Dr. Ir. NUNUNG SONDARI. MP

ILMU KESUBURAN DAN KESEHATAN TANAH

LPPM UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
2017

Katalog Nasional Dalam Terbitan (KDT)

Sondari MP, Nunung Dr.Ir
Ilmu Kesuburan dan Kesehatan Tanah

I.I. Ilmu Pertanian
II Judul

266 Halaman, 150 x 210 mm,Tabel, Daftar Pustaka
ISBN: 978-979-16030-8-4

Tata Letak: Suhendar

Ditebitkan oleh:
LPPM UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
Kampus Unwim Tanjungsari
Jawa Barat

KATA PENGANTAR

Membuat buku referensi bagi seorang tenaga pengajar atau dosen adalah suatu keharusan untuk mendukung kompetensinya serta terlaksananya proses pembelajaran yang baik di perguruan tinggi dalam menjalankan bagian dari Tri Darma perguruan tinggi. Selesainya buku ini tidak terlepas dari pengalaman-pengalaman interaksi antara mahasiswa, civitas akademika, pengalaman pengalaman di lapangan, di laboratorium, dll. Semoga karya tulis ini bermanfaat bagi mahasiswa, bagi semua yang memerlukan untuk sekarang dan masa yang akan datang.

Ucapan terimakasih kepada Rektor Unwim, dan civitas akademika, Perpustakaan Nasional, Prof.Sulya Djaka Sutami MSc, Prof. Aisyah D.Suyono, Prof.Mahfud Arifin,MS, yang telah banyak memberiklan Ilmu khususnya ilmu tanah kepada Penulis, Bapak Nasih Widya Yuwono, S.P,MP dan Ibu Lisnawita atas ilmu yang telah bapak dan ibu sebarkan melalui web site dengan ikhlas, yang begitu jernih dan luas dan mendukung terwujudnya buku ini.

Demikian pula penghargaan tertinggi pada suami tercinta Ir. Suhendar yang telah banyak membantu untuk terwujudnya karya tulis ini, juga anak-anakku tercinta Sinta Gea, Candra dan Adik terimakasih atas doanya yang selalu memberikan dorongan kuat untuk tercapainya pembuatan buku ini. Semoga kebaikan ibu dan bapak dibalas oleh Allah SWT dan melalui buku ini semoga memberikan manfaat ilmu bagi kita semua, aamiin.

Bandung, Maret 2017
Penyusun
D.Ir.Nunung Sondari, MP

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI..... ii
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR FOTO x

BAB I. PENDAHULUAN..... 1
1.1. Ruang Lingkup Ilmu Kesuburan Tanah..... 1
1.2. Gambaran Umum Degradasi Kesuburan Tanah di Indonesia Melalui Faktor-faktor yang dapat Menurunkan Tingkat Kesuburan Tanah..... 6

BAB II DINAMIKA UNSUR HARA MIKRO, MAKRO DAN BERFAEDAH DALAM TANAH DAN TANAMAN 37
2.1. Umum..... 37
2.2. Dinamika Unsur-unsur Hara Mikro Dalam Tanah dan Tanaman 42
2.3. Dinamika Unsur-unsur Hara Makro..... 53
2.4. Interaksi Unsur Hara dalam tanah dan tanaman.. 56
2.5. Unsur –unsur Hara berfaedah/bermanfaat..... 85

BAB III PENYERAPAN UNSUR HARA..... 97
3.1. Penyerapan (Absorpsi) Hara..... 97
3.2. Beberapa Konsep Pergerakan Unsur Hara / Mekanisme Kontak Unsur Hara ke Permukaan Akar 97
3.2.1. Mekanisme Penyerapan Hara..... 116
3.2.2. Faktor-faktor yang Berpengaruh 118

BAB IV PUPUK 121
4.1. Klasifikasi Pupuk 122
4.2. Hal-hal yang Perlu Diperhatikan dalam Memupuk 87

V. TANAH SEHAT DAN PENGELOLAANNYA 141
5.1. Tanah Sehat 141
5.2. Beberapa Usaha Pengelolaan Tanah Sehat 148
5.3. Penglolaan Tanah / Lahan Marjinal (Tanah Masam) Menjadi Sehat.... 166

BAB VI EVALUASI KESUBURAN TANAH 171
6.1. Analisis Tanah 171
6.1.1. Jenis Permintaan Analisis Tanah dan Alat yang digunakan..... 172
6.1.2. Analisis Tanah, Uji Korelasi dan Uji Kalibrasi 173
6.2. Analisis Tanaman 119
6.3. Penentuan Perkiraan Dosisi Pupuk berdasarkan Analisis Tanah 179
6.4. Menentukan Dosis Pupuk Berdasarkan Analisis Tanah Menentukan Dosis Pupuk Berada-sarkan Panduan PUSLITANAK 192
6.4.1. Menentukan dosis pupuk Organik 193
6.4.2. Rekomendasi Pemupukan Berdasarkan Analisis Tanah dan Tanaman di Daerah Asia Pasific 204

DAFTAR PUSTAKA 224

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Klasifikasi Sifat Kesuburan Dari Beberapa Tipe Tanah (Tisdale, et.al. 1990)	4
Tabel 1.2.	Jumlah Hara yang Terkandung dalam Hasil Hasil Tanaman	9
Tabel 1.3.	Bentuk Cu dan % Total Cu	18
Tabel 1.4.	Konsentrasi Maksimum Limbah Dalam Ta-Yang Diijinkan.....	19
Tabel 1.5.	Nilai Ambang Kritis Berbagai Logam berat Pada Tanaman dan Ternak	23
Tabel 2.1.	Fungsi unsur esensial pada tanaman menu-Epstein Epstein (1972) serta Mengel dan Kirkby (1982).	38
Tabel 2.2.	Gambaran umum gejala kekurangan unsur hara	39
Tabel 2.3.	Gambaran umum gejala keracunan unsur hara	41
Tabel 2.4.	Influence of Potassium (K) on diseases caused by bacteria	69
Tabel 2.5.	Influence of Potassium (K) on diseases caused by Fungi	70
Tabel 2.6.	Influence of Potassium (K) on diseases caused by Virus.	71
Tabel 2.7.	Influence of Potassium (K) on diseases caused by Nematod	71

Tabel 3..1. Hubungan kadar hara dalam larutan tanah dan jagung dengan nisbah transpirasi (Hanafiah, 2005)..... 104

Tabel 3.2. Parameter ukuran ion individual, di dalam satuan Angstrom untuk persamaan Debye Huckel bagi koefisien aktivitas ion tunggal..... 113

Tabel 4.1. Jumlah Unsur Hara yang Terdapat pada Be berapa Bagian Tanaman (Sanchez, 1976). 126

Tabel 4.2. Persyaratan teknis minimal pupuk anorganik padat dan cair SK mentan No 09/Kpts/TP. 260 /1/2003..... 136

Tabel 4.3. Persyaratan teknis minimal pupuk anorganik pupuk hara mikro 137

Tabel 4.4. Persyaratan teknis minimal pembenah tanah 138

Tabel 4.5. Kaptan / Kapur Pertanian Syarat mutu kapur pertanian menurut SNI 13-4704-1995..... 139

Tabel 4.6. Pupuk Kiserit Syarat mutu kiserit menurut SNI 02-2807-1992 139

Tabel 4.7. Pupuk Guano (Posfat alam) syarat mutu pupuk guano menurut SNI 02-2871-1992 .. 140

Tabel 4.8. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk organik Padat dan Cair..... 140

Tabel 5.1. Konsentrasi Unsur Hara dalam Jaringan Tanaman Semak di Kenya..... 167

Tabel 6.1. Kriteria Penilaian Sifat Kesuburan Kimia Ta-

nah (PPT, 1983. Hardjowigeno, 1995) 175
.
Tabel 6.2. Perbandingan Oksidasi Basah (wet oxidation) dengan Cara Pengabuan (dry ashing) 177

Tabel 6.3. Penilaian Sifat Kimia Tanah (Pusat Penelitian Tanah, 1983) 183

Tabel 6.4. Perkiraan Kebutuhan Pupuk P berdasarkan hasil analisa tanah 184

Tabel 6.5. Status Hara Cukup N pada Daun Indikator Berbagai Tanaman (%) 185
.
Tabel 6.6. Status Hara Cukup P pada Daun Indikator Berbagai Tanaman (%). 186

Tabel 6.7. Penilaian angka-angka hasil analisa tanah (PPT,1982).Pernah di Trubus, 1989 196

Tabel 6.8. Peraturan pemerintah Mentan No.01/Kpta /SR. 130/1/2006 Tahun 2006 197

Tabel 6.9. Dosis Pupuk N, P, K pada Tanaman Coklat Berdasarkan Analisis Tanah dan Tanaman 205

Tabel 6.10. Batas kecukupan hara pada berbagai tanaman 206

Tabel 6.11. Batas antara Kecukupan Unsur Hara Berdasarkan Data Analisis Tanaman (Sanchez, 1976) 207

Tabel 7.1. Susunan mineral fraksi pasir typic Kandaplu Ults 222

Tabel 7.2. Hasil Analisi Profil Tanah Tempat Percobaan 223

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ikatan Logam Berat di dalam Tanah	17
Gambar 1.2.	Mobilisasi M (ion logam) dalam tanah dengan khelat (Sumber : Mengel dan Kirk by, 1986)	26
Gambar 1.3.	Perbedaan khelat monodental dan khelat bidental (M=Ion logam = kation bervalensi satu atau 2, kemungkinan juga golongan logam-logam berat).	27
Gambar 1.4.	Reaksi khelat fospat	28
Gambar 1.5.	Diagram Alur bahan organik tanah dalam translokasi Ion logam dari bahan induk ke sistem biologi	29
Gambar 2.1.	Siklus Boron (B)	48
Gambar 2.2.	Siklus Nitrogen	59
Gambar 2.3.	Ketersediaan P dalam Tanah sangat Bergantung pada PH tanah	60
Gambar 2.4.	Gambaran dari 3 Frkasi P penting untuk Nutrisi Tanaman (Mengel dan Kirkby, 1987)....	60
Gambar 2.5.	P tersedia dan P teradosorpsi	60
Gambar 2.6.	Kedudukan ion K dalam Mineral liat tipe 2:1.....	67
Gambar 2.7.	Siklus Belerang (Sulfur).....	74

Gambar 2.8. Pengaruh kandungan ion Na+Mg++Ca++, nilai SAR dan WC tanah dapat menggumpal atau terdispersi 90

Gambar 2.9 Perubahan yang negatif pada permukaan partikel 95

Gambar 2.10 Hubungan antara masuknya ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yg menyebabkan Tanah menggumpal atau Na^{+} yang .masuk menyebabkan tanah terdispersi 96

Gambar 3.1. Skema pergerakan unsur hara ke permu kaan akar (*soil growth plant*) 100

Gambar 3.2. Pergerakan Ion Mendekati Akar Melalui Proses Aliran Massa 101

Gambar 3.3. Pergerakan Ion Mendekati Akar Melalui Difusi.... 103

Gambar 3.4. Ketergantungan Suplai Sunsur hara (Hanafiah, 2005) 105

Gambar 3.5. Pergerakan Unsur-unsur Hara mendekati Akar Secara Intersepsi, Mass flow (Aliran massa), dan Diffusi 106

Gambar 3.6. Pergerakan ion dan Pertukaran kontak ion dengan epidermis akar 106

Gambar 3.7. Hubungan antara kuantitas (q), Intensitas (I), dan kapasitas buffer (b) 109

Gambar 3.8. Pengaruh mineral-mineral tanah terhadap kelarutan dan ketersediaan unsur-

unsur hara untuk tanaman..... 111

Gambar 3.9. Hubungan antara kecepatan penyerapan suatu ion dengnn aktivitasnya dalam larutan. 114

Gambar 3.10. Hubungan penyerapan P dengan konsentrasi Fosfor dalam larutan tanah.... 115

Gambar 3.11. Hubungan penyerapan P dengan konsentrasi P dalam larutan tanah di dalam 30 hari. 116

Gambar 4.1. Klasifikasi Pupuk 123

Gambar 4.2. Sifat- Sifat Umum Pupuk Buatan 124

Gambar 4.3. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan da Lam Pemupukan 125

Gambar 4.4. Cara –cara penempatan pupuk 90

Gambar 4.5. Grafik hubungan antara N dan pH tanah 92

Gambar 5.1. Perkembangan Tanah Yang mendukung Tanah Subur dan Sehat. 143

Gambar 5.2. Beberapa Cara Usaha Pengelolaan Tanah Menjadi Sehat 147

Gambar 5.3. Alur Pengambilan Keputusan pengelolaan bahan organik pada sistem pertanian 154

Gambar 5.4 Skema 10 Prinsip Pengelolaan Tanah Marjinal 167

Gambar 6.1. Kunci Diagnosa Kekurangan Hara pada

Tanaman Cengkeh (1) 181

Gambar 6.2. Kunci Diagnosa Kekurangan Hara pada Tanaman Cengkeh (2) 182

Gambar 7.1. Pemberian 10 ton ha-1 Fly Ash per tahun dapat meningkatkan pertumbuhan dan ha sil tanaman kubis dan padi di India..... 144

Gambar 7.2. Grafik Hasil Peneltian X Ray pada Tanah Ultisol 155

Gambar 7.3. *Road Map* Kajian Limbah Batubara jadi Pupuk Organik Padat 162

DAFTAR FOTO

Foto 1. Ordo Tanah Ultisols menduduki tanah terluas ke–2 di Indonesia (42.330.000 ha = 22,1%) dari luas wilayah daratan (191.873.000 ha) (Puslittanak, 1992). 6

Foto 2. Ordo Tanah Ultisols tingkat produktivitas rendah (kesuburan tanah rendah) akan tetapi pa da tanah itu terpaku komoditas unggulan yang komersil seperti duren, manggis, cempe dak (Komunikasi Pribadi, 2005..... 6

Foto 3. Ordo tanah Andisols di Cisarua Lembang (Komunikasi Pribadi, 2005) 6

Foto 4. Membuka lahan pertanian Di Daerah Loa Duri, kabupaten Kutai Kertanegara Kalimantan Timur (Nunung Sondari dan Suhendar, 2008). 30

Foto 5. Lahan marjinal sebagai alternatif lahan pertanian (Kampung Kentrong, komunikasi pribadi, Th 2005) 30

Foto 6. Lahan Gundul Akibat Penebangan yang Tidak Berpola, dimanfaatkan Menjadi Lahan Pertanian Lada / Sahang di Kabupaten Kutai Kertanegara, Propinsi Kalimantan Timur (Foto pribadi, 2008). 31

Foto 7. Pematokan lahan Oleh Sekelompok Masyarakat Tanpa Pengendalian dari Instansi Terkait. (Nunung Sondari dan Suhendar , 2008). 31

Foto 8. Tanah Ordo Ultisols di Kalimantan Timur, Tampak Kayu Hasil Pembalakan Liar (Illegal Logging) berupa Kayu Ulin (Suhendar dan Nunung Sondari, 2007). 31

Foto 9. Lahan pesawahan yang kekeringan akibat drainase dan ketersediaan air di daerah yang lebih tinggi habis karena penggundulan (foto pribadi, 2006). 32

Foto 10. Rona Awal Pasca Tambang Pasir Trass Sebelum di Reklamasi 33

Foto 11. Hasil Kegiatan Reklamasi Lahan Melalui Penanaman Tanaman Pangan dan tanaman tahun--an disertai de-ngan masukan Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik ditambah dengan Zeolit (Foto Pribadi) 34

Foto 12. Penulis Di Lahan Rona Awal Pasca Penutup-An Tambang Pasir Besi 36

Foto13. Penulis dengan Tanaman Kacang hijau pada lokasi pasca penambangan Pasir besi di Cila cap..... 36
.
Foto 14. Tanaman Kacang tanah dan Labu yang Tum buh baik di atas Pasca Tambang Pasir Besi di Cilacap (foto pribadi) 36

Foto 15. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Fe (4 Gb bawah sumber: Nasih Widya,2003)... 44

Foto 16 Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Mn (4 Foto dari kiri)..... 46

Foto 17. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Bo-ron (Sumber: Nasih Widya, 2003) 47

Foto 18. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Zn. 49

Foto 19. Tanaman yang Kekurangan Cu (Sumber: Nasih Widya,2003)..... 52

Foto 20. Tanaman Tomat yang Kekurangan Unsur Ha ra N (Koleksi Pribadi) 55

Foto 21. Tanaman Padi Sawah Yang Kekurangan N.. 39

Foto 22. Tanaman Tomat Kahat P(Koleksi Pribadi) 63

Foto 23. Anakan Tanaman Padi berkurang pada tana man kahat P, Foto Doberman & Fairhust (2000) 63

Foto 24. Tanaman Tomat yang Kekurangan Unsur ha ra K. 68

Foto 25. Defesiensi hara Mg pada tanaman Tomat. Ko leksi pribadi) 72

Foto 26. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Cl (Nasih Widya,1990) 86

Foto 27.. Pengambilan Sampel Tanah dan Pendeskripsiannya 214

I.PENDAHULUAN

1.1. Ruang Lingkup Ilmu Kesuburan Tanah

Jika kita menyimak uraian dari QS Al A'raf ayat 58 yang artinya "**Dari tanah yang baik keluarlah daripadanya tanaman yang subur dengan seizin Tuhannya. Tetapi dari tanah yang buruk hanya keluar tanaman yang merana daripadanya. Demikianlah kami menjelaskan tanda-tanda (kebesaran Kami) kepada kaum yang bersyukur**". Jelas sekali makna yang tersirat dalam ayat tersebut bahwa Tuhan (Allah SWT) menciptakan tanah yang subur bagi manusia di muka bumi ini untuk dikelola sebaik-baiknya. Bahwa dari tanah yang subur, dalam hal ini tidak ada faktor pembatas maka akan nampak pertumbuhan tanaman yang cukup subur. Sebaliknya dari tanah yang tidak subur dalam arti kata banyak sekali faktor-faktor pembatas, maka pertumbuhan tanaman akan merana sehingga hasil tanaman menjadi rendah.

Pernyataan di atas membuktikan bahwa kita harus tetap menjaga kelestarian tanah yang subur atau kita harus memperbaiki tanah-tanah yang rusak menjadi subur. Jika kita tinjau pengertian mengenai **Ilmu Kesuburan Tanah** adalah

suatu ilmu yang mempelajari tentang kapasitas kesanggupan tanah untuk menyediakan unsur-unsur hara (nutrisi) bagi tanaman dalam jumlah yang tepat (optimal), sehingga memberikan hasil yang maksimal. Pengertian yang lebih luas lagi, **Ilmu Kesuburan Tanah** diartikan ilmu yang mempelajari sebagai suatu keadaan tanah dengan udara, tata air, dan unsur hara dalam keadaan cukup, seimbang dan tersedia sesuai dengan tuntutan tanaman. Definisi tersebut mengandung makna bahwa tanah bukanlah suatu benda alam yang pasif, tetapi suatu benda alam yang dinamis dan kompleks, di dalamnya terjadi proses-proses rumit bagaimana organisme tanah berperan dalam menyediakan unsur hara, bagaimana proses penyediaan unsur-unsur hara tadi melalui adanya pelapukan-pelapukan batuan maupun mineral, bagaimana ketersediaan air maupun udara baik bagi organisme maupun jalanya tata udara dalam tanah untuk perakaran tanaman.

Pengertian di atas menunjukkan bahwa Ilmu Kesuburan tanah di dalamnya mengandung arti meliputi kesuburan kimia, kesuburan fisika, dan kesuburan biologi tanah. Dari ke tiga variabel itu sangat mendukung pada tingkat produktivitas tanah, akan tetapi tingkat produktivitas tanah bergantung pula

pada manajemen atau cara pengelolaan tanah maupun lahan. Karena tingkat produktivitas tanah berbanding lurus dengan tingkat kesuburan tanah dan cara pengelolaan atau secara matematis adalah:

Produktivitas Tanah = Kesuburan Tanah + Manajemen.

Kita mengenal bagaimana cirri-ciri suatu tanah yang subur. **Tanah yang subur adalah** tanah yang memiliki kedalaman efektif (kedalaman tanah yang masih dapat ditembus akar tanaman) cukup dalam, bertekstur lempung berdebu, berstruk-tur remah, berkonsistensi gembur, memiliki kemasaman tanah netral (6,5-7,0), banyak organisme maupun mikroorganisme yang menguntungkan dan aktif dalam siklus hara, dan tidak ada faktor pembatas lain misalnya kriteria itu telah memenuhi syarat, akan tetapi ketersediaan air tidak terpenuhi maka tanah tidak dapat dikatakan subur. Dengan demikian selain terpenuhinya syarat-syarat tadi juga tidak ada faktor pembatas lain yakni adanya air yang tersedia bagi tanaman.

Setiap tingkat ordo maupun jenis tanah memiliki tingkat kesuburan tanah yang berbeda-beda sehingga dalam mempengaruhi terhadap pertumbuhan dan hasil tanamanpun memiliki perbedaan. Pada Tabel 1.1 nampak adanya perbe-

daan diantara berbagai tipe tanah dari kesuburan fisika dan kimia tanahnya. serta kandungan mineral yang mendomina-sinya. Tabel 1.1 memperlihatkan bahwa ordo Ultisol (Podsolik

Tabel 1.1. Klasifikasi Sifat Kesuburan Dari Beberapa Tipe Tanah (Tisdale, *et.al*. 1990).

Tanah	**Kesuburan Fisika Tanah**	**Kesuburan Kimia Tanah**	**Tipe mineral dominan**	**Tingkat Produktivitas Secara umum**
Andisols	baik	Baik	Nonkristalin (alofan dan imogolit)	Sedang-tinggi
Latosol	baik	Jelek	Tipe liat 1:1	Sedang
Vertisols (grumosol)	Jelek/ buruk	Baik	Tipe 2:1	Sedang-tinggi
Ultisols (PMK)	Jelek/ buruk	Jelek/ buruk	Tipe liat 1:1 (dominan kaolinit, oksida/ hidrosoksida Al dan Fe	Sedang-sangat rendah

Keterangan : PMK (Podsolik Merah Kuning)

Merah Kuning) merupakan tipe tanah yang memiliki tingkat kesuburan fisika maupun kimia tanah yang paling buruk, sehingga termasuk kategori lahan marjinal, khususnya untuk pengembangan tanaman pangan.

Tanah yang subur bukan tidak membutuhkan input penambahan nutrisi atau hara bagi tanaman. Akan tetapi

tanaman yang tumbuh subur di atasnya dan memberikan hasil yang maksimal dengan melakukan pemupukan yang benar-

Foto 1. Ordo Tanah Ultisols menduduki tanah terluas ke–2 di Indonesia (42.330.000 ha = 22,1%) dari luas wilayah daratan (191.873.000 ha) (Puslittanak, 1992).

Foto 2. Ordo Tanah Ultisols tingkat produktivitas rendah (kesuburan tanah rendah) akan tetapi pada tanah itu terpaku komoditas unggulan yang komersil seperti durian, manggis, cempe-dak (Komunikasi Pribadi, 2005).

benar optimal, maka berarti tanah akan kehilangan sejumlah hara yang cukup besar yakni adanya panen, panen sebenarnya telah menguras sejumlah unsur hara dalam tanah.

Foto 3. [illegible]
(Komunikasi Pribadi, 2005). Survey Bersama.

1.3. Gambaran Umum Degradasi Kesuburan Tanah di Indonesia Melalui Faktor-faktor yang dapat Menurunkan Tingkat Kesuburan Tanah.

1. Erosi Tanah

Erosi tanah merupakan salah satu faktor terbesar khususnya di negara beriklim tropis seperti Indonesia menjadi penyebab degradasi kesuburan tanah. Menurut Abdurrachman Adi (2003), di Jawa Barat, laju erosi di DAS Cimanuk, mencapai 5,2 mm/thn, mencakup areal 332 ribu hektar dan di Citayam, pada lahan tanaman pangan berlereng 14%, laju erosinya mencapai 25 *mm/thn.* Di Putat, Jawa Tengah, laju erosi 15 mm/tahun, dan di Punung, Jawa Timur, sekitar 14 mm/thn; keduanya pada lahan tanaman pangan

berlereng 9-10%. Di Lampung, ditemu-kan laju erosi 3 *mm/thn,* pada lahan tanaman pangan berlereng 3,5%. Di Baturaja pada lahan berlereng 14%, laju erosi mencapai 4,6 *mm/thn,* walaupun jerami padi dan jagung dikembalikan sebagai mulsa. Laju erosi sebesar 1 *mm/thn* setara dengan kehilangan tanah sebanyak 10 ton/ha/thn. Di beberapa wilayah pertanian, selain erosi permukaan sering juga terjadi longsor (*landslide*), yang sangat merusak tanah pertanian.

2. Panen

Setelah panen, maka sejumlah unsur hara akan hilang dari dalam tanah karena terangkut tanaman dalam bentuk sudah terubahkan sebagai zat gizi yang tersimpan sebagai fotosintat yang tersimpan dalam kualitas biji, ubi maupun umbi. Pada Tabel 1.2 di bawah menggambarkan bahwa untuk menghasil-kan padi sebanyak 6 ton ha^{-1}, mengandung arti bahwa tanah telah kehilangan unsur hara yang terangkut oleh gerabah dan jerami sebanyak unsur hara N 192 kg N ha^{-1}, 34 kg P ha^{-1}, 160 kg K ha^{-1}, serta unsur-unsur hara lainnya. Lebih jelasnya menggambarkan fenomena sebagai berikut:

1. Untuk tanaman padi dengan produksi 6 ton gabah/ha membutuhkan Nitrogen sebanyak 120 kg, sedangkan

jeraminya yang diperkirakan 6 ton memerlukan Nitrogen 72 kg. Sehingga semuanya diperlukan 192 kg. Apabila petani memberi 300 kg ha $^{-1}$ urea untuk tanaman padinya dan setiap 100 kg urea mengandung 46 kg N, berarti petani baru menyumbang 138 kg N untuk tanaman padinya. Jadi untuk memprogram 6 ton gabah/ha, apabila petani hanya memberi 300 kg urea ha^{-1} maka kebutuhan N-nya masih kurang 56 kg. Jumlah tersebut tentu saja harus mengandalkan dari tanah yang berasal dari pelapukan mineral yang jumlahnya hanya sedikit.

2. Untuk mendukung program 6 ton gabah ha^{-1} tanaman padi juga memerlukan 160 kg K. Biasanya petani hanya memberi 100 kg KCl yang hanya mengandung 80 kg K. Berarti untuk program 6 ton gabah ha^{-1} petani hanya menyumbang 80 kg K dan sisa kekurangannya sebanyak 80 kg K harus dipenuhi oleh tanah juga.

3. Selain kedua unsur tersebut, tanaman padi juga memerlukan unsur-unsur lain seperti tertera dalam Tabel 1.2. Perhitungannya sama saja. Selama ini sumbangan pangan dari petani untuk tanaman yang dibudidayakan selalui tidak mencukupi paket makanan yang diperlukan

Tabel 1.2. Jumlah Hara yang Terkandung dalam Hasil Tanaman

Tanaman	Hasil (Ton/Ha)	Jumlah hara tanaman (Kg/Ha)								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	Zn
Padi										
-Gerabah	6	120	22	20	8	10	8	0,02	0,2	0,8
-Jerami	6	72	12	140	22	12	-	-	38	-
Jagung										
-Biji	5	162	28	40	19	24	17	0,07	0,11	0,36
-Jerami	5	120	19	144	34	20	12	0,06	1,80	0,36
Kacang tanah	15	108	6	16	1	4	7	0,02	0,01	-
Kedelai	16	180	19	55	8	8	5	0,05	0,06	0,05
Tebu	36	115	29	269	34	29	29	-	-	-
Tembakau										
-Daun	24	90	8	120	90	22	17	0,04	0,66	0,08
-Batang	-	42	8	50	-	-	-	-	-	-

Sumber:http://www.foreveryoung.co.id/product/kolom%20psbn/(50)%20faqs%20tentang%20psbn.html

oleh tanaman. Dalam hal ini selalu harus mencukupi paket makanan tanaman yang kurang.

Perhitungan itu dapat kita jadikan sebagai suatu pelajaran bahwa tanah kita merupakan salah satu penentu terhadap dunia kehidupan, sehingga apapun yang kita lakukan jangan sampai mengganggu maupun merusak peranan tanah. Kita perlu berusaha agar tanah harus tetap mempunyai kemampuan menyajikan dan mengatur makanan yang diperlukan bagi kehidupan, baik yang ada di atas tanah maupun yang ada dibawahnya. Untuk mengkondisikan tanah sehingga mampu berperan sebagai penyangga kehidupan, salah satu diantaranya adalah memelihara keseimbangan jasad renik (mikroba) yang ada di tanah.

3. Herbisida

Petani sudah terbiasa menggunakan herbisida maupun pestisida untuk memberantas gulma hama penyakit lainnya. Sebagian senyawa kimiawi tersisa (residu) di dalam tanah, makin lama makin banyak bergantung pada persistensinya di dalam tanah. Data yang terkumpul beberapa tahun silam di antaranya: di Jawa Barat, residu parakuat dalam tanah sebesar 0,0016 sampai 0,0025 ppm, oksadiazon 0,0011 sampai

0,0023 ppm dan 2,4-D (0,0014 - 0,0025 ppm) ditemukan pada tanah sawah hampir di seluruh propinsi. Residu glifosat (0,0009 - 0,0012 ppm) terdapat di Kab. Ciamis. Majalengaka, dan Serang. Di Jawa Tengah: ditemukan residu herbisida pada tanah sawah di Rembang, Klaten, Bantul, Cilacap, Kebumen, Banyumas, Brebes, dan Pemalang, berupa: MCPA (0,0005 - 0,0285 ppm), 2,4-0 (0,0016 - 0,0095 ppm), metil metsulfuron (0,0010 - 0,0046 ppm), parakuat (0,0128 - 0,0216 ppm), dan glifosat (0,0004 - 0,0125 ppm). Saat ini konsentrasinya masih di bawah batas maksimum residu (BMR), tetapi akan terus meningkat bila penggunaan herbisida tidak terkendali. Di Jawa Timur ditemukan parakuat, glifosat, oksadiazon, DMA, metil metsulfuron. Residu parakuat ditemukan dalam beras (0,0024 - 0,0045 ppm) dan tanah sawah (0,0031-0,0074 ppm) di Ngawi, Magetan, Madiun, Nganjuk, Malang, dan Pasuruan (Abdurrachman Adi, 2003).

4. Limbah Tambang

Kegiatan penambangan yang tidak berpola dan berwawasan lingkungan banyak yang mencemari tanah pertanian. Salah satu contoh adalah tambang emas tradisional di Kab. Bogor, limbahnya telah menyebabkan tingginya kadar

air-raksa (Hg) pada tanah dan beras. Kadar Hg (air raksa) pada lanah lapisan atas di dekat pertambangan mencapai 6,7 ppm, dan yang berjarak 7 km dari pertambangan mencapai 2,3 ppm. Batas ambang kadar Hg pada tanah pertanian adalah <1 ppm. Kadar Hg dalam beras dari sawah di dekat lokasi penambangan, ditemukan sebesar 0,43 ppm, dan yang berjarak 7 km dari lokasi, kadarnya tercatat 0,25 ppm. Keduanya lebih tinggi dari ambang batasnya, yaitu sebesar 0,05 ppm. Pertambangan emas semacam itu banyak tersebar, antara lain di Kalimantan Tengah, tercatat sekitar 65.000 penambang emas tradisional, yang menggunakan air raksa sebagai pelebur butir emas. Sudah pasti banyak keluarga termasuk anak-anak yang terancam kesehatan dan masa depan mereka, karena mengakumulasi senyawa beracun atau logam berat melalui makanan (Abdurrachman Adi, 2003).

5. Limbah Industri Tekstil

Kegiatan-kegiatan industri tekstil kemungkinan berpeluang pula dan memberikan andil terhadap polusi logam berat. Tidak semua Industri tekstil dapat membersihkan/nil bersih terlebih dahulu limbah yang akan dibuang ke tanah atau lahan-lahan pertanian maupun perairan umum. sehingga

meningkatkan kadar logam berat tanah-tanah pertanian, seperti B, Cd, Co, Cu, dan Pb, dll, akibatnya banyak lahan pertanian yang menurun produktivitas-nya, bahkan tidak produktif lagi.

6. Logam Berat dan Implikasi Lingkungan

Istilah logam berat menunjuk pada logam yang mempunyai berat jenis lebih tinggi dari 5 atau 6 g/cm^3. Pada kenyataanya pengertian logam berat dimasukkan pula unsur-unsur metaloid yang memiliki sifat berbahaya seperti logam berat, sehingga jumlahnya mencapai lebih 40 jenis (Wild, 1995 dalam Nugroho, 2001). Beberapa logam berat yang bersifat toksik diantaranya : As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, dan Zn. Saat ini bahaya yang diakibatkan oleh logam berat merupakan isu lingkungan yang sangat dominan. Berbagai limbah yang berbahaya yang dihasilkan oleh kegiatan manusia dan menimbulkan masalah dalam penanganannya. Bentuk limbah padat menimbulkan pengaruh yang relatif lokal, tetapi limbah cair atau yang dapat menguap pengaruhnya akan lebih luas lagi (Nugroho, 2001). **Kegiatan-kegiatan Pertanian juga berpeluang memberikan andil terhadap polusi logam berat,** karena penggunaan

fungisida, herbisida, insektisida, pupuk Fosfat, penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan.

Kedua jenis logam berat seperti Pb dan Cd sudah banyak mencemari tanah pertanian dan bahan pangan yang dihasilkan. Sumbernya bisa dari bahan induk tanahnya sendiri, pupuk fosfat alam, bahan bakar, dll. Dari sawah seluas 106 ribu ha di Karawang dan Bekasi, para peneliti Puslitbangtanak menemukan adanya pencemaran Cd pada areal sekitar 4 %, agak tercemar 17%, sisanya masih bersih. Sedangkan yang tercemar timbal (Pb) sekitar 7%, agak tercemar 33%, sisanya tidak tercemar. Kadar Pb dalam tanah berkisar antara 7,83 - 91 ,47 ppm. Sedangkan kadar Cd antara 0 - 8,75 ppm. Batas ambang Pb dalam tanah adalah 1,0 ppm, sedangkan Cd ditetap-kan sebesar 0,24 ppm**.** Kadar Pb pada bawang merah di sentra produksi bawang Tegal dan Bekasi berkisar antara 2,46 - 3,67 ppm, padahal batas ambang Pb dalam sayuran adalah 2,0 ppm. Kadar Cd pada bawang tersebut 0,135 - 0,285 ppm, sedangkan batas ambangnya adalah 0,1 ppm.

Kompleks Organik: Ikatan antara kation-kation logam dengan bahan organik, ikatan terkadang terlalu kuat misalnya

ikatan Cu dan Zn dengan bahan organik sehingga pada tanah gambut sering kekurangan unsur-unsur hara tsb.

Khelat (*chelate*) : Ikatan kation logam dengan bahan organik dalam struktur cincin (ring). Kation-kation itu menjadi terlindung oleh bahan organik, sehingga dalam reaksi kimia tidak berfungsi lagi sebagai kation, tetapi masih mudah larut meskipun pd pH yang tinggi. Khelat (kelat) artinya sama dengan "kuku". Reaksi antara logam bervalensi 2 atau 3 dengan ligand, (ligand= zat pengkelat). Pengertian lain, kelat adalah produk larut yang terbentuk apabila atom tertentu dalam suatu ligand organik menyumbangkan elektron pada kation logam.

Secara alami tanah mengandung Pb dan Cd dengan konsentrasi 20 – 42 mg/kg = ppm, hal itu sangat bergantung pada beberapa faktor: diantaranya (Alloway, 1995) menyebut-kan :

(1). Batuan Induk,

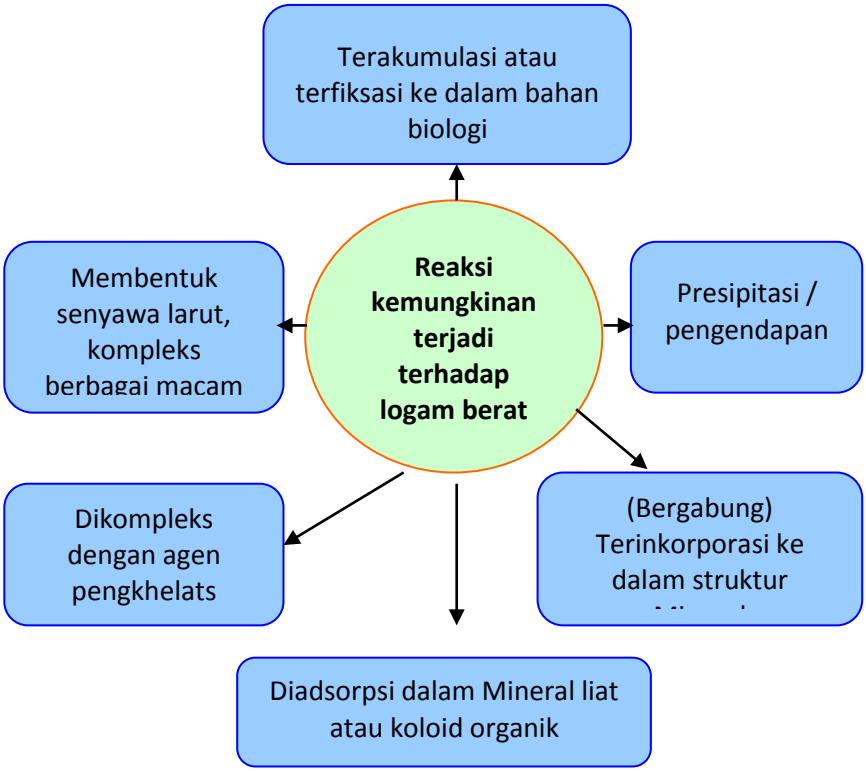
(2). Cara terbentuknya tanah,

(3). Translokasi logam berat di tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi ikatan logam berat di dalam tanah dapat dijelaskan pada Gambar 1.1. Reaksi-reaksi yang mungkin terjadi pada logam berat didalam tanah. Yang saat ini dikhawatirkan terjadi yakni logam berat membentuk senyawa larut dan masuk kedalam jaringan tanaman dan terakumulasi pada bulir, biji ubi dan umbi. Akan tetapi ternyata, setiap tanaman memiliki perbedaan dalam mengakumulasi logam berat apakah mengendap pada jerami atau biomassa lain, sehingga kategori tanaman dalam merespon logam berat dapat dibedakan dari tanaman akumulator logam berat dan bukan akumulator logam berat.

Seperti terlihat padar Gambar 1.1 berikut ini dicontohkan oleh Mc. Laren dan Crawford (1982) bahwa pada ion logam Cu (tembaga) di dalam tanah berada dalam berbagai ikatan sebagai berikut dan tertera pada Tabel 1.3.

Logam berat dalam tanah berada dalam bentuk bebas (mobil) dan bentuk tidak bebas (imobil). Dalam bentuk tidak bebas dapat berikatan dengan unsur hara lain, bahan organik, terfiksasi kedalam biologi, di komplek dengan agen pengkhelat, diadsorpsi oleh mineral liat dan humus dan terin korporasi dalam struktur mineral dalam tanah, sesuai pada Gambar 1.1 dan Tabel 1.3 di atas. Akan tetapi dalam keadaan



Gambar 1.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ikatan Logam Berat di dalam Tanah

bebas, pada konsentrasi di atas ambang batas yang diperbolehkan, bersifat toksik bila terserap tanaman. Setiap Tanaman memiliki perbedaan sensitivitas terhadap logam berat dan menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam mengakumulasi logam berat.

Tabel 1.3. Bentuk Cu dan % Total Cu

Bentuk Cu (tembaga)	% total Cu
1. Bentuk larut dan dapat dipertukarkan	0,1 – 0,2
2. Diadsorpsi spesifik oleh Liat (clay)	0,2 – 2,7
3. Organically bound	16,2 – 46,9
4. Oxide (and organic matter) occluded =sebagai oksida Cu dan pd bahan organik	0,0 – 35,9
5. *Mineral lattice* (Dalam kisi-kisi mineral) atau terinkorporasi dalam struktur mineral/terinkorporasi kedalam struktur mineral	33,6 – 77,2
Dinamika kesetimbangan ion logam Cu dalam tanah Cu dapat ditukar dan larut ↔ Cu teradsorpsi Spesifik ↔ Cu terikat organik	

Istilah-istilah: sensitif = peka, toleran (tanaman mampu untuk bertahan hidup, bahkan misalnya ketika mengalami cekaman lingkungan fisik. Faktor-faktor yang mengendalikan akumulasi Pb dan Cd dalam tanaman adalah :

a. Konsentrasi dan Jenis logam di dalam larutan tanah
b. Pergerakan logam dari tanah ke permukaan akar
c. Transpor logam dari permukaan akar ke dalam akar
d. Translokasi dari akar ke tajuk tanaman (shoot tanaman)

Cd (kadmium) bersifat lebih mobil di dalam tanah, oleh karena itu lebih mudah diserap tanaman. Komisi Negara-negara Eropa telah mengeluarkan Nilai ambang batas

konsentrasi yang berpotensi sebagai racun dan yang berarti konsentrasi logam-logam itu tidak boleh melebihi batas yang dianjurkan, sesuai dengan pendapat Truong dan Baker (1996) pada Tabel 1.4 di bawah ini:

Tabel 1.4. Konsentrasi Maksimum Limbah Dalam Tanah Yang Diijinkan

Logam Berat	Kons.maksimum dlm tanah ($mgkg^{-1}$)	
Zn (seng)	200	300*
Cu (tembaga)	140	100 *
Ni (Nikel)	75	50*
Cd (kadmium)	3	3*
Pb (Timbal=Plumbum)	300	100*
Hg (Mercury = Air Raksa)	1,5	2*
Mn (Mangan)	500	
Cr (Chromium)	50	100
Sn (Tin=timah=stanium)	50	
Sb (Antimon)	20	
As (Arsenik)	20	

Sumber : Truong dan Baker, 1996

- = Mengel dan Kirkby, 1987, halaman 603

Menurut Babich dan Stotzky (1978) ada beberapa kemungkinan reaksi yang terjadi terhadap logam berat di dalam tanah :

1. Membentuk senyawa larut, kompleks dari berbagai macam molekul
2. Presipitasi atau kopresipitasi

3. Terinkorporasi ke dalam struktur mineral
4. Terakumulasi atau terfiksasi ke dalam bahan biologi
5. Dikompleks dengan agen pengkhelat
6. Diadsorpsi dalam mineral liat atau koloid organik.

Faktor-faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap logam berat diantaranya: pH/ kemasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur tanah, mineral liat, kadar unsur lainnya : Cu, Cd, Mg, Pb, Zn, dsb.

Alasan pH lingkungan mempengaruhi logam berat dalam tanah, Menurut Babich dab Stotzki (1978) pada pH 8 Cd terdapat dalam bentuk bebas Cd^{2+} dan Cd (OH), mulai terbentuk pada pH 7 – 7,5, sedangkan Cd $(OH)_2$ mulai terbentuk pada pH 9,0. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se (Selenium).

Mengel dan Kirkby (1987) melaporkan, bahwa kandungan Pb (*lead* = timbal) pada tanah-tanah pertanian rata-rata antara 2 ppm – 200 ppm. Pernyataan yang menarik dari Mengel dan Kirkby tentang Pb adalah: (*Contamination occurs only on the outer part of plant seed or leaves and stem, and a high proportion can be removed by washing. Levels of Pb in grain, tubers, and roots are very little affected and do not deviate*

very much from normal levels for such tissues of about 0,5 ppm (Foy *et al*. 1978 dalam Mengel dan Kirkby, 1987). Pernyataan itu intinya menjelaskan bahwa kandungan Pb dalam biji, umbi/ubi maupun akar sangatlah kecil.

Bentuk Pb an-organik tersedia Pb^{2+}, bentuk organik Pb-tetraethyl, Pb-diethyl, dan turunan alkyl sangat mobil dalam tanah. Diehl *et. al* (1983) dalam Mengel dan Kirkby (1987), berpendapat bahwa konsentrasi Pb^{2+} dalam tanah 100 ppm tidak akan berdampak negatif pada pertumbuhan dan hasil gandum. Pb tersedia dalam tanah biasanya rendah dan akan lebih berkurang dengan adanya pengapuran (*liming*). Tingginya pH tanah, Pb terpresipitasi membentuk $Pb(OH)_2$, fosfat atau karbonat, atau mungkin membentuk formasi kompleks bahan organik-Pb. Peningkatan level Ca^{2+}, juga dapat meningkatkan kompetisi dengan Pb^{2+} untuk KTK akar dan *soil surfaces*. Lagerwerff (1972) dalam Mengel dan Kirkby (1987), Kekuatan adsorpsi Pb oleh koloid liat dan senyawa organic membentuk Pb khelates yang tidak larut.

