struktur dan komposisi kimia mineral induknya. Perubahan yang disebabkan pelapukan pada batuan sedimen tidak begitu tampak dan pengaruhnya juga lebih rendah (Bohn *et al.*, 1985). Proses terjadinya pelapukan dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu pelapukan fisik dan mekanik, pelapukan organik (biologi), dan pelapukan kimiawi.

Dalam proses pelapukan, tanah dan organisme hidup membentuk suatu ekosistem. Komponen aktif dari ekosistem tanah adalah vegetasi, fauna, termasuk mikroorganisme (www.soils.wisc.edu). Peranan masing-masing komponen tersebut berikut ini.

7.3.1. Vegetasi

Suksesi primer tanaman yang mengkolonisasi batuan yang mengalami pelapukan mencapai puncaknya pada perkembangan komunitas tertinggi. Pada keadaan tersebut, komposisi spesies tergantung pada iklim dan bahan induk, tetapi sebaliknya aktivitas perakaran komposisi pada tanah terbentuk suatu hasil.

Akar tanaman membuka terowongan dalam tanah. Tipe perakaran yang berbeda memberikan pengaruh yang berbeda pula pada tanah. Akar rerumputan yang berbentuk serabut dekat permukaan tanah dan mudah terdekomposisi, menambah bahan organik. Akar tunggang membuka lintasan yang melalui lapisan yang

rapat. Mikroorganisme mempengaruhi perubahan kimia antara akar dan tanah (www.nrcs.usda.gov). Pepohonan dan semak mempunyai akar yang besar yang dapat tumbuh pada lapisan tanah yang dalam.

Hinsinger dan Jaillard (1992) meneliti pelapukan dari mika trioktahedral (phlogopite, 2–100- μm particle size) pada rizosfer ‘Turilo’ *Italian ryegrass* (*Lolium multiflorum* Lam.). Mika phlogopite merupakan sumber K dan Mg bagi tanaman. Hasil penelitian menunjukkan perubahan mienrologis cepat diinduksi oleh akar. Hasil ini mendukung pendapat bahwa mineral primer seperti mika trioktahedral menyumbang secara nyata bagi persediaan K pada tanaman di sekitar wilayah perakaran tanaman.

Daun-daun tanaman yang jatuh di permukaan tanah akan didekomposisi dalam tanah. Organisme mendekomposisi daun-daun tersebut dan mencampurnya dengan bagian atas tanah. Proses ini akan mempercepat pembentukan tanah bagian atas (www.nrcs.usda.gov). Penerapan sejumlah hara oleh tanaman juga dapat membantu proses mineralisasi. Pengambilan (uptake) sejumlah hara oleh akar tanaman dan mikroorganisme memicu suatu kekuatan pendorong (*driving force*) untuk reaksi-reaksi yang menghasilkan pembebasan hara tersebut ke larutan tanah (Stevenson, 1982).

7.3.2. Meso/makro fauna

Cacing tanah merupakan fauna yang sangat penting dalam pembentukan tanah pada daerah beriklim sedang (temperate), yang didukung oleh artropoda kecil dan hewan-hewan pengerat besar. Cacing tanah juga penting dalam tanah tropis. Cacing tanah

membangun suatu lapisan *bebas-batu* pada permukaan tanah, dengan mencampur seresah dengan partikel mineral halus yang dicernanya (www.soils.wisc.edu).

Biomassa cacing tanah pada tanah dengan penggunaan lahan yang berbeda dikemukakan oleh White (1987) (Tabel 7.2).

Tabel 7.2. Biomassa cacing tanah pada beberapa kondisi lahan (White, 1987)

No	Jenis Bahan	Biomassa (kg/ha)
1	Hutan kayu atau campuran	370-680
2	Hutan konifera	50-170
3	Padang rumput	500-1500
4	Tanah garapan	16-760

Cacing tanah dapat mencampur tanah secara sempurna pada kedalaman 2 ft atau lebih, dan mentransfer bahan organik ke lapisan bawah tanah melalui aksi hewan-hewan tanah pada proses tersebut. Hewan-hewan tanah yang bersembunyi membawa material tanah yang rendah bahan organik dari lapisan lebih bawah ke permukaan. Ketersediaan bahan organik pada lapisan atas mempengaruhi laju pelapukan dalam suatu waktu (Stevenson, 1982).

7.3.3. Jasad Renik

Bahan organik tanah dikolonisasi oleh sejumlah organisme tanah, terutama jasad renik. Jasad renik membutuhkan energi untuk pertumbuhannya dari dekomposisi oksidatif kompleks molekul-molekul organik. Selama dekomposisi, sejumlah unsur esensial diubah

dari bentuk kombinasi organik menjadi bentuk anorganik (mineralisasi). Sebagian besar jasad renik terkonsentrasi pada lapisan atas 15-25 cm karena substrat C tersedia cukup disini. Perkiraan biomassa mikrobial C pada kisaran 500 sampai 2.000 kg/ha pada kedalaman 15 cm (White, 1987). Tipe mikroorganisme terdiri dari bakteri, aktinomycetes, jamur, alga, dan protozoa.

Sejumlah senyawa organik yang dihasilkan oleh mikroorganisme dapat berperan sebagai pelarut bahan mineral di alam, terutama asam organik. Menurut Stevenson (1982), sejumlah besar mikroorganisme yang berasosiasi dengan "bahan mentah" tanah dari batuan *crevices* dan batuan-batuan yang mengalami pelapukan dari lapisan dalam yang porous menghasilkan asam organik, yang dapat mendekomposisi mineral silikat bila diuji pada kondisi laboratorium. Kemungkinan bahwa asam humat dan senyawa-senyawa yang berhubungan berperan serta dalam pelapukan kimiawi silikat. Mereka merupakan pelarut yang sangat kuat bagi sejumlah mineral dan logam. Karena berat molekulnya yang rendah, asam fulvat mungkin secara khusus efektif dalam pelarutan mineral silikat.

Beberapa mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk mengkatalis proses reduksi-oksidasi untuk mempercepat proses pelapukan. Luttge *et al.* (2005) berpendapat bahwa mikroorganisme diprediksi merubah mekanisme dan kecepatan disolusi kristal ketika mereka menyerang permukaan mineral dan merubah bentuk kejenuhan atau ikatan yang kuat antara molekul-molekul melalui transfer elektron. Calvaruso *et al.* (2006) melaporkan peningkatan pelapukan biotit terjadi dengan pemberian inokulasi

bakteri *Burkholderia glathei*. Akar pinus (*Pinus sylvestris*) juga meningkatkan pelapukan mineral biotit secara nyata 1,3 kali untuk magnesium dan 1,7 kali untuk kalium. Terjadi interaksi yang positif antara akar pinus dan bakteri tersebut dalam pelapukan mineral.

Pelapukan secara biologis/organik mencakup transformasi fisik dan kimia yang dihasilkan oleh organisme hidup dan hasil dekomposisinya (Stevenson, 1982). Pada pelapukan biokimia, terdapat dua tipe senyawa yang berperan penting yaitu asam karbonat, yang terbentuk dari CO₂ yang dibebaskan selama pembusukan bahan organik, dan pengkhelat organik yang berasal dari mikroba dan tumbuhan tingkat tinggi.

Menurut Stevenson (1982), pembusukan (decay) bahan organik oleh mikroorganisme yang menyebabkan pembentukan CO₂ yang secara kuantitatif merupakan agen pelapukan iklim penting yang ‘agresif’ karena kecenderungannya untuk membentuk asam karbonat dengan air.



Asam-asam karbonat akan terdisosiasi melepaskan ion-ion H⁺ sehingga meningkatkan kemasaman yang akan mempercepat proses pelarutan batuan dan mineral (misalnya batuan kalsium karbonat) untuk membentuk kalsium klorida.



Cendawan sangat aktif dalam pelarutan silikat dengan memproduksi asam silikat atau oksalat yang keduanya merupakan pengkhelat yang kuat. Kemampuan *lichenes* untuk melarutkan bahan-

bahan mineral dari batuan dan menyerap hara ke dalam jaringannya juga telah lama diketahui. Demikian juga peranan dari sejumlah besar bakteri dan *actinomycetes* (Stevenson, 1982).

Sejumlah bahan organik larut air yang dihasilkan pada biosfer mampu mengkompleks dan memobilisasi ion-ion logam. Bahan organik juga berfungsi sebagai agen pereduksi. Pelapukan bahan organik akan membebaskan CO₂ dalam tanah. CO₂ tersebut akan mengalami oksidasi sehingga menghasilkan elektron untuk pereduksi.

Bahan organik memainkan peranan penting sebagai agen untuk mobilisasi dan transport ion logam pada tanah. Secara berurutan proses tersebut meliputi desintegrasi material bahan induk, eluviasi ke horison tanah lebih bawah dan transport ke akar tanaman.

Suatu konsep terpadu dari peranan bahan organik dalam translokasi ion logam dari batuan ke sistem biologis telah dibuat Zunino dan Martin (1977) dalam Stevenson (1982). Skema peranan bahan organik terhadap translokasi ion logam dari bahan induknya disajikan pada Gambar 7.1.

Langkah pertama dicirikan oleh penyerangan pada bahan-bahan mineral tak terlarut oleh pengkhelat organik sederhana (misalnya asam lichen, asam organik, fenol) yang diekskresi oleh jasad renik perintis. Langkah ini diistilahkan sebagai *Kompleks Tipe I*. Sejalan dengan waktu dan melalui aksi populasi jasad renik tanah, logam-logam tersingkir oleh bahan-bahan organik yang baru disintesis untuk membentuk *Kompleks Tipe II*, yang lebih stabil dibandingkan Tipe I, sehingga mencegah kehilangan ion-ion logam esensial oleh perkolasi ke air tanah. Dengan suatu peningkatan jumlah ion logam

dalam kompleks ion logam-bahan organik tanah, suatu titik dicapai dimana semua sisi khelasi menjadi jenuh dan kompleks menjadi kurang stabil dibandingkan Tipe II terbentuk, yang disebut *kompleks Tipe III*.

Bahan-bahan organik sederhana yang dihasilkan di tanah berkompetisi dengan ion-ion logam pada kompleks tipe III untuk membentuk kompleks tipe I. Logam yang terkandung pada kompleks tipe I bergabung ke dalam jaringan tanaman dan jasad renik yang akan masuk kembali ke siklus melalui kematian dan pelapukan.

7.4. Peranan Bahan Organik dalam Pembentukan Horison Tanah

Proses diferensiasi (perkembangan) horison-horison dalam suatu profil tanah secara umum melibatkan empat proses utama, yaitu penambahan, kehilangan, transformasi dan translokasi bahan-bahan atau komponen tanah. Proses penambahan berasal dari air hujan yang terkondensasi, oksigen dan CO₂ dari atmosfer, bahan organik dari aktivitas biologis, N, Cl, dan S dari atmosfer dan hujan, bahan-bahan sedimen dan energi matahari. Proses kehilangan dari dalam tanah berupa air melalui evapotranspirasi, CO₂ melalui oksidasi bahan organik, N melalui denitrifikasi, erosi bahan-bahan penyusun tanah dan energi melalui radiasi (Hanafiah, 2005).

Peristiwa translokasi internal berupa pelindian liat, bahan organik, dan sesquioxida oleh air, siklus hara tanah-tanaman berupa larutan air, dan translokasi tanah melalui aktivitas fauna. Peristiwa transformasi internal berupa humifikasi bahan organik,

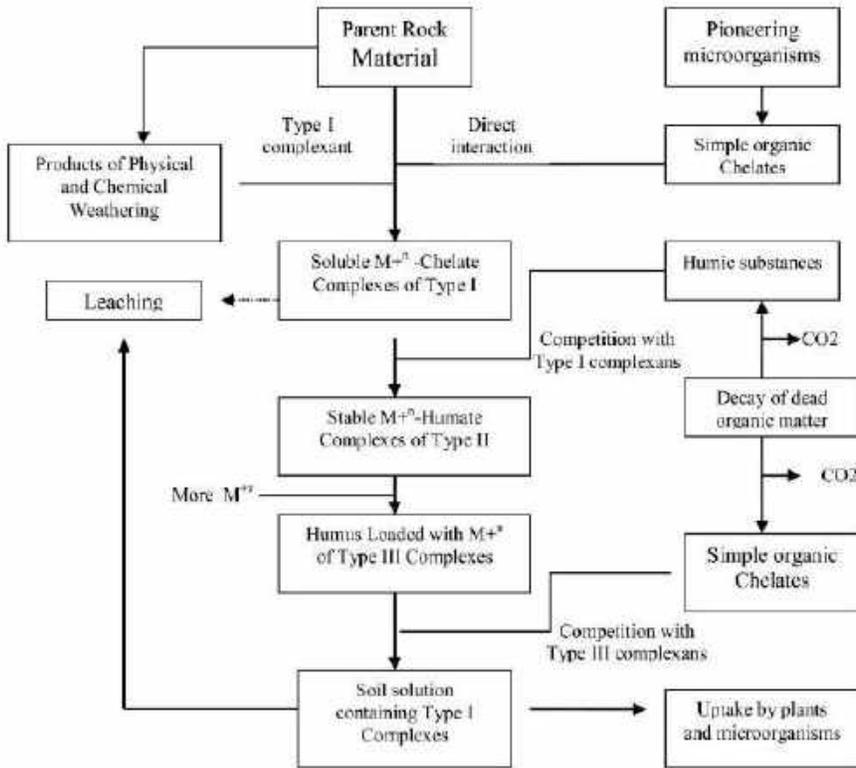
reduksi ukuran partikel melalui proses pelapukan, dan reaksi kimiawi antar liat-bahan organik.

Pada daerah beriklim humid dan semi humid, fase awal dari pembentukan tanah berupa pemindahan ion-ion yang dapat dipertukarkan dan garam-garam terlarut. Sisanya terdiri atas campuran mineral silikat dan sejumlah silika dan sesquioksida. Senstius (1958) dalam Stevenson (1982) telah menyusun urutan pelapukan yang dimediasi pembusukan produk bahan organik menghasilkan bentuk tanah "climax" yaitu laterit atau oksisol dan podsol atau spodosol (Gambar 7.2).

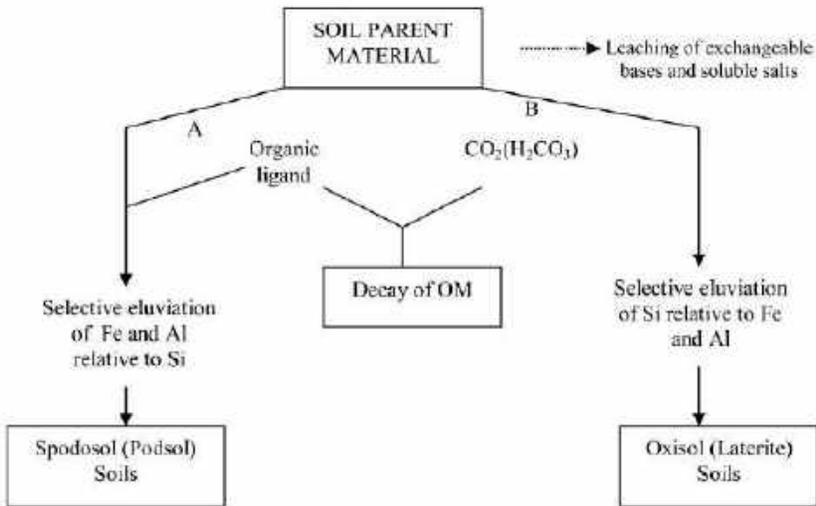
Pada kasus tanah oksisol, agen pelapukan yang terpenting adalah H_2CO_3 dimana hasil pelapukan pertama kali berasal dari aksi pengkhelat organik. Selanjutnya terjadi pergerakan diferensial ion-ion logam sesuai dengan kemampuannya untuk membentuk kompleks koordinasi dengan *ligand* organik. Fe, Al dan unsur mengkhelat kuat lainnya terelusi lebih luas dibandingkan Si dan unsur pengkhelat lemah lainnya.

Spodosol berkembang di bawah kondisi iklim dan biologi yang menghasilkan mobilisasi dan transport sejumlah ion Fe dan Al ke subsoil. Suatu lapisan mineral yang kaya organik (A_1) terdiri dari sejumlah besar hasil dekomposisi dari dedaunan hutan, yang sangat berbeda dengan horison eluvial yang berwarna lebih cerah (A_2). yang secara substansi kehilangan lebih banyak Fe, Al dibandingkan Si. Horison A_2 dapat dibedakan dengan horison iluvial (B) yang berwarna lebih gelap dimana sebagian besar produk hasil akumulasi berupa Fe, Al dan bahan organik. Diduga translokasi Fe, Al dan

bahan organik yang terjadi pada tanah Spodosol didahului oleh peristiwa dimana sebagian kation dapat dipertukarkan pada bagian solum bagian atas digantikan oleh ion H^+ dan tercuci ke horison lebih bawah atau keluar dari profil. Horison tanah dalam kondisi ideal dapat dilihat pada Gambar 7.3.



Gambar 7.1. Peranan bahan organik dalam translokasi ion logam.



Gambar 7.2. Peranan bahan organik dalam pembentukan 2 tipe tanah "climax".

Diagnosa horison permukaan termasuk ke dalam suatu pengertian epipedon, istilah yang berasal dari bahasa Yunani epi (di atas) dan pedon (tanah). Bahan organik merupakan kriteria tunggal yang sangat penting bagi pencirian dan penentuan epipedon. Zona ini termasuk bagian dari tanah yang menjadi lebih gelap oleh bahan organik. Horison B iluvial, termasuk epipedon apabila penggelapan oleh bahan organik menyebar sampai dan melewati horizon ini. Kandungan bahan organik mencirikan suatu horizon termasuk organik atau tidak. Jika tidak ada liat, 20% lebih bahan organik harus ada. Apabila bagian mineral mengandung 50% lebih liat, paling sedikit 30% bahan organik dibutuhkan. Horison O₁ diartikan sebagai lapisan yang memiliki bentuk asli dari bahan vegetatif yang masih

dapat dilihat dengan mata telanjang. Horison O₂ adalah lapisan yang mengalami dekomposisi ekstensif dan sejumlah bagian dari hewan dan tumbuhan dapat dikenali.

