



KESUBURAN TANAH



Sutarman

Agus Miftakhurrohmat

KESUBURAN TANAH

Oleh
Sutarman
Agus Miftakhurrohmat



UMSIDA PRESS

Diterbitkan oleh
UMSIDA PRESS
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo

ISBN: 978-602-5914-94-2
Copyright©2019

Sutarman
All rights reserved

Kesuburan Tanah

Penulis :

Sutarman

Agus Miftakhurrohmat

ISBN :

978-602-5914-94-2

Editor :

M. Tanzil Multazam , S.H., M.Kn.

Mahardika Darmawan K,W, .M.Pd

Copy Editor :

Fika Megawati, S.Pd., M.Pd.

Design Sampul dan Tata Letak :

Mochamad Nashrullah, S.Pd

Penerbit :

UMSIDA Press

Redaksi :

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit No 666B

Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan pertama, Desember 2019

© Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dengan suatu apapun
tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas tersusunnya Bahan Ajar berjudul Kesuburan Tanah sebagaimana mestinya.

Buku ini disusun berdasarkan hasil kajian literatur yang bersumber pada berbagai artikel jurnal nasional dan Internasional relevan terkait merupakan salah satu dari luaran penelitian hibah Kemenristekdikti melalui skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2018-2019.

Buku dapat digunakan sebagai materi kuliah Kesuburan Tanah dan Pengelolaan Pupuk di samping dapat dimanfaatkan bagi keperluan praktis mahasiswa dan praktisi pertanian.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada: Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA), Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UMSIDA atas dukungan moril dan fasilitas yang disediakan bagi penyusunan buku ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Sidoarjo, Agustus 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. HUBUNGAN TANAH DAN TANAMAN.....	10
2.1 Tanah sebagai media bertanam	10
2.2 Bentuk hara dalam tanah.....	10
2.3 Kuantitas intensitas hara	11
2.4 Gerakan hara dalam tanah	12
2.5 Mekanisme penyerapan hara oleh akar	17
2.6 Faktor penentu pertumbuhan tanaman	19
2.7 Kurva pertumbuhan tanaman	21
BAB 3. UNSUR HARA MAKRO	24
3.1 Esensialitas dan Peran Unsur Hara	24
3.2 Nitrogen	27
3.3 Fosfat	32
3.4 Kalium	36
3.5 Kalsium (Ca)	39
3.6 Magnesium (Mg)	43
3.7 Sulfur (S)	45
BAB 4. UNSUR HARA MIKRO	50
4.1 Besi (Fe)	50
4.2 Mangan (Mn).....	52
4.3 Tembaga (Cu)	54
4.4 Seng (Zn)	56
4.5 Klor (Cl)	57
4.6 Boron (B)	59
4.7 Molibden (Mo)	60

BAB 5. EVALUASI KESUBURAN TANAH.....	63
5.1 Pengambilan contoh tanah & tanaman.....	63
5.2 Uji Kimia Tanah.....	64
5.3 Uji Mikroba.....	68
5.4 Percobaan Pemupukan.....	70
5.5 Analisis Jaringan.....	72
5.6 Uji cepat tanaman.....	75
5.7 Gejala Visual Tanaman.....	76
5.8 Rekomendasi Pemupukan.....	79
BAB 6. PUPUK.....	82
6.1 Pengertian Pupuk.....	82
6.2 Kategori Pupuk.....	83
6.3 PupukBuatan	86
6.4 PupukOrganik	90
6.4.1 Pupuk Kandang	92
6.4.2 Pupuk Hijau	93
6.5 PupukHayati (<i>Biofertilizer</i>)	95
BAB 7. PENGELOLAAN HARA DAN KESUBURAN.....	97
7.1 Pengelolaan Hara dan Pemupukan.....	97
7.1.1 Manajemen hara makro	97
7.1.2 Manajemen hara mikro	99
7.2 Pengelolaan Kesuburan Tanah.....	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Kompetensi, capaian pembelajaran dan pokok bahasan Kesuburan Tanah.....	6
2. Kriteria penilaian tingkat kesuburan beberapa sifat tanah dan kemasaman tanah.....	66
3. Kriteria tingkat kesuburan berdasarkan karakteristik utama tanah dan hasil panen	67
4. Kriteria tingkat kekahatan unsur K berdasarkan bobot kering dalam uji yang menggunakan <i>A. niger</i>	69
5. Kriteria kekahatan P berdasarkan pertumbuhan koloni <i>Cunninghamella</i> dalam media uji	70
6. Kunci determinasi gejala kekahatan tanaman terhadap beberapa unsur penting	77
7. Contoh rekomendasi pemupukan dalam budidaya padi sawah yang beririgasi	80
8. Kandungan hara empat jenis pupuk kandang..	93

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Siklus N.....	28
2. Siklus P.....	33
3. Kurva respons tanaman uji terhadap kekahatan unsur tertentu	74

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Lingkup

Dalam bidang pertanian, kajian tentang tanah dan media tanam menjadi sentral bagi pemahaman dan implementasi teknologi budidaya dan produksi pertanian. Diawali oleh pembelajaran dalam mata kuliah Dasar Ilmu Tanah hingga pengembangannya dalam mata kuliah Kesuburan Tanah, Pupuk dan Pemupukan, Biologi Tanah, Kimia Tanah, dan berbagai cabang ilmu tanah lainnya.

Semua mata kuliah terkait tanah sebagai besar berorientasi pada pemberian pemahaman bagi pembaca dan mahasiswa bidang pertanian dalam menciptakan tanah yang subur atau tanah yang memiliki kemampuan untuk mendukung tanaman untuk tumbuh dan melangsungkan produksinya.

Kesuburan tanah tidak saja secara kimia namun juga secara biologi dan sifat fisiknya. Ketiga aspek tersebut saling berhubungan dan mempengaruhi satu sama lain serta seperti berlangsung hubungan sebab akibat. Jika secara biologi baik, maka sifat fisik tanah juga akan menjadi baik yang akhirnya berakibat baik bagi kimia tanah dalam perspektif tanah lingkungan tumbuh tanaman.

Salah satu cabang Ilmu Tanah yang penting dalam proses pembelajaran di program studi (prodi) Agroteknologi, Agronomi, Budidaya Pertanian, dan prodi lain di Fakultas Pertanian atau fakultas lainnya adalah Kesuburan Tanah.

Deskripsi Mata Kuliah

Mata kuliah ini bertujuan untuk memberi pemahaman dan penguasaan teknologi pengelolaan kesuburan tanah baik secara kimia, fisika, dan biologi serta memanfaatkan bahan organik dan mikroba tanah bagi peningkatan kapasitas dan daya dukung bagi pertumbuhan dan produksi tanaman.

Standar Kompetensi

Mahasiswa mampu merencanakan dan mengaplikasikan teknologi pemanfaatan sumberdaya tanah baik secara kimia, fisika, dan biologi serta memanfaatkan bahan organik dan mikroba tanah bagi peningkatan kapasitas dan daya dukung sumberdaya tanah dan lahan bagi pertumbuhan dan produksi tanaman serta memiliki kemampuan mengelola kesuburan tanah.

Manfaat Mata Kuliah

Mata kuliah Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah ini akan memberikan pemahaman dan bekal pengetahuan bagi calon Sarjana Pertanian dalam menyusun tugas akhir yang terkait dengan bidang kesuburan tanah serta pemanfaatan bahan organik dan mikroba tanah bagi peningkatan kesuburan tanah sekaligus sebagai bekal untuk menghadapi bidang kerja bidang pertanian yang senantiasa menghadapi kendala marginalitas lahan

Sebagai cabang dari Ilmu Tanah, kajian Kesuburan Tanah menjadi sangat penting dalam upaya menggapai prospek Ilmu tanah di masa depan yaitu di antaranya terkait pengembangan bioteknologi tanah.

1.2 Definisi dan Peran

Berdasarkan pendekatan Ilmu Tanah terkini, “Tanah” didefinisikan sebagai lapisan permukaan bumi yang:

- (i) Secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran penopang tumbuh tegaknya tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan udara;
- (ii) Secara kimiawi berfungsi sebagai gudang hara dan sumber penyuplai hara atau nutrisi
- (iii) Secara biologi berfungsi sebagai habitat biota (organisme) yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif (pemacu tumbuh, proteksi) bagi tanaman,
- (iv) Integrasi ketiganya mampu menunjang produktivitas tanah untuk menghasilkan biomass dan produksi baik tanaman pangan, tanaman obat-obatan, industri perkebunan, maupun kehutanan

Tanah memiliki fungsi sebagai berikut:

- (i) Tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran tanaman,
- (ii) Penyedia kebutuhan primer tanaman (air, udara, dan unsur-unsur hara),
- (iii) Penyedia kebutuhan sekunder tanaman (zat-zat pemacu tumbuh, hormon, vitamin, asam-asam organik, antibiotik, toksin anti hama, dan enzim

yang dapat meningkatkan ketersediaan hara) dan siklus hara, dan

- (iv) Sebagai habitat biota tanah, baik yang berdampak positif karena terlibat langsung atau tak langsung dalam penyediaan kebutuhan primer dan sekunder tanaman tersebut, maupun yang berdampak negatif karena merupakan hama dan penyakit tanaman

Dalam perspektif tempat tumbuh dan tempat melaksanakan produksi tanaman, peran dan fungsi tanah penting untuk dipahami beberapa karakteristik tanah sebagai lahan atau sebagai bentuk daya dukung lahan, yaitu:

- (i) Kemampuan lahan untuk mendukung proses tumbuh tanaman bagi dan pencapaian produktivitas optimum tanaman;
- (ii) Memerlukan pengelolaan yang sesuai dengan karakteristik tanah dan lahan;
- (iii) Memulihkan dan memelihara kapasitas dan kesehatan lahan.

Selanjutnya kesuburan tanah dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu tanah untuk menghasilkan produk tanaman yang diinginkan (berupa buah, biji, daun, bunga, getah, eksudat, tribus, batang, biomassa, naungan, penampilan dan lainnya) pada lingkungan tempat tanah itu berada.

Kesuburan tanah itu sendiri bervariasi tergantung kepada bahan induk, iklim, relief, organisme, dan waktu.

Adapun indikator utama keburan tanah adalah pada tanaman yang ditumbuhkan pada tanah sebagai medium tumbuhnya.

1.3 Kompetensi dan Capaian Pembelajaran

Materi Perkuliahan

Adapun materi perkuliahan yang terdistrusi dalam tiap minggu selama satu semester adalah meliputi:

1. Pendahuluan atau pengantar mata kuliah
2. Hubungan tanah dan Tanaman
3. Unsur hara makro
4. Unsur hara mikro
5. Manajemen hara makro dan mikro
6. Evaluasi Kesuburan Tanah
7. Pemupukan dan Pengelolaan kesuburan tanah

Kompetensi dan Capaian Pembelajaran

Kompetensi dan capaian pembelajaran Kesuburan Tanah dengan masing-masing pokok dan sub pokok pembahasan yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kompetensi, capaian pembelajaran dan pokok bahasan Kesuburan Tanah

No	Kompetensi Dasar	Capaian Pembelajaran	Pokok dan Sub Pokok Bahasan
-----------	-------------------------	-----------------------------	------------------------------------

1	Mahasiswa memahami lingkup dan batasan dan lingkup kajian Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah	Mahasiswa dapat: menjelaskan batasan dan lingkup Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah, mendiskripsikan dan menjelaskan peran mata kuliah	a. Batasan dan lingkup kajian Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah b. Deskripsi dan peran mata kuliah
2	Mahasiswa memahami konsep Hubungan tanah dan Tanamankhu susnya terhadap pertumbuhan tanaman	Mahasiswa dapat menjelaskan: fungsi/ peran tanah sebagai media tanam, sumber dan pangkalan serta kuantitas dan intensitas hara, pergerakan hara di dalam tanah, mekanisme penyerapan hara oleh akar, faktor penentu pertumbuhan tanaman, dan kurva pertumbuhan tanaman	Hubungan tanah dan Tanaman a. Tanah sebagai media tanam b. Sumber dan pangkalan serta kuantitas dan intensitas hara c. Pergerakan hara di dalam tanah d. Mekanisme penyerapan hara oleh akar e. Faktor penentu pertumbuhan tanaman f. Kurva pertumbuhan tanaman

Tabel 1. Kompetensi, capaian pembelajaran dan pokok bahasan Kesuburan Tanah (panjutan)

No	Kompetensi Dasar	Capaian Pembelajaran	Pokok dan Sub Pokok Bahasan
3	Mahasiswa mampu memahami pengertian hara esensial dan peran, bentuk,	Mahasiswa dapat; menjelaskan pengertian hara esensial dan peran unsur	Unsur hara makro a. Pengertian hara esensial dan peran unsur hara tanaman b. Pengertian hara makro

	fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, dan serapan, proses perubahan kimia, fiksasi, dan kekahatan unsur-unsur hara makro	hara makro bagi tanaman, menjelaskan bentuk, fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, dan serapan hara N, P, K dan hara makro lainnya	c. Nitrogen: bentuk, fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, dan serapan, nitrifikasi, denitrifikasi, fiksasi d. Fosfat: bentuk, fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, serapan, jerapan, presipitasi, fiksasi
4	Mahasiswa mampu memahami pengertian hara esensial dan peran, bentuk, fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, serapan, fiksasi, dan kekahatan unsur-unsur hara mikro	Mahasiswa dapat; menjelaskan pengertian hara esensial dan peran unsur mikro bagi tanaman, menjelaskan bentuk, fungsi, sumber, mineralisasi, mobilisasi, transformasi, dan serapan hara Fe, Mn, Cu dan hara mikro lainnya	Unsur hara mikro: a. Pengertian hara esensial dan peran unsur hara tanaman b. Pengertian hara mikro c. Daur hara mikro; d. Besi: bentuk, fungsi, sumber, kelasi, penyerapan, peracunan, kekahatan e. Mangan: bentuk, fungsi, sumber, kelasi, penyerapan, peracunan, kekahatan f. Tembaga: bentuk, fungsi, sumber, kelasi, penyerapan, peracunan, kekahatan g. Zn, Boron, Cil, B, dl.. bentuk, fungsi, sumber, kelasi, penyerapan, peracunan, kekahatan

Tabel 1. Kompetensi, capaian pembelajaran dan pokok bahasan Kesuburan Tanah (lanjutan)

No	Kompetensi Dasar	Capaian Pembelajaran	Pokok dan Sub Pokok Bahasan
5	Mahasiswa mampu mengevaluasi kesuburan	Mahasiswa dapat menjelaskan dan memberikan contoh konkrit evaluasi	Evaluasi Kesuburan Tanah

	tanah melalui: uji kimia tanah, uji mikrobial tanah, percobaan pemupukan, analisa jaringan, dan gejala dan interpretasi visual tanaman serta mampu membuat rekomendasi pemupukan	kesuburan tanah khususnya mengenai: pengambilan contoh tanah dan tanaman, uji kimia tanah, uji Mikrobial tanah (bakteri dan fungi), percobaan pemupukan, analisa jaringan, gejala dan interpretasi visual tanaman, rekomendasi pemupukan	<ul style="list-style-type: none"> a. Pengambilan contoh tanah dan tanaman b. Uji kimia tanah; c. Uji Mikrobial tanah: bakteri dan fungi d. pemupukan e. Analisa jaringan f. Gejala dan interpretasi visual tanaman g. Rekomendasi pemupukan
6	Mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan jenis-jenis pupuk dan cara pemupukan yang baik	Mahasiswa dapat menjelaskan dan memberikan masing-masing contoh kongkrit pupuk: buatan, organik, hijau, pupuk hayati; cara-cara pemupukan yang efektif	Pupuk: <ul style="list-style-type: none"> a. Pengertian pupuk b. Kategori pupuk c. Pupuk organik d. Pupuk hayati (e. Cara dan metode pemupukan (lewat akar; lewat daun) f. Keseimbangan dan kebutuhan pupuk
7	Mahasiswa mampu memahami manajemen pupuk hara makro dan mikro serta pengelolaan kesuburan tanah	Mahasiswa dapat menjelaskan manajemen hara makro dan mikro serta dapat membedakannya dalam bentuk contoh pengelolaan serta pengelolaan kesuburan tanah	Manajemen hara makro dan mikro serta Pengelolaan Kesuburan Tanah

PERTANYAAN

1. Jelaskan definisi kesuburan tanah?
2. Jelaskan manfaat mempelajari Kesuburan Tanah

BAB 2

HUBUNGAN TANAH DAN TANAMAN

2.1 Tanah sebagai media bertanam

Tanah sebagai media tanam memiliki berbagai pengertian terkait fungsi dan perannya yaitu:

- (i) Tanah adalah media yang mendukung pertumbuhan tanaman berupa dukungan mekanik, air dan supplay oksigen serta nutrisi ke akar tanaman.
- (ii) Menumbuhkan berbagai tanaman pangan dan pakan ternak yang diperlukan untuk manusia dan binatang, bahan baku untuk berbagai agro-industri (pabrik gula dan pati, pabrik tekstil, unit pengalengan dan pengolahan makanan)
- (iii) Habitat bagi pertumbuhan tanaman yang secara fisik, kimia dan biologi akan mempengaruhi kemampuan kerja, kesesuaian dengan varietas tertentu, dan produktivitas tanaman.

2.2 Bentuk hara dalam tanah

Sumber-sumber hara di dalam tanah adalah meliputi:

1. Perombakan bahan organik tanah.
2. Pelapukan mineral tanah.
3. Pemupukan.
4. Pembena organik: rabuk, kompos, biosolid.
5. Penambatan N : legum.
6. Batuan: batuan fosfat, greensand.

7. Buangan industri: kapur, gipsum.

8. Pengendapan udara: N, S.

9. Pengendapan air: sedimen, erosi, banjir.

Adapun pangkalan hara (*nutrient pool*) tanah adalah meliputi:

- (i) Larutan tanah, di mana bentuk hara terlarut dalam lengas tanah dan sifatnya tersedia segera untuk diserap oleh akar bagi tanaman.
- (ii) Bahan organik tanah, yang selalu mengalami proses perombakan dan oleh karena itu akan melepaskan hara;
- (iii) Organisme tanah: hara diambil untuk metabolisme atau menjadi komponen penyusun tubuhnya, sehingga mengalami imobilisasi sementara;
- (iv) Mineral tanah: hara yang berada dalam pangkalan ini memiliki sifat antara cukup terlarut sampai sedikit terlarut;
- (v) Permukaan jerapan: hara dipegang permukaan tanah oleh berbagai mekanisme, berkisar antara cepat tersedia sampai sangat lambat tersedia;
- (vi) Pertukaran kation: tipe yang sangat penting dari jerapan permukaan tanah.

2.3 Kuantitas dan intensitas hara

Kuantitas dan intensitas hara menjadi penciri tingkat kesuburan tanah sebagai media tumbuh tanaman ditunjukkan oleh daya sangga serta hubunag antara kuantitas dan intensitas haranya.

Daya sangga (*buffering capacity*) adalah: (i) kemampuan tanah untuk mempertahankan kadar hara dalam larutan tanah, atau (ii) kapasitas fasa padatan untuk mengisi kembali (replenishment) hara dalam larutan yang diserap oleh akar tanaman. Kebanyakan uji tanah dirancang untuk mengukur kapasitas ini.