Selain pH di atas, pengaruh bahan organik terhadap logam berat berhubungfan dengan senyawa kompleks antara bahan organik dengan logam itu. Stabilitas khelat organik mengikuti urutan dimulai dari yang bervalensi dua: Pb > Cu >

Ni > Co > Zn > Cd > Fe > Mn. Demikian pula tekstur, makin halus tekstur makin tinggi kekuatan untuk mengikat logam berat. Tanah yang bertekstur liat memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat lebih tinggi dari tanah berpasir. Umumnya dari kemampuan liat mengikat logam berat : vermikulit> illit > montmorilonit > kaolinit> (Babich dan Stotzki, 1978). Lebih jauh dilaporkan bahwa logam berat mungkin diabsorpsi dan diakumulasi dalam jaringan hidup. Kemampuan beberapa logam berat berikatan denagn asam amino mengikuti urutan : Hg > Cu > Pb > Co > Cd. Cadmium misalnya menunjukkan afinitas terhadap porfirin, purin, sistein, histidin. Logam berat juga diakumulasikan dalam biota. Urutan afinitas plankton terhadap logam berat bervalensi dua : Zn > Pb > Cu > Mn > Co > Ni > Cd, ganggang adalah Pb > Mn > Zn > Cu > Cd > Co > Ni.

Mengel dan Kirkby (1987) melaporkan bahwa nilai ambang kritis berbagai logam berat pada tanaman dan ternak tertera pada Tabel 1.5 .

Menurut Tejoyuwono (1993), logam berat dalam tanah dapat dipisahkan menjadi berbagai fraksi atau bentuk :

(1). Larut dalam air dan berada dalam larutan tanah (*soil solution*)

(2). Dapat dipertukarkan, terikat pada tapak- tapak jerapan, atau kompleks jerapan (*adsorption site*) pada koloid tanah dan dapat dibebaskan oleh reaksi pertukaran ion.

Tabel 1.5. Nilai Ambang Kritis Berbagai Logam berat pada Tanaman dan Ternak.

Kadar logam berat	Kadar kritis (ug g^{-1} bahan kering) dalam	
	Tanaman	Diet ternak
Cr	1 – 2	50 – 300
Hg	2 – 5	1
Cd	5-10	0,5 – 1
Pb	10- 20	10 – 30
Cu	15 – 20	30 – 100
Ni	20 – 30	50 – 60
Zn	150 - 200	500

Sumber : Mengel dan Kirkby,1987, halaman 603

(3). Terikat secara organik, berasosiasi dengan senyawa humus yang tidak terlarutkan.

(4). Terjerap (*occluded*) di dalam oksida besi dan mangan

(5). Senyawa-senyawa tertentu, seperti karbonat, fosfat, dan sulfida

(6). Terikat secara struktural di dalam mineral silikat dan mineral primer.

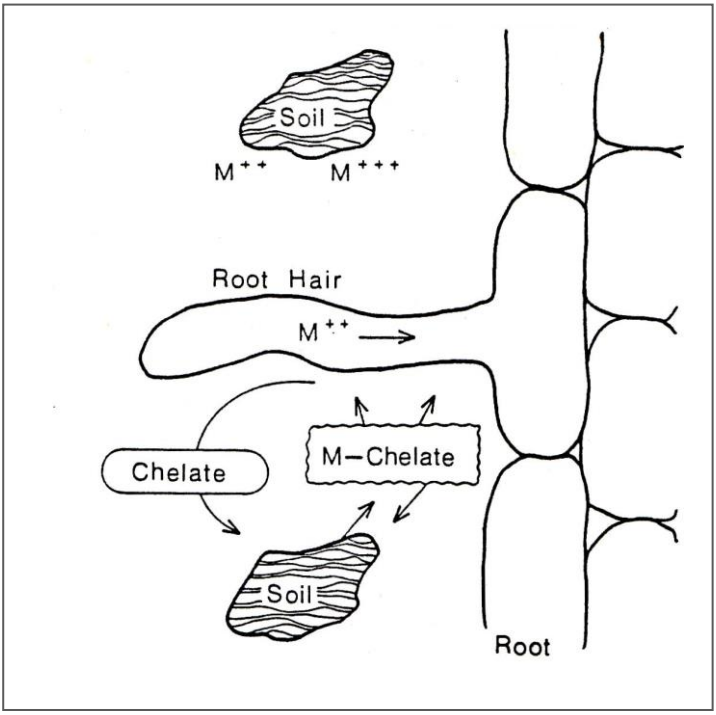
Bagian terbesar segala jenis yang ada dalam tanah, yakni 95%-99%, jumlah total berada dalam fraksi 2,3,4,5, dan 6, meskipun fraksi 1 jumlahnya hanya sedikit. Akan tetapi dari sisi ekologi, fraksi itu paling penting, karena penyerapan tanaman dan pengangkutan dalam lingkungan bergantung pada-nya. Menurut Duchsufour (1982) dalam Tejoyuwono (1993), ketersediaan (*bioavailability*) logam berat tanah sangat dipengaruhi oleh be-berapa faktor, antara lain :

1. pH larutan tanah, terkait kelarutan unsur logam berat. Peningkatan pH menyebabkan logam berat mengendap, yang terpenting adalah pengaruh tidak langsung melalui KTK tanah. Sebagian KTK berasal dari muatan tetap dan sebagian berasal dari muatan tidak tetap (*variable charge*) muatan itu bergantung pada pH yang meningkat sejalan dengan peningkatan pH, karena pH membawa peningkatan KTK. Logam berat terjerap lebih banyak atau lebih kuat, sehingga mobilitasnya menurun.
2. Anion dalam larutan tanah. Bergantung pada jenis anion dan macam komponen penjerap tanah. Anion yang terjerap dapat membantu penjerapan kation logam berat, karena peningkatan kerapatan muatan negatif pada permukaan komponen penjerap. Dapat pula sebaliknya, anion yang

terjerap menghalangi penjerapan kation logam berat karena menutupi.

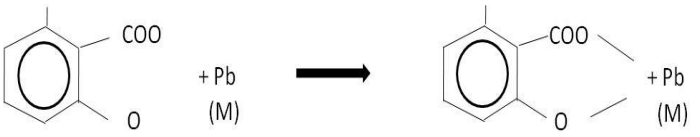
3. Potensial redoks tanah bersama pH tanah menentukan spesies kimiawi logam berat, misalnya spesies utama Cd (kadmium) dalam keadaan oksik dan masam adalah dalam bentuk : Cd^{2+}, $CdSO_4$, CdCl. Dalam keadaan oksik dan basa, di samping yang telah disebutkan, juga terdapat $CdHCO_3$ dalam keadaan anoksik kompleks sulfida.
4. KTK (Kapasitas Tukar Kation) tanah yang ditentukan oleh daya menjerap kation dan laju penukaran kation.
5. Reaksi kesetimbangan dalam larutan tanah, antara fase padat, kompleks jerapan, dan larutan tanah.
6. Reaksi kompleks logam berat maupun kation-kation logam berat terkoordinasikan pada senyawa organik, terutama asam-asam humat dan fulvat dengan membentuk khelate.

Khelat telah digambarkan oleh Mengel dan Kirkby (1986) yang tertera pada Gambar 1.2. di bawah ini. Pada Gambar tersebut nampak M=metal (ion logam) dalam hal itu logam kation dan makna M^{++} dan M^{+++}, artinya kation logam bervalensi 2 dan 3, bahkan ada yang bervalensi 1. Terlihat dari Gambar komplek tanah (mineral liat) mengadsorpsi kation (M). Telah dikemukakan bagaimana senyawa organik atau humus

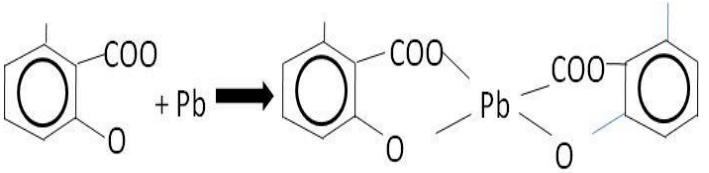

Soil
M++
M+++
Root Hair
M++
Chelate
M—Chelate
Soil
Root

Gambar 1.2. Mobilisasi M (ion logam) dalam tanah dengan khelat (Sumber: Mengel dan Kirkby, 1987).

berikatan dengan ion logam membentuk khelat. Pada Buku *Humus Chemistry*, halaman 423 Gambar 1.4, Stevenson (1994) menjelaskan adanya kata kunci *"soluble M^{+n}-chelate, complexes of type 1* yang mendominasi dalam larutan tanah yang mudah diserap oleh tanaman dan dimanfaatkan oleh mikroorganisme tanah (*Uptake by plants and Microorganism*) *; Stable M^{+n}- humate, complexes type II, akan tetapi untuk "humus loaded with M^{+n}* termasuk complexes of type III. Pernyataan di atas dan makna Gambar 1.2. dari Mengel Kirkby (1987) menarik untuk dipelajari dan diteliti lebih jauh. Apakah khelat dapat dengan tegas masuk dan diabsorpsi oleh akar, dan apa yang terjadi ion logam pada khelat setelah masuk ke membran sel akar tanaman. Kompleks tipe 1, yakni "*Soluble M^{+n}-chelate*" adalah termasuk ke dalam jenis khelat yang dapat larut. Sebagai contoh di bawah ini nampak pada Gambar 1.3 adanya perbedaan antara khelat monodental



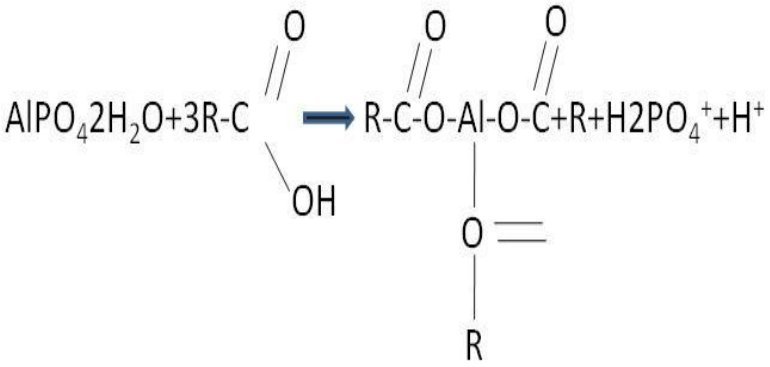
Monodental Khelat kurang stabil



Khelat Bidental → lebih stabil

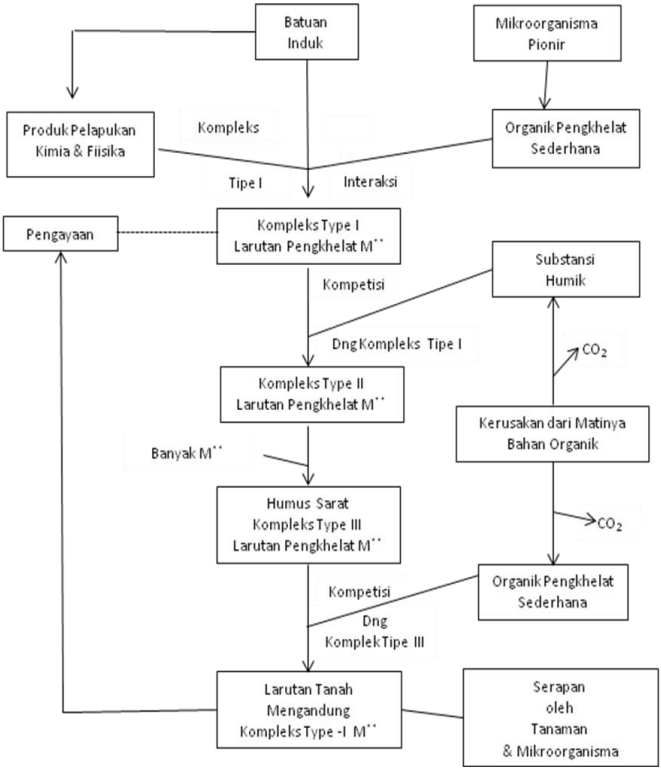
Gambar 1.3. Perbedaan khelat monodental dan khelat bidental (M= ion logam = kation bervalensi satu atau 2, kemungkinan juga golongan logam-logam berat).

dengan bidental terkait stabil tidaknya kelarutan khelat. Contoh lain adalah seperti Gambar 1.4 di bawah ini adalah reaksi khelat yang terjadi antara pemupukan Fosfat dengan pemberian pupuk organik pada tanah masam, sebagai sumber kemasaman adalah alumunium (Al^{3+}), sehingga efisiensi pemupukan fosfat meningkat.



Gambar 1.4. Reaksi khelat fospat

Khelat organik sederhana yang dihasilkan mikroorganisme, fungi/jamur sangat aktif melarutkan silikat menghasilkan asam-asam aksalat dan sitrat, keduanya sebagai agents pengkhelat. Proporsi yang tertinggi adalah bakteri gram negatif mampu mensintesis asam 2 - ketoglukonik. Juga kemampuan golongan lichenes dalam melarutkan subtansi mieral dari batuan-batuan.



Gambar 1.5. Diagram Alur bahan organik tanah dalam translokasi ion logam dari bahan induk ke sistem biologi.

Faktor lainya yang dapat menyebabkan degradasi kesuburan tanah adalah:

1. Peladangan berpindah-pindah *(Shifting Cultivation*)

Peladangan berpindah melalui pembakaran hutan maupun pembalakan liar merupakan kegiatan-kegiatan yang merugikan ditinjau dari aspek kesuburan dan kesehatan tanah.

Hal itu sering terjadi di daerah luar P. Jawa, seperti tampak pada Foto di bawah ini.

Foto 4. Membuka Lahan Pertanian di Daerah Loa Duri, Kabupaten Kutai Kertanegara Kalimantan Timur (Nunung Sondari dan Suhendar, 2008).

Foto 5. Lahan Marjinal sebagai Alternatif Lahan Pertanian (Kampung Kentrong, komuni-kasi pribadi, 2005).

Foto 6. Lahan Gundul Akibat Penebangan yang Tidak Berpola, dimanfaatkan Menjadi Lahan Pertanian Lada/sahang di Kabupaten Kutai Kartanegara, Propinsi Kalimantan Timur (Foto pribadi, 2008).

Foto 7. Pematokan lahan Oleh Sekelompok Masyarakat Tanpa Pengendalian dari Instansi Terkait. (Nunung Sondari dan Suhendar, 2008).

Foto 8. Tanah Ordo Ultisols di Kalimantan Timur, Tampak Kayu Hasil Pembalakan Liar (Ilegal Logging) berupa Kayu Ulin (Suhendar dan Nunung Sondari, 2007).

Foto 9. Lahan pesawahan yang kekeringan akibat drainase dan ketersediaan air di daerah yang lebih tinggi habis karena penggundulan (foto pribadi, 2006).

2. Reklamasi Lahan

Beberapa Pengalaman Dalam Keterlibatan Reklamasi Lahan Pasca Tambang.

Direktorat Jendral Pertambangan Umum Puslitbang Teknologi Mineral Proyek Pengembangan Manajemen Sumberdaya memiliki tanggungjawab dan inisiatif yang cukup besar untuk memberikan contoh dan bimbingan teknis kepada daerah untuk melakukan rehabilitasi lahan bekas tambang. Di bawah ini beberapa gambaran penulis sebagai tenaga ahli bidang pertanian dalam keterlibatan kerjasama reklamasi lahan bekas tambang menjadi lahan pertanian antara Puslitbang Teknologi Mineral dengan Pemda setempat. Foto 10 dan 11, Th 1998/1999 reklamasi lahan bekas tambang pasir tras di Kelurahan Cibeber Kabupaten Bandung.

Foto 10. Rona Awal Pasca Tambang Pasir Tras Sebelum di Reklamasi.

Selanjutnya pada tahun 1999/2000 penulis ikut dilibatkan dalam reklamasi lahan bekas tambang fosfat guano menjadi lahan pertanian di Kecamatan Pamarican Kabupaten Ciamis Jawa Barat. Adanya masukan pupuk organik, fosfat alam, urea dan KCl, maka penghijauan di lokasi tersebut cukup berhasil dengan penanaman tanaman penghijauan seperti: Tanaman jengkol (*Phitecolobium lobatum)*, sukun, kemiri (*Aleurites molucana*), petai, dan sebagian albazia dengan pengaturan pembagian pemeliharaan oleh kelompok tani yang sudah dibentuk dan diberi tanggungjawab oleh pemerintah setempat.

Foto 11. Hasil Kegiatan Reklamasi Lahan Melalui Penanaman Tanaman Pangan dan tanaman tahunan disertai dengan masukan Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik ditambah dengan Zeolit (Foto Pribadi).

Pada tahun 2004 penulis dilibatkan dalam pengkajian reklamasi lahan bekas penutupan tambang pasir besi di Cilacap Jawa Tengah. Tampak pada Foto 12, 13 dan 14 dari mulai rona awal dan setelah dihijaukan, ternyata pengkajian hasil analisis tanah maupun tanaman menunjukkan bahwa melalui penanaman tanaman pangan seperti padi dan kacang-kacangan (tampak pada Foto) menunjukkan hasil adanya kandungan Fe maupun logam- logam berat lainnya di bawah ambang batas yang membahayakan. Sehingga masyarakat setempat tidak khawatir untuk mengkonsumsi tanaman pangan itu.

Sejak analisis kajian awal tanah sampai rekomendasi pupuk menunjukkan bahwa tanah pasca tambang pasir besi memiliki tingkat kesesuaian yang memadai untuk pembudidayaan tanaman pangan sesuai yang diminta oleh masyarakat setempat. Untuk tanaman pangan seperti labu, kacang-kacangan, sayuran dan padi sawah serta tanaman tahunan seperti kelapa hibrida cukup sesuai.

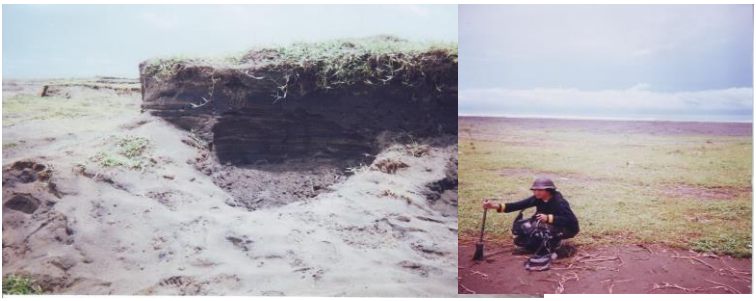


Foto 12. Penulis Di Lahan Rona Awal Pasca Penutupan Tambang Pasir Besi.

Foto 13. Penulis dengan Tanaman Kacang hijau pada lokasi pasca penambangan Pasir besi di Cilacap (Foto pribadi).

Foto 14. Tanaman Kacang tanah dan Labu yang Tumbuh baik di atas Pasca Tambang Pasir Besi di Cilacap (Foto pribadi).

BAB II
DINAMIKA UNSUR HARA MIKRO, MAKRO YANG BERFAEDAH DALAM TANAH DAN TANAMAN

2.1. Umum.

Unsur hara atau nutrisi sangat dibutuhkan oleh tanaman dalam masa pertumbuhan sampai hasil. Kriteria Arnon (1939) mengenai unsur hara esensial telah lama dikemukakan bahwa tanpa unsur hara, maka tanaman tidak akan dapat mencapai siklus hidupnya secara lengkap, fungsi-fungsi unsur hara tidak dapat digantikan oleh unsur-unsur hara lain, unsur hara itu harus turut serta dalam metabolisme tanaman, misalnya sebagai komponen enzim (Marschner, 1986). Di bawah ini secara garis besar terdapat gambaran secara ringkas bagaimana fungsi dan peran berbagai unsur hara, kekurangan maupun keracunan pada tanaman secara umum yang tampak pada Tabel 2.1, 2.2, dan 2.3.

Tabel 2.1 Fungsi unsur esensial pada tanaman menurut Epstein (1972) serta Mengel dan Kirkby (1982).

Unsur Hara	Proses Fisiologi	Aktivator enzim	Penyusun metabolisme
Nitrogen (N)			Asam amino, protein, nukleotida, klorofil
Posfor (P)	Transfer energi, penyatuan membrane		
Potasium (K)	Translokasi, pembukaan stomata	+	
Sulfur (S)	Sintesis protein, dan fungsinya, struktur		Asam amino, Ko-enzim, protein
Kalsium (Ca)	Pemeliharaan membrane	+	Kalsium pektat
Magnesium (Mg)	Asimilasi CO_2	+	Klorofil
Klorin (Cl)	Pemeliharaan, penetralan elektron, turgor dalam		
Tembaga (Cu)	Sintesis lignin		Asam askorbat, oksidasi, penolose, plastosianin
Seng (Zn)	Metabolisme auksin, sintesis nukleotida	+	Dehidrogenase
Mangan (Mn)	Oksidasi-reduksi, transpor electron	+	

Besi (Fe)	Transpor elektron		Propirin besi (daun), feredoksin
Boron (B)	Sintesis nukleotida, asimilasi, translokasi		
Molibdenum (Mo)	Fiksasi nitrogen, reduksi nitrat		Nitrogenase, nitrat reduktase

Keterangan : (+) terlibat besar sebagai aktivator beberapa enzim pada tanaman

Tabel 2.2 Gambaran Umum Gejala Kekurangan Unsur Hara.

UNSUR	**GEJALA**
Nitrogen (N)	Klorosis pada seluruh tanaman dan sering berwarna kemerahan. Daun tua selalu terserang lebih dahulu.
Posfor (P)	Daun-daun berwarna hijau gelap, pada daun tua atau petiole sering berwarna kemerahan atau keunguan.
Potasium (K)	Daun yang tua terlihat adanya bercak nekrotik atau pinggirnya seperti terbakar; daun muda berwarna merah / menjadi setengah klorosis dan ditunjukkan dengan permukaan daun yang mengkilap.
Kalsium (Ca)	Pertumbuhannya mengarah pada kematian. Pada tanaman buah-buahan, gejalanya terjadi pada bagian buahnya (seperti pada beberapa buah-buahan terdapat lubang, pada tomat dan lada bunganya menjadi membusuk). Pada sayuran, gejalanya ujung daun seperti terbakar.
Magnesium	Di bagian sisi/bagian tengah daun mengalami nekrosis. Pada tana-man berkayu daerah yang

(Mg)	berwarna hijau akan membentuk seperti anak panah, warna kemerahan yang kuat dapat membatasi daerah klorotik yang pertama terserang selalu pada jaringan yang tua.
Sulfur (S)	Klorosis pada semua tanaman, seringkali daun yang muda pertama kali terserang.
Tembaga (Cu)	Kematian pada daun muda, klorosis, kegagalan pembuahan dan kelengkapan buah (pembentukan pertumbuhan pucuk dan minyak pada jeruk).
Seng (Zn)	Daun kecil, daun berdesakan / pendek (rosset), terdapat burik klorotik.
Mangan (Mn)	Terjadi klorosis, bila daun keras, terdapat bercak nekrotik atau dapat berbentuk seperti coretan, pertama kali terjadi pada daun bagian tengah.
Besi (Fe)	Terjadi klorosis yang hebat hal itu dapat berarti semua daun-daun muda diikuti dengan gejala nekrosis. Daun yang muda yang pertama kali terserang.
Boron (B)	Kematian pada titik pertumbuhan kecambah yang patah dapat menimbulkan efek penyakit sapu. Beberapa spesies (seperti anggur) dapat memperlihatkan perubahan yang khusus terhadap kerusakan metabolisme auksin. Terdapat perubahan pada buah serta terlihat lubang atau celah-celah pada permukaannya, pada petiole seledri terdapat celah dan beberapa akar pada spesies sayuran terdapat cekungan.
Molibdenum (Mo)	Pada legum, umumnya daun menjadi pucat. Pada non-legum munculnya burik pucuk, tepi daunnya terbakar (melon, jagung, bunga matahari). Whiptail pada blumkol.

Tabel 2.3. Gambaran Umum Gejala Keracunan Unsur Hara

UNSUR	GEJALA
Nitrat-Nitrogen NO_3^-	Tepi daun terbakar mungkin juga diikuti oleh rusaknya daun.
Amonium-Nitrogen NH_4^+	Mulanya nekrosis, menghitamkan sekitar ujung dan tepi daun, kematian akar dapat juga terjadi.
Posfor (P)	Terjadi klorosis pada daun-daun muda (seperti mirip kekurangan besi), nekrosis dan dapat diikuti dengan mati pucuk pada beberapa spesies. Menghanguskan tepi daun dan menggugurkan daun tua.
Sodium (Na)	Bagian tepi klorosis dan terbakar.
Klorin (Cl)	Berwarna tembaga, klorosis, bagian tepi terbakar; daun jatuh mungkin sebelum waktunya. Pada beberapa spesies dibagian sisinya terbakar yang kemudian mendorong daun membentuk mangkok.
Mangan (Mn)	Mulai tepi daun pada daun tua berwarna kekuningan, kadang-kadang menyerupai mangkok yang mengarah keatas pada tanaman buncis. Terjadi warna tembaga-klorosis kuning;pada lemon tepi daun oranye-kuning dan terjadi klorosis; bercak yang berwarna cokelat pada daun jeruk; nekrosis pada kulit apel.
Alumunium (Al)	Gejalanya terjadi pada pucuk mirip kekurangan fosfor. Akar seringkali berganti-ganti / patah sehingga banyak terjadi pemendekan pada bagian yang

	melintangnya.
Boron (B)	Terjadi nekrosis (terlebih dahulu sering timbul bercak-bercak).
Fluor (F)	Menghanguskan ujung daun dan sisinya, memperluas wilayah terjadinya keracunan.

Nekrosis 1). Ggejala pada tanaman berupa matinya beberapa sel/bag/organ tanaman akibat serangan suatu penyakit atau hama (2). Kematian tanaman berhubungan dengan kehilangan klorofil dan kehilangan air pd seluruh atau sebagian organ tanaman

2.2. Dinamika Unsur-unsur Hara Mikro Dalam Tanah dan Tanaman

1. Gejala Kekurangan Besi (Fe)

Tanaman menyerap Fe dalam bentuk ion feri (Fe^{3+}) dan ion fero (Fe^{2+}) atau dapat diserap dalam bentuk khelate (ikatan logam dengan bahan organik). Mineral Fe dalam tanah yang berfungsi sebagai cadangan hara misalnya Olivin. Olivin $(Mg,Fe)_2Si0_3$, pirit FeS_3, siderit $FeCO_3$, gutit (FeOOH), magnetit (Fe_3O_4), hematite Fe_2O_3) dan ilmenit ($FeTiO_3$). Kadar Fe dalam tanah berkisar antara 10.000 ppm ($mgkg^{-1}$) sd 100.000 ppm (Knezek, 1980). Bila suasana tergenang atau disawahkan, maka suasana reduksi Fe(II) mendominasi senyawa Fe yang ada, pada tanah tegalan atau lahan kering, terjadi oksidasi pada tanah termasuk Fe(II) oksida hidrat menjadi Fe(III) oksida

hidrat sedangkan pada tanah basah/tanah pasang surut/gambut/rawa atau tanah basah lainya, reaksi asam Fe(III) kemungkinan dapat terbentuk $KFe_3(OH)_6(SO_4)$ atau mineral jarosit dan $NaFe_3(OH)_6$ (SO_4), natrojarosit) merupakan penciri tanah sulfat masam, dan $Fe_3(SO_4).9H_20$ (kokuinolit)

Meskipun Fe (III) dapat diabsorpsi oleh tanaman, tetapi dalam proses metabolisme ion Fe(II) yg aktif. Jadi walaupun kadar ion ferri banyak dalam jaringan tanaman, gejala kekurangan besi bisa saja timbul. Fungsi khusus dari hara Fe adalah mengaktifkan berbagai enzim: Katalase, peroksidase, sitokrom, oksidase, sintesa klorofil peptidilprolin hydrolase dan nitrogenase dalam fiksasi N, pentranspor elektron pada proses fotosintesis dan respirasi O_2 karier dalam N_2 fiksasi (*leghemoglobin in bacteria of legum roots*).

Kadar Fe pada jaringan tanaman yang umum adalah 50-250 ppm (mg kg^1) dinilai cukup. Kekurangan Fe dimulai dengan adanya gejala yang mula-mula pada daun muda, oleh sebab tidak dapat ditranslokasi ke bagian daun tua. Klorosis diantara tulang daun muda bergerak ke helaian daun akhirnya daun berwarna pucat/putih, pertumbuhan terhenti. Hampir menyerupai gejala kekurangan Mg, warna daun kekuning-

kuningan sedangkan warna tulang daun menjadi lebih gelap sehingga menjadi kontras. Tanaman yang tumbuh pada tanah-tanah berkapur atau alkali, atau tanah-tanah masam dengan pemupukan Fosfat berat, biasanya menampakan gejala kekuranan Fe. Di bawah ini beberapa tanaman memperlihatkan gejala kekurangan Fe (Nasih Wydia Yowono, 2003).

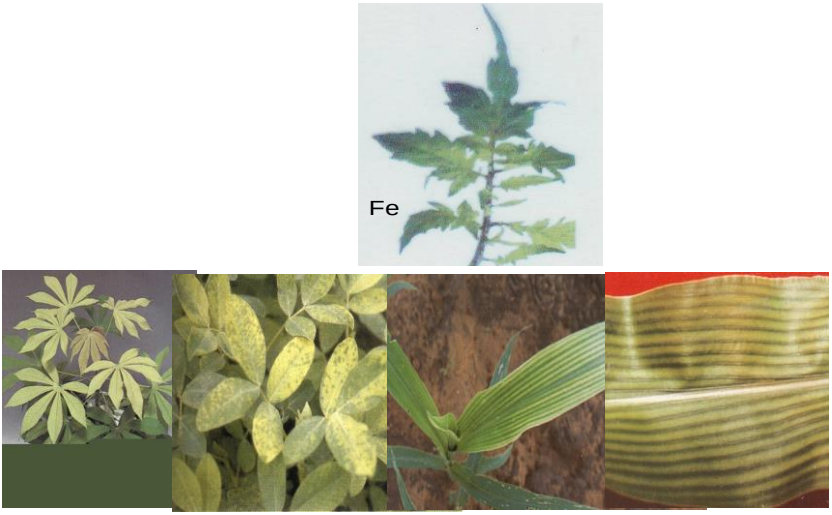


Foto 15. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Fe (4 Gambar bawah. Sumber : Nasih Widya, 2003).

Kekurangan Fe menghambat pembentukkan klorofil yang akhirnya proses fotosintesis terhambat. Sintesis protein menjadi terhambat begitupula aktivitas beberapa enzim

terhambat seperti cytokrome, katalase, peroksidase, dan nitrogenase. Akibat kekurangan Fe maka pertumbuhan tanaman terhenti, daun berguguran dan akhirnya mati yang dimulai dari pucuk (*die back*). Penyerapan lewat daun dianggap lebih cepat dibandingkan dengan penyerapan lewat akar, terutama pada tanaman yang kekurangan Fe, dengan demikian pemupukan lewat daun sering dianggap lebih ekonomis dan efisien.

2. Kekurangan Mangan (Mn) pada tanaman

- Pada kacang-kacangan tulang daun tetap hijau sedangkan area antar tulang daun kehilangan warna hijau lama-lama berubah jadi kuning.
- Pada tanaman gandum bagian tengah helai daun berwarna coklat kemudi-an patah.
- Pada tanah masam dengan kadar Mn tinggi, tanaman akan keracunan Mn daun mengkerut dan muncul bercak-bercak coklat.
- Kekurangan Mn menyebabkan pembentukan ribosom aktifasi polimerase, sintesis protein dan karbohidrat terganggu. Demikian pula enzim dekar-boksilase dan dehidrogenase serta IAA oksidasi terganggu.

- Defisiensi Mn mula-mula terlihat pada daun muda yang mengalami kloro-sis, lalu berwarna kuning cerah, daun sobek pada basalnya, akhirnya mati.
- Klorosis dimulai pada lembaran daun muda di antara tulang daun.gejala defisiensi Mn hampir sama dengan gejala yang ditunjukkan oleh tanaman yang kekurangan Mg.
- Titik kritis Mn utk kebanyakan tanaman berbeda berkisar antara 15 sampai 25 ppm. Kadar normal pada tanaman berkisar 20-500 ppm.

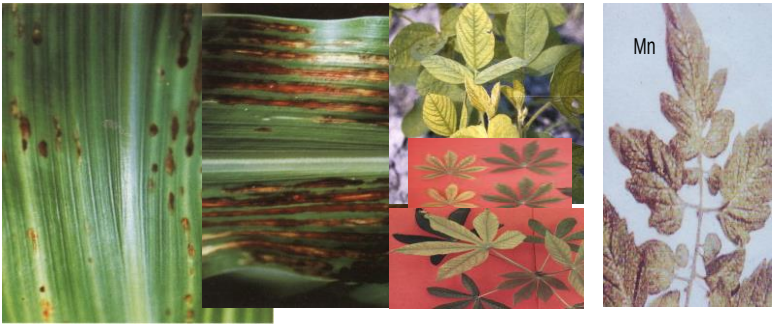


Foto 16 Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Mn, (4 Foto dari kiri sumber : Nasih Widya, 2003).

3. Gejala Kekurangan Boron (B)

- Kekurangan boron akan terganggunya pembelahan, perpanjangan, dan diferensiasi sel serta permeabilitas membran.

- Terhambatnya metabolisme asam nukleat, karbohidrat, protein, fenol dan auksin (Marschner, 1986) bahkan terhambatnya perkecambahan serbuk sari
- Pada tanaman umbi-umbian misalnya bit gula kekurangan boron menyebabkan pertumbuhan menjadi kerdil, jaringan-jaringan dari akar pecah dan memperlihatkan warna hitam (coklat hati*)/ black heart*

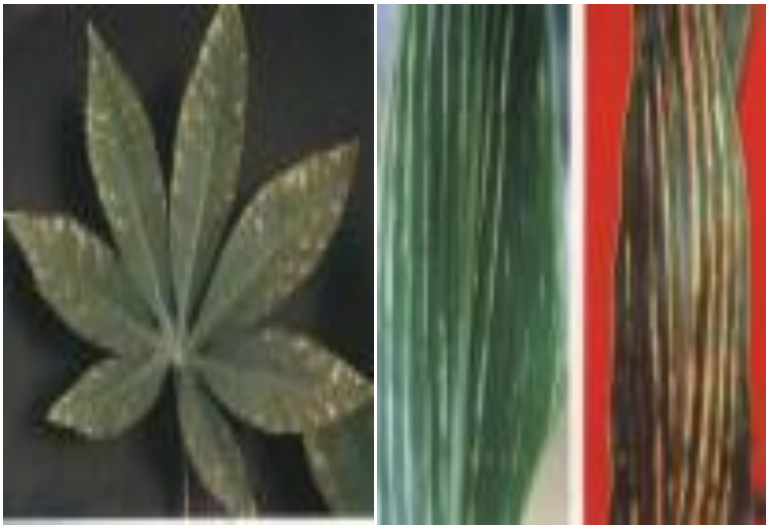
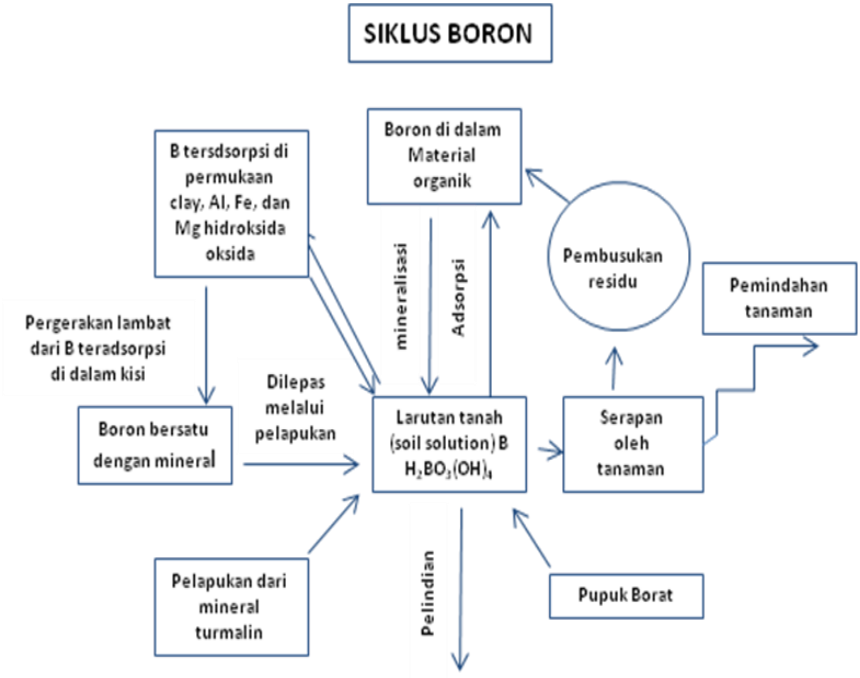


Foto 17. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Boron (Nasih Widya, 2003).

Pada sayuran daun bayam, selada, pucuk tanaman tumbuh tidak sempurna dan berwarna hitam. Pada jagung biji tidak tumbuh pada tongkolnya/kelobot



Gambar 2.1. Siklus Boron (B)

4. Gejala Kekurangan Seng (Zn)

- Kadar normal dalam bahan kering tanaman antara 25 –150 ppm, (Tisdale *et al*. 1995), sedangkan Mengel dan Kirkby (1987) menyatakan konsentrasi berkecukupan pada jaringan tanaman secara umum 20-70 ppm . Kadar Zn pada tanah berkisar antara 16-300 ppm.

- Kekurangan Zn terlihat pada daun muda, dimulai dengan menampakkan klorosis, diantara tulang-tulang daun yang muda diikuti berkurangnya pertumbuhan tunas dan memberikan gejala Rosset. Gejala Rosset adalah kelompok daun yang tumbuh berjejal rapat, ruas batang maupun cabang kurang berkembang, sehingga daun-daun berdesakan (memendek) sangat sukar menentukan urutan daun tua mudanya.

Foto 18. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Zn

- Daun-daun menjadi kecil sempit-sempit menebal bentuk tidak sempurna dan cepat gugur.

- Biasanya tanaman yang tumbuh pada tanah-tanah berkapur memperli-hatkan kekurangan Zn (Yoshida dan Tanaka, 1970). Pada tanaman padi kekurangan Zn memperlihatkan adanya *White bud*
- Kekurangan Zn maka akan terganggunya enzim-enzim enolase, aldolase, asam oksalat dekarboksilase, sistein desulfihidrase, histidin deaminase, superoksidase demutase (SOD), dehidrogenase, karbon anhidrase, proteinase dan peptidase serta terhambatnya pembentukkan pati.
- Kekurangan Zn menyebabkan terhambatnya pembentukan etanol, karena adanya penurunan aktivitas enzim dehidrogenase. Dalam enzim SOD, Zn bekerjasama dengan Cu membentuk Zn-Cu-SOD (Vaughan, 1982).
- Kekurangan Zn menjadikan sintesis RNA terhambat.
- Penyusunan etanol pada tanaman tingkat tinggi, terutama pada organ yang sedang melakukan meristematis yaitu pada ujung akar dan ujung tanaman.

5. Gejala Kekurangan unsur Molibdenum (Mo)

- Kekurangan Mo khususnya pada tanaman kacang-kacangan, akan menghambat aktivasi beberapa enzim diantaranya nitrogenase, nitrat reduktase, dan xantine

oksidase. Gejala yang timbul hampir menyerupai kekurangan N yaitu daun menjadi pucat dan mati.

- Jadi pada tanaman polong-polongan daun menjadi berwarna kuning pucat, pertumbuhan tertekan, fiksasi N terganggu asimilasi N rendah, reduksi NO_3^{-1} terganggu, sehingga sintesis asam amino dan protein rendah.
- Pada tanaman sayuran pertumbuhan tidak normal daun mengkerut dan kering
- Pada tanaman bunga kol (*cauliflower*) defisiensi Mo menyebabkan pem-bentukan benangsari berkurang.
- Gejala defisiensi Mo umumnya terdapat pada tanah masam. Pada tanah masam umumnya kadar Fe, MN, dan Al berlebih (toksis), oleh karena itu gejala defisiensi Mo sering bergabung dengan adanya gejala keracunan Al, Fe dan Mn.
- Tanah yang disawahkan menyebabkan peningkatan Mo dalm tanah hal ini disebabkan dilepaskanya Mo dari ikatan Fe(III) oksida menjadi Fe (II) oksida hidrat. Karena tersedianya Mo akibatnya tanaman padi seolah-olah tidak respon pada pemupukan Mo.
- Pada tanaman padi unsur mikro menjadi penting (Ponnamperuma,1967), karena :

1. Padi unggul yang diciptakan oleh balai penelitian umumnya menyerap Mo relatif cukup tinggi
2. Pemakaian pupuk dosis tinggi menyebabkan kebutuhan Mo yg seimbang harus tinggi pula
3. Pergantian pupuk ZA $(NH4)_2SO_4$ dengan Urea sering menyebabkan lebih tingginya keperluan Mo.

6. Gejala Kekuruangan Tembaga (Cu)

- Gejala kekurangan Cu (Foto 19) tanaman menunjukkan warna hijau muda, kekuningan pada daun muda, tepi daun

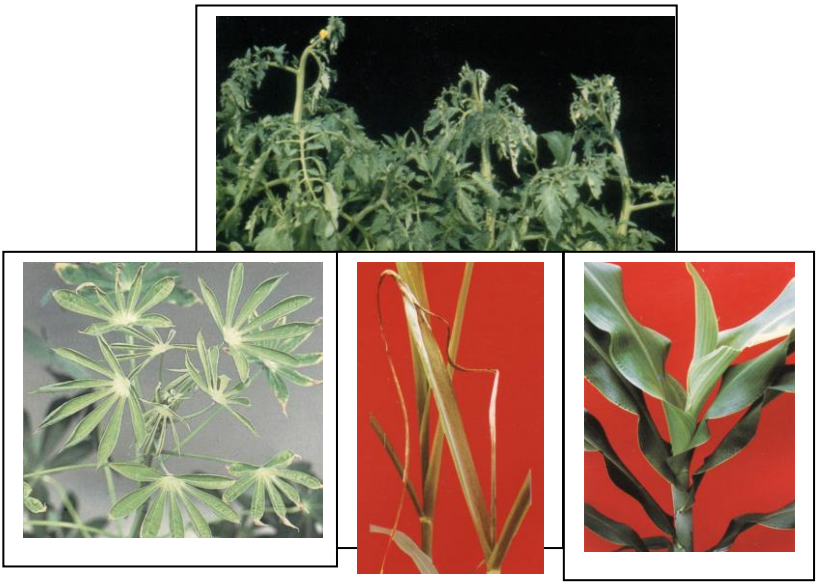


Foto 19. Tanaman yang Kekurangan Cu (Sumber : Nasih Widya,2003)

- menggulung, ujung daun kering, daun layu, menyebabkan pembentukan buah dan biji buruk. Contoh gejala kahat Cu pada tanaman tomat dan singkong (foto 19), juga defisiensi hara Cu pada jagung (Nasih Widya, 1990).

2.3. Dinamika Unsur-unsur Hara Makro

1. Nitrogen (N)

N paling banyak mendapat perhatian dan diteliti, hal itu karena:

a. Hanya sedikit di dalam tanah dan tidak terdapat dalam struktur mineral/batuan
b. Diperlukan tanaman dalam jumlah relatif banyak
c. Mudah hilang melalui pencucian (*leaching*) maupun Penguapan
d. Perlu pemupukan yang efektif

Bentuk N dalam Tanah dan Yang Diserap oleh Tanaman

a. Bentuk organik (98-99%)

   Senyawa-senyawa kompleks organik tanah: sisa-sisa tumbuhan/tanaman, hewan baik makro/mikro yang mati atau berupa sekresinya. N-organik meliputi: Asam-asam amino, protein, gula amino

b. Bentuk N-anorganik : NH_4, NO_3, N_2O, NO,N_2

c. N diserap oleh akar tanaman dalam bentuk NH_4^+, NO_3^-, kemudian di dalam tubuh tanaman diubah menjadi –N, -NH, $-NH_2$ (direduksi) yang akhirnya membentuk protein, asam-asam amino dan asam nukleat dapat juga diabsorpsi oleh tanaman tingkat tinggi

Peranan N Bagi Tanaman

a. Bagian penting pembentuk protoplasma yang diperlukan oleh tanaman
b. Sebagai pembentuk asam amino dan protein yang menentukan nilai gizi hasil panen
c. Membantu kelancaran proses fotosintesis dan pembentukkan klorofil sehingga menentukan zat hijau daun
   - Klorofil a ($C_{55}H_{72}O_6N_4Mg$ (hijau tua)
   - Klorofil b ($C_{55}H_{70}O_5N_4Mg$ (hijau muda)

Gejala-gejala kekurangan N pada tanaman:

Gejala kekurangan nampak pada daun yang tua, ujung-ujung daun tua mula-mula mengering, menjalar ke seluruh daun muda melalui ibu tulang daun, daun menjadi hijau pucat/klorosis dan akhirnya mengering, tanaman menjadi kerdil, contoh pada Gambar tanaman tomat yang defisiensi N di bawah ini:

Foto 20. Tanaman Tomat yang Kekurangan unsur Hara N (Koleksi Pribadi).