Epipedon dimana bahan organik terkandung sangat nyata dapat diidentifikasi pada epipedon histik (histic epipedons) atau lapisan gambut. Epipedon ini mengalami kondisi berair hampir sepanjang tahun atau telah dibuat saluran air buatan.

Epipedon histik terdiri dari bahan organik, dimana:

- ❖ Ketebalan 20-60 cm dan juga mengandung 75% atau lebih (berdasarkan volume) serat sphagnum atau memiliki bulk density - $< 0.1 \text{ g/cm}^3$; atau
- ❖ Ketebalan 20-40 cm dan ditemukan karbon organik,
- ❖ Horison Ap, apabila pencampuran mencapai kedalaman 25cm,dan mengandung organik (berdasarkan berat):
 - 16% atau lebih fraksi mineral mengandung 60% atau lebih klei, atau
 - 8% atau lebih jika fraksi mineral tidak mengandung klei,
 - 8+ (klei % dibagi dengan 7.5) % atau lebih jika kandungan fraksi mineral $< 60\%$ klei (www.gunwald.ifas.ufl.edu)

7.5. Peranan Bahan Organik dalam Agregasi Tanah

Agregasi merupakan proses dimana partikel-partikel berikatan bersama membentuk suatu unit yang bervariasi dalam bentuk dan ukuran oleh proses fisik, kimia dan biologis. Kandungan bahan organik dalam tanah merupakan salah satu faktor utama yang mengendalikan stabilitas agregat tanah (Chaney and Swift, 1984).

Bahan organik tanah dapat memperbaiki agregasi tanah. Bahan organik merupakan pembentuk granulasi dalam tanah dan sangat penting dalam pembentukan agregat tanah yang stabil. Bahan organik adalah bahan pemantap agregat tanah yang tiada taranya. Melalui penambahan bahan organik, tanah yang tadinya berat menjadi berstruktur remah yang relatif lebih ringan. Pergerakan air secara vertikal atau infiltrasi dapat diperbaiki dan tanah dapat menyerap air lebih cepat sehingga aliran permukaan dan erosi diperkecil. Demikian pula dengan aerasi tanah yang menjadi lebih baik karena ruang pori tanah (porositas) bertambah akibat terbentuknya agregat.

Senyawa bahan organik tanah mengikat partikel utama pada agregat secara kimia dan fisik, sehingga meningkatkan stabilitas agregat dan membatasi pembongkarannya pada musim hujan (Tisdall and Oades, 1982).

Bahan organik dapat berperan sebagai granulator, yaitu memperbaiki struktur tanah. Menurut Arsyad (1989) peranan bahan organik dalam pembentukan agregat yang stabil terjadi karena mudahnya tanah membentuk kompleks dengan bahan organik. Hal ini berlangsung melalui mekanisme:

1. Penambahan bahan organik dapat meningkatkan populasi mikroorganisme tanah, diantaranya jamur dan cendawan, karena bahan organik digunakan oleh mikroorganisme tanah sebagai penyusun tubuh dan sumber energinya. Miselia atau hifa cendawan tersebut mampu menyatukan butir tanah menjadi agregat, sedangkan bakteri berfungsi seperti semen yang menyatukan agregat (Gambar 2.)

2. Peningkatan secara fisik butir-butir prima oleh miselia jamur dan aktinomisetes. Dengan cara ini pembentukan struktur tanpa adanya fraksi liat dapat terjadi dalam tanah.
3. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan bagian-bagian pada senyawa organik yang berbentuk rantai panjang.
4. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan antar bagian negatif liat
5. Peningkatan secara kimia butir-butir liat melalui ikatan antara bagian negatif liat dan bagian positif dari senyawa organik berbentuk rantai polimer.

Keberadaan bahan organik sangat penting bagi pembentukan dan stabilisasi struktur tanah. Asam fulvat dan asam humat serta polimernya dijerap oleh permukaan mineral oleh gugus-gugus fungsi, seperti carboxyl (-COOH), carbonyl (-C=O), hydroxyl (-OH), amino (=NH), dan amine (-NH₂). Polimer besar yang tak bermuatan (misal polisakarida) dapat dijerap oleh ikatan hidrogen dan dengan kekuatan van der Waals', dan juga berfungsi sebagai agen pengikat diantara partikel mineral (www.gunwald.ifas.ufl.edu).

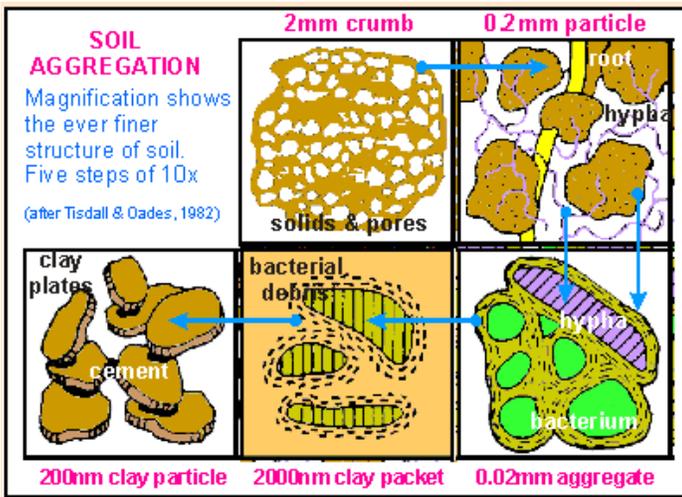
Stabilitas mikroagregat juga disebabkan oleh kation multivalen yang berfungsi sebagai jembatan antara koloid organik dan liat. Golchin *et al.* (1997) in Chantigny *et al.* (1999) mengemukakan peranan bahan organik dalam pembentukan dan stabilisasi agregat. Ikatan Partikel bahan organik bebas dengan partikel mineral membentuk suatu makroagregat dengan bahan organik sebagai poros

sentral. Stabilitas makroagregat ini hanya dapat terganggu dengan mendekomposisi bahan organik dan mikroorganik segera akan terbentuk. Mikroagregat hasil perombakan dari makroagregat yang terbentuk ini lebih stabil karena poros bahan organiknya lebih terproteksi terhadap dekomposisi.

Lado *et al.* (2004) melaporkan bahwa peningkatan kandungan bahan organik dari 2,% sampai 3,5% membatasi pemecahan agregat, disperitas tanah, dan pembentukan pelapis pada permukaan tanah dalam kondisi hujan. Wagner (2007) melaporkan semua tanah campuran klei dan bahan organik menunjukkan inisiasi pembentukan makroagregasi. Penambahan dengan seresah barley paling efektif untuk perkembangan agregat yang tahan air dengan kandungan klei 34% sampai 38%. Hasil penelitian Gu and Doner (1993) menunjukkan bahwa stabilitas koloid tanah sangat dipengaruhi oleh komponen organik tanah sebagai pendukung faktor pH, kekuatan ionik, dan komposisi. Ketiadaan kation polivalen, meningkatkan muatan negatif bahan humat, khususnya asam humat, sehingga tidak berkontribusi terhadap stabilitas agregasi tanah.

Sementara itu, kehadiran polyanion (asam humat tanah, polisakarida tanah, dan polisakarida anionik komersil) dan polyvalent kation membantu mencegah dispersi liat tanah. Penelitian Chantigny *et al.* (1999) menghasilkan tanah yang diberi bubur kertas bekas, makroagregatnya lebih stabil terhadap pemecahan oleh air. Penelitian yang serupa oleh Bipfubusa (2008), menyimpulkan bahwa mikroorganisme khususnya jamur, merupakan faktor penstabil makroagregasi pada tanah yang diberi dengan bubur limbah kertas,

sementara bahan-bahan humat berperan lebih besar pada tanah yang diberi kompos limbah kertas. Menurut Oades (1984), penguraian liat dalam mikroagregat dihambat oleh aksi pengikatan oleh polisakarida, terutama *mucilages* yang dihasilkan bakteri, dan juga oleh akar tanaman dan hifa jamur. Peranan bahan organik untuk membentuk agregasi tanah dapat dilihat pada Gambar 7.4.



Gambar 7.3. Beberapa peranan bahan organik dalam agregasi tanah (Sumber : Anthoni, 2000)

7.6. Kandungan Humat dan Fulvat dalam Bahan Organik

Secara umum senyawa humat dan fulvat merupakan polimer padat yang terdiri dari senyawa aromatik berantai tertutup (siklik) dan senyawa alifatik yang panjang (rantai terbuka), yang dihasilkan dari proses dekomposisi sisa hewan dan tanaman oleh jasad renik (Schnitzer, 1991). Untuk mengatasi takaran pupuk organik yang besar adalah dengan cara mengekstraksi pupuk organik menjadi

fraksi/senyawa asam humat, yang merupakan senyawa aktif dari pupuk organik (kompos) sehingga dosis yang diberikan dapat dikurang.

7.6.1. Pengertian Humat dan Fulvat

Bahan organik tanah dapat digolongkan menjadi bahan terhumifikasi dan tak terhumifikasi. Bahan tak terhumifikasi adalah senyawa-senyawa dalam tanaman dan organisme lain dengan ciri yang khas, misalnya mengandung karbohidrat, asam amino, protein, lipid, asam nukleat dan lignin. Senyawa-senyawa ini biasanya mengalami reaksi degradasi dan dekomposisi. Bahan terhumifikasi dikenal sebagai *humus*, atau senyawa *humat*, yang merupakan hasil akhir dari dekomposisi bahan organik.

Senyawa humat dapat dikelompokkan menjadi : 1). Asam Humat, yaitu fraksi yang larut dalam basa, 2). Asam Fulvat, yaitu fraksi yang larut dalam air, dan 3). Humin, yaitu bagian yang tidak larut. Asam humat didefinisikan sebagai bahan koloid yang terpolidispersi, atau polimer organik yang bersifat amorf, berwarna coklat hingga hitam dan mempunyai berat molekul yang tinggi (Stevenson, 1982).

Berdasarkan hipotesis Stevenson (1982), struktur senyawa humat mempunyai beberapa sifat yaitu: 1). Mengandung banyak gugus fungsional dengan nilai pKa yang berbeda, sehingga senyawa humat memiliki reaktivitas yang tetap tinggi pada kisaran pH yang besar, 2). Merupakan molekul makro yang umumnya bermuatan negatif berasal dari disosiasi proton dari berbagai gugus

fungsionalnya, 3). Bersifat hidrolitik karena senyawa humat dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan molekul air, sehingga gugus fungsional bersifat polar, dan 4). Strukturnya bersifat labil, sehingga senyawa humat mampu berasosiasi secara inter molekuler dan mengalami perubahan molekul jika terjadi perubahan pH dan konsentrasi garam.

Bagian reaktif dari senyawa humat adalah gugus fungsionalnya yang berada pada rantai alifatik dan pada cincin aromatik. Pada pH rendah pelepasan proton (H^+) terjadi pada gugus karboksilat dan kemudian pada peningkatan pH, proton dari gugus fenolat juga akan dilepaskan, sehingga muatan negatif akan meningkat tajam sekitar 300 – 400 cmol (+)kg⁻¹ (Tan, 1991).

7.6.2. Penentuan Humat dan Fulvat

Asam humat dan fulvat diperoleh dengan mengekstraksi bahan organik dengan basa-basa dan air, yang kemudian dapat diendapkan dengan asam. NaOH dan Na₄P₂O₇ adalah pereaksi yang banyak digunakan dalam ekstraksi. Prosedur yang paling umum untuk ekstraksi dan fraksinasi asam humat fulvat adalah NaOH. Pemisahan fraksi/asam humat dari kompos jerami padi dengan cara fraksinasi asam humat dengan metode kimia ekstraksi basah, 500 kg kompos jerami padi secara bertahap setiap 100 kg kompos jerami padi dimasukkan ke dalam drum ukuran 200 liter, lalu ditambah 100 liter larutan basah encer NaOH 0.1 N diaduk selama 1 jam dengan cara manual, lalu didiamkan selama 24 jam. Kemudian larutannya (supernatan) di pisahkan dari endapannya (residu) dengan cara

disaring, Larutan yang terbentuk adalah fraksi humat dan endapannya adalah fraksi humin.

Tan (1982) melaporkan komposisi asam humat umumnya kaya akan carbon, yaitu berkisar 41-57 %. Kadar oksigen asam humat adalah 33-46 %. Kadar nitrogen yang terkandung dalam asam humat fulvat berkisar 2 – 5 % dan berat molekulnya mencapai 30.000 hingga 300.000.

7.6.3. Peranan Humat dan Fulvat Untuk Kesuburan Tanah dan Tanaman

Penerapan sistem pertanian organik mutlak memerlukan pupuk organik sebagai sumber hara utama. Dalam sistem pertanian organik, ketersediaan hara bagi tanaman harus berasal dari pupuk organik, padahal dalam pupuk organik tersebut kandungan hara per satuan berat kering bahan jauh dibawah kandungan hara yang dihasilkan oleh pupuk anorganik, seperti Urea, KCL dan SP-36; sehingga untu memenuhi kebutuhan dasar tanaman (“minimum crop requirement”) membuat petani kewalahan. Sebagai ilustrasi, untuk menanam sayuran dalam satu bedengan seluas 1 x 10 m saja dibutuhkan pupuk organik (kompos) sekitar 25 kg untuk 2 kali musim tanam atau setara dengan 25 ton/ha (Brinton, 2000). Sementara itu, pemupukan dengan menggunakan pupuk anorganik Urea, SP-36 dan KCL yang hanya membutuhkan total pemupukan sekitar 200-300 kg/ha. Pada umumnya petani di Indonesia bukan petani mampu yang memiliki lahan dan ternak sekaligus, sehingga mereka mesti membeli dari sumber lainnya

dan ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi disamping tenaga yang lebih besar.

Untuk mengatasi takaran pupuk organik yang besar adalah dengan cara mengekstraksi pupuk organik menjadi fraksi/senyawa asam humat, yang merupakan senyawa aktif dari pupuk organik (kompos) sehingga dosis yang diberikan dapat dikurangi.

7.6.3.1. Peranan Asam Humat dan Fulvat dalam Memperbaiki Sifat Tanah

Asam humat fulvat merupakan polimer organik yang bersifat amorf dan dapat berfungsi sebagai perekat partikel tanah. Trudgill (1977) menjelaskan bahwa asam humat merupakan senyawa garam-garam yang tidak larut air, seperti Ca dan Mg humat yang bersifat amorf dan lekat. Asam humat mempunyai sifat menyelimuti, maka asam humat mampu mengikat koloid anorganik dalam membentuk agregat tanah.

Telah diketahui bahwa stabilitas struktur tanah terjadi akibat adanya agregat-agregat yang stabil dalam tanah. Agregat tanah tidak berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman, akan tetapi memberikan kondisi fisik rhizosfer yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman. Kondisi fisik yang baik ini berpengaruh terhadap perbaikan porositas tanah, aerasi, permeabilitas dan kapasitas menahan air bagi tanah (Flaigh et. al dalam Syafrullah, 1993).

Stevenson (1982) lebih lanjut menjelaskan bahwa asam humat berperan dalam flokulasi partikel-partikel tanah, yang selanjutnya terjadi sementasi antara partikel tersebut akan membentuk agregat

tanah yang stabil dan mantap. Terbentuknya agregat tanah ini dapat juga terjadi karena adanya kohesi dari kompleks lempung dan lempung humus antara lain karena adanya :

- a. Ikatan melalui rantai dipole air
- b. Ikatan bersama karena adanya kaskas intermolekuler ionik antara kompleks lempung dan kompleks humus
- c. Interaksi kation polivalen dengan lapis lempung yang terorientasi
- d. Ikatan dengan molekul organik
- e. Ikatan oleh hifa bakteri dan fungi serta akar tanaman

Agregat tanah akan mempengaruhi distribusi ukuran pori yang selanjutnya berperan terhadap aerasi dan pengikatan air. Dengan kondisi fisik yang baik, maka akan meningkatkan pertumbuhan tanaman sehingga diperoleh produksi yang diharapkan.

Kandungan asam humat terdiri dari beberapa type komponen N, seperti N-NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N-asam amino dan N-gula amino. Berdasarkan kandungan N dari asam humat, asam humat secara nyata berperan sebagai penyumbang N dalam tanah dan berguna bagi pertumbuhan tanaman (Kononova, 1966).

Tan (1982) melaporkan bahwa asam humat berperan penting terhadap kesuburan tanah. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha untuk memproduksi asam-asam humat dalam skala besar yang dipakai sebagai amandemen tanah, bahan pembenah tanah atau pupuk. Selanjutnya, Stevenson (1982) menjelaskan bahwa asam humat yang diberikan dalam tanah dapat meningkatkan kapasitas pertukaran kation dan kapasitas buffer tanah secara permanen. Selain itu, asam

humat dapat meningkatkan aktifitas mikroba tanah, sehingga kandungan bahan organik akan meningkat.

7.6.3.2. Peranan Asam Humat dan Fulvat dalam Pertumbuhan Tanaman

Asam humat bersama dengan lempu tanah berperan aktif pada reaksi-reaksi di dalam tanah. Reaksi ini sangat kompleks dan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman secara langsung maupun tidak langsung. Secara tidak langsung asam humat memperbaiki kondisi fisik, kimia dan biologi tanah. Secara langsung asam humat akan merangsang pertumbuhan tanaman melalui pengaruhnya terhadap metabolisme dan proses fisiologis lainnya.

Asam humat dapat berpengaruh terhadap proses respirasi tanaman dengan meningkatkan permeabilitas sel ataupun melalui hormon pertumbuhan (Tan, 1982 dalam Syafrullah, 1993). Asam humat dalam takaran sedang (640 ppmHA) dapat meningkatkan pertumbuhan akar dan bagian atas tanaman jagung. Selain itu asam humat juga meningkatkan secara nyata kandungan N bagian atas tanaman dan produksi berat kering tanaman jagung di persemaian. Selanjutnya Mylonas dan Mccants melaporkan bahwa asam humat pada takaran 100 ppm HA dapat meningkatkan panjang dan jumlah akar tembakau pada fase pembibitan. Asam humat dapat diserap tanaman setelah 2-3 hari pemberian pada tanaman (Haider et.al, 1977 dalam Syafrullah, 1993).