Hubungan kuantitas dan intensitas hara dinyatakan sebagai:

$$BC = \Delta Q / \Delta I$$

ΔQ = faktor kapasitas, meliputi ion yang terjerap dan mineral yang melarutkan secara cepat untuk memasok hara diatas kebutuhan satu musim tanam.

ΔI = faktor intensitas, perubahan konsentrasi hara dalam larutan; penyerapan hara oleh tanaman berpengaruh pada ΔI yang akan menurunkan konsentrasi hara dalam larutan.

ΔQ yang tinggi menjaga konsentrasi hara dalam larutan, sehingga ΔI neto menjadi kecil. ΔQ rendah tidak mampu menjaga konsentrasi hara dalam larutan, sehingga ΔI neto menjadi besar.

2.4 Gerakan hara dalam tanah

Prinsip dalam pergerakan hara di dalam tanah adalah bahwa Ion di dalam tanah akan bergerak menuju permukaan akar dengan mekanisme berikut: root interception, mass flow atau diffusion.

Pemasokan dan pengangkutan hara melalui beberapa mekanisme berikut:

- (i) Intersepsi akar semata-mata berkaitan dengan pemasokan hara (*solely a supply mechanism*);
- (ii) Aliran massa dan difusi merupakan pemasokan dan pengangkutan hara (*mechanisms of supply and transport*).

Memahami bagaimana hara bergerak, sangat penting untuk memahami dampaknya bagi lingkungan, juga dalam penyerapan hara.

Intersepsi akar

Akar tumbuh menembus tanah, bersinggungan dengan permukaan partikel tanah, permukaan akar bersinggungan dengan ion hara yang terjerap, kemudian terjadi pertukaran secara langsung (*contact exchange*). Meskipun angkanya kecil, tetapi sumbangannya penting agar hara mencapai akar. Hal ini nampak jelas terutama bagi hara dengan kadar tinggi dalam tanah misalnya Ca dan Mg, atau hara yang dibutuhkan dalam jumlah kecil bagi tanaman seperti Zn dan Mn dan hara mikro lainnya.

Intersepsi dipengaruhi oleh semua yang mempengaruhi pertumbuhan akar: tanah yang kering, tanah mampat, pH tanah yang rendah, keracunan Al dan Mn, kekahatan hara, kegaraman, aerasi buruk, penyakit akar, serangga, nematoda, temperatur sangat tinggi atau sangat rendah. Pertumbuhan tanaman berpengaruh paling besar terhadap proses intersepsi, meskipun juga berpengaruh terhadap dua mekanisme lainnya.

Hara yang masuk melalui intersepsi tergantung pada:

- (i) Kadar hara dalam tanah,
- (ii) Volume tanah yang dijelajahi akar, akar menempati <1% ~2% volume tanah, pada permukaan tanah akar lebih rapat

Proses intersepsi atau pertukaran langsung dapat digambarkan sebagai berikut:

[rambut akar] H^+ dengan K^+ [lempung/BO],
menjadi [rambut akar] K^+ dengan H^+
[lempung/BO]

Dalam proses tersebut terjadi pertukaran yaitu rambut akar melepas H^+ dan menerima K^+ yang berasal dari lempung atau bahan organik. Begitu terjadi sebaliknya pada lempung/Bahan organik. Hal ini terjadi karena akar juga memiliki KPK yang berumbar dari gugus karboksil (seperti dalam bahan organik) dengan keseimbangan berikut:



Berkaitan dengan pergerakan hara, besarnya KTK akar pada jenis tanaman yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan penyerapan/pertukaran kation, misalnya pada tanaman monokotil dengan KTK 10-30 meq/100 g, sifat kation monovalen lebih cepat diserap; sebaliknya pada tanaman dikotil (KTK 40 - 100 meq/100 g). kation divalen lebih cepat diserap.

Aliran masa (mass flow)

Aliran massa adalah suatu pengertian bahwa hara terlarut terbawa bersama aliran air menuju akar tanaman, di mana aliran air dipengaruhi oleh transpirasi, evaporasi dan perkolasi. Jumlah hara akan proporsional dengan laju aliran (volume air yang ditranspirasikan) dan kadar hara dalam larutan tanah.

Aliran masa memasok hampir seluruh hara mobil yang diperlukan tanaman yaitu: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , dan H_3BO_3 . Aliran massa juga seringkali memasok hara Ca dan Mg yang berlebihan, memenuhi seluruh kebutuhan Cu, Mn, and Mo, serta memenuhi sebagian kebutuhan Fe and Zn.

Beberapa faktor yang mempengaruhi aliran masa adalah :

- (i) Kadar lengas tanah: tanah yang kering tidak ada gerakan hara,
- (ii) Temperatur: temperatur yang rendah mengurangi transpirasi dan evaporasi,
- (iii) Ukuran sistem perakaran: mempengaruhi serapan air; pengaruh kerapatan akar terhadap pasokan hara oleh aliran masa lebih ringan dibanding terhadap intersepsi akar dan difusi.

Difusi (*diffusion*)

Difusi hara di dalam konteks hubungan akar dan tanah adalah:

- (i) Pergerakan ion dari wilayah yang memiliki kadar hara tinggi ke wilayah yang lebih rendah kadar haranya;
- (ii) Akar menyerap hara dari larutan tanah;
- (iii) Kadar hara di permukaan akar lebih rendah dibandingkan pada larutan tanah di sekitar akar; dalam hal ini ion bergerak menuju permukaan akar. Mekanisme ini sangat penting bagi hara yang berinteraksi kuat dengan tanah. Terutama untuk memasok P dan K, juga hara mikro Fe dan Zn.

Laju difusi proporsional dengan gradien konsentrasi, koefisien difusi dan wilayah yang tersedia untuk terjadinya difusi. Hubungannya ditunjukkan dalam persamaan difusi “Hukum Fick”:

$$dC / dt = D_e \cdot A \cdot dC / dX$$

dC/dt = laju difusi (perubahan konsentrasi antar waktu)

D_e = koefisien difusi efektif

A = luas penampang difusi

dC/dX = gradien konsentrasi (perubahan konsentrasi antar jarak)

Koefisien difusi efektif (effective diffusion coefficient)

$$D_e = D_w \cdot \theta \cdot (1/T) \cdot (1/b)$$

D_w = koefisien difusi dalam air

θ = kadar air tanah volumetrik

T = faktor kelikuan (tortuosity)

B = daya sangga tanah (soil buffering capacity)

2.5 Mekanisme penyerapan hara oleh akar

Unsur hara yang diserap akar tanaman kebanyakan berasal dari senyawa dalam bentuk anorganik. Setelah mencapai akar, ion hara diangkut sampai ke bagian daun melalui serangkaian tahapan, yaitu: penyerapan pasif (*passive root uptake*), penyerapan aktif (*active root uptake*), dan alih tempat (*translocation*).

Ion harus bergerak melewati atau mengelilingi sejumlah lapisan jaringan akar, yaitu:

- (i) Epidermis adalah lapisan terluar dari sel;
- (ii) Korteks adalah sel besar ukuran tidak beraturan dengan ruang antara sel di antara mereka;
- (iii) Endodermis adalah lapisan sel dengan suberin band, *casparian strip*, menjadi penghalang gerakan ion masuk ke stele;
- (iv) Stele mengandung pembuluh xylem yang mengangkut air dan ion menuju batang.

Untuk gerakan pasif, ion melewati epidermis untuk selanjutnya berturut-turut menembus kortek kemudian endodermis, apoplast (*apparent free space*), dan ruang di antara sel (*extracellular within and between cell walls*), di mana KPK akar ada pada dinding sel

Pada pergerakan aktif, ion harus menembus membran sel secara symplast yaitu melalui jalur sitoplasmik intraseluler yang saling berhubungan dan biasanya pengambilan unsur hara secara selektif. Pengambilan ion secara aktif memerlukan energi untuk

melewati membran sel. Dalam hal ini konsentrasi di dalam sel lebih besar dibanding di luar sel, sehingga diperlukan energi untuk mengatasi gradien elektrokimia. Energi yang diperlukan itu berasal dari dari metabolisme sel.

Ion carriers

Pengangkutan melewati membran dijumpai oleh karier yang berada di dalam membran, bersifat mengikat ion di bagian luar dari batas dan menggerakannya melewati membran serta melepaskan ion ke dalam sitoplasma. Karier bersifat selektif, masing-masing ion punya karier tersendiri.

Pengangkutan aktif (*active transport*) memungkinkan tanaman memilih hara yang masuk ke akar, menjaga netralitas muatan di dalam sel akar, akar melepas H^+ and OH^- . Pengambilan kation: melepas H^+ , sedangkan pengambilan anion: melepas OH^- . Pengambilan kation umumnya jauh lebih banyak dibanding pengambilan anion sehingga pH rizosfer menjadi turun. Kondisi ini memungkinkan tanaman menimbun hara esensial. Terkait hal ini tiap jenis tanaman memiliki kemampuan yang berbeda dalam menimbun hara pada tanah yang memiliki kadar hara yang rendah. Sifat genetik mempengaruhi pengambilan hara, alih tempat, pertumbuhan akar, metabolisme akar, lingkungan rizosfer.

Rhizosfir

Rizosfir (asal kata Rhizosphere; rhizo = akar) **adalah** wilayah atau ruang dalam tanah yang bersinggungan langsung dengan akar, secara teknis berjaraknya 1-4 mm dari permukaan akar. Ruang ini juga merupakan tempat kegiatan mikrobia di mana eksudat organik dari akar merupakan cadangan makanan bagi berbagai mikroba tanah.

Kondisi pH rizosfer dan aktivitas mikrobia mempengaruhi ketersediaan hara melalui proses pelarutan dan khelasi, di mana pH lebih rendah dan adanya asam organik meningkatkan kelarutan. Akar dan mikrobia di rizosfer dapat menghasilkan khelat, akar dan aktivitas mikrobia juga mampu menurunkan redoks potensial sehingga meningkatkan ketersediaan hara.

2.6 Faktor penentu pertumbuhan tanaman

Tanaman yang ditumbuhkan pada tanah sebagai media tanam akan mengalami pertumbuhan atau perkembangan progresif di mana akan sangat dipengaruhi dan dibatasi oleh berbagai faktor yang kemudian dikenal sebagai syarat tumbuh.

Aturan minimum dari **Liebig** berlaku bagi unsur hara, sehingga unsur hara dapat bertindak sebagai syarat tumbuh memenuhi **hukum Liebig** tersebut. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa *Pertumbuhan tanaman dibatasi oleh keberadaan hara yang paling terbatas jumlahnya, tanpa memperhatikan besarnya sediaan hara yang lainnya.*

Operator pembudidaya tanaman harus mengidentifikasi dan memahami semua faktor pembatas hasil, dan menghilangkan atau meminimalkannya sehingga usahanya menguntungkan.

Faktor penentu pertumbuhan tanaman dapat dipilahkan menjadi 2 bagian yaitu: genetik (internal) dan lingkungan (eksternal).

Faktor lingkungan sebagai penentu atau pembatas pertumbuhan tanaman adalah:

- (i) Temperatur; secara makluk hidup dapat hidup pada kisaran suhu antara -35°C dan 75°C ; namun untuk tanaman pertanian kisaran suhu optimalnya antara $25-40^{\circ}\text{C}$. Temperatur dapat mempengaruhi: fotosintesis, respirasi, permeabilitas dinding sel, penyerapan air dan hara, transpirasi, aktivitas enzim dan koagulasi protein;
- (ii) Lengas tanah; kadar air dalam tanah sangat bervariasi, mulai dari kondisi: jenuh air (*saturated*), kapasitas lapangan (*field capacity*), hingga layu permanen (*wilting point*). Fungsi air dalam kelembaban tanah antara lain sebagai: pelarut, media transportasi, dan bahan dasar dalam fotosintesis dan metabolisme;
- (iii) Sinar matahari, berperan sangat penting dalam pertumbuhan yaitu pada proses fotosintesis dan menentukan lama penyinaran dan periode tumbuh;

- (iv) Udara, kandungan CO_2 dan O_2 di dalamnya sangat diperlukan bagi fotosintesis dan respirasi bagi tumbuhan;
- (v) Struktur tanah, akan mempengaruhi ruang tumbuh akar danimbangan udara-lengas;
- (vi) Reaksi tanah: berkaitan dengan ketersediaan hara bagi tumbuhan dan efeknya bagi kelangsungan kehidupan mikroba tanah;
- (vii) Biotik; semua makhluk hidup yang dapat berinteraksi atau membentuk berbagai cara simbiosis baik bersifat sebagai antagonisme atau sinergisme, jasad pengganggu: hama, penyakit, atau gulma pesaing tanaman;
- (viii) Penyediaan hara: mineral, tekstur, struktur, pH, bahan organik tanah, pemupukan, pengolahan tanah; kedalaman dan persebaran perakaran tanaman akan mempengaruhi ketersediaan hara;
- (ix) Senyawa penghambat pertumbuhan: adanya limbah atau bahan beracun.

2.7 Kurva pertumbuhan tanaman

Pertumbuhan tanaman sangat tergantung pada karakteristik dan kualitas faktor penentu kehidupannya. Beberapa teori digunakan untuk menentukan sejauh mana faktor penentu dan lingkungan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Teori Kurva Tanggap Pertumbuhan Liebig(1860, German), merupakan hubungan linear antara

pertumbuhan dengan unsur atau faktor pembatas tertentu di mana penambahan faktor lain tidak akan mempengaruhi pertumbuhan selama faktor pembatas itu tidak dihilangkan,

Rumusnya adalah: $Y = mX + b$,

Mitscherlich (1910, German) (*Law of Diminishing Returns*) atau Hukum berkurangnya pengembalian, dengan formula:

$$dy/dx = (A-Y)C,$$

dapat diintegrasikan menjadi persamaan

$$\log (A-Y) = \log(A) - cX, \text{ di mana :}$$

A = hasil maksimum yang mungkin secara teoretikal;

Y = hasil aktual (actual yield)

PERTANYAAN

1. Sebutkan sumber-sumber hara bagi tumbuhan di dalam tanah?
2. Apa yang disebut pangkalan hara dan jelaskan masing-masing>

3. Jelaskan pergerakan hara di dalam tanah dan jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi aliran massa;
4. Jelaskan mekanisme penyerapan hara oleh akar?
5. Jelaskan sumber energi dalam *active transport*?
6. Sebut dan jelaskan faktor lingkungan yang menentukan pertumbuhan tanaman?

BAB 3

UNSUR HARA MAKRO

3.1 Esensialitas dan Peran Unsur Hara

Esensialitas unsur hara ditentukan berdasarkan beberapa kriteria berikut, yaitu:

- (i) Unsur tersebut harus ada agar tanaman dapat menegkapi siklus hidupnya
- (ii) Jika tanaman mengalami defisiensi, maka tanaman hanya dapat dipulihkan dengan penambahan unsur tersebut
- (iii) Unsur tersebut harus terlibat dalam penyediaan nutrisi yang dibutuhkan ttanaman.

Unsur hara mineral yang termasuk ke dalam unsur-unsur esensial ada sebanyak 13macam yang sebagian besar berasal dari tanah, terbagi atas :

- (i) Hara makro: N, P, K, Ca, Mg, S dinyatakan dalam % (g/100g); kandungan hara yang tertinggi umumnya N dan K. Pada tanaman yang diberi pupuk dengan cukup mengandung 1-5 % bobot kering;
- (ii) Hara mikro: Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl, Mo dinyatakan dalam ppm (mg/kg). Tembaga dan Mo memiliki kadar paling kecil, hanya beberapa ppm. 1% = 10.000 ppm. Untuk tanaman tertentu Ni dianggap sebagai hara esensial.

Unsur yang paling esensial namun tidak dibahas dalam kajian tentang unsur hara dan pupuk adalah karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Hal ini disebabkan ketiga

unsur tersebut sangat melimpah di alam dan selalu tersedia. Unsur C disediakan oleh lingkungan sebagai hasil respirasi makhluk hidup dan aktivitas manusia di antaranya sebagai limbah atau gas yang dibuang/terbuang dari proses industri. Unsur H dan O tersedia di hampir seluruh permukaan bumi sebagai air. Kurangnya ketersediaan ketiga unsur tersebut sesungguhnya dapat dihilangkan dengan upaya yang sama sekali tidak terkait dengan manipulasi tanah sebagai tempat tumbuh tanaman.

Berdasarkan esensialitasnya unsur hara dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- (i) Unsur hara makro esensial melimpah (96% penyusun tanaman): C (45%), H (45%), O (6%)
- (ii) Unsur hara makro esensial terbatas : N, P, K, S, Ca, Mg (Masing-masing menyusun >0,1% bagian tanaman)
- (iii) Unsur hara mikro esensial: Bo, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl (Masing-masing menyusun <0,1% bagian tanaman).
- (iv) Unsur hara penunjang: Co, Si, F, I, Al, V, Se (Masing-masing menyusun <0,01% bagian tanaman).
Kecuali C, H, dan O, berbagai unsur hara diserap tanaman dalam bentuk
 - (i) Kation (9 macam): NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+}
 - (ii) Anion (7 macam): NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} , BO_3^- , MoO_4^{2-} , Cl^-
 - (iii) Gas: Sulfur dioksida (SO_2)

(iv) Persenyawaan: Asam borat (HBO_3).

Berbagai unsur hara memiliki peran bagi tanaman yang bisa sama, berbeda, dan atau saling berhubungan, yaitu dalam hal:

- (1) Penyusun dasar proteins, polisakarida, lemak, asam nukleat, ditanggung-jawabi oleh N dan P;
- (2) Produksi tenaga ATP, ditanggung-jawabi oleh P dan N;
- (3) Penyusun pigmen fotosintesis, ditanggung-jawabi oleh Mg;
- (4) Metabolisme karbohidrat (gula fosfat), ditanggung-jawabi oleh P;
- (5) Alih tempat (translocation) gula dalam pembuluh floem, ditanggung-jawabi oleh K;
- (6) Pengangkutan elektron (fotosintesis, mitokondria, struktural atau ensimatik), ditanggung-jawabi oleh Fe, S, Cl, Ni;
- (7) Aktivator ensim, ditanggung-jawabi oleh K, Mg, dan Mn;
- (8) Kofaktor ensim, ditanggung-jawabi oleh Fe, Zn, dan Mo;
- (9) Berhubungan dengan zat pengatur tumbuh, ditanggung-jawabi oleh Zn;
- (10) Berhubungan dengan air (pengaturan osmotik, membuka- menutup stomata) , ditanggung-jawabi oleh K^+ , Na^+ , Ca^{++} , NO_3^- , dan Cl^- ;
- (11) Reproduksi (pembentukan bunga dan buah), ditanggung-jawabi oleh B.