Tanaman Padi Kahat N Tanaman Padi Cukup N

Foto 21. Tanaman Padi Sawah Yang Kekurangan N

Gejala-gejala Kelebihan N pada Tanaman

- Pertumbuhan vegetatif berlangsung cepat (daun hijau tua)
- Memperlambat kematangan terutama bila unsur hara lain kurang dalam tanah

a. Tanaman muda menjadi sukulen sehingga sel-sel mengembung dan lemah, tanaman mudah terserang hama dan penyakit (protoplasma banyak mengikat air dalam sel vegetatif
b. Pada tanaman berserat, kelebihan N menyebabkan serat-serat menjadi lemah
c. Pada tanaman biji-bijian (serealia), kelebihan N dan kekurangan K tanaman menjadi mudah rebah
d. Pemupukan N berlebih menyebabkan kadar gula pada tebu dan bit menurun.

Dinamisasi N

Menurut Tisdale, Nelson dan Beaton, 1990) ada beberapa hal dari sifat-sifat N baik di dalam tanah maupun dalam tanaman, sebagai berikut:

a. Di lahan sawah bentuk NH_4^+ lebih stabil dibandingkan dengan NO_3^-
b. $NH4^+$ mudah teroksidasi membentuk $NO_3^{-,}$ sedangkan nitrat lebih mudah lepas pada kompleks jerapan yang dijenuhi muatan negatif (*refulsif anion*)
c. Tanaman-tanaman yang banyak membutuhkan NH^{4+} dalam arti lebih mudah menyerap NH^{4+} dibandingkan NO^{3-}, tanaman-tanaman itu diantaranya : golongan

serealia, jagung, bit gula, nenas, padi, rumput-rumputan, dll.

d. NH^{4+} bergerak mendekati permukaan akar banyak melalui proses aliran massa dan difusi
e. NO^{3-} banyak diperlukan oleh : kacang-kacangan, tomat, tembakau, dll
f. Tanaman-tanaman yang tidak toleran NO_3^-, diantaranya *blue berries*, beberapa kultivar padi
g. Ada beberapa tanaman yang tidak mampu mengubah $NO3^-$ menjadi persenyawaan N-organik, sedangkan NH_4^+ lebih cepat diubah menjadi gugus amino dari pada NO_3^-

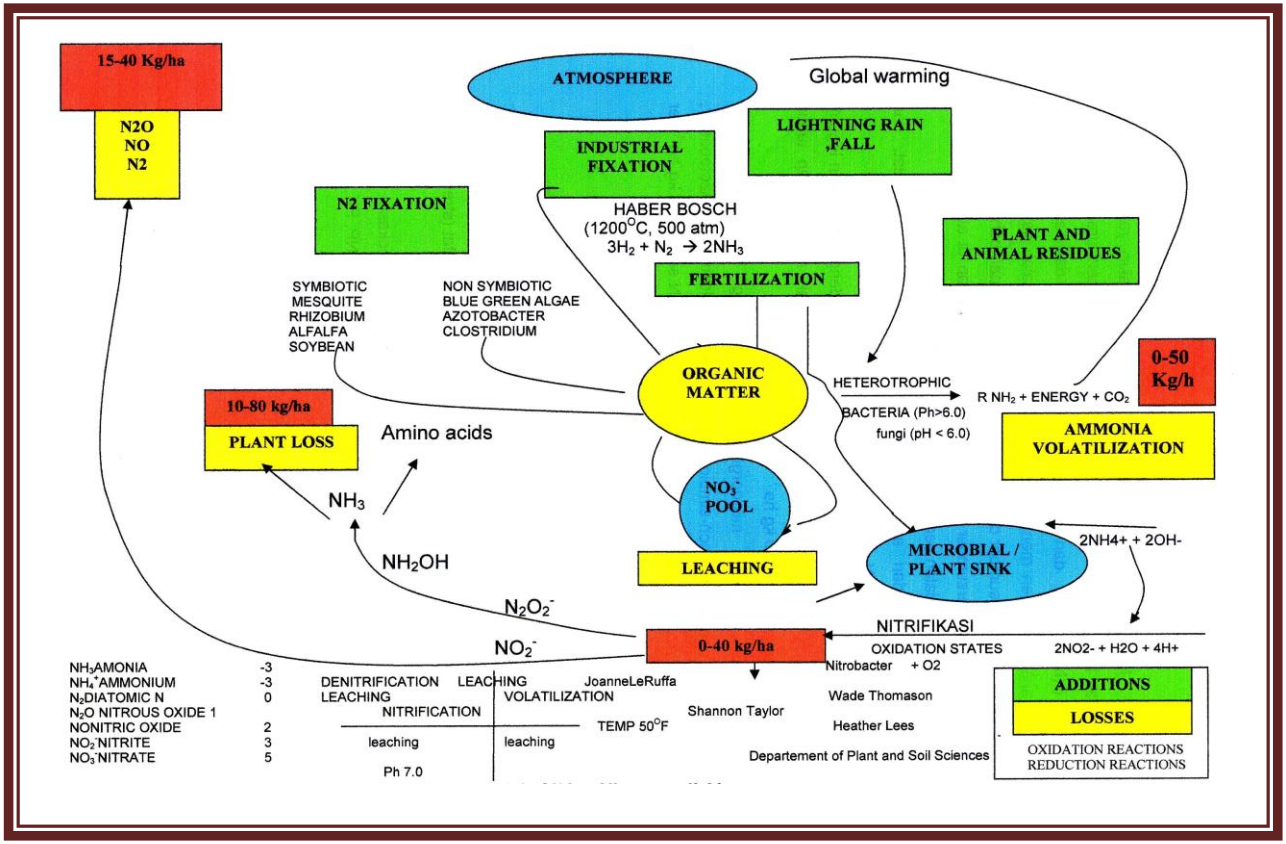
Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang ada dalam tanah, bagi tanaman Nitrogen bersumber dari pupuk buatan seperti urea ($CO(NH_2)_2$), ZA($(NH_4)_2 SO_4$), pupuk majemuk, pupuk organik dan pelapukan bahan organik. Nitrogen menarik untuk dipelajari, karena salah satu hara makro yang bukan bersumber dari mineral di dalam tanah. Penambahan N ke dalam tanah selain bersumber dari apa yang telah disebutkan di atas, yang tidak kalah penting adalah bersumber dari :

a. Fiksasi N dari atmosfir melalui bunga api listrik atau kilat, dan menghasi-lkan N sebesar 5-10 kg ha^{-1} per tahun
b. Fiksasi biologi melalui mikroorganisme simbiotik dengan tanaman legum, dan N yang dihasilkan masuk ke dalam tanah rata-rata tiap tahun sebanyak 50 – 200 kg ha^{-1}
c. Fiksasi N oleh mikroorganisme tanah yang hidup bebas atau mikroorganisme non-simbiotik seperti bakteri Clostridium, Azotobacter, dan Azospirillum rata-rata mampu menghasilkan N sebesar 5 kg ha^{-1} per tahun, yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

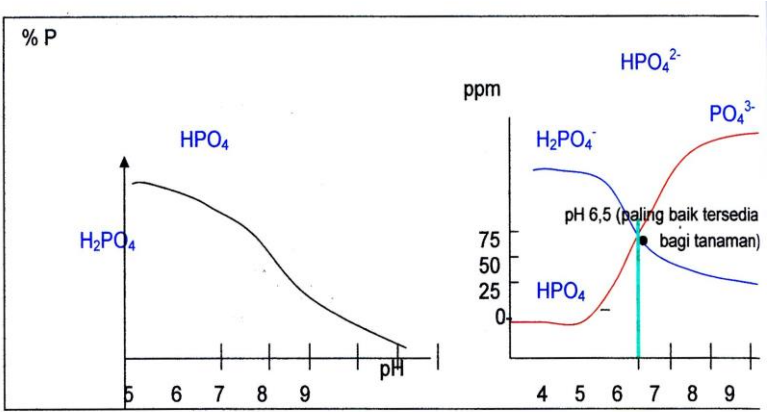
2. Fosfor (P)

A. Sumber-sumber P di dalam tanah bagi tanaman berasal dari:

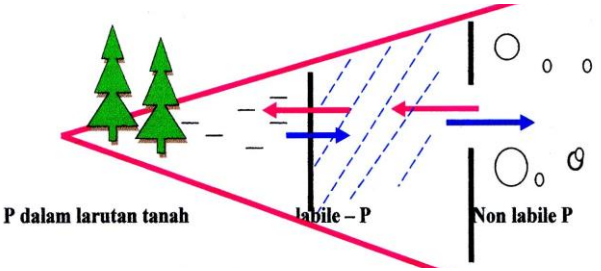
a. Mineral-mineral tanah yang mengandung P misalnya dari golongan Ca-Fosfat (Fluor apatit, hidroksi apatit, trikalsium apatit, dll), golongan Al-Fosfat (Varisit, K-taranakit, vivianit,dll), golongan Fe-fosfat (strengit,dll)
b. Dekomposisi dan mineralisasi–P dari bahan organik
c. Pupuk organik (pupuk hijau, pupuk kandang, kompos, bokashi, porasi,dll)
d. Pupuk kimia/pupuk buatan, seperti TSP, SP-36, pupuk NP, PK, NPK, dll



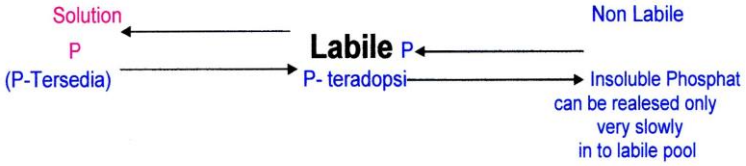
Gambar 2.2. Siklus Nitrogen



Gambar 2.3. Ketersediaan P dalam tanah sangat bergantung pada pH tanah.



Gambar 2.4. Gambaran dari 3 Fraksi P penting untuk nutrisi tanaman (Mengel dan Kirkby, 1987).



Gambar 2.5. P tersedia dan P teradsorpsi

Fosfor diserap tanaman dalam bentuk ortofosfat primer (H_2PO4^-), ortofosfat sekunder ($HPO4_2^-$), ortofosfat tersier (PO_4^{3-}), serta P-organik (fitin, inositol fosfat, dan fosfolipid). Fosfor sebelum diserap oleh tanaman, ketersediaan dalam tanah sangat bergantung pada pH tanah. Pada pH masam ketersediaan P dalam bentuk ortofosfat primer tersedia jauh lebih banyak bagi tanaman (Gambar 2.3).

Hal yang menarik dari kondisi P dalam tanah yakni dalam dinamika kesetimbangannya. Mengel Kirkby (1987) menggam-barkan bahwa kesetimbangan P dalam tanah berada diantara larutan P (*soil solution* P), P labil, dan P non labil. P non labil menggambarkan P yang tidak larut karena P berada dalam bentuk mineral, meskipun secara perlahan-lahan akan dilepas ke dalam bentuk P labi. P labil menggambarkan P yang teradsorpsi oleh kompleks jerapan yang kemudian akan menjadi P-tersedia dalam larutan tanah (*soil solution* P), hal itu dapat dilihat pada Gambar 2.4.

B. Fungsi P Untuk Tanaman

a. Mendorong pertumbuhan rambut-rambut akar dan pembelahan sel
b. Membantu pembentukkan nukleoprotein/penyusunan gen (DNA dan RNA)

c. Menyimpan dan memindahkan energi (transfer energi) dalam bentuk ADP dan ATP
d. Sebagai aktifator enzim (ATP-ase)
e. Sebagai penyangga dalam mempertahankan pH sel tanaman
f. Mempengaruhi pembentukkan lemak, dan albumin
g. Mempercepat pembentukkan bunga, memperbaiki kualitas buah dan biji

C. Gejala kekurangan P pada Tanaman

a. Pada tanaman muda terutama pada jagung maupun tomat memperlihatkan warna daun keunguan
b. Pertumbuhan akar, batang dan daun terlambat (tanaman menjadi kerdil)
c. Perkembangan rambut akar/akar halus terhambat
d. Proses pematangan buah terhambat dan tanaman yang kekurangan P ditunjukkan dari hasil analisis jaringan tanaman, kandungan P pada bagian pupus (*shoot*) secara umum adalah 0,3% sampai 0,5%.

Batas kritis P dalam jaringan tanaman jagung adalah 0,25%. Gejala kekurangan sering ditemukan pada awal pertumbuhan yang ditandai dengan ketidakmampuan

tanaman dalam mensintesis protein dan cenderung mengakibatkan terjadinya penimbunan gula pada bagian vegetatif serta menimbulkan akumulasi antosianin sehingga warna keunguan sesuai pada Foto 22 dan Foto 23 di bawah ini.

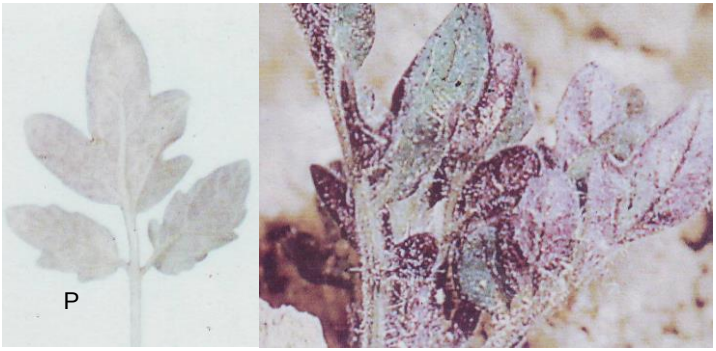


Foto 22. Tanaman Tomat Kahat Fosfor

Foto 23. Anakan Tanaman Padi Berkurang pada Tanaman Kahat Fosfor (Foto: Dobermann & Fairhust (2000).

D. Fiksasi dan Retensi P

Fiksasi P (jerapan P) oleh tanah menggambarkan perubahan fosfat yang terjadi selama kontak dengan tanah, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. P diikat secara fiksasi lebih kuat melebihi P yang diikat oleh proses retensi. P difiksasi terutama oleh liat silikat yang memiliki kelompok atau bagian OH terbuka seperti liat kaolinit, karena memiliki kemampuan besar untuk bergabung dengan ion fosfat. Mineral liat silikat akan memiliki kemampuan lebih besar untuk memfiksasi P bila rasio $SiO_2Al_2O_3$ (R=Fe dan Al) rendah. Fiksasi P termasuk pada jerapan positif, artinya jerapan terhadap anion (seperti $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-, SO_4^{2-}, dll) pada permukaan koloid yang bermuatan positif. Jerapan positif akan lebih kuat terhadap anion fosfat dibanding sulfat dan nitrat. Retensi P (penahanan P) oleh liat non kristalin atau amorf (alofan, imogolit, dll) lebih besar dan dapat diekstrak oleh larutan asam, fraksi P itu relatif lebih tersedia dibanding fiksasi P.

Faktor-faktor yang mempengaruhi retensi P di dalam tanah adalah:

1. Tipe mineral liat dan kandungan liat;

2. Koloid amorf, termasuk hidrous oksida Al dan Fe ($Al_2O_3.3H_2O$ (gibsit); $Fe_2O_3.H_2O$ (goetit) dan oksida-oksida Fe (Fe_2O_3 = hematit). Oksida Al dan Fe sering atau dominan dengan muatan positif dan dapat melakukan fiksasi P dengan kuat, melalui pertukaran anion.
3. Komplek yang jenuh (Sa*turation of the complex)*
4. Serapan H;
5. Bahan organik
6. *Sorption* dan adsorpsi;
7. Kalsium karbonat;
8. Temperatur;
9. Pengaruh kation (K^+, Na^+,Mg^{2+},Ca^{2+},dll) dan anion lain (NO_3^-, $H_2PO_4^-$,dll)

Pengaruh Pengapuran

Pengaruh pengapuran adalah untuk mengurangi fiksasi P yang seringkali sangat kecil, umumnya fiksasi P yang tinggi pada tanah masam dilakukan dengan pengapuran. Efek murni dari pengapuran terhadap P, hasilnya akan kacau karena kapur juga dapat memperbaiki efek lain seperti defisiensi Ca, keracunan Al dan ketidakseimbangan unsur mikro. Perbaikan faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan pengambilan P.

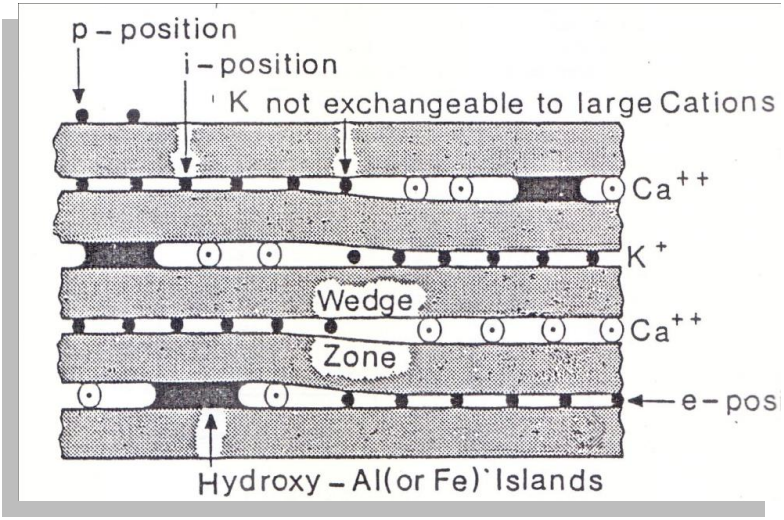
2. Kalium (*Potassium*)

Bentuk Kalium di dalam tanah dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk (Munson, 1985) :

a. Bentuk tidak tersedia. Bentuk ini terdapat dalam mineral-minerak primer. Jumlahnya 90-98% total K
b. Bentuk tersedia (*available potassium*). Terdiri dari K yang diadsorpsi (dijerap) oleh koloid liat dan humus dan bentuk K dalam larutan tanah. Bentuk pada poin b ini jumlahnya hanya 1-2%
c. Bentuk tersedia tapi lambat. Bentuk K ini tidak dapat dipertukarkan (Gambar 2.6., difiksasi oleh mineral liat.)

Gambar 2.6. di bawah ini menjelaskan kedudukan ion K dalam kaitanya dengan mineral liat tipe 2:1, tipe mengembang dan mengkerut cukup tinggi. Ion K memiliki ukuran di antara kisi-kisi mineral liat yang pas, sehingga tidak bebas keluar masuk.

Sumber K dalam tanah bagi tanaman berasal dari (a) pelapukan batuan/mineral primer seperti: feldsfar, mika, mikrolin/orthoklas ($KAlSi_3O_8$), muskovit $KAl_2(Si_3O_{10})(OH)_2$ dll, (b). pupuk buatan, (c). dekomposisi bahan organik/pupuk organik.



Gambar 2.6. Kedudukan ion K dalam Mineral liat tipe 2:1

Unsur hara K^+ lebih banyak di daerah perakaran atau mendekati akar, lebih besar melalui proses difusi dibandingkan melalui proses intersepsi dan aliran massa. Kalium (K) diserap tanaman dalam bentuk ion K^+,, K tidak merupakan unsur penyusun jaringan tanaman. Fungsi K bagi tanaman dalam membantu proses fisiologi yaitu dalam proses translokasi unsur hara, membantu aktivitas beberapa enzim, membantu dalam pembukaan stomata.

Gejala kekurangan unsur hara K pada tanaman menunjukkan adanya bercak nekrotik atau pinggir daun seperti terbakar, daun muda berwarna merah atau menjadi

setengah klorosis yang ditunjukkan dengan permukaan daun mengkilap. Foto 24 di bawah ini memperlihatkan tanaman tomat yang defisiensi K.

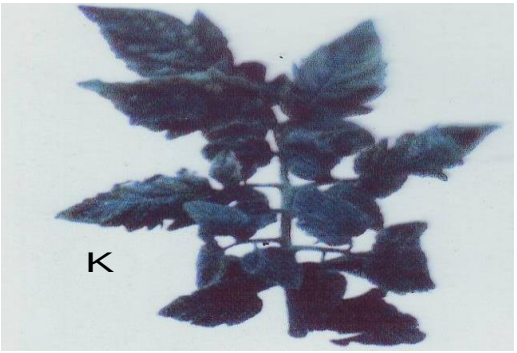


Foto 24. Tanaman Tomat yang Kekurangan Unsur hara K.

Menurut Huber (1985) permasalahan kompleks yang muncul adalah bahwa Kalium (K) erat hubungannya dengan terserangnya tanaman oleh penyakit. Pada tanaman yang kekurangan atau defisiensi kalium maupun kelebihan kalium akan mudah terserang oleh penyakit. Hal itu disebabkan, karena kalium memiliki peranan sangat besar dalam aktivasi beberapa enzim Di dalam tubuh tanaman. Huber dan Arny (1985) telah melaporkan adanya interaksi K dengan gejala serangan penyakit tanaman

(*Interaction of Potassium with Plant Disease).* Pada Tabel 2.4 di bawah ini ada beberapa informasi tentang pengaruh kekurangan dan kelebihan K, sehingga tanaman mudah terserang penyakit yang disebabkan oleh golong-an bakteri, fungi , virus dan nematode.

Tabel 2.4. Pengaruh Perubaan Kalium pada Penyakit karena Bakteri.

Host plant	Penyakit	Pathogen	Pemberian K	References
Padi (*Oryza sativa* L.)	Bacterial Blight	*Xanthomonas oryzae*	Dikurangi	Reddy dan Sridhar (1975)
Jagung (*Zea mays* L.	Stewart1s wilt	*Erwinia stewartii*	Dikurangi	Mohr (1955)
Tomat	Soft root	*Erwinia carotovora*	Dikurangi	Bartz et.al;(1979)
Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)	Angular leaft spot	*Xanthomonas sp*	Dikurangi	Rolfs (1915)
Mentimun *Cucumis sativus* L.)	Bacteriila wilt	*Erwinia tracheiphila*	Ditingkatkan	Wel dan Scheffer (1961)
Singkong (*Manihot esculenta* Crantz)	Bacterial Blight	*Xanthomonas manihotis*	Dikurangi	Odurukwe dan Arene (1980)
Tomat *Lycopersicon esculentum* Mill	Canker	*Corynebacterium michiganensis*	Ditingkatkan	Walker (1969)

Sumber *: Potassium in Agriculture*. Huber and Arny. 1985

Tabel 2.5. Pengaruh Potassium (K) pada Penyakit akibat FUngi

Host plant	Penyakit	Pathogen	Pemberian K	References
Padi (*Oryza sativa* L.)	Blast	*Pyricularia oryzae* Cav.	dikurangi	Noguchi and Sugawara (1966), Von Uexkuell (1966)
Jagung (*Zea mays* L.	Stalk rot	*Fusarium moniliforme* Sheldon	dikurangi	Liebhardt and Munson (1976)
Tomat *Lycopersicon esculentum* Mill)	Wilt	*Fusarium oxysporum*	dikurangi	Ellett (1973);Foster and Wolker (1947)
Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)	Seedling blight	*Rhizoctania solani* Kuenn	ditingkatkan	Blair and Curl (1974)
Soybean/kedelai *Glycine max* L. Merrill	Pod rot	*Diaphorte sojae* Lechman	dikurang	Crittenden and Svec (1974)
Kentang/potato (*Solanum tuberosum* L.)	Scab	*Streptomyces scabies*	ditingkatkan	Doyle and Maclean (1960)
Peanut/Kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.)	Pod rot	*Rhizoctania solani* Kuehn	ditingkatkan	Hallock and Garren (1968)
Bawang/onion (Allium cepa L.)	Purple blotch	*Alternaria porri*	ditingkatkan	Awad *et.al* (1978)
Citrus/jeruk (*Citrus sinensis*)	Brown rot	*Phytopthora parasitica*	ditingkatkan	Chapman and Brown (1942,1943)
Cowpea (*Vigna sinensis* Endl)	Damping-off	*Rhizoctania solan*i Kuehn	ditingkatkan	Kataria *et.al* (1981)
Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)/Tebu	Eye spot	*Helminthosporium sacchari*	ditingkatkan	Lee and Martin (1928)

Sumber : *Potassium in Agriculture*. Huber and Arny. 1985

Tabel 2.6. Pengaruh Potassium (K) pada Penyakit karena Virus.

Host plant	Penyakit	Pathogen	Pemberian K	References
Tomat *Lycopersicon esculentum* Mill)	Blotchy ripening	Tobacco mozaic virus	Dikurangi	Jones and Alexander (1958)
Kentang/potato (*Solanum tuberosum* L.)	Leaf roll	Potato Leaf roll virus	Dikurangi	Quelhas (1979)
Oats (*Avena sativa* L.)	BYD	Barley Yellow dwarf virus	ditingkatkan	Thompson and Ferguson (1980)
Soybean/kedelai*Glycine max* L. Merrill	Mosaic	Tobacco mosaic virus	Dikurangi	Panzer (1957)
Tobacco	Mosaic	Tobacco mosaic virus	Dikurangi	Spencer (1935), Allington and Laird (1954)

Sumber *: Potassium in Agriculture*. Huber and Arny.

Tabel 2.7. *Influence of Potassium (K) on diseases caused by Nematoda*

Host plant	Disease	Pathogen	K effect	References
Soybean/kedelai*Glycine max* L. Merrill	Root knot	*Meloidogyne incognita*	Increase	Ismail dan Saxena (1977)
Beet, sugar (*Beta vulgaris* L.*)*	Nematode	*Heterodera schactii*	decrease	Chester (1942)
Tomat *Lycopersicon esculentum* Mill)	Root knot	*Meloidogyne incognita*	Increase	Ismail and Saxena (1976)
Tomat *Lycopersicon esculentum* Mill)	Reniform nematode	*Rotylenchulus reniformis*	Increase	Rodriquesz, Fuentes and Perdomo (1981)
Cotton (*Gossypium hirsutum* L.)	Reniform nematode	*Rotylenchulus reniformis*	decrease	And Elgindi (1976)
Rice (Padi) (*Oryza sativa* L.)	White tip	*Aphelenchoides oryzae* Yookoo	Increase	Von Uexkuell (1979)

Sumber : *Potassium in Agriculture*. Huber and Arny. 1985

Magnesium (Mg)

Sumber Mg dalam tanah untuk tanaman berasal dari : (a). Mineral-mineral kelam/hitam seperti: biotit ($KAl(Mg\ Fe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$), augit ($Ca_2(AlFe)_4\ (MgFe)_4Si_6O_{24}$), hornblende (Ca,Mg,Fe,Al silikat), amfibol, garam $MgSO_4$, biotit, talk ($Mg_3Si_4O_{14}(OH)_2$, kapur kalsit ($CaCO_3$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$). Mg sebelum diserap oleh tanaman lebih banyak tersedia di daerah permukaan akar melalui proses intersepsi. Mg diserap tanaman dalam bentuk Mg^{2+}, Mg bagi tanaman berfungsi sebagai pembentukkan klorofil (zat hijau daun), aktivator enzim, untuk pembentukkan minyak. Pada perkebunan besar kelapa sawit, kelapa hibrida banyak yang mempergunakan pupuk magnesium (kieserite=$MgSO_4.H_2O$) dalam kelengkapan pupuknya (Setyamidjaja, 1986). Defisiensi hara Mg pada tanaman tomat dapat terlihat pada Foto 25.

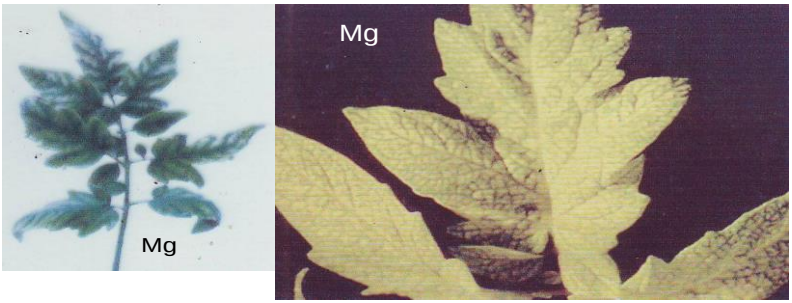


Foto 25. Defesiensi hara Mg pada tanaman Tomat. Koleksi pribadi).

3. Sulfur atau Belerang (S)

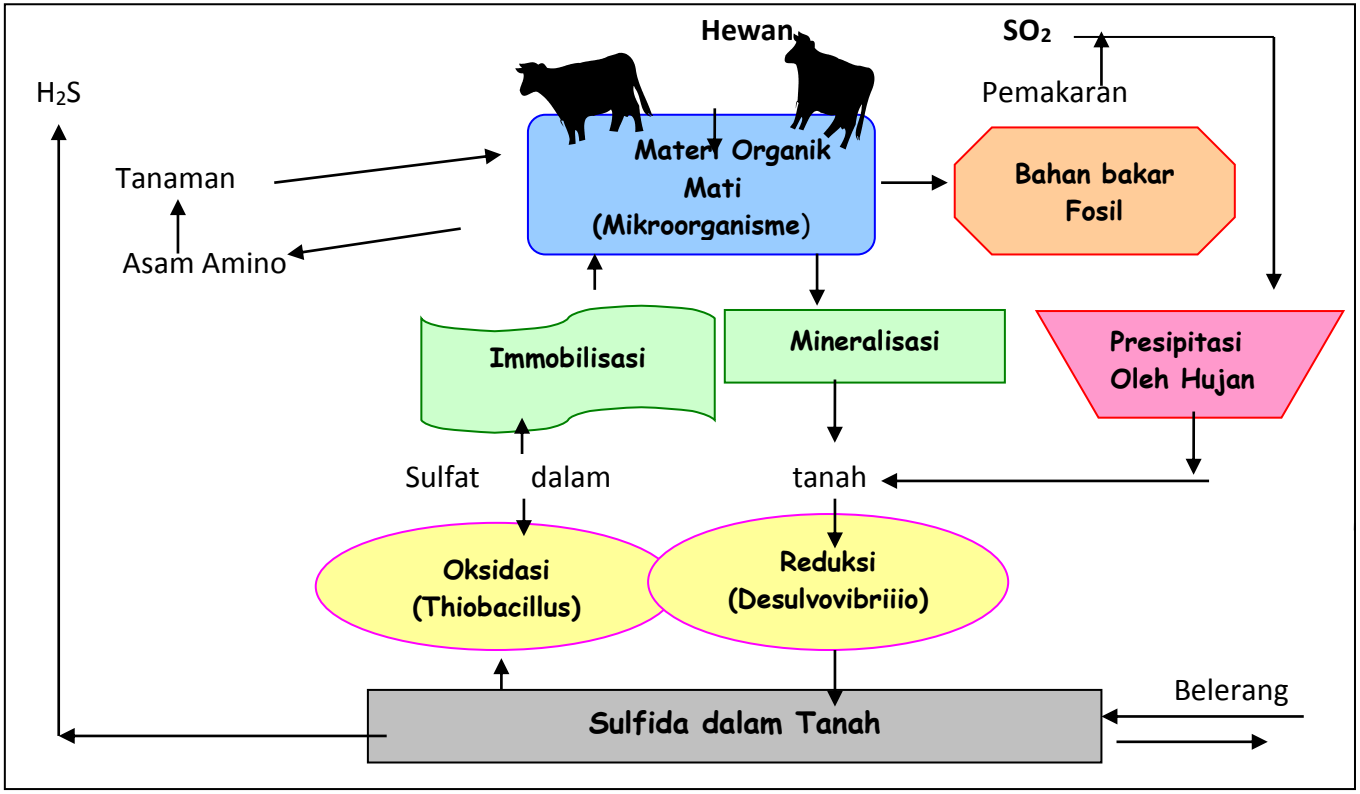
Sulfur (S) diserap oleh tanaman dalam bentuk anion SO_4^{2-}, fungsi sulfat bagi tanaman antara lain :

- untuk sintesis asam amino dan protein
- sebagai aktivator enzim seperti papainase
- untuk sintesis vitamin (thiamin dan biotin) dan koenzim A
- untuk pembentukkan minyak glikosida dan pembentuk gugus sulfihidril, khususnya untuk bawang merah dan bawang putih sangat memerlukan sulfur.

Gejala kekurangan S pada tanaman

- klorosis pada semua bagian tanaman, mirip gejala kekurangan N
- gejala kekurangan nampak pertama dari daun muda bergerak ke daun tua, karena S bersifat mobil pada tanaman

Pada Gambar 2.7. siklus belerang (siklus sulfur), komponen an-organik dari belerang tanah adalah bentuk sulfat dan hanya menyusun sebagian kecil dari keseluruhan kandungan S dalam tanah. Belerang terikat dalam bentuk organik di dalam protein yang berasal dari lapukan tanaman, hewan dan di dalam protoplasma mikroorganisme dalam



Gambar 2.7. Siklus Belerang (Sulfur)

menghasilkan H_2S. Ada beberapa jenis mikroorganisme yang terlibat dalam siklus belerang, golongan pengoksidasi belerang, misalnya *Thiobaccilus thiooxidans*, Beggiatoa, Thiothrix dan Thioplaca, ada juga golongan jamur dan aktinomycetes seperti Aspergillus, Penicillium, Microsporeum. Subba Rao (1986) lebih jauh menjelaskan bahwa Thiobacillus, merupakan bakteri sulfur yang paling istimewa, karena menghasilkan asam sulfat apabila unsur belerang ditambahkan ke tanah sehingga pH tanah dapat turun sampaiserendah 2,0 setelah terinkubasi oleh bakteri itu. Menurut penulis, pupuk hayati yang mengandung bakteri pengoksidasi S, akan lebih baik diterapkan pada tanah-tanah basa yang akan dipergunakan untuk pengembangan tanaman pangan maupun perkebunan sampai dapat menstabilkan pH tanah pada batas yang diharapkan oleh tanaman itu. Pada Gambar 2.5, golongan bakteri pereduksi sulfat misalnya *Desulfovibrio desulfuricans* bersifat an-aerob obligat mampu mereduksi sulfat an-organik menjadi hidrogen sulfida (H_2S), hal itu akan mengurangi ketersediaan belerang bagi tanaman, sehingga mempengaruhi tingkat produksi tanaman.

2.4. Interaksi Unsur Hara dalam Tanah dan Tanaman

bentuk asam amino yang mengandung S misalnya sistin dan metionin dan vitamin B (Subba Rao,1986).

Perubahan bentuk S-organik menjadi S an-organik yang diperantarai oleh mikroorganisme disebut proses mineralisasi, sulfat yang dihasilkan dilepaskan dan merupakan bentuk yang dapat diserap oleh tanaman (SO_4^{2-}). Kebalikanya adalah proses immobilisasi, proses ini merugikan bagi tanaman, karena yang seharusnya sulfat tersedia bagi tanaman malah diambil oleh mikroorganisme untuk metamolisme hidupnya, bentuk S yang dihasilkan tidak berguna bagi tanaman, hal itu biasanya sangat bergantung pada imbangan C/N rasio material organiknya. Dalam keadaan an-aerob mikro-organisme tertentu.

Suatu fungsi fisiologis dari suatu unsur hara dan mekanisme penyerap-annya dari tanah, tidak dapat dipelajari dan terinterpretasikan secara terpisah dari unsur-unsur hara lainnya. Kemampuan biologis optimum dari unsur hara mikro dalam jaringan tanaman terjadi dalam suatu lingkup konsentrasi tertentu. Menurut Allaway (1968) alasan utama mempelajari dan meng-evaluasi interaksi unsur hara mikro adalah untuk meningkatkan pengetahuan praktek agronomi

serta mengendalikan konsentrasi dari unsur hara lainnya dalam tanaman.

Interaksi antara unsur hara diartikan sebagai:

(1). Suatu pengaruh, saling mempengaruhi dari satu unsur hara terhadap unsur hara lainnya dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman

(2). Perbedaan respon suatu unsur dalam kombinasi dengan unsur kedua yang dipergunakan secara bersamaan, yaitu dua unsur disatukan untuk menghasilkan suatu pengaruh tidak hanya terjadi pada salah satunya (pengaruh negatif).

Interaksi antara unsur hara yang menguntungkan menghasilkan pertumbuh-an tanaman lebih baik dan lebih sehat. Akan tetapi diagnosis pada tanaman di lapangan akan lebih kompleks, jika lebih dari satu unsur hara defisiensi (kahat) atau terjadi defisiensi satu unsur hara diikuti keracunan (toxic) unsur hara lainnya (Marschner, 1986). Diagnosis akan lebih rumit munculnya serangan hama dan penyakit dalam interaksi unsur hara, manakala kelebihan (keracunan) maupun kekurangan hara terjadi di dalam tanaman. Hal itu salah satu penyebab rendahnya hasil tanaman, apabila pemberian pupuk maupun pemberian

nutrisi pada tanaman dengan takaran atau konsentrasi yang tidak tepat, hal itu pula sebagai salah satu kesulitan bidang pertanian dalam menghitung efisiensi pemupukan yang benar dan tepat.

Menurut Marschner (1986) interaksi antara unsur-unsur hara dalam tanaman bersifat spesifik dan non spesifik. Sebagai contoh interaksi non spesifik terjadi pada kandungan N dan P tanaman araukaria, hasil penelitian Richards dan Bevege (1969) menunjukkan bahwa level kritis defisiensi/kahat N meningkat sejalan dengan peningkatan kandungan P dalam tanaman dan sebaliknya. Interaksi non spesifik terjadi untuk unsur hara yang ada dalam level kekurangan atau mendekati kritis kahat. Contoh interaksi spesifik, kompetisi antara K^+ dengan Mg^{2+} pada level selular, yang menimbulkan resiko

K mendorong kahat Mg. Unsur K diganti dengan Na pada spesies Natrofilik. Interaksi spesifik sangat penting dalam evaluasi level kritis kahat. Level kritis Mn berbeda tidak hanya antara spesies dan kultivar dalam satu spesies, akan tetapi pada kultivar yang sama bergantung pada suplai silikon. Pada daun kacang, level kritis keracunan Mn dapat meningkat dari 100 mg kg^{-1} berat kering tanpa silikon, menjadi sekitar 1000

mg kg^{-1} berat kering dengan adanya silikon (Si) (Horst dan Masrchner, 1978). Contoh interaksi lainnya adalah pada tanaman legum yang tumbuh subur pada tanah masam dengan pengapuran, pertumbuhan menjadi normal, karena adanya peningkatan ketersediaan unsur hara molibdenum (Mo), dan pengaruh menguntungkan lainnya terhadap ketersediaan hara lainnya. Di bawah ini akan dikemukakan interaksi yang terjadi antara unsur hara mikro dan makro, diantaranya :

a. Interaksi Zn dan P

Interaksi unsur hara mikro dan makro dalam sistem tanah dan tanaman, dapat terjadi antara unsur hara Zn dengan Fosfor (P). Interaksi menunjukkan bahwa P mempengaruhi defisiensi Zn. Menurut Mortvedt *et.al* (1972) ada empat kemungkinan terjadi interaksi antara unsur hara mikro Zn dengan unsur hara makro P, yakni (i) interaksi P-Zn dalam tanah; (ii). Tingkat translokasi Zn pada tanaman yang lambat dari akar ke pucuk; (iii). Pengaruh dilusi (*dilution effect*) yang sederhana pada konsentrasi Zn dalam pucuk bergantung respon pertumbuhan dari P; (iv). Kelainan metabolik dalam sel tanaman berhubungan dengan

ketidakseimbangan antara P dan Zn, atau adanya konsentrasi berlebih dari P dapat mengganggu fungsi metabolik Zn pada tempat-tempat tertentu di dalam sel tanaman. Pada kasus terakhir konsentrasi Zn bukan merupakan sebab langsung dari kelainan pertumbuhan.

1. Interaksi di dalam tanah

Hasil studi terdahulu menyatakan bahwa, penyebab interaksi P-Zn tidak diduga menjadi pembentukkan $Zn_3(PO_4)_2$ yang tidak larut dalam air di dalam tanah, yang mengurangi konsentrasi Zn dalam larutan tanah pada tingkat defisiensi. Hasil kajian terdahulu, menunjukkan bahwa $Zn_3(PO_4)_2$ merupakan sumber Zn yang baik untuk sorghum (Boawn *et.al*, 1957 dalam Mortvedt *et.al*, 1972) melaporkan suatu daya larut $Zn_3(PO_4)_2$ 1, 2, dan 3 ppm Zn pada suhu 25^o C dan pH 6,7. Sebagai sumber Zn untuk sorghum dalam pot rumah kaca $Zn_3(PO_4)_2$ sama dengan ZnO, $ZnCO_3$ dan $ZnSO_4.7H_2O$ pada tanah lempung berpasir Ritzville. Daya larut Zn dalam tanah pada tingkat defisiensi pupuk P, adalah sesuai dalam hubunganya dengan P, mendorong defisiensi Zn pada tanaman.

2. Pengaruh pada translokasi

Pada beberapa kasus penggunaan P dapat mempengaruhi gejala defisiensi Zn di bagian permukaan tanah dari tanaman dan menurunkan total penyerapan Zn.

3. Pengaruh dilusi (Efek pengenceran)

Saat tingkat pertumbuhan tanaman melebihi tingkat penyerapan terhadap hara tertentu, konsentrasi hara dalam jaringan berkurang atau terdilusi dalam jaringan tanaman. Umumnya interaksi itu terjadi saat tanah mengalami defisiensi P. Interaksi P-Zn bergantung pada keseimbangan dari dua faktor: peningkatan dalam hasil dan konsentrasi Zn di bagian atas tanaman.

4. Distribusi Zn antara akar dan bagian atas tanaman

Wawasan berkenaan dengan mekanisme P yang dapat menimbulkan defisiensi Zn dengan memperhatikan distribusi Zn antara akar dan bagian atas dari tanaman. Carrol dan Lorenagan (1968) telah mengukur distribusi Zn antara akar dan bagian atas untuk empat legum yang tumbuh dalam sistem kultur yang mengalir melalui satu lingkup konsentrasi Zn. Tanaman yang mengandung 35% total penyerapan Zn dalam akar, saat pertumbuhan dibatasi oleh defisiensi Zn

dibandingkan dengan 18% dalam suplai optimum dari Zn. Percobaan rumah kaca lain melaporkan, konsentrasi dan penyerapan Zn oleh tanaman jagung sebagai tingkat dari P yang bertambah pada tanah lempung berdebu Anselmo, pH 7,9 konsentrasi dan penyerapan Zn oleh akar bertambah dengan P yang digunakan, dimana konsentrasi dan penyerapan dalam daun, noda dan internoda menurun. Hal itu kemungkinan antagonis antara P-Zn didalam akar.