7.7. Pemilihan Bahan Organik Tanah sebagai Ameliorasi

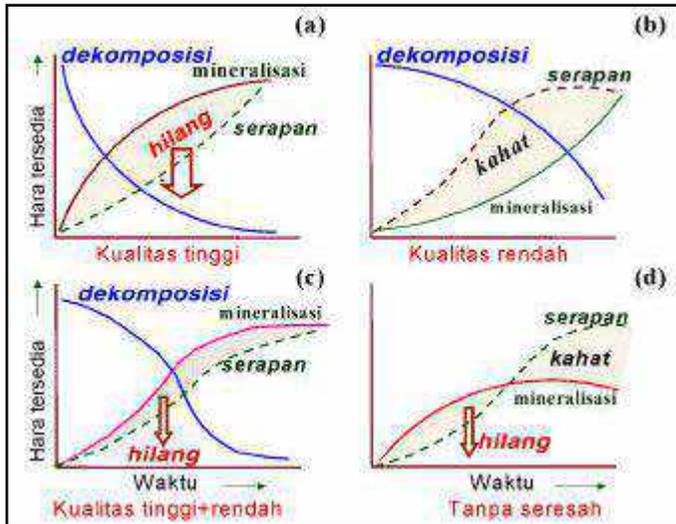
Pemberian bahan organik ke dalam tanah seringkali memberikan hasil yang kurang memuaskan, sehingga banyak petani tidak tertarik untuk melakukannya. Hal ini disebabkan kurangnya dasar pengetahuan dalam memilih jenis bahan organik yang tepat.

Pemilihan jenis bahan organik sangat ditentukan oleh tujuan pemberian bahan organik tersebut. Tujuan pemberian bahan organik bisa untuk penambahan hara atau perbaikan sifat fisik seperti mempertahankan kelembaban tanah yaitu sebagai mulsa. Pertimbangan pemilihan jenis bahan organik didasarkan pada kecepatan dekomposisi atau melapuknya. Bila bahan organik akan dipergunakan sebagai mulsa, maka jenis bahan organik yang dipilih adalah dari jenis yang lambat lapuk. Apabila digunakan untuk tujuan pemupukan bisa dari jenis yang lambat maupun yang cepat lapuk.

Kecepatan pelapukan suatu jenis bahan organik ditentukan oleh kualitas bahan organik tersebut. Sedangkan kualitasnya ditetapkan dengan menggunakan seperangkat tolok ukur, di mana untuk setiap jenis unsur hara tolok ukur tersebut bisa berbeda-beda.

Kualitas bahan organik berkaitan dengan penyediaan unsur N, ditentukan oleh besarnya kandungan N, lignin dan polifenol. Bahan organik dikatakan berkualitas tinggi bila kandungan N tinggi, konsentrasi lignin dan polifenol rendah. Yang juga penting adalah memiliki *sinkronisasi* pelepasan hara dengan saat tanaman membutuhkannya (Gambar 7.5). Nilai kritis konsentrasi N adalah 1.9%; lignin > 15% dan polifenol > 2%.

Kualitas bahan organik berkaitan dengan penyediaan unsur P ditentukan oleh konsentrasi P dalam bahan organik. Nilai kritis kadar P dalam bahan organik adalah 0.25%. Bahan organik mampu menetralkan pengaruh racun dari aluminium sehingga menjadi tidak beracun lagi bagi akar tanaman. Kemampuan merubah pengaruh suatu zat beracun menjadi tidak beracun ini disebut dengan *detoksifikasi*. Kualitas bahan organik berkaitan dengan kemampuan dalam mendetoksifikasi ditentukan dengan tolok ukur total konsentrasi kation K, Ca, Mg dan Na. Pelepasan kation-kation tersebut dari hasil dekomposisi bahan organik dapat menekan kelarutan Al melalui peningkatan pH tanah. Bahan organik yang mempunyai total konsentrasi kation $> 60 \text{ cmol kg}^{-1}$ merupakan bahan organik yang berpotensi untuk tujuan pengurangan efek beracun Al. Semakin tinggi nilai total konsentrasi kation suatu bahan organik semakin kuat kemampuannya dalam mengurangi efek beracun Al. Namun ada beberapa jenis tanaman yang mampu mengurangi efek beracun Al walaupun nilai total konsentrasi kationnya tidak terlalu tinggi. Misalnya gamal memiliki total konsentrasi kation sekitar 52 cmol kg^{-1} . Penambahan bahan organik berasal dari gamal sebanyak 10 ton ha⁻¹ pada tanah di Lampung Utara dapat menekan Al yang meracun bagi tanaman (Al-monomerik) sampai serendah 2.87 mmol, di mana nilai ini telah berada di bawah batas ambang toleransi akar tanaman jagung.



Gambar 7.4. Skematis sinkronisasi saat ketersediaan hara dari hasil mineralisasi dengan saat tanaman membutuhkannya pada berbagai macam masukan bahan organik (a) kualitas tinggi, (b) kualitas rendah, (c) campuran kualitas tinggi dan rendah dan (d) tanpa masukan bahan seresah (Myers *et al.*, 1995).

7.8. Praktek Penerapan Bahan Organik

Penambahan bahan organik ke dalam tanah baik melalui pengembalian sisa panen, kompos, pangkasan tanaman penutup tanah dan sebagainya dapat memperbaiki *cadangan total bahan organik tanah (capital store C)*. Praktek pertanian secara terus-menerus akan mengurangi cadangan total C dan N dalam tanah. Namun apabila ada pemberaan maka secara bertahap kondisi tersebut akan pulih kembali.

Dari semua unsur hara, unsur N dibutuhkan dalam jumlah paling banyak tetapi ketersediannya selalu rendah, karena mobilitasnya dalam tanah sangat tinggi. Kemampuan tanah dalam

menyediakan hara N sangat ditentukan oleh kondisi dan jumlah bahan organik tanah. Namun Unsur N yang tersedia dalam jumlah besar ini tidak

menjamin tercapainya produksi tanaman yang optimum! Hasil-hasil penelitian di Pakuan Ratu menunjukkan bahwa penambahan bahan organik asal famili kacang-kacangan (legume) dapat melepaskan hara N sekitar 20 - 45% dari jumlah total N yang terkandung di dalamnya (Handayanto *et al.*, 1994) selama satu siklus tanaman semusim.

Dari jumlah yang dilepaskan ternyata hanya sekitar 30% nya yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman semusim. Pada tanaman semusim, hanya sedikit hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Hal ini disebabkan saat tersedianya N dalam tanah tidak bertepatan dengan saat tanaman membutuhkannya, yang selanjutnya disebut rendahnya sinkronisasi antara ketersediaan hara dan kebutuhan tanaman. Tingkat sinkronisasi ini ditentukan oleh kecepatan dekomposisi (melapuk) dan mineralisasi (pelepasan unsur hara) bahan organik. Sementara itu kecepatan melapuk bahan organik ditentukan oleh berbagai faktor antara lain kelembaban, suhu tanah dan kualitas bahan organik. Gambar 3 memberikan ilustrasi secara skematis tentang sinkronisasi dari berbagai kualitas masukan bahan organik.

Bahan organik berkualitas tinggi akan cepat dilapuk dan akibatnya unsur hara (misalnya N) dilepaskan dengan cepat menjadi bentuk tersedia. Jika yang ditanam adalah tanaman yang lambat pertumbuhannya, maka pada saat bahan organik dilapuk dan unsur hara N dilepaskan dalam jumlah maksimal, ternyata tanaman belum membutuhkan N dalam jumlah banyak. Dengan kata lain terjadi

kelebihan N tersedia tetapi tidak bisa dimanfaatkan oleh tanaman, sehingga N yang berlebih ini dapat hilang melalui pencucian dan penguapan (Gambar 7.5.a).

Selanjutnya pada saat tanaman tersebut membutuhkan N dalam jumlah banyak (ketika mencapai fase pertumbuhan cepat), ternyata N tersedia dalam tanah sudah tidak mencukupi lagi. Pengaruh yang berbeda akan dijumpai apabila bahan organik yang berkualitas rendah diberikan pada tanaman yang pertumbuhannya cepat. Pada saat tanaman membutuhkan unsur N dalam jumlah banyak, bahan organik belum termineralisasi, sehingga N tersedia dalam tanah tidak cukup.

Dalam hal ini terjadi tingkat sinkronisasi rendah, di mana penyediaan hara lambat sementara tanaman telah membutuhkannya, sehingga terjadi kekahatan hara (Gambar 7.5 b). Idealnya, tanaman pagar harus mampu menghasilkan serasah dengan kemampuan melapuk cukup lambat untuk menekan kehilangan N yang dilepaskan, tetapi cukup cepat untuk menjamin ketersediaan N pada saat dibutuhkan tanaman. Kenyataannya, sangat sulit menemukan pohon yang memiliki sifat ideal seperti ini. Untuk mengatasi masalah ini, biasanya pohon dengan serasah yang cepat melapuk ditanam bersama-sama dengan pohon yang memiliki serasah lambat lapuk (Gambar 7.5.c). Bila tidak ada masukan bahan organik ke dalam tanah (Gambar 7.5.d), akan terjadi masalah pencucian dan sekaligus kelambatan penyediaan hara. Pada kondisi seperti ini penyediaan hara hanya terjadi dari mineralisasi bahan organik yang masih terdapat dalam tanah, sehingga mengakibatkan cadangan total C tanah semakin berkurang.

7.9. Pengaruh Curah Hujan terhadap Bahan Organik

Risiko kehilangan hara tertinggi terjadi pada musim penghujan karena hara tersebut tercuci bersama dengan aliran air ke bawah (perkolasi), akibat curah hujan yang tinggi. Untuk menekan kehilangan hara akibat pencucian ini, perlu diatur strategi pemberian yang didasarkan pada pertimbangan jenis bahan organik atau kecepatan melapuknya, jenis tanaman yang ditanam dan kalender musim. Pengalaman penelitian di Lampung Utara dapat dipergunakan sebagai contoh untuk mempertimbangkan pemilihan cara-cara pengelolaan bahan organik.

Sisa-sisa panen yang cepat lapuk (misalnya tanaman penutup tanah dan kedelai) sebaiknya diberikan pada awal dan akhir musim penghujan. Pembenanaman sisa panen jagung dan kedelai dan tanaman penutup tanah pada akhir musim penghujan memberikan keuntungan pada tanaman jagung yang ditanam pada awal musim penghujan berikutnya. Jerami jagung lambat lapuk sedangkan jerami kedelai dan tanaman penutup tanah cepat lapuk, namun selama musim kemarau dekomposisi dan mineralisasi hara dari campuran bahan organik ini berjalan sangat lambat dan risiko pencucian kecil. Dengan demikian strategi ini cukup menguntungkan bagi petani.

Salah satu permasalahan yang sangat merugikan usaha tani pada tanah masam adalah rendahnya efisiensi pemupukan akibat proses pencucian unsur hara yang sangat tinggi. Hal ini terjadi karena perakaran tanaman semusim umumnya tersebar pada lapisan atas yang sangat dangkal, sehingga adanya hujan yang tinggi menyebabkan unsur hara yang diberikan dalam bentuk pupuk cepat sekali terbawa

ke lapisan yang lebih dalam. Unsur hara yang masuk ke lapisan bawah sudah di luar jangkauan akar tanaman semusim, sehingga dapat dikatakan “hilang” karena tidak dapat dimanfaatkan. Unsur hara yang hilang ini perlu diselamatkan agar efisiensi penggunaan pupuk dapat ditingkatkan sehingga dapat meningkatkan keuntungan usaha tani di tanah masam.

7.10. Bahan Organik sebagai Penentu Kualitas dan kesehatan Tanah

Sebagian besar pakar tanah setuju bahwa bahan organik merupakan salah satu kunci dari kompoen penunjang kualitas tanah. Apabila tanah selalu dipertahankan kualitasnya pada tingkat tinggi (subur), hal ini akan mempengaruhi kesehatan bagi tanaman, hewan bahkan manusia yang hidup di atasnya.

Gejala-gejala kemunduran (terdegradasi) yang dialami oleh tanah ditandai dengan salinitas tinggi, kemasaman, erosi, euterofikasi, timbulnya senyawa beracun dan ketidakseimbangan unsur hara menyebabkan tanah tidak mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Selanjutnya, keadaan demikian akan menjadi masalah besar bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Ironisnya gejala-gejala demikian dapat ditimbulkan oleh karena dilaksanakannya suatu kebijakan yang dibuat oleh suatu negara, termasuk Indonesia dalam usaha pengawetan/konservasi dan untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Oleh sebab itu, perlu diketahui lebih jelas bagaimana kondisi tanah yang sehat dan berkualitas bagi pertumbuhan tanaman, serta

upaya untuk mempertahankan dan meningkatkan kesehatan maupun kualitas tanah.

7.10.1. Pengertian Kualitas dan Kesehatan Tanah

Tanah yang sehat, dapat dikatakan merupakan komponen dari tanah yang berkualitas. Sehat yang dimaksud adalah bebas dari polutan dan mempunyai kemampuan yang baik bagi produktivitas dan pertumbuhan tanaman. Hingga saat ini, pendekatan-pendekatan untuk penilaian kualitas tanah masih terus dikembangkan. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan oleh Doran and Parkin (1994) *dalam* Winarso (2005), dalam menilai kualitas tanah, maka definisi kualitas tanah harus meliputi :

- a. Produktivitas ; kemampuan tanah untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan aspek-aspek biologi lainnya
- b. Kualitas lingkungan ; kemampuan tanah untuk menetralkan kontaminan lingkungan, patogen dan aspek-aspek merusak lainnya
- c. Kesehatan binatang, hubungan antara kualitas tanah dan tanaman, kesehatan binatang dan manusia

Pada tahun 1994, Soil Science Society of America (SSSA) mendefinisikan kualitas tanah sebagai kemampuan tanah untuk menampilkan fungsi-fungsinya dalam penggunaan lahan, ekosistem, untuk menopang produktivitas biologi, mempertahankan kualitas lingkungan dan meningkatkan kesehatan tanaman, binatang dan manusia. Dalam perkembangan masyarakat, kualitas tanah lebih menggambarkan sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah, namun

kesehatan tanah lebih menggambarkan dinamika kehidupan. Sehingga penilaian saat ini, tanah yang berkualitas tidak hanya subur dan produktif, namun harus mencakup aspek lingkungan dan kesehatan.

Warkentin (1995) *dalam* Winarso (2005) menjelaskan bahwa kualitas tanah dapat dipandang dalam pengertian kesehatan seluruh sistem biologi tanah. Fungsi tanah dalam ekosistem hendaknya diperhatikan dalam mendeskripsikan kualitas tanah. Parameter-parameter yang harus dimiliki untuk suatu tanah dikatakan berkualitas yang meliputi parameter fisik, kimia dan biologi tanah sangat kompleks bila dihubungkan dengan produktifitas, lingkungan dan kesehatan. Oleh karena itu, perlu ditetapkannya suatu indikator sebagai dasar penilaian kualitas tanah.

7.10.2. Indikator Kualitas dan Kesehatan Tanah

Seperti yang sudah disebutkan di atas bahwa dasar penilaian kualitas dan kesehatan tanah perlu ditetapkannya suatu indikator. Winarso (2005) menjelaskan bahwa indikator-indikator ini seharusnya memperhatikan aspek ekologi maupun sosio-ekonomi. Hingga saat ini, penetapan indikator-indikator kualitas-kualitas tanah masih terdapat banyak pilihan yang dapat diterima oleh pengguna, khususnya untuk tanah-tanah terdegradasi ataupun terpolusi.

Parameter yang biasa digunakan para ahli adalah parameter tanah, yang meliputi sifat-sifat tanah, baik fisika, kimia maupun biologi tanahnya. Yang membedakan penilaian adalah perpaduan antara sifat-sifat tanah tersebut dengan berbagai aspek, seperti aspek produksi, lingkungan dan kesehatan tanaman, hewan dan manusia.

Beberapa parameter tanah yang dapat digunakan sebagai dasar penilaian kualitas tanah adalah tekstur tanah, drainase, kemiringan lahan dan topografi, kedalaman efektif tanah, kemampuan menahan air, Kapasitas Tukar Kation, pH (kemasaman tanah), kegaraman dan sifat-sifat pembatas lainnya (Eswaran *et. al* 1998 dalam Winarso, 2005).

Selanjutnya Doran dan Parkin (1994) menggambarkan sifat atau indikator tanah yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan kualitas tanah, yaitu :

- a. Indikator Fisik, meliputi : tekstur tanah, kedalaman efektif (topsoil atau zona akar) infiltrasi, berat isi tanah dan kapasitas menahan air
- b. Indikator Kimia, meliputi : bahan organik tanah, kadar C organik, kadar N organik, pH tanah, daya hantar listrik, kadar N, P dan K
- c. Indikator Biologi, meliputi : C dan N mikroorganisme, inkubasi anaerobik, respirasi tanah, kadar air dan temperatur tanah

Pengukuran parameter berat isi tanah, tekstur dan infiltrasi memberikan gambaran mengenai kekompakan tanah dan translokasi air dan udara. Selain itu juga dapat menggambarkan ruang pergerakan akar di dalam tanah. Parameter kesuburan tanah seperti pH tanah, kadar bahan organik tanah, kadar N, P dan K tersedia merupakan faktor yang penting yang berhubungan dengan pertumbuhan dan produksi tanaman. Parameter biologi tanah merupakan indikator yang

paling penting terhadap pengaruh pada tanah-tanah terdegradasi atau terpolusi. Dari banyak penelitian para ahli menyatakan bahwa jumlah dan keragaman mikroorganisme merupakan indikator penentu kualitas tanah.

Haris dan Bezdicek (1994) *dalam* Winarso (2005) juga menyatakan bahwa indikator kualitas tanah dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu : indikator analitik (yang dapat diukur) dan indikator deskriptif (uraian). Komponen yang dipilih sebagai indikatornya adalah yang mempunyai pengaruh terhadap tanaman, binatang, kesehatan manusia dan fungsi-fungsi tanahnya.