3.2 Nitrogen

Bentuk dan fungsi N adalah sebagai berikut:

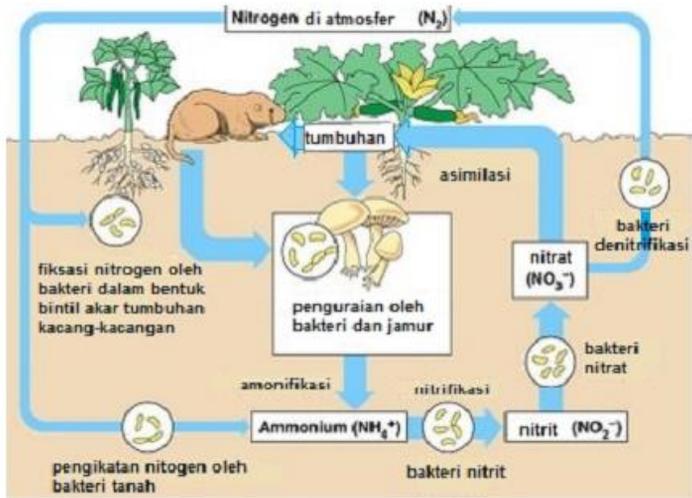
- (i) Asam amino, amida dan amin berfungsi sebagai kerangka (*building blocks*) dan senyawa antara (*intermediary compounds*);
- (ii) Asam nukleat: mengatur seluruh aktivitas sel dan pewarisan keturunan;
- (iii) Protein yang berperan sebagai enzim (mengatur reaksi biokimia) dan sebagai struktural sel;
- (iv) Bagian utuh dari struktur klorofil yang berguna dalam proses fotosintesis.

Sumber N.

N bersumber dari berbagai proses yang terjadi di alam. yaitu:

- (i) Perombakan bahan organik, protein (sebagai struktural maupun fungsional dan metabolit) akan terdekomposisi menjadi asam amino dan perombakan berakhir menjadi ion yang dapat dipertukarkan oleh tanaman yaitu amonium (NH_4^+) dan atau nitrat (NO_3^-);
- (ii) Daur N (Gambar 1), di mana berbagai proses dilalui yang akhirnya diperoleh amonium dan atau nitrat yang dibutuhkan tanaman;
- (iii) Fiksasi biologis, yaitu penyediaan N bagi tanaman melalui proses fiksasi secara biologis baik yang langsung dalam bentuk simbiosis dengan akar (misalnya bakteri *Rhizobium*)

- maupun tidak langsung (non simbiotik) diperoleh setelah mikroba fiksatornya mengalami kematian dan dekomposisi atas jasad matinya menghasilkan ion yang dibutuhkan tanaman;
- (iv) Pupuk organik, biasanya terikat dalam kompleks persenyawaan yang mudah terlepas dan dimanfaatkan tanaman;
 - (v) Penyematan/fiksasi biologis:
 - (vi) Deposisi atmosfer.



Gambar 1. Siklus N

Bentuk N yang diserap tanaman adalah:

- (i) NH_3 (amoniak) diserap oleh daun dari udara atau dilepaskan dari daun ke udara, jumlahnya tergantung konsentrasi di udara;
- (ii) NH_4^+ (ammonium);
- (iii) NO_3^- (nitrat) lebih banyak \rightarrow tanah hangat, lembab & aerasi baik.

Beberapa karakteristik penting terkait dengan unsur N adalah:

- (i) Penyerapan NH_4^+ lebih banyak pH tanah netral, sedangkan penyerapan NO_3^- pada pH rendah;
- (ii) NO_3^- bersifat mobil dan pergerakannya melalui aliran masa, sedangkan NH_4^+ tidak mobil sehingga pergerakannya melalui difusi dan aliran masa;
- (iii) Kelebihan NH_4^+ tinggi dapat bersifat meracuni, sedangkan kelebihan NO_3^- disimpan dalam vakuola;
- (iv) NH_4^+ dapat diberikan lebih banyak pada tanaman yang tahan suasana masam, pada tanaman yang kurang tahan suasana asam misalnya terung-terungan (Solanaceae) lebih menyukai NO_3^- di mana penyerapan nitrat merangsang penyerapan kation.

Transformasi N dalam tanah

Perubahan bentuk unsur N di dalam tanah dapat melalui beberapa hal yaitu:

(i) Mineralization Pelepasan N organik menjadi N yang tersedia

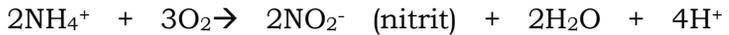
* **Aminisasi:** $\text{proteins} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{asam amino} + \text{amina} + \text{urea} + \text{CO}_2 + \text{energi}$

* **Ammonifikasi:**

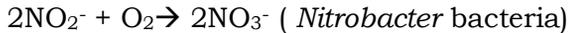


(ii) Immobilisasi (assimilasi) kebalikan mineralisasi

(iii) Nitrifikasi: Perubahan NH_4^+ (dari pupuk, BO) $\rightarrow NO_3^-$



(*Nitrosomonas* bacteria)

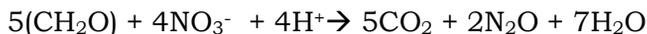
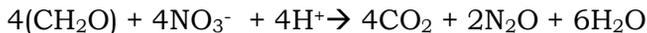


(iv) Denitrifikasi: Kehilangan N dalam bentuk gas, reaksi NO_3^- menjadi N_2 dan N_2O .

Berbagai perubahan bentuk N dipengaruhi oleh aktivitas mikro tertentu:

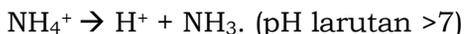
Bakteri anaerob: *Pseudomonas*, *Bacillus*, menggunakan N sebagai sumber O_2 dalam respirasi, terjadi pada tanah tergenang atau terbatasnya oksigen,

Bakteri memerlukan bahan organik (CH_2O) untuk dirombak:



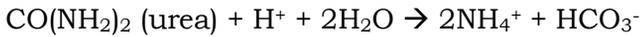
Kehilangan N dari pupuk umumnya 10-30% biasanya terjadi pada kondisi: penambahan BO, kurangnya aerasi, temperatur 50 – 80 F, pH >5.5, cukup sediaan nitrat, adanya penambahan C (dari tanaman), dan kurangnya oksigen. Tanaman dapat membatasi denitrifikasi dengan mengurangi/menyerap $[H_2O]$ tanah dan $2NO_3^-$.

(v) Volatilisasi: Kehilangan berupa gas NH_3



Pada tanah masam dan netral: kehilangan urea lebih besar dibanding pupuk NH_4^+ ,

Reaksi awal NH_4^+ bersifat asam. Hidrolisis urea meningkatkan pH sekitar butiran:



Kondisi ini memerlukan H^+ dan menaikkan pH hingga mencapai > 7 sehingga mendorong reaksi : $\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Pada tanah kapuran (*calcareous soils*), kehilangan Urea secara potensial tetap tinggi.

Pupuk NH_4^+ lebih mudah menguap dibanding dalam suasana asam, karena bereaksi dengan karbonat,

(vi) Fiksasi N dari udara (oleh mikroba)

Fiksasi N oleh *Rhizobium* pada legum tahunan dapat mencapai 100-200 kg/ha/tahun, sedangkan pada legum semusim (annual) dapat mencapai 50-100 kg/ha/th.

Fiksasi N oleh *Azolla anabaena* (tumbuhan paku air) dan ganggang hijau biru (Cyanobacteria) terjadi di persawahan. Demikian juga bakteri *Azospirillum* yang hidup bebas atau yang bersekutu dengan akar serealia atau rerumputan dapat memfiksasi N. Beberapa bakteri *Azotobacter* dapat hidup bebas di tanah, air, dan rizosfer, atau permukaan daun. Beberapa aktinomisetes bersimbiotik dengan akar tanaman membentuk frankia (suatu struktur di akar seperti bintil namun berukuran kecil). Beberapa tanaman legum ternyata mampu memfiksasi N dari udara dalam bentuk NH_3 seperti pada genus *Mimosa* dan *Acacia*.

3.3 Posfat

Pada umumnya unsur P dibutuhkan tanaman dalam jumlah relatif besar namun sedikit lebih kecil dibawah N.

Beberapa bentuk dan fungsi P di dalam jaringan tanaman adalah:

- (i) Gugus fosfat: unsur P sangat reaktif (di dalam dan di luar sel);
- (ii) ATP, yang berepan dalam transfer energi;
- (iii) NADP, yang berperan dalam: fotosintesis;
- (v) Asam nukleat merupakan bahan DNA dan RNA yang berperan dalam pewarisan keturunan dan berbagai proses metabolisme dan kerja selular;
- (vi) Lemak fosfat (*phospholipids*) yang berperan dalam mekanisme kerja membran sel dan organ dalam sel.

Mobilitas dan Gejala Kekahatan P

Unsur fosfor (P) sifatnya mobil dalam tanaman, mudah dipindahkan dari bagian daun yang tua ke titik tumbuh.

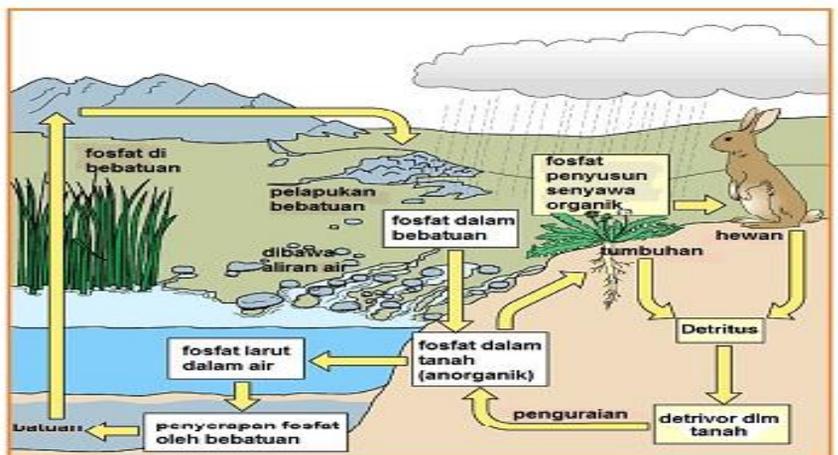
Gejala kekahatan unsur P adalah tanaman kerdil, pertumbuhan akar buruk, kedewasaan terlambat, warna daun hijau kelam, muncul warna keunguan misalnya pada jagung.

Sumber P

Berbagai sumber P adalah meliputi:

- (i) Perombakan bahan organik: menyumbang 20-80% dari total P dalam tanah;

- (ii) Pupuk organik seperti: *rabuk*, kompos dan biosolid;
- (iii) Pelarutan mineral P: mineral primer dan sekunder, mineral primer sangat lambat tersedia menjadi sumber jangka panjang;
- (iv) Pengendapan sedimen erosi yang merupakan dari bagian penting siklus P (Gambar 2);
- (v) Pupuk P.



Gambar 2. Siklus P

Bentuk P

Bentuk P yang diserap tanaman adalah sebagai ion anorganik orthofosfat, meliputi:

HPO_4^{2-} lebih banyak pada tanah alkalin,

H_2PO_4^- lebih banyak pada tanah masam

Pada pH 7,2 jumlah kedua macam ion tersebut nya setara, namun demikian penyerapan H_2PO_4^- (monovalen) lebih cepat dibanding HPO_4^{2-} (divalen),

Beberapa ciri penting terkait penyerapan adalah bahwa penyerapan fosfat akan meningkatkan penyerapan Ca, Mg, dan K serta menghambat penyerapan nitrat dan sulfat.

Gerakan P menuju akar.

Ion HPO_4^{2-} atau H_2PO_4^- akan bergerak menuju akar karena difusi dipengaruhi/ditentukan oleh:

- (i) Kadar dalam tanah rendah : sekitar 0,05 ppm adanya reaksi penjerapan,
- (ii) Presipitasi di dalam tanah ion fosfat bergerak < 1 mm dalam satu musim tanaman,
- (iii) Ukuran dan kerapatan sistem perakaran sangat penting dalam proses penyerapan P.

Transformasi P di dalam tanah.

Transportasi P di dalam tanah meliputi mekanisme:

- (i) Mineralisasi, degradasi BO (1% P) akan melepaskan fosfat anorganik (HPO_4^{2-} atau H_2PO_4^-). Aktivitas enzim fosfatase dari mikrobia, melepas ion orthofosfat misalnya dari ester fosfat: $\text{C}_6\text{H}_6(\text{OH})_6=$ inositol, gugus -OH digantikan oleh fosfat;
- (ii) Imobilisasi (asimilasi), proses ini merupakan kebalikan dari mineralisasi;
Nisbah C:P menentukan laju perombakan bahan organik (seperti halnya nisbah C/N), mineralisasi P juga ditentukan oleh nisbah C/N.
Nisbah C/P bahan organik tanah sekitar 100:1.

Nisbah C:N:P sekitar 120:10:1.3.

Jika C:P > 300, P imobilisasi > P mineralization,
residue < 0.2% P,

Jika C:P = 200-300, P imobilisasi = P
mineralization,

Jika C:P < 200, P imobilisasi < P mineralization,
residue > 0.3% P

(iii) Fiksasi P

- (i) Adsorpsi: retensi P pada permukaan mineral
- (ii) Presipitasi: pembentukan mineral P sekunder

Jerapan (adsorpsi) akan memebrikan hasil yang berbeda pada kemasaman yang berbeda, yaitu:

Tanah masam:

permukaan mineral dalam bentuk ion H_2PO_4^- .

Tanah basa/kapur → pH ≥ 7.8

fosfat menggantikan gugus CO_3^{2-} atau $\text{Al}(\text{OH})_3$
dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Presipitasi juga membrikan hasil yang berbeda pada kemasaman yang berbeda, yaitu:

- (i) Pada tanah masam:

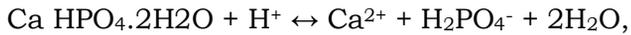


Jika kemasaman meningkat (H^+), keseimbangan ke kiri, Fe-fosfat mengendap dan P

larutan menurun; sedangkan jika kemasaman menurun, keseimbangan ke kanan, Fe-fosfat melarut dan P larutan meningkat,

Saat akar menyerap H_2PO_4^- , keseimbangan ke kanan, Fe-fosfat melarut untuk mengisi P dalam larutan tanah.

(ii) Pada tanah netral dan basa:



jika kemasaman menurun, keseimbangan bergerak ke kiri, Ca-fosfat mengendap dan P larutan menurun; jika kemasaman meningkat keseimbangan ke kanan, Ca-fosfat melarut dan P larutan meningkat, Saat akar menyerap H_2PO_4^- , keseimbangan bergerak ke kiri, Ca-fosfat melarut, mengisi P dalam larutan tanah.

3.4 Kalium

Ion K^+ berada dalam larutan, atau terikat oleh muatan negatif dari permukaan jaringan misalnya: $\text{R-COO}^- \text{K}^+$.

Fungsi utama K adalah sebagai berikut:

- (i) Mengaktifkan enzim-enzim dalam sintesis pati, pembuatan ATP, fotosintesis, reduksi nitrat, translokasi gula;
- (ii) Pengaturan potensial air sel dan osmosis, Na^+ dapat menggantikan fungsi K^+ pada sebagian spesies.;
- (iii) Pengambilan air oleh akar yaitu melalui tarikan osmotik; dengan demikian ion K^+ berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan dan ketahanan terhadap serangan hama-penyakit.

Mobilitas dan gejala kekahatan K

Unsur K sangat lincah (mobil) dalam tubuh tanaman, mudah dipindahkan dari daun tua ke bagian titik tumbuh.

Gejala kekahatan K adalah= klorosis/nekrosis ujung dan tepi daun, dimulai dari daun tua atau bagian bawah tanaman.

Sumber K

Berbagai sumber K adalah meliputi:

- (i) Bahan organik: K mudah terlindi dari seresah tanaman karena K tidak menjadi komponen struktur senyawa organik;
- (ii) Pupuk organik yang merupakan bagian dari hasil dekomposisi bahan organik tanaman;
- (iii) Kompleks pertukaran;
- (iv) Pelarutan mineral seperti feldspar dan mika.

Gerakan menuju akar dan perubahan bentuk K

Pergerakan K^+ menuju akar melalui mekanisme difusi dan aliran masa. Jangkauan gerakan K sangat terbatas 1-4 mm/musim

Adapun perubahan bentuk K dalam tanah adalah:

- (i) Pertukaran kation: jerapan dan pelepasan dari permukaan lempung atau bahan organik tanah;
- (ii) Fiksasi K berada di antara kisi lempung, yaitu pada mineral lempung sekunder, pelepasan K ini sangat lambat karena sukar ditukar kation lain;

- (iii) Pelapukan mineral primer: feldspar, mika

Ketersediaan K

Ketersediaan K dapat dibagi menjadi:

- (i) Segera tersedia: K labil, K dalam larutan tanah atau kompleks pertukaran, meliputi 1-2% dari total K dalam tanah;
- (ii) Tersedia lambat : K tidak tertukar dan K tersemat, meliputi 1-10% K total dalam tanah;
- (iii) Tidak tersedia: K dalam struktur mineral primer, dengan lambat akan mengisi pangkalan K tersedia, meliputi 90-98% total K dalam tanah.

K tersedia bagi tanaman melalui beberapa hal yaitu:

- (i) K pupuk, yang sangat larut dalam air dan akan meningkatkan kadar K dalam larutan tanah;
- (ii) Tambahan K tersebut segera akan mengisi tapak pertukaran atau mengalami penyematan/fiksasi;
- (iii) Penyerapan K oleh tanaman dipengaruhi adanya kation lain dalam tanah.

Pertukaran kation

Reaksi pertukaran kation ditentukan oleh kelakuan K dalam tanah

- (i) K^+ dipegang lebih lemah dibandingkan kation polivalen lainnya dengan deret kekuatan ikatan:
 $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$,
- (ii) Kejenuhan basa dan pH tanah:

- jerapan K lebih tinggi jika kejenuhan basa lebih tinggi, K^+ segera menggantikan Ca^{2+} dan Mg^{2+} lebih cepat dibandingkan Al^{3+} .
- pengapuran meningkatkan jerapan K^+ ,
- pengapuran meningkatkan kejenuhan basa (Ca^{2+} dan Mg^{2+}),

3.5 Kalsium (Ca)

Bentuk dan fungsi Ca dalam tanaman adalah sebagai berikut:

- (i) Hara makro sekunder, jumlah yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan N, P, dan K namun lebih besar dari S dan Mg;
- (ii) Kebanyakan Ca berada dalam dinding sel dan dinding membran tetapi di luar sitoplasma;
- (iii) Komponen struktural membran sel yang berfungsi: menjaga stabilitas membran dan integritas sel, mengatur selektivitas serapan ion, dan mengatur permeabilitas membran;
- (iv) Komponen struktural dinding sel (Ca-pektat di lamela tengah) yang berperan dalam menguatkan dinding sel dan membran plasma serta dalam proses pemanjangan dan pembelahan sel.

Mobilitas dan kekahatan Ca

Unsur Ca sangat tidak mobil dalam tanaman, alih tempat terbatas dari daun tua ke bagian yang sedang

tumbuh, dapat menyebabkan kekurangan Ca dalam buah, umbi dan titik tumbuh akar dan batang,

Kekahatan Ca mengakibatkan:

- (i) Pertumbuhan titik tumbuh batang dan akar terhambat, daun pada jagung lengket (*sticky*), daun yang baru terbentuk tergulung, gangguan fisiologis pada organ penyimpanan *blossom end rot* pada tomat dan cabe;
- (ii) Terhambatnya serapan hara yang lain dan menyebabkan kekahatan K atau Mg.