5. Pengaruh Fisiologi

Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa P berpengaruh dengan penggunaan Zn oleh tanaman, akan tetapi metabolik khusus atau mekanisme fungsional belum dikemukakan secara detil. P menimbulkan Zn biasanya terjadi ketika kenaikan P dilakukan. Seperti yang telah dibuktikan oleh Stuckenholtz *et. al* (1966) perubahan besar dalam konsentrasi Zn di daun, noda, internoda dari tanaman jagung dengan 5 ppm dari P yang digunakan $Ca(H_2PO_4).2H_2O$. Jagung menahan banyak P dalam jaringanya. P dapat dipengaruhi oleh beberapa fungsi metabolik dari Zn dalam sel tanaman. Brown dan Brown (1968) dalam Mortvedt *et.al* (1972) menemukan bukti pada tanaman buncis dan kentang, P

menimbulkan gejala defisiensi Zn tanpa menyebabkan penurunan konsentrasi Zn pada shoot (bagian atas tanaman). Percobaan menunjukkan terhalangnya penyerapan ion transport dalam akar sebagai faktor penyebab. Apakah hubungan sebab akibat P-Zn, karena P menon-aktifkan beberapa enzim berkaitan dengan Zn.

b. Interaksi Zn dan Nitrogen (N)

Ozane (1955) menemukan suatu peningkatan defisiensi Zn yang besar dalam tanaman semanggi pada saat suplai N bertambah. Konsentrasi Zn dalam akar berhubungan dengan presentase protein N

Adanya suplai N berlebih menyebabkan Zn menjadi bertahan dalam akar sebagai kompleks protein-Zinc (protein-Zn). Tertahannya Zn yang besar dalam bagian akar menyebabkan defisiensi Zn dalam bagian atas tanaman dan diperumit oleh pengaruh pH tanah. Sedikit diketahui Informasi interaksi Zn-N pada tanah dan tanaman menarik dan perlu untuk dikaji.

c. Interaksi Besi (Fe) – Fosfor (P)

Tidak seperti Zn, defisiensi Fe pada tanaman sulit untuk diperbaiki melalui penggunaan garam an-organik. Beberapa khelat sintesis seperti FeEDDHA dapat mensuplai Fe pada

tanaman secara efektif, namun cukup mahal. Fosfor sering terlibat dalam interaksi dengan nutrisi Fe dari berbagai varietas tanaman, hanya sedikit yang diketahui mengenai mekanisme interaksi itu. Fosfor berlebih dapat menonaktifkan Fe dalam tanaman kacang kedelai. Pada saat konsentrasi P tinggi dalam larutan tanah dapat menimbulkan klorosis Fe. Percobaan Mortvedt (1972) menunjukkan bahwa interaksi Fe dan P membawa pada klorosis Fe disebabkan oleh suatu immobilisasi internal dari Fe mungkin karena pembentukkan Fosfat-Fe. Tanaman menunjukkan klorosis Fe ditekan oleh tingklat P yang tinggi. Secara umum menunjukkan konsentrasi Fe dalam jaringan, akan tetapi rasio P/Fe lebih tinggi dalam tanaman klorosis. Informasi seperti itu menunjukkan bahwa kapasitas dari tanaman untuk menyerap dan menahan mobilitas Fe dalam larutan menjadi kurang saat konsentrasi P dalam tanaman meningkat. Percobaan lain menunjukkan bahwa konsentrasi Fe dan P dalam akar tomat dalam larutan hara menjadi 8 sampai 10 kali lebih tinggi dari bagian atas. Hal itu ditafsirkan menjadi berarti bahwa fosfat Fe mengendap pada atau di dalam akar. Menurut hemat penulis, Tanaman memiliki sifat akumulatif terhadap serapan hara dan hara akan diakumulasikan pada jaringan tanaman tertentu, dan setiap

tanaman memiliki sifat yang berbeda-beda dalam pengakumulasian unsur hara, itu menunjukkan karena faktor genetis yang berbeda. Morvedt (1972) menyatakan bahwa konsentrasi P yang tinggi menghambat pergerakan Fe dalam tanaman. Penghambatan lebih besar saat tanaman tumbuh pada pH 7 atau lebih dibandingkan dengan nilai pH yang rendah.

2.5. Unsur-Unsur Hara Berfaedah/Bermanfaat

1. Klor (Cl)

Gejala kekurangan Cl (klor)

- Pertumbuhan tidak normal, terutama pada tanaman gandum, kapas dan mungkin kelapa serta tanaman yang tumbuh dekat pantai
- Pada tanaman Kultur jaringan kekurangan Cl perkembangan akar akan tertekan
- Kadar Cl pada tanaman berkisar antara 0,2-2% ditetapkan jadi unsur essensial untuk tanaman kelapa/kelapa sawit
- Kadar Cl yang terbaik pada tanaman 340-1200 ppm
- Titik kritis Cl pada tanaman berkisar antara 70-100 ppm, keracunan Cl pada tanaman menyebabkan daun dan pinggiran daun seperti terbakar.

- Cl dianggap antagonis dengan nitrat dan sulfat, pemupukan N dengan pupuk nitrat menyebabkan penyerapan Cl berkurang. Tetapi dengan pemupukan ZA

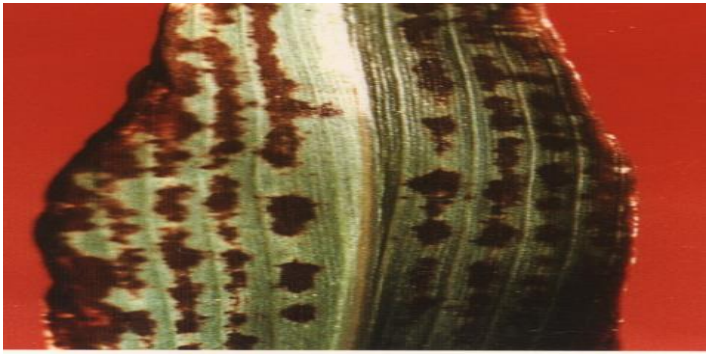


Foto 26. Tanaman yang Kekurangan Unsur Hara Cl (Nasih Widya,1990).

- ()Zwavel zuur Amonium) penyerapan Cl meningkat
- Kekurangan maupun kelebihan Cl maka permeabilitas sel tanaman, turgor sel, tekanan osmosis sel serta tata air sel akan terganggu. Cl dapat mencegah kehilangan air yang tidak seimbang.
- Di sisi lain Cl dapat pula memperbaiki penyerapan ion lain misalnya ion K dan Ca.
- Gejala defisiensi Cl adalah akar tanaman tidak dapat berkembang dengan baik daun muda mengalami becak klorosis atau nekrosis.

- Unsur hara mikro Cl ditemukan oleh T.C. Broyer, *et al.* 1954.

2. Silikon (Si)

- Pada tanaman padi kadar Si tinggi, dan melebihi unsur hara makro N, P, K, Ca, Mg dan S.
- Bila tanaman padi kadar SiO_2 nya kurang dari 5% maka tegakan tanaman tidak kuat dan mudah roboh, dalam istilah Sunda ayeuh.
- Robohnya tanaman menurunkan produksi, sehingga pemupukan Si harus dilakukan pada tanaman padi karena akan menguntungkan.
- Di sisi lain bila tanaman padi kekurangan Si, maka resistensi terhadap serangan hama penyakit berkurang serta transpirasi sangat terganggu.
- Penyebaran Si pada tanaman dipengaruhi oleh spesies tanaman, pada tanaman yg mengandung Si rendah, maka Si pada bagian atas maupun bawah sama, misalnya pada tanaman tomat dan sawi. Sedangkan pada tanaman Clover (makanan ternak , legum) Si lebih banyak pada akar.
- Berdasarkan kemampuan menyerap Si tanaman dibagi menjadi 3 golongan:

1. Gramineae basah seperti padi sawah dan mendong menyerap SiO_2 sekitar 10%-15%
2. graminea kering seperti tebu dan rerumputan sekitar 1%-3%
3. tanaman dikotil dan legum hanya 0,5%

Si merupakan unsur hara yg tidak penting bagi tanaman, tetapi sering meningkatkan produksi tanaman.

3. Natrium (Na)

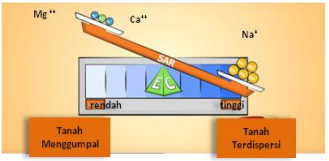
Sampai saat ini unsur hara Na bukan merupakan kategori unsur hara essensil, akan tetapi unsur hara ini sangat diperlukan oleh sebagian tanaman meskipun dengan konsentrasi yang berbeda-beda dan bergantung pula pada genetik tanaman.

Menurut Nasih Widya (2011) pengaruh baik Na pada pertumbuhan tanaman nampak bila kadar K relatif rendah pada konsentrasi K yang rendah, pemberian Na akan meningkatkan produksi tanaman, sedangkan pada konsentrasi K yang tinggi pemberian sedikit Na menurunkan produksi. Pengaruh Na sering tidak bersifat langsung terhadap tanaman, sifat antagonistik Na terhadap unsur hara lain. Bila Na

terdapat dalam jumlah besar, akan menyebabkan penyerapan K terhambat. Dalam keadaan tertentu pada tanaman serealia dan tanaman pertanian lainnya, bila kekurangan K fungsinya dapat diganti oleh Na, padahal Na tidak dapat mengaktifkan enzim sebagaimana yang dilakukan K. Penggantian K oleh Na mungkin hanya dalam proses yang khusus yaitu fungsinya menjaga turgor sel.

Gambar 2.8 menjelaskan bahwa, saat ertentu kondisi tanah akan mengan-dung ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} seimbang dengan kanungan ion Na^{+}, hal ini menyebabkan tanah dalam kondisi stabil, tetapi suatu saat akan mengalami kondisi kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih kecil dari kandungan ion Na^{+} maka dan akan lebih berat ke Na^{+} maka tanah akan terdispersil, dan bila kondisinya adalah kandungan kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih besarl dari kandungan ion Na^{+} maka dan akan lebih berat ke $Ca2^{+}$ maka tanah akan menggumpal, dan bila kondisi nilai EC-nya menurun dengan kandungan ion ion sebanding maka tanahpun akan neggumpal, sebaliknya bila kondisi nilai EC-nya meningkat maka tanah akan terdispersi.

Tidak stabil struktur tanah terutamayang berstekstur halus (tanah liat)

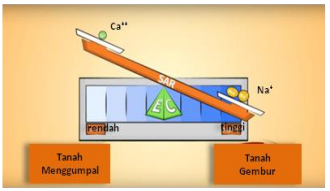


Tanah mengandung ion Na^+ lebih banyak dari Ca^{2+} dan Mg^{2+} tanah akan terdispersi

Tanah liat tergantung pada nilai SAR

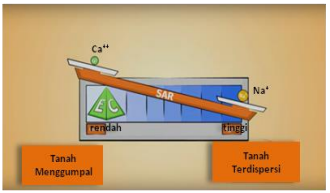
Tanah mengandung ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} tinggi dari Na^+ tanah akan terdgumpal

Tanah tergantung pada nilai SAR dan jumlah garam



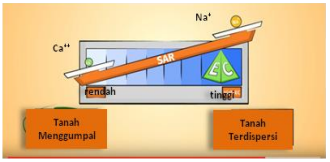
Tanah mengandung ion Na^+ tinggi dari ion Mg^{2+} dan Ca^{2+}, tanah akan terdispersi

Tanah mengandung ion $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, dibandng Na^+ tanah akan menggumpal



Tanah mengandung ion Na^+ sama dari ion Ca^{2+}, nilai EC menurun, tanah akan tedispersi

Tanah mengandung Ion Na^+ lebih tinggi dari Ca^{++} dan Mg^{++}, tanah akan terdispersi



Tanah mengandung ion Na^+ sama dengan ion Ca^{2+}, nilai EC meningkat, tanah akan menggumpal

Gambar 2.8. Pengaruh kandungan ion $Na^+Mg^{2+}Ca^{2+}$, nilai SAR dan EC tanah dapat menggumal dan tedispersi.

Sodium Dapat Ditukar / Exchangble Sodium Percentage (ESP)

Dari telusuran beberapa referensi mengenai ESP (sumber : http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_exchangeable_sodium_percentage.html) dirasakan cukup perlu untuk dikemukakan disini karena cukup menarik dan pada kenyataannya dapat dikaji di lapangan. Kehadiran sejumlah natrium tukar yang berlebihan mengubah proses agregasi dan menyebabkan agregat tanah menyebar ke partikel tanah penyusun masing-masing. Hal ini dikenal sebagai deflocculation dan terjadi pada tanah sodik. Deflokasi terjadi karena tidak seperti kation polivalen kalsium dan aluminium, natrium bersifat monovalen. Ketika natrium diserap ke partikel bermuatan negatif, ia hanya bisa menempel pada satu dan karenanya tidak seperti kalsium dan aluminium, ia tidak dapat membentuk jembatan antara yang terpasang dan di dekatnya. Ini berarti kedua partikel akan saling tolak dan menciptakan kondisi tanah yang terdispersi.

Hasilnya adalah pembentukan pengaturan ketat partikel tanah terdispersi dengan natrium. Secara umum, makroporositas di tanah sodik sangat berkurang dan infiltrasi air melambat mendekati nol. Bila tanah sodik basah memiliki infiltrasi dan drainase yang buruk dan bila mengering menjadi

sangat keras. Masalah utama yang timbul dari kadar natrium tinggi relatif terhadap kation tukar lainnya adalah pada sifat fisik tanah. Di permukaan tanah cakrawala ketidakseimbangan ini dalam rasio kation menghasilkan struktur tanah yang buruk. Hal ini dibuktikan dengan kerak tanah permukaan atau setting tanah menjadi blok besar pada pengeringan. Akibatnya bibit perkecambahan dan pertumbuhan tanaman menjadi problematis.

Tanah sodik dengan sedikit zat penstabil (misalnya humus, tanah liat atau sesquioxides) di tanah lapisan atas pada akhirnya akan rentan terhadap kehilangan tanah yang erosi selama siklus curah hujan atau irigasi yang intens melalui erosi rill dan gully. Ini karena asupan air biasanya sangat lambat, karena struktur tanahnya buruk. Hal ini terutama terjadi pada tanah yang tinggi dalam fraksi ukuran lumpur dan partikel tanah liat. Di lapisan bawah tanah, sodisitas tanah menyebabkan permeabilitas menurun terhadap air dan udara dan drainase tanah yang buruk dari waktu ke waktu.

Di banyak daerah kapas di Australia tenggara, sejumlah besar natrium yang dapat bertukar mendominasi kompleks pertukaran. Hal ini terutama terjadi pada kedalaman 0,90-1,0 m. Alasannya adalah bahwa proses pencucian natrium tidak

lengkap karena sebagian besar distrik pertumbuhan kapas berada di daerah gersang dan semi kering.

Tanah sodik, menurut definisi, mengandung kadar natrium yang tinggi relatif terhadap kation tukar lainnya (yaitu kalsium, magnesium dan potassium). Tanah dianggap "sodik" saat Sodium Prosentase Sodium (Sodium) adalah 6% atau lebih. Persentase sodium yang dapat dipertukarkan (ESP) dihitung sebagai berikut:

$$ESP = \text{Tukar } \{(Na) / (Ca + Mg + K + Na)\} \times 100$$

Di Australia, tanah dengan ESP lebih dari 6% dianggap sodik. Namun, masalah dispersi tanah dapat terjadi pada ESP yang lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada jenis tanah liat. Selanjutnya, nilai ESP serendah 2 dapat menyebabkan masalah struktur tanah jika konsentrasi garam dalam larutan tanah sangat rendah. Ini adalah masalah di daerah irigasi bila rasio natrium larut terhadap ion kalsium dan magnesium dalam air tinggi. Rasio ini dinyatakan sebagai berikut dan disebut Sodium Adsorption Ratio (yaitu SAR).

Untuk mengatasi efek natrium berlebihan pada kompleks pertukaran dan untuk memulai kembali proses agregasi tanah, kalsium perlu diperkenalkan kembali ke dalam larutan tanah. Hal ini paling baik dicapai dengan penerapan gypsum. Hal ini

karena kalsium (Ca^{2+}) dalam gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) menggantikan sodium (Na^+) di tempat pertukaran. Pada gilirannya, natrium bereaksi dengan sulfat (SO_4^{2-}) untuk membentuk natrium sulfat (Na_2SO_4), yang merupakan bahan larut air yang dapat larut dari tanah. Atau selain $CaSO_4.2H_2O$ juga $MgSO_4$ karena Mg^{2+} dapat mengganti Na^+.

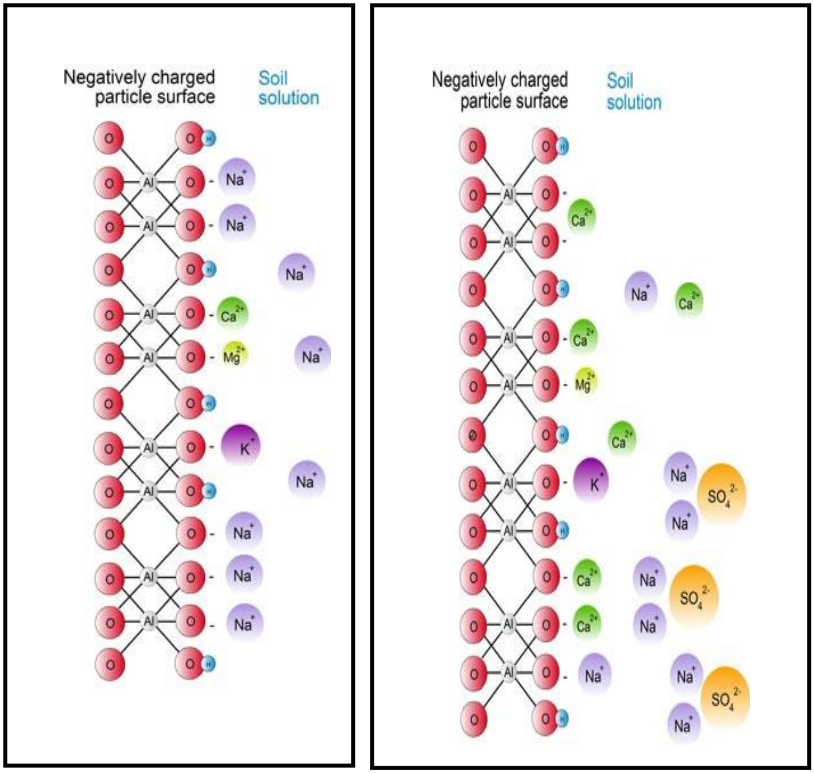
Penambahan gypsum menyebabkan penghilangan natrium dan penggantian-nya oleh kalsium di tempat pertukaran, yang mengurangi deflocculation dan memungkinkan agregasi partikel alami yang pada akhirnya mengembalikan struktur tanah yang baik. Gypsum sangat berguna bila struktur tanah memburuk karena sodium tinggi.

Belum banyak kajian atau inventarisasi data terhaap tanaman pangan atau tanaman lain hidup di wilayah pesisir pantai, seperti padi sawah, mendong dll, apakah Na diperlukan lebih banyak dibandingkan dengan tanaman lainnya. Pada tanah yang berdampingan dengan laut dalam pengembangan komoditas pertanian seperti padi, kelapa dll perlu dianalisa nilai ESP dan atau SAR (ESP = Exchangable Sodium Percentage, SAR = Sodium Adsorption Ratio).

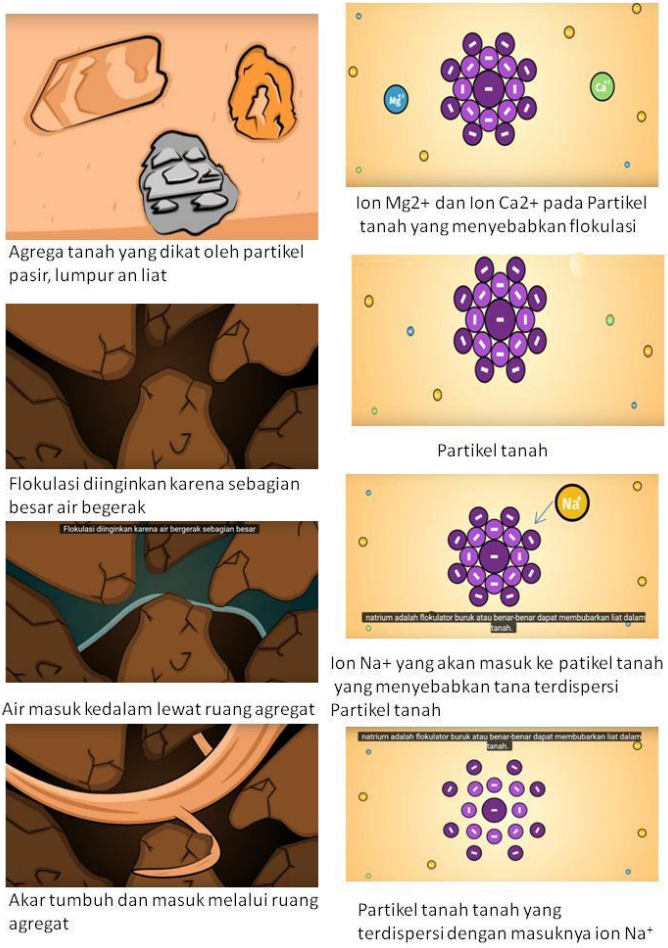
SAR = Dapat ditukar {(Na) / (Ca + Mg) -0,5}

Tabel 2.8. Kisaran Nilai ESP di Australia

Na dapat ditukar (ESP)	Non Sodic	Sodic	Moderatly	Strong	Very Strong
	<6	6-10	10-15	15-25	>25



Gambar 2.9. Perubahan yang Negatif pada Permukaan Partikel



Gambar 2.10. Hubungan antara masuknya ion Ca2+ dan Mg2+ yang menyebabkan tanah menggumpal atau Na+ yang masuk menyebabkan tanah terdispersi

BAB III
PENYERAPAN UNSUR HARA

3.1. Penyerapan (Absorpsi) Hara

Pada saat tanaman berkecambah dan mulai membentuk perakaran, semua hara yang dibutuhkan untuk aktivitas ini disuplai oleh biji, kemudian begitu akar mulai berpenetrasi kedalam tanah, maka sebagian hara tersedia diserap dari tanah sekeliling akar (*rhizosfer*), yang persentasenya makin meningkat selaras dengan habisnya cadangan hara biji, yang berarti ketergantungan tanaman terhadap hara tanah/udara melalui mekanisme aliran massa, diffusi dan intersepsi akar/pertukaran ion juga makin meningkat dan mutlak begitu habisnya cadangan hara tersebut.

3.2. Beberapa Konsep Pergerakan Unsur Hara/Mekanisme Kontak Unsur Hara ke Permukaan Akar.

Sebelum tanaman dapat mengabsorpsi unsur hara sebagai syarat adalah unsur hara tersebut harus terdapat pada permukaan akar. Hal tersebut dapat melalui 3 mekansime (konsep barber), terlihat pada Gambar. 3.1 tentang skema pergerakan unsur hara ke permukaan akar.

Intersepsi: *Soil volume displaced by root volume (uptake without trans-port).*

Akar tumbuh berkembang memasuki/menembus ruangan-ruangan/ lapisan tanah yang sebelumnya ditempati unsur-unsur hara. Jadi, antara akar dan unsur hara harus terjadi kontak untuk memungkinkan terjadi proses pertukaran ion (ion-ion yang terdapat pada permukaan akar bertukar dengan ion-ion pada permukaan kompleks adsorpsi). Proses tersebut terjadi tanpa melalui larutan, langsung dari fase padat.

contoh unsur hara yang dapat disediakan secara intersepsi adalah Ca (kalsium), Mg, Mn dan Zn yang dipengaruhi oleh sistem perakaran (luas dan sempit) dan konsentrasi unsur hara di dalam daerah perakaran.

1. ***Mass flow*** **(Aliran massa)**

   (*Transport of bulk soil solution along the water potential gradient (driven by transpiration)*. Gerakan air (horisontal/vertikal), air yang bergerak/ mengalir dari suatu tempat ke permukaan akar karena perbedaan tekanan, unsur hara yang terlarut turut mengalir/bergerak ke permukaan akar. (jumlah unsur hara yang terbawa ke

permukaan akar melalui proses ini disebut : terbawa oleh aliran massa)

contoh : unsur hara yang dapat disediakan secara aliran massa (*massflow) adalah* Fe, Cu, B, Zn, Mg, Ca. Untuk N diasumsikan mencapai permukaan akar melalui *massflow)*.

Jumlah unsur hara yang dapat disediakan melalui mekanisme aliran massa bergantung dari :

(1) Kebutuhan tanaman akan unsurhara tersebut

(2) Konsentrasi unsur hara dalam larutan tanah

(3) Jumlah air yang ditranspirasikan persatuan berat jaringan

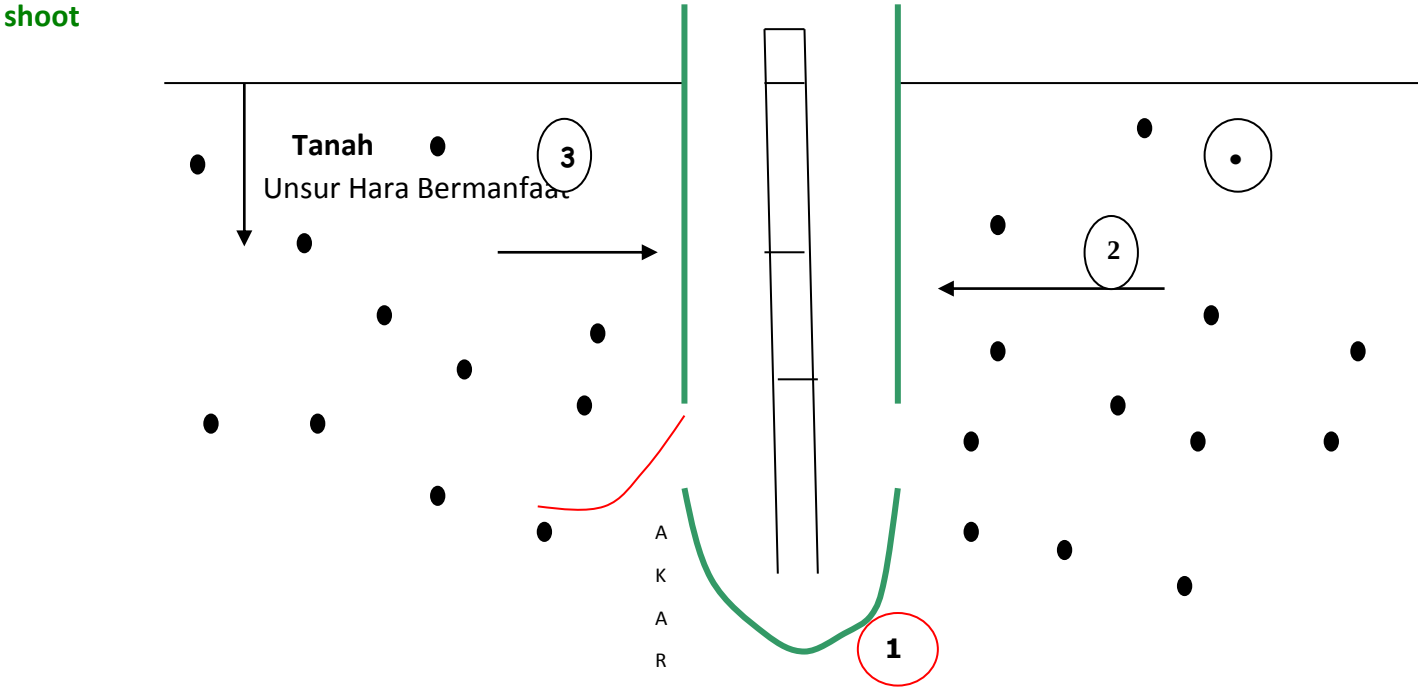
Volume air efektif yang mengalir karena perbedaan potensial dan berkontak dengan akar.

3. Difusi (Diffusion)

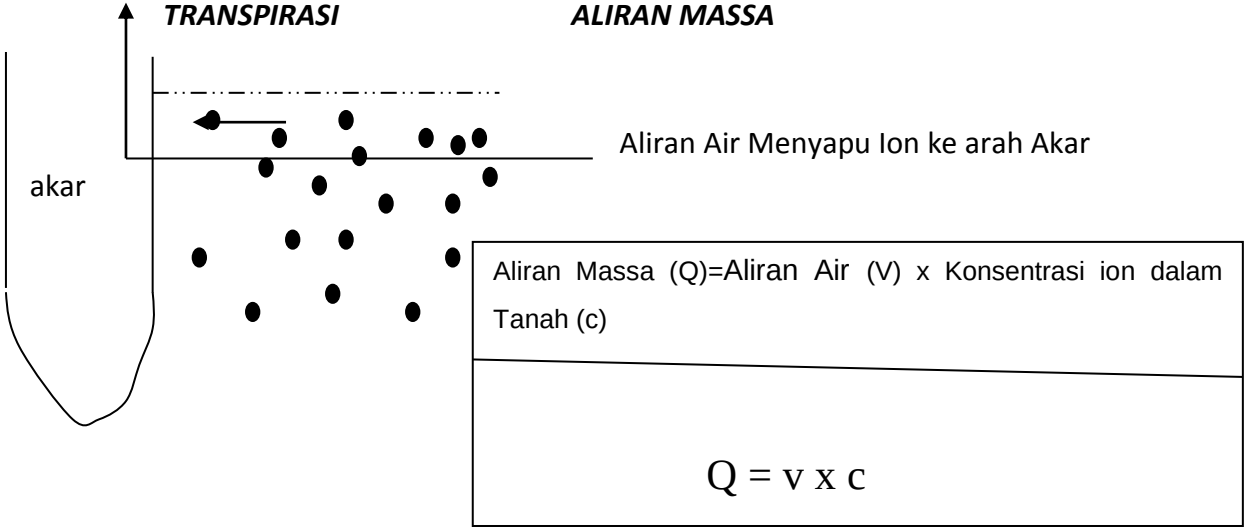
Larutan hara bergerak dari tempat berkonsentrasi tinggi (nya tempat pupuk) ke permukaan akar yang konsentrasi nutrisinya rendah, karena penyerapan oleh akar.

Diffusion: nutrient transport along the concentration gradient.

Persamaan fick, menjelaskan faktor-faktor penting dalam menentukan kecepatan diffusI dari unsur-unsur hara yang larut ke permukaan akar.



Gambar 3.1. Skema pergerakan unsur hara ke permukaan akar (Sumber : Singer dan Munns,1987)



Gambar 3.2. Pergerakan Ion Mendekati Akar Melalui Proses Aliran Mass

dg/ dt = DAP (C1-C2) / L

dg / dt = Kecepatan diffusi ke permukaan akar

D = Koefisien diffusi dari suatu unsur di dalam larutan

A = penampang suatu daerah tt, dimisalkan dengan permukaan absorpsi total dari akar tanaman.

P = bagian dari volume tanah yang diisi oleh air (meliputi faktor pembekakan)

C1 = konsentrasi unsur (yang larut) pada jarak L dari permukaan akar

C2 = konsentrasi dari unsur yang larut pada permukaan akar

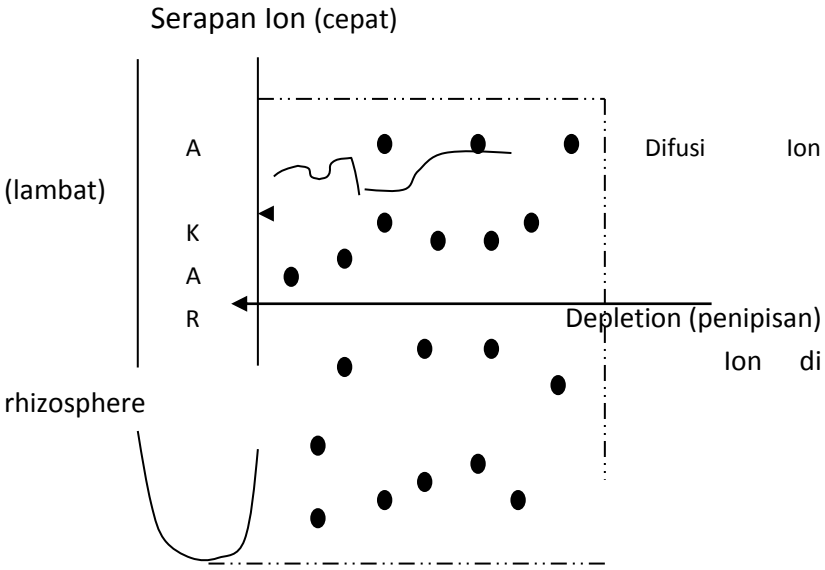
L = jarak antara C1 dengan permukaan akar

Faktor

: jumlah luas permukaan akar yang terdapat untuk kegiatan absorpsi unsur hara.

: kecepatan difusi bergantung dari kadar air tanah

(C1-C2) : Adanya perbedaan konsentrasi menyebabkan timbulnya tenaga dorong untuk berdifusi.



Gambar 3.3. Pergerakan Ion Mendekati Akar Melalui Difusi

Tabel 3.1 ini menunjukkan bahwa makin tinggi (di atas 500) nisbah transpirasi berarti makin sedikit hara yang diserap tanaman melalui mekanisme aliran massa, sehingga kecukupan tanaman akan hara ini akan makin tidak tergantung pada mekanisme ini dan harus dipenuhi melalui mekanisme lainnya (intersepsi akar dan diffusi); sebaliknya juga nisbah transpirasi makin kecil (dibawah 500), sehingga

kecukupan akan suatu hara makin tergantung atau cukup hanya dari mekanisme aliran massa, sebagaimana berikut :

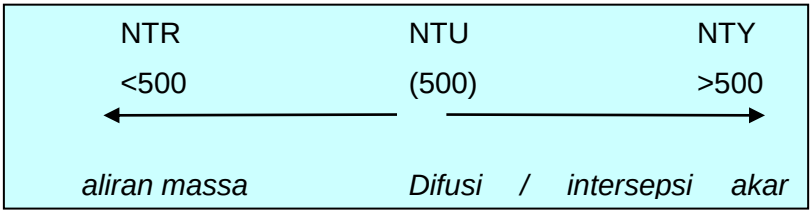
Tabel 3.1 Hubungan kadar hara dalam larutan tanah dan jagung dengan nisbah transpirasi (Hanafiah, 2005).

Unsur Hara	Kadar Hara (*Mg kg^{-1}*)		Nisbah Transpirasi*) (*Jagung : Tanah*)	
	Larutan Tanah Rendah Tinggi	Jagung (*rerata*)	Atas	bawah
Ca	8-450	2.200	275 (R)	4,9 (R)
K	3-156	20.000	6.667 (T)	128,0 (R)
Mg	3 - 204	1.800	600 (T)	8,8 (R)
N	6 - 1.700	15.000	2.500 (T)	8,8 (R)
P	0,03 -72	2.000	66.667 (T)	278,0 (R)
S	118 – 655	1.700	155 (R)	2,6 (R)

Keterangan*) nisbah transpirasi umum (NTU) =500,adalah perbandingan jumlah air yang ditranspirasikan untuk setiap gram biomass yang diproduksi oleh tanaman; R = rendah (<500) dan T = tinggi (>500).

Berdasarkan Tabel 3.1. ini dapat dijelaskan bahwa, untuk cadangan kadar antara 8 – 450 mg/kg dalam larutan tanah (Ca-tanah) dan 2.200 mg/kg dalam biomass jagung (Ca-biomass), berarti dengan nisbah transpirasi rendah (NTR) = 4,9 – 275, padahal NTU = 500, sehingga ada selisih NTR – NTU = +225 hingga + 495,1, maka berarti kebutuhan Ca tanaman

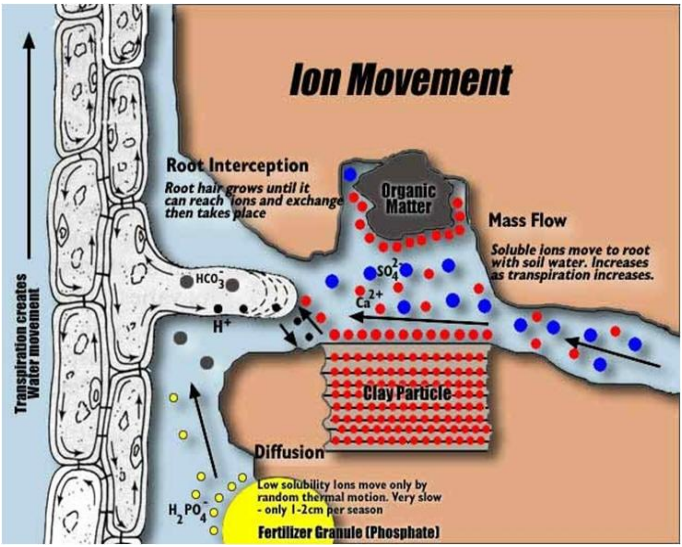
akan terpenuhi hanya dari mekanisme aliran massa, atau makin tidak tergantung pada mekanisme lainnya. Fenomena ini merupakan karakter unsur-unsur hara yang mobil, seperti Ca dan S, meskipun ketersediaanya rendah di dalam tanah.



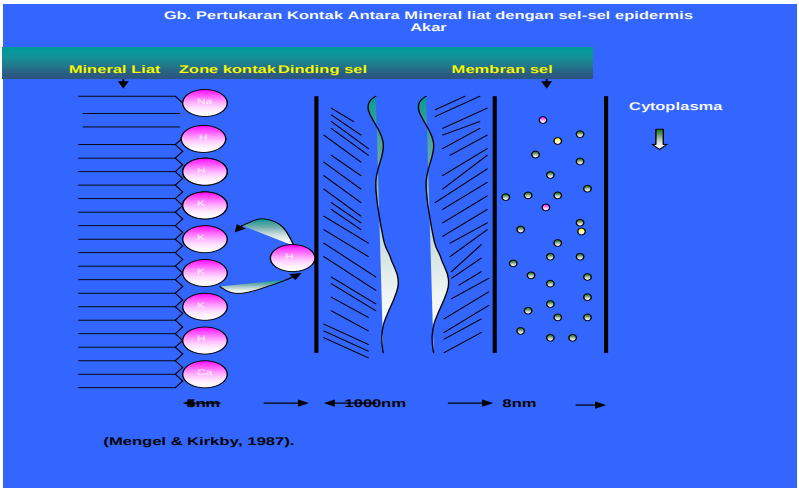
Gambar 3.4. Ketergantungan Suplai Sunsur hara (Hanafiah, 2005)

Untuk P yang ber NTT 66,667 pada ketersediaan dalam tanah rendah dan NTR 278,0 pada ketersediaan dalam tanah tinggi. Berarti NTU – NTR = 66,167 dan NTU – NTR = +220,0 berarti apabila ketersediaan hara dalam tanah tinggi, mekanisme aliran massa cukup menjamin kecukupan suplai bagi tanaman, namun apabila ketersediaan P rendah mekanisme aliran massa hampir tidak berperan sama sekali atau hanya 0,75 % dari total absorpsi, sehingga 92,25 % harus diperoleh dari mekanisme lain terutama dari diffusi. Fenomena ini merupakan karakter unsur hara yang tidak mobil seperti P,K dan N. Analisis juga data lainnya.

(1) **Difusi** merupakan proses pada kondisi ketersediaan hara tinggi, semua kebutuhan hara makro dapat disuplai hanya dari mekanisme aliran massa, tetapi pada kondisi ketersediaan hara rendah, kecuali Ca dan S, suplai hara makro lainnya sangat tergantung pada mekanisme lain (diffusi dan Intersepsi akar).



Gambar 3.5. Pergerakan Unsur-unsur Hara mendekati Akar secara intersepsi, *Mass flow* (Aliran massa), dan Diffusi (Sumber:https://www. geoogle.com/search?=Mas+low+soil&client).



Gambar 3.6. Pergerakan Ion dan Pertukaran Kontak Ion dengan Epidermis Akar.

Diffusi adalah pergerakan ion melalui media air atau udara (dalam tanah) dari area berkadar tinggi ke area berkadar rendah sebagai akibat adanya perbedaan gradien kadar ion tersebut. Dalam mekanisme ini, ion pada permukaan akar ditranslokasikan ke dalam sel-sel akar dan seterusnya ke bagian trubus. Translokasi ini menimbulkan gradien antara kadar hara pada permukaan akar dan dalam rhizosfer/ larutan hara, yang mendorong pergerakan hara dari area berkadar tinggi (rhizosfer/larutan hara) ke area yang berkadar rendah (permukaan akar), oleh karena itu hara yang

diperoleh tanaman dari proses ini berkorelasi negatif dengan jarak dari akar dan kadar hara pada permukaan akar.

(2) Intersepsi hara terjadi pada area permukaan akar yang berkontak langsung dengan koloidal tanah akibat penetrasi akar yang tumbuh ke area ini. Mekanisme ini terjadi melalui pertukaran kation atau anion (*contact exchange*) antara kedua area permukaan, yang dipicu oleh adanya perbedaan kadar ion (*diffusi*), dalam hal ini ion jenuh/berlebihan pada kedua area bertukar tempat, misalnya kation K pada koloid bertukaran kedudukan dengan kation H hasil aktivitas metabolik tanaman pada permukaan akar. Gambar 3.6 juga memperlihatkan bahwa mekanisme diffusi dan intersepsi akar, yang keduanya makin intensif selaras dengan pesatnya perkembangan sistem perakaran tanaman, sangat menentukan kecukupan tanaman pada kondisi ketersediaan hara rendah terutama P, Ca, N dan Mg.

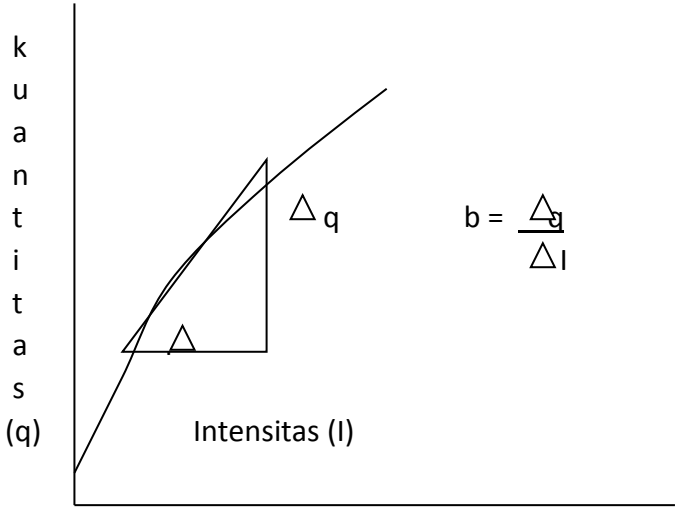
Ketersediaan Unsur Hara dalam Tanah

Dalam tanah terdapat tiga parameter yang saling mempengaruhi satu sama lain dalam hubungannya dengan penyerapan dan status ion dalam media pertumbuhan tanaman, antara lain :

1. Faktor Intensitas

Faktor yang menyatakan kekuatan ion di dalam larutan dan biasanya dinyatakan sebagai konsentrasi atau lebih tepat lagi sebagai aktivitas ion di dalam larutan.

2. Faktor Kapasitas (Pembaharuan)



Gambar 3.7. Hubungan antara kuantitas (q), Intensitas (I), dan kapasitas buffer (b).

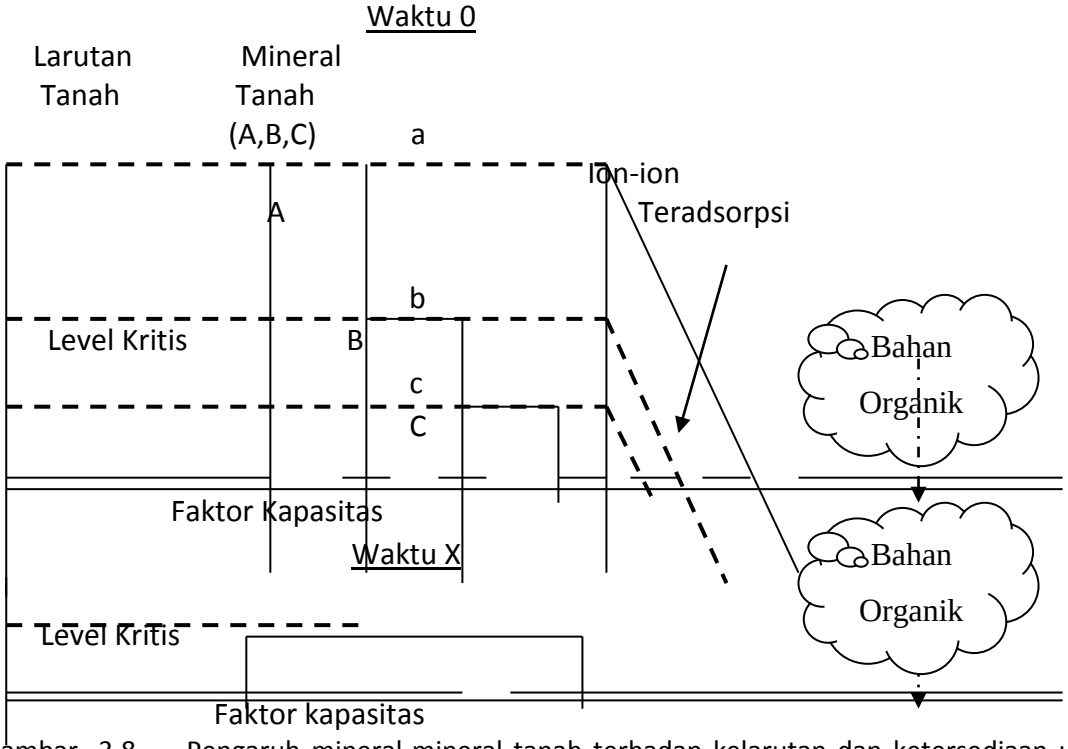
Faktor yang menyatakan proses dimana konsentrasi ion di dalam larutan ditambah bila berkurang. Faktor pembaharuan merupakan hasil dari interaksi antara tiga parameter yang terikat satu sama lain.

