



BUKU AJAR

KESUBURAN TANAH DAN PEMUPUKAN

PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI PRODUKSI TANAMAN PANGAN

AUZIA ASMAN, S.P., M.P.
RINA ALFINA, S.P., M.P.



**LEMBAR PENGESAHAN
BUKU AJAR**

Kesuburan Tanah dan Pemupukan

Oleh :

Auzia Asman, S.P., M.P.
NIP.198212162009121001

Rina Alfina, S.P., M.P.
NIP.198412272010122002

Tanjung Pati, 20 September 2024

Diperiksa oleh :
Ketua Jurusan Budi Daya
Tanaman



Dr. Rinda Yanti, S.P., M.Si
NIP. 197009231997022001

Diperiksa oleh :
Koordinator Prodi.
Teknologi Produksi Tanaman Pangan

Dr. Fri Maulina, S.P., M.P.
NIP. 196905231994032003

Dosen Mata Kuliah :
Kesuburan Tanah dan
Pemupukan

Auzia Asman, S.P., M.P.
NIP. 198212162009121001

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis tujukan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan untuk menyelesaikan sebuah buku ajar mata kuliah Kesuburan Tanah dan Pemupukan (KTnP), Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Pangan (TPTP), Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh. Penulisan buku ajar ini berdasarkan permintaan kurikulum nasional (Kurnas) sebagai bahan pendukung proses belajar mengajar, baik itu untuk kegiatan kuliah di kelas, praktik laboratorium maupun praktik di lapangan. Adanya buku ajar ini dimaksudkan untuk membantu dan membekali mahasiswa dalam praktik yang dimaksudkan di atas.

Penyusunan buku ajar ini, merujuk kepada beberapa buku penting dalam Ilmu Kesuburan Tanah, Larutan Hara Tanah dan Konservasi Tanah dan Air. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada berbagai pihak lain yang ikut membantu dan mendukung penyusunan buku ajar ini. Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna dan memerlukan kritikan dan masukan dari berbagai pihak untuk perbaikan dan penyempurnaan dimasa yang akan datang. Semoga bermanfaat, terutama bagi mahasiswa di Teknologi Produksi Tanaman Pangan, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh.

Tanjung Pati, September 2024

Tim Penulis,

AUZ-RIN

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Pengertian dan Konsep Kesuburan Tanah.....	1
1.2 Sejarah Kesuburan Tanah.....	3
1.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kesuburan Tanah.....	6
1.4 Masalah Kesuburan Tanah di Indonesia.....	11
BAB II. Tanah Masam dan Pengapuran	13
2.1 Tanah Masam.....	13
2.2 Pengapuran.....	16
BAB III. UNSUR HARA TANAH	19
3.1 Pembagian Unsur Hara Tanah	19
3.2 Dinamika Unsur Hara dalam Tanah	22
3.3 Kandungan Unsur Hara dalam Tanah	23
3.4 Proses Penyerapan Hara Oleh Tanaman	23
3.5 Organ-organ Penyerap Hara Pada Tanaman	27
BAB IV. UNSUR HARA NITROGEN (N)	29
4.1 Karakteristik unsur hara nitrogen	29
4.2 Transformasi N dalam tanah.....	31
BAB V. UNSUR HARA PHOSFOR (P).....	35
5.1 Karakteristik unsur hara P.....	35
BAB VI. UNSUR HARA KALIUM (K)	40
6.1 Karakteristik unsur hara Kalium	40
6.2 Sumber dan Transformasi K.....	41
BAB VII. UNSUR KALSIUM (Ca), MAGNESIUM (Mg) dan SULFUR (S)	45
7.1 Unsur Hara Kalsium (Ca)	45
7.2 Unsur Magnesium (Mg)	48
7.3 Unsur Sulfur (S).....	51
BAB VIII. UNSUR HARA MIKRO (Fe, Mn, Cu, Zn) DAN UNSUR ANION	54
8.1 Karakteristik Unsur Hara Besi (Fe).....	54
8.2 Karakteristik Unsur Hara Mangan (Mn)	55
8.3 Karakteristik Unsur Hara Tembaga (Cu).....	55
8.4 Karakteristik Unsur Hara Seng (Zn)	56
8.5 Karakteristik Unsur Anion Klor, Boron dan Molibdenum Klor	57
8.6. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Mikro.....	59

BAB IX. JENIS PUPUK APLIKASI DAN PENGELOLAANNYA	66
9.1 Pengertian Pupuk dan Pemupukan	66
9.2 Klasifikasi Pupuk	67
BAB X. PUPUK ORGANIK dan PUPUK AN ORGANIK	71
10.1 Defenisi Pupuk Organik	71
10.2 Ragam Pupuk Organik.....	72
10.3 Pupuk An Organik	81
BAB XI. APLIKASI PUPUK	85
11.1 Konsep Pemupukan.....	85
11.2 Kategori aplikasi pemupukan	88
BAB XII. Evaluasi Kesuburan Tanah	92
12.1 Masalah Pengharaan Tanah	92
12.2 Evaluasi Status Kesuburan Tanah.....	93
BAB XIII. ANALISIS TANAH DAN TANAMAN.....	99
13. 1 Tahapan Analisis Tanah.....	99
13.2 Interpretasi Uji Tanah	101
DAFTAR PUSTAKA.....	102