7.10.3. Peranan Bahan Organik dalam Menjaga Kualitas dan Kesehatan Tanah

Telah dijelaskan pada awal bab ini, bahwa bahan organik memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sehingga jika kadar bahan organik tanah menurun, kemampuan tanah dalam mendukung produktivitas tanaman juga menurun. Sebagian ahli mengatakan bahwa bahan organik tanah mempunyai fungsi yang tidak tergantikan.

Banyak penelitian menyatakan bahwa penambahan bahan organik ke dalam tanah lebih besar pengaruhnya terhadap perbaikan sifat-sifat tanah, baik fisik, kimia maupun biologi tanah. Bahan organik bukan hanya khusus untuk menambah unsur hara saja. Peranan dan pengaruh bahan organik terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah telah dijelaskan sebelumnya pada bab ini. Sebagai

contoh, bahan organik merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah, yang mempunyai peran sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah. Stabilitas agregat yang mantap merupakan salah satu indikator penentu kualitas tanah. Dengan demikian pemberian bahan organik dapat meningkatkan kualitas tanah dari aspek fisika tanah.

Peran bahan organik terhadap ketersediaan hara dalam tanah seperti N, P, K, Ca, Mg dan S, serta hara mikro merupakan suatu pengaruh yang besar terhadap peningkatan kualitas tanah. Sebagai bahan perbandingan, pemberian urea dengan kadar N 46 % bila dibandingkan dengan pemberian bahan organik yang hanya berkadar N < 3 %. Meskipun kadar N dalam urea lebih tinggi dibandingkan dengan bahan organik, namun urea hanya mampu menyumbangkan unsur hara N saja, sedangkan bahan organik mampu memberikan unsur hara lainnya. Selanjutnya, peran bahan organik mampu memperbaiki pH tanah sehingga mendekati netral. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa pH atau keasaman tanah merupakan salah satu indikator penting bagi penilaian kualitas tanah.

BAB VII

EVALUASI KESUBURAN TANAH

Para pakar agronomis telah sepakat bahwa kesuburan tanah bersifat dinamis dan selalu berubah dari waktu ke waktu. Demikian juga kesuburan tanah dari suatu tempat dan tempat lain tidak sama, sangat dipengaruhi oleh keadaan topografi, jenis tanah, iklim, tataguna lahan yang digunakan dan keadaan organisme tanah serta kandungan bahan organik tanah. Kualitas kesuburan tanah juga sangat ditentukan oleh kualitas manusia yang mengolah tanah di sekitarnya atau dengan kata lain tergantung interaksi antara manusia dan tanah serta iklim yang ada. Untuk mempertahankan kualitas kesuburan tanah agar tanaman yang dibudidayakan tetap memberikan produksi yang tinggi, maka kesuburan tanah harus selalu dipantau dan dievaluasi secara rutin terutama bersamaan pada saat memberikan nutrisi untuk tanaman. Tindakan mengevaluasi kesuburan tanah sangat diperlukan terutama untuk mengetahui secara dini penurunan status kesuburan tanah sehingga secara tepat dapat ditentukan tindakan yang harus diambil untuk memulihkan kesuburan tanah tersebut.

Tanah yang ditanami secara terus menerus, apalagi sebagai tanaman monokultur, maka lambat laun tingkat kesuburan tanah semakin menurun. Tanpa tindakan yang tepat, maka perbaikan kesuburan tanah yang diambil dapat merusak sumberdaya lahan dan lingkungan. Untuk itu, kegiatan evaluasi kesuburan tanah ini harus dilakukan secara bijaksana agar budidaya tanaman yang sedang

dusahakan dapat menguntungkan baik secara ekonomi, maupun secara fisik tetapi tidak merusak sumberdaya lahan dan lingkungan. Untuk itu kegiatan evaluasi kesuburan tanah dimaksudkan untuk menentukan cara memulihkan kesuburan tanah agar tanaman dapat menguntungkan dengan tidak merusak sumberdaya lahan dan lingkungan. Saat ini telah dikenal beberapa metode yang digunakan untuk mengevaluasi kesuburan tanah yaitu melakukan diagnosis gejala kekahatan unsur hara, analisis jaringan tanaman, uji tanah di laboratorium dan uji biologis (Tisdale et al., 1990). Untuk mengetahui lebih lanjut tentang evaluasi kesuburan tanah akan dibahas lebih mendalam dalam sub bab berikut ini.

8.1. Diagnosis Gejala Kekahatan Unsur Hara

Diagnosis kekahatan hara dilakukan dengan cara mengamati kenampakan tanaman yang merupakan hasil dari kinerja unsur hara yang ada dalam tanaman. Kegiatan mengamati ini merupakan metode evaluasi kesuburan tanah yang sangat kualitatif dan sangat subyektif. Kebenaran dan ketepatan pengamatan tergantung dari pengalaman dan ketrampilan dari seseorang terhadap fungsi dan manfaat dari unsur hara dan gejala yang ditimbulkan apabila terjadi kekahatan unsur hara. Tanah yang kahat akan unsur hara tertentu akan menunjukkan gejala-gejala (*symptoms*) secara visual dan juga spesifik. Tiap hara umumnya menunjukkan gejala tertentu. Dengan melihat gejala yang ditampakan oleh tanaman, maka dapat diperkirakan adanya kekahatan hara tertentu dalam tanah. Metode kualitatif ini sebenarnya sangat bagus dan cepat diketahui karena tanaman bertindak sebagai petunjuk dari

faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Kenampakan tidak normal suatu tanaman yang sedang tumbuh mengindikasikan bahwa tanaman tersebut kekurangan suatu jenis unsur hara tertentu. Suatu tanaman yang menunjukkan suatu unsur hara tertentu akan memberikan penampakan gejala yang sama walau ditumbuhkan di tanah lain pada tempat yang lain pula. Metode ini sangat baik dimiliki oleh seorang petugas penyuluh lapangan, karena dengan metode ini dengan cepat dapat diketahui unsur hara yang kurang dalam tanah tanpa melalui analisis hara di laboratorium yang memerlukan waktu yang lama dan biaya yang cukup mahal. Kelemahan metode ini yaitu kesalahan mendeskripsikan kekahatan hara akan menjadi kesalahan dalam memulihkan kesuburan tanah tersebut.

Menurut Tisdale et al., 1990, gejala-gejala kekahatan unsur hara pada tanaman dapat diklasifikasikan menjadi 8 kelompok yaitu (1) gejala pada tahap pembibitan, (2) pertumbuhan kerdil, (3) gejala daun spesifik yang tampak berkali-kali sepanjang musim, (4) kelainan internal, seperti jaringan tersumbat, (5) masak tertunda, (6) perbedaan hasil yang sangat nyata dengan atau tanpa gejala pada daun, (7) kualitas tanaman jelek, termasuk perbedaan komposisi kimia yang tidak terlihat, dan (8) perbedaan hasil yang teramati yang dibandingkan dengan hasil dari percobaan yang telah dilakukan dengan cermat.

Untuk mengeliminasi kesalahan dalam mengamati gejala-gejala kekahatan unsur hara, perlu dimiliki panduan untuk mendeskripsikan gejala-gejala kekurangan unsur hara. Jones (1998)

mencoba telah mengkompilasi gejala-gejala kekahatan unsur hara seperti yang ditampilkan dalam Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Deskripsi umum kenampakan gejala-gejala kekahatan hara dari sejumlah hara
(Jones, 1998)

Hara	Kenampakan gejala-gejala kekahatan
Nitrogen (N)	Klorosis seluruh tanaman dimulai dari daun-daun tua yang akhirnya akan berubah warna jadi coklat dan mati. Pertumbuhan tanaman lambat, tanaman kerdil dan akan masak lebih awal
Fosforus (P)	Daun berwarna hijau tua, daun atau tangkai daun berwarna kemerahan atau keunguan yang dimulai dari daun-daun tua, terutama sisi bawah daun
Kalium (K)	Daun-daun tua klorotik dan nekrotik di dekat pinggiran daun atau terbakar atau menunjukkan klorosis di antara tulang-tulang daun. Tanaman akan mudah rebah dan peka terhadap serangan penyakit. Produksi buah dan biji akan cacat dan berkualitas buruk
Sulfur (S)	Seluruh tanaman dapat klorotik, mulai dari daun-daun lebih muda, dapat dibedakan dengan gejala kekahatan N, yang mulai dari daun-daun tua
Kalsium (Ca)	Titi-titik tumbuh tanaman gagal tumbuh, daun berubah warna menjadi coklat dan mati. Pada buah-buahan ditandai buah yang tidak normal
Magnesium (Mg)	Adanya klorosis di pinggiran atau antar tulang daun tua, daerah hijau pada tanaman berkayu berkembang seperti kenampakan anak panah, biasanya dari daun tua
Tembaga (Cu)	Pertumbuhan tanaman akan lambat dan tanaman kerdil dengan kerusakan pada daun-daun muda dan kematian titik-titik tumbuh, daun-daun sempit dan tergulung
Besi (Fe)	Klorosis antar tulang daun akan terjadi pada daun-daun yang sedang mekar dan daun-daun muda dengan akhir berwarna daun keputihan pada pertumbuhan baru

Mangan (Mn)	Klorosis antar tulang daun-daun muda, sementara daun dan tanaman secara umum masih tampak hijau. Jika parah tanaman akan tumbuh kerdil
Molibdenum (Mo)	Gejalanya sering mirip dengan kekahatan N. Daun-daun tua dan setengah tua menjadi klorosis terlebih dahulu, dan dalam kondisi tertentu pinggiran daun menggulung dan pertumbuhan serta pembentukan bunga terhambat
Seng (Zn)	Daun-daun bagian atas menunjukkan klorosis dan akhirnya memutih. Daun-daunnya kecil dan bergerombol tidak normal
Klorin (Cl)	Daun-daun mengalami klorosis dan bahkan nekrosis

Sumber : Jones, 1998

8.2. Analisis Jaringan Tanaman

Analisis jaringan tanaman atau lebih mudah disebut analisis tanaman dilakukan di laboratorium dengan alat-alat elektrik dan spesifik. Hasil analisis ini lebih akurat dan bersifat kuantitatif dengan pembatasan jumlah hara tertentu dikatakan hara tersebut kahat. Analisis tanaman umumnya diperuntukan untuk tanaman-tanaman perkebunan (seperti karet, kelapa sawit, kopi dan lain-lain). Sedangkan untuk tanaman musiman analisis tanaman jarang dilakukan oleh petani. Analisis tanaman untuk tanaman perkebunan dilakukan dua kali selama setahun yaitu bulan april dan bulan september. Analisis tanaman ini digunakan untuk menentukan rekomendasi pemupukan.

Analisis tanaman dilakukan dengan prinsip bahwa jumlah hara dalam tanaman merupakan indikator pasokan unsur hara tersebut dan berhubungan langsung dengan jumlah unsur hara dalam tanah. Karena kekurangan unsur hara dalam tanah akan menghambat pertumbuhan

tanaman yang ditunjukkan juga oleh konsentrasi hara dalam jaringan tanaman rendah. Dengan demikian kegunaan analisis tanaman ini adalah untuk memastikan atau meyakinkan dari hasil diagnosis gejala-gejala kekahatan hara yang diamati secara visual (kualitatif). Kegunaan yang lain adalah (1) untuk mengetahui secara pasti konsentrasi hara yang sesungguhnya dalam tanaman yang tidak terlihat dari gejala visual, (2) untuk mengetahui apakah hara yang diberikan telah diserap oleh tanaman, (3) untuk mengetahui tempat terjadinya kekahatan dalam tanaman terletak di bagian mana, (4) sebagai bahan untuk menghitung rekomendasi pemupukan, (5) untuk mengetahui adanya antagonisme hara dalam tanaman, dan (6) untuk meyakinkan fungsi hara pada pertumbuhan tanaman.

8.3. Analisis Tanah

Analisis tanah merupakan salah satu komponen untuk mengevaluasi kesuburan tanah terutama untuk menentukan rekomendasi pemupukan. Analisis tanah merupakan alat bantu untuk menilai kesuburan tanah, terutama analisis secara kuantitatif untuk keberadaan unsur makro dan mikro. Analisis tanah secara akurat dilakukan di laboratorium. Keakuratan hasil tergantung kepada peralatan-peralatan laboratorium yang digunakan. Penggunaan alat-alat yang mutakhir dimaksudkan agar hasil analisis menjadi lebih cepat, akurat dan hemat. Analisis kimia dapat dipilahkan menjadi cara gravimetri, titimetri, spektrofotometri, flamefotometer dan lain-lain.

Sebelum dilakukan analisis dengan peralatan-peralatan tertentu, bahan tanah dipersiapkan terlebih dahulu melalui *dry*

digestion (penyiapan kering) melalui pengabuan dalam tanur (*mufler furnace*) pada suhu mendekati 1000 derajat celsius atau *wet digestion* (penyiapan basah) dengan ekstrak-ekstrak spesifik tergantung jenis hara yang akan ditentukan. Penyiapan kering (*dry digestion*) umumnya untuk menganalisis total hara dalam tanah. Dengan demikian jenis ekstrak kita bedakan menjadi dua macam yaitu ekstrak untuk penentuan total hara dan ekstrak untuk penentuan ketersediaan hara. Di bawah ini akan diberikan contoh berbagai jenis ekstrak untuk penentuan total hara maupun ketersediaan hara (Tabel 8.2).

Tabel 8.2. Contoh ekstrak untuk penetapan total hara

No	Macam ekstrak	Penggunaan	Keterangan
1	H ₂ SO ₄ (pekat) + CuSO ₄ + K ₂ SO ₄	Untuk penentuan total N	Metode Kjeldahl (titrimetri)
2	K ₂ Cr ₂ O ₇ (pekat) + H ₂ SO ₄	Untuk penentuan organik total C	Metode Walkley dan Black (titrimetri)
3	HCl 25%	Untuk penetapan P, K, Ca, dll	P dengan Metoda Scheel, K, Ca dengan Flmafotometer

8.4. Uji Biologis

Menurut Tisdale et al (1990), evaluasi kesuburan tanah secara biologis dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah

percobaan rumah kaca, percobaan lapang dan percobaan mikrobiologis di laboratorium.

Tabel 8.3. Contoh ekstrak untuk penetapan ketersediaan hara

No	Macam ekstrak	Penggunaan	Keterangan
1	Ammonium asetat (NH ₄ Oac)	Ketersediaan K, Na, Ca, Mg	Alat AAS atau dapat dengan flamefotometer
2	Olsen (NaHCO ₃ , pH 8,5)	Ketersediaan P	Untuk tanah-tanah alkalis. Metode Scheel
3	Bray I (0,03 N NH ₄ F + 0,025 N HCl)	Ketersediaan P	Tanah-tanah netral
4	Bray II (0,03 N NH ₄ F + 0,1 N HCl)	Ketersediaan P	Tanah-tanah masam
5	Asam sitra 2%	Ketersediaan P	P pupuk
6	Mechlich's (0,05N HCl + 0,025 N H ₂ SO ₄)	Ketersediaan P	
7	KCl 1 N	Aluminum dapat dipertukarkan	Untuk penetapan kapur
8	DTPA, EDTA	Unsur mikro Zn, Cu, Fe	AAS
9	HCl 0,1 N	Zn tersedia	AAS
10	H ₂ SO ₄	Mn tersedia	

8.4.1. Percobaan di Rumah Kaca

Percobaan di rumah kaca (*green house*) dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis tanah yang dimasukkan dalam pot ditanami dengan tanaman yang digunakan sebagai indikator. Percobaan rumah kaca ini dapat untuk menentukan dua kegiatan yaitu untuk melihat gejala-gejala tanaman yang kahat unsur hara atau dikenal dengan percobaan *missing element* atau untuk menyembuhkan tanah yang

diduga kahat dengan pemberian jenis hara tertentu melalui pupuk. Kalau untuk melihat gejala kekahatan hara caranya yaitu tanah yang digunakan biasanya tanah pasiran yang dianggap netral atau kekurangan hara. Dalam tanah tersebut diberi hara makro lengkap N, P, K, Ca, Mg dan mikro lengkap seperti Zn, Cu, Mo dan B. Tanah yang lain tidak diberi salah satu hara misalnya -N, -P, -K, -Ca atau -Mg atau -Zn, -Cu, -Mo, -B yang lainnya diberi semua hara. Tanaman yang digunakan indikator umumnya tanaman jagung atau dapat menggunakan jenis tanaman yang lain yang umurnya pendek (tanaman musiman/pangan) dan peka terhadap pemberian hara. Setiap hari diamati gejala fisiknya tanaman tersebut dan dibandingkan dengan tanaman yang ditambahkan hara yang lengkap. Semua gejala-gejala yang ditampilkan harus dicatat dan ditabulasi.

Percobaan yang kedua adalah percobaan untuk menyembuhkan tanah yang diduga kahat akan hara tertentu. Hara tersebut ditambahkan dalam bentuk pupuk kemudian ditanami jenis tanaman tertentu (misal jagung atau kedelai). Respon tanaman terhadap dosis hara dapat diterapkan dengan mengukur hasil tanaman total dan kandungan hara dalam jaringan tanaman. Keuntungan percobaan rumah kaca ini adalah lebih cepat diketahui, mudah diulang, dan biayanya relatif murah serta faktor-faktor lain yang mengganggu pertumbuhan tanaman dapat diatasi atau dianggap tidak ada. Kelemahan percobaan rumah kaca adalah kondisi lingkungan percobaan dikendalikan (tidak seperti di lapangan), sehingga tidak sama dengan sebenarnya. Hasil yang didapat dari percobaan rumah

kaca ini tidak dapat langsung diterapkan di lapangan, tetapi perlu pengaturan-pengaturan tertentu seperti adanya faktor koreksi.

8.4.2. Percobaan di Lapangan

Percobaan lapang umumnya dilakukan untuk mengevaluasi kesuburan tanah disuatu tempat dengan menanam suatu jenis tanaman yang diperlakukan dengan dosis pupuk tertentu untuk mendapatkan dosis yang tepat dan spesifik lokasi. Uji lapangan perlu dilakukan di berbagai tempat, ulangan dan waktu berdasarkan agroekosistem. Keuntungan dari uji lapang ini dapat mengetahui kesuburan tanah yang sebenarnya yang spesifik lokasi dan jenis tanah tertentu. Sehingga hasilnya tidak sama antara suatu tempat dengan tempat yang lain dengan jumlah pupuk yang sama. Kelemahannya dari uji ini adalah hasilnya lama diketahui dan terkadang banyak mendapatkan kegagalan yang diakibatkan oleh serangan hama atau masalah iklim.