3. Faktor Intensitas Relatif

Faktor yang menyatakan bahwa penyerapan suatu ion dapat dipengaruhi oleh level-level ion lain. Faktor ini merupakan pengaruh interaksi antara ion dengan penyerapannya (Khasawneh, 1971). Hubungan antara faktor intensitas dan kapasitas dalam pengaruhnya terhadap ketersediaan hara terlukis secara grafik dalam Gambar 3.8.

Keterangan waktu 0, terdapat tiga fase mineral A, B, dan C yang masing-masing mampu memelihara level yang berbeda dalam larutan tanah. Mineral A merupakan mineral yang banyak larut sehingga akan mengontrol larutan tanah, sedangkan mineral B dan C lambat larut. Suatu saat mineral A larut sempurna dan level larutan tanah berubah dari a menjadi b. Perubahan ini mungkin terjadi tidak serentak karena adanya sifat bufer tanah dan ion-ion dapat tukar dalam tanah harus mencapai kesetimbangan baru dalam larutan tanah. Setelah kesetimbangan tercapai reaksi kimia tidak berhenti, akhirnya mineral B hilang dan hanya mineral C yang tetap tinggal.

Keterangan waktu X, bilamana mineral C menguasai level hara, tanam-tanaman akan menunjukkan gejala defisiensi unsur hara karena level ini lebih rendah daripada



Gambar. 3.8. Pengaruh mineral-mineral tanah terhadap kelarutan dan ketersediaan unsur-unsur hara untuk tanaman.

level kritis yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Bahan organik dapat mensuplai beberapa hara, tetapi umumnya berkurang sebelum hara tersedia bagi tanaman yang digunakan oleh mikroorganisme. Pengaruh perubahan ion-ion teradsorpsi dan aktivitas mikroorganisme adalah penting, tetapi akhirnya fase-fase mineral yang mengontrol hara dalam larutan (Lindsay, 1979).

Aktivitas Ion dan Pertumbuhan Tanaman

Aktivitas ion telah didefinisikan oleh Khasawneh (1971) sebagai :

$$a_i = f_i \cdot c_i,$$

Dimana a_i = aktivitas ion i
f_i = koefisien aktivitas ion i
c_i = konsentrasi ion i

Menurut Adams (1971) koefisien aktivitas dari suatu ion didefinisikan dengan persamaan Debye-Huckel sebagai :

$$-\log f_i = \frac{AZ_i^2 (\mu)^{1/2}}{1 + B d_i (\mu)^{1/2}},$$

dimana A dan B adalah konstanta temperatur adalah kekuatan ion dalam larutan dan d_i adalah suatu parameter ukuran ion. Nilai A, B, dan d_i tercantum dalam

tabel 1. Kekuatan ion (μ) telah didefinisikan oleh Lindsay (1979) sebagai :

$\mu_i = 1/2 \sum c_i Z_i^2$, diamana μ_i = kekuatan ion i

Z_i = valensi ion i

c_i = konsentrasi ion i

Kesetimbangan reaksi : $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$ dapat dilukis-kan dengan suatu konstanta K sebagai :

$$K = \frac{C^c D^d}{A^a B^b}$$

Nilai konstanta kesetimbangan pada temperature 25^{o}C tercantum dalam lampiran di belakang.

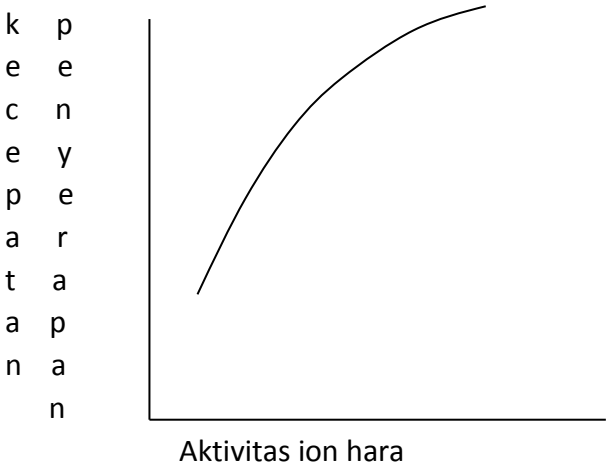
Tabel 3.2. Parameter Ukuran Ion Individual, di dalam Satuan Angstrom untuk Persamaan Debye – Huckel bagi koefisien aktivitas Ion Tunggal.

Ion	Harga d_i
H^+; Al^{3+};Fe^{3+}	9
Mg^{2+}	8
Li^+; Ca^{2+}; Cu^{2+}; Zn^{2+}; Mn^{2+}; Fe^{2+}	6
Sr^{2+}; Ba^{2+}	5
Na^+; CO_3^{2-}; HCO^{3-}; H_2PO^{4-}	4.5
SO_4^{2-}; HPO_4^{2-}; PO_4^{3-}	4
CH^-; F^-	3.5
K+; Cl^-; NO^{3-}	3
Rb^+; Cs^+; NH^{4+}	2.5

A = 0.509; B= 0.329 pada temperatur 25^{o}C dengan d_i dalam satuan Angstrom

Sumber : Adams (1971).

Hubungan antara penyerapan ion dan aktivitas ion di dalam larutan telah digambarkan oleh Khasawneh (1971) sebagai tercantum dalam Gambar 3 di bawah ini. Bila aktivitas ion bertambah maka penyerapan atau pertumbuhan tanaman berkurang karena keracunan, tidak seimbangya unsur hara atau pengaruh osmosa. Hal ini tidak digambarkan dalam Gambar 3.9. di bawah ini. Pierre (1931) menyimpulkan

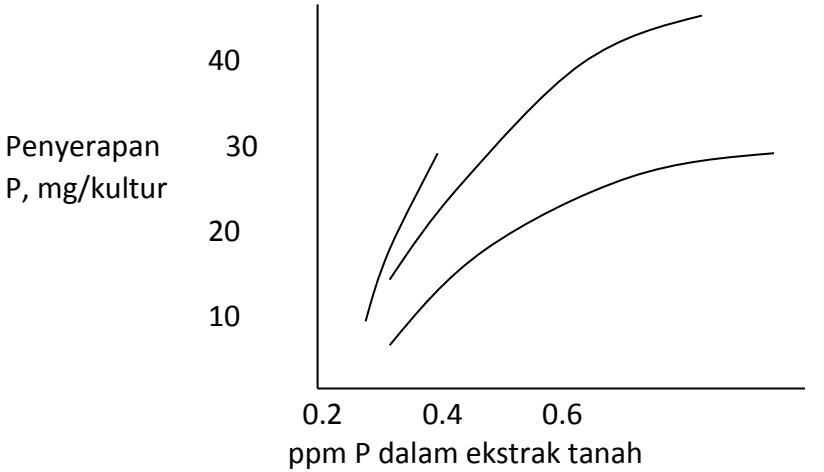


Gambar 3.9. Hubungan antara kecepatan penyerpan suatu ion dengan aktivitasnya dalam larutan.

terhadap penelitiannya, bahwa tanah- tanah yang mempunyai konsentrasi ion hidrogen yang sama mempunyai pengaruh yang berbeda pada pertumbuhan tanaman, beberapa tanaman akan lebih dirugikan daripada yang lain.

Selanjutnya Howard dan Adams (1963) menjelaskan bahwa penyerapan P oleh Barley dalam 60 hari dari tiga tanah kapur dihubungkan dengan konsentrasi P pada ekstrak tanah terlukis dalam gambar 4 di bawah ini.

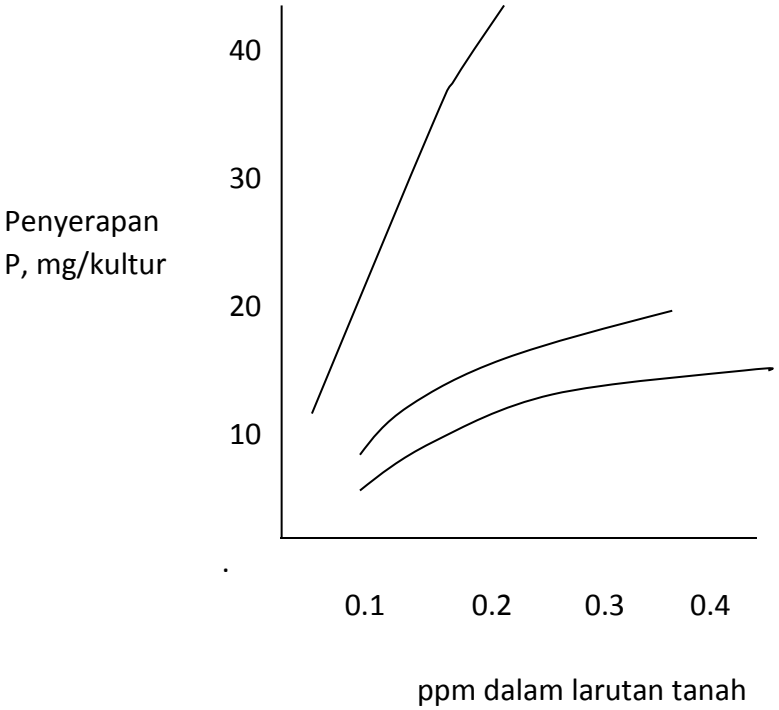
Baldovinos dan Thomas (1967) menyatakan hubungan yang sama untuk penyerapan P oleh kacang merah (*Phaseolus vulgaris*) di dalam 30 hari seperti pada gambar berikutnya.



Gambar 3.10. Hubungan penyerapan P dengan konsentrasi Fosfor dalam larutan tanah

Penyerapan P (Gambar 3.10 dan 3.11) adalah tidak sama untuk setiap tanah yang berbeda, tetapi akan bertambah dengan meningkatnya kapasitas buffer tanah. Menurut Khasawneh (1971) pertumbuhan tanaman dapat

dihubungkan dengan aktivitas ion hara di dalam larutan tanah, tetapi dalam banyak hal setiap tanah mempunyai parameter-parameter yang berbeda dalam mendefinisikan hubungan ini.



Gambar 3.11. Hubungan penyerapan P dengan konsentrasi P dalam larutan tanah di dalam 30 hari.

3.2.3. Mekanisme Penyerapan Hara

Penyerapan hara oleh tanaman pada prinsipnya dapat terjadi melalui semua permukaan/epidermis tanaman yang porius (daun, batang dan akar). Penyerapan gas O_2 dan CO_2

terutama terkjadi lewat stomata (pori-pori daun). Pada saat hujan, beberapa unsur hara terintersepsi melalui pori-pori daun dan batang. Hal ini yang mendasari adanya praktik penyemprotan hara ke permukaan tanaman sekarang ini (pupuk daun).

Penyerapan hara tanah oleh tanaman pada dasarnya terjadi lewat dua prinsip, yaitu :

(1) membutuhkan energi metabolik, sehingga jika respirasi terbatas, jumlah hara yang diserap juga terbatas selaras dengan kadarnya dalam larutan tanah, dan
(2) proses yang bersifat selektif, karena tanaman memiliki kemampuan untuk menyortir unsur-unsur yang diserap.

Dalam proses penyerapan ini, proses diffusi dalam larutan hara sampai ke permukaan membran sel-sel akar terjadi secara bolak-balik dan pasif (tanpa keterlibatan tanaman), kemudian translokasi hara melewati membran ini terjadi secara aktif (melibatkan energi respirasi) lewat mekanisme carrier yang bersifat selektif.

Selektifitas hara oleh tanaman terkait dengan diperlukannya kendaraan spesifik (*specifics carrier*) yang dilepaskan tanaman (berupa enzim) untuk membawa masing-

masing kation atau anion atau kelompoknya dari permukaan ke dalam sel-sel akar melalui membran sel. Mekanisme translokasi hara ini pada dasarnya sama untuk setiap kation atau untuk setiap anion, perbedaannya di samping memerlukan: (1). kendaraan spesifik tersebut juga terletak pada (2). muatan elektrik kendaraan yang berlawanan dengan muatan elektrik ion-ion yang diangkut (teori carrier) misalnya :

(1) Fosfat dan nitrat keduanya anion, tetapi memerlukan kendaraan yang berbeda.
(2) demikian juga kendaraan ion $H_2PO_4^-$ dan HPO_4^-, padahal sama-sama ion fosfat.
(3) Pada kondisi lain, kendaraan ion K = ion Ca.
(4) Tetapi kendaraan ion Mg juga dapat mengangkut ion Na dan Li.

Hal ini terkait dengan kemampuan enzim dalam mengenal ion yang menjadi pasangannya dan kesamaan ciri-ciri antara ion-ion (misalnya kesamaan dengan berat molekul, bentuk atau radius).

3.2.2. Faktor-faktor yang Berpengaruh

Pada penyerapan aktif dibutuhkan sejumlah energi respirasi (berupa ADP, NAD^+ dan $NADP^+$) untuk

pelaksanaanya, maka faktor-faktor yang mempengaruhi proses respirasi secara tidak langsung juga akan mempengaruhi proses penyerapan hara.

Dalam Marschner (1987), mekanisme penyerapan unsur hara (absorpsi hara) secara umum memiliki perbedaan yang cukup besar antara unsur hara / ion yang terdapat dalam larutan tanah dengan konsentrasi hara yang ada dalam tanaman. Hal itu sangatlah dipengaruhi oleh karakteristik penyerapan ion, seperti adanya sifat tanaman dalam menyerap ion sangat selektif, bersifat akumulatif, dan dipengaruhi pula oleh faktor genetik. Sifat-sifat lain yang penting dalam karakteristik penyerapan ion oleh akar tanaman, adalah bergantung pula pada diameter ion yang akan diserap dan valensi ion yang akan diserap. Pada ruang bebas akar senyawa grup karbosiklat bermuatan ($R\text{-}COO^-$) bertindak sebagai tempat pertukaran kation atau sebagai penukar kation an terjadi repulsi anion, anion-anion ditolak. Marchner (1986) memiliki hipotetis bahwa spesies tanaman memliki Kapasitas Tukar Kation (KTK) akar yang berbeda bergantung pada kandungan tempat pertukaran kation pada dinding sel akarnya. KTK (me/100 g bobot kering) untuk

tanaman gandum adalah 29, kacang kacangan sebesar 54 dan tomat 62.

Kation, anion dengan valensi lebih kecil lebih mudah dapat diabsorpsi oleh akar tanaman dibandingkan dengan kation/anion bervalensi lebih tinggi dengan deret di atas.

Menurut hipotesis Marscner (1987), molekul tak bermuatan cenderung lebih cepat diserap oleh akar tanaman dibandingkan dengan ion yang memiliki valensi lebih tinggi.

BAB IV.

PUPUK

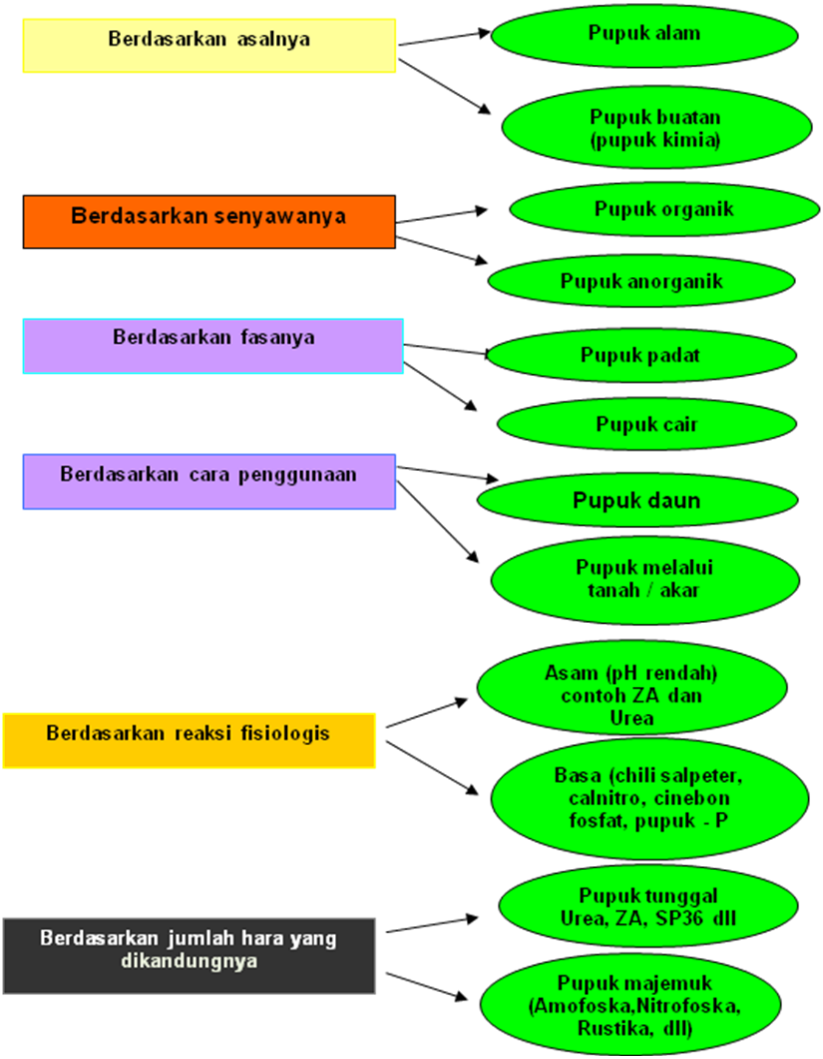
Pengertian sehari hari, pupuk adalah suatu bahan yang dapat dipergunakan untuk menambah unsur hara atau memperbaiki kesuburan tanah bagi tanaman. Pemupukan adalah penambahan zat hara ke dalam tanah bagi tanaman. Tetapi pengertian yang lebih luas pemupukkan adalah penambahan suatu bahan yang mengandung unsur-unsur hara yang dapat diberikan baik melalui tanah untuk tanaman maupun secara langsung pada tanaman (daun). Agar lebih dimengerti, maka definisi pupuk harus berdasarkan beberapa acuan diantaranya menurut Buckman (1994), pupuk adalah bahan anorganik/organik, alami maupun buatan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memberikan unsur esensial tertentu bagi pertumbuhan tanaman secara normal. UU No.12 th 1992 pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman langsung maupun tidak langsung. PP No. 8 th 2001 pupuk

anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa kimia/fisik/biologi dan merupakan hasil industri/pabrik.

4.1. Klasifikasi Pupuk

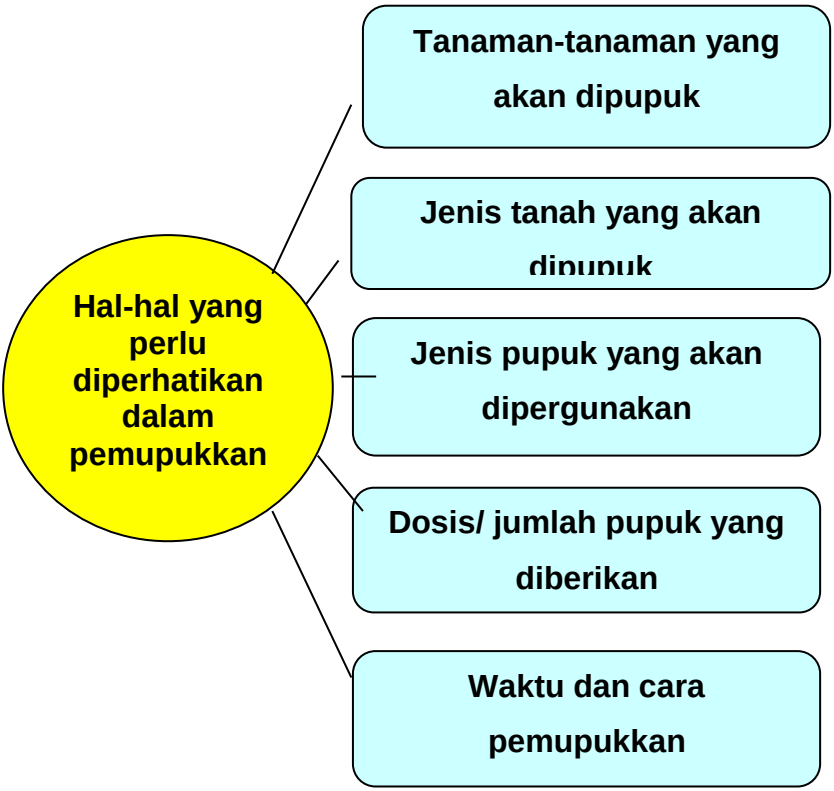
Depperindag (1999) mengklasifikasikan pupuk menjadi 4 kriteria, yakni:

1. Pupuk makro terdiri dari (makro primer N,P,dan K termasuk pupuk alam organik dan an-organik, serta pupuk buatan) dan makro sekunder (Ca,Mg dan S).
2. Pupuk mikro (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo , dan Zn),
3. Pupuk pelengkap, dan
4. Amelioran (pembenah tanah) contohnya adalah :kapur pertanian (kalsit = $CaCO_3$, dolomit = Ca Mg $(CO_3)_2$) dan zeolit. Pupuk alam an-organik meliputi fosfat alam (fosfat Cirebon,Agrofos, CIRP =*Christmas Island Rock Phosphate*, kieserite = $MgSO_4.H_2O$. Hardjowigeno (1993) mengklasifika-sikan pupuk lebih terinci lagi berdasarkan beberapa sifat yang dimiliki dari golongan pupuk, hal itu lebih terinci dan dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1. Klasifikasi Pupuk

Gambar 4.2. Sifat- Sifat Umum Pupuk Buatan



Gambar 4.3. Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Pemupukkan

4.2. Hal-hal yang Perlu Diperhatikan dalam Mempupuk

1. Tanaman yang Akan Dipupuk

a. Penggunaan Unsur Hara (*nutrient utilization*) oleh tanaman

Usur hara yang diserap tanaman dipergunakan antara lain untuk menyusun bagian-bagian tubuh tanaman dan berbeda untuk setiap jenis tanaman (lihat Tabel 4.1.).

Tabel 4.1 . Jumlah Unsur Hara yang Terdapat pada Beberapa Bagian Tanaman (Sanchez, 1976).

Tanaman	Hasil (ton/ha)	Kandungan hara (kg/ha) N	P	K	Ca	Mg
Jagung						
Biji	1,0	25	6	15	3,0	2,0
Jerami	1,5	15	3	18	4,5	3,0
Total	2,5	40	9	33	7,5	5,0
Biji	4,0	63	12	30	8,0	6,0
Jerami	4,0	37	6	38	10,0	8,0
Total	8,0	100	18	68	18,0	14,0
Padi						
Biji	1,5	35	7	10	1,4	0,3
Jerami	1,5	7	1	18	2,6	2,2
Total	3,0	42	8	28	4,0	2,5
Biji	8,0	106	32	20	4,0	1,0
Jerami	8,0	35	5	70	24,0	13,0
Total	16,0	141	37	90	28,0	14,0
Ketela pohon						
Umbi	8,0	30	10	50	20	10
Umbi	16,0	64	21	100	41	21
Rumput Gajah						
Bagian diatas tanah	10	144	24	180	35	30
	25	302	64	504	96	63
Bagian diatas tanah	100	75	20	125	28	10
Tebu	200	149	29	316	55	58
Batang						
Batang						

b. Sifat-sifat akar

Ada dua jenis akar tanaman yaitu ada akar tunggang ada akar serabut. Sifat akar akan menentukan cara penempatan pupuk

maupun jumlah pupuk yang diberikan. Bila ditanam dari biji akan tumbuh akar tunggang lebih dulu maka pupuk sebaiknya ditempatkan di bawah biji. Pengambilan unsur hara oleh tanaman melalui pertukaran kation atau akar dengan larutan tanah atau kom-pleks jerapan koloid tanah. Kemampuan menukar kation atau anion dari akar (KTK akar) berbeda untuk setiap jenis tanaman.

2. Tanah yang Dipupuk

Kandungan unsur hara pada berbagai jenis tanah berbeda-beda sehingga kebutuhan pupuk setiap jenis tanah bagi tanaman berbeda.

Kemasaman tanah mempengaruhi jenis pupuk yang diberikan, tanah-tanah yang dapat memfiksasi P seperti Ultisol maupun meretensi unsur-unsur hara P tinggi seperti Andisol, melalui pengapuran dan pemberian pupuk organik maupun pupuk hayati maka pemberian pupuk P menjadi lebih efisien.

3. Jenis pupuk yang akan dipergunakan

Pemberian pupuk pada tanaman sangat bergantung pada jenis pupuk yang akan diberikan, kebiasaan petani dalam pemberian pupuk organik, yakni pemberian satu minggu sebelum tanam setelah pengolahan tanah kedua. Maksud dari

petani itu, adalah agar pupuk organik yang diinkubasikan pada kedalaman olah tanah lebih mengalami proses dekomposisi dan mineralisasi dengan optimal, sehingga pada saat tanam, faktor lingkungan untuk pertum-buhan tanaman menjadi maksimal.

Pupuk kimia tunggal seperti urea ($CO(NH_2)_2$) diberikan biasanya pada saat menanam, dan diberikan pupuk susulan (*top dressing*) selama masa vegetatif sampai menjelang fase generatif, maksudnya karena pupuk urea maupun ZA $(NH_4)_2SO_4$) memiliki sifat daya melarut yang lebih cepat diban-dingkan dengan pupuk buatan lainnya. Di sisi lain sifat tanaman dalam mengkonsumsi dan kebutuhan pada Nitrogen (N) bersifat konsumtif (konsumtif mewah = *luxury consumptive*), hal itu juga bergantung pada sifat unsur hara N yang mobilitasnya tinggi, baik di dalam tanah maupun tanaman. Pupuk buatan/kimia lainnya seperti SP-36 ($Ca(H_2PO_4)_2$, *Muriate of potash*= *Potassium Chloride* = KCl, biasanya diberikan pada saat tanam dan cukup diberikan satu kali, karena memiliki sifat kelarutan yang lebih rendah dibandingkan dengan urea maupun ZA. Lain halnya dengan pupuk alam seperti pupuk fosfat alam (*rocks phosphate)* Cirebon (25-28% P_2O_5) yang memiliki sifat kurang larut dalam

air, reaksi fisiologisnya alkalis, dan tidak bersifat higroskopis, maka biasanya diberikan sebelum tanam bahkan satu minggu sebelum tanam dengan tujuan agar kelariutan pupuk dan ketersediaan unsur hara untuk tanaman lebih tersedia pada saat tanam dan pH tanah menjadi lebih stabil.

4. Dosis pupuk yang diberikan

Sebelum pupuk diberikan, dosis maupun takaran atau konsentrasi (pupuk cair) hendaknya diperhatikan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Akan tetapi sangat sulit dilakukan, apabila tidak pernah mengetahui berapa dari dosis/takaran pupuk yang diberikan dapat diserap optimal oleh tanaman, karena tidak ada hasil penganalisaan tanah maupun konsentrasi unsur hara dalam jaringan tanaman. Sehingga saat ini direkomendasikan pemupukan ber-dasarkan hasil analisis tanah sebelum tanam maupun analisis jaringan tanam-an sebelum tanam untuk base data per wilayah rekomendasi, akan lebih baik disosialisasikan pada petani.

5. Konversi Kebutuhan Pupuk

Tisdale, Nelson, dan Beaton (1990), melaporkan bahwa kebutuhan pupuk untuk budidaya tanaman harus dilihat kandungan oksida maupun unsur hara yang dikandung

oleh pupuk dalam satuan prosen berat. Konversi % P ke %P_2O_5, ditulis sebagai berikut : % P = % P_2O_5 x 0,43. Angka 0,43 diperoleh dari perbandingan BA P/BM = berat molekul P_2O_5 (BA=berat Atom P = 31, BA O=16) dan sebaliknya % P_2O_5 = % P x 2,29, angka 2,29 diperoleh dari perbandingan BM P_2O_5 / BA P. Konversi untuk pupuk K, % K = % K_2O x 0,83,

Sebaliknya % K $_2$O = % K x 1,2. (Tisdale, Nelson, dan Beaton, 1990)

6. Cara Penempatan pupuk

Cara penempatan pupuk harus diperhatikan :

(1) Agar dapat diambil oleh akar tanaman / lebih efisien

(2) Agar tidak merusak biji atau akar tanaman

(3) Ekonomis (ketersediaan tenaga kerja dll)

Menghitung efisiensi pupuk, efisiensi pemupukkan dan efisiensi penggunaan pupuk, maupun efisiensi serapan hara, perlu informasi nyata di lapangan, melalui penelitian penelitian yang kongkrit, karena menghitung efisiensi harus melibatkan data analisis tanaman maupun tanah.

Ada beberapa istilah efisiensi :

- Efisiensi penggunaan N (N *use efficiency*) = hasil biji / suplai N

- Efisiensi pemanfaatan N (N utilization efficiency) = hasil biji / analisis N tanaman bagian *shoot*
- Efisiensi N tersedia = *available* N / *grain* N
- Efisiensi serapan N = $\frac{\text{above ground plant N}}{\text{available N}}$

Cara-cara penempatan pupuk secara ringkas digambarkan sbb:

Gambar 4.4. Cara–Cara Penempatan Pupuk

Pemupukan kimiawi dapat pula mendegradasikan tanah, terutama dapat memasamkan tanah apabila kita tidak pernah mengetahui sifat-sifat kesuburan tanah selagi memupuk dan pupuk apa yang diberikan. Di bawah ini ada suatu gambaran dari Tisdale, Nelson dan Beaton (1990), bagaimana pupuk kimia golongan pupuk N secara terus menerus diberikan ke dalam tanah untuk tanaman, tanpa memperbaiki kemasaman tanah, ternyata dapat menyum-bangkan atau menambah kemasaman tanah.

7. Sumber-sumber Kemasaman Tanah

a. Proses pencucian basa-basa / kation-kation basa (daerah tropis)

b. Erosi

c. Respirasi organisme hidup, mengeluarkan sejumlah CO_2 dalam tanah

   $CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$

d. Hujan asam yang membawa material-material (H_2SO_4, H_2CO_3, HNO_3).

e. Asam-asam organik/an-organik yang dihasilkan dari pelapukan bahan organik

f. Proses hidrolisis ion Al^{3+}

$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$

g. Proses oksidasi senyawa sulfida (terutama di daerah pasang surut)

h. Proses nitrifikasi

$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2HNO_2 + 2H^+ + 2H_2O$

$2HNO_2 + O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H^+$

$2NH_4^+ + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H^+$

i. Penggunaan pupuk buatan secara kontinyu

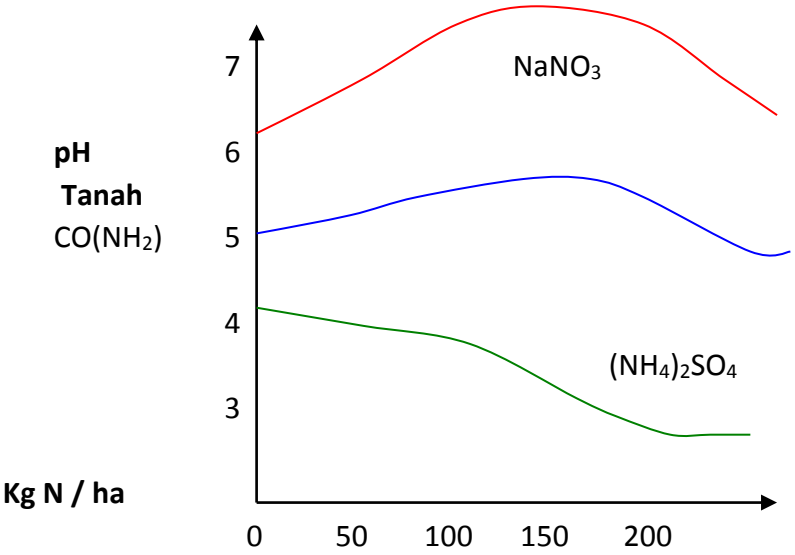
$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 \rightarrow 2NO_3^- + 2H_2O + 4H^+ + SO_4^{2-}$

$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3 + 4O_2 + 2NO_3^- + CO_2 + 12H^+$

ZA menghasilkan 2 mol H^+ per mol NH_4^+ , Urea menghasilkan 1 mol H^+ per mol NH_4^+

j. KTK akar (*Plant Root often exchange H^+ for nutrient cation*).

Bila akar tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara N dan pH tanah

kation maka dari akar akan dikeluarkan H^+ dalam jumlah setara, bila bentuk anion yg diserap oleh akar, maka akar akan mengeluarkan HCO_3^- .dengan jumlah yang setara pula.

Sebagai contoh, misalnya untuk memproduksi 8 ton/ha biji padi diperlukan unsur hara sekurang-kurangnya 106 kg N, 32 kg P, 20 kg K, 4 kg Ca dan 1 kg Mg per hektar, sedang untuk memproduksi 8 ton / ha ubi kayu (umbi) diperlukan N dan P

yang lebih sedikit, tetapi K, Ca, Mg yang lebih banyak yaitu 30 kg N, 10 kg P, 50 kg K, 20 kg Ca dan 10 kg Mg per hektar.

Secara umum kebutuhan tanaman akan pupuk ditentukan pula oleh macam bagian tanaman yang akan dipanen :

- Tanaman yang diambil (diusahakan) daunnya perlu pupuk N, agar daun dapat berkembang dengan baik. Misalnya sayur-mayur, teh dsb.
- Tanaman yang menghasilkan pati atau gula di samping memerlukan unsur N juga unsur K, misalnya : ubi kayu, ubi jalar, wortel, lobak, tebu dsb.
- Tanaman yang diambil bunga, buah, atau bijinya disamping unsur N (untuk pertumbuhan vegetatif) diperlukan banyak unsur P untuk pertumbuhan generatif (pembentukan bunga, buah, biji). Pada tanaman yang menghasilkan buah dan biji yang bertepung atau bergula juga diperlukan
- unsur K, contohnya : padi, jagung, kedelai, tomat dan buah-buahan pada umumnya.

4.4. Persyaratan teknis minimal pupuk anorganik padat dan cair SK Mentan No: 09/Kpts/TP.260/1/2003

Tabel 4.2. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Anorganik Pupuk Hara Makro

Jenis hara	Pupuk hara makro padat		Pupuk hara makro cair	
	Tunggal	**Majemuk**	**Tunggal**	**Majemuk**
Nitrogen (total)	Sesuai SNI	Total N, P_2O_5	Minimal 20%	Total N, P_2O_5
Fosfor (P_2O_5)	Sesuai SNI	dan K_2O	Minimal 8%	dan K_2O
Kalium (K_2O)	Sesuai SNI	Minimal 30%	Minimal 15%	Minimal 10%
Seng (Zn)	-	Maksimal 0,50%	-	Maksimal 0,25%
Boron (B)	-	Maksimal 0,25%	-	Maksimal 0,125%
Tembaga (Cu)	-	Maksimal 0,50%	-	Maksimal 0,25%
Mangan (Mn)	-	Maksimal0,50%	-	Maksimal 0,25%
Molibden	-	Maksimal 0,001%	-	Maksimal 0,001%
Kobal (CO)	-	Maksimal 0,002%	-	Maksima 0,0005%
Biuret	-	Maksimal 1%	Maksimal 1%	Maksimal 1%

Tabel 4.3. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Anorganik Pupuk Hara Mikro

Jenis hara	Pupuk hara mikro padat		Pupuk hara mikro cair	
	Tunggal	Majemuk	Tunggal	Majemuk
Nitrogen (total)	-	-	-	-
Fosfor (P_2O_5)	-	-	-	-
Kalium (K_2O)	-	-	-	-
Seng (Zn)	Sesuai SNI	Maksimal 0,50%	-	Maksimal 0,25
Boron (B)	Sesuai SNI	Maksimal 0,25 %	-	Maksimal 0,125
Tembaga (Cu)	Sesuai SNI	Maksimal 0,50%	-	Maksimal 0,25
Mangan (Mn)	Sesuai SNI	Maksimal 0,50%	-	Maksimal 0,25
Molibden (Mo)	Sesuai SNI	Maksimal 0,001%	-	Maksimal 0,001
Kobalt (Co)	-	Maksimal 0,002%	-	Maksimal 0,0005
Biuret	-	-	-	-
Arsen (As)	-	Maksimal	-	Maksimal

		100 ppm		100 ppm
Merkuri (Hg)	-	Maksimal 10 ppm	-	Maksimal 10 ppm
Kadmium (Cd)	-	Maksimal 100 ppm	-	Maksimal 100 ppm
Timbal (Pb)	-	Maksimal 500 ppm	-	Maksimal 500 ppm

Tabel 4.4. Persyaratan Teknis Minimal Pembenah Tanah

No	Parameter	Kandungan
1	Bahan aktif* (%) (sintesis)	0,02 (terhadap berat kering tanah)
2	KTK**	> 80
3	pH	4-8
4	Kadar air Tanah (%)	< 35
5	Bahan ikutan (%)	< 2
6	Kadar logam berat (ppm) As Hg Pb Cd	 < 10 < 1 < 50 < 10
7	Mikroba patogen (cell ml^{-1}) (E.coli, Salmonella)	Dicantumkan

* Khusus untuk bahan yang direkayasa kimia

** KTK khusus zeolit > 80 me/ 100 g

Tabel 4.5. Kaptan / Kapur Pertanian Syarat Mutu Kapur Pertanian menurut SNI 13-4704-1995

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Penetapan ukuran butir Lolos melalui saringan 40 mesh Lolos melalui saringan 100 mesh	 % %	 100 50
2	Kadar air	%	Maksimal 5
3	Kadar Ca dan Mg $CaCO_3 + MgCO_3$ CaO + MgO	 % %	 Minimal 85 Minimal 47
4	Kadar Fe_2O_3 dan Al_2O_3 (R_2O_3)	%	Maksimal 3
5	Setara $CaCO_3$	%	Minimal 8
6	Kadar SiO_2	%	0-3

Sumber : Balai Penelitian Tanah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan, 2005.

Tabel 4.6. Pupuk Kiserit Syarat Mutu Kiserit menurut SNI 02-2807-1992

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air bebas	%	Maksimal 0,5
2	Kadar magnesium sebagai MgO	%	Minimal 25,5
3	Kadar sulfur sebagai S	%	Minimal 21,0

Tabel 4.7. Pupuk Guano (Posfat alam) syarat mutu pupuk guano menurut SNI 02-2871-1992.

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Kadar air	%	Maksimal 10
2	Total N	%	Minimal 3,5
3	Fosfat sebagai P_2O_5	%	Minimal 10
4	Kalium sebagai K_2O	%	Minimal 6
5	Klorida sebagai Cl	%	Maksimal 0,5
6	Berbau khas		

Sumber : Balai Penelitian Tanah Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Deptan, 2005.

Tabel 4.8. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik Padat dan Cair

	Parameter	Padat	Cair
1	C- organik	Minimal 15	>6
2.	C/N rasio	12-25	-
3.	Bahan ikutan (%): kerik beling,plastik	<2	-
4.	Kadar Air (%)	Minimal 20,Maksim	-
5.	Kadar logam berat (ppı As Hg Pb Cd	 <10 <1 <50 <10	 <10 <1 <50 <10
6.	pH	>4 - <8	>4 - <8
7.	Kadar total (N+P205+K Dalam persen	dicantumkan	dicantumka
8.	Mikroba patogen	dicantumkan	dicantumka
9.	Kadar unsur hara mikr (Zn,Cu,Mn,Fe)	dicantumkan	dicantumka

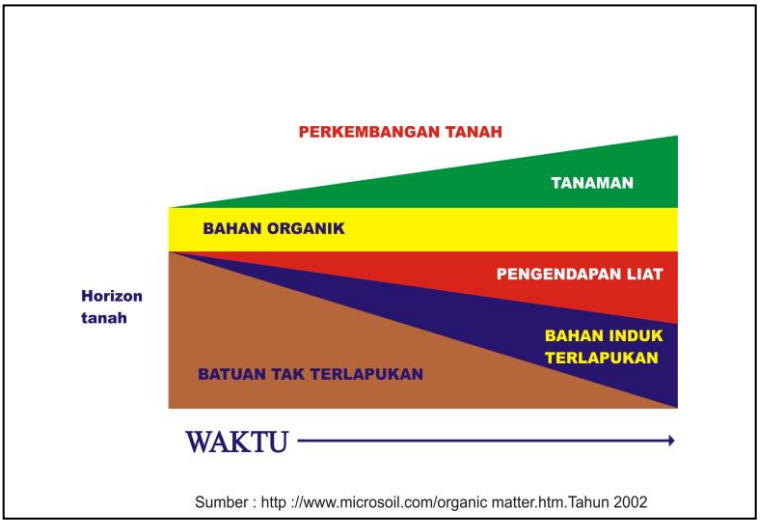
V. TANAH SEHAT DAN PENGELOLAANNYA

5.2. Tanah Sehat

Menurut penulis, makna dari pengelolaan tanah subur dan sehat adalah terletak pada kata kunci yakni ”**Bahan organik dan mikroorganisme atau jasad renik yang menguntungkan**” atau ”pupuk organik yang berkua-litas” di dalam tanah. Sebab jika tanah memiliki bahan organik dan pupuk organik yang berkualitas baik, maka akan mendatangkan mikroorganisme yang baik dan menyediakan humus yang berlimpah. Adanya motto ***”Go to Organic 2010”*** tidak merupakan kebijakan yang terlambat bagi petani maupun masyarakat di bidang pertanian lainnya untuk memajukan pertanian ke masa depan sebagai contoh dalam mendukung ketahanan pangan saat ini untuk tanaman padi Menteri Perta-nian RI pada acara Seminar dan Loka Karya di Universitas Winaya Mukti pada th 2008 dalam tulisanya mencanangkan percepatan difusi dan Pemanfaatan Teknologi Padi Organik Melalui metode SRI (***System of Rice Intensification***), hanya kebijakan itu dalam implementasinya harus seiring dengan kebijakan lain yakni **Peraturan Mentan**

No.01/Kpts/SR.130/1/2006 tentang rekomen-dasi Pemupukan N, P, dan K padi sawah spesifik lokasi untuk mensejahtera-kan kehidupan petani khususnya petani padi sawah. Dengan demikian bagaimana kebijakan itu bisa berintegrasi di lapangan sehingga petani tidak menjadi kebingungan. Menurut hemat penulis penerapan kedua kebijakan itu harus seimbang dan harus melalui beberapa tahap kajian yang tepat dan seiring dengan pemahaman efisiensi pupuk pada petani bahkan kebijakan ini sadar atau tidak disadari masih membingungkan kita atau petani itu sendiri. **Keterlambatannya** kebijakan pertanian organik dalam arti penerapan bahan organik maupun pupuk organik pada lahan sawah untuk petani padi sawah, hal itu Syarifuddin Karama (2000) pernah menyatakan kekhawatirannya, bahwa pada lahan-lahan sawah di Indonesia telah kekurangan bahan organik bahkan degradasi bahan organik, rata-rata kandungan bahan organik lahan sawah maupun lahan kering yang dicirikan dari kandungan karbon tanah (C) di bawah 1% (C<1%), sehingga tanah-tanah di Indonesia mengalami degradasi dan tingkat kesuburannya bahkan tanah menjadi tidak sehat. Padahal jika kita simak gambaran konsep perkembangan tanah di dunia harus memiliki keutuhan alami

bahan organik yang ada dalam tanah seperti yang digambarkan di bawah ini agar tanah tetap subur dan selalu sehat yang dicirikan kemantapan dan utuhnya bahan organik dalam tanah teriring bertambahnya waktu.



Gambar 5.1. Perkembangan Tanah Yang mendukung Tanah Subur dan Sehat.

Menurut (Magdoff (2001) dalam **Lisnawita (2002)** tanah sehat adalah istilah yang banyak digunakan petani untuk menyatakan kondisi tanah mereka dan hubungannya dengan pertumbuhan tanaman. Konsep tanah sehat sama dengan manusia sehat. Manusia sehat dicirikan dengan temperatur tubuh dan gula darah yang normal serta tidak ada

penyakit infeksius. Tanah sehat dicirikan dengan kandungan air dan nutrisi yang optimal untuk pertumbuhan tanaman. Semua komponen berfungsi normal seperti komponen biologi, fisika dan kimia tanah serta mendukung pertumbuhan tanaman dan dapat meningkatkan produksi tanaman. Selain itu tanah sehat dicirikan dengan tidak adanya organisme yang menggangu pertumbuhan tanaman baik parasit maupun tumbuhan pengganggu (gulma). Tanah sehat meliputi aspek biologi, kimia dan fisika dipengaruhi oleh beberapa aspek tanah dan pengelolaan tanah. Sulit untuk memisahkan antara satu dengan yang lainnya karena antara satu aspek dengan aspek lainnya saling mempengaruhi.