Sumber Ca

Berbagai sumber Ca adalah meliputi:

- (i) Bahan organik, yaitu sebagai hasil dekomposisi dan mudah terlindi;
- (ii) Pupuk organik, dalam bentuk *rabuk*, kompos dan biosolid;
- (iii) Ca tertukar, di mana Ca_2^+ merupakan kation yang dapat dipertukarkan dan pertukaran kation merupakan reaksi paling penting bagi unsur Ca dalam tanah;
- (iv) Pelarutan mineral Ca; di mana kadar Ca rendah pada tanah terlapuk lanjut, pada tanah humida kadarnya cukup banyak, dan kadar Ca rendah pada tanah asam; kadar Ca rendah pada tanah basa terjadi karena terbentuk Ca-karbonat dan Gypsum ($CaSO_4$);

- (v) Kapur dan pupuk, yaitu dalam bentuk CaCO_3 dan CaMgCO_3

Serapan dan Gerakan Ca

Karakteristik serapan Ca oleh tanaman adalah sebagai berikut:

- (i) Diserap dalam bentuk kation divalen Ca_2^+ ;
- (ii) Penyerapan Ca_2^+ terbatas pada ujung akar;
- (iii) Ca memasuki pembuluh xilem melalui jalur apoplastik; Ca terbawa oleh aliran air transpirasi namun mobilitas lewat floem terbatas.

Gerakan Ca menuju akar adalah sebagai berikut:

- (i) Kation Ca_2^+ dipasok oleh intersepsi akar dan aliran masa;
- (ii) Ca_2^+ di kebanyakan tanah bersifat sangat mobil;
- (iii) Kadar dalam larutan tanah 30-300 ppm;
- (iv) Kecukupan untuk tanaman secara umum > 15 ppm, Ca akan mengumpul di sekitar akar, pada tanah yang memiliki kadar Ca yang tinggi.

Adapun transformasi Ca dalam tanah adalah:

- (i) Pertukaran kation melalui adsorpsi – desorpsi dari lempung dan bahan organik;
- (ii) Presipitasi dan pelarutan kapur dan mineral sekunder yaitu karbonat dan Ca-fosfat;
- (iii) Pelapukan mineral primer.

Karakteristik pertukaran kation (*cation exchange*)

Ca adalah meliputi:

- (i) Reaksi pertukaran kation dominan;

- (ii) Terjadi keseimbangan yang cepat antara Ca tertukar dengan Ca larutan;
- (iii) Ca tertukar menyangga Ca dalam larutan;
- (iv) Ikatan Ca^{2+} lebih kuat dibanding kation lain dengan urutan: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ = \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$.

Ketersediaan Ca bagi tanaman

Ketersediaan Ca bagi tanaman dalam bentuk:

- (i) Kejenuhan Ca^{2+} yang tinggi diperlukan agar hara ini tersedia bagi tanaman; kejenuhan pada tapak pertukaran lempung 2:1 besarnya $>70\%$, sedangkan kejenuhan pada bagan organik tanah dan lempung 1:1 adalah 40-50%;
- (ii) Pada pH yang rendah Ca^{2+} kurang tersedia: disebabkan kejenuhan Ca^{2+} rendah,;
- (iii) Adanya Al^{3+} dalam larutan menghambat penyerapan Ca^{2+} ;
- (iv) Tingginya kadar Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ akan menghambat penyerapan Ca;
- (v) Anion Nitrat akan meningkatkan serapan Ca.

Karakteristik terkait pengangkutan Ca adalah:

- (i) Kehilangan Ca dapat disebabkan erosi:
- (ii) Kehilangan akan lebih tinggi pada tanah ketika adanya pelindian atau KPK tinggi.

3.6 Magnesium (Mg)

Bentuk dan fungsi Mg dalam tanaman adalah sebagai berikut:

- (i) Mg^{2+} merupakan hara makro sekunder;
- (ii) Diperlukan tanaman dalam jumlah relatif banyak, tapi $\leq N$ dan K, setara P, S dan Ca;
- (iii) Sebagai atom pusat dari molekul klorofil (15-20% total Mg dalam tanaman) yang berperan dalam penangkapan energi cahaya;
- (iv) Komponen struktural pada ribosom yang berperan dalam sintesis protein;
- (v) Aktivasi enzim yang berperan dalam transfer fosfat dan gugus karboksil, yaitu reaksi ATP dan transfer energi serta fiksasi CO_2 oleh RuBP carboxylase.

Mobilitas dan Kekahatan Mg

Mg bersifat mobil dalam tanaman di mana Mg akan dialihtempatkan dari daun tua ke titik tumbuh.

Adapun gejala kekahatan adalah:

- (i) Pada daun tua dibagian bawah tanaman tampak klorosis kekuningan di antara tulang daun (*interveinal chlorosis*), sedangkan tulang daun tetap hijau, hal ini mirip dengan gejala kekahatan Fe;
- (ii) Gejala lanjut daun mengalami nekrosis.

Kelebihan Mg akan berpengaruh secara tidak langsung meracuni tanaman, biasanya tanaman menyimpannya dalam vakuola. Kadar Mg yang tinggi dalam tanah

menghambat penyerapan kation yang lainnya, misalnya
meningkatkan kekahatan K atau Ca.

Transformasi Mg dalam tanah:

- (i) Pertukaran kation: Adsorpsi - desorpsi dari lempung dan bahan organik;
- (ii) Presipitasi – dissolusi kapur dan mineral sekunder: gamping dolomiti; mineral lempung kaya Mg (lempung 2:1, vermiculite);
- (iii) Pelapukan mineral tanah primer: Biotite, hornblende, olivene

Pertukaran Kation

- (i) Perilaku Mg ditentukan oleh reaksi pertukaran kation;
- (ii) Keseimbangan cepat antara tertukar dengan terlarut: Mg tertukar menyangga Mg dalam larutan;
- (iii) Mg^{2+} diikat lebih kuat dibanding kation monovalen: $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$

Ketersediaan dan pengangkutan Mg

Kejenuhan $Mg^{2+} > 10\%$ diperlukan agar mencukupi kebutuhan tanaman. Kejenuhan Mg^{2+} diperlukan lebih tinggi pada tanah lempung 2:1 dibanding tanah dengan yang bersumber dari bahan organik atau lempung 1:1. Mg kurang tersedia pada pH rendah karena kejenuhan Mg^{2+} lebih rendah. Kehadiran Al_3^+ dalam larutan menghambat

penyerapan Mg_2^+ , sedangkan jika kadar Ca_2^+ , K^+ , dan NH_4^+ tinggi akan mengganggu ketersediaan Mg_2^+ .

Pada kondisi erosi di mana KPK lebih tinggi akan mengakibatkan kehilangan Mg_2^+ lebih tinggi, sedangkan pada kasus terjadinya pelindian di mana Mg_2^+ merupakan kation dalam air pelindian akan menyumbang pemasaman tanah.

3.7 Sulfur (S)

Bentuk dan fungsi S dalam tubuh tanaman

- (i) Berada dalam bentuk SO_4^{2-} dan SO_2 ;
- (ii) Sebagai penyusun asam amino esensial: sistin, sistein dan metionin;
- (iii) Sebanyak 90% S dalam tanaman berupa protein, ikatan disulfida, aktivitas enzim, komponen pembentukan klorofil (ferredoksin: protein Fe-S), reaksi redoks (fotosintesis), fiksasi nitrogen, reduksi nitrat dan sulfat, koensim (koensim A) dan vitamin (B1, B6).

Mobilitas dan Kekahatan S

Unsur S relatif tidak mobil dalam tanaman. Gejala kekahatan muncul pertama pada bagian atas yaitu daun muda, kemudian kerdil (*stunted*), pertumbuhan spiral (*spindly growth*), seringkali seluruh tanaman menjadi klorosis seragam (*uniformly chlorotic*). Pelindian yang hebat dari SO_4^{2-} meningkatkan kehilangan kation.

Sumber dan gerakan S.

Sumber S adalah meliputi:

- (i) Perombakan bahan organik tanah, 90% S tanah dalam bentuk organik;
- (ii) Pupuk organik: *rabuk*, kompos dan biosolid;
- (iii) Sulfat yang terjerap pada tapak pertukaran anion dari oksida Al dan Fe;
- (iv) Mineral S: pada musim kering sulfida dalam bentuk anaerob, sebagai hasil pengendapan atmosfer dari industri dan hujan asam.

S dapat diserap oleh daun tanaman secara langsung dalam bentuk gas SO_2 namun dalam jumlah kecil, jika kadar S dalam udara tinggi akan meracuni tanaman. Penyerapan akar terutama dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}).

Gerakan S menuju akar adalah melalui: aliran masa dan difusi. Secara difusi memiliki arti penting pada tanah dengan kadar S yang rendah. Kadar dalam larutan tanah 5-20 ppm namun Aras yang mencukupi kebutuhan tanaman adalah 3-5 ppm dalam tanah.

Mineralization-imbilisasi

Karakteristik mineralisasi dan imobilisasi S adalah meliputi beberapa hal sebagai berikut:

- (i) Daur S organik serupa dengan N organik;
- (ii) Mineralisasi dengan melepas S menjadi anorganik yaitu SO_4^{2-} tersedia;
- (iii) Keseimbangan antara mineralisasi dan imobilisasi ditentukan oleh nisbah C:S dan N:S, nisbah C:N:S bahan organik sekitar 120:10:1,4;

- (iv) Dalam bahan organik terkandung 1% S;
- (v) Aktivitas enzim sulfatase yang mirip dengan enzim fosfatase melepas sulfat dari ester sulfat;
- (vi) Pengaruh nisbah C:S
 - (1) C:S >400 S imobilisasi > S mineralisasi,
 - (2) C:S = 200400 S imobilisasi = S mineralisasi,
 - (3) C:S <200 S mineralisasi > S imobilisasi.

Adsorpsi-desorpsidan presipitasi-dissolusi

Senyawa SO_4^{2-} yang terjerap merupakan bentuk S dari pangkalan labil bersifat segera tersedia, mengisi kekosongan pada larutan tanah.

Kekuatan adsorpsi: $\text{H}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Kapasitas jerapan dipengaruhi: koloid tanah, hidroksida Fe-Al, kandungan lempung tipe 1:1, kemasaman tanah, besarnya muatan tergantung pH dan KTK.

Komposisi larutan tanah juga mempengaruhi: kadar SO_4 , keberadaan anion dan kation lain, serta pendesakan oleh fosfat terhadap ketersediaan S.

Gypsum (CaSO_4) merupakan bentuk pengendapan bersama antara S dengan Ca-karbonat pada tanah basa. Sulfida (H_2S) pada kondisi anerob di tanah tergenang akan mengendap sebagai FeS atau ikatan logam-S yang lainnya; untuk melarutkan diperlukan proses oksidasi.

Okidasi – reduksi dan pengakutan S

Karakteristik kimia terkait oksidasi dan reduksi S adalah meliputi:

- (i) Bentuk S : beragam dari bilangan oksidasi -2 sampai + 6, yaitu silfida, polisulfida, S elemen, tiosulfat, sulfit dan sulfat.
- (ii) Bentuk oksidasi terbanyak sebagai sulfat
- (iii) Proses Oksidasi dan reduksi S dibantu oleh mikrobia
- (iv) Senyawa S anorganik tereduksi terdapat pada tanah tergenang kondisi anaerob
- (v) Oksidasi S oleh mikrobia ototrofik dan heterotrofik. Misalnya *Thiobacillus* sp. menyebabkan pemasaman $H_2S + 2O_2 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$ (pada daerah tambang (*acid mine drainage*))
 $2S + 3O_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 \rightarrow 4H^+ + 2SO_4^{2-}$ (di lahan pertanian)

Pengangkutan S terjadi sebagai akibat proses:

- (i) Erosi, di mana terjadi kehilangan bersama bahan organik;
- (ii) Pelindian: sulfat sangat mobil dalam tanah;
- (iii) Volatilisasi (hilang karena menguap) yaitu sebagai hasil transformasi mikrobia dalam tanah yang dapat mengakibatkan kesuburan tanah rendah serta menguap melalui daun.

PERTANYAAN

1. Mengapa C, H, dan O tidak masuk dalam unsur esensial atau hara makro?
2. Apa yang menjadi dasar penentuan esensialitas unsur hara;

3. Sebut dan jelaskan sera beri contoh bentuk-bentuk unsur hara yang diserap tanaman?
4. Jelaskan sumber-sumber masing-masing unsur Hara makro?
5. Jelaskan mekanisme pergerakan unsur-unsur hara makro di dalam tanah?
6. Jelaskan perubahan unsur-unsur N, P, K, Ca, Mg, dan S?

BAB 4

UNSUR HARA MIKRO

4.1 Besi (Fe)

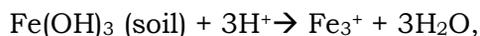
Bentuk dan fungsi dalam tanaman

Bentuk unsur Fe dan fungsinya dalam tanaman adalah sebagai berikut:

- (i) Unsur Fe diserap akar dalam bentuk Fe^{2+} atau Fe^{3+} , umumnya Fe^{3+} direduksi menjadi Fe^{2+} sebelum penyerapan, bentuk Fe^{3+} sangat penting untuk rerumputan

- (ii) Reaksi redoks: pembentukan klorofil, penyusun sitokrom, ferredoxin, leghemoglobin, diperlukan untuk fotosintesis, respirasi dan penyematan N
- (iii) Immobile dalam jaringan tanaman, kekahatan muncul pertama kali pada titik tumbuh yaitu daun yang muda.
- (iv) Gejala kekahatan pertumbuhan berhenti, klorosis di antara tulang daun yaitu pada daun muda, jika parah daun berwarna putih.
- (v) Keracunan terjadi pada tanah dengan drainase sangat buruk, kondisinya reduksi dan banyak Fe^{2+} terlarut misalnya pada tanah sawah

Fe dalam tanah merupakan mineral yang sangat melimpah di kerak bumi, baik dalam bentuk mineral primer, bagian dari lempung, oksida, dan hidroksida. Kelarutan mineral Fe sangat rendah di mana mineral amorf $Fe(OH)_3$ mengatur kadar Fe dalam larutan tanah. Pada tanah dengan drainase baik, kondisinya teroksidasi kadar $Fe^{3+} > Fe^{2+}$. Sebaliknya pada tanah jenuh air Fe^{3+} mereduksi menjadi Fe^{2+} . Kelarutan Fe dan pH tanah dapat diilustrasikan sebagai reaksi berikut:



dalam hal ini kelarutan Fe^{3+} berkurang 1.000 kali jika pH meningkat 1 unit.

Kekahatan Fe sering dijumpai pada tanah dengan pH tinggi.

Gerakan Fe menuju akar melalui mekanisme difusi dan aliran masa. Kadar dalam larutan tanah sangat rendah yaitu dalam bentuk $Fe^{3+} = 10^{-6} - 10^{-24}$ M. Total Fe

dalam larutan terlalu rendah untuk mencukupi kebutuhan tanaman. Oleh karenanya khelasi diperlukan untuk meningkatkan bentuk terlarut dan meningkatkan Fe yang terbawa dalam difusi dan aliran masa.

Khelasi dan penyerapan khelat Fe

Khelasi adalah ikatan kompleks antara ion logam dengan senyawa organik, di mana senyawa organik disintesis oleh akar sebagai hasil perombakan BO tanah atau sisa tanaman, hasil metabolisme mikrobia. Khelat alami di antaranya adalah asam sitrat dan asam oksalat, sedangkan khelat buatan adalah DTPA. Khelat (chelate = claw) adalah ikatan ganda dengan ion logam sebagai pusat, sedang senyawa organik mengelilinginya. Khelat larut air dan meningkatkan ketersediaan hara mikro seperti Fe, Zn, Mn, dan Cu serta mencegah reaksi presipitasi/adsorpsi. Pada tanah gambut khelasi oleh gugus fungsional menurunkan ketersediaan Cu.

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

Pengaruh khelasi terhadap tanaman adalah berupa efisiensi penyerapan Fe. Bentuk adaptasi akar dalam menyerap Fe adalah pemasaman risosfer (melepas H^+),

melepas agen khelasi (*phytosiderophores*), melepas agen pereduksi (*phenolic compounds*), meningkatkan laju serapan Fe (reduksi Fe^{3+} lebih cepat), dan pengangkutan Fe dari akar ke daun lebih baik.

4.2 Mangan (Mn)

Karakteristik unsur Mn dan pengaruhnya bagi tanaman adalah sebagai berikut:

- (i) Mangan diserap akar dalam bentuk Mn^{2+} , atau dalam kompleks organik;
- (ii) Mn berfungsi dalam fotosintesis yaitu memecah air dan evolusi oksigen;
- (iii) Berlangsungnya reaksi reduksi-oksidasi ($\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$), dekarboksilasi, dan hidrolisis yang melibatkan Mn;
- (iv) Mn dapat mengganti Mg^{2+} dalam reaksi fosforilasi;
- (v) Mn tidak mudah dipindahkan antar jaringan, sehingga kekahatan sering muncul pada titik tumbuh dan daun yang muda;
- (vi) Kekahatan Mn dapat menimbulkan gejala klorosis antara tulang daun yang muda serupa dengan kekahatan Fe dan daun kehilangan warna tidak merata (spot) karena mengalami kekahatan Mn;
- (vii) Dapat menimbulkan keracunan Mn pada tanah yang sangat masam dengan gejala: adanya bercak hitam atau coklat (endapan MnO_2) dengan

cincin pucat, terjadi pada daun tua, dan dapat disebabkan kekahatan Fe, Mg, Ca.

Kekahatan unsur Mn dapat terjadi pada kondisi:

- (i) Tanah dengan pH tinggi, tanah kapuran atau tanah dengan daya sangga rendah dikapur berlebihan;
- (ii) Pada tanah dengan kadar bahan organik tinggi;
- (iii) Adanya interaksi hara: disebabkan kadar Cu, Fe, dan Zn tinggi;
- (iv) Iklim kering menyebabkan kekahatan, kondisi oksidasi.

Keracunan Mn terjadi pada tanah yang sangat masam. Hal ini dapat diatasi dengan pengapuran, untuk mengurangi Mn yang tersedia. Semenyata itu pkarena pupuk $\text{NH}_4\text{-N}$ dapat meningkatkan ketersediaan Mn.