Uji lapang ini sebenarnya merupakan kelanjutan dari uji rumah kaca, sehingga akan diketahui dosis yang tepat yang berdasarkan jenis tanah dan iklim yang ada. Uji lapang ini hasilnya sangat penting terutama dengan kaitannya dengan rekomendasi pemupukan yang akan diterapkan. Makanya uji lapang ini memerlukan waktu yang lama, tenaga dan biaya yang tidak sedikit.

Pada lokasi lahan yang secara tipologinya merupakan lahan marginal, pemupukan organik dan pemilihan crop tertentu mampu meningkatkan nilai kesuburan tanah. Misalnya pada lahan pasir pantai. Permasalahan kompleks pada lahan pasir pantai dapat menjadi faktor pembatas dalam budidaya pertanian, sehingga pemanfaatannya

memerlukan teknologi spesifik lokasi untuk meningkatkan tingkat kesuburan tanah tersebut. Penambahan bahan organik (pupuk kandang sapi) dan anorganik (pupuk NPK) mampu membuat perubahan beberapa sifat kimia dan fisika tanah pasir pantai, seperti hasil penelitian di lahan pasir pantai yang tertera pada Tabel 8.4 dan Tabel 8.5.

Tabel 8.4. Pengaruh dosis pupuk kandang terhadap beberapa sifat kimia tanah pasir

No	Parameter	Dosis Pupuk Kandang (ton/ha)		
		O ₀ (0)	O ₁ (20)	O ₂ (30)
1	pH H ₂ O	6,74 ^b	6,76 ^b	6,82 ^a
2	pH KCl	5,48 ^c	5,63 ^b	5,79 ^a
3	KTK (cmol(+)/gr)	6,17 ^c	6,56 ^b	7,52 ^a
4	Bahan Organik (%	1,48 ^c	1,54 ^b	1,63 ^a
5)	376,67 ^b	391,33 ^{ab}	474,00 ^a
6	N total (%)	24,00 ^a	25,00 ^a	23,00 ^a
7	C/N	10,65 ^a	10,82 ^a	11,14 ^a
8	N tersedia (ppm)	29,48 ^a	28,67 ^a	30,19 ^a
	K tersedia (ppm)			

Sumber : Syukur dan Harsono, 2007

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf signifikansi 95 % DMRT.

Pada lahan sulfat masam, masalah hara yang paling banyak dilaporkan adalah ketersediaan hara P yang rendah dan fiksasi P yang tinggi oleh Al dan Fe. Hara P merupakan salah satu unsure hara yang paling banyak dibutuhkan tanaman. Hara ini berfungsi untuk pertumbuhan akar, transfer energi dalam proses fotosintesis dan respirasi, perkembangan buah dan biji, kekuatan batang dan ketahanan

terhadap penyakit. Serapan hara P yang cukup akan menjamin tanaman tumbuh dengan baik (Lingga, 1986; Hakim, 1986). Oleh karenanya pemupukan P pada lahan sulfat masam adalah komponen teknologi yang harus mendapat prioritas. Pengapuran untuk mengurangi kemasaman tanah dan unsure beracun dan pemupukan P untuk mengurangi kahat P diharapkan dapat meningkatkan produktivitas lahan sulfat masam.

Tabel 8.5. Pengaruh dosis pupuk kandang terhadap kerapatan dan distribusi pori tanah.

No	Parameter	Dosis Pupuk Kandang (ton/ha)		
		O ₀ (0)	O ₁ (20)	O ₂ (30)
1	Berat Jenis/BJ (gr/cm ³	2,93 ^a	2,93 ^a	2,92 ^a
2)	1,74 ^a	1,72 ^a	1,70 ^a
3	Berat Volume/BV (40,44 ^a	41,20 ^a	41,64 ^a
4	gr/cm ³)	23,69 ^a	23,10 ^a	24,82 ^a
5	Porositas (%)	14,38 ^a	14,93 ^a	14,80 ^a
6	Pori berguna (%)	4,62 ^a	3,84 ^a	4,33 ^a
7	Pori drainase cepat (%)	4,69 ^a	4,33 ^a	5,70 ^a
	Pori drainase lambat (%)			
	Pori penyimpan lengas (%)			

Sumber : Syukur dan Harsono, 2007

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada baris yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada taraf signifikansi 95 % DMRT.

8.4.3. Uji Mikrobiologis

Uji ini sangat jarang dilakukan karena sifatnya sangat rumit dan mikroskopis. Dikatakan rumit karena melibatkan jasad renik

dalam tanah dan jasad renik sangat beragam dan terkadang susah dikendalikan. Kesalahan dalam memperlakukan jasad renik akan berbahaya kepada manusia maupun tanaman di atasnya. Prinsip dari uji ini adalah kebutuhan hara jasad renik atau mikroba diasumsikan menyerupai kebutuhan tanaman. Kenyataan di lapang kebutuhan antar jasad sangat beragam dan jenis jasad juga beraneka. Ada jasad yang toleran terhadap tanah marjinal, ada jasad yang hanya menyukai tanah yang subur dan lain-lain. Untuk itu uji mikrobiologis jarang sekali ditemukan. Kecuali untuk keperluan kegiatan bioteknologi tanah dan tanaman.

Pada beberapa penelitian, penggunaan organisme seperti cacing tanah sebagai indikator kualitas lahan. Cacing tanah sering merupakan komponen utama biomas makrofauna di dalam tanah. Hal ini disebabkan cacing tanah hidup kontak langsung dengan tanah dan memiliki kontribusi penting terhadap proses siklus unsur hara di dalam lapisan tanah, tempat akar tanaman terkonsentrasi. Selain itu lubang yang dibuat cacing tanah sering merupakan proporsi utama ruang pori makro di dalam tanah, sehingga cacing tanah dapat secara nyata mempengaruhi kondisi tanah yang berhubungan dengan hasil tanaman.

Aktivitas pertanian seperti pengolahan tanah, pemupukan, dan aplikasi pestisida kimia dapat mempengaruhi kehidupan cacing tanah. Penurunan jumlah cacing tanah di areal pertanian lebih diperburuk lagi oleh predatornya selama dan setelah pengolahan tanah, seperti kumbang tanah, burung gagak, burung camar, dan binatang lainnya. Menurut Muy dan Granval (1997), cacing tanah dapat

dipertimbangkan sebagai indikator yang tepat bagi penggunaan lahan dan kesuburan tanah, serta indikator kualitas hutan. Sebagai contoh bahwa kehadiran burung pada saat setelah pengolahan tanah dan tanah masih terbuka, serta memakan invertebrate kecil (sebagian besar cacing tanah) mengindikasikan tanah pertanian tersebut subur.

DAFTAR PUSTAKA

- Adimiharja, A.I. Juarsah, dan U. Kurnia. 2000. Pengaruh Penggunaan Berbagai Jenis dan Takaran Pupuk Kandang Terhadap Produktifitas Tanah Ultisol Terdegradasi di Desa Batin , Jambi. Hal 303-3019 dalam Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan, Iklim dan Pupuk. Buku II. Libdo Bogor 6-8 Desember 1999. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor.
- Adhitama, C. 2011. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Lahan Sawah Intensifikasi di Kecamatan Tugumulyo dan Muara Beliti, Kabupaten Musi Rawas. Skripsi Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya. 39 halaman.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy Metals in Soils. Jhon Willey and sons Inc, New York.
- Amezketta, E., R. Aragues, R. Gazol. 2005. Efficiency of Sulfuric Acid, Mined Gypsum and Two Gypsum by Product in Soil Crossing Prevention adn Sodic Reclamation. Agron. J. 97:983-989. and biochemical properties following the application of fresh and composted organic amendments. Soil Sci Soc Am J 72:160-166 (Abstract)
- Anonymous. 1981. Thionic Fluvisol. Soil Monolith Paper I, International Soil Museum, Wageningen. The Netherlands.
- Anthoni, J.F. 2000. Soil Ecology. www.seafriends.org.nz/enviro/soil/ecology.htm
- Ardi S, D., A. Abas Id and P. Sudewo. 1986. Soil Properties of Agricultural Land in Transmigration Project, Karang Agung. in: Symposium Lowland Development in Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, 2010. Pengapuran Tanah Masam untuk Jagung dan Kedelai, Brosur Informasi Ringkas Bank Pengetahuan Tanaman Pangan Indonesia, Agro Inovasi.
- Beijer, K. and A. Jernelov. 1986. General Aspect and Spesific Data on Ecological Effectof Metals. In Friberg, L (Ed). Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier Science Pub. Amsterdam.
- Bell, L.C., and T. Bessho. 1993. Assessment of Aluminium Detoxification by Organic Materials in an Ultgisol, Using Soil

- Solution Characterization and Plant Response. In Mulongoy, K. And R. Merckx (editors). 1993. *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley and Sons. Chichestr- New York- Brisbane-Toronto-Singapore. P. 317-330
- Bipfubusa, M, D. A. Angers, A. N'Dayegamiye and H. Antoun. 2008. Soil aggregation and biochemical properties following the application of fresh and composted organic amendments. *Soil Sci Soc Am J* 72:160-166 (Abstract)
- Bloomfield, C., and J. K. Coulter. 1973. Genesis and Management of Acid Sulfate Soil. In: Brady, N.C (1973) : *Advances in Agronomy*. Academic Press New York. p. 266 -326
- Bohn, H., B. McNeal, and G. O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons. New York. 329 p.
- Bohn, H.L, B.L. McNeal, and G.A. O'Connor. 1985. *Soil Chemistry*. Second Edition. A Willey Interscience Publication, New York
- Bos, M. G. 1990. Research on Acid Sulphate Soils in Humid Tropics. in: *Papers Workshop on Acid Sulphate Soils in the Humid Tropics*. 1990. Bogor. Indonesia. p. 1-9.
- Brady, N.C. 1974. *The Nature and Properties of Soil*. The macMillan Company, New York.
- Budianta, D and J. Vanderdeelen. 2000. Short-term Evolution of Phosphorus in an Ultisol. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, 31(19&20): 3135-3146.
- Budianta, D. 2001. Response of Soybean on the Application of Lime and Green Manure Derived from Velvet Bean Planted in an Ultisol. *J. Tanah Tropika* 13: 1-9.
- Budianta, D. and Y. Windusari. 2016. Beneficial Effect of Local Resources to Improve Food Crop Production in Tidal Swamp of Indonesia. *Inter. J. Env & Agric Res* 2(1); 98-101
- Budianta, D., dan D. Tambas. 2004. Kandungan Logam Berat Kadmium Pada Lahan Intensifikasi Pertanian Belitang Oku Timur Sumatera Selatan. *Pengelolaan Lingkungan dan Sumber Daya Alam*. 2(1) : 45-52.
- Budianta, D., A. Napoleon and D. Ristiani. 2012. SRI di Lahan Pasang Surut. *Prosiding Seminar Nasional: Menuju Pertanian Berdaulat*. Tanggal 12 September 2012. Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu bekerjasama dengan PERHEPI dan PFI Komda Bengkulu. Hal.19-25.

- Budianta, D., Ermatita, Napoleon, Agus Hermawan, and Harry Wijayanti. 2017. Evaluation of some soil chemical properties of tidal swamp land after long-term cultivation. *Int. J. Engg. Res. & Sci. & Tech.* 6(2):12-21.
- Budianta, D., A. Napoleon, A. Paripurna and Ermatita. 2019. Growth and production of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) with different fertilizer strategies in a tidal soil from South Sumatra, Indonesia. *Spanish J. Soil Sci.* 9:54-62.
- Calvaruso, C., M.P. Turpault, and P.F. Klett. 2006. Root Associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 72(2): 1258-1266.
- Chaney, K, and R.S. Swift. 1994. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.* 35: 223-230.
- Chantigny, M.H, D. A. Angers, and C. J. Beauchamp. 1999. Aggregation and organic matter decomposition in soils amended with de-inking paper sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1214–1222.
- Charlena. 2004. Logam Berat Pb dan Cd Pada Bahan Agrokimia. IPB, Bogor.
- Chino, M. 1981. Heavy Metals in Rice Plants. *In* Kitagishi, K (Ed) *Heavy Metals Pollution in Soil of Japan* scientific Societies Press Tokyo. pp 65-101.
- Conyers, M. 1986. The relationship between Average Annual Rainfall and Exchangeable Aluminium in Soils of South-Eastern New South Wales. *Aus.J.Exp. Agric.* 26:587-590. Diakses tanggal 28 Juni 2008.
- De Coninck, Fr. 1978. *Physico-Chemical Aspects of Pedogenesis.* ITC. Rijksuniversiteit Gent.
- Dent, D. 1986. *Acid Sulphate Soil: a baseline for research and development.* ILRI publication 39. Wageningen. 205 p
- Dublin-Green, C.O. and A.G. Ojanuga. 1988. *The Problem of Acid Sulfate Soils in Brackish Water Aquaculture: A Preliminary Study of The Soils of Niomr/Atac Fish Farm, Buguma,, Rivers State, Nigeria.* Nigerian Institute for Oceanography and Marine Research. Technical Paper No. 45, November, 1988.
- Dudal, R., and J. Deckers. 1993. Soil Organic Matter in Relation to Soil Productivity. *In* Mulongoy, K. And R. Merckx (editors). 1993. *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of*

- Tropical Agriculture. John Wiley and Sons. Chichestr- New York- Brisbane-Toronto-Singapore. P. 377-380.
- Elisa, A.A., J. Shamsuddin, and I. Roslan. 2016. Alleviating Aluminum Toxicity in an Acid Sulfate Soil from Peninsular, Malaysia by Calsium Silicate Application. *Solid Earth* 7:367-374.
- Enriquez, G.; L.S. Saniel, R.R. Matias and G.I. Garibay. 1995. *Laboratory Mannual in General Microbiology*. University of Philippines Press.
- Euroconsult.1995. Laporan Pemantauan Aspek-aspekHidrologi Makro: Proyek Pengembangan Pertanian Telang dan Saleh, Komponen Pengembangan Drainase, Integrated Irrigation Sector Project (IISP) (In Indonesian).
- Fahmi, A. and E. Hanudin. 2008. Pengaruh Kondisi Redoks terhadap Stabilitas Kompleks Organik-besipada Tanah Sulfat Masam. *J. Ilmu Tanah dan Lingkungan* 8(1):49-55.
- Foth, H. D. 1978. *Fundamentas of Soil Science*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Foth, H.D., and B.G. Ellis. 1997. *Soil Fertility*. 2nd, Boca Raton: Lewis Publisher.
- Geraldson, C.M., G.R. Klacan, and O.A. Lorava. 1973. Plant Analysis As an Acid in Fertilizing Corn and Grain, Sorghum. Pp 365-379. In Leo. M. Walsh and J.D. Beaton (eds). *Soil Testing and Plant Analysis (Recived Ed)*. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin USA.
- Gu, Baohua and H. E. Doner. 1993. Aggregation of soils as inflenced by organic and inorganic polymers and inorganic polymers. *Soil Sci. Soc.AmJ.* 57:709-716 (abstract)
- Hairani, A., A. Yusuf, E. Purnomo and M. Osaki. 2005. Identifikasi dan Uji Kemampuan Mikroorganisme Pelarut P dari Berbagai Rhizosfer Padi Lokal yang Berdaya hasil Tinggi DI Lahan Pasang Surut Tanah Sulfat masam Kp. Belandean Kalimantan Selatan. *J. Tanah Trop.* 10 (2):131-136.
- Hairunsyah. 1987. *Kajian Pengaruh Pengapuran Terhadap Ketersediaan Hara untuk Padi Sawah*
- Hanafiah, K.A. 2005. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Hardjowigeno, S, 2002, *Ilmu Tanah*, IPB Bogor
- Hartemink, A.E. 2003. *Soil Fertility Decline in The Tropics With Case Studies on Plantation*. Wallingfond: CABI Publising.

- Hausenbuiller, R. L. 1981. Soil Science. Principle and Practice. Wm. C. Brown Company
- Ilona, N.A., G. Munif, D. Sopandie, A. Sutandi and M.Melati. 2012. The Utilization of Acid Sulfate Soil For Agrivulture. In: International Seminar: Food Sovereignty and Natural Resources in Archipelago Region. ICC-IPB, 23-24 October 2012. 261-270.
- Hoeman, S. 2007. Peluang dan potensi pengembangan sorgum. Makalah pada Workshop Peluang dan tantangan sorgum sebagai bahan baku bioetanol. Dirjen Perkebunan, Departemen Pertanian. Jakarta
- Imanudin, M.S., E. Armanto, R. H. Susanto and S. M. Bernas. 2010. Water Table Fluctuation in Tidal Lowland for Developing Agricultural Water Management Strategies. J. Trop. Soils 15(3):277-282.
in Acid Sulphate Soils in Pulau Petak, South and Central Kalimantan. in : Papers Workshop Indonesia. ILRI. Wageningen. p. 102 – 127 .
- Intimulya Multikencana. 2009. Review Desain Daerah Rawa Pasang Surut Delta Telang II, Kabupaten Banyuasin, Propinsi Sumatera Selatan. Final Report.
- Jenny, H., 1980. The Soil Resource, Origin and Behaviour, Springer-Verlag, New York
- Jones, J.B., B. Woolf and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro=Macro Publishing, Inc.USA. 213 p.
- Jutono, 1983, Dampak Pengapuran terhadap Beberapa Sifat Mikrobiologi Tanah, Makalah Seminar Alternatif Pelaksanaan Program Pengapuran Tanah Mineral Masam di Indonesia, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Kamprath, E, 1980, Soil Acidity in well drained soils of the tropics as a constraint to food production in priorities for alleviating soil related constraint to food production in the tropics. IRRRI Los Banos, Laguna, Philippines, pp 173-187
- Kaptn, 2009. Pengelolaan Kesuburan Tanah Masam dengan Pengapuran Terpadu, (<http://www.kapurpertanian.com> diakses 15 Oktober 2011)
- Kasno, A. dan A. Sofyan. 1998. Prospek Penggunaan Pupuk P-Alam Pada Tanah Masam Lahan Kering, hal. 195-201. Buku 1. Prosiding Seminar Nasional.