Menurut hemat penulis, biasanya pada tanah yang subur dan sehat terkandung banyak mikroorganisme yang menguntungkan, mikroorganisme-mikrorganiisme itu berfungsi sebagai penyubur dan penyehat tanah. Menurut Subba Rao (1986) termasuk antara lain:

- *Rhizobium sp* (golongan bakteri pemfiksasi N dengan tanaman golongan leguminosa, yang bersifat simbiotik), maupun bakteri non simbiotik atau hidup bebas seperti (*Azotobacter sp* bersifat heterotrof, *Azospirillum sp, Beijerinckia, Derxia, dll.*)

- Golongan mikroorganisme yang dapat membantu melarutkan fosfat di dalam tanah seperti (bakteri *Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, *Xanthomonas sp*, *Flavobacterium sp*, *Achromobacter sp*, dl).

Dalam tanah yang subur normal, terdapat 10-100 juta bakteri di dalam setiap gram tanah. Angka itu mungkin meningkat bergantung pada kandungan bahan organik suatu tanah. Sebagian besar termasuk heterotrof yang memanfaatkan sumber energi dari gula, selulosa, tepung, dan protein.

Magdoff (2001) lebih jauh mengatakan bahwa tanah sehat adalah tanah yang dapat mendukung tanaman untuk tumbuh dengan baik di bawah kondisi tekanan yang sangat rendah. Di bawah ini diberikan beberapa karak-teristik dari tanah sehat menurut Magdoff (2001) dalam Lisnawita (2002), yaitu **:**

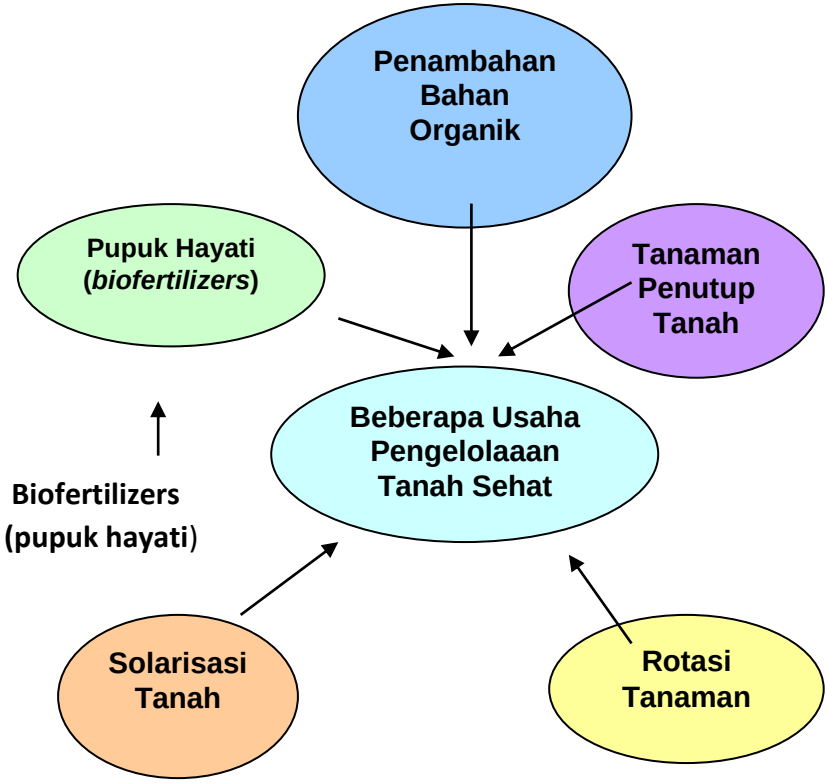
1. Nutrisi untuk pertumbuhan tanaman cukup tersedia.
2. Tanah tidak terlalu padat dan memiliki keremahan yang cukup baik, sehingga akar dapat berkembang dengan baik.
3. Mempunyai drainase yang baik. Dengan drainase yang baik kandungan oksigen di akar cukup baik sehingga akar dapat berkembang dengan baik.

4. Populasi organisme parasit di dalam tanah rendah. Produksi tanaman dapat meningkat bila tanaman tidak diganggu oleh serangan parasit seperti bakteri, fungi dan nematoda.
5. Populasi organisme yang menguntungkan tinggi.
6. Gangguan tumbuhan pengganggu (gulma) rendah. Gulma dapat menjadi kompetitor bagi tanaman dalam hal nutrisi, air dan cahaya.
7. Tidak ada pengaruh pestisida atau bahan-bahan kimia. Pengaruh bahan-bahan kimia dapat terjadi secara alami, seperti kelebihan alumunium pada tanah-tanah masam, atau dapat juga karena aktivitas manusia seperti aplikasi pestisida pada konsentrasi yang tinggi.
8. Cepat pulih kembali setelah mengalami kerusakan.

Menurut Magdoff & Van Es (2000) *dalam* Magdoff (2001), ada beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk memperbaiki tanah agar menjadi sehat, yaitu :

1. Penambahan bahan organik, dapat dilakukan dengan pemberian tanaman penutup tanah atau pemberian kotoran hewan dan sisa-sisa tanaman. Penambahan bahan organik juga dapat dilakukan dengan

2. pemberian beberapa jenis bahan organik, karena setiap bahan organik memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah.



Gambar 5.2. Beberapa Cara Usaha Pengelolaan Tanah Menjadi Sehat

2. Melindungi permukaan tanah dengan tanaman penutup tanah. Tanaman penutup tanah dapat melindungi tanah dari kelembaban tanah dan

temperatur yang ekstrim serta meningkatkan kesediaan air tanah, sehingga memberi cukup air untuk tanaman sekaligus mengurangi aliran permukaan dan erosi.

3. Mengurangi pengolahan lahan yang intensif.
4. Melakukan rotasi tanaman.
5. Menggunakan tindakan lain untuk mengurangi erosi. Misal : *strip cropping*.
6. Menggunakan teknik pengelolaan tanah yang baik untuk mensuplai nutrisi tanpa menyebabkan polusi tanah.

5.2. Beberapa Usaha Pengelolaan Tanah Sehat

Beberapa usaha pengelolaan tanah sehat yang dapat dilakukan , yaitu

1. Penambahan Bahan Organik/ Kompos.

Banyak tanaman yang telah diketahui memberikan pengaruh menghambat kemampuan nematoda parasit menginfeksi tanaman (Akhtar, 2000), Prakash & Jagadiswari (1997), melaporkan ada sekitar 150 jenis tanaman yang dapat bersifat nematisida yang umumnya diaplikasikan ke tanah sebagai bahan organik tumbuhan.

Bahan organik dapat bercampur dengan tanah karena adanya aktivitas berbagai mikroorganisme tanah seperti bakteri, fungi dan cacing tanah.

Peruraian bahan organik di dalam tanah menghasilkan senyawa-senyawa di dalam tanah yang bersifat racun bagi nematoda parasit tumbuhan. Terutama tanaman yang terurai mengeluarkan asam asetat, asam propianat dan asam butirat, asam-asam tersebut akan bertahan selama beberapa minggu di dalam tanah dalam konsentrasi yang cukup tinggi untuk menghambat nematoda parasit tumbuhan tetapi tidak meracuni nematoda yang hidup bebas. Kualitas bahan organik yang memadai harus mencirikan sifat sebagai berikut:

Jika kita berhadapan dengan suatu bahan organik disertai informasi karakteristik kimianya (data analisis kimia), harus kita simak bahwa,

1. Bila kandungan N > 2,5 % bahan organik ini dikatakan *berkualitas tinggi*, maka ada dua kemungkinan :

a) Bila kandungan lignin <15 % dan polyphenol < 4%, maka :

- Bahan organik tersebut dibenamkan bersamaan dengan saat tanam tanaman semusim, sebagai pupuk *in-situ.*

- Bahan organik tersebut *jangan dicampur* dengan pupuk atau bahan organik berkualitas tinggi, karena akan hilang percuma.

b) Bila kandungan lignin > 15 %:

Bahan organik tersebut *dicampur* dengan pupuk atau bahan organik lain yang berkualitas tinggi (kandungan N > 2,5 %)

Bila kandungan N <2,5 %, dibagi dua kelompok berdasarkan kandungan ligninnya :

a) Bila kandungan lignin <15 %, maka direkomendasikan :

- Bahan organik tersebut *dicampur* dengan pupuk atau ditambahkan pada kompos.
- Bahan tersebut jangan disebar pada permukaan tanah untuk menekan evaporasi dan erosi, karena cepat melapuk sehingga cepat hilang dan tidak dapat menjaga kondisi air tanah.

b) Bila kandungan lignin > 15 %, maka :

- Bahan organik ini *dapat disebar* pada permukaan tanah sebagai mulsa untuk menekan evaporasi dan erosi.

Prosedur sederhana untuk menentukan cara pengelolaan bahan organik yang tepat seperti contoh (*Gambar 5.3*) sebenarnya dapat dikembangkan sendiri

oleh para praktisi dan petani berdasarkan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki, karena tidak semua kasus bisa mengikuti pola aturan ilmiah di atas. Sebagai contoh, sebuah pedoman serupa dikembangkan oleh petani di Zimbabwe berdasarkan pengalaman dan kebutuhan mereka (Giller, 1999). Pedoman ini didasarkan pada karakteristik bahan secara sederhana yaitu warna daun (Gambar 5.3 poin b). Penggunaan pedoman ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bila daun berwarna hijau ,ada dua kelompok :

a) Apabila daun tidak berserat dan mudah hancur, terasa sangat kelat (Bahasa Jawa : *sepet*), maka direkomendasikan :

- Bahan organik tersebut dapat dibenamkan *in-situ* bersamaan dengan waktu tanam tanaman semusim.

b) Apabila daun berserat dan tidak mudah hancur, tidak terasa kelat, maka direkomendasikan :

- Bahan organik tersebut *jangan* dibenamkan *in-situ* bersamaan dengan waktu tanam tanaman semusim.

- Bahan tersebut sebaiknya dicampur dengan pupuk atau bahan organik lain yang berkualitas tinggi.

2. Bila daun berwarna kuning dipisahkan menjadi dua kelompok :

a) Apabila mudah hancur seperti tepung, maka direkomendasikan :

- Bahan organik tersebut dicampur dengan pupuk atau ditambahkan pada kompos.
- Bahan organik tersebut **jangan** disebar pada permukaan tanah sebagai mulsa karena bahan organik cepat melapuk sehingga tidak dapat untuk menekan evaporasi dan erosi.

b) Apabila tidak mudah hancur bila kering, maka direkomendasikan :

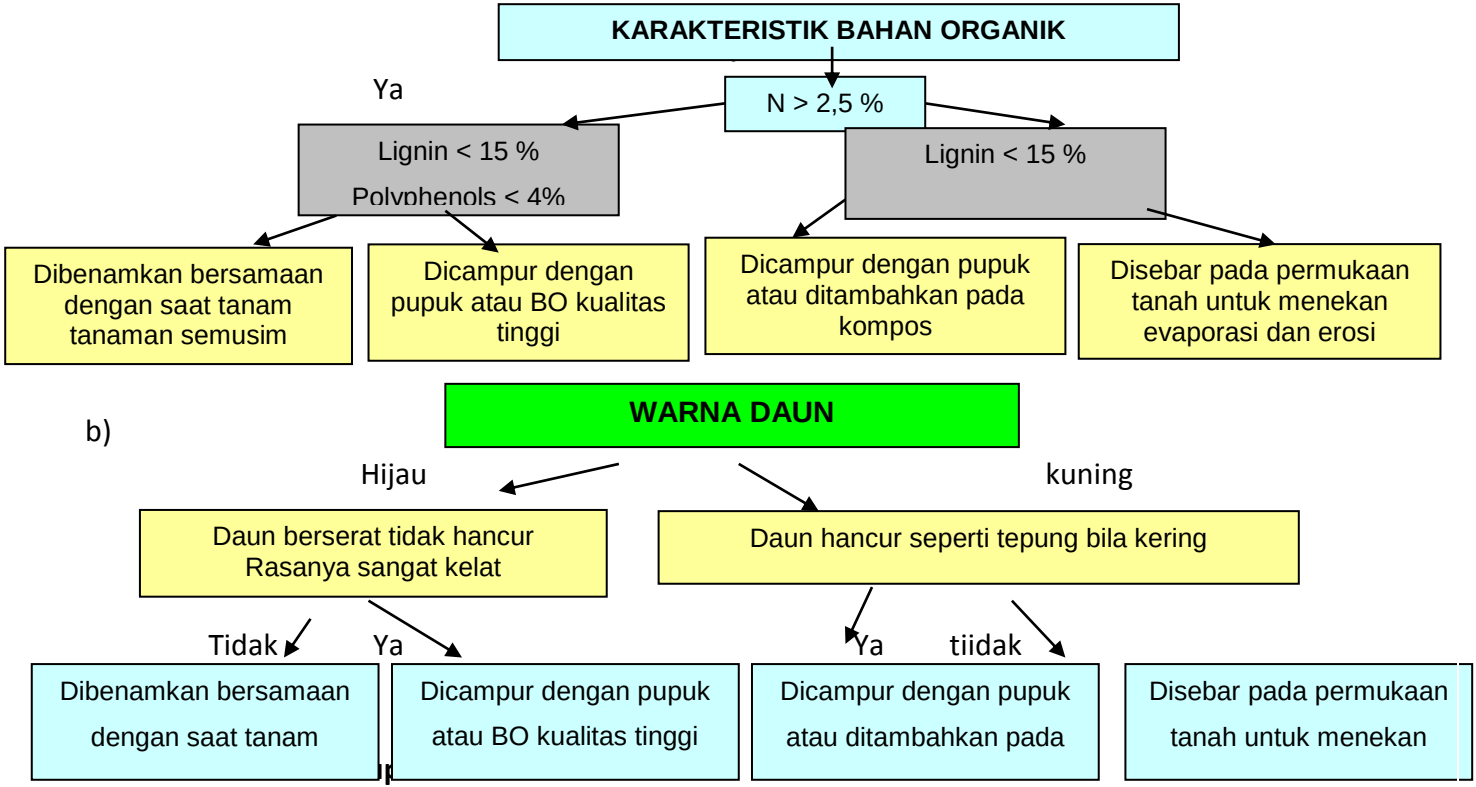
- Bahan organik tersebut dapat disebar pada permukaan tanah sebagai mulsa untuk menekan evaporasi dan erosi.

Produk dari nimba (*Azadirachta indica*) baik daun, tepung biji, ekstrak biji dan minyaknya memiliki kemampuan sebagai nematisida. Selain itu kacang tanah (*Arachis hypogea*) juga bersifat sebagai nematisida berspektrum luas dengan memberikannya ke dalam tanah. Juga tanaman terpenoid

lainnya diketahui memiliki efek nematisida (Hall & Julius, 1999 dalam Lisnawitai, 2002).

Akhtar (2000) menyatakan perlakuan kombinasi urea dosis 110 kg N/ha dan 220 kg N/ha dan *nimba azadirachtin* 0,15 % dan 0,18 % pada tanaman *chickpea* (*Cicerarietinum*), mampu menghambat populasi nematoda parasit seperti *M. incognita*, *R. reniformis* dan *H. indicus* serta meningkatkan pertumbuhan tanaman. Chen *et al*. (2000), menemukan aplikasi dengan menggunakan kompos *brewery* dapat menurunkan tingkat keparahan puru akar dan produksi telur *M hapla* serta meningkatkan produksi *lettuce* sekitar 13 % pada tanah yang diberi fumigasi dan 23 % pada tanah tanpa fumigasi. Pengaruh kompos *brewery* dan penambahan bahan organik yang berasal dari tanaman jagung dengan atau tanpa tanaman penutup tanah *rye grain* atau *hairy vetch* telah dievaluasi untuk mengendalikan kompleks penyakit busuk akar yang dicobakan di lapangan selama 3 musim tanam.

Hasil penelitian menunjukkan pemberian kompos *brewery* dan tanam-an jagung dapat meningkatkan populasi tanaman dan produksi secara nyata, dengan pemberian kompos dapat menurunkan tingkat keparahan busuk akar secara nyata.



Gambar 5.3. Alur pengambilan keputusan pengelolaan bahan organik pada sistem pertanian.

2. Tanaman Penutup

Pemerian tanaman penutup tanah dapat mengurangi erosi, memperbaiki sifat fisik tanah dan mengurangi penyakit tanaman (Creamer *et al*., 1997). Selain itu tanaman penutup tanah juga dapat meningkatkan bahan organik tanah, meningkatkan aktivitas mikroba dan menekan penyakit tanaman (Viaena & Abawi, 1998). Menurut Magdoff (2001), tanaman penu-tup tanah juga mempunyai beberapa kegunaan lain, yaitu :

a. Mengurangi aliran permukaan dan erosi.
b. Meningkatkan jumlah Nitrogen tersedia bagi tanaman.
c. Mengurangi pencucian nitrat pada air tanah.
d. Meningkatkan jumlah spora cendawan mikoriza arbuskula (VAM).
e. Memberikan habitat yang sesuai bagi serangga

Sejumlah tanaman penutup tanah dapat efektif di dalam menekan populasi dan infeksi nematoda. Viaena & Abawi (1998), menemukan sudangrass (*Sorghum sudanense*) efektif sebagai pupuk hijau di dalam menekan reproduksi *M. hapla*. Suatu pengujian tanaman penutup tanah dengan menggunakan *Sudangrass* kultivar Truban 8, mempunyai kemampuan dalam menghambat produksi telur dan tingkat

keparahan puru akar oleh *M. hapla*. Penghambatan ini dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman inang karena pengaruh pitotoksisiti bila tanaman inang tidak cukup waktu untuk terurai dengan sempurna. Umur dan bagian tanaman *Sudangrass* berpengaruh di dalam tanah untuk menentukan *efektiveness* tanaman penutup tanah dalam menekan populasi dan kerusakan *M.hapla* (Viaena & Abawi, 1998).

Di samping *Sudangrass*, ada banyak tanaman penutup tanah yang lain. Kimpinski *et al*. (2000), mencoba beberapa tanaman penutup tanah seperti marigold (*Tagetes* spp.), rye grass (*Lolium multiflorum* cv. Lemtal), red clover (*Trifoliuum pretense* cv. Florex), dan kedelai (*Glycine max* cv. Proteus) untuk mengendalikan *P. penetrans* pada tanaman kentang. Populasi nematoda peluka akar (*P*. *penetrans*) lebih rendah pada kentang yang diberi tanaman penutup tanah *marigold* dibandingkan dengan tanaman penutup tanah lainnya. Sejalan dengan hasil ini, produksi umbi kentang secara nyata lebih tinggi 8-14 % bila tanaman kentang diberi penutup tanah *marigold*. Tingkat keparahan penyakit akibat infeksi nematoda peluka akar tertinggi terdapat pada tanaman penutup tanah *red clover* dan kedelai, begitu juga untuk rata-rata produksi umbi kentang lebih rendah pada tanaman penutup tanah red

clover dan kedelai dibandingkan dengan marigold. Menurut Kimpinski *et al*. (2000), hal ini terjadi karena *marigold* adalah inang yang tidak sesuai bagi *P. penetrans* atau mungkin terjadi interaksi yang bersifat antagonis antara *marigold* dan *P. penetrans*, sedangkan red clover dan kedelai merupakan inang yang baik bagi *P. penetrans*. Di samping itu pengaruh negatif *marigold* dengan nematoda peluka akar dapat juga disebabkan efek nematisida dari senyawa tiopenik yang terdapat di dalam akar *marigold*. Kandungan senyawa ini membuat *marigold* sering digunakan sebagai salah satu alternatif pengendalian dalam program pengelolaan nematoda terpadu (Ploeg & Paulus, 1999; Lisnawita, 2002; Lisnawita, 2002).

Secara umum ada 3 mekanisme yang berperan di dalam penekanan nematoda dengan pupuk hijau, yaitu : Secara biologi, kimia dan kombinasi dari keduanya. Secara biologi, ada perbedaan antara miroorganisme yang bermanfaat dengan organisme yang patogenik. Populasi dari organisme penghambat dapat mempengaruhi organisme patogenik tanaman melalui kompetisi (nutrisi, air maupun tempat hidup) dan secara langsung sebagai predator atau parasit (Creamer *et al*. 1997). Secara kimia dengan

menghasilkan senyawa toksil volatil dan non volatil selama proses dekom-posisi, dapat menghambat nematoda parasit tumbuhan. Sebagai contoh, *sudangrass* mengandung senyawa di dalam sel sitoplasma yang disebut *dhurrin*, masuk ke dalam golongan sianoglukosit. Bila sel tanaman mati seperti yang terjadi selama dekomposisi, enzim mendegradasi *dhurrin*, selanjutnya akan menghasilkan hidrogensianida. Produk lain dari hasil degradasi ini adalah seperti nitrilen atau isotiosianet yang mungkin mempunyai efek sebagai nematisida (Widmer & Abawi, 1998).

Beberapa hasil penelitian yang diuraikan di atas menggambarkan penggunaan tanaman penutup tanah/pupuk hijau dapat meningkatkan efektivitas di dalam mengelola nematoda puru akar, nematoda peluka akar dan nematoda parasit lainnya.

Tetapi lingkungan tanah sangat kompleks dan perbedaan geografis akan menyebabkan perbedaan lingkungan tanah. Oleh karena itu penting untuk menyeleksi tanaman penutup tanah yang potensial yang telah beradaptasi sehingga dapat digunakan dalam rotasi tanaman. Disamping itu perlu untuk menyeleksi tanaman penutup tanah yang

sesuai untuk patogen turgor dan efektif dalam menekan patogen tanaman.

3. Rotasi Tanaman

Patogen tular tanah yang menyerang satu atau beberapa spesies atau beberapa famili tumbuhan kadang-kadang dapat ditiadakan dari dalam tanah dengan menanam tumbuhan dari spesies atau famili yang tidak diserang oleh jenis patogen yang akan dikendalikan selama 3-4 tahun. Pengendalian secara menyeluruh melalui rotasi tanaman dapat dilakukan terhadap patogen penghuni tanah sementara (*soil invader*), tetapi apabila patogen bersifat penghuni tanah tetap (*soil inhabitor*) maka rotasi tanaman menjadi tidak efektif atau tidak praktis, karena rotasi tanaman hanya bersifat menurunkan populasi patogen (Agrios, 1997). Walaupun rotasi tanaman dengan tanaman bukan inang dapat mencegah dan menurunkan populasi patogen terutama nematoda parasit tumbuhan. Tetapi perlu untuk mengidentifikasi spesies nematoda agar dapat diketahui apa tanaman inang dan bukan inangnya. Secara umum, rotasi untuk suatu tanaman belum tentu sesuai dengan tanaman yang lain.

Produksi tanaman secara umum meningkat dengan rotasi tanaman dari pada secara monokultur. Rotasi dapat meningkatkan produksi melalui perbaikan nutrisi dan struktur tanah, mengurangi patogen, terutama yang menginfeksi batang dan akar tanaman. Johnson *et al*. (1999), dalam penelitiannya diperoleh produksi kacang buncis meningkat bila ditanam secara rotasi dibandingkan dengan penanaman secara terus menerus secara monokultur dan berkolerasi dengan tertekannya penyakit dan nematoda parasit tumbuhan.

Johnson *et al*. (1999) dalam Lisnawita (2002) melaporkan, dengan rotasi tanaman mampu menekan dua patogen utama pada tanaman kacang tanah yaitu nematoda puru akar (*M. arenaria*) dan patogen penyebab busuk batang southern (*Sclerotium rolfsii*). Lebih jauh Johnson *et al*. (1999) menjelaskan, rotasi kacang tanah selama dua tahun dengan kapas (*Gossypium hirsutum*), jagung, kacang castor (*Ricinus communis*) atau bahingrass mengurangi terjadinya busuk batang dan penurunan populasi *M. arenaria* pada tanaman kacang tanah yang peka. Hal yang sama dilaporkan oleh Timper *et al*. (2001), populasi *M. arenaria* pada tanaman kacang tanah (P) yang ditanam secara rotasi dengan kapas (Ct)

selama dua tahun (Ct-Ct-P) lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kacang tanah yang dirotasi dengan jagung (C-C-P) atau bahingrass (B-B-P) atau dengan tanaman kacang tanah yang ditanam terus menerus secara monokultur (P-P-P). Begitu juga dengan indeks puru akar karena infeksi *M. arenaria* pada tanaman kacang tanah yang dirotasi selama dua tahun lebih rendah dibandingkan dengan tanaman kacang tanah yang dirotasi dengan jagung atau bahingrass atau kacang tanah terus menerus secara monokultur, tetapi kepadatan endospora *P. penetrans* lebih tinggi pada pertanaman monokultur dibandingkan dengan rotasi tanaman.

Rotasi tanaman budidaya seperti kacang tanah dapat juga dilakukan dengan tanaman rumput (*Panicum virgatum*) seperti yang dilakukan Kokalis *et al*. (2002). Hasil penelitiannya diperoleh rumput tidak mendukung perkembangan populasi nematoda puru akar *(Meloidogyne* spp.), tetapi mendukung perkembangan populasi nematoda non parasit. Kacang tanah yang tidak diaplikasi dengan nematisida diikuti dengan penanaman rumput selama dua tahun mempunyai populasi nematoda yang sama dengan kacang tanah yang ditanam secara terus menerus dengan penggunaan nematisida. Lebih

jauh dejelaskan, rotasi tanaman juga menyebabkan perubahan di dalam ekologi rizosfir dan geokarposfir mikroba. Komunitas geokarposfir yang berkembang mengikuti rotasi tanaman rumput selama satu tahun berbeda dengan struktur komunitas geokarposfir pada tanaman kacang tanah yang ditanam secara terus menerus. Perubahan dalam komunitas ini berasosiasi dengan perubahan di dalam populasi nematoda parasit tumbuhan.

Fortnum *et al.* (2001) dalam Lisnawita (2002) melaporkan, tanaman tembakau yang dirotasi dengan kapas, sorgum, jagung dan *rye-fallow* sebelum tembakau ditanam menghasilkan produksi tembakau lebih tinggi daripada tanaman tembakau yang ditanam secara terus menerus pada plot yang berisi *M. arenaria* dan *M. incognita*. Selanjutnya dijelaskan jumlah masa telur dan indeks puru akar pada tanaman yang ditumbuhkan di tanah bekas jagung, sorgum, kapas dan *rye-fallow* lebih sedikit dibandingkan jumlah masa telur dan indeks puru akar dari tanah yang ditanami tembakau secara terus menerus. Populasi *Meloidogyne* spp. (J2) lebih rendah pada tanah yang ditanami sorgum daripada tanah yang ditanam kapas, jagung dan *rye-fallow*.

4. Solarisasi Tanah

Solarisasi tanah adalah suatu metode pasteurisasi yang efektif untuk menekan banyak spesies nematoda. Tetapi metode ini efektif bila cukup cahaya matahari pada musim panas. Tanah diberi plastik transparan selama 6-8 minggu. Panas matahari akan diperangkap oleh plastik, sehingga menaikkan temperatur tanah (Dufour *et al*.1998:Agrios, 1997).

Peningkatan temperatur tanah menghasilkan penurunan populasi gulma dan patogen tumbuhan termasuk fungi, bakteri dan nematoda. Secara tidak langsung patogen-patogen ini menjadi inaktif karena panas, patogen tular tanah juga menjadi lemah dan sensitif terhadap fumigasi tanah, organisme yang lain atau perubahan atmosfir di dalam tanah karena perubahan temperatur tanah.

Pinkerton (2000) dalam Lisnawita (2002) melaporkan, perlakuan dengan solarisasi tanah, solarisasi tanah dan tanaman penutup tanah serta fumigasi dengan metam sodium menghasilkan penurunan kepadatan populasi *Phytophora cinnamoni* dan *Verticillium dahliae* pada kedalaman tanah 5 dan 10 cm. Kepadatan populasi *P. penetrans* menurun pada kedalaman di atas 30 cm dari permukaan tanah dengan solarisasi. Solarisasi untuk 8 minggu selama musim panas

dapat dijadikan alternatif pengelolaan beberapa patogen tular tanah yang penting di Western Oregon.

Perlakuan panas lebih efektif di tanah lembab daripada di tanah kering, karena terjadi peningkatan konduktivitas termal dan aktivitas metabolik dari organisme target. James & Charles (2000) dalam Jaacov & James (2000) melaporkan, bahwa terjadi penurunan populasi kista, telur dan larva *H. cajani* yang lebih besar setelah perlakuan solarisasi pada tanah yang beririgasi dari pada tanah kering. Lebih jauh James & Charles (2000) dalam Jaacov & James (2000) dalam Lisnawita (2002) menjelaskan, pengendalian nematoda memperoleh hasil yang sangat baik bila solarisasi dikombinasikan dengan nematisida dosis rendah, seperti metal bromoda, etilen dibromida, 1,3-dikloropropen dan etoprop. Pengendalian dengan perlakuan kombinasi seperti di atas akan lebih efektif bila sedikit pestisida yang diberikan ke tanah, karena hal tersebut akan mengurangi potensial polusi tanah, air dan fitoksisitas. Pengurangan populasi serangga hama dan patogen lain untuk waktu yang lama mungkin disebabkan terjadinya peningkatan stimulasi dari mikroorganisme yang antagonis setelah solarisasi. Mikroorganisme yang teradaptasi

untuk bertahan hidup dari pengaruh solarisasi umumnya menjadi kompetitif antagonis yang tinggi.

Fortnum *et al*. (2000) melakukan penelitian pengaruh solarisasi terhadap nematoda puru akar pada tanaman tomat. Hasil penelitian didapatkan tanaman tomat tumbuh lebih baik pada tanaman yang diberi plastik putih dibandingkan dengan tanaman yang diberi plastik merah dan hitam. Hal ini mungkin disebabkan pada plastik putih refleksi cahaya untuk fotosintesa lebih baik daripada plastik berwarna, sehingga berat tunas, berat akar dan lebar daun lebih baik . Plastik berwarna merubah respon tanaman terhadap infeksi nematoda puru akar melalui perubahan distribusi massa tunas *axilari*. Luas daun dan berat daun lebih tinggi pada tanaman tomat yang diberi plastik putih dibandingkan dengan tanaman yang diberi plastik merah. Indeks puru akar lebih rendah pada tanaman yang diberi plastik putih dibandingkan tanaman yang diberi plastik merah.

Dufour *et al*. (1998) melaporkan pengggunaan plastik merah dapat menekan populasi nematoda puru akar pada tanaman tomat. Selain itu plastik merah dapat memantulkan cahaya sehingga tanaman dapat tumbuh lebih baik. Lebih jauh Dufour *et al*. (1998) menjelaskan, tanaman memberikan

sedikit energi ke dalam sistem akarnya yang merupakan sumber makanan bagi nematoda. Akibatnya nematoda kesulitan untuk mengambil makanan dari akar. Pada penelitian yang lain, Dufour *et al*. (1998) menjelaskan, tanaman tomat yang diberi plastik merah atau hitam dan diinokulasi dengan 200.000 telur nematoda produksi tomat 4 kg sedangkan pada plastik merah produksi tomat mencapai 8,5 kg.

5.3. Penglolaan Tanah / Lahan Marjinal (Tanah Masam) Menjadi Sehat

Tidak ada 1 cara Teknik Pengelolaan yang ideal yang dapat memecahkan semua masalah yang kompleks di lapangan

Tetapi bila mengetahui masalah yang terjadi di lapangan dan memahami proses-proses yang terjadi selama penaganannya maka strategi pengelolaan tanah marjinal dapat di sesuaikan dengan kebutuhan.

Hasil penelitian **BMSF (*Biological Management of Soil Fertility*)** pada Ultisols di Lampung selama 15 tahun menghasilkan 10 prinsip pengelolaan tanah marjinal yang dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 5.4):

M	*Maintain biodiversity*
O	*Optimize biological N_2 fixation*
T	*Tune demand for and supply of N to minimize losses and*
H	*Have deep rooted components included as "safety-nets" for*
E	*Effective acid soil tolerant germplasm and Al detoxification by*
R	*Replace Phosphorus and cations exported in harvested*
S	*Supply permanent soil cover*
O	*Omit or minimize soil tillage*
I	*Integrate "service" components (cover crops, trees) in to the*
L	*Let excessive(berlebih/kelebihan) rainfall escape via by*

Gambar 5.4. Skema 10 Prinsip Pengelolaan Tanah Marjinal

Tabel 5.1. Konsentrasi Unsur Hara dalam Jaringan Tanaman Semak di Kenya

Jenis pupuk hijau	N (%)		P (%)		K (%)	
	Rata-rata	Kisaran	Rata-rata	Kisaran	Rata-rata	Kisaran
Tithonia diversifolia	3,5	3,1-4,0	0,37	0,24-0,56	4,1	2,7-4,8
Calliandra calothyrus	3,4	1,1-4,5	0,15	0,04-0,23	1,1	0,6-1,6
Crotalaria grahmiana	3,2	3,0-3,6	0,13	0,13-0,14	1,3	0,9-1,6
Lantana camara	2,8	2,3-4,0	0,25	0,18-0,30	2,1	1,8-2,4
Leucaena leucocephala	3,8	2,8-6,1	0,20	0,12-0,33	1,9	1,3-3,4
Sesbania sesban	3,7	1,4-4,8	0,23	0,11-0,43	1,7	1,1-2,5
Tephrosia vogelii	3,0	2,2-3,6	0,19	0,11-0,27	1,0	0,5-1,3

Sumber : Jamma, *et.al*. 2000

Antara Gambar 5.4 dengan Tabel 5.1 ada keterkaitan yang sangat erat, pada pengelolaan lahan marjinal untuk menjadi sehat dengan prinsip *mother soil* antara lain harus mengoptimalkan fiksasi N secara biologi, yakni dengan memanfaatkan atau mendayagunakan pupuk hijau yang tertera pada Tabel 5.1. agar dalam tanah tercapai keanekaragaman mikroorganisme yang paling menguntungkan. Demikian pula, jangan sampai tanah mengalami kehilangan N (nitrogen) yang tinggi untuk nutrisi tanaman (meminimalkan kehilangan N), karena unsur hara N mudah hilang dari tanah baik dalam bentuk menguap ke atmosfir dalam bentuk N_2 maupun bentuk lainya (dapat dilihat pada Gambar 2.2), m bentuk NO_3^- Prinsip *mother soil* di atas mencerminkan betapa tanah harus dijaga dan dikelola bukan saja jangan sampai kehilangan N, akan tetapi perlu sekali pemahaman untuk mengelola atau pembudidayaan tanaman-tanaman yang toleran atau sesuai atau cocok dari sisi kesesuaian lahan (*soil tolerant gemplasm)*. Memberikan pupuk hijau pada tanah marjinal berarti ikut menggantikan kehilangan hara karena panen. Penelitian mengenai penggunaan pupuk hijau di tingkat petani masih sangat kurang, sehingga masih ada peluang yang cukup baik untuk

dikaji ke depan oleh para peneliti khususnya di bidang agroteknologi dalam mendukung tanah sehat bagi para petani. Tabel di atas menjelaskan bahwa "*safety net for leaching nutrients*" artinya unsur hara (ion) bahkan humus sekalipun mineral liat dapat tercuci dari horison tanah/lapisan atas zona eluvasi ke dalam lapisan zona iluvasi karena adanya pori-pori tanah ari air irigasi leaching atau pelindian atau pencucian unsur-unsur hara, humus dan oksida Fe, Al. Ada beberapa hal agar tidak terjadi kehilangan disebabkan oleh proses leaching, diantaranya:

1. Diperlukan tindakan pengolahan dan pengelolaan bahan organik,
2. Sumber bahan organik yang berkualitas untuk menjamin berlangsungnya pelapukan,
3. Rotasi tanaman,
4. Membenamkan bahan hijauan untuk menambah bahan organik tanah.

BAB VI.
EVALUASI KESUBURAN TANAH

6.1. Analisis Tanah

Analisis Tanah meliputi: Analisis mineral tanah, analisis fisika tanah, analisis kimia tanah, dan analisis biologi tanah.

Analisis Contoh Tanah

- Tanah diambil dari lapangan/uji rumah kaca dengan metode tertentu
- Setelah dianalisis di laboratorium dapat diketahui status/kadar hara (sangat rendah, rendah, sedang/cukup, tinggi, dan sangat tinggi).

Prinsip yag harus diketahui dalam metode analisis

- Harus dapat mengekstrak khususnya bentuk-bentuk unsur hara yang tersedia bagi tanaman secara cepat
- Sifatnya selektif, artinya tidak mengekstrak bentuk yang tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman
- Metode analisis yang dipakai di lab harus tercerna oleh pengguna (sederhana), cepat dan mudah dilaksanakan dan memilih ketepatan dan ketelitian yang tinggi
- Hasil analisis harus dapat direproduksi, dimanfaatkan sebagai acuan prediksi pemupukan, dll.

Larutan kimia dan jenis larutan kimia harus didasarkan pada pengetahuan yang baik tentang bentuk-bentuk kimia dengan unsur-unsur hara dalam tanah.

6.1.1. Jenis Permintaan Analisis Tanah dan Alat yang Digunakan

I. Analisis tanah rutin:

Analisis tekstur, pH (H_2O dan KCl), bahan organik (metode wakley and black atau metode kurmis), N-total, P dan K potensial, P dan K tersedia, KTK, Kation dapat tukar (dd), dan kemasaman dapat tukar,

2. Analisis tanah khusus

pH Na-NaF, $CaCO_3$, EC (salinitas), kemasaman total dan terekstrasi, P-retensi, P-sorption, Fe, Alekstrak oksalat asam, ekstrak firofosfat), fraksionasi P, tekstur 10 fraksi, Ca dan Mg potensial, total unsur hara makro dan mikro, asam humik/humat, kebutuhan kapur pertanian,

3. Analisis untuk uji tanah

Tekstur cara hidrometer, unsur hara makro/mikro tersedia (Morgan), unsur mikro tersedia (DTOA, HCl 0,1 N), Sulfat tersedia (ekstrak $Ca(H_2PO_4)$,

4. Analisis air, Mn, Si, C (ekstrak dithionit sitrat, Kadar lumpur, pH, EC, kation dan anion,

5. Analisis tanaman dan pupuk kompos

   Unsur hara makro dan mikro, SiO_2 , abu/hilang pijar,pH, C, N-organik, NH_4, NO_3^-

6. Analisis pupuk

   Kadar air bebas, N, P_2O_5, K_2O, dan unsur hara makro/mikro larut dalam air, karbonat, kehalusan, asam bebas dan silikat bebas,

1. Analisis logam berat dan unsur hara lain Cu, Pb, Cd, Co, Zn, B, Ti, dll

Perangkat peralatan

Peralatan yang biasa digunakan pada pengujian contoh tanah adalah sebagai berikut: **:** AAS, autoanalyzer, flame photometer, spectyrophotometer UV-visible, destruksi di ruang asam dan perangkat Kjeldahl, kalorimeter, dll

6.1.2. Analisis Tanah, Uji Korelasi dan Uji Kalibrasi

Analisis Fisika Tanah

Analisis bobot isi (BD) dan ruang pori total, ketersediaan air tanah pada berbagai tegangan, permeabilitas, angka Atterberg, Indeks stabilitas agregat,

laju perkolasi, nilai COLE, partikel densitas, kandungan air optimum dan tekstur.

Analisis Mineral Tanah

Analisis mineral pasir dengan mikroskop: fraksi total,fraksi berat, fraksi ringan, serta analisis mineral liat dengan X-ray difraktometer, analisis mineral-mineral dari batuan mengenai oksida-oksia dan silikatnya dengan AAS.

Uji tanah sangat perlu dikorelasikan dengan serapan unsur hara oleh tanaman melalui percobaan pendahuluan misalnya di rumah kaca atau sejenisnya, dan pengujian di lapangan memiliki sifat sebagai ” Uji Kalibrasi”.

Uji Korelasi

Memiliki tujuan yakni untuk mendapatkan metode yang tepat untuk suatu unsur hara dan tanaman

Uji Kalibrasi

Memiliki tujuan untuk mendapatkan hubungan antara selang kadar suatu unsur hara atau nilai kritisnya dengan respon tanaman di lapangan terhadap unsur hara tersebut, sehingga dengan sendirinya akan memberikan nilai agronomi bagi angka ”uji tanah”, sebab tanpa uji kalibrasi angka-angka uji tanah tidak berarti sama sekali (percuma),

6.2. Analisis Tanaman

Dikenal dua metode pendestruksian yang umum biasa dilakukan untuk menganalisa secara total unsur-unsur yang terdapat dalam tanaman :

1. Destruksi basah (*wet oxidation*), dengan reagen pengoksidasi seperti : HNO_3, $HClO_4$, H_2O_2 dll dalam lingkungan yang bervariasi.

Tabel 6.1. Kriteria Penilaian Sifat Kesuburan Kimia Tanah (PPT, 1983. Hardjowigeno, 1995).

Sifat Tanah	Sangat rendah	Rendah	Sedang/cukup	Tinggi	Sangat Tinggi
C-organik (%)	<1,00	1,00 -2,00	2,01 -3,00	3,01 – 5,00	>5,00
Nitrogen (%)	<0,10	0,10 -0,20	0,21 – 0,50	0,51 – 0,75	>0,75
Rasio C/N	<5	5-10	11 – 15	16-25	>25
P_2O_5 HCl (mg/100 g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60
P_2O_5 Bray 1 (mg Kg-1=ppm)	<10	10-15	16-25	26-35	>35
P_2O_5 Olsen (ppm=mgKg-1)	<10	10 - 25	26-45	46-60	>60
K_2O HCl 25% (mg/100g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60
Susunan Kation (me/100g= Cmol/Kg)					
K_{dd}	<0,1	0,1 -0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	>1,0
Na_{dd}	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-1,0	>1,0
Mg_{dd}	<0,4	0,4 – 1,0	1,1 -2,0	2,1 – 8,0	>8,0

Ca_{dd}	<0,2	2-5	6-10	11-20	>20
KTK (me/100 g)=Cmol/kg	<5	5-16	17-24	25-40	>40
Kejenuhan Basa(%)	<20	20-35	36-50	51-70	>70
Kejenuhan Al (%)	<10	10-20	21-30	31-60	>60
pH H_2O).sangat masam	masam	Agak masam	Netral	Agak alkalis	alkalis
<4,5	4,5 -5,5	5,6 – 6,5	6,6 -7,5	7,6-8,5	>8,5

Keterangan : Penetapan P Bray= P tersedia tanah pada tanah masam P Olsen = P tersedia pada tanah alkali
P HCl 25 % = penetapan Fosfor cadangan

2. Destruksi kering (*dry ashing*) yang biasa disebut cara pengabuan → pelarutan dengan asam mineral.

Pengertian destruksi / digestion dalam analisis kimia :

Perusakan/penghancuran, pencernaan, pemecahan jaringan-jaringan organik → mineral-mineral penyusunnya yang mudah larut (menjadi senyawa anorganik sederhana) dengan adanya aditif tertentu (pengoksidasi), dengan syarat tanpa adanya penambahan maupun kehilangan unsur-unsur yang akan ditetapkan.

Metode yang rutin untuk analisis tanaman di PUSLITTAN : oksidasi basah. sedang cara pengabuan → hal-hal tertentu. Mencakup analisis total unsur-unsur : Mikro : Fe, Al, Mn, Cu,

dan Zn, Makro : N, P, K, Ca, Mg ,dan S (Na), terhadap contoh kering 105^{o}C

Tabel 6.2. Perbandingan Oksidasi Basah (*wet oxidation*) dengan Cara Pengabuan (*dry ashing*)

Oksidasi Basah	**Pengabuan**
lebih cepat	lambat
suhu lebih rendah	suhu cukup tinggi
volatilisasi dan retensi lebih kecil	volatilisasi dan retensi cukup besar
pengawasan yang seksama	pengawasan relatif sedikit
sample banyak sukar ditangani	sample banyak mudah ditangani
belangko pereaksi lebih banyak	belangko pereaksi lebih sedkit
Cocok untuk keperluan analisa rutin	kurang cocok

2) Oksidasi basah (destruksi) dengan H_2SO_4 + Katalis campuran Selen + Na_2SO_4, khusus untuk menetapkan unsur total Nitrogen (hal tertentu : P, K, Ca (<4%) dan Mg)

Penetapan bahan kering (bk)

- Tidak langsung → oven 105^{o}C
- Langsung dengan neraca Mettler LP-16 (di set up untuk bk)

Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan dalam menganalisis suatu contoh tanaman :

- Jenis dan bagian tanaman untuk dianalisis
- Unsur-unsur apa saja yang akan ditetapkan
- Metode yang digunakan (efisiensi, ekonomis, dan ketelitian)
- Instrumentasi serta peralatan yang akan digunakan (ketelitian, ketetapan dan kecepatan)
- Lain-lain : daya cakup, lamanya analisis reagent yang digunakan

Faktor-faktor kesalahan dalam analisis tanaman :

- Sampling (jalannya analisis dan Interpretasi data)
- Penimbangan (penggunaan balance)
- Destruksi (tempat, suhu, serta lamanya)
- Pengenceran (pipet, ditoter, dispenser)
- Pengukuran (titrasi, instrumen → manual digital
- Perhitungan

Langkah awal sebelum analisis yang dapat mempengaruhi jalannya analisis dan interpretasi data:

Proses persiapan contoh / sampling

- Prosedur universal → cocok untuk semua aplikasi
- Prosedur khusus → memerlukan kriteria yang mendasar untuk program sampling yang efektif.