4.3 Tembaga (Cu)

Karakteristik unsur Cu dan pengaruhnya bagi kesuburan tanah dan tanaman adalah:

- (i) Tembaga diserap dalam bentuk Cu_2^+ atau kompleks organik;
- (ii) Melangsungkan reaksi reduksi-oksidasi di mana komponen plastosianin, sitokrom oksidase, enzim oksidase; diperlukan dalam proses fotosintesis, respirasi, lignifikasi, pembentukan serbuksari, dan penyerbukan;

- (iii) Tembaga tidak mudah dipindahkan antar jaringan sehingga kekahatan muncul pada titik tumbuh dan daun yang muda;
- (iv) Kekahatan tembaga akan menimbulkan gejala berupa warna hijau muda, biru muda, dan kekuningan pada daun muda, tepi daun menggulung, ujung daun kering, daun layu, dan pembentukan dan buah biji buruk;
- (v) Unsur Cu dalam tanah meskipun kecil selalu terdapat dalam mineral primer dan sekunder. Sementara itu dalam;
- (vi) Dalam larutan tanah, kelarutan Cu ditentukan oleh pH larutan dan proses jerapan pada permukaan mineral dan organik; di dalam larutan terutama berbentuk sebagai khelat;
- (vii) Kelarutan Cu juga dipengaruhi oleh pH; Cu terlarut berkurang 100 kali jika pH naik 1 unit. Reaksi hidrolisis Cu pada $\text{pH} < 7$ akan diperoleh Cu^{2+} dominan, jika $\text{pH} > 7$, CuOH^+ dominan; dalam hal ini pH meningkat diikuti oleh peningkatan jerapan Cu;
- (viii) Cu dijerap pada lempung, oksida Al, Fe, Mn dan permukaan organik adalah merupakan jerapan Cu ini paling kuat dibanding hara mikro lainnya); jerapan dalam bentuk ini dapat ditukar pada permukaan lempung; bahan organik mengurangi atau meningkatkan ketersediaan Cu: jika bahan organik tidak larut berarti mengurangi Cu

dari larutan, tetapi khelat yang larut meningkatkan ketersediaan Cu; sebagian besar Cu dapat disekap (*occluded*) atau diendapkan dalam struktur lempung atau mineral oksida

Gerakan menuju akar dan kekahatan Cu

Cu bergerak karena difusi. Khelasi meningkatkan Cu terlarut, difusi khelat Cu sangat penting untuk mencukupi kebutuhan tanaman. Kekahatan Cu: (i) sering dijumpai pada tanah organik dengan kapasitas jerapan tinggi, (ii) dapat terjadi pada tanah pasiran yang sudah terlindi dan memiliki pH tinggi, dan (iii) interaksi hara dengan Fe, Zn, dan P memicu kahatan Cu. Kekahatan sering terjadi pada tanaman peka seperti biji-bijian, wortel, dan bawang merah.

5.4 Seng (Zn)

Karakteristik unsur Zn dan pengaruhnya bagi kesuburan tanah dan tanaman adalah:

- (i) Seng diserap tumbuhan dalam bentuk Zn^{2+} ;
- (ii) Berperan dalam aktivitas enzim secara struktural dan fungsional atau sebagai kofaktor regulator; metabolisme karbohidrat, sintesis protein; dan zat pengatur tumbuh (auksin);
- (iii) Zn tidak mudah dipindahkan antar jaringan tanaman sehingga kekahatan muncul pada titik tumbuh di daun muda dan pada beberapa tanaman gejala muncul pada daun tua;

- (iv) Gejala kekahatan Zn adalah pertumbuhan kerdil ruas pendek, roset, kekurangan IAA; warna hijau muda, kuning atau putih pada daun; daun kecil, sempit dan tebal; pengguguran daun; buah tidak terbentuk;
- (v) Unsur Zn ditemukan sedikit pada mineral primer dan sekunder;
- (vi) Kelarutan Zn dikendalikan oleh pH larutan dan jerapan oleh mineral dan organik; Zn yang larut kebanyakan dalam bentuk khelat. Kelarutan Zn dipengaruhi pH tanah. Pada raksi: tanah-Zn + $2H^+ \Leftrightarrow Zn^{2+}$; jika pH naik 1 unit kelarutan berkurang 100 kali; pH meningkat diikuti peningkatan jerapan;
- (vii) Zn dijerap oleh lempung, oksida Al-Fe, BO dan karbonat; kekuatan jerapan dapat ditukar sampai sangat sukar dilepas; kompleks organik dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaan Zn seperti pada Cu.

Gerakan menuju akardan kekahatan Zn

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

Kekahatan Zn terjadi pada: (i) tanah kapuran pH tinggi terutama pada wilayah tererosi di mana tanah

permukaan hilang, (ii) tanah dengan tekstur sangat halus, karena kapasitas jerapan yang tinggi, (iii) tanah dengan kondisi dingin dan basah, (iv) tanah dengan kelebihan Cu, Fe, Mn, dan P; pemasaman karena pupuk ammonium dapat meningkatkan ketersediaan Zn. Tanaman yang peka terhadap kekahatan Zn di antara adalah jagung dan kedelai.

4.5 Khlor (Cl)

Karakteristik unsur Cl dan pengaruhnya bagi kesuburan tanah dan tanaman adalah:

- (i) Khlor diserap akar dalam bentuk Cl^- dan dapat juga diserap lewat daun;
- (ii) Fungsi Cl berkaitan dengan air dalam tanaman yaitu tekanan osmotik, turgor daun, *counterion* K^+ ; diperlukan dalam evolusi O_2 (fotosintesis);
- (iii) Khlor Sangat mudah bergerak dalam tanaman;
- (iv) Gejala kekahatan adalah layu; klorosis daun; pertumbuhan akar terhambat; nekrosis daun dan berwarna seperti tembaga;
- (v) Kelebihan Cl akan menyebabkan penyerapan air berkurang, daun menebal dan menggulung, mutu buah dan umbi berkurang;
- (vi) Cl dalam tanah sangat mobil dan mudah terlindi, sebagai sumber utama garam KCl , merupakan anion utama pada tanah salin, dapat mengumpul di tanah kering atau pada drainase buruk;

- (vii) Sedikit sekali Cl dalam bahan organik atau terjerap di permukaan mineral;
- (viii) Di daerah pantai banyak dijumpai endapan sebagai akibat hembusan angin laut.

Ketersediaan gerakan dan keracunan Cl

Khlor mudah terlarut dan tersedia bagi tanaman, tetapi pada tanah yang sangat hebat pelindiannya akan muncul kekahatan pada tanaman. Interaksi nitrat dan sulfat dapat menghambat penyerapan Cl. Logam ini dapat membantu tanaman dalam menekan penyakit pada akar dan daun terutama pada tanaman gandum, padi, dan kentang. Unsur Cl bergerak menuju akar bersama aliran masa.

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

4.6 Boron (B)

Karakteristik unsur Boron dan pengaruhnya bagi kesuburan tanah dan tanaman adalah:

- (i) Boron diserap akar dalam bentuk H_3BO_3
- (ii) Berperan dalam pengangkutan gula, permeabilitas membran, sebagai komponen dinding sel,

- pembentukan serbuk sari, serta pemanjangan, pembelahan dan diferensiasi sel;
- (iii) Boron sangat diperlukan pada jaringan ekstraseluler yaitu pada dinding sel, lignifikasi, dan diferensiasi xilem;
 - (iv) Boron tidak mudah dipindahkan dalam jaringan tanaman; kekahatan muncul pada titik tumbuh atau daun muda.
 - (v) Gejala kekahatan Boron adalah titik tumbuh (tunas atau akar) berhenti; klorosis daun, daun termuda mati; ruas memendek, terbentuk roset; batang dan tangkai menebal; bunga berguguran, pembentukan buah dan biji buruk sekali.
 - (vi) Keracunan Boron disebabkan kisaran yang sempit antara kekahatan dan keracunan hara, berupa klorosis atau nekrosis pada ujung dan tepi daun.

Boron dalam tanah ditemukan dalam mineral turmalin sebagai borosilikat, dalam bahan organik sebagai penyusun ikatan kompleks organik, dan dijerap oleh lempung, oksida Fe dan Al. Boron banyak ditemukan dalam larutan tanah pada pH 5-9 dan kelarutannya dikendalikan oleh reaksi adsorpsi-desorpsi permukaan mineral. Keterseiaan B dipengaruhi oleh pH larutan, jumlah lempung, oksida, dan bahan organik tanah.

Gerakan menuju akar dan kekahatan Bo

Unsur B kebanyakan bergerak karena aliran masa dan melalui difusi jika B dalam tanah rendah.

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

4.7 Molibden (Mo)

Karakteristik unsur Molibden dan pengaruhnya bagi kesuburan tanah dan tanaman adalah:

- (i) Molibden diserap akar dalam bentuk MoO_4^{2-} (*molybdate*);
- (ii) Mo dibutuhkan dalam jumlah lebih sedikit dibandingkan hara mikro yang lainnya;
- (iii) Menhasilkan reaksi reduksi-oksidasi antara Mo (VI) dan Mo (IV);
- (iv) Berperan dalam aktivitas nitrat reduktase yaitu pada sintesis N oleh tanaman;
- (v) Berperan dalam aktivitas nitrogenase yaitu sebagai enzim bakteri untuk penyematan N;
- (vi) Berperan dalam penyerapan dan pengangkutan Fe;
- (vii) Mo agak mudah dipindahkan dalam jaringan tanaman;
- (viii) Gejala kekahatan Mo seperti gejala kekahatan N;
- (ix) Keracunan Mo jarang dijumpai.

Mo dalam tanah sebagai mineral primer mengandung molybdate, terdapat di dalam bahan organik, dapat terjerap pada permukaan oksida Fe dan Al, mirip jerapan P (ikatan

lebih ringan, karena dapat didesak oleh fosfat). Mo terlarut dalam larutan tanah dengan kadarnya yang sangat rendah dan dipengaruhi pH larutan tanah:

Di antara bentuk H_2MoO_4^0 , HMoO_4^- , dan MoO_4^{2-} , bentuk MoO_4^{2-} lebih banyak jika pH meningkat. Mo **makin tersedia** jika pH meningkat Mo, 1 unit kenaikan pH meningkatkan ketersediaan Mo 10 kali (berbeda dengan hara mikro lainnya).

Kekahatan Mo dijumpai pada tanah masam atau tanah dengan oksida Fe-Al; sulfat tinggi menghambat serapan Mo, nitrat meningkatkan serapan Mo, namun ammonium menurunkan serapan Mo.

Gerakan Mo menuju akar kebanyakan karena aliran masa dan melalui difusi jika Mo tanah rendah.

Keracunan Mo bagi tanaman terjadi pada tanah netral atau alkalin serta mengakibatkan ketersediaan Cu rendah pada tanah gambut.

PERTANYAAN

1. Jelaskan mekanisme khelasi dan penyerapan khelat Fe?
2. Jelaskan perbedaan dan persamaan pergerakan di antara unsur-unsur hara mikro?
3. Jelaskan perbedaan gejala kekahatan di antara unsur-unsur hara mikro?
4. Jelaskan perbedaan dan persamaan peran di antara unsur-unsur hara mikro?

BAB 5

EVALUASI KESUBURAN TANAH

5.1 Pengambilan contoh tanah & tanaman

Evaluasi kesuburan tanah menjadi bagian penting dalam budidaya tanaman untuk mendapatkan gambaran tentang status kesuburan dan daya dukung lahan bagi pencapaian produksi yang diinginkan. Evaluasi kesuburan dapat dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan analisis tanah yang akan digunakan sebagai media tumbuh.

Dalam analisis tanah beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam pengambilan contoh tanah adalah sebagai berikut:

- (i) Contoh tanah harus mewakili suatu areal tertentu;
- (ii) Contoh tanah yang diperlukan beberapa gram saja, sehingga efisien dalam pelaksanaan;
- (iii) Kesalahan dalam pengambilan contoh tanah akan berakibat pada kesalahan dalam evaluasi dan interpretasi;
- (iv) Menggunakan sistem *composite sample* yaitu percampuran contoh (susunan contoh) yang diambil dari areal yang dikehendaki;
- (v) Contoh itu seharusnya mewakili areal yang relatif agak seragam dalam hal jenis tanah, tofografi, kemiringan dan bahan induk.

- Pengambilan contoh tanah dilakukan pada tanah sedalam sekitar 25 cm (daerah perakaran) misalnya sebanyak 10-20 cuplikan, kemudian dikumpulkan dan dicampur hingga homogen untuk kemudian sebagian tanah campuran homogen dianalisis.

Evaluasi terhadap kesuburan tanah juga dapat dilakukan terhadap tumbuhan atau tanaman yang ditumbuhkan sebagai indikator yang merepresentasikan kesuburan tanah di mana tanaman tersebut ditukbuhkan. Pengambilan contoh tanaman berupa cuplikan bagian jaringan menjadi penting mengingat penyebaran hara dalam tanaman tidak sama antara bagian tanaman (tangkai, daun, atau pada kayu). Kesukaran timbul bila banyak macam hara dan banyak macam tanaman yang perlu dianalisis.

Jika mengambil contoh jaringan tanaman sebagai bahan untuk mengevaluasi kesuburan tanah, maka perlu dipertimbangan beberapa hal berikut dalam pemilihan contoh tanaman, yaitu: pertumbuhan organ tersebut telah cukup, tidak terlalu muda (pucuk) atau terlalu tua, dan sebaiknya sebelum fase generatif atau mendekati tanaman berbunga/

5.2 Uji Kimia Tanah

Uji kimia tanah merupakan cara lebih yang unggul dibandingkan analisis jaringan paling karena kemampuannya untuk menentukan status hara dalam tanah secara presisi.

Langkah yang dikerjakan dalam uji tanah adalah: (i) pengambilan cuplikan yang mewakili (*representative*) di lapangan, (ii) penetapan kadar hara tersedia dalam cuplikan di laboratorium, (iii) penafsiran hasil uji kimia tanah (*soil test calibration*), dan (iv) perhitungan kebutuhan hara oleh tanaman (*nutrient recommendation*).

Dari hasil analisis kimia tanah tersebut dapat ditentukan status hara sebagai berikut:

- (1) Sangat rendah (SR); pada kondisi demikian tanaman dapat menderita gejala defisiensi hara dan produksinya sangat rendah; apabila dilakukan pemupukan maka produksi akan meningkat dan gejala defisiensi hilang;
- (2) Rendah (R); pada kondisi ini tanaman tidak bergejala defisiensi tetapi produksi rendah. Bila dipupuk maka akan tampak respons pertumbuhan dan produksi tanaman terhadap pemupukan;
- (3) Cukup, sedang, medium (S); pada kondisi demikian tampak pertumbuhan tanaman normal, pemupukan akan meningkatkan produksi tanaman;
- (4) Tinggi (T), indikasi pada tanaman tampak pertumbuhan normal dan produksi optimal; dalam kondisi demikian pemupukan tidak berpengaruh nyata meningkatkan produksi tanaman;
- (5) Sangat Tinggi (ST), tanah dengan status demikian memiliki kadar nutrisi melampaui ambang batas toleransi; pada sebagian tanaman mungkin akan mengalami penyimpangan pertumbuhan dan

produksi mungkin menunjukkan penurunan secara nyata.

Kriteria penilaian kesuburan tanah terhadap beberapa sifat tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Pada tabel tersebut disampaikan pula beberapa tingkat kemasaman (pH) mulai dari sangat masam hingga alkalin.

Tabel 1. Kriteria penilaian tingkat kesuburan beberapa sifat tanah dan kemasaman tanah

Sifat tanah	Tingkat kesuburan					
	Sangat rendah (SR)	Rendah (R)	Sedang (S)	Tinggi (T)	Sangat tinggi (ST)	
C (%)	<1,0	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	<5,0	5,0-10,0	11,0-15,0	16,0-25,0	>25,0	
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg)	<10	10-20	21-40	41-60	>60	
P ₂ O ₅ Bray (ppm)	<10	10-15	16-25	26-35	>35	
P ₂ O ₅ Olsen (ppm)	<10	10-25	26-45	46-60	>60	
K ₂ O HCl 25% (mg)	<10	10-20	21-40	41-40	>60	
Kation tertukar						
K (me/100g)	<0,1	0,1-0,2	0,3-0,5	0,6-1,0	>1,0	
Na (me/100g)	<0,1	01-0,3	0,4-0,7	0,8-1,0	>1,0	
Ca (me/100g)	<0,1	0,4-1,0	1,1-2,0	2,1-8,0	>8,0	
Mg (me/100g)	<2,0	2,0-5,0	6,0-10	11-20	>20	
KPK (me/100g)	<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	
DHL (mS/cm)	<1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0-4,0	>4,0	
pH H ₂ O	Sangat masam	Masam	Agak masam	Netral	Agak alkalin	Alkalin
	<4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	6,5-7,5	7,5-8,5	>8,5

Tingkat kesuburan tanah dapat pula dilihat bukan saja dari beberapa karakter tanah tetapi juga disertai dengan data hasil atau produksi tanaman seperti ditunjukkan oleh Tabel 2. Pada Tabel tersebut ditentukan tiga macam tingkat kesuburan saja (tidak subur, subur, dan sangat subur) dengan menggunakan data C organik, KPK, dan hasil panen.

Tabel 2. Kriteria tingkat kesuburan berdasarkan karakteristik utama tanah dan hasil panen

Karakter	Tingkat Kesuburan		
	Tidak Subur	Subur	Tidak Subur
Tekstur	Pasir, pasir liat, liat berpasir	Liat berlem-pung, lempung	Liat berlem-pung, lempung
C-organik (%)	<1	1-1,5	1,5-2,5
KPK (cmolc kg ⁻¹)	<10	10-20	>20
P-Olsen (ppm)	<5	5-10	>10
K tertukar (cmolc kg ⁻¹)	<0,15	0,15-0,30	>0,3
pH setelah tergenang	<6,5	6,5-7	6,5-7
Kekahatan/keracunan hara mikro	Ya	Nihil	Nihil
Hasil (ton ha ⁻¹)	2,5	4,0	5,0

Kegunaan analisis tanah maupun jaringan tanaman (termasuk dengan dukungan data penampilan dan produksi tanaman) adalah: (i) untuk mengetahui status hara dalam tanah maupun tanaman, (ii) untuk mengetahui dan menjaga elestarian kesuburan tanah dan produktivitas lahan; dengan mengetahui kadar hara dalam tanah dan produksi tanaman dapat dihitung kehilangan hara dari

tanah karena panen, (iii) menduga produksi tanaman serta menghitung keuntungan apabila dilakukan pemupukan, (iv) untuk mengetahui hara yang menjadi faktor pembatas yang harus diperbaiki dan membuat rekomendasi pemupukan, dan (v) membuat penilaian lahan secara ekonomis misalnya harga tanah, pajak dan sebagainya.

5.3 Uji Mikrobia

Aktivitas mikroba tertentu dapat digunakan sebagai alternatif metode untuk menentukan kadar dan kekahatan unsur penting tertentu di dalam tanah.

Prinsip dasar ujia mikrobia adalah bahwa: (i) unsur yang dibutuhkan oleh mikrobia hampir sama dengan tanaman, (ii) pertumbuhan mikrobia sangat cepat (jam-hari), dan (iii) hemat ruangan.

Azotobacter

Bakteri ini memiliki karakteristik peka terhadap unsur: P, K dan Ca. Menumbuhkan mikroba ini dalam media akan menunjukkan indikasi tingkat kesuburan atau kadar unsur di dalam media atau tanah yang diuji.