- Kochian, L.V., M.A. Pineros and O.A. Hoekenga. 2005. The Physiology, Genetics and Molecular Biology of Plant Aluminum Resistance and Toxicity. *Plant Soil* 274:175-195.
- Koesrini, E. William and D. Nursyamsi. 2014, Application of Lime and Adaptable Variety to Increase Tomato Productivity at Potential Acid Sulphate Soil. *J. Trop Soils* 19(2):69-76.
- Koesrini, M. Saleh and D. Nursyamsi. 2013. Keragaan Varietas Inpara di Lahan Rawa Pasang Surut (*Performance of Varieties Inpara in Swampland*). *Pangan* 22(3):221-228.
- Kononova, M.M. 1961, Soil Organic Matter. T.Z. Nowakowski and Greenword (Trns) Pergamon, Oxford.
- Konsten, C. J. M., S. Suping, I. B. Aribawa and I. P. G. Widjaja – Adi. 1990. Chemical Process
- Koswara, O., and F. Rumawas. 1984. Tidal Swamp Rice in Palembang Region. In: Proceedings Workshop on Research Priorities in Tidal Samp Rice. IRRI, Los Banos, Philippines. pp. 37-46.
- Kurniatun, H., Widiyanto, Utami, S. R, Suprayogo, D, Sunaryo, Sitompul, SM, L. Betha,
- Lado, M.A.Paz, and M. Ben Hur. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, soil formation, and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 935-942.
- Lehoczky, É., I. Szahabos, P. Marth. 1996. Cadmium content of plants as affected by soil cadmium concentration. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, 27(5-8):1765-1777.
- Luttge, A., L. Zhang and R.H. Neilson. 2005. Mineral surfaces and their implications for microbial attachment: results from Monte Carlo Simulations and direct surface observations. *Am. J. of Sci.* 305: 766-790.
- Maas, A. 1989. Genesis, Classification and Reclamation of Potensial Acid Sulphate Soil in South Kalimantan Indonesia. Rijkuniversiteit Gent. Fakulteit Van De Wetenschappen. 196 p.
- Manuelpillai, R. G., M. Damanik, and R.S. Simatupang. 1986. Site Specific Soil Characteristics and The Amelioration of Sulfic Tropaquept (Acid Sulphate) in Central Kalimantan. in : Symposium Lowland Development in Indonesia. ILRI. Wageningen. p. 252 – 263.
- Marius, C. 1982. Acid Sulphate Soils of the Mangrove Area of Senegal and Gambia. in: H. Dost and N. Van Breemen (ed)

- Proceeding's of the Bangkok Symposium on Acid Sulphate Soils. ILRI Pub. Wageningen. p. 103-136.
- Marlina, L., M.I. Imanudin and S.J. Priatna. 2015. Kajian Pola Pemanfaatan Lahan di Daerah Reklamasi Pasang Surut Delta Telang II Kabupaten Banyuasin (*The Study of Land Use Pattern in Tidal Lowland Reclamations of Telang II Deltaic Areas of Banyuasin Reegency*). in Prosiding Seminar Nasional Dalam Rangka Dies Natalis k3-52 Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Palembang 5 November 2015.
- Marsono dan Sigit. 2001. Petunjuk dan Penggunaan Pupuk. Penebar Swadaya. Jakarta
- Masulili, A., W.H. Utomo and E.I. Wisnubroto. 2016. Growing Rice (*Orizasetiva*L) in the Sulphate Acid Soils of West Kaliman, Indonesia. Inter. J. Agric. Res 11(1): 13-22. Materials in an Ultgisol, Using Soil Solution Characterization and Plant
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1978. Principle of Plant Nutrition. International Potash Insitiute. Switzerland. 593 p.
- Mengel, K. And E.A. Kirkby. 1987. Principle of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern/Switzerland.
- Mohr, E. C. J., F. A. V. Baren, and J. V. Schnylenborg. 1972. Tropical Soils. a Comrehensive Study of Their Genesis. Mouton – Ichtiar Baru-Van Hoeve. The Hague. Paris. Jakarta. p. 374-394.
- Moore, Jr., P.A., T. Attanandana and W. H. Pattrick, Jr. 1990. Factors affeting Rice Growth on Acid Sulfate Soils. Soil Sci. Soc. Am. J, 54:1651-1656.
- Moorman, F. R. and N. Van Breemen. 1978. Rice : Soil, Water and Land. IRRI. Los Banos. Laguna Philippines.
- Moshman, KD. 1997. Reference Data Sheet on lead. <http://meridianeng.com/lead.html>. diakses tanggal 2 Oktober 2009.
- Muktamar, Z. and T. Adiprasetyo. `1993. Studi Potensi Lahan Gambut di Propinsi Bengkulu Untuk Tanaman Semusim. Prosiding Seminar Nasional Gambut II. Bengkulu.
- Mulia, R, Meine van Noordwijk dan Cadisch, G, 2000, Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi, Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara, International Centre for Research in Agroforestry Southeast Asia Regional Research Programme, Bogor

- Munson, R.D., and W.L. Nelson. 1973. Principles and Practices in Plant Analysis. Pp 223-248. In Leo. M. Walsh and J.D. Beaton (eds). Soil Testing and Plant Analysis (Revised Ed). Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin USA
- Murbandono. 2000. Membuat Kompos. Penebar Swadaya, Jakarta
- Noorsyamsi, H., H. Anwarham, S. Soelaiman and H. M. Beachell. 1984. Rice Cultivation in the Tidal Swamps of Kalimantan. In : IIRI Workshop on Research Priorities in Tidal Swamp Rice.
- Notodarmojo, S. 2004. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. ITB, Bandung.
- Notohadiprawiro, T, 1984. Pengelolaan Kesuburan Tanah dan Peningkatan Efisiensi Pemupukan. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada.
- Nursanti, I. 2014. Peranan Mineral Zeolit dan produk Sampung Cair Pabrik Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung pada Keadaan Cekaman Kekeringan di Tanah Sulfat Masam Potensial. Disertasi FP. Unsri. 161 hal.
- Oades, J. M. 1984. Interaction effects of organisms, organic matter and management on soil structure. *Plant and Soil* 76(-13):319-317 (Abstract).
- of Metals. In Friberg, L. (Ed), Handbook on the Toxicology of Metals. Elsevier Science Pub., Amsterdam. p. 145 – 147. pada Tanah Sulfat Masam Sulfic Tropaequept. Tesis S-2 FPS UGM. Yogyakarta. 154 p.
- Ponnamperuma, F. N. 1977. Physicochemical Properties of Submerged Soils in Relation to Fertility. IIRI. Los Banos Philippines.
- Price, G. 2006. Australian Soil Fertility Manual. 3rd Ed. Collingwood: CSIRO Publishing and FFA. Publishers. Itebuque. Iowa.
- Pulford, I. D., C. A. Backes and H. J. Duncan. 1986. Inhibition of Pyrite Oxidation in Coal Mine Waste. In : H. Dost. 1986. Selected Papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils. Dakar, Senegal. ILRI Pub. 44. Wageningen. p. 59-67.
- Purnomo, E., T. Hasegawa, Y. Hashidoko and M. Osaki. 2006. Soil Nitrogen Supply and Nitrogen Uptake for Local Rice Grown in Unfertilized Acid Sulfate Soil in South Kalimantan. *Tropics* 15(4):349-354.
- Rahmi, O., R.H. Susanto and A. Siswanto. 2015. Pengelolaan Lahan Basah Terpadu di Desa Mulia Sari Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin. (*The Integrated Lowland Management*

- in Mulia Sari, Tanjung Lago Sybdistrict, Banyuasin Regency*).
J. I. Pert. Indo (JIPI) 20(3):201-207.
- Rashidi, M. and M. Seilsepour. 2008. Modeling of Soil Cation Exchange Capacity Based on Soil Organic Carbon. *ARNP J. Agric.& Bio. Sci.* 3(4):41-45.
- Response. In Mulongoy, K. And R. Merckx (editors). 1993. *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley and Sons. Chichestr- New York- Brisbane-Toronto-Singapore. P. 317-330.
- Ristiani, D. 2012. Modifikasi System of Rice Intensification (SRI) di Lahan Pasang Surut Dengan Berbagai Umur Pemin dah Bibit dan Pemberian Pupuk Organik Cair. Thesis S2. Universitas Sriwijaya.
- Rocky, M, 2008, Mengelola Tanah Masam, (<http://rocky16amelungi.wordpress.com> diakses 15 Oktober 2011)
- Rowell, D. L, and J. G. Salinas. 1981. Low Input Technology for Managing Oxisols and Ultisol in the Tropical America. *Advances in Agronomy*. Vol. 34. p. 280-406.
- Rowell, D. L. 1981. Oxidation and Reduction. in : Greenland, D. J. (Editor). 1981. *The Chemistry of Soil Processes*. Johns Wiley and Sons. London. 618p.
- Safitri, R, N. Akhir dan I. Sulisyiah. 2010. Pengaruh Jarak Tanam dan Pemberian Pupuk Kandang Ayam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sorgum Manis (*Sorgum bicholar*, L. Moench). *Jurnal Jerami* Vol.3(2) : 107-119.
- Sagala, D. 2010. Peningkatan pH Tanah Masam di Lahan Rawa Pasang Surut pada Berbagai Dosis Kapur Untuk Budidaya Kedelai (*The Increase of pH of Acid Tidal Swamps on Dosage of Liming for Soybean Culture*). *J. Agroqua* 8(2):1-5.
- Sagala, D., M. Ghulamahdi dan M. Melati. 2011. Pola Serapan Hara dan Pertumbuhan Beberapa Varietas Kedelai dengan Budidaya Jenuh Air di Lahan Rasa Pasang Surut. *J. Agroqua* 9(1):1-10.
- Salam. A.K., S. Djuniwati dan Sarno. 1998. Perubahan Kelarutan Logam Berat dan Kadmium dalam Kolom Tanah dengan Perlakuan Kapur dan Kompos Daun Singkong Akibat Pencucian dengan Air. *J. Tanah Tropika*. 7:43-50.
- Sanchez, P. A., 1992. *Sifat dan Pengelolaan tanah Tropika*. Penerbit ITB Bandung

- Saragih, S. 1990. The Research of Rice and Palawija Improvement on Acid Sulphate Soils in Delta Pulau Petak. in : Papers Workshop on Acid Sulphate Soils in the Humid Tropics. 1990. Bogor. Indonesia. p. 212-223.
- Sari, F.V. 2011. Peranan Gypsum Dalam Mereklamasi Tanah Salin Untuk Pertanian. Paper Mata Kuliah Tanah Lanjut. Program Studi Ilmu Tanaman. Program Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya, Palembang. 13 halaman.
- Setyorini, D., Soeparto, dan Sulaeman. 2003. Kadar Logam Berat dalam Pupuk. Hlm. 219-229 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Kualitas Lingkungan dan Produk Pertanian : Pertanian Produktif Ramah Lingkungan Mendukung Keamanan dan Ketahanan Pangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Shamsuddin, J., I. Jamilah and J.A. Ogunwale. 1994. Organic Carbon Determination in Acid Sulphate Soils. *Pertanika J. Trop. Agric, Sci*, 17(3):197-200.
- Soekodarmodjo, S, 1983. Pengaruh Pengapuran terhadap Sifat Fisika Tanah, Makalah Seminar Alternatif Pelaksanaan Program Pengapuran Tanah Mineral Masam di Indonesia, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Soil Survey Staff. 1987. Soil Taxonomy. USDA Handbook 436 Washington DC.
- Stevenson, F, J., 1994, Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. John Wiley dan Sons, New York.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. A Willey Interscience Publication, New York.
- Subowo, Prastowo, N.S. Mulyani dan J. Sri Adiningsih. 1994. Pengaruh Tanah Aluvial dan Grumosol tercemar Pb dan Cd Terhadap Produksi Padi Sawah. Laporan Proyek Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Subowo., Mulyadi, S. Widodo, dan A. Nugraha. 1999. Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah. Puslittanak, Bogor.
- Suharta, N, 2010, Karakteristik Dan Permasalahan Tanah Marginal Dari Batuan Sedimen Masam Di Kalimantan, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor

- Suhartini, T., I. Basa and Z. Harahap. 1986. Rice Varietal Testing for Acid Soil in Tidal Sawmps Area in Karang Agung, South Sumatera. In : Symposium Lowland Development in Indonesia. ILRI. Wageningen. p. 281-287.
- Sumarno dan S. Karsono. 1995. Perkembangan Produksi Sorgum di Dunia dan penggunaannya. Edisi Khusus Balitkabi 4 : 13 24.
- Suntoro, 2003. Peranan Bahan Organik terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolaannya. Pidato Pengukuhan Guru Besar Ilmu Kesuburan Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. 36 hal.
- Tisdale, S. L and W. L. Nelson, 1975. Soil Fertility and Fertilizer. The macMillan Company, New York.
- Tisdale, S.L., W.L. Melson, and J.D. Beaton. 1990. Soil fertility and fertilizers. 4th ed New York Macmillan Publishing Co.
- Tisdall, J.M. and J.M.Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33:41-63.
- Tuyent, T.Q., C.V. Phung and T.K. Tiuh. 2006. Influence of Long Term Application of N, P, K Fertilization on Soil pH, Organic Matter, CEC, Exchangeable Cations and Some Trace Elements. Omonrice 14:144-148.
- Ulrich, A., and F.J. Hills. 1973. Plant Analysis as an Acid in Fertilizing Sugar Crops: Part I. Sugar Beets. Pp 271-288. In Leo. M. Walsh and J.D. Beaton (eds). Soil Testing and Plant Analysis (Recived Ed). Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin USA Ultisol. Commun. Soil. Sci. Plant Anal., 31(19&20): 3135-3146.
- Van Alphen, J. G. 1984. Rice in the Reclamation of Salt Affected Soils. In : Ecology and Management of Problem Soils in Asia. FFTC Books Series No. 27. p. 353-356.
- Van Breemen, N. and L. J. Pons. 1978. Acid Sulphate Soils and Rice. In : Soil and Rice. IRRI Los Banos. Philippines. p. 739-762.
- Van Den Eelaart, A. L. J. and W. Doissevani. 1986. Evaluation and Improvement of Water Management for Potential Acid Sulphate Soils in Tidal Lands of South Kalimantan. In : Symposium Lowland Development in Indonesia. ILRI. Wageningen. p. 227-239.
- Wagner, S., S.R. Cattle, and T. Scholten. 2007. Soil aggregate formation as influenced by clay content and organic matter amendment. J. of Plant Nutrition and Soil Science 170(1): 173-180 (abstract).

- Web Master, 2009. Penyebab Tanah Masam, (<http://pupukdsp.com>, diakses 16 Oktober 2011)
- White R.E., 1987. Introduction to the Principles and Practices of Soil Science. Blackwell Scientific Publ. , Palo Alto, CA.
- Whitney, D.A., J.T. Cope and L.F. Welch. 1985. Prescribing Soil and Crop Nutrient Needs. P. : 25-52. Dalam: Fertilizer Technology and Use. 3rd ed. O.P. Engelstad (ed.). Soil Sci. Soc. Am., madison. WI.
- Widjaja Adhi, I.P.G., K. Nugroho, A. Ardi and A.S. Karama. 1992. Sumberdaya Lahan Rawa: Potensi, Keterbatasan dan Pemanfaatan. Prosiding: Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak.
- Wijanarko, A., A. Taufik and D. Harnowo. 2016. Effect of Liming, Manura, and NPK fertilizer application on growth and yield performance of Soybean in Swam Land. J. Degraded and Mining Lands Manag. 3(2):527-533.
- Williams, C. N. and K. T. Joseph. 1976. Climate, Soil and Crop Production in the Humid Tropics. Oxford University Press. London. p. 156.
- www.gunwald.ifas.ufl.edu. Soil Organic Matter (SOM). Diakses tanggal 26 April 2008
- www.soils.wisc.edu. Soil formation. Diakses tanggal 28 Juni 2008 York.
- Young, A. 1976. Tropical Soils and Soil Survey. Cambridge University Press. Cambridge. London. Inc. 468 p.
- Yuanchin, S. 2003. Comprehensive Reclamation of Salt Affected Soils in China,s. Huang-Hai Plain. J. Crop Prod. 7:163-179

ISTILAH-ISTILAH DALAM KESUBURAN TANAH

- Agregat tanah: bongkahan tanah yang merupakan hubungan antar partikel tanah atau butiran tanah yang banyak terikat menjadi satu massa atau bongkah tunggal seperti gumpal, kersai, kubus atau prisma.
- Alkalis: kondisi dimana kadar pertukaran natrium atau kation basa lainnya di dalam tanah naik, sehingga dapat menyebabkan pH naik hingga 8,5 atau lebih
- Aerasi tanah: proses yang dapat menyebabkan udara dalam tanah ditukar dengan udara dari atmosfer. Pada tanah yang aerasinya baik, udara tanah susunannya hampir sama dengan atmosfer di atas tanah tersebut
- Air: senyawa yang terdiri dari ion hydrogen dan oksigen
- Aluminium (Al) : merupakan unsur hara pada tabel periodic unsur kimia termasuk golongan IIIA dengan nomor atom 13 dan mempunyai berat atom 27, termasuk dalam kation asam dan logam amfoter
- Aliran massa: mekanisme gerakan unsur hara di dalam tanah menuju ke permukaan akar bersama-sama dengan gerakan massa air
- Asam amino: senyawa organik yang memiliki gugus fungsional karboksil (-COOH) dan amina (biasanya -NH₂)
- Asam nukleat: makromolekul biokimia yang kompleks, berbobot molekul tinggi, dan tersusun atas rantai nukleotida yang mengandung informasi genetik
- Ammonium sulfat: bahan tambahan berupa pupuk (ZA) yang mengandung unsur hara nitrogen, bersifat non higroskopis dan berbentuk kristal dengan rumus kimia (NH₄)₂SO₄
- Ammonum nitrat: bahan tambahan berupa pupuk yang mengandung unsur hara nitrogen bersifat higroskopis dan berbentuk kristal dengan rumus kimia NH₄NO₃
- Amoniak: senyawa hasil pembentukan dari asam amino dan air, dengan rumus kimia NH₃
- Ammonium: bentuk nitrogen di dalam tanah dengan rumus kimia NH₄⁺, hasil pembentukan dari senyawa amino
- Amonifikasi: pembentukan ammonium dari senyawa-senyawa amino oleh mikroorganisme

Antagonis: sifat yang berlawanan, dalam ilmu kimia digambarkan sebagai ion atau molekul yang menolak atau berlawanan dengan ion lainnya

Anion: ion yang bermuatan negatif

Alfisol: tanah mineral yang tidak mempunyai epipedon molik atau horizon spodik atau oksik, tetapi dapat mempunyai horizon natrik atau argilik yang kejenuhan basanya paling sedikit 35 %

Andisol: tanah yang umumnya berwarna hitam mempunyai epipedon mollik atau umbrik, banyak mengandung bahan amorf, lebih dari 60% terdiri dari abu volkan atau bahan piroklastik lain

Aridisol: tanah yang terdapat pada daerah iklim arid (sangat kering), mempunyai epipedon ochrik dan terkadang dengan horizon penciri lain

Asam fulfat: biasanya menyatakan campuran bahan organik tetap dalam larutan pengasaman suatu ekstrak tanah dengan larutan alkali

Asam humat: suatu campuran bahan organik yang susunannya bermacam-macam atau tidak menentu, yang mengendap dengan pengasaman hasil ekstraksi tanah dengan larutan alkali

Amelioran: suatu bahan yang dimasukkan dalam tanah sebagai bahan pembenah tanah, perbaikan sifat-sifat tanah

Bahan sulfirik adalah lapisan yang menunjukkan jerosite (lapisan coklat) atau proses oksidasi pirit dengan $\text{pH (H}_2\text{O)} < 3,5$

Bioaktivator: mikroorganisme yang berfungsi sebagai aktivator, atau pembangkit proses mikrobiologis pada tanah atau bahan organik

Biodekomposer : mikroorganisme yang berfungsi sebagai pendekomposer, atau perombak bahan organik

Biofertilizer: pupuk hayati, atau penambahan mikroorganisme menguntungkan ke dalam tanah sebagai pupuk

Bahan organik: sisa tanaman atau hewan yang telah mati dan mengalami dekomposisi menghasilkan hara yang dibutuhkan tanaman.