Persyaratan sampling: sample tersebut harus representatif (mewakili) = contoh yang mempunyai komposisi yang identik dengan komposisi media tempat dia dikumpulkan, yang berarti bahwa sample yang dikumpulkan tersebut mempunyai karakteristik kimia yang sama dengan medium yang disampling pada waktu dan kedudukan sampling tersebut.

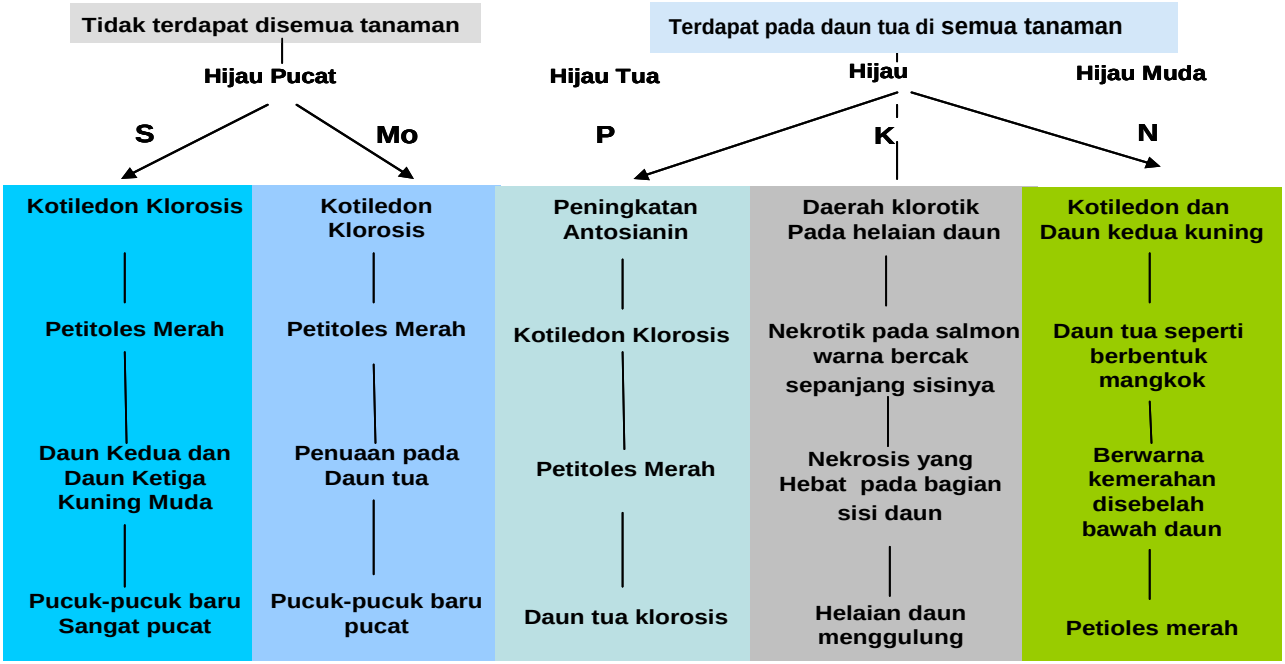
Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam sampling diantaranya :

- Pengambilan dari lapang / tempat percobaan
- Pencucian (aqudes) (akar, daun, batang,biji)
- Pengeringan (60-70^{o}C) dengan oven
- Pemotongan, penggerusan / *grinding* → kondisi alam
- Pengadukan → penyimpanan (kantong plastik) (cup plastik)

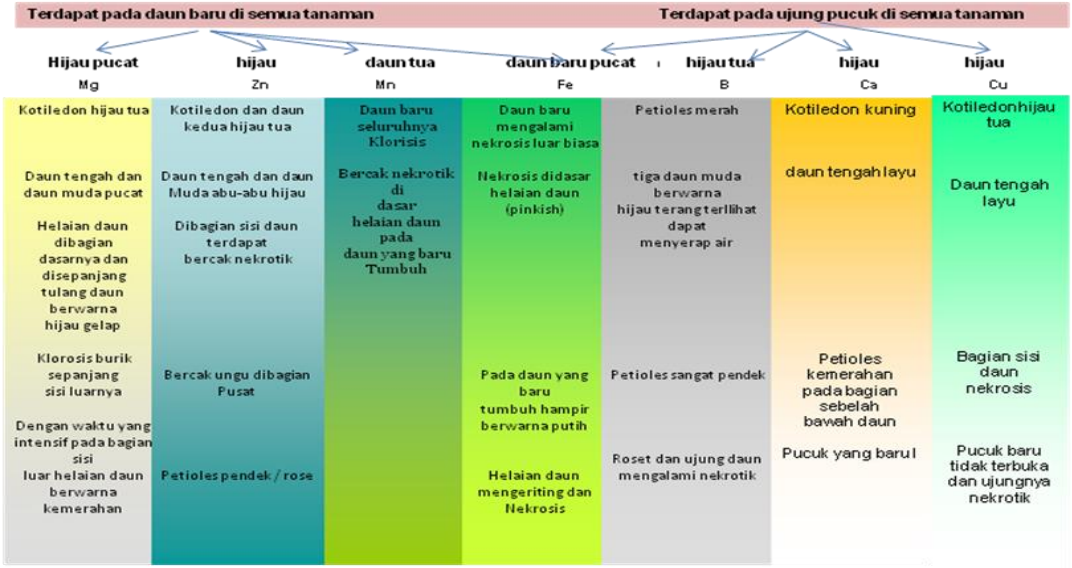
6.3. Penentuan Perkiraan Dosis Pupuk Berdasarkan Analisis Tanah

Dosis pupuk yang diberikan kepada tanaman filisofinya sama dengan dokter memberikan obat kepada pasien yang sakit,

yaitu dengan mengacu kepada kebutuhan yang diperlukan tubuh manusia, kecocokan dan ketepatan takarannya, sehingga takran tersebut menjad ukuran yang pas dalam mengobati tanaman yang sakit atau tanaman yang memerlukan pertumbuhan. Tabel 6.3 merupakan tingkat takaran yang harsu diberikan pada tanaman sesuai dengan kebutuhannya.



Gambar 6.1. Kunci Diagnosa Kekurangan Hara pada Tanaman Cengkeh (1)



Gambar 6.2. Kunci Diagnosa Kekurangan Hara pada Tanaman Cengkeh (2)

Tabel 6.3. Penilaian Sifat Kimia Tanah (Pusat Penelitian Tanah, 1980)

Sifat tanah	Sangat renah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
Karbon (C)%	< 1,00	1,00-2,00	2,01-3,00	3,01-5,00	>5,00
Nitrogen (N) %	< 0,10	0,10-0,20	0,21-0,50	0,51-0,75	> 0,75

Dapatkah kekurangan unsur C dalam tanah ditanggulangi dengan pemberian bahan organik/pupuk organik ?

Bila hasil analisis tanah menunjukkan kandungan C ternyata hanya 1 %, berdasarkan penilaian angka-angka hasil analisa tanah, kandungan C tersebut kategori rendah. Padahal untuk tanah yang kesuburannya baik dan sehat diperlukan kadar/kandungan C kategori tinggi.

Jawaban :

Kekurangan unsur C sebanyak 2% berdasarkan pada (3% - 1%), berarti kekurangan unsur hara C sebesar (2 x 2.000.000) : 10.000 = 400 kg, bila jumlah tersebut dikonversikan ke bahan organik/pupuk organik dengan kandungan unsur hara C-nya 2%, maka jumlah bahan organik yang dibutuhkan adalah sebanyak: 100/2 x 400 = 20.000 kg atau 20 ton/ha, ditang-gulangi dengan pemberian bahan organik/pupuk organik?

Bila hasil analisis tanah menunjukkan kandungan C ternyata hanya 1,00%, berdasarkan penilaian angka-angka hasil analisa

tanah, kandungan C tsb kategori rendah. Padahal untuk tanah yang kesuburanya baik dan sehat diperlukan kadar/kandungan C kategori tinggi.

Bagaimana bila kandungan unsur hara N nya juga rendah?, hasil analisa tanah diketahui sebanyak 0,1%. Berapa harus dibutuhkan pupuk urea? atau sejenisnya.

Jawaban :

Agar pada tanah kandungan unsur hara N nya menjadi lebih baik bagi tanaman, maka harus dapat ditingkatkan menjadi kategori tinggi yakni 0,5 %, sehingga kekurangan unsur hara N sebanyak (0,5% - 0,1%) = 0,4 %, kekurangan unsur hara N sebanyak 0,4 % dapat disetarakan dengan :

(0,4 x 2.000.000) : 10.000 = 80 kg N, unsur N sebanyak itu dapat dipenuhi dari kebutuhan pupuk urea dengan kadar/kandungan unsur sebanyak N 46% yakni : 100/46 x 80 kg N = 173,9 kg/hektar.

Tabel 6.4. Perkiraan Kebutuhan Pupuk P berdasarkan hasil analisa tanah.

Sifat tanah	Sangat renah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
P_2O_5 Bray 1 (ppm)	< 10	10-15	16-25	26-35	>35

Bila hasil analisa P tanah sebesar 11 ppm, termasuk kategori

rendah, jika kita ingin meningkatkan sampai kategori tinggi, perhitungan dibedakan :Kekurangan unsur P sebanyak (26 – 11)= 15 ppm, berarti akan setara dengan(0,000015 : 0,1) x 2.000.000 = …. Kg, Jumlah P sebesar itu bila hendak dikonversikan ke dalam bentuk pupuk harus konversi dahulu.

Pengambilan hara oleh tanaman berhubungan langsung dengan produk bahan kering konsentrasi unsur hara pada jaringan tanaman, dipengaruhi oleh beberapa faktor:

1. Varietas
2. Umur tanaman
3. Interaksi dengan unsur hara lain
4. Faktor-faktor lingkungan seperti :
   - suplai air
   - kelembaban
   - radisasi sinar matahari

Tabel 6.5. Status Hara Cukup N pada Daun Indikator Berbagai Tanaman (%).

Harkat	Jagung	Kedelai	Jeruk	Apel
Sangat tinggi	>3,75	>7,0	>3,50	>3,80
Tinggi	3,51 -3,75	5,51 -7,0	2,8 – 3,5	3,0 – 3,8
Sedang	2,76 -3,50	4,51 – 5,50	2,1 – 2,7	2,0 – 3,0
Rendah	2,46 – 2,75	4,0 – 4,5	1,50 – 2, 00	1,50 – 2,0
Sangat Rendah	<2,45	<4,0	<1,5	<1,5

Sumber : Jones, U.S. 1979. Fertilizers and Soil Fertility

Tabel 6.6. Status Hara Cukup P pada Daun Indikator Berbagai Tanaman (%).

Harkat	Jagung	Kedelai	Jeruk	Apel
ST	>0,50	>0,80	>0,30	>0,35
T	0,41 – 0,50	0,51 – 0,80	0,20 – 0,30	0,25 – 0,35
Sedang	0,25 – 0,40	0,26 – 0,50	0,10 – 0,20	0,18 – 0,24
R	0,16 – 0,24	0,16 – 0,25	0,06 – 0,10	0,12 – 0,17
SR	<0,15	<0,15	<0,05	<0,12

Kriteria cukup/sedang status hara pada jaringan tanaman mengandung arti sbb:

Tanaman tumbuh normal dan tidak menunjukkan gejala defisiensi. Produksi tidak terlalu tinggi, sehingga tanaman masih mungkin dinaikkan produksinya dengan jalan memupuk, memelihara, dan perbaikan sifat-sifat tanah. Tanaman masih menunjukkan respon yang cukup terhadap pemupukan.

1. Kriteria Tinggi

Kadar hara dalam tanaman tinggi, tetapi belum menampakkan adanya gejala toksisitas dan produksi

tinggi, Bila ingin produksi yang optimal sebaiknya kadar hara paling tidak pada harkat itu. Bila pemupukan ditingkatkan lagi belum tentu secara ekonomis, justru berkurang dan responsibilitasnya sangat rendah,

Kadar optimal P (fosfor) dalam tanaman pada saat pertumbuhan vegetatif akhir 0,3 – 0,5 % dari bobot bahan kering tanaman

2. Daerah kategori sangat tinggi/berlebih (*Luxury*)

Tanaman tumbuh berlebihan dan umumnya berwarna hijau kehitaman, daun lebih lebar dari biasanya dan sering ada kelainan, misalnya mudah roboh karena pertumbuhan meninggi secara berlebihan. Produksi tanaman justru mulai menurun. Kadar hara dalam daun indikator berharkat sangat tinggi. Pemupukan sebaiknya dikurangi untuk hara yang harkatnya sangat tinggi tersebut. Apabila pemupukan terus ditambah, maka kadar hara dalam daun indikator akan naik terus dan produksi menurun terus sesuai dengan kenaikan kadar hara dalam daun indikator.

3. Daerah kategori cukup

Tanaman tumbuh normal, tidak memperlihatkan defisiensi, dan produksi normal. Pada kategori ini,

produksi masih bisa ditingkatkan dengan pemupukan sehingga kadar hara dalam daun indikator sampai pada kategori di atasnya.

4. Daerah kategori rendah

Pada daerah ini, tanaman kelihatan normal, tetapi produksi dibawah normal (*hiden hunger*). Pemupukan menyebabkan konsentrasi hara naik dalam daun indikator dan produksi akan menjadi normal apabila sampai pada titik transisi.

5. Daerah defisiensi

Tanaman menunjukkan adanya gejala defisiensi kekurangan hara. Konsentrasi hara pada daerah ini sangat rendah (SR). Status hara pada daerah ini tidak dapat diharapkan memiliki produksi yang normal. Oleh karena itu, perlu adanya pemupukan agar kadar hara dalam daun / organ tanaman naik sampai daerah diatasnya.

Jenis analisis tanaman untuk mengetahui status hara yang tersedia di dalam tanah ada dua cara, yaitu : (1) Uji cepat tanaman dan (2) Analisis organ indikator di laboratorium.

Uji Cepat Tanaman (*Quick Test*)

Uji cepat tanaman dari organ indikator untuk mengetahui dengan cepat kekurangan hara yang ada pada tanaman. Caranya : Ambil contoh tanaman indikator, kemudian ditekan-tekan sampai keluar getahnya. Jika contoh organ indikator tersebut banyak getahnya (sap), tampunglah tetasan getah tersebut dalam test plate. Uji cepat nitrogen (N), fosfor (P), dan Kalium (K) adalah sebagai berikut.

1) Uji Cepat Nitrogen (N)

Nitrogen dari tanah yang diserap akar tanaman cepat berupa amonium atau nitrat. Bila amonium cepat diubah menjadi nitrat, maka uji coba cepat nitrat dimaksud sebagai uji cepat nitrogen dalam tanaman.

Bahan :

1. Larutam defenilamin (*diphenylamine*); Larutkan defenilamin sebanyak 1 kg ke 100 ml asam sulfat pekat. Larutan ini korosif, maka harus hati-hati bila menggunakannya. Bila terkena larutan ini, cepat-cepat dicuci air (dibasuh).
2. Tepung Brays; Tepung ini umumnya tersedia di berbagai tempat.

Prosedur

1. Irislah daun indikator dengan gunting.
2. Letakkan irisan daun indikator tersebut pada test plate yang berwarna putih atau kuning. Jika tanaman banyak bergetah, teteskan getah tersebut pada *test plate*.
3. Teteskan beberapa tetes larutan diphenilamine pada irisan tanaman yang telah diletakkan pada test plate.
4. Amati warnanya. Bila berwarna biru berarti tanaman cukup mengandung N (nitrat). Makin berwarna, maka kadar N-NO, makin tinggi. Sebaliknya, bila tetap tidak berwarna, maka kadar N-NO, sangat rendah.

2) Uji Cepat Fosfor (P)

Bahan :

1. Larutan A (pengendap fosfor) : (a) 4 g amonium molibdat dilarutkan dalam 500 ml akuades;(b) 63 ml HCl pekat dicampur 437 ml akuades. Campurkan (a) dan (b), kemudian aduk pelan-pelan.
2. Larutan B; Penguat warna dan pereduksi.
3. Tepung stano khlorida ($SnCl_2$)

Prosedur :

1. Irislah daun indikator dengan gunting.
2. Masukan irisan daun indikator tersebut kedalam tabung reaksi.

3. Tambahkan 10 ml larutan A, lalu tutup dan gojok dengan hati-hati.
4. Tambahkan tepung pereduksi sedikit saja (seujung sendok teh) dan gojok lagi.
5. Warna biru ((uji) N-Nitrat) merupakan indikasi adanya fosfor. Makin biru warna larutan, maka makin tinggi kadar fosfor dalam tanaman.

3) Uji Cepat Kalium (K)

Bahan :

1. Larutan A (pengendap kalium); 5 g natium kobalnitrit [$Na_2Co(NO_2)$] + 30 g $NaNO_2$ + 5 g asam asetat glasial. Jadikan volume menjadi 100 ml. Setel pH menjadi 5,0 dengan asam asetat.
2. Larutan B; Ambil 60 ml metil alkohol, tambahkan dengan 40 ml isopropil alkohol + 5 ml akuades. (Bila larutan keruh, disaring sebelum digunakan)

Prosedur :

1. Iris daun contoh tanaman dengan gunting stainless steel.
2. Masukan irisan daun tersebut ke dalam tabung reaksi.
3. Tambahkan 10 ml larutan A.
4. Gojok kuat-kuat, tetapi hati-hati selam 1 menit.

5. Tambahkan dengan hati-hati 5 ml larutan B dan campurkan baik-baik, kemudian diamkan selama 3 menit.
6. Cocokkan dengan kartu kekeruhan standar yang ada.
7. Bila makin keruh, maka berarti makin tinggi kadar Kalium (K).

6.4. Menentukan Dosis Pupuk Beradasarkan Panduan PUSLITANAK

Dalam hal penentuan dosis pupuk yang harus diberikan kepada tanaman dan tanah, Puslitanak telah melakukan penelitian yang cukup lama dan sudah dapat dibakukan. Sehingga hasil penelitian tersebut dapat dijadikan dasar pemberian dosis pupuk, walaupun tentunya untuk perkembangan selanjutnya harus dilakukan penyesuaian kembali. Tabel 6.7 memperlihatkan takaran masing-masing tingkatan kebutuhan. Penilaian ini hanya didasarkan pada sifat umum tanah secara imperis dan belum dihubungkan dengan kebutuhan tanaman.

Setelah memeriksakan contoh ke Pusat Penelitian Tanah (Puslittan) Bogor, akan menerima hasilnya berupa lembaran-lembaran kertas berisi data hasil analisa misalnya seperti yang terlihat pada daftar blanko 1. Bagaimana cara kita menentukan dosis pupuk berdasarkan data itu?

Deretan data hasil analisa tanah itu menunjukkan kondisi tanah yang diuji; antara lain berbagai unsur hara yang terkandung di dalamnya. Dari data tersebut akan terlihat unsur hara apa yang paling banyak atau paling sedikit terdapat dalam tanah.

Banyak atau sedikitnya unsur-unsur dalam tanah memang bisa dilihat pada lembaran hasil analisa tanah. Namun cukup tidaknya unsur itu untuk pertumbuhan suatu tanaman perlu dicek dengan daftar penilaian angka-angka hasil analisa tanah yang dikeluarkan oleh lembaga yang menganalisa tanah. Puslittan misalanya, mengeluarkan daftar seperti yang tertera pada Tabel. Dengan cara itu mereka yang memeriksakan tanahnya di sana bisa mengetahui sampai seberapa jauh kandungan unsur-unsur hara dalam tanah yang dimilikinya; apakah termasuk kategori sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, atau sangat tinggi.

6.4.1. Menentukan Dosis Pupuk Organik

Bila hasil analisis tanah menunjukkan kandungan unsur C hanya 1.00%, tentu berdasarkan penilaian angka-angka hasil analisa tanah Puslittan termasuk kategori rendah. Padahal

untuk tanah yang baik dibutuhkan unsur C kategori tinggi. Lalu, seberapa banyakkah unsur itu harus ditambah ?

Dari hasil pembicaraan dengan Ir. Aman Barus, M.Sc. (Kepala Sub Kelompok Peneliti Pengendalian Erosi, Puslittan) diperoleh keterangan **bahwa kekurangan unsur C dalam tanah sebaiknya ditanggulangi dengan bahan organik**. Perhitungan berapa banyak yang harus ditambahkan pada tanah itu adalah sebagai berikut. Kekurangan unsur C sebanyak 2% (3%-1%), berarti kekurangan unsur C sebesar (2 x 2.000.000) : 10.000 = 400 kg (keterangan : 2.000.000 kg merupakan berat tanah 1 ha dengan kedalaman 20 cm dan berat jenis = 1). Bila jumlah itu dikonversikan ke bahan organik dengan kandungan unsur C sebanyak 2%, maka jumlah bahan organik yang dibutuhkan adalah 100/2 x 400 = 20.000 kg atau 20 ton (dalam 1 ha).

Bagaimana bila kandungan unsur N nya rendah? Misalnya hasil analisa tanah adalah kandungannya hanya 0,1%. Untuk meningkatkannya menjadi 0,5% perhitungannya tidak jauh berbeda dengan perhitungan di atas. Kekurangan unsur N sebanyak 0,4% setara dengan (0,4 x 2.000.000) : 10.000 = 80 kg. Unsur N sebanyak itu bisa dipenuhi oleh Urea dengan kandungan unsur N 46% sebanyak 100/46 x 80 = 173,9 kg

(untuk luasan 1 ha). Untuk unsur P masih dipertimbangkan menurut Barus, sebaiknya dilihat angka yang tertera di kolom P_2O_5 Bray 1. Uji Bray 1 ini menunjukkan jumlah unsur P yang tersedia di tanah. Bila angka yang tercantum di kolom tersebut adalah 5 ppm berarti termasuk kategori sedang. Katakanlah Anda ingin meningkatkannya hingga mencapai kategori tinggi, perhitungannya agak berbeda. Kekurangan unsur P sebanyak 6 ppm (11ppm-5ppm) setara dengan (0,000006 : 0,1) x 2.000.000 = 120 kg. Jumlah P sebanyak itu bila hendak dikonversikan ke dalam bentuk pupuk TSP (kandungan P 46%) akan membutuhkan 100/46 x 120 = 260 kg (dalam 1 ha). Bagaimana bila tanah yang kandungan unsur C, N, atau P-nya rendah itu hendak dipakai sebagai media tanaman dalam pot? Tidak sulit untuk menghitung jumlah pupuk yang harus ditambahkan. Perhitungannya sama dengan yang diatas, hanya jumlahnya dikonversikan lagi sesuai dengan berat tanah dalam pot. (*Bonita Ariyanti*).

Tabel 6.7. Penilaian Angka Hasil Analisa Tanah (PPT,1982), pernah dimuat di Trubus, 1989.

Nilai / Keterangan	Sangat Rendah	Rendah	*Sedang*	Agak Tinggi	Tinggi	Sangat Tinggi
C (%)	< 1,00	1,00–2,00	*2,01-3,00*	-	3,01-5,00	> 5,00
N (%)	< 0,10	0,10-0,20	*0,21-0,50*	-	0,51-0,75	> 0,75
C / N	< 5	5-10	*11-15*	-	16-25	> 25
P2O5 HCL 25% (mg/100g)	< 15	15-20	*21-40*	-	41-60	> 60
P2O5 Bray1 (ppmP)	< 4	5-7	*8-10*	-	11-15	> 16
P2O5 Olsen (ppmP)	< 5	5-10	*11-15*	-	16-20	> 20
K2O HCl 25% (mg/100g)	< 10	10-20	*21-40*	-	41-60	> 60
KTK (CEC) (me/100 g tanah)	< 5	5-16	*17-24*	-	25-40	> 40
Susunan kation	< 2	2-5	*6-10*	-	11-20	> 20
Ca (me/100g)	< 0,3	0,4-1,0	*1,1-2-0*	-	2,1-8,0	> 8,0
Mg (me/100g)	< 0,1	0,1-0,3	*0,4-0,5*	-	0,6-1,0	> 1,0
K (me/100g)	< 0,1	0,1-0,3	*0,4-0,7*	-	0,8-1,0	> 1,0
Na (me/100g)	< 20	20-40	*41-60*	-	61-80	80-100
Kejenuhan basa (%)	< 5	5-10	*11-20*	-	20-40	> 40
Kejenuhan Alumunium (%)	< 5	5-10	*11-20*	-	20-40	> 40
Cadangan mineral (%)	1	1-2	*2-3*	-	3-4	4
Salinitas dhl. ECe x 10^3 (mmhos / cm)	2	2-3	*5-10*	-	10-15	15
% Na dapat tukar (ESP)	*Sngt masam*	*asam*	*Agak Netral*	*Agak alkalis*	*Alkalis*	*Masam*
pH (H_2O)	*4,5*	*4,5-5,5*	*5,6-6,5*	*6,6-7,5*	*7,6-8,5*	*8,5*

Tabel 6.8. Peraturan Mentan No. 01/Kpta/SR.130/1/2006 Tahun 2006

Tentang:	**Pemupukan N, P dan K padi sawah spesifik lokasi**
Mulai Berlaku:	**3 Januari 2006**
Ringkasan:	Untuk meningkatkan kesejahteraan petani dan daya saing usahatani padi serta sejalan dengan berbagai isu lingkungan dan pertanian berkelanjutan yang berbasis sumberdaya, maka sangat diperlukan rekomendasi teknologi spesifik lokasi, terutama pupuk. Secara teknis kebutuhan dan efisiensi pemupukan ditentukan oleh dua faktor utama yang saling berkaitan, yaitu: (1) ketersediaan hara dalam tanah dan (2) kebutuhan hara tanaman. Salah satu alat yang efektif sebagai acuan awal dalam menentukan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi adalah peta status hara untuk pemupukan P dan K, serta peta produktivitas lahan sawah untuk pemupukan N. Rekomendasi pemupukan spesifik lokasi saat ini masih terbatas pada lokasi penelitian dan pengkajian atau daerah yang sudah memiliki peta-peta tersebut yang lebi rinci (skala besar).

Permentan No. 01/Kpts/SR.130/1/2006 mengatur tentang rekomendasi pemupukan N,P, dan K pada lahan sawah spesifik lokasi di 21 provinsi, 207 kabupaten dan 2995 kecamatan. Sasaran utama rekomendasi tersebut adalah untuk menentukan kebutuhan, strategi penyediaan dan distribusi pupuk secara nasional, dan menganjurkan penggunaan beberapa alternative alat bantu (tool) untuk menentukan dosis pemberian pupuk yang benar-benar tepat di lapang. Badan Litbang Pertanian bekerjasama dengan berbagai lembaga internasional dan nasional telah menghasilkan dan mengembangkan beberapa metode dan alat bantu untuk peningkatan efisiensi pemupukan N, P, dan K untuk tanaman padi sawah, antara lain: Bagan Warna Daun (BWD) untuk pemupukan N, peta emisi dan Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS / Paddy Soil Test Kits) untuk pemupukan P dan K.

Lampiran Kep. Mentan No.01/Kpts/SR.130/1/2006/Tgl 3 Jan 2006 Tentang Rekomd. Pemupukan N, P dan K: Salinan_Permentan_Pupuk.pdf (292,0 KB)
Petunjuk Teknis Penggunaan Alat Bantu:
Rekomendasi Pemupukan N, P, dan K: Lamp_Permentan_Pupuk_1.pdf (292,0 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K pada Lahan Sawah Spesifik Lokasi (Per Kecamatan): Lamp_Permentan_Pupuk_3.pdf (574,8 KB)

Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Bali: Lamp_Permentan_Pupuk_7a7.pdf (540,3 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Banten: Lamp_Permentan_Pupuk_5a4.pdf (951,9 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Bengkulu: Lamp_Permentan_Pupuk_5a1.pdf (1,0 MB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Gorontalo: Lamp_Permentan_Pupuk_9d.pdf (183,6 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jambi: Lamp_Permentan_Pupuk_4c3.pdf (573,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Tengah: Lamp_Permentan_Pupuk_6a1.pdf (1014,3 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Tengah (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_6a2.pdf (720,7 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Tengah (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_6a4.pdf (973,7 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Tengah (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_6a3.pdf (621,7 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur: Lamp_Permentan_Pupuk_7a1.pdf (808,1 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_7a2.pdf (579,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_7a3.pdf (674,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_7a4.pdf (819,8 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_7a5.pdf (671,1 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Jawa Timur (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_7a6.pdf (596,6 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Kalimantan Selatan: Lamp_Permentan_Pupuk_8b.pdf (599,2 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Lampung: Lamp_Permentan_Pupuk_5a3.pdf (844,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Nangroe Aceh Darussalam: Lamp_Permentan_Pupuk_4a.pdf (924,4 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Nusa Tenggara Barat: Lamp_Permentan_Pupuk_8a.pdf (462,3 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Riau: Lamp_Permentan_Pupuk_4c1.pdf (774,0 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sulawesi Selatan: Lamp_Permentan_Pupuk_8c.pdf (493,3 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sulawesi Selatan (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_8d.pdf (664,6 KB)

Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sulawesi Tengah: Lamp_Permentan_Pupuk_9b.pdf (279,9 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sulawesi Tenggara: Lamp_Permentan_Pupuk_9a.pdf (479,2 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sulawesi Utara: Lamp_Permentan_Pupuk_9c.pdf (306,2 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sumatera Barat: Lamp_Permentan_Pupuk_4c2.pdf (565,4 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sumatera Selatan: Lamp_Permentan_Pupuk_5a2.pdf (614,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sumatera Utara: Lamp_Permentan_Pupuk_4b1.pdf (897,5 KB)
Rekomendasi Pupuk N, P, dan K Propinsi Sumatera Utara (lanjutan): Lamp_Permentan_Pupuk_4b2.pdf (1,0 MB)

SOAL

1). Dari hasil analisis tanah pada kedalaman 25 cm dengan BD=1 gr/cm^3, diperoleh data sbb:

a. Kadar air pada keadaan kapasitas lapang 35% volume

b. Mengandung unsur hara tersedia K=2me/100g, Ca= 5me/100 g, P= 5 ppm

ditanyakan :

a) Berat tanah 1 ha ?

b) Berapa kg/ha, K, Ca, dan P pada keadaan K.L (Kapasitas Lapang) ?

c) jika untuk menghasilkan 6 ton jagung pipilan kering diperlukan 30 kg K, 15 kg Ca dan 40 kg P

d) Berapa pupuk KCl (56% K_2O) yang dibutuhkan jika efisiensi pupuk tersebut 60%?

e) - Berapa $CaCO_3$ yang dibutuhkan jika efisiensi 80% ?

- Berapa TSP (46% P_2O_5) jika efisiensi 30%?

Jawaban :

a) Berat tanah/ha

= volume x BD → 25 cm = 25/100 m = 0,25 M

= L x a x BD

= 10.000 m^2 x 0,25 M x 1g/cm^3

= 2500 m^3 x 1 kg/dm^3 → 2.500.000 dm^3 x 1kg/dm^3

= 2.500.000 kg = 2,5 x 10^6 kg/ha

b) untuk K

K= 2 me/100g = 2 x $\frac{39}{1}$ mg/100g

= 78 mg/100g

= 78 mg/100.000 mg

= 780 ppm . K

❖ Berat K/ha pada kapasitas lapang 35% volume = 780/10^6 x 2,5 x 10^6 x 100/35 = 5571,43 kg/ha.

Berat Ca/ha

Ca= 5me/100g = 5x $\frac{40}{2}$ mg/100g

= 100 mg/100g = 100mg / 100.000 mg

= 1000 ppm Ca

Jadi Ca/ha → $\frac{1000}{10^6}$ x 2.5 x 10^6 x 100/35

= 7142,86 kg Ca/ha

Berat P/ha → P = 5ppm

= $\frac{5}{10^6}$ x 2.5 x 10^6 x $\frac{100}{35}$ = 35,71 kg P/ha.

e) pupuk KCl (56% K_2O) dengan efisiensi 60%

BA. $\frac{K}{} \times 100\% \rightarrow \frac{39}{} \times 100\% = 41{,}49\%$

Bm K_2O 94

Diperlukan = 30 kg $\rightarrow 30 \times \frac{100}{41{,}49} = 72{,}3$ kg K_2O

Jadi kebutuhan pupuk KCl

72,3 kg $K_2O \times \frac{100}{56} = 129{,}107$ kg KCl

129,107 KCl $\times \frac{100}{60} = 215,18$ kg KCl

Berapa kebutuhan pupuk TSP yang diperlukan 40 kg P (46% P_2O_5) dengan efisiensi 30%.

$$\frac{2 \times P}{P_2O_5} \times 100\% = \frac{2 \times 31}{(2 \times 31) + (5 \times 16)} \times 100\% = \frac{62}{142} \times 100\%$$

= 43, 66 %

40 kg P $\rightarrow 40 \times \frac{100}{43{,}66}$ kg $P_2O_5 = 91{,}62$ kg P_2O_5

91,62 kg $P_2O_5 \times 100 = 199{,}17$ kg TSP (efisiensi 30%)

❖ pupuk TSP yang diperlukan = 100/30 x 199,17 kg TSP = 663,9 kg TSP/ha

Untuk Ca

15 kg Ca dalam $CaCO_3$ efisiensi 80%

$\frac{Ca}{CaCO_3}$ x 100% = $\frac{40}{100}$ x 100% = 40%

15 kg Ca x $\frac{100}{40}$ = 37,5 kg $CaCO_3$

❖ kebutuhan $CaCO_3$ = $\frac{100}{80}$ x 37,5 = 46875 kg $CaCO_3$/ha

6.4.2. Rekomendasi Pemupukan Berdasarkan Analisis Tanah dan Tanaman di Daerah Asia Pasifik

Secara umum tanah di Indonesia dengan daerah lainnya seperti di daerah Asia Pasifik yang lain ada persamaan tetapi juga tentunya ada perbedaannya. Lembaga Internasional telah banyak melakukan riset dalam rangka rekomendasi pemberian dosis pupuk berdasarkan analisis tanah dan tanaman. Hal ini dapat dilihat seperti pada Tabel 6.8 di bawah ini

Pemberian pupuk berdasarkan analisa tanah maupun tanaman merupakan suatu anjuran yang lebih baik , hanya saja khususnya di Indonesia belum menyeluruh adanya evaluasi dan base data rekomendasi pemupukan untuk semua komoditas tanaman. Sebagai contoh PT Perkebunan Nusantara VIII Kabupaten Bandung Jawa Barat, diantaranya telah memiliki base data

Table 6.9. Dosis Pupuk N, P,K pada Tanaman Coklat Berdasarkan Analisis Tanah dan Tanaman.

Unsur Nutrisi	Kandungan Nutrisi		Dosis Pupuk (kg ha^{-1})
	Pada Daun (%)	Pada Tanah	
N	70. <2.0 ii. 2.0-2.6 iii. >2.6	- - -	100-150 60-80 Nil
P	71. <0.2 ii. >0.2	<15 mg kg^{-1} a. <15 mg kg^{-1} b. >15 mg kg^{-1}	40-70 15-30 Nil
K	72. <2.0 ii. >2.0	<0.3 c mol kg-^{1} a. <0.3 c mol kg^{-1} b. >0.3 c mol kg^{-1}	100-150 70-80 Nil
[V] P = Bray K = exchangeable Potassium (K dapat ditukar=K_{dd})			

Sumber = http://www.agnet.org/library/image/eb398t7.html

rekomendasi pemupukan tanaman teh berdasarkan status hara dalam tanah, hal itu akan lebih dapat mengefisiensikan pemberian pupuk dan hasil tanaman lebih maksimal. Demikian pula saat ini adanya peraturan Mentan No.01/Kpts/SR.130/I/2006 tahun 2006 tentang rekomendasi

pemupukan N, P, dan K padi sawah spesifik lokasi, mudah-mudahan pemupukan pada tanaman padi sawah lebih efisien. Sebagai bukti bahwa pupuk dapat diserap secara efisien dan efektif oleh tanaman, apabila pada jaringan tanaman yang representatif memiliki hara yang cukup saat diserap tanaman (*ion up take*) pada masa vegetatif akhir. Tabel 6.9 memperlihatkan batas kecukupan hara pada berbagai tanaman.

Tabel 6.10. Batas kecukupan hara pada berbagai tanaman.

No	Unsur	Rendah	Cukup	Tinggi
1	N (%)	4,50-4,99	5,0-6,0	> 6
2	P (%)	0,20-0,29	0,30-0,50	> 5
3	K (%)	1,00-1,19	1,20-2,00	> 2,0
4	Ca (%)	0,50-0,59	0,60-1,50	>1,5
5	Mg (%)	0,20-0,24	0,25-0,50	> 0,5
6	S (%)	< 0,30	0,30-0,40	> 0,4
7	B (ppm)	< 15	15-20	>20
8	Cu(ppm)	< 7	7-15	>15
9	Fe (ppm)	50-59	60-200	>200
10	Mn (ppm)	< 50	50-250	>251-1000
11	Zn (ppm)	35	40-100	>100

Sumber: Jones Benyamin, and Harry. 1991. Plant Analysis Hand Book

Tabel 6.11. Batas antara Kecukupan Unsur Hara Berdasarkan Data Analisis Tanaman (Sanchez, 1976)

Unsur Hara	Tebu	Padi	Jagung	Kedelai
N (%)	2,00	2,5	3,0	4,2
P (%)	0,50	0,39	0,30	0,30
K (%)	2,25	2,5	0,25	2,25
Ca (%)	0,30	0,15	0,40	0,36
Mg (%)	0,30	0,10	0,25	0,30
S (%)	0,14	0,10	0,15-0,50	0,25
Cu (ppm)	5-15	3,4	10	10-30
Mn (ppm)	25-400	50	15-300	1,0-5,0
Mo (ppm)	0,05-4,0	-	0,1-3,0	1,0-5.0
Zn (ppm)	20-100	10	15-60	21-50
Si (ppm)	-	5	-	-
B	4,30	-	4-25	21-55

Sumber : Jones, Benyamin dan Harry, 1991 Plant Analysis Hand Book

6.4.3. Contoh Analisis Kesuburan Tanah, Ultisol Kentrong (Studi Kasus).

Sifat Fisika Tanah Lokasi Penelitian

Berdasarkan analisis morfologi tanah ditemukan adanya sembilan lapisan tanah atau horison yang meliputi Ap, AB, Bt_1, Bt_2, BC, CB_1, CB_2, dan CR. Secara umum warna tanah agak bervariasi dari coklat kemerahan sampai coklat muda kekuningan (2,5YR 4/4 sampai 10YR 6/4), tekstur pada setiap

lapisan secara umum adalah liat, struktur tanah dari lapisan atas sampai bawah bersifat remah sampai gumpal bersudut dengan tingkat perkembangan cukup yang dicirikan oleh bentukan struktur granuler atau berbutir sampai kuat. Konsistensi lapisan tanah atas gembur sampai ke bawah sangat teguh. Pada kedalaman 24 sampai 32 cm ditemukan peningkatan liat sebesar 26,1 %, berturut-turut 30,10 %, 33,99 %, 35,85 % dan seterusnya sampai kedalaman regolit (bahan induk) yang berada pada horison AB, Bt_1, Bt_2, BC dan seterusnya dengan bertambahnya kedalaman horison tanah. Hal itu menunjukkan adanya penimbunan liat 1,2 x jumlah liat di atasnya. Menurut Kunci Taksonomi Tanah (*Soil Survey Staff*, 1999) tanah tersebut tergolong ke dalam ordo Ultisols yang ditandai adanya horison penimbunan liat (argillik atau Bt), merupakan salah satu prasyarat dan penciri mutlak pada ordo tersebut. Grunwald (2002), melaporkan bahwa salah satu prasyarat horison diagnostik dari Ultisols harus memiliki horison argilik, tetapi tidak menutup kemungkinan munculnya horison diagnostik kandik maupun albik.

Sifat Kimia Tanah

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia (Tabel 5. ?), reaksi tanah (pH) secara umum memiliki kriteria sangat masam sampai masam dan cenderung terjadi peningkatan pH dengan bertambahnya kedalaman tanah. Hal itu terjadi karena pada lapisan atas berlangsungnya pencucian kation-kation basa sehingga pH pada lapisan atas cenderung lebih masam. Sesuai dengan pendapat Grunwald (2002), pada Ultisols yang terbentuk di bawah kelembaban udik dengan curah hujan di atas 2000 mm per tahun menyebabkan intensifnya pencucian kation-kation basa dalam tanah sehingga pH tanah menjadi sangat masam. Sejalan dengan itu telah terjadi pula peningkatan kandungan Aldd, kejenuhan Al dan Hdd yang cenderung semakin meningkat dengan bertambahnya kedalaman horison tanah. Di sisi lain terjadinya penurunan jumlah kation pada setiap horison, menyebabkan kejenuhan basa (KB) yang rendah pula. Nilai KB semakin menurun dengan semakin meningkatnya kedalaman tanah, bahkan jauh di bawah 35%. Sejalan dengan itu terjadi penurunan yang sama nilai KTK efektif tanah dengan bertambahnya kedalaman tanah. Rendahnya KTK efektif tanah pada semua horison, yakni < 12 Cmol kg^{-1} liat,

mencerminkan adanya salah satu prasyarat horison kandik (Hardjowigeno, 1993). Selain itu, diperoleh fakta bahwa makin meningkat kedalaman tanah, terjadi penurunan kandungan bahan organik, N total, K potensial, dan P-tersedia tanah, meskipun pada horison CB1, CB2, dan CR kandungan P dan K tanah meningkat kembali. Hal itu kemungkinan disebabkan oleh adanya cadangan mineral akibat hasil lapukan bahan induk tanah.

Susunan Mineral Pasir

Analisis fraksi pasir diperlukan untuk mengetahui komponen mineral-mineral primer dan cadangan mineral yang ada dalam tanah (Prasetyo, *et al*., 1998), tetapi dapat pula untuk mengetahui homogenitas bahan induk tanah (Hikmatullah, *et al.,* 1999). Hasil penetapan mineral fraksi pasir menunjukkan munculnya mineral opak pada setiap horison dan sedikit menurun dengan bertambahnya kedalaman. Yang termasuk ke dalam mineral opak di antaranya adalah hematit, goetit, dan magnetit (Pambytes, 2004). Kuarsa keruh dan kuarsa bening cukup tersebar pada setiap horison. Munculnya mineral opak dan kuarsa dalam jumlah yang cukup mencerminkan adanya bahan induk tanah

yang telah melapuk. Perubahan kandungan mineral opak yang bervariasi pada penampang mencerminkan adanya beberapa kali pengendapan yang berbeda. Cadangan mineral yang terdapat pada fraksi pasir tersebut terdiri atas mineral labradorit, andesit, augit, dan hiperstin, menurut reaksi Bowen mineral tersebut cepat lapuk dibandingkan dengan mineral kuarsa (Batemen, 1978). Berdasarkan fakta di lapangan, ditemukan fragmen batuan dari berbagai horison dengan bentuk butir menyudut tanggung dan memiliki lapukan mineral tingkat sedang. Menurut Sujatmiko dan Santosa (1992), sumber batuan induk berasal dari hasil erupsi gunung api berumur pleistocene berkomponen tufa masam sampai andesitik. Ditemukan pula gelas vulkanik dengan sebaran pada horison Ap sampai kedalaman 56 cm dengan jumlah sedikit, yang dapat menjelaskan adanya pengaruh hasil erupsi gunung api tersebut. Adanya konkresi besi (bahan sementasi besi, silikat, dan kemungkinan Mn) ditemukan mulai pada kedalaman 100 cm sampai 190 cm dalam jumlah sedikit, sedangkan pada kedalaman 0 cm sampai 109 cm ditemukan dalam jumlah sangat sedikit, dan mineral lainnya dalam jumlah sporadis sedikit sekali di bawah 1 % seperti hornblende dan oligoklas.