Cara melakukan pengujian dengan menggunakan bakteri *Azotobacter* adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut: (i) menyiapkan media tanah yang diberi pati 5%, (ii) menyiapkan perlakuan meliputi kontrol, + K, + P, + PK; (iii) memasukkan media ke dalam petridish, atur kelengasan, (iv) inokulasi media dengan *Azotobacter* dan diinkubasi selama 72 jam pada suhu 30 °C, lalu (v) mengamati

pertumbuhan koloni. Tingkat kekahatan unsur berkorelasi negatif dengan pertumbuhan koloni.

Aspergillus niger

Bakteri ini memiliki karakteristik peka terhadap unsur: P dan K. Cara melakukan pengujian dengan menggunakan bakteri *A. niger* adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut: (i) melarutkan hara (minus K) 30 ml + 2,5 g tanah, (ii) memasukkan dalam labu dan menginokulasi fungi dengan cara mencampurkan propagulnya (campuran spora dan miselium), (iii) menginkubasi selama 4 hari pada suhu 30 °C, (iv) menimbang bobot kering miselia yang terbentuk (g). Penentuan kriteria tingkat kekahatan tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria tingkat kekahatan unsur K berdasarkan bobot kering dalam uji yang menggunakan *A. niger*

Bobot kering miselium <i>A. niger</i> (g)	Serapan K (mg/100mg)	Kekahatan
<1,4 gr	<12,5	Sangat kahat
1,4-2,0	12,5-16,6	Sedang
>2,0	>16,6	Tidak Kahat

Cunninghamella

Mikrobia ini peka terhadap unsur P. Cara melakukan pengujiannya dilakukan dengan langkah-langkah: (i) menyiapkan media tanah yang diberi pati 5%, (ii) menyiapkan perlakuan meliputi kontrol dan + P; (iii) memasukkan media ke dalam petridish, atur kelengasan, (iv) inokulasi media dengan *Cunninghamella* dan diinkubasi

selama 4 hari pada suhu 30 °C, lalu (v) mengamati diameter koloni. Koloni akan tumbuh optimal dibandingkan tanah-media ang kekuangan P. Penentuan krietria kekahatan P dalam uji yang menggunakan *Cunninghamella* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria kekahatan P berdasarkan pertumbuhan koloni *Cunninghamella* dalam media uji

Diameter koloni <i>Cunninghamella</i> (mm)	Kekahatan
<10	Tinggi
11-15	Sedang
16-20	Kurang
>20	Tidak

5.4 Percobaan Pemupukan

Cara lain dalam mengevaluasi kesuburan tanah adalah dengan melakukan percobaan pemupukan. Percobaan dapat dilakukan secara sederhana atau dengan menggunakan kaidah perancangan eksperimental yang dilengkapi dengan uji atau analisis statistiknya.

Percobaan biasanya dikerjakan di rumah kaca atau dapat dilakukan di lapangan. Perlakuan berupa jenis, takaran pupuk, dan cara pemberian pupuk. Dengan kegiatan ini dapat diketahui respon tanaman terhadap pemberian pupuk dan dosis optimum pemupukan.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam kegiatan percobaan pemupukan ini adalah: (i) tanah yang digunakan, (ii) perlakuannya, (iii) jenis tanaman indikatornya, (iv) pemeliharaan tanaman selama proses pengujian, dan (v) panen yang biasanya merupakan indikator penting respons tanaman terhadap kesuburan tanah.

Pemilihan tanaman indikator berdasarkan tujuan percobaan itu sendiri; jika kegiatan percobaan dilakukan untuk mengetahui untuk kesuburan tanah maka dipilih tanaman yang peka terhadap kekahatan hara. Jika untuk tujuannya bersifat keharaan atau menentukan neraca hara misalnya, maka sebaiknya dipilih tanaman yang penting bagi masyarakat.

Missing element

Percobaan *missing element* adalah percobaan dengan memberikan semua hara yang diperlukan tanaman (*basal elements*) kecuali unsur yang diamati. Prinsip dasarnya adalah *hukum Liebig* yang menunjukkan kekahatan unsur yang harus ada dalam jumlah minimal akan menjadi penentu keberhasilan pertumbuhan tanaman. Informasi yang didapat dengan percobaan ini adalah mengetahui unsur yang kahat dan mengetahui urutan keparahan kekahatan hara tersebut. Percobaan pemupukan seperti ini biasanya merupakan langkah pertama yang biasanya dikerjakan setelah kegiatan survei kesesuaian lahan dilakukan.

5.5 Analisis Jaringan

Analisis jaringan menjadi penting dalam evaluasi kesuburan tanah. Pengukuran kuantitatif status hara suatu tanaman, dilakukan dengan pengambilan cuplikan tanaman di lapangan diteruskan dengan analisis di laboratorium. Dalam hal ini diperlukan untuk mengkonfirmasi suatu diagnosis visual dan dapat mendeteksi kekahatan pada tahap dini sehingga perbaikan masih dimungkinkan untuk mencegah kehilangan hasil panen. Analisis jaringan bermanfaat untuk mengetahui kadar hara dalam jaringan tanaman dan menghitung serapan hara oleh tanaman.

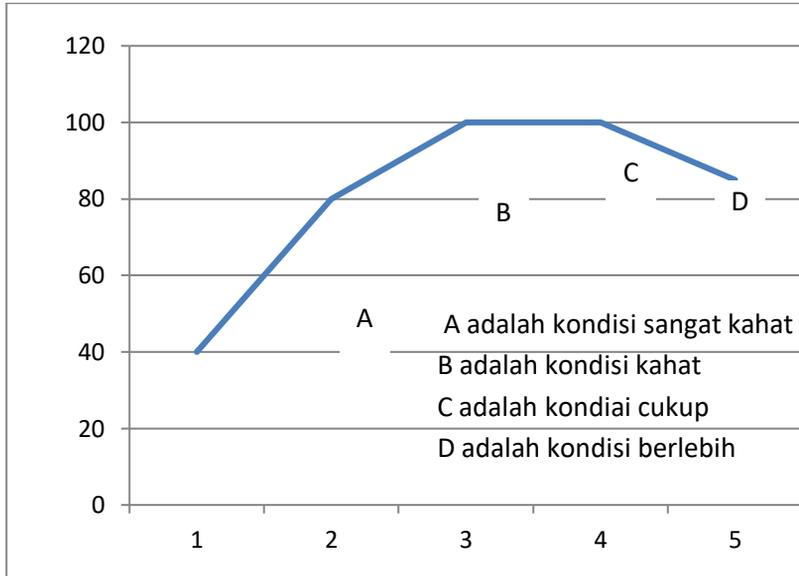
Analisis jaringan dapat dilaksanakan bersama dengan uji tanah, karena kekahatan tanaman tidak selalu berhubungan dengan kekurangan hara dalam tanah. Rekomendasi pemupukan seringkali lebih baik dibuat berdasarkan hasil uji tanah dibandingkan analisis jaringan.

Langkah-langkah yang dikerjakan dalam analisis jaringan meliputi: (i) melakukan pengambilan cuplikan di lapangan, (ii) penyiapan cuplikan misalnya dikeringkan dan/atau dihaluskan, (iii) melakukan destruksi basah atau kering, (iv) melakukan penetapan kadar hara misalnya dengan metode gravimetri, titrasi, spektrofotometri, atau flamfotometri, dan (v) melakukan inpretetasi terhadap hasil pengukuran dan pembuatan rekomendasi.

Pengambilan cuplikan yang tepat menjadi penting dalam analisis jaringan. Aras kecukupan hara ditentukan berdasarkan letak bagian tanaman yang diambil sebagai cuplikan pada fase pertumbuhan tertentu, misalnya daun yang baru saja dewasa dan membuka secara sempurna serta tangkai daun dari daun yang baru saja dewasa. Harus diperhatikan juga dalam pengambilan cuplikan yaitu pada fase kebutuhan tanaman sampai dipuncaknya misalnya titik puncak fase vegetatif dan fase generatif. Penafsiran hasil untuk setiap tanaman harus senantiasa mempertimbangkan sifat spesifiknya.

Tingkat kecukupan hara dalam jaringan tanaman

Hasil analisis jaringan merupakan respons tanaman terhadap kekahatan unsur tertentu yang secara diagramatik diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva respons tanaman uji terhadap kekahatan unsur tertentu

Terkait tingkat kecukupan hara berdasarkan analisis jaringan dapat mencerminkan status kesuburan tanah yang kemungkinannya meliputi: (i) aras kritis (*critical nutrient concentration*) di mana kadar hara dibawah aras menampakkan gejala kekahatannya, (ii) kisaran kritis hara (*critical nutrient range*) yang merupakan peralihan antara wilayah kekahatan dengan kecukupan hara, (iii) kisaran kecukupan (*sufficiency range*) yaitu kadar hara cukup untuk mendukung pertumbuhan dan hasil panen yang maksimum, dan (iv) aras berlebihan atau meracun (*excessive or toxic level*) di mana kadar hara terlalu tinggi mengakibatkan penurunan pertumbuhan dan hasil tanaman karena terjadi peracunan tanaman oleh unsur

tertentu itu yang mengakibatkan gangguan ketimpangan hara (*imbalance of nutrients*).

5.6 Uji cepat tanaman

Uji cepat tanaman adalah suatu metode yang mengetahui secara cepat kesuburan tanah yang akan digunakan bagi keperluan budidaya tanaman. Deteksi dengan cara ini biasa dikerjakan di lahan petani secara cepat dan praktis sehingga hasilnya dapat diketahui segera. Pengujian seperti ini biasanya untuk mengetahui respon dari perlakuan sedang yang diberikan, misalnya dalam penggunaan *chlorophyll meter* untuk mengukur tingkat kehijauan daun (N). IRRI telah mengembangkan penggunaan LCC (*leaf colour chart* atau bagan warna daun) untuk menentukan kebutuhan pupuk N pada tanaman

Analisis getah tanaman juga dapat dilakukan untuk memprediksi secara cepat tingkat kesuburan tanah yaitu dengan pewarnaan, misalnya untuk mengukur kadar nitrat atau K^+ . Prinsip kerja: bahan yang ditambahkan reagen akan menghasilkan reaksi warna. Langkah kerjanya yaitu: (i) memotong-motong jaringan tertentu dan menambahkan akuades secukupnya, (ii) kemudian getahnya diperas, kemudian (iii) dilakukan penafsiran hasil yaitu. Cara ini sebaiknya dikerjakan 6 kali per musim dan satu kali pada saat berbunga; jumlah ulangan 10-15 per lahan.

5.7 Gejala Visual Tanaman

Cara lain dalam evaluasi kesuburan tanah adalah dengan melakukan pengamatan terhadap gejala visual tanaman. Dasar pertimbangannya adalah bahwa pengambilan hara yang kurang mencukupi dalam tubuh tanaman mengakibatkan munculnya gejala kekahatan. Beberapa hal prinsip yang harus dipegang adalah: fungsi dasar unsur hara, dinamika atau mobilitas hara dalam tubuh tanaman, dan interaksi hara.

Gejala visual tanaman berkaitan dengan fungsi hara, misalnya untuk unsur N yang diperlukan dalam pembentukan klorofil, kekurangan N akan diikuti klorosis daun. Sementara itu letak kemunculan gejala berkaitan dengan sifat mobilitas hara dari daun yang tua ke titik tumbuh, sehingga dedaunan yang baru berwarna hijau. Klorosis muncul pertama kali pada daun yang lebih rendah pada pohon atau yang lebih tua.

Secara umum gejala kekahatan tanaman atas unsur-unsur hara makro yang penting dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kunci determinasi gejala kekahatan tanaman terhadap beberapa unsur penting

Gejala kekahatan				Unsur	
A	Gejala utama berupa klorosis daun				
	A1	Seluruh lebar daun			
		A1a	Pada bagian bawah tanaman , diikuti nekrosis dan lepas	Nitrogen	
		A1b	Seluruh bagian tanaman	Sulfur	
	A2	Daging di antara tulang daun			
		A2a	Pada bagian bawah tanaman , diikuti nekrosis dan lepas	Magnesium	
		A2b	Seluruh bagian tanaman		
			A2b1	Tak ada gejala lain	Besi
			A2b2	Terdapat bintik kelabu pada daerah klorosis	Mangan
			A2b3	Ujung daun tetap hijau, klorosis pada urat daun, tepi daun mengalangi nekrosis	Tembaga
			A2b4	Daun muda sangat kecil, tanpa lembar daun, ruas menjadi pendek (roset)	Seng
B	Gejala klorosis bukan gejala utama				
	B1	Gejala muncul pada bagian tanaman			
		B1a	Seluruh daun hijau tua, diikuti pertumbuhan kecil, muncul pigmen ungu terutama pada daun tua	Fosfor	
		B1b	Tepi daun tua mengalami klorosis dan terbakar, atau bintik klorosis berkembang cepat menjadi nekrosis tersebar pada lembar daun tua	Kalium	

Tabel 5. Kunci determinasi gejala kekahatan tanaman terhadap beberapa unsur penting (lanjutan)

	B2	Gejala muncul pada bagian atas tanaman		
		B2a	Tunas muda mati, pertumbuhan berkembang menyimpang; daun muda menjadi tebal, berkulit dan klorosis; terjadi retakan dan lubang pada cabang baru atau tangkai bunga	Boron
		B2b	Tepi daun tidak terbentuk, daun memanjang; titik tumbuh terhenti; jaringan muda berwarna hijau terang atau mengalami nekrosis yang tidak meata; pertumbuhan akar pendek dan tebal	Kalsium

Deskripsi gejala seperti ditunjukkan pada Tabel 5 relatif belum bisa diandalkan sepenuhnya, mengingat beberapa kelemahan dalam intepretasi visual gejala kekahatan hara, yaitu:

- (i) Gejala visual yang serupa dapat disebabkan oleh lebih dari satu hara, misalnya gejala klorosis antar tulang daun muda karena kekahatan Fe atau Mn;
- (ii) Gejala visual serupa dapat pula disebabkan serangga, penyakit, herbisida, dll → kekahatan B pada legum mirip bekas dimakan belalang;
- (iii) Kekahatan hara pada tanaman mungkin bukan karena kekurangan hara dalam tanah, tetapi dapat disebabkan keadaan pH, kelebihan

- hara lain, atau adanya faktor penghambat pertumbuhan akar;
- (iv) Pada saat menunjukkan gejala visual kekahatan hara, kehilangan hasil ternyata telah terjadi sebelumnya..

5.8 Rekomendasi Pemupukan

Hasil akhir dari evaluasi kesuburan tanah suatu deskripsi keadaan atau status kesuburan tanah yang akan digunakan dalam menyusun rekomendasi dalam rangka memperbaiki dan memelihara kesuburan tanah, di antaranya menetapkan rekomendasi pemupukan.

Dalam rekomendasi pemupukan biasanya memuat: (i) perhitungan kebutuhan hara untuk suatu target hasil panen, (ii) perhitungan penyediaan hara dari tanah, (iii) perhitungan efisiensi serapan hara, (iv) perhitungan ttakaran hara, dan (v) penentuan waktu aplikasi. Untuk memudahkan pelaksanaan di lapangan, umumnya dibuat paket pemupukan berdasarkan tingkat kesuburan tanah dengan mempertimbangkan kriteria tingkat kesuburan tanah. Tabel 6 memperlihatkan salah satu contoh rekomendasi pemupukan N-P-K berdasarkan kriteria tingkat kesuburan tanah untuk buddiaya padi sawah yang memiliki irigasi,

Tabel 6. Contoh rekomendasi pemupukan dalam budidaya padi sawah yang beririgasi

Kesuburan tanah dan target hasil	Musim kemarau			Musim Hujan		
	N	P	K	N	P	K
(ton.ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)			(kg ha ⁻¹)		
Tanah tidak subur						
4	60-80	8-12	20-40	60-80	8-11	0-25
5	90-110	15-25	50-60	90-120	15-25	50-60
6	120-150	25-40	80-100	-	-	-
7	150-00	35-60	110-140			
Tanah subur						
4	0	8-12	10-40	0	8-12	10-40
5	50-70	10-15	15-50	50-70	10-15	15-50
6	90-110	12-18	30-60	100-200	12-18	40-60
7	120-150	15-30	60-80	-	-	-
8	160-200	35-50	110-130	-	-	-
Tanah sangat subur						
4	0	8-12	10-40	0	8-12	10-40
5	0	10-15	15-50	20-30	10-15	15-50
6	50-60	12-18	20-60	60-80	12-18	20-60
7	80-100	14-21	40-70	-	-	-
8	120-150	15-25	60-80	-	-	-

PERTANYAAN

1. Berikan masing-masing contoh tingkat kekahatan (P, K, C organik) berdasarkan tingkat kesuburan tanah ?
2. Apa kelebihan dan kelemahan uji tingkat kesuburan tanah dengan menggunakan mikroba? Coba jelaskan salah satu cara uji, mislannya untuk menguji kekahatan P?
3. Jelaskan cara evaluais kesuburan tanah dengan menggunakan percobaan pemupukan?
4. Jelaskan secara skematis uji cepat untuk mengetahui tingkat kesuburan tanah berdarkan tanaman uji?
5. Mengapa deskripsi visual gejala kekahatan unsur hara tidak selalu bisa diandalkan kriterianya? Jelaskan!
6. Apa saja yang dimasukkan dalam rekomendasi pemupukan berdasarkan hasil evaluasi kesuburan tanah

BAB 6

PUPUK

6.1 Pengertian Pupuk

Dalam arti luas pupuk adalah suatu bahan yang digunakan untuk mengubah sifat fisik, kimia atau biologi tanah sehingga menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman. Secara umum pupuk merupakan bahan yang digunakan dalam bentuk pemberian kapur utk menaikkan pH tanah, pemberian legin (*Rhizobium*), pemberian bahan pembenah tanah (*soil conditioner*), pemberian urea dan TSP untuk meningkatkan kadar N dan P tanah. Sementara itu dalam arti khusus pupuk adalah suatu bahan yang mengandung satu atau lebih hara tanaman, sehingga *soil conditioner*, legin, dan kapur pengapuran dianggap bukan pupuk.

Pupuk mengandung: (i) hara tanaman seperti N, P, K, Mg, (ii) menganandung zat pembawa (*carrier*), misalnya Pupuk Double superposfat (DS) zat pembawanya CaSO_4 dan hara tanamannya P, (iii) senyawa lain berupa kotoran (*impurities*) atau campuran bahan lain dalam jumlah relatif sedikit misalnya ZA (*zwavelzuure amoniak*) mengandung kotoran 3 % Cl, H_2SO_4 , dan lainnya, (iv) bahan mantel (*coated*) atau pelapis pupuk agar performanya lebih baik, dan (v) *filler* (pengisi) agar volumenya relatif besar dengan kandungan hara yang sedikit namun merata.