Besi (Fe) : merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIII B dengan nomor atom 26 dan mempunyai berat atom 55

Boron (B) : merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan III A dengan nomor atom 5 dan mempunyai berat atom

11

- Biosolid: padatan bahan organik dari proses pengolahan limbah dan digunakan terutama sebagai pupuk biasanya digunakan dalam bentuk jamak
- Biotin: (atau vitamin B₇) vitamin larut air yang juga dikenal dengan vitamin H. Vitamin ini memiliki peranan yang sangat besar dalam reaksi biokimia di dalam tubuh, seperti dalam transfer karbon dioksida dan metabolisme karbohidrat dan lemak.
- Basa: suatu kondisi dimana konsentrasi ion OH⁻ terdapat berlebihan, jika dinyatakan dengan kemasaman ber pH di atas 7
- Disfusi: pergerakan unsur hara yang terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi unsur hara
- DNA:(*deoxyribonucleic acid*), adalah sejenis asam nukleat yang tergolong biomolekul utama penyusun berat kering setiap organisme. DNA menyimpan cetak biru bagi segala aktivitas sel. Ini berlaku umum bagi setiap organisme
- DS : (Double superphosphate) bahan tambahan berupa pupuk yang mengandung unsur hara fosfor 36-38%, bersifat higroskopis dan berbentuk bubuk kasar dengan rumus kimia Ca(H₂PO₄)₂
- Dolomit: merupakan salah satu bentuk kapur pertanian yang berfungsi menaikkan kemasaman tanah dan menyumbangkan unsur hara Ca dan Mg, dengan rumus kimia CaMg(CO₃)₂
- DHL (Daya Hantar Listrik) : tahanan listrik antara elektrode-elektrode paralel di dalam tanah atau larutan dan diukur dengan alat EC meter atau mikrosaisme
- ESP: perbandingan antara daya pertukaran natrium (meq/100g tanah) dengan kemampuan pertukaran kation (meq/100g tanah) dan dinyatakan dalam persentase (%)
- Erosi tanah: hilangnya partikel tanah akibat aliran limpas (di daerah tropika basah) dan membawa sejumlah unsur hara yang dipindahkan ketempat yang lebih rendah.
- Eutrofikasi: merupakan masalah lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah fosfat (PO₃), khususnya dalam ekosistem air tawar. Definisi dasarnya adalah pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan ke dalam ekosistem air
- Enzim: biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia organik
- Entisol: tanah yang tidak mempunyai horizon genetik alam atau hanya permukaannya yang seperti horizon-horizon

- Epipedon: suatu horizon permukaan yang diagnostik, termasuk bagian atas tanahnya yang berwarna kelam oleh bahan organik atau horizon eluvial yang lebih atas
- Epipedon histik: horizon dekat permukaan, jenuh dengan air pada beberapa musim dan berisi bahan organik minimum 20 % bila tidak mengandung lempung dan paling sedikit mengandung 30 % bahan organik jika kadar lempungnya 50 % atau lebih
- Fotosintesis: proses tumbuhan yang membuat makanan sendiri dengan menggunakan air, karbondioksida dan energi cahaya matahari
- Fosfor (P): merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak dalam bentuk fosfat tersedia. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VA dengan nomor atom 15 dan mempunyai berat atom 31
- Gambut: bahan tanah yang tidak tahan lapuk, terdiri dari bahan organik yang sebagian besar belum terdekomposisi atau sedikit terdekomposisi yang terakumulasi pada keadaan kelembaban yang berlebihan
- Gula: suatu karbohidrat sederhana yang menjadi sumber energi dan komoditi perdagangan utama. Gula paling banyak diperdagangkan dalam bentuk kristal sukrosa padat. Gula digunakan untuk mengubah rasa menjadi manis
- Gulma : tumbuhan yang kehadirannya tidak diinginkan pada lahan pertanian karena menurunkan hasil yang bisa dicapai oleh tanaman produksi
- Hidrogen: ion yang bermuatan positif dan bervalensi 1. Di dalam tanah banyaknya konsentrasi ion ini menunjukkan kemasaman tanah
- Histosol: tanah yang dicirikan dengan tingginya bahan organik, dengan epipedon histik yang tebalnya 40 cm atau lebih
- Horison spodik: horizon iluviasi (timbunan) seskuioksida bebas dan bahan organik
- Humus: fraksi stabil dari bahan organik tanah, yang tetap ada setelah bagian terbesar dari sisa tumbuhan dan hewan yang terdekomposisi
- Humifikasi: proses yang terjadi di dalam dekomposisi bahan organik, menuju pembentukan humus
- Hemiselulosa: polisakarida yang mengisi ruang antara serat-serat selulosa dalam dinding sel tumbuhan. Secara biokimiawi, hemiselulosa adalah semua polisakarida yang dapat diekstraksi dalam larutan basa (alkalis).

- Insek: kelompok utama dari hewan beruas (Arthropoda) yang bertungkai enam (tiga pasang), mempunyai tingkat adaptasi yang sangat tinggi
- Intersepsi: gerakan akar tanaman yang memperpendek jarak dengan keberadaan unsur hara
- Inti sel (nukleus): organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Organel ini mengandung sebagian besar materi genetik sel dengan bentuk molekul DNA linier panjang yang membentuk kromosom bersama dengan beragam jenis protein.
- Input produksi: masukan yang diperlukan tanaman untuk memproduksi.
- Inceptisol: tanah dengan satu atau lebih horison diagnostik yang disebutkan sebagai tanah yang terbentuk dengan cepat dan tidak menunjukkan adanya iluviasi dan eluviasi yang nyata atau pelapukan lebih lanjut
- Jerapan tanah: kerumunan kation yang tertarik pada partikel-partikel koloid yang bermuatan negatif (anion) pada koloid tanah
- Jaringan: sekumpulan sel yang memiliki bentuk dan fungsi yang sama. Jaringan-jaringan yang berbeda dapat bekerja sama untuk suatu fungsi fisiologi yang sama membentuk organ.
- Kesuburan tanah: kemampuan suatu tanah sebagai media tanaman dalam menyediakan hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman.
- Kesuburan kimia: usaha untuk menyuburkan tanah dengan cara memperbaiki sifat-sifat kimia tanah misalnya pemberian kapur untuk menaikkan pH, pemberian pupuk Urea, KCl, TSP dll untuk menambah unsur hara, dll
- Kesuburan biologi: usaha untuk menyuburkan tanah dengan cara memperbaiki kondisi biologi tanah misalnya pemberian bahan organik untuk memberi makanan jasad hidup tanah.
- Kesuburan fisika: usaha untuk menyuburkan tanah dengan cara memperbaiki sifat-sifat fisik tanah, misalnya pengolahan tanah untuk perbaikan aerasi tanah, struktur tanah, pemberian bahan organik untuk memperbaiki agregat tanah, kelembaban tanah, dll.
- Konsentrasi hara: jumlah hara (kepekatan) hara yang tersedia dalam larutan tanah.
- Kelaparan hara: suatu kondisi tanaman sudah memperlihatkan gejala-gejala pertumbuhan yang abnormal (tanaman kekurangan hara).
- Kesuburan tanah aktual: kesuburan tanah hakiki (asli, alamiah).

- Kesuburan tanah potensial: kesuburan tanah maksimum yang dapat dicapai dengan intervensi teknologi yang mengoptimalkan semua faktor.
- Klei : (Clay) Fraksi butir tanah yang terdiri dari butir yang lebih kecil dariada 0,002 mm garis tengah butirnya, atau butir tanah yang mempunyai kadar klei lebih dari 40% dan kadar pasir lebih kecil dari 45%, dan kadar debu lebih kecil daripada 40%.
- Kekahatan: kondisi dimana tanaman mengalami kekurangan unsur hara tertentu
- Karbon: salah satu unsur hara makro (C) yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak, terutama terkandung dalam bahan organik, dan merupaka unsur hara utama yang dimabil tanaman dari udara sebagai CO₂ melalui stomata daun
- Karbohidrat: polihidroksil-aldehida atau polihidroksil-ke-ton, atau senyawa yang menghasilkan senyawa-senyawa ini bila dihidrolisis. Karbohidrat mengandung gugus fungsi karbonil (sebagai aldehida atau keton) dan banyak gugus hidroksil.
- Kalsium (Ca): merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IIA dengan nomor atom 20 dan mempunyai berat atom 40
- Kalium (K) : merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IA dengan nomor atom 19 dan mempunyai berat atom 39
- Klor (Cl) : merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIIA dengan nomor atom 17 dan mempunyai berat atom 35
- Kobalt (Co) : merupakan unsur hara mikro yang sekali-sekali diperlukan tanaman pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIIIB dengan nomor atom 27 dan mempunyai berat atom 59
- Konsentrasi hara: perbandingan hara tertentu dalam satuan tertentu, seperti g/kg atau mg/g
- Koloid klei: bahan anorganik/mineral dengan ukuran butir yang sangat kecil dan menyebabkan luas bidang permukaannya besar untuk setiap satuan massa, tersusun oleh Al, Si dan O
- Koloid organik: bahan organik (humus) dengan ukuran butir yang sangat kecil dan menyebabkan luas bidang permukaannya besar untuk setiap satuan massa, tersusun oleh C, H dan O

Klorofil: zat hijau daun, atau pigmen hijau yang menangkap energy cahaya matahari

Klorosis: keadaan tanaman yang tidak adanya perkembangan klorofil (zat warna hijau daun), berkisar antara hijau muda, kuning sampai hamper putih

Kapur : bahan tambahan yang mengandung unsur hara Ca, dan berfungsi menaikkan kemasaman tanah

Kompos: bahan organik yang dibusukkan melalui proses dekomposisi, digunakan sebagai bahan tambahan sebagai pupuk organik

KTK: banyaknya kation dalam miliekivalen yang dapat diserap oleh tanah per satuan berat tanah

Kation: ion yang bermuatan positif

Kerdil: gejala tanaman yang mengalami hambatan pertumbuhan vegetatif, diakibatkan difisiensi unsur hara

Khelasi: tersusunnya dengan kuat senyawa kimia yang mempunyai ion logam pada molekul oleh ikatan kimia rangkap

Kemasaman tanah: aktivitas ion hydrogen (H^+) dan ditandai dengan nilai pH tanah

Karst: sebuah bentuk permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (*closed depression*), drainase permukaan, dan gua. Daerah ini dibentuk terutama oleh pelarutan batuan, kebanyakan batu gamping.

Lahan Salin adalah tanah yang menerima pengaruh air asin garam

Lapisan pirit adalah lapisan sulfida dengan kadar pirit > 2 persen

Lum: (loam) nama kelas tekstur tanah yang mempunyai jumlah pasir, debu dan lempung 28 – 59% debu dan kurang dari 52% pasir

Lema: istilah dalam morfologi tumbuhan yang digunakan dalam botani untuk bagian yang menyerupai sekam kelopak pada Poaceae. Lemma merupakan bagian yang lebih bawah dari sekam dan daun pelindung pada floret. Lemma berupa bagian dari satuan bunga yang menyusun bunga majemuk, bagian ini berurat lima dan keras yang sebagian menutup palea

Leguminosa: tanaman kacangangan yang bermanfaat sebagai penutup tanah dan sumber nitrogen tanah.

Logam amfoter: logam yang dapat larut dalam kondisi asam dan basa.

Lahan marjinal: lahan yang memiliki mutu rendah karena memiliki beberapa faktor pembatas jika digunakan untuk suatu keperluan tertentu. Di Indonesia lahan marginal dijumpai baik pada lahan basah maupun pada lahan kering. Lahan basah berupa gambut,

lahan sulfat masam dan rawa pasang surut, sementara lahan kering berupa tanah Ultisol dan Oxisol

Mineral hara: bahan yang menghasilkan hara-hara yang dibutuhkan tanaman.

Masam: kondisi tanah dimana pH tanahnya di bawah 6.

Magnesium (Mg) : merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IIA dengan nomor atom 12 dan mempunyai berat atom 24

Mangan (Mn): merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIIB dengan nomor atom 25 dan mempunyai berat atom 55

Molibdenum (Mo): merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIB dengan nomor atom 42 dan mempunyai berat atom 96

Metabolisme: Mekanisme perubahan unsur hara menjadi senyawa organik atau energi atau semua reaksi kimia yang terjadi di dalam organisme, termasuk yang terjadi di tingkat selular.

Mineral primer: mineral yg belum mengalami perubahan kimia sejak pengendapan dan kristalisasinya dari lava cair

Mineral sekunder: Mineral yg dihasilkan dari dekomposisi mineral primer

Mineralisasi : perubahan unsur dari bentuk organik ke bentuk anorganik akibat proses dekomposisi oleh mikroba

Mollisol: tanah yang dicirikan dengan horizon mineral permukaan yang gelap dan tebal, jenuh dengan kation-kation bivalen yang dominan dan mempunyai struktur sedang sampai keras

Makroagregat (butir sekunder): agregat yang terbentuk dari butiran primer (mikro agregat tanah) akibat sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik dan lendir yang diproduksi oleh hifa-hifa eksternal

Mikroagregat (butir primer): agregat terkecil dari tanah yang terbentuk secara primer tanpa sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik dan lendir yang diproduksi oleh hifa-hifa eksternal

Nekrotik: sel yang mati sebelum waktunya

Nikel (Ni) : merupakan unsur hara pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIIIB dengan nomor atom 28 dan mempunyai berat atom 59

- Nutrisi tanaman: unsur hara yang terkandung di dalam tanah atau pupuk dan dibutuhkan oleh tanaman untuk mensukseskan daur hidupnya
- Nitrogen (N): merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak dalam bentuk ammonium dan nitrat.
- Nekrosis: kematian organ atau seluruh tanaman akibat adanya dehidrasi ataupun kekurangan hara dan ditandai dengan perubahan warna
- Nitrifikasi: perubahan senyawa ammonium menjadi nitrit, kemudian menjadi nitrat
- Nitritasi: perubahan senyawa ammonium (NH_4^+) menjadi nitrit (NO_2^-)
- Nitratasi: perubahan senyawa nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-)
- Nitrosomas: bakteri yang membantu pembentukan nitrit dari amonium
- Nitrobakter: bakteri yang membantu pembentukan nitrat dari nitrit
- Nisbah C/P: perbandingan berat karbon organik (C) dengan total berat fosfor (P) dalam tanah atau bahan organik
- Nisbah C/S: perbandingan berat karbon organik (C) dengan total berat sulfur (S) dalam tanah atau bahan organik
- Oksigen: merupakan unsur hara utama yang diambil tanaman dari udara sebagai CO_2 melalui stomata daun
- Oxisol: tanah di daerah tropik atau sub tropik dicirikan oleh horizon oksik, yang di dalamnya kebanyakan kombinasi silika telah berpindah karena pelapukan dengan meninggalkan oksida besi, aluminium dan beberapa kuarsa
- Organosol: tanah organik (gambut) yang ketebalannya lebih dari 50 cm
- Organisme tanah: dikhususkan pada organism/mikroorganisme penghuni tanah, yang berhubungan dengan pertanian atau kesuburan tanah ataupun pertumbuhan tanaman
- Permeabilitas: (permeabilitas tanah) mudah tidaknya gas, atau cairan atau akar tanaman menembus atau melalui sebarang tanah atau lapisan tanah
- Podsolik merah kuning: tanah dengan horizon penimbunan liat (argilik) dan kejenuhan basa kurang dari 50%, dicirikan dengan warna tanah merah kekuningan, mempunyai kandungan P yang rendah
- Podsolisasi: proses pembentukan tanah yang menghasilkan genesis tanah podsol atau podsolik
- Profil tanah: irisan vertikal tanah atau penampang melintang dari tanah beserta semua horizonnya sampai bahan induknya

- Pupuk organik: pupuk yang dibuat dari bahan-bahan organik atau dari sumberdaya lokal yang digunakan untuk menyuburkan tanah (misal kompos, pupuk kandang dan pupuk hijau).
- Pupuk anorganik: pupuk yang dibuat dari bahan-bahan non organik (bahan kimia) yang digunakan sebagai sumber hara untuk tanaman (misal pupuk Urea, KCl, TSP dan lain sebagainya).
- Pupuk cair: bahan nutrisi unsur hara bagi tanah dan tanaman yang ditambahkan dalam bentuk cair
- Protein: beberapa senyawa yang berisi nitrogen yang menghasilkan asam amino pada hidrolisanya dan mempunyai berat molekul yang besar, merupakan bagian utama bahan hidup dan merupakan salah satu bahan makanan utama hewan
- Pemiskinan hara: aktifitas yang menyebabkan jumlah hara berkurang terus tanpa usaha penambahan hara dari luar agroekosistem.
- Penambangan hara: aktifitas yang mengambil hara secara terus menerus tanpa mengembalikan hara dalam tanah.
- Pengasaman tanah: aktifitas yang menyebabkan pH tanah menurun atau kemasaman tanah meningkat
- Pupuk buatan: pupuk yang dibuat di pabrik dengan bahan dasar dari bahan-bahan anorganik.
- Pupuk kandang: pupuk yang dihasilkan dari hewan ternak dan merupakan pupuk organik.
- Pupuk hijau: pupuk yang dihasilkan dari biomassa tanaman hijau dan umumnya merupakan tanaman leguminosa.
- Pupuk: bahan yang dapat menyuburkan tanah dan diperkukan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya serta produksi.
- Pemupukan: usaha untuk menyuburkan tanah dengan memasukan sejumlah hara yang diperlukan tanaman.
- Pencemaran: masuknya atau dimasukannya suatu zat yang menyebabkan berubahnya suatu keadaan yang melebihi ambang batas.
- Pertanian intensif: pertanian yang dilakukan dengan input produksi yang secara teratur dan terus menerus.
- Pertanian tradisional: pertanian yang dilakukan secara sederhana dengan masukan input produksi yang berada di sekitarnya dan dikelola tanpa melalui analisis tanah dan tanaman.
- Pertanian modern: pertanian yang dilakukan secara mekanis dan bahan-bahan input produksi yang dikendalikan.
- Pupuk fosfat: pupuk yang unsur hara utamanya adalah fosfat atau pupuk yang bahan baku utamanya adalah fosfat.