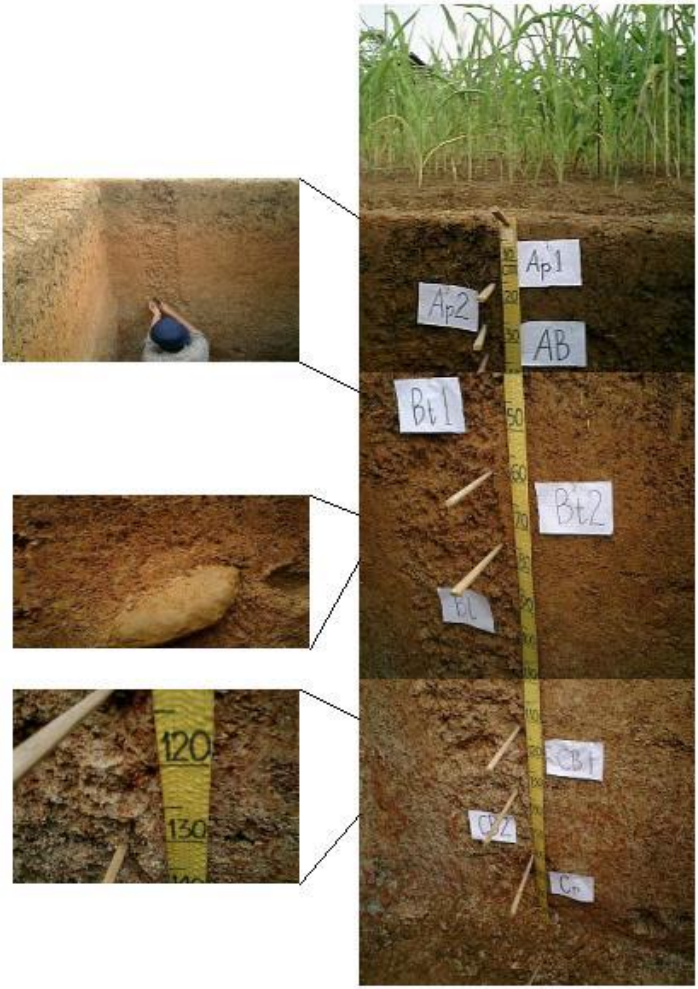
Susunan Mineral Fraksi Liat

Hasil analisis fraksi mineral liat dengan metode difraksi sinar X (XRD) dengan empat macam perlakuan, yaitu dengan penjenuhan Mg^{2+}, penjenuhan Mg^{2+} gliserol, penjenuhan dengan K^{+}, dan pemanasan sampai 550 °C, ditemukan adanya mineral liat yang dominan yaitu kaolinit (liat tipe 1:1, artinya 1 lapisan Si-tetahedron 1 lapisan Al-oktahedron), dibandingkan dengan mineral liat tipe 2 : 1 (artinya 2 lapisan Si-tetahedron 1 lapisan Al-oktahedron) smektit dan illit yang jumlahnya sangat sedikit, tampak bahwa nilai puncak hasil penjenuhan Mg, Mg gliserol, dan K^{+} adalah 7,1 A^{o} sampai 7,2 A^{o}. Nilai puncak tersebut menunjukkan adanya jenis mineral kaolinit yang dominan, setelah dilanjutkan dengan pemanasan 550 °C, nilai puncak berubah menjadi 10 A. berarti munculnya mineral liat jenis mineral tipe 2:1 yang sangat sedikit. Sesuai dengan pendapat Sanchez (1976), Ultisols dicirikan oleh tingginya kandungan mineral liat tipe 1:1, oksida atau hidroksida Al dan Fe.

Luas permukaan mineral liat 1 : 1 (kaolinit) 1–4 $m^2\ g^{-1}$ lebih rendah dibandingkan dengan luas permukaan mineral liat monmorilonit 400 – 800 m $m^2\ g^{-1}$, dan humus mencapai > 800 $m^2\ g^{-1}$. Mineral liat kaolinit merupakan penciri dari tanah

masam dengan tingkat kesuburan tanah masam yang rendah. Pada Ultisol dengan kandungan liat kaolinit umumnya menyebabkan subsoil tanah Ultisols memiliki kapasitas realtif rendah terhadap daya menahan air dan hara. Disamping itu, gejala lain berkurangnya ruang pori total tanah karena terisi oleh liat translokasi dan kandungan bahan organik yang rendah sehingga aktivitas biologi dan perakaran berkurang.

Junus Dai (1990) menjelaskan bahwa pengambilan ion dari larutan tanah berlangsung secara isoterm adsorpsi, sehingga efek balik proses jerapan perlu dipertimbangkan. Lebih jauh dijelaskna bahwa ion fosfat yang terjerap pada goetit (FeOOH) tidak reversibel, artinya ion-ion tidak diepas dari permukaan ke dalam larutan tanah pada saat konsentrasi berkurang oleh pengambilan ion oleh tanaman.


Ap1
Ap2
AB
Bt1
Bt2
120
130

Contoh Deskripsi Profil Ultisol :

Lokasi	:	Kp. Kentrong Desa Malangsari, Kecamatan Cipanas, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten
Ordo	:	Ultisols
Sub ordo	:	Udults
Great Grup	:	Kanhapludults
Subgrup	:	Typic Kanhapludults
Elevasi	:	182 m dpl
Kemiringan Lahan	:	0 - 4 % (dataran vulkan)
Relief mikro	:	datar - berombak
Vegetasi	:	Harendong, cente, tunggul mahoni tua, tunggul albasia,
Penggunaan lahan	:	Lahan kering, lahan tidur (selama 8 th)
Bahan induk	:	Tufa (tufa masam), lava, dari batuan gunungapi Endut, masa dasar tufa, umur Pleistocene (Koolhoven, 1933) dalam Sujatmiko dan Santosa (1992)

Tabel 7.1. Kedalaman Tanah dan Deskripsinya

Simbol Horizon (cm)	Kedalam	Uraian
0 - 15	Ap1	Coklat tua kekuningan (10YR 4/4), liat berdebu, remah, cukup, medium, gembur (lembab), pori makro banyak, pori mikro sedang, akar halus sedang - banyak, pH (H_20) 4,1, pH (KCl) 3,7, batas horison jelas dan rata
15-24	Ap2	Coklat tua kekuningan (10YR 4/4), liat, granuler, cukup, medium, gembur (lembab), pori makro sedang, mikro sedang, perakaran meso sedang, mikro banyak, pH (H_20) 4,1, pH KCl 3,8 , batas horison jelas dan rata.
24 - 32	AB	Coklat kekuningan (10YR 5/6), liat, granuler, cukup, medium, teguh (lembab), pori mikro sedang, perakaran medium cukup, pH (H_2O) 4,1 dan pH (KCl) 3,8. Batas horison jelas, rata.
32 – 56	Bt1	Coklat muda kekuningan (10YR 6/4), liat, kubus membulat, teguh, sedang sampai kuat, akar medium sedang, pH (H_20) 4,3 . pH (KCl) 3,7. Batas horison jelas, rata.
56-74	Bt2	Merah (2,5YR 4/8) sampai coklat kekuningan (10 YR 5/4), liat, kubus membulat (gumpal), sedang sampai kuat, pori mikro sedang, perakaran sedikit, konsistensi sangat teguh, pH (H_20) 4,6, pH (KCl) 3,7, batas

		horison berangsur, bergelombang.
74-109	BCr	Coklat kemerahan (2,5YR 4/4); merah (2,5YR 4/6) sampai merah kekuningan (5YR 5/8), liat, *subangular blocky*, sedang sampai kuat, pori mikro sedikit, sangat teguh, pH (H_20) 4,6 dan pH (KCl) 3,7. Batas horison baur, bergelombang. Ditemukan batuan obsidian.
109-136	CB1	Coklat muda kekuningan (10YR 6/4), bercamur dengan merah, liat, *angular blocky*, sedang, gembur, pori sedikit, perakaran sangat sedikit, pH (H_20) 4,8 dan pH (KCl) 3,7. Batas horison berangsur, rata.
136-157	CB2	Kuning kecoklatan (10YR 6/6), abu-abu muda (*light gray*) (10YR 7/2), merah (2,5YR 4/4), liat, konsistensi agak teguh, *angular blocky*, tingkat perkembangan kuat, laterit sedang sampai keras, pH (H_2O) 4,9; pH (KCl) 3,8. Batas horison baur, rata.
157-190	Cr	Merah (10R 4/6, 40%), abu-abu (10YR 7/2,30%) dan coklat muda kekuningan (10YR 6/4, 30%); liat, agak teguh, *angular blocky*, sedang sampai halus, regolit (bahan induk), pori-pori sangat sedikit, laterit sedang, pH (H_20) 4,7 dan pH (KCl) 3,7. Batas horison baur, rata.

Sumber : Hasil pengamatan bersama (Mahfud Arifin., Ridha Hudaya dan Nunung Sondari, 2012

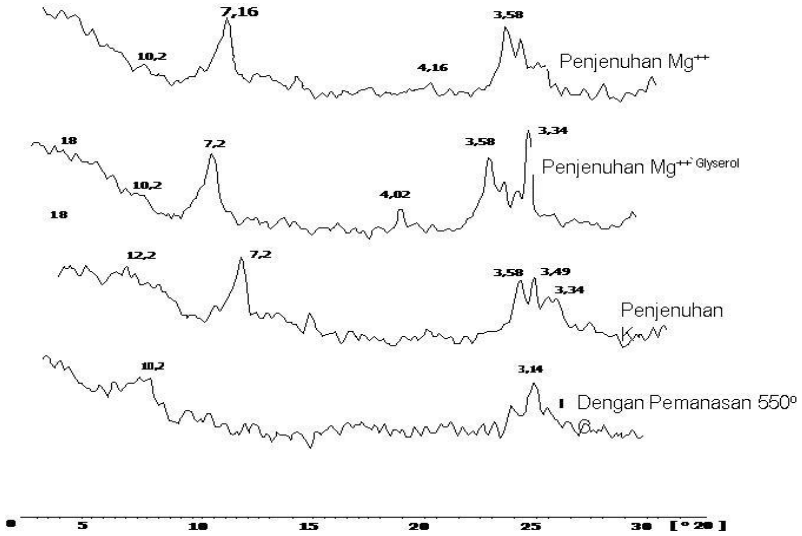
Tabel 7.2. Hasil Analisis Fisika (Tekstur) Profil Tanah Tempat Percobaan

Horizon	Kedalaman Cm	Pasir	Debu	Liat kasar	Liat halus	Liat	Kelas tekstur
Ap1	0 – 15	4	43	23	30	53	Liat berdebu
Ap2	15 – 24	5	40	23	32	55	Liat
AB	24 – 32	5	28	28	39	67	Liat
Bt1	32 – 56	2	27	29	43	72	Liat
Bt2	56 – 74	5	25	33	38	71	Liat
BC	74 – 109	3	26	38	34	72	Liat
CB1	109 - 136	2	31	37	30	67	Liat
CB2	136 -157	4	34	35	28	63	Liat
Cr	157 - 190	4	35	35	26	71	Liat

Sumber: PPPTA, 2004 dan Laboratorium Tanah IPB, 2004

Tabel 7.3. Hasil Analisis Mineral Liat dari Typic Kanhapludults dengan XRD (Data Penelitian Pribadi, 2004).

No.	Contoh (Kedalaman)	Komposisi Mineral			
		Smektit	Illit	Kaolinit	Kuarsa
1	0 – 56 cm (NS1)	Sedikit	Sangat Sedikit	Dominan	Sangat sedikit
2	74 –157 cm (NS2)	Sangat sedikit	Sangat sedikit	Dominan	Sedikit



Sumber: Instalasi Laboatoru, Mineralogi PPPTZ (2004

Gambar 7.2. Grafik Hasil Peneltian X Ray pada Tanah Ultisols

Tabel 7.4. Susunan Mineral Fraksi Pasir Tipyc Kanhapudults Kentrong

Nomor Contoh		Fraksi	Opak	Zirkon	Kwarsa keruh	Kwarsa bening	Konkresi besi	Limonit	SiO_2 Organik	Zeolit	Lapukan mineral	Fragmen batuan	Gelas vulkanis	Oligoklas	Andesin	Labradorit	Sanidin	Hornblenda hijau	Augit	Hiperstin	Andalusit	Monasit	Rutil +Anatas	Jumlah
No Urut	Pengirim																							
1	No 1		23	sp	17	16	-	1	sp	1	4	16	3	sp	2	2	sp	sp	2	13	sp	sp	-	100
2	2		18	sp	11	12	-	-	sp	1	10	14	9	sp	4	11	sp	sp	1	9	-	-	sp	100
3	3		27	sp	16	14	sp	sp	1	sp	5	12	7	-	1	6	sp	sp	1	10	-	sp	-	100
4	4		32	sp	19	15	1	sp	1	sp	6	16	3	sp	1	1	-	sp	sp	4	-	-	-	100
5	5		26	sp	24	18	sp	1	sp	-	8	21	sp	sp	sp	sp	sp	-	-	2	-	-	-	100
6	6		18	sp	19	23	-	1	2	1	11	25	sp	sp	-	sp	sp	sp	-	sp	-	sp	-	100
7	7		18	sp	21	15	2	1	2	1	11	26	1	sp	-	1	sp	sp	sp	1	-	-	sp	100
8	8		6	sp	9	11	2	sp	sp	1	11	53	sp	-	-	sp	-	-	-	1	-	sp	-	100
9	9		3	sp	5	3	9	42		sp	11	27	sp	-	-	-	-	-	sp	sp	-	-	-	100

Tabel 7.5. Hasil Analisis Profil Tanah Tempat Percobaan

Horizon	Kedalaman	Reaksi Tanah pH		C org	N Total	Nisbah C/N	P Tersedia	P_2O_5 HCl 23%	K_2O HCl 25%
	cm	H_2O	KCl	%	%	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg-1
Ap1	0-15	4,10	3,70	2,18	0,22	10,00	6,20	18,00	14,00
Ap2	15-24	4,10	3,80	2,07	0,20	10,00	1,60	12,00	11,00
AB	24-32	4,10	3,80	2,12	0,27	12,00	4,00	7,00	10,00
B11	32-56	4,30	3,70	0,84	0,12	7,00	0,30	5,00	12,00
B12	56-74	4,60	3,70	0,71	0,10	7,00	0,30	5,00	12,00
BC	74-109	4,60	3,70	0,50	0,06	8,00	0,30	4,00	14,00
CB1	109-136	4,80	3,70	0,35	0,04	9,00	0,50	4,00	17,00
CB2	136-157	4,90	3,80	0,23	0,03	8,00	0,80	8,00	15,00
C1	157-190	4,70	3,70	0,35	0,03	12,00	1,10	7,00	19,00

PUSTAKA

Abdurachman Adi. 2003. Penulis dari Kapuslitbangtanak (Dimuat pada Tabloid Sinar Tani, 11 Juni 2003) Sumber : Jamma , *et.al*. 2000[a]

Adams F. 1971. Ionic concentrations and activities in soil solutions. Soil Sci Soc Am Proc. 35:420

Agrios, G. N. *1997*. Plant Pathology. Academic Press. London. Alexopoulous, C., Mims,Blackwell. 1996. Introductory Mycology. New York. Champman and. Hall. Limited. London.

Akhtar, M. dan Malik, A. *2000*. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. Bioresource Technology;74:35-47

Allaway. H. 1968. Solubility and redox criteria for the possible forms of selenium in soils. Proceedings of the Soil Science Society of America 32:35–40.

Alliant Energy. 2004. Environmental: Pollution prevention, coal ash reclamation bottom ash. Melalui < (htpp://www.alliantenergy.com /stillent/ group/ public) > Diakses tanggal 6 April 2004.

American Coal Ash Association. 1997. Coal combustion product-production and use. Alexandria, Virginia. Melalui < (http://www.tfhrc. gov/hnr/recycle/ waste) > Diakses tanggal 29 Pebruari 2004.

Arnon, 1939. Soil Fertility and Nutrient management. Criteria of Essentiality of Nutrients.

Babich, H. and G. Stotzki. 1978. Effects of Cd on the biota: Influence of environmental factors. Ed. V. Appl. Microbiol. 23:55-117.

Barber, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability. A mechanism approah. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. Canada.

Birmingham, J. 2004. Waste management - recycling-bottom ash. Melalui http://www.birmingham.gov.ur/ generatecontent. > Diakses tanggal 6 April 2004.

Boneta Aryanti dalam https://rivaarifin.blogspot.co.id/2013 /02 /menentukan-jenis-pupuk.html

Brady, N.C. 2002. The nature and properties of soil. Prentice Hall of India. Pvt. Ltd., New Delhi.

Broyer, T.C. *et al.* 1954. Chlorine-Micronutrient Element for Higher Plants. Plant Physiology. 1954 Nov; 29(6): 526–532. PMCID: PMC540579. American Society of plant biologist.

Buckman, H.O., and N.C. Brady. 1969. The nature and properties of soil. The Mc. Millan Co., New York.

Capp, J.P. 1978. Power plant fly ash utilisation for land reclamation in the Eastern United States, in reclamation of drastically disturbed lands. Melalui http://www.tifac.org.in/ newsflyagr.htm. Diakses tanggal 9 Mei 2002.

Capp, J.P., and C.F. Engle. 1987. Fly ash in agriculture Morgantown coal research centre. Bureau of Mines Morgantown, WV. West Virginia University.

Chang, A.C., L.J. Unid, A.L. Page, and J.E. Warnek. 1977. Physical properties of fly ash amended soil. J. Environ. 6 (3).267.

Chen, Y.A, Gottesman A, Aviad. T. and Y. Inbar. 2000. The use of bottom ash coal-cinder amended with compost as a container medium in horticulture. Melalui <http://www. Actahort.Org/ISHS. ISHS Acta Horticulture 294: II Simposium on Holticulture Substrate and Their Analysis XXIII IHC. > Diakses tanggal 15 September 2004.

Coleman, N.T., and G.W. Thomas. 1967. The basic chemistry of soil acidity. Agron. Monograph. 1 – 41.

Daniels, W.L., B.R. Stewart, and M.L. Jackson. 1993. Utilization of fly ash to prevent acid mine drainage from coal refuse. p. 22. In Proc. Tenth International Ash Use Symposium., Orlando, FL. American coala association-elc. power res. inst. TR-10774. Vol. 1. Palo, Alto, CA.

Depperindag. 1997. Klasifikasi Pupuk. Jakarta-indonesia.

Drechsel, P., K.G. Steiner K.G., and F. Hagedon. 1996. A review the potential of improved fallows and green manure in Rwanda. agrofor. syst. 33 p. 109- 136.

Driessen. K, dan Soepraptohardjo, 1977. Soil for agriculture expantion in Indonesia. In soil research report. ATA. Programme. Soil research Institute. Bogor. 2 – 26.

Dobermann*, A. and T.* Fairhurst*. (*2000*). Rice Nutrient Disorders and* Nutrient. Management. Potash and Phosphat Insitute of Canada and. International Rice Research Institute.

Duljapar, KH. 2000. Hermada. budidaya dan prospek bisnis. Penebar Swadaya, Jakarta.

Elseewi, A.A., F.T. Binghman, and A.L. Page. 1979. Growth and mineral composition of lettuce and swisschard grown on fly ash amended soils. Environmental chemistry and cycling processes. Conf. DC. Adriano, and I.L. Brisane (Ed). U.S Department of Commerce, Springfield, VA.

Energy Vortec. 2003. Bottom ash. melalui <(http://www. energy vortec.com/ energydictionary /bottomash).> Diakses tanggal 15 Agustus 2003.

Epstein. N, and Stout. 1951. The micronutrient cations iron, manganese, zinc, and copper: Their uptake by plants from the absorbed state. Soil Sci. 72: 47-65.

Epstein. N, and Stout. 1972. The micronutrient cations iron, manganese, zinc, and copper: Their uptake by plants from the absorbed state. Soil Sci. 72: 47-65.

Foth, H.D. 1998. Dasar-dasar ilmu tanah. Edisi ke 6. Penerbit Erlangga. Jakarta.

Friesen, D.K, A.R. Fox, and M.H. Miller. 1980. Liming and lime phosphorus- Zinc interaction in the soil. Soil Sci-Soc. Am. J. Vol. 5 Page 67-89.

Gachengo, C.N., C.A. Palm, B.A. Jama, and C. Othieno. 1999. *Tithonia* and senna green manures and inorganic fertilizers as phosphorus source for maize in western Kenya. Agroforestry system 44: 21-36. Melalui <(http://www.soils.rdg.uk).> Diakses tanggal 24 Juli 2003.

Gachengo, CN. 1996. Phosphorus release and avialability on addition of organic materials to phosphorus fixing soils. MSc thesis. Univ Eldoret, Kenya.

George, T.S., P.J. Gregory, J.S. Robinson, R.J. Buresh, and B.A. Jama. 2001. *Tithonia diversifolia* : Variations in leaf nutrient concentration and implications for biomass transfer. Agroforestry Systems 52 : 199-205. Melalui <(http://www.kluweron line.com).> Diakses tanggal 24 Juli 2003.

Giller, K.E. 2001. Targetting management of organic resources and mineral fertilizer. CAB International, Wallingford, UK. In press.

Grunwald. S. 2002. Ultisols. Melalui <(http://www.members. tripod.com/charles W/laterite.html>. University of Florida. Diakses tanggal 15 April 2005.

Hanger, B.C. 1965. The influence of iron upon the toxicity of manganese, molibdenum, copper, and boron in red clover. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 31; 315-317.

Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Cetakan ke 1. RajaGrafindo Persada. Jakarta

Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi tanah dan pedogenesis. edisi pertama, akademika pressindo, Jakarta.

Hardjowigeno, S. 1995. Ilmu tanah. Edisi revisi. Akademika Pressindo. Jakarta.

Hoeckstra, J. 1999. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirement of intercropped plants in agroforestry system. A National Agroforestry Research Centre. Kenya.

Huber D.M. Amy D.C. 1985. Interaction of pottasium with plant. Pages 467-488 in Pottasium in Agricultur. R.D. Munson. Ed. American Society of Agronomist, Madison Winconsin.

Mughes, G. 2004. Safe and efficient nitrogen use. Soil factsheet. British Columbia. Ministry of agriculture and food. Melalui email: Geoff Hughesgame@gems7.gov.bc.ca.Agdex 542. Diakses tanggal 16 April 2005.

Munson, R.D. 1985. Madison, Wisconsin,.Pottasium in Agriculture. Associati-on of Agronomy.

Nugroho T. Abu Hanifah, Christine Jose dan Titania T. 2001. Pengolahan limbah cair tapioka dengan teknologi Effective Microorganisms. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.

Institut Pertanian Bogor. 2004. Hasil analisis mineralogi tanah. Bogor

Jacob, A. 2001. Metode dan teknik pengambilan contoh tanah dan tanaman dalam mengevaluasi status kesuburan

tanah. Makalah falsafah sains, program pasca sarjana (S3) Institut Pertanian Bogor. Email: Agustinus Madison, Wisconsin,.Jacob.@Yahoo.com.

Jama, B., C.A Palm,R.J. Buresh. A.Niang, C.Gachengo, G.Nchiguheba, and B.Amandalo.2000[a]. Tithonia diversifolia as a green manure for soil fertility improvepment is western Kenya. : A review agroforestry system, A national agroforestry research centre. Kenya. Melalui website ….. diakses pd: Disertasi Nunung Sondari 19 Maret 2003.

Jama, B., C.A. Palm, R.J. Buresh, A. Niang, C. Gachengo, G. Nziguheba, and B. Amandalo. 2000a. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya : A review agroforesty system. 49 (2) : 201-221. A national agroforestry research centre. Kenya. Melalui <(http://www.kluweronline.com). > Diakses tanggal 19 Maret 2003.

Jama, B., R. Swinkels, and R.J. Buresh. 2000b. Agronomic and economic evaluation of organic and inorganic sources of phosporus in western Kenya. Agr. J. 89: 597-604

Jastrow, J.D., C.A. Zionmmeranan, A.J. Dvorak. and R.R. Hinchman. 1979. Comparison of lime and fly ash amandements to acidity coal mine refuse: Growth responses and trace element uptake of two grasses. Argonne national lab. Argonne; L. 43.

Jones. U.S. 1991. Fertilizer and soil fertility. Reston publishing company, Inc. VA

Jones., B., W. Benyamin and A.M. Harry. 1991. Plant analysis hand book. A practice sampling, preparation, analysis, and intrepetation guide. Micro Macro publishing, Inc. Georgia.

Junus Dai. 1990. Peranan mineral tanah dalampenilaian lahan. Latihan teknik analisa tanah, tanaman, air dan pupuk. Bogor. 5 November – 4 Desember 1990.

Jurry, W.A., A.W. R. Gardner and W.H. Gardner. 1991. Soil physics. John Wiley and Sons, Inc, New York.

Kamprath, E.J., 1971. Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. Soil and Crop. Sci. Soc. of Florida. 31; 200-2003.

Kamprath, E.J., and C.D. Foth. 1997. Interaksi kapur-kapur tanaman pada tanah masam. P. 132-227. Dalam O.P Engelstad (Ed.) teknologi dan penggunaan pupuk. Edisi ke tiga. Terjemahan oleh D.H. Gunadi dan B. Rajagukguk. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

Karama, A.S., dan A. Abdurachman. 1994. Optimasi sumberdaya lahan bernuansa lingkungan. Buku I p. 98 - 111. Pusat penelitian dan pengembangan tanaman pangan. Bogor.

Kendall. B., and J. van Houten (ed). 1997. Using the wild sun flower, *Tithonia*. Kenya for soil fertility and crop yields improvement. Nairobi: international center for research in agroforestry.

Kimpinski et al. 2000. The Effect of Marigolds (Tagetes spp.) and Other Cover Crops on Pratylenchus penetrans and

on Following Potato Crops. Supplement to the Journal of Nematology 32(4S):531–536. 2000. © The Society of Nematologists 2000.

Kokalis et al 2002. Effects of Switchgrass (*Panicum virgatum*) Rotations with Peanut (*Arachis hypogaea* L.) on Nematode Populations and Soil Microflora. J Nematol. 2002 Jun; 34(2): 98–105. PMCID: PMC2620544

Kumar, V., K.A. Zacharia. and G. Goswami. 2000. Fly ash in agriculture: A prespective. News and views. TIFAC. http://www.tifac.org.in/ news/flyagr.htm.

Kumar, V., K.A. Zacharia. and G. Goswami. 2002. Fly Ash : Its influence on soil properties. Indian society soil science workshop, 18 – 21st October 1999, Calcuta.

Kumar. V. 2004. Benefit of fly ash application fields crops (cereal, and vegetables. Agriculture related application. E-mail:flyash @tifac.org.in. Diakses pad tanggal 27 Oktober 2004.

Lal, R. 1995. Sustainable management of soil resources in the tropics. United nation university press. Tokyo- New York - Paris, P. 146.

Leiwakabessy, F.M. 1988. Kesuburan tanah. Jurusan tanah fakultas pertanian Institut Pertanian Bogor.

Lickaz J., and D. Penny. 2002. Soil organic matter. Melalui < Http://WWW. Organic gov. abc. > Diakses tanggal 3 Januari 2003.

Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. New York

Lisnawita. 2002. Pengelolaan tanah sehat dan pengaruhnya terhadap nematode parasit tumbuhan. Melalui E-mail itamuis@eudoramail.com, diakses tanggal 11 Pebruari 2005

Lynch, J.M. 1983. Soil biotechnology microbiological factors in crop productivity. Blackwell scientific publication. Victoria. Australia

Maheldaswara, D. 2003. Budi daya rumput hermada di lahan kering dan kritis. Kanisius. Yogyakarta.

Marschner. H, 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press., Harcott Jovanovich, Publisher, Tokyo.

Mc. Daniel., P.A., and S.W. Buol. 1991. Manganese distributions in acid soils of the north caroline piedmont. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1211 – 1217.

Mengel, K., and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. (completely revised). International Potash Institute, Switzerland.

Mortvedt J.J, P.M. Geordano and W.L. Lindsay. 1972. Micronutriens in agriculture. SSSA, Inc., Madison, WI.

Muljadi, D . 1990. Mineral liat. Kumpulan makalah latihan teknik analisis tanah, tanaman, air dan pupuk. PPT dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.

Mulyani, A. dan H. Suhardjo, 1994. Karakteristik tanah di lahan kering marjinal Propinsi Jambi. Prosiding penanganan lahan kering marjinal melalui pola usaha tanai terpadu di Jambi, Jambi 2 juli 1994. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat , Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian . Departemen Pertanian , 1994.

Munir. 1996. Tanah-tanah utama Indonesia. Karakteristik, klasifikasi dan pemenfaatannya. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang. Pustaka Jaya

Naidu, R., J.K., Syers., R.W. Tilman, and J.H. Kirkman. 1990. Effect of liming and added phosphate on charge characteristics of acid soils. J. Soil Sci. 41:157-164.

Najarajah, S, N., B.M. Nizar. 1982. Wild sunflower as green manure for rice in the midle country wet zone Tropical Agriculturist, V. 78, p. 138.

Nowak, J. 2004. Environmental: Pollution prevention. Coal ash reclamation-bottom ash, what is bottom ash ?. alliant energy, coal combustion manager-western region at 319-786-7614. Diakses 8 Agustus 2004.

Nugroho, S.G. 1997. Pendayagunaan potensi Biologi tanah untuk menangkal marjinalisasi sumberdaya tanah remediasi lingkungan dan meminimumkan resiko pemanasan bumi. Orasi ilmiah guru besar ilmu biologi tanah Fakultas Pertanian UNLA. 30 Desember 1997.

Nziguheba G., C.A. Palm, R.J. Buresh, and P.C. Smithson. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by

organic and inorganic sources. Western Kenya. Plant Soil 198: 159 – 168.

Nziguheba G., R. Merckx, C.A. Palm, and P. Mutuo. 2002. Combining *Tithonia diversifolia* and fertilizers for maize production in a phosphorus deficient soil in Kenya. Agroforestry System 55, 165 – 174.

Olsen S.R. 1972. Micronutrient interaction agriculture research service USDA Fourth Collin Collorado.

Page, A.L., A.A. Elseewi., and E. Straughan. 1979. Residue review. Physical and chemical properties of fly ash from coal fried power plants with reference to environmental impact . Mc. Graw – Hill, New York.

Pagella, T. 2003. *Tithonia* species: Their use and abuse. Data microsoft power point. (http://www.bangor.ac.uk). Diakses tanggal 24 Juli 2003.

Palm, C.A., J. Mukalama, J. Agunda, P. Nekesha, S. Ajanga, and J. Odhiambo. 1997. Farm hedge survey; Composition, management, use and potential for soil fertility management. TSBF, Nairobi.

Palm, CA. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. Agroforestry System. No. 30.

Pambytes, J. 2004. Opaque minerals. Hhttp://www.innvista .Com/science/ earth/geology/opaque.htm dan http:// www .smenet.org/opaque-ore/ lx id 13.htm. Diakses tanggal 15 Agustus 2004.

Phung, H.T., I.J. Lund, and A.L. Page. 1978. Potential use of fly ash as a liming material in environmental chemistry and cycling processes, conf. 7604289, Adriano, D.C. and Brisbane, I.L, Eds. US Departement of Energy, 504.

PLTU Suralaya. 1999. Pembangkit listrik tenaga uap Suralaya. Brosur. Merak. Banten.

Ponnamperuma, F. N. 1965. Dynamic aspects of flooded soils. Pages 295-328 in International *Rice* Research Institute. The mineral nutrition of the *rice* plant. Proceedings of a symposium at the International *Rice* Research Institute, February, 1964. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Mary-land.

Prasetyo. B.H, Sawiyo, dan N. Suharta. 1998. Pengaruh bahan induk terhadap sifat kimia tanah dan komposisi mineralnya. Prosiding pertemuan pembahasan dan komunikasi hasil penelitian Peta Tanah dan Agroklimat. Bogor 10 – 11 Pebruari 1998. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Bogor.

PT. Perkebunan Nusantara VIII Cisalak Baru. 2005. Data curah hujan. Cisalak, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten.

Punjab Agriculture University. 1993. Utilisation of fly ash in agriculture and revegetation of dumping sites. Annual Progress Report. Ludhiana India.

Pusat Penelitan dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara. 2004. Hasil analisis fly ash dan bottom ash, pemeriksaan X-ray. Bandung.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. 2004. Hasil analisis fisika dan kimia. Bogor,

Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1992. Peta tanah Indonesia, sekala 1 : 2.500.000. Bogor

Pusat Penelitian Tanah. 1983. Terms of reference (TOR) survai kapabilitas tanah. Pusat Penelitian Departemen Pertanian, Bogor. 59: 1-52.

Putu Wigena, G., A. Rachim, D. Santoso, dan A. Saleh. 2001. Pengaruh kapur terhadap transformasi Sulfur-Sulfat pada oxic dystrudepts dan kaitannya dengan hasil kacang tanah. Jurnal Tanah dan Iklim Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.

Radjagukguk, B. 1984. Kumpulan makalah tentang masalah-masalah kesuburan tanah-tanah mineral masam di Indonesia. Seri Monografi. Laporan Hasil Peninjauan Pelaksanaan Pengapuran di Lampung. Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Reddy. T. 2000. Plant biomass-the case of *Tithonia diversifolia*, developed from the organic resources data base. Madya Pradesh, India.

Reinjtjes, C.,B. Haverkort. dan A.W. Bayer. 1999. Pertanian masa depan, pengantar untuk pertanian berkelanjutan dengan input luar rendah. LEISA - ILEILA. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Reuter M. and J.B. Robinson. 1986. Plant an intrepetation manual. Inkata Press. Proprietary Limited Melbourne

and Sydney National Library of Australia. Inkata Press, Pty. Ltd., Melbourne – Sydney. Natl. Library Aust.

Rosmarkam, A, dan Nasih Widya Yuwono. 2002. Ilmu kesuburan tanah. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York, London, Sydney, Toronto.

Sanchez, P.A., and G. Uehara. 1980. Management consideration for acid soils. In the role of phosphorus in agriculture. SSSA, Madison. WI.

Schnitzer. M. 1982. Organic matter characterization. Methods of soil analysis. 2nd Ed. Am. Soc. Agron. Soil. Sci. Soc. Am. Madison, WI.

Scotash. 2003. Our product range : Furnace bottom ash (FBA) (http://www. scotash.com/scotash_solutions/solutions.html-20k). Diakses tanggal 15 Agustus 2003.

Sengupta, P. 2000. Fly ash for acidic soils. Central fuel research institute. Dhanbad. India. (http://www.hindu.com/fhindu). Diakses tanggal 10 Agusutus 2003.

Sholeh, D. Nursyamsi, J.S. Adiningsih. 1997. Pengelolaan bahan organik dan Nitrogen untuk tanaman padi dan ketela pohon pada lahan kering yang mempunyai tanah Ultisols di Lampung. Prosiding No. 13/Pen. Tanah/1997. ISSN : 0854-5588.

Shrama, S. 1988. Fly ash dynamics in soil water system. Critical review and environmental control 19 (3) , 251 – 257.

Singer. M.J, and D.N. Munns. 1996. Soils and Introduction. Mac. Millan, Inc., New York.

Singh, G. 2002. Environtmental management division. Utilisation of fly ash in agriculture . Melalui http://www .cfrindia.com/environt-mentalmanage-ment divisio. htm. Diakses tanggal 18 Oktober 2002.

Soekodarmodjo, S. 1985. Pengaruh pengapuran terhadap sifat-sifat fisika tanah. Seri monografi. Kumpulan makalah tentang masalah kesuburan tanah-tanah mineral masam di Indonesia. Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Soil Survey Staff. 1999. Kunci taksonomi tanah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian Republik Indonesia. Edisi ke 2. cetakan I. Oktober 1999. Bogor.

Sondari, N., and M. Arifin. 2000. *Prospect of fly ash utilization in agricultural sector*. Indonesian Mining J. P. 91-94. V.6 N. 3. Bandung.

Sondari, N., dan Noertjahyani. 1999. Pengaruh dosis fly ash terhadap peningkatan pH tanah, kandungan P tanaman dan hasil kacang tanah pada Andisols Tanjungsari. Wawasan Tridharma. Nomor 7 Th XII. Pebruari 2000. Bandung.

Sondari, N., dan Suhendar. 2003. Pemanfaatan abu sisa bakaran batubara di sektor pertanian pada tanah Ultisols Banten. Prosiding kolokium Energi dan Sumberdaya Mineral . ISBN :979-8641-39-6. Bandung 18 desember 2003.

Sondari, N. 2005. Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah, Konsentrasi hara, serta hasil hermada (*Sorghum bicolor*, L. Moench) Akibat Pemberian abu sisa bakaran batubara (ASBB) dan Pupuk hijau pada Typic Kanhapludults. Disertasi. Program Pascasarjana UNPAD

Sondari, N. 2009. Pertumbuhan, Kadar logam berat Pb, dan Hasil Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) Akibat Pemberian Kombinasi Limbah Batubara *Bottom ash* dan Bokashi *Bottom ash.* Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada (UGM).Vol.9 No.2 Desember 2009, hal.88-94

SPPT Desa Malangsari, 2003. Data potensi desa: Kentrong, kecamatan Cipanas, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten.

Steel, R.G.D., and J.H. Torrie, 1982. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2nd ed. Mc Graw Hill International Book Company. Tokyo. Japan.

Steven, G. and D. Dunns. 2001. Evaluation of fly ash as a liming material in Southeast Missouri. Missouri Agricultural Experiment Station Delta Research Center. Page 1-4.

Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry, genesis, composition, reaction. John Wiley and Sons, New York.

Stuckenholtz *el al*. *1966*. Available *Zn* content in different great group soils was found to be positively correlated with organic carbon content. Journal of the Indian Society of Soil Science - Volume 40 - Halaman 394

Subba Rao N.S. 1994. Mikroorganisme tanah dan pertumbuhan tanaman. Terjemahan Herawati Susilo. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.

Subba Rao, N.S. 1977. Soil microorganism and plant growth. Oxford and IBH Publishing Company, New Delhi.

Suhendar, dan M. Arifin. 2004. Eagle project, inovasi teknologi batubara bersih untuk PLTU dengan batubara sebagai sumber energinya. Puslitbang Tekmira. Bandung)

Sujatmiko dan Santosa. 1992. Geologi lembar Leuwidamar, Jawa Lembar 1109- 3. Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.

Susanti, P., Praptanugraha, S., dan R. Jamal. 2002. Agribisnis hermada menjanjikan. Kharisma Promosindo. Jakarta.

Timper et al. 2009. Population Dynamics of Meloidogyne arenaria *and* Pasteuria penetrans in a Long-Term Crop Rotation Study. Journal Nematol. Soiciety of Nematologist. 2009. Dec; 41(4): 291–299. PMCID: PMC3381465.

Tisdale, S.L., W.L.Nelson., and J.D.Beaton. 1990. Soil fertility and fertilizer. (4^{th} ed.). Mac Millan Publ. Co., New York.

Tisdale, S.L., W.L.Nelson., J.D.Beaton and J.L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizer . (5th ed). Mac Millan Publ. Co., New York.

Truong P.N. and Baker D, 1996. The Role of Vetiver Grass in The Rehabilitation of Toxic and Contaminated Lands in Australia. Resource Sciences Centre, Department of Natural Resources. Brisbane. Australia.

Truong P.N. and Claridge, J. 1996. Effects of Heavy metal toxicities on vetiver growth. Proc First International. Vertiver Conf. Thailand (in press).

Uehara, G., and G.P. Gilman, 1981. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays, Wesview Press, Boulder. Co.

Van Steenis, C.G.J. 1975. Flora. Pradnya Paramita Jakarta.

Wanjau, S., J. Mukalama and R. Thijssen. 2004. Biomass transfer : Harvesting free fertilizer. ILEIA, Centre for Research and Information on Low External Input and Sustainable Agriculture. ILEIA Newsletter Vol. 13 No. 3 p. 25. (http://www.oneworld.org). Diakses tanggal 8 Mei 2004.

Wanjau. S., J. Mukalama and R. Thijssen. 1993. Biomass transfers: harvesting free fertilizer. LEIA Newsletter. Vol 13 No. 3 p.25.

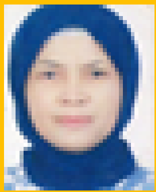
Weber, A. 2002. Function of organic matter in soils. Page 1 of 2.http://www. ar.wroc.pl /weber/rola 2.htm. Diakses tanggal 30 Maret 2003.

Whitehead, D.C. 2000. Nutrient elements in grassland. Micronutrient cations: iron, manganese, zinc, copper, and cobalt. Soil-plant-animal relationships. Department of soil science. University of Reading. London UK . CABI Publishing. London.

Viaena & Abawi. 1998. Management of Meloidogyne hapla on lettuce in organic soil with *sudangrass* as a cover crop. Plant Dis. 82:945- 952. Sorghum-*sudangrass* has been found to increase onion yields by about 15-25% on muck soils (personal communication, J. Mishanek, IPM specialist, Orange county, NY.

Von Uexskul, H. R and E. Mutert. 1993. Principles of balances fertilization. P.17-31, In. Proc. Regional Fedinap Seminar on Fertilzation and The Environment, Chiang Mai, Thailand, 7 – 11 September 1992. Economic and Social Commision for Asia and The Pacific. United Nation, New York.

Yoshida S. et al. 1998. Zinc deficiency of the rice plant on calcareous and neutral soils in the philippines. Journal Soil Science and Plant Nutrion. Soil Science and Plant Nutrition. Volume 17, 1971 - Issue 2. Pages 83-87



Nunung Sondari lahir di Majalaya Kabupaten Bandung, 11 Februari 1960, aktif sebagai staf pengajar Kopertis Wil IV Jabar dan Banten dpk Fakultas Pertanian dan Program Pascasarjana Universitas Winaya Mukti (Unwim). Saat buku dibuat, penulis telah menyelesaikan buku pertama dengan judul "Vertisols", Genesis, Karakteristik, Klasifikasi dan Pengelolaannya. Buku kedua Kimia Tanah Pertanian. Sebagai struktural, penulis pernah menduduki sebagai Kepala Biro Admik, Ketua Program Studi Agroekologi S2, Ketua LPPM, dan saat ini Wakil Rektor bidang Akademik UNWIM,

sebagai Wakil Rektor Bidang Akademik UNWIM. Penyelesaian Strata-1 di Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran (UNPAD) jurusan Ilmu Tanah, melanjutkan jenjang Strata-2 pada Program Pascasarjana UNPAD masih pada bidang kualifikasi keilmuan yang sama, dan melanjutkan Strata-3 serta memperoleh gelar doktor bidang ilmu pertanian di UNPAD tahun 2005.

Penulis telah melakukan beberapa penelitian dan terangkum dalam beberapa jurnal. Hasil kajian penelitian yang telah dilaksanakan, diantaranya: Beberapa sifat kimia tanah Ultisol Banten, pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* L. Merr) akibat pemberian takaran zeolit dan kalsit (kapur pertanian). Kandungan P tersedia tanah, serapan N, P, dan K bibit kelapa sawit akibat inokulasi mikroba pelarut fosfat pada Ultisol Sumatera Selatan dan Jawa Barat. *Prospect of fly ash utilization in agriculture sector* (Indonesia Mining Journal). Pengaruh dosis *fly ash* terhadap peningkatan pH tanah, kandungan P-tanaman, dan hasil kacang tanah di tanah Andisol. Pengaruh takaran zeagro-2 dan pupuk N terhadap kandungan N-tanaman dan hasil kacang tanah di tanah Latosol. Pemanfaatan abu sisa bakaran batubara (*Bottom Ash dan fly ash*) di sektor pertanian pada tanah Ultisol Banten. Beberapa sifat fisika dan kimia tanah, konsentrasi hara, serta hasil hermada (*Sorghum bicolor* L. Moench) akibat pemberian abu sisa bakaran batubara (SSBB) dan pupuk hijau pada Typic Kanhapludults. Respon pertumbuhan dan hasil dua varietas hermada (*Sorghum bicolor* L. Moench) pada tiga ordo tanah. Kajian penggunaan limbah batubara bottom ash dan bokashi bottom ash terhadap pertumbuhan, kandungan logam berat Pb dan hasil padi gogo (*Oryza sativa* L.) serta pada tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanoides*). *Application of Bokashi Bottom Ash for increasing upland rice yield and decreasing grain Pb content in Vitric Hapludand (Journal of Tropical Soil). Effect of planting distance and Chitosan concentration on the growth of seed Potatoes breeder G0 virus free in aeroponic (www. crc press.com)*. Optimalisasi penerapan phytomining pertambangan emas melalui screening tumbuhan indigenous pada sedimen lumpur emas (2015).

Koordinator mata kuliah Dasar-dasar Ilmu Tanah untuk mahasiswa S1 Unwim, mengajar mata kuliah Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Saat ini mengajar Ilmu Kesuburan dan Kesehatan Tanah, Bioteknologi Tanah, Ilmu Nutrisi Tanaman, dan Evaluasi Lahan Pertanian. Pada Program Pascasajana (S2), mengampu mata kuliah Ilmu Kesuburan Fisika, Kimia dan Biologi Tanah Lanjut (Kesuburan Tanah dan ... Tanah, Tanaman dan Rekomendasi Pemupukan, serta Nutrisi Tana...