Istilah-istilah khusus dalam pupuk di antaranya adalah:

- (i) Mutu pupuk atau grade fertilizer. Angka yang menunjukkan kadar hara tanaman utama

- (N,P, dan K) yang dikandung oleh pupuk yang dinyatakan dalam prosen N total, P₂O₅ dan K₂O. Misalnya pupuk Rustika Yellow 15-10-12 berarti kadar N 15%, P₂O₅ 10% dan K₂O 12%;
- (ii) Perbandingan pupuk atau ratio fertiliser. Perbandingan unsur N,P dan K yang dinyatakan dalam N total, P₂O₅ dan K₂O merupakan penyederhanaan grade fertiliser; Grade fertiliser 16-12-20 berarti ratio pupunya atau unsurnya 4:3:5;
 - (iii) *Mixed fertiliser* atau pupuk campuran. Pupuk hasil pencampuran berbagai pupuk oleh pemakainya, misalnya campuran pupuk Urea, TSP dan KCl, Hal ini berbeda dengan pupuk majemuk yaitu pupuk yang mempunyai dua atau lebih hara tanaman dibuat langsung dari pabriknya.

6.2 Kategori pupuk

Berdasarkan asalnya pupuk dibedakan menjadi:

- (i) Pupuk alam ialah pupuk yang terdapat di alam atau dibuat dengan bahan alam tanpa proses yang berarti. Misalnya: pupuk kompos, pupuk kandang, guano, pupukhijau dan pupuk batuan P;
- (ii) Pupuk buatan ialah pupuk yang dibuat oleh pabrik. Misalnya: TSP, urea, rustika dan nitrophoska. Pupuk ini dibuat oleh pabrik

dengan mengubah sumber daya alam melalui proses fisika dan/atau kimia.

Berdasarkan senyawanya pupuk dibedakan :

- (i) Pupuk organik ialah pupuk yang berupa senyawa organik. Kebanyakan pupuk alam mejaditergolong pupuk organik: pupuk kandang, kompos, guano. Pupuk alam yang tidaktermasuk pupuk organik misalnya rock phosphat, umumnya berasal dari batuan sejenis apatit $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$;
- (ii) Pupuk anorganik atau mineral merupakan pupuk dari senyawa anorganik. Hampir semua pupuk buatan tergolong pupuk anorganik.

Berdasarkan fasa-nya pupuk dibedakan atas:

- (i) Pupuk padat, pupuk umumnya mempunyai kelarutan yang beragam mulai yang mudah larut air sampai yang sukar larut;
- (ii) Pupuk cair, yaitu berupa cairan yang cara penggunaannya dilarutkan dulu dengan air, Umumnya pupuk ini disemprotkan ke daun karena mengandung banyak hara, baik makro maupun mikro; harganya relatif mahal. Pupuk amoniak cair merupakan pupuk cair yang kadar N nya sangat tinggi sekitar 83%, penggunaannya dapat lewat tanah (injeksikan).

Berdasarkan cara penggunaannya, pupuk dibedakan atas:

- (i) Pupuk daun ialah pupuk yang cara pemupukan dilarutkan dalam air dan disemprotkan pada permukaan daun;
- (ii) Pupuk akar atau pupuk tanah ialah pupuk yang diberikan ke dalam tanah di sekitar akar agar diserap oleh akar tanaman;

Berdasarkan reaksi fisiologisnya pupuk dibedakan atas:

- (i) Pupuk yang mempunyai reaksi fisiologis masam artinya bila pupuk tersebut diberikan ke dalam tanah ada kecenderungan tanah menjadi lebih masam (pH menjadi lebih rendah), misalnya: Za dan Urea;
- (ii) Pupuk yang mempunyai reaksi fisiologis basis ialah pupuk yang bila diberikan ke dalam tanah menyebabkan pH tanah cenderung naik misalnya: pupuk chili salpeter, calnitro, kalsium sianida.

Berdasarkan jumlah hara yang dikandungnya pupuk dibedakan atas:

- (i) Pupuk tunggal yang hanya mengandung satu hara tanaman saja. Misalnya: urea hanya mengandung hara N, TSP hanya dipentingkan P saja (sebetulnya juga mengandung Ca);
- (ii) Pupuk majemuk ialah pupuk yang mengandung dua atau lebih dua hara tanaman, contoh: NPK, amophoska, nitrophoska dan rustika.

Berdasarkan macam hara tanaman pupuk dibedakan atas:

- (i) Pupuk makro ialah pupuk yang mengandung hanya hara makro saja: NPK, nitrophoska, gandasil;
- (ii) Pupuk mikro ialah pupuk yang hanya mengandung hara mikro saja misalnya: mikrovet, mikroplek, metalik;
- (iii) Campuran makro dan mikro misalnya pupuk gandasil, bayfolan, rustika. Sering juga ke dalam pupuk campur makro dan mikro ditambahkan juga zat pengatur tumbuh (hormon tumbuh).

6.3 Pupuk Buatan

Pupuk buatan adalah pupuk yang dibuat oleh pabrik. Ada beberapa macam jenisnya dan tersedia di pasaran.

Pupuk Nitrogen. Pupuk mengandung hara tanaman N dengan bentuk persenyawaannya: nitrat, amonium, amin, sianida. Beberapa contohnya adalah Kalium nitrat (KNO_3), amonium fosfat $[(NH_4)_3PO_4]$, urea (NH_2CONH_2) dan kalsium sianida ($CaCN_2$). Bentuk pupuk N : kristal, prill, pellet, tablet maupun cair.

Amonium sulfat $[(NH_4)_2SO_4]$. Pupuk ini dikenal dengan nama *zwavelzuure amoniak* (ZA), berupa kristal putih dan hampir seluruhnya larut air, kadang-kadang pupuk tersebut diberi warna (misalnya pink), kadar N

sekitar 20-21% (yang diperdagangkan umumnya), kadar asam bebasnya maksimum 0.4%.. Sifat pupuk ini: larut air, dapat dijerap oleh koloid tanah, reaksi fisiologis masam, mempunyai daya mengusir Ca dari kompleks jerapan, mudah menggumpal, tetapi dapat dihancurkan kembali, asam bebas yang tinggi meracuni tanaman.

Anhidrous amonia (NH₃). Pupuk ini dianggap yang paling tinggi kadar N-nya, disimpan dalam bentuk cair, penggunaannya dengan injeksi ke dalam tanah atau dilarutkan dalam air, pupuk dapat juga dilarutkan dalam air pengairan, mudah mengalami penguapan terutama pada tanah atau air reaksi alkalis. Jumlah N yang hilang tergantung tekstur tanah, reaksi, cara pemberiannya, dan dalamnya injeksi ke dalam tanah. Sekitar 1-8 % tersemat pada lapisan permukaan tanah dan 2-31 % pada lapisan bagian bawah. Sering kali pemberian amonia cair dicampur dengan sulfur (S) karena sulfur larut dalam amonia.

Amonium khlorida (NH₄Cl). Kadar N dalam amonium khlorida sekitar 26%., pupuk ini lebih baik dibanding amonium sulfat (ZA) terutama untuk tanaman yang memerlukan unsur Cl dan diduga ZA akan meninggalkan sulfat (SO₄=) yang (di tanah sawah) direduksi menjadi H₂S (bersifat racun terhadap tanaman). Proses selanjutnya H₂S bereaksi dengan feri atau mangan menjadi FeS atau Fe₂S dan MnS. Untuk tanaman yang diharapkan kadar proteinnya tinggi sebaiknya digunakan pupuk ZA karena pembentukan senyawa protein membutuhkan unsur S

Amonium nitrat (NH₄NO₃) . Kadar N dalam pupuk amonium nitrat sekitar 32-33,5%. Kalau dicampur dengan kapur disebut amonium lime(ANL

Pupuk fosfor (P) . Kecuali untuk nitrogen, kadar unsur dalam pupuk dinyatakan dalam bentuk oksidanya.P dalam pupuk dinyatakan dalam bentuk P₂O₅. Pupuk TSP mengandung P sebesar 44% P₂O₅. Untuk mengetahui kadar P (bukan P₂O₅) maka harus dikalikan dengan suatu bilangan konversi:

$$\text{Prosentase P} = 0.43 \times \text{prosentase P}_2\text{O}_5$$

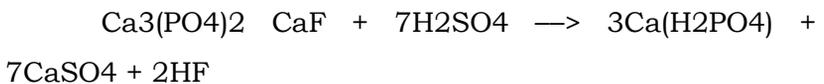
$$\text{Prosentase P}_2\text{O}_5 = 2.29 \times \text{prosentase P}$$

Angka 0.43 berasal dari berat molekul P₂O₅ dibagi berat 2P. Berat atom P=31 dan O=16, sehingga 144:62 = 2.29 atau sebaliknya 62:144 = 0.43.

Kadar yang ditunjukkan umumnya P yang larut dalam asam sitrat 2%; jadi bukan P yang larut air.

Enkel superfosfat [ES = Ca(H₂PO₄)₂ + CaSO₄].

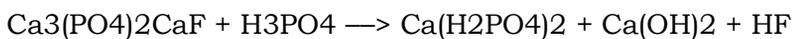
Disebut single superphosphate.Pupuk ini dibuat dengan menggunakan bahan baku batuan fosfat (apatit) dan diasamkan dengan asam sulfat untuk mengubah P yang tidak tersedia menjadi tersedia . Reaksi singkat pembuatan ES:



Disamping mengandung dihidrofosfat juga mengandung gipsum. Kadar P₂O₅ = 1824%, dan kapur (CaO) = 24-28% . Bentuk pupuk ini berupa tepung berwarna putih kelabu. Sedikit larut dalam air reaksi, fisiologis netral atau

agak masam. Kadar ($F_2O_3 + Al_2O_3$) di atas 3% dapat meracuni tanaman dan dapat bereaksi dengan fosfat menjadi tidak tersedia bagi tanaman (terjadi fiksasi P oleh Fe dan Al). Dalam penyimpanan sering mengalami kerusakan fisik tetapi tidak mengalami perubahan kimianya. Dalam pemakaiannya dianjurkan sebagai pupuk dasar yaitu pemupukan sebelum ada tanaman agar pada saat tanaman mulai tumbuh P sudah dapat diserap oleh akar tanaman. Pupuk ES masih mengandung gips ($CaSO_4$) cukup tinggi dan sering menyebabkan struktur tanah menjadi menggumpal seperti padas dan kedap terhadap air; jadi ini yang sering dianggap sifat merugikan dari pupuk ES.

Tripel superfosfat (TSP). Rumus kimianya $Ca(H_2PO_4)_2$. Sifat umum pupuk Tripel superfosfat (TSP) sama dengan pupuk DS. Kadar P_2O_5 pupuk ini sekitar 44-46% walaupun secara teoritis dapat mencapai 56%. Pembuatan pupuk TSP dengan menggunakan sistem wet proses. Dalam proses ini batuan alam (rockphosphate) fluor apatit diasamkan dengan asam fosfat hasil proses sebelumnya (seperti pembuatan pupuk DS). Reaksi dasarnya sebagai berikut:



Pupuk Majemuk (compound fertilizer). Pupuk mengandung dua atau lebih hara tanaman makro maupun mikro). Banyak sekali pupuk majemuk yang beredar di masyarakat baik untuk pertanian, perkebunan, pertamanan, hidroponik tanaman anggrek. Pupuk tersebut

mempunyai nama dagang yang berbeda-beda. Pupuk yang ditujukan untuk komoditas bernilai ekonomi tinggi umumnya mengandung banyak hara tanaman terutama N, P dan K. Untuk tanaman sayuran dan hidroponik banyak menggunakan hara kedua N, P, K, Ca, Mg dan S. Nitrogen umumnya berasal dari nitrat (NO_3^-), amonium (NH_4^+), amida ($-\text{NH}_2$) dan protein, baik secara tunggal maupun gabungan. Sumber P berupa monohidrofosfat (HPO_4^{2-}) dan dihidrofosfat (H_2PO_4^-). K berasal dari garam nitrat, klorida atau sulfat kalium. Pupuk majemuk cair bersifat larut air, penggunaannya disemprotkan pada organ tanaman. Tersedianya beraneka pupuk majemuk tentu untuk memudahkan petani tanpa harus membuat campuran sendiri.

6.4 Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang terbuat dari bahan organik. Pupuk jenis ini diharapkan nantinya lebih banyak mensubstitusi penggunaan pupuk anorganik sekaligus menjawab kekhawatiran penggunaan pupuk kimia yang sangat masif sekaligus mengurnagi tingkat polusi tanah yang akhirnya berpengaruh juga terhadap kesehatan manusia.

Saat ini makin berkembang upaya pembudidayaan tanaman dengan pertanian organik merupakan usaha untuk dapat mendapatkan bahan makanan tanpa penggunaan pupuk anorganik. Dengan pupuk organik ini diharapkan tanaman dapat hidup tanpa ada masukan

dari luars ehingga dalam kehidupan tanaman terdapat suatu siklus hidup yang tertutup.

Manfaat pupuk organik terhadap kesuburan tanah:

- (i) Proses mineralisasi bahan organik melepaskan hara bagi tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg, S, serta hara mikro);
- (ii) Dapat memperbaiki struktur tanah, menyebabkan tanah menjadi ringan untuk diolah dan mudah ditembus akar;
- (iii) Tanah lebih mudah diolah untuk tanah-tanah berat;
- (iv) Meningkatkan daya menahan air (water holding capacity) dan mencegah kekeringan;
- (v) Permeabilitas tanah menjadi lebih baik; menurunkan permeabilitas pada tanah bertekstur kasar (pasiran), sebaliknya meningkatkan permeabilitas pada tanah bertekstur sangat lembut (lempungan);
- (vi) Meningkatkan KPK (Kapasitas Pertukaran Kation) sehingga kemampuan mengikat kation menjadi lebih tinggi;
- (vii) Memperbaiki kehidupan biologi tanah (baik hewan tingkat tinggi maupun tingkat rendah) menjadi lebih baik karena ketersediaan makan lebih terjamin.;
- (viii) Dapat meningkatkan daya sangga (*buffering capacity*) terhadap goncangan perubahan drastis sifat tanah;

- (ix) Mengandung mikrobia dalam jumlah cukup yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik

Kekurangan pupuk organik adalah:

- (i) Seringkali C/N masih tinggi yang berarti pupuk masih mentah sehingga dapat merugikan,;
- (ii) Populasi mikrobia yang tinggi memerlukan juga hara tanaman untuk tumbuhan dan kembang biak. Hara yang seharusnya digunakan oleh tanaman berubah digunakan oleh mikrobia;
- (iii) Bahan organik yang berasal dari sampah kota atau limbah industri sering mengandung mikrobia patogen dan logam berat yang berpengaruh buruk bagi tanaman, hewan dan manusia;
- (iv) Relatif sedikit menyediakan unsur hara makro.

6.4.1 Pupuk kandang,

Pupuk kandang merupakan pupuk yang penting di Indonesia. Selain jumlah ternak lebih tinggi sehingga volume bahan ini besar, Secara kualitatif relatif lebih kaya hara dan mikrobia dibandingkan limbah pertanian. Pupuk kandang sesungguhnya merupakan campuran kotoran hewan/ ternak dan urine.

Nilai pupuk kandang dipengaruhi oleh: (i) makanan hewan yang bersangkutan, (ii) fungsi hewan tersebut sebagai pembantu pekerjaan atau dibutuhkan dagingnya saja, (iii) jenis atau macam hewan, dan (iv) jumlah dan jenis

bahan yang digunakan sebagai alas kandang. Atas dasar karakteristik pakan dan usaha ternaknya, maka kandungan hara dalam masing-masing pupuk kandang relatif berbeda satu dengan lainnya (Tabel 8).

Tabel 8. Kandungan hara empat jenis pupuk kandang

Komponen	Jenis pupuk kandang			
	Sapi	Ayam	Bebek	Domba
Kadar air (5)	85,0	72,0	82,0	77,0
Kandungan (kg/ton)				
Nitrogen (N)	10,0	25,0	10,0	28,0
Fosfor (P)	2,0	11,0	2,8	4,2
Kalium (K)	8,0	10,0	7,8	20,0
Kalsium (Ca)	5,0	36,0	11,4	11,7
Magnesium (Mg)	2,0	6,0	1,6	3,7
Sulfur (S)	1,5	3,2	2,7	1,8
Besi (Fe)	0,1	2,3	0,6	0,3

6 .4.2 Pupuk hijau

Pupuk hijau merupakan pupuk yang berasal dari sisa tanaman legum. Karena kemampuan tanaman legum mengikat N udara dengan bantuan bakteri penambat N menyebabkan kadar N dalam tanaman relatif tinggi. Akibatnya pupuk hijau dapat diberikan dekat waktu penanaman tanpa harus mengalami proses pengomposan lebih dulu sebagaimana sisa-sisa tanaman pada umumnya.

Beberapa contoh pupuk hijau, antara lain:

- (i) *Crotalaria juncea*. Dulu jenis legum ini diharuskan ditanam pada perkebunan tembakau Vorstenland pergiliran tanaman. Memasukkan tanaman legum ini jelasakan berpengaruh baik

terhadap sifat-sifat tanah baik tanaman tembakau itu sendiri maupun tanaman sesudahnya. Produksi 150-250 kw/ hektar. Kandungan N 2.84% dari bahan kering. Kadar bahan kering 16.0% dari bahan basah;

- (ii) *Crotalaria anagyroides*. Produksi hijauan daun dan tangkai 284 kw/ hektar. Kadar N= 2.31% dari bahan kering, kadar bahan kering sekitar 13.24%; umur tanaman 610 bulan;
- (iii) *Crotalaria usaramensis*. Produksi hijauan tergolong tinggi sekitar 350 kw/ hektar; umur tanaman 4-5 bulan.
- (iv) *Phaseolus tunatus*, kratok (Jawa). Produksi 120-180 kw/ hektar . Mengandung N 3.85 % dari bahan kering; kadar bahan kering 19.3% terhadap bahan basah.
- (v) *Glycine soya*, kedele produksi 65.27 kw/ hektar tangkai dan daun mengandung 0.57% N dari bahan basah. Selain produksi daun dan tangkai kedele mempunyai produksi biji kedele dengan sekitar 1.1 ton per hektar.
- (vi) *Vigna sisnensis*, kacang tunggak, kacang dadapan.
- (vii) *Mimosa invisa*, produksi 300 kw/ hektar.; umur 6-8 bulan.
- (viii) *Centrosoma pubescens*, produksi 400 kw/ hektar; umur 10 bulan.
- (ix) *Calopogonium mucunoides*, umumnya digunakan untuk makanan ternak.

- (x) Berbagai contoh pupuk hijau lainnya seperti *Tephrosia vogelii*, *T. candida.*, *Sesbania sesbania*, *S. esculatta*, dan *Pueraria thumbergiana*.

6.5 Pupuk Hayati (*Biofertilizer*)

Pupuk hayati adalah mikrobia ke dalam tanah untuk meningkatkan pengambilan hara oleh tanaman dari dalam tanah atau udara. Umumnya digunakan mikrobia yang mampu hidup bersama (simbiosis) dengan tanaman inangnya. Mikrobia yang digunakan sebagai pupuk hayati (hbiofertilizer) dapat diberikan langsung ke dalam tanah, disertakan dalam pupuk organik atau disalutkan pada benih yang akan ditanam.

Penggunaan mikroba bakteri yang menonjol dewasa ini adalah bakteri penambat N dan bakteri untuk meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. Penggunaan mikroba fungi/jamur Mikoriza dan *Trichoderma* mulai banyak digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman selain untuk menjaga kesehatan tanaman.