- Pertanian intensif: pertanian yang dilakukan dengan input produksi yang secara teratur dan terus menerus.
- Pertanian tradisional: pertanian yang dilakukan secara sederhana dengan masukan input produksi yang berada di sekitarnya dan dikelola tanpa melalui analisis tanah dan tanaman.
- Pertanian modern: pertanian yang dilakukan secara mekanis dan bahan-bahan input produksi yang dikendalikan.
- Penyematan biologis: penyematan atau fiksasi yang dilakukan oleh mikroorganisme seperti kelompok organisme yang mampu mereduksi nitrogen dan karbon dalam kondisi dengan oksigen (aerob) maupun tanpa oksigen (anaerob). Mereka melakukannya dengan mengoksidasi belerang (sulfur) sebagai pengganti oksigen. Penyematan nitrogen dilakukan dalam bentuk heterosista, sementara penyematan karbon dilakukan dalam bentuk sel fotosintetik, menggunakan pigmen klorofil (seperti tumbuhan hijau) maupun fikosianin (khas kelompok bakteri ini)
- Pupuk fosfat: pupuk yang unsur hara utamanya adalah fosfat atau pupuk yang bahan baku utamanya adalah fosfat.
- Pupuk kandang : pupuk yang berasal dari hasil sisa hewan ternak berupa kotoran hewan dan kotoran kandang
- Polyanion: : ion bermuatan negatif, yang menangkap satu atau lebih elektron
- Pelindian : gerakan bahan tanah yang tersuspensi (terlarut) dari lapisan satu ke lapisan lain di dalam tanah
- Penyerbukan: proses bertemunya serbuk sari dan kepala putik pada spesies yang sama, yang mana serbuk sari dibawa oleh serangga, binatang atau angin
- Pirit : merupakan hasil endapan marin, terbentuk melalui serangkaian proses kimia, geokimia dan biokimia secara bertahap, terbentuk menjadi persenyawaan antara sulfat dan besi
- Penyiapan kering (dry digestion) : salah satu metode menyiapkan bahan tanah yang akan dianalisis secara kering, biasanya dilakukan untuk menganalisis total hara dalam tanah
- Penyiapan basah (wet digestion) : tahapan setelah dry digestion (penyiapan kering) melalui pengabuan dalam tanur (muffle furnace) pada suhu mendekati 1000 derajat celsius dengan ekstrak-ekstrak spesifik tergantung jenis hara yang akan ditentukan:
- Percobaan rumah kaca: percobaan yang dilakukan di rumah kaca (green house) dengan menggunakan berbagai jenis tanah yang dimasukkan dalam pot ditanami dengan tanaman yang digunakan

sebagai indikator. Percobaan rumah kaca ini dapat untuk menentukan dua kegiatan yaitu untuk melihat gejala-gejala tanaman yang kahat unsur hara atau dikenal dengan percobaan missing element atau untuk menyembuhkan tanah yang diduga kahat dengan pemberian jenis hara tertentu melalui pupuk

Percobaan lapang: merupakan kelanjutan dari percobaan rumah kaca, yang dilakukan di lapangan untuk mengevaluasi kesuburan tanah disuatu tempat dengan menanam suatu jenis tanaman yang diperlakukan dengan dosis pupuk tertentu untuk mendapatkan dosis yang tepat dan spesifik lokasi. Uji lapangan perlu dilakukan di berbagai tempat, ulangan dan waktu berdasarkan agroekosistem

Pati: (amilum) karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang

Patogen: agen biologis yang menyebabkan penyakit pada inangnya. Sebutan lain dari patogen adalah mikroorganisme parasit. Umumnya istilah ini diberikan untuk agen yang mengacaukan fisiologi normal hewan atau tumbuhan multiselulr

Rawa: kawasan sepanjang pantai, aliran sungai, danau atau lebak yang menjorok masuk ke pedalaman hingga sekitar 100 km atau sejauh dirasakannya pengaruh gerakan pasang

Rawa pasang surut: bagian dari tipologi lahan rawa, yang dipengaruhi pasang surut air laut, terdiri dari beberapa tipe luapan

RNA: (*ribonucleic acid*) adalah satu dari tiga makro molekul utama (bersama dengan DNA dan protein) yang berperan penting dalam segala bentuk kehidupan. Asam ribonukleat berperan sebagai pembawa bahan genetik dan memainkan peran utama dalam ekspresi genetik

Rizosfer: Zone dalam tanah dimana mikroorganisme dan akar tanaman hidup secara efektif berinteraksi

Rhizobium: bakteri yang secara simbiotik mampu menangkap nitrogen dari udara

Reduksi: merupakan penambahan electron oleh sebuah molekul, atom atau ion

Struktur tanah: bagian sifat fisik tanah yang menunjukkan hubungan antar agregat tanah.

Senyawa organik: adalah golongan besar senyawa kimia yang molekulnya mengandung karbon, kecuali karbida, karbonat, dan oksida karbon.

Senyawa anorganik : didefinisikan sebagai senyawa pada alam (di tabel periodik) yang pada umumnya menyusun material/benda tak hidup

Sulfur (S): merupakan unsur hara makro yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan VIA dengan nomor atom 16 dan mempunyai berat atom 32.

Sulfat masam: tanah-tanah yang berada pada lahan pasang surut yang memiliki horison sulfurik

Sulfat masam aktual : tanah-tanah yang mengandung pirit yang telah teroksidasi yang mempunyai pH sangat rendah (atau disebut juga tanah sulfat masam teroksidasi)

Sulfat masam potensial : tanah-tanah yang mengandung pirit tetapi piritnya masih stabil belum mengalami oksidasi (atau disebut tanah sulfat masam tereduksi)

Seng (Zn) : merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IIB dengan nomor atom 30 dan mempunyai berat atom 65

Seresah: tumpukan dedaunan kering, rerantingan, dan berbagai sisa vegetasi lainnya di atas lantai hutan atau kebun. Seresah yang telah membusuk (mengalami dekomposisi) berubah menjadi humus (bunga tanah), dan akhirnya menjadi tanah

Selulosa: komponen struktural utama dinding sel dari tanaman hijau, merupakan senyawa organik dengan rumus $(C_6H_{10}O_5)_n$, sebuah polisakarida yang terdiri dari rantai linier dari beberapa ratus hingga lebih dari sepuluh ribu ikatan $\beta(1\rightarrow4)$ unit D-glukosa

Silikon (Si) : merupakan unsur hara mikro yang sekali-sekali diperlukan tanaman pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IVA dengan nomor atom 14 dan mempunyai berat atom 28

SP 36 : bahan tambahan berupa pupuk yang mengandung unsur hara fosfor 36%

Spodosol: tanah yang dicirikan dengan adanya horizon spodik, tempat pengendapan bahan organik aktif dan oksida Al dan Fe yang amorphous

Solum tanah: bagian profil tanah yang paling atas dan paling banyak melapuk, horizon A dan B

Salinisasi: proses akumulasi garam di dalam tanah

Tanaman hortikultura: cabang dari agronomi. Berbeda dengan agronomi, hortikultura memfokuskan pada budidaya tanaman buah (pomologi/frutikultur), tanaman bunga (florikultura), tanaman sayuran (olerikultura), tanaman obat-obatan (biofarmaka), dan taman (lansekap)

Tanaman padi: merupakan bagian dari tanaman pangan. merupakan salah satu tanaman budidaya terpenting dalam peradaban. Meskipun terutama mengacu pada jenis tanaman budidaya, padi juga digunakan untuk mengacu pada beberapa jenis dari marga (genus) yang sama, yang biasa disebut sebagai padi liar. Padi diduga berasal dari India atau Indocina dan masuk ke Indonesia dibawa oleh nenek moyang yang migrasi dari daratan Asia sekitar 1500 SM. Produksi padi dunia menempati urutan ketiga dari semua serealia, setelah jagung dan gandum. Namun demikian, padi merupakan sumber karbohidrat utama bagi mayoritas penduduk dunia.

Tanaman kerdil: tanaman yang mengalami pertumbuhan terhambat, yang diakibatkan oleh defisiensi unsur hara

Tembaga (Cu): merupakan unsur hara mikro yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Pada tabel periodik unsur kimia termasuk golongan IB dengan nomor atom 29 dan mempunyai berat atom 65

Tanah (edafologi): merupakan salah satu komponen sistem produksi tanaman yang sangat penting untuk diperhatikan dan tanah sebagai sumberdaya lahan utama untuk produksi pangan.

Tanah pasir: tanah yang didominasi fraksi pasir berdiameter 0,05 – 2,0 mm

Tanah pertanian: tanah yang dikelola untuk usaha pertanian dengan tindakan budidaya pertanian

Tanah salin : tanah bergaram, yang mengalami proses akumulasi garam di dalam tanah. Tanah tidak bernatrium mempunyai garam mudah larut cukup mengurangi produktivitasnya

Tanah sawah: tanah yang digunakan untuk budidaya padi sawah, mempunyai kemampuan menahan air yang rendah dan kandungan lempung yang tinggi, karena budidaya padi sawah membutuhkan genangan

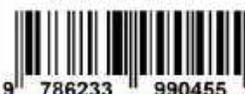
- Tanah kapuran: (Calcareous soil) Tanah yang berisi kalsium karbonat cukup (sering juga dengan magnesium karbonat), kelihatan memercik bila ditetesi asam khlorida dingin 0,1 N
- Tanah masam: Tanah yang diperkaya oleh ion hydrogen dan alumunium sebagai bagian dari ion hidroksil, mempunyai pH kurang dari 7
- Tanah mineral masam: tanah yang kadar bahan organiknya kurang dari 20% di seluruh solum dan didominasi mineral asam dengan pH kurang dari 7
- Tanah organik masam: tanah yang kadar bahan organiknya lebih dari 20% di seluruh solum dan mempunyai pH kurang dari 7
- Tanah basa: tanah yang mempunyai pH lebih dari 7
- Tanah salin: (tanah bergaram) tanah yang mempunyai kandungan garam mudah larut cukup tinggi
- Tanah alkalin: tanah yang mempunyai pH lebih dari 7,3, rendah bahan organik, tidak ada diferensiasi horison, struktur tidak berkembang baik, banyak mengandung NaCl, Na₂SO₄, Ca, Mg dan K dan nitrat. Garam berasal dari bahan induk asal marin
- Tanah sodik: tanah yang mengandung natrium yang cukup untuk dapat menghambat pertumbuhan tanaman, dengan pertukaran natrium lebih dari 15%
- Thiamine: (vitamin B1), vitamin yang terlarut dalam air. Tiamina terdiri atas cincin pirimidina dan cincin thiazola (mengandung sulfur dan nitrogen) yang dihubungkan oleh jembatan metilen.
- Unsur-unsur beracun: unsur yang menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dan berkembang.
- Unsur hara: senyawa organik maupun anorganik yang terdapat di dalam tanah atau yang merupakan unsur pupuk yang diperlukan tanaman
- Unsur pupuk: senyawa organik maupun anorganik yang terdapat di dalam pupuk
- Unsur hara esensial: unsur hara yang fungsinya tidak dapat digantikan dengan unsur hara lain
- Unsur hara non esensial: unsur hara yang fungsinya dapat digantikan dengan unsur hara lain
- Udara: senyawa oksigen
- Unsur hara makro: unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak

- Unsur hara mikro: unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit
- Urea: bahan tambahan berupa pupuk yang mengandung unsur hara nitrogen 45%, bersifat higroskopis dan berbentuk kristal dengan rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- Ultisol: tanah di daerah humid, dicirikan oleh adanya horizon argilik yang mempunyai kejenuhan basa kurang dari 35 %, tidak mempunyai horizon spodik, oksik atau natrik
- Vulkanis (vulkanik): batuan beku yang terbentuk dari magma yang membeku, yang mempunyai bahan khas abu vulkan
- Vertisol: tanah yang mempunyai lempung mengembang yang tinggi dengan retakan lebar pada pengeringan akibat pengerutan, pemecahan dan gerakan massa tanah
- Vegetatif: dalam perkembangbiakan tanaman merupakan cara perkembangbiakan tanaman dengan menggunakan bagian-bagian tanaman batang, cabang, ranting, pucuk daun, umbi dan akar
- Vitamin : sekelompok senyawa organik berbobot molekul kecil yang memiliki fungsi vital dalam metabolisme setiap organisme, yang tidak dapat dihasilkan oleh tubuh.
- Xylem: merupakan jaringan vascular dari batang tanaman yang membawa air dan mineral dari dalam tanah menuju bagian tanaman

Biodata Singkat Penulis

DEDIK BUDIANTA, lahir di Kulon Progo, Yogyakarta 14 Juni 1963. Pendidikan sekolah dasar sampai perguruan tinggi diselesaikan di Yogyakarta. Alumni Jurusan Tanah UGM tamat 1988 (S1) dan 1992 (S2) yang semuanya menekuni bidang kimia dan kesuburan tanah. Semenjak kuliah S1 dan S2 mendapatkan beasiswa dari Pemerintah Indonesia (S1) dan Pemerintah Belgia (ABOS) untuk S2. Lulus tercepat diantara rekannya yang mendapatkan beasiswa dari Pemerintah Belgia, penulis melanjutkan program Doktor di Universitas Ghent Belgia juga mendapat beasiswa dari Pemerintah Belgia tamat 1999. Disertasi yang diambil adalah Reclamation of an Ultisol Using Mucuna and Lime. Tahun 2009, penulis mengikuti Program Recharging (PAR B) di University of South Australia di Mawson Lake, Adelaide. Pada tanggal 6-12 Agustus 2017 penulis mengikuti program visiting profesor di School of Agricultural Technology, Walailak University, Thailand dan pada 25-26 Oktober 2019, penulis mengikuti visiting pakar di Fakultas Pertanian dan Peternakan UIN Sultan Syarif Khasim Riau, Pekanbaru. Oleh karena pada saat mengikuti pendidikan jenjang S1 penulis mendapat Beasiswa dari Pemerintah Indonesia, maka penulis langsung ditempatkan sebagai Dosen di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya sejak tahun 1989 sampai sekarang. Selama mengabdikan sebagai dosen, penulis mendapat penghargaan Satya Lencana Karya Satya 10 Tahun dari Presiden Megawati Soekarno Putri dan 20 tahun dari Presiden Susilo Bambang Yudoyono. Semenjak 1 Desember 2007, Penulis mendapatkan jabatan fungsional Guru Besar dalam Bidang Pertanian dengan judul Pengukuhan "Pemanfaatan Sumberdaya Lokal Untuk Mendukung Sumatera Selatan Sebagai Lumbung Pangan ". Untuk menerapkan ilmu, penulis sejak tahun 2000 sampai sekarang banyak membantu perkebunan kelapa sawit maupun karet baik milik perkebunan asing maupun swasta nasional untuk melakukan studi evaluasi lahan maupun rekomendasi pemupukan. Penulis juga aktif menyampaikan gagasan ilmiahnya baik dalam seminar nasional maupun internasional. Selain itu penulis juga aktif menulis artikel di berbagai jurnal ilmiah terakreditasi maupun jurnal internasional bereputasi. Sampai sekarang penulis aktif mengajar baik di jenjang S1, S2 maupun S3 di bidang pertanian maupun ilmu-ilmu lingkungan Universitas Sriwijaya. Mata kuliah yang penulis ampu untuk bidang pertanian adalah Dasar-dasar Ilmu Tanah, Kimia Tanah, Analisis Tanah, Air dan Tanaman, Kesuburan Tanah, Teknologi Pupuk dan Pemupukan, Kualitas Tanah, Kimia Tanah Lanjut serta Pertanian Organik.

ISBN 978-623-399-045-5



9 786233 990455