PERTANYAAN

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pupuk? Apakah kapur dalam aplikasi pengapuran dan inokulum *Rhizobium* termasuk pupuk?;

2. Jelaskan pembagian pupuk berdasarkan kategori asalnya, fasanya, dan senyawa pembentuknya?
3. Jelaskan kelebihan pupuk buatan dan berikan contohnya!
4. Jelaskan kelebihan dan kelemahan pupuk organik?
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pupuk hijau dan berikan contohnya?
6. Jelaskan kelebihan pupuk hayati!

BAB 7

PENGELOLAAN HARA DAN KESUBURAN

7.1 Pengelolaan Hara dan Pemupukan

Berbagai karakter nutrisi yang menjadi perhatian dalam manajemen hara dan pemupukan adalah: pergerakan menuju akar, transformasi hara, ketersediaan nutrisi bagi tanaman, kekahatan, dan bentuk pupuk.

7.1.1 Manajemen hara makro

Ketidak-berhasilan penanganan nutrisi terkait karakteristiknya akan berakibat inefisiensi pemupukan dan kegagalan dalam proses budidaya tanaman. Untuk itu bentuk penanganana yang khas dari masing-masing unsur makro sangatlah penting.

Manajemen Pupuk N. Beberapa hal yang harus dilakukan adalah: (i) penyediaan pupuk padatan yang aplikasi dipendam untuk mencegah volatilisasi, (ii) penggunaan inhibitor urease yang berpean menghambat perombakan urea dan mengurangi volatilisasi N, contoh: Agrottrain, (iii) penggunaan pupuk urea berbasis *slow release*, contoh: ureaformaldehide atau SCU (*Sulfur-coated urea*) yang manfaatnya: dengan pemberian satu kali untuk suatu jangka waktu tertentu, misalnya 3–6 atau 9 bulan, (iv) pemberian inhibitor nitrifikasi untuk menghambat nitrifikasi, dan mengurangi pelindian N, contohnya: bahan N-Serve, dan DCD.

Manajemen pupuk P. Sebagian besar bertujuan untuk mengurangi fiksasi P, dilakukan dengan cara:(i) disebar (*surface applications*) megingat mobilitas P dalam tanah terbatas, (ii) disebar dan dibenamkan (*broadcast and incorporate*). (iii) larikan (*band placement*) untuk

mengurangi fiksasi, dan (iv) aplikasi terbaik lainnya dengan memprtimbangkan hasil uji tanah dan jenis tanahnya.

Manajemen pupuk K. Aplikasi K dilakukan: (i) dalam jumlah yang sedikit tetapi lebih sering (*use smaller but more frequent*) terutama pada daya fiksasi tanah dan pelindian yang tionggi, (ii) menempatkan pupuk: di permukaan, disebarakan, dibenamkan namun dekat dengan zona perakaran, dan melingkari dasar tanaman, (iii) didahjului dengan pengapuran (terutama pada tanah masam) agar dapat meningkatkan kejenuhan basa dan KPK tanah sehingga dapat meningkatkan K tersedia dan mengurangi pelindian K.

Manajemen pupuk Ca. Aplikasi Ca dilakukan: (i) sebagai pengapuran, jika pH tanah rendah (masam) sehingga tercipta level Ca yang optimal bagi kebutuhan tanaman, (ii) mencegah kekahatan pada tanah berpasir dengan KPK rendah yang menyebabkan K terlindi hebat, (iii) manajemen air atau manajemen irigasi yang baik untuk menciptakan kondisi selang-seling basah dan kering sehingga pengambilan Ca dapat bersinambungan, (iv) penyemprotan Ca dalam beberapa hal sangat membantu, harus mencapai jaringan yang terkena gejala, penyemprotan dapat meningkatkan masa penyimpanan buah yang dipetik.

Manajemen pupuk Mg. Aplikasi Mg dilakukan: (i) dengan melakuka pengapuran: terlebih dahulu pada tanah ber-pH rendah (dengan kapur dolomit) dan (ii) tidak menggunakan kalsit (kadar Ca tinggi) pada tanah dg kadar

Mg rendah, (iii) mencegah kekahatan Mg yang terjadi pada tanah masam, berpasir dengan KTK rendah dengan pelindian yang hebat, (iv) mengurangi pemupukan K (KCl and K_2SO_4) yang dapat meningkatkan kehilangan Mg, tanah dengan kadar K yang tinggi menyebabkan kekahatan Mg karena menghambat penyerapan Mg.

Manajemen pupuk S. Aplikasi S dilakukan: (i) pada tanah berpasir sering terjadi kekahatan S, karena rendahnya bahan organik tanah maka akan berakibat pada kekahatan S dan pelindian yang hebat terhadap SO_4 , (ii) memupuk S tergantung kebutuhan tanaman; (iii) menyediakan sumber sulfur yang cukup mengingat S tidak segera tersedia, sehingga harus dioksidasi lebih dahulu menjadi SO_4 (kondisi masam), (iv) menyediakan S bersamaan dengan pupuk fosfat, misalnya superfosfat. SSP (14% S), TSP (1,5% S).

7.1.2 Manajemen hara mikro

Manajemen pupuk Fe. Aplikasi Fe dilakukan: (i) dengan cara menyediakan pupuk organik sehingga akan menambah khelat, (ii) menyediakan sumber anorganik, dalam hal ini pemupukan ke tanah kurang efektif karena Fe menjadi tidak tersedia, aplikasi pada tanaman (pupuk daun atau injeksi) lebih efektif, (iii) pemberian khelat Fe: cukup efektif jika diberikan ke tanah, tapi harganya mahal, umumnya digunakan untuk komoditas yang bernilai tinggi.

Manajemen pupuk Mn. Aplikasi Mn dilakukan: (i) dengan cara memberikan pupuk organik (kompos, pupuk kandang) karena akan meningkatkan khelat, (ii) menyediakan sumber anorganik Mn-sulfat yang aplikasi ke tanah atau daun dan diberikan dalam larikan lebih efektif dibanding disebar, (iii) melakukan pemberian khelator Mn: untuk pupuk daun, aplikasi di tanah kurang efektif, karena Fe atau Ca dapat mengganti Mn dalam khelat tersebut.

Manajemen pupuk Cu. Aplikasi Cu dilakukan: (i) dalam bentuk rabuk dan pupuk organik untuk meningkatkan khelat, (ii) penyediaan sumber anorganik sebagai khelat Cu yang diberikan sebagai pupuk daun atau lewat tanah efektivitasnya sama. (iii) dilakukan secara hati-hati ketika pupuk diberikan dalam larikan untuk mencegah kerusakan akar oleh logam Cu.

Manajemen pupuk Zn. Aplikasi Zn dilakukan: (i) dalam bentuk pemberian pupuk organik untuk menambah khelat, (ii) dengan menyediakan sumber anorganik misalnya Zn-sulfat (efektif untuk di tanah) dan sebagai pupuk daun terutama untuk tanaman buah, pembibitan, (iii) dengan memberikan Khelator Zn untuk daun atau tanah, (iv) secara larikan karena lebih efektif dibandingkan jika ditebar.

Manajemen pupuk Cl. Aplikasi Cl dilakukan sebagai pupuk organik dan dengan pemupukan sebagai sumber anorganik seperti pupuk KCl atau gram lainnya.

Manajemen pupuk B. Aplikasi B dilakukan sebagai pemupukan dengan (i) pemberian pupuk organik (bahan organik) dan (ii) pemberian senyawa anorganik seperti borax (natrium borat) dan solubor (pupuk daun dan tanah).

Manajemen pupuk Zn. Aplikasi Zn dilakukan sebagai pemupukan dengan: (i) pemberian sumber organik atau pupuk organik, (ii) penyediaan sumber anorganik: ammonium dan natrium molibdat, diberikan sebagai pupuk daun atau pupuk tanah atau diberikan untuk benih (*seed treatments*), dan (iii) pengapuran dapat mengatasi kekahatan Mo.

7.2 Pengelolaan Kesuburan Tanah

Fungsi penting tanah adalah: (i) mengatur air, tanah membantu mengontrol aliran air, mendistribusi air dari berbagai sumber, (ii) mempertahankan kelangsungan hidup, keragaman, dan produktivitas tanaman dan hewan di dalam dan di atasnya; (iii) menyaring potensi polutan, mineral dan mikroba di tanah bertanggung jawab untuk penyaringan, penyangga, pendegradasi, immobilisasi, dan detoksifikasi organik dan bahan anorganik, termasuk produk sampingan industri dan kota dan endapan atmosfer.

Pengelolaan kesuburan tanah berorientasi pada meningkatkan dan mempertahankan kualitas tanah . Kapasitas jenis tanah tertentu, baik secara ekosistem maupun kesuburannya dalam menopang produktivitas

tanaman dan organisme yang diharapkan. Tanah produktif berarti dapat mempertahankan atau meningkatkan produktivitas, memaksimalkan keuntungan, atau mempertahankan tanah sebagai sumber daya untuk generasi masa depan.

Upaya menjaga, mempertahankan, dan meningkatkan kualitas tanah bertujuan untuk menjamin keberlanjutan/ kelestarian fungsi tanah secara optimal. Pengelolaan lahan yang baik akan menentukan seperangkat praktik atau metode budidaya dan pengolahan lahan yang berkelestarian.

Menilai kualitas tanah

Penilaian kualitas tanah dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan tanah dalam menjalankan fungsinya untuk saat ini dan di masa mendatang. Penilaian menggunakan berbagai indikator (fisik, kimiawi, dan karakteristik biologis) yang mudah diukur terhadap perubahan fungsi tanah, mencakup sifat kimia, biologi, dan fisik. Hasil penilaian harus dapat diakses oleh banyak pengguna dan berlaku untuk kondisi lapangan mengingat sensitivitas tanah terhadap variasi iklim dan manajemen.

Kualitas tanah bukanlah tujuan akhir, tapi tujuan utamanya adalah untuk melindungi dan memperbaiki produktivitas pertanian jangka panjang, kualitas air, dan habitat bagi semua organisme termasuk manusia.

Prinsip pengelolaan tanah

Prinsip dalam mengelola untuk kualitas tanah adalah: (i) menambahkan bahan organik (residu tanaman di permukaan, kotoran hewan, pupuk hijau, kompos, dan jasad organisme dekomposer mati) sehingga dapat meningkatkan kapasitas menahan air, ketersediaan nutrisi bagi tanaman, dan dapat membantu mencegah erosi; (ii) menghindari pengolahan tanah yang berlebihan karena akan memicu degradasi bahan organik secara berlebihan, mengganggu struktur tanah, dan dapat menyebabkan pemadatan; (iii) pengelolaan pupuk dan penggunaan pestisida secara hati-hati karena dampaknya dapat membahayakan organisme non target dan mencemari air dan udara, (iv) meningkatkan penutupan tanah; tanah yang subur rentan terhadap erosi angin dan air, dan kekengeringan dan pengerasan; (v) meningkatkan keanekaragaman tanaman karena dapat menyumbang struktur akar dan jenis residu yang unik ke tanah, dapat membantu mengendalikan populasi hama, dapat mengurangi tekanan gulma dan penyakit, dan (vi) aplikasi agensia biofertilizer unggul yang dapat membantu menyediakan nutrisi hasil dekomposisi juga metabolit sekunder yang dapat berperan sebagai senyawa pengatur pertumbuhan tanaman yang sekaligus meningkatkan ketahanan tanaman.

Pertanyaan

1. Jelaskan karakteristik unsur N yang memerlukan pengelolaan yang seksama agar efisien dalam pemupukan;
2. Untuk hal yang sama jelaskan terhadap unsur P, K, Ca, dan Mg?
3. Jelaskan perlakuan dalam pengelolaan pupuk untuk menciptakan khelat bagi berbagai logam dan haran mikro?
4. Jelaskan pentingnya penilaian kualitas tanah dalam menjamin keberlangsungan kesuburan tanah;
5. Jelaskan prinsip-prinsip pengelolaan kesuburan tanah!

DAFTAR PUSTAKA

Aksani D, Budianta D & Hermawan A. 2018.
Determination of site-specific NPK fertilizer rates for

rice grown on tidal lowland. *J Trop Soils*, 23 (1): 19-25

Anonim. 2017. Jokowi: Pemanfaatan 36,8 Juta Hektare Lahan Pertanian Belum Maksimal. <http://katadata.co.id/berita/2016/12/07/jokowi-pemanfaatan-368-juta-hektare-lahan-pertanian-belum-maksimal>. Diakses 22 April 2017.

Aziz MA, Hazra F, Salma S & Nursyamsi D. 2016. Soil chemical characteristics of organic and conventional agriculture. *J Trop Soils*, 21 (1): 19-25

Bekele BG, Belew D & Abebe T. 2018. NPSZnB fertilizer and cattle manure effect on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield and yield components in Awi Zone, Ethiopia. *Int. J. Soil Sci.*, 13 (1): 35-41

Cheng W, Johnson DW & Fu S. 2003. Rhizosphere effects on decomposition. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 1418-1427. doi:<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2003.1418>.

Dakora FD, Chimpango SBM, Valentine AJ, Elmerich C & Newton WE. 2008. Biological Nitrogen Fixation: Towards Poverty Alleviation through Sustainable Agriculture. Netherland.

Dewi EM, Suwardi, Suryaningtyas DT & Anwar S. 2016. Utilization of natural zeolites as Cu (Ii) and Zn (Ii) adsorbent. *J Trop Soils*, 21 (3): 153-160

Geisseler D & Horwath WR. 2009. Relationship between carbon and nitrogen availability and extracellular enzyme activities in soil. *Pedobiologia* 53, 87-98.

Glare T, Caradus J, Gelernter W, Jackson T, Keyhani N, Kohl J, Marrone P, Morin L & Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? *Trends Biotechnol.* 30, 250-258.

Handayani IP & Prawito P. 2013. Soil structure and carbon pools in response to common tropical agroecosystems. *J Trop Soils*, 18 (2): 105-113

Hanjani SS, Ardiansyah M, Nadalia D & Sabiham S. 2015. Dinamika penggunaan lahan dan perkembangan perkebunan kelapa sawit di Kabupaten Kubu Raya

- dan Sanggau Tahun 1990-2013. *J. Tanah Lingk.*, 17 (1): 39-45
- Katadata. 2017. Pemanfaatan 36,8 juta hektare lahan pertanian belum maksimal. <http://katadata.co.id/berita/2016/12/07/jokowi-pe-manfaatan-368-juta-hektare-lahan-pertanian-belum-maksimal>. Diakses 22 April 2017
- Lumbanraja J, Mulyani S, Utomo M & Sarno. 2017. Phosphorus extraction from soil constituents using Bray P-1, Mehlich-1 and Olsen solutions. *J Trop Soils*, 22 (2): 67-76
- Martinson GO, Corre MD & Veldkamp E. 2013. Responses of nitrous oxide fluxes and soil nitrogen cycling to nutrient additions in montane forests along an elevation gradient in southern Ecuador. *Biogeochemistry* 112, 625-636.
- Murni AM. 2015. Hubungan antara karakteristik agroekologi perkebunan karet (*Hevea brassiliensis* L) dengan hasil karet di Lampung. *J. Tanah Lingk.*, 17 (1): 16-24
- Neswati R, Azizah N, Lopulisa C & Abdullah S. 2018. Effect of humic substances produced from lignite and straw compost on phosphor availability in Oxisols Int. *J. Soil Sci.*, 13 (1): 42-49
- Opachat T, Anusontpornperm S, Thanachit S & Kheoruenromne I. 2018. Major plant nutrient release in Jasmine Rice growing soils amended with biochar and organic wastes: An incubation study. *Int. J. Soil Sci.*, 13 (1): 9-17
- Paul EA & Clarck FE. 1996. *Soil microbiology and biochemistry* 2nd ed. Academic Press. San Diego.
- Salam AK & Ginanjar K. 2018. Tropical soil labile fractions of copper in the experimental plots \pm ten years after application of copper-containing-waste. *J Trop Soils*, 23 (1): 11-18
- Sanchez, P.A. (2004). *Properties and Management of soils in the Tropics*. John Wiley & Sons, New York.

- Sekhavatian A & Choobbasti AJ.. 2018. Comparison of constitutive soil models in predicting movements caused by an underground excavation *Int. J. Soil Sci.*, 13 (1): 18-27
- Shrestha RM, Paudel S, Wagle S, Ghimire S & Yadav D. 2018. Performance of rainfed lowland rice genotypes under different levels of boron application. *Int. J. Soil Sci.*, 13 (1): 28-34.
- Six J, Elliott ET & Paustian K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32, 2099–2103.
- Sofyan ET & Sara DS. 2018. The effect of organic and inorganic fertilizer applications on N, P and K uptake and yield of sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt). *J Trop Soils*, 23 (3): 111-116
- Sufardi, Darusman, Zaitun, S. Zakaria, and T.F. Karmil. (2017). Chemical characteristics and status of soil fertility on some dryland areas of Aceh Besar District (Indonesia). Proceeding of International Conference on Sustainable Agriculture. Yogyakarta 17-18, 2017.
- Suriadikarta DA & Simanungkalit RDM. 2006. Pendahuluan. In: Simanungkalit RDM, Suriadikarta DA, Saraswati R, Setyorini D & Hartatik W (eds.). *Pupuk organik dan pupuk hayati*. Pp. 1-10. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Sutriadi MT, Diah Setyorini D & Nursyamsi D. 2018. Calibration of soil phosphorus test for upland rice grown on Typic Kandiudox, Way Pangubuan, Lampung. *J Trop Soils*, 23 (2): 81-89
- Syamsiyah J, Sumarno, Suryono, Sari W & Anwar M. 2018. Chemical properties of Inceptisol and rice yields applied with Mixed Source Fertilizer (MSF). *J Trop Soils*, 23 (1): 1-9
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R & Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677.

- Tufaila M dan Alam S. 2014. Karakteristik tanah dan evaluasi lahan untuk pengembangan tanaman padi sawah di Kecamatan Oheo Kabupaten Konawe Utara. *Agriplus* 24 (2) : 184-194.
- Widodo, R.A. 2006. Evaluasi kesuburan tanah pada lahan tanaman sayuran di Desa Sewukan Kecamatan Dukun Kabupaten Magelang. *J. Tanah dan Air* 7(2):142-150.
- Widowati LR & De Neve S. 2016. Nitrogen dynamics and nitrate leaching in intensive vegetable rotations in highlands of Central Java, Indonesia. *J Trop Soils*, 21 (2): 67-78
- Wihardjaka A. 2018. Residual Effect of Nitrogen fertilization on nitrous oxide flux and yield of three cowpea varieties (*Vigna unguiculata* L.) in rainfed rice fields. *J Trop Soils*, 23 (2): 91-98
- Yulida M. 2016. Ini jurus Kementan dan FAO agar lahan kering bisa digarap petani. <https://finance.detik.com/ekonomi-bisnis/3364375/ini-jurus-kementan-dan-fao-agar-lahan-kering-bisa-digarap-petan>. Diakses 2 Mei 2017.\