BAB 1. PENDAHULUAN

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Pengertian dan Konsep Kesuburan Tanah 2. Sejarah kesuburan Tanah 3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

1.1 Pengertian dan Konsep Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah memiliki banyak definisi. Pengertian kesuburan tanah dapat dijelaskan pengertiannya berdasarkan dua hal yaitu:

- a. Pertumbuhan tanaman: merupakan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman tertentu dalam waktu dan kondisi tertentu.
- b. Produksi tanaman: merupakan kemampuan tanah untuk menghasilkan produk tanaman tertentu dalam waktu dan kondisi tertentu. Produksi ini didasarkan pada hasil yang diambil dari tanaman, bisa berupa getah, batang, daun, buah dan biji.

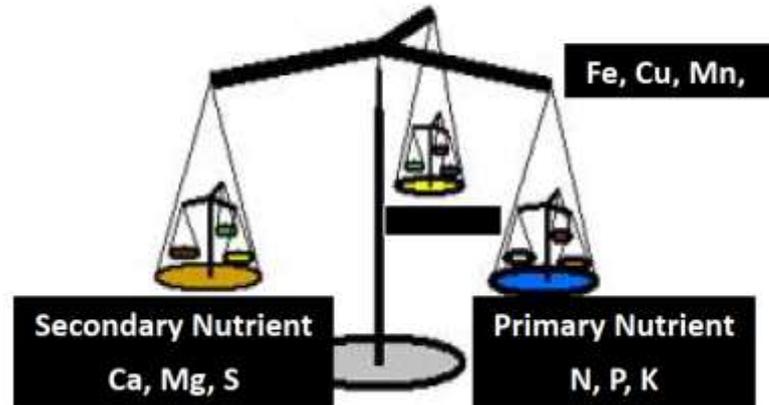
Berdasarkan kebutuhan hara tanaman, pemahaman mengenai tanah yang subur adalah kemampuan tanah untuk menyediakan hara bagi tanaman, dalam keadaan tersedia, cukup, dan seimbang.

1. Tersedia : merupakan kondisi hara ada dalam jangkauan akar dan dapat diserap/diambil akar
2. Cukup : merupakan kondisi hara pada keadaan yang sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman dalam setiap fase pertumbuhannya.
3. Seimbang : merupakan kondisi hara ada pada konsentrasi unsur-unsur hara dalam jumlah yang relatif seimbang satu sama lain, baik unsur hara makro maupun unsur hara mikro.

Kesuburan tanah dibedakan menjadi dua macam:

- a. Kesuburan tanah aktual (alami) : Kemampuan tanah menyediakan udara, air dan unsur hara untuk tanaman dalam waktu dan lingkungan tertentu.
- b. Kesuburan tanah potensial : Kemampuan tanah menyediakan udara, air, dan unsur hara untuk tanaman dalam waktu dan lingkungan tertentu setelah faktor-

faktor penghambat diperbaiki sampai optimum. Jadi kesuburan tanah alami dapat ditingkatkan menjadi kesuburan tanah potensial.



Gambar 1. Gambaran Hara dalam Kondisi Seimbang

Tanah Sebagai Media Tanaman

Tanah tersusun atas tiga komponen utama: padatan, cairan, dan udara. Padatan terdiri dari bahan mineral dan organik, menempati separuh volume. Bahan mineral yang berasal dari hancuran batuan induk menempati sekitar 45% dan bahan organik dari dekomposisi jasad mikro mati menempati 5% volume. Separuh sisanya diisi oleh cairan dan elektrolit-elektrolit larut, serta udara dengan volume berfluktuasi menurut banyaknya cairan tersebut. Secara sederhana, tanah didominasi fraksi pasir akan membentuk struktur lepas dan drainase baik. Akan tetapi, daya pegang air dan hara rendah sehingga tanah miskin unsur hara dan cenderung kekurangan air. Tanah didominasi fraksi liat mempunyai sifat lekat dan berstruktur masif sehingga drainase jelek. Meskipun umumnya tanah-tanah liat relatif kaya unsur hara, namun masalah yang dihadapi adalah pengolahan berat dan memerlukan perbaikan drainase. Fraksi debu lebih halus dari pada pasir, dengan ciri dalam keadaan lembab tidak begitu lekat dan lebih mudah diolah namun mudah mengalami erosi oleh air maupun angin. Bila ketiga fraksi berada dalam keadaan relatif seimbang, maka akan terbentuk tekstur berlempung (loamy). Tanah-tanah berlempung ideal untuk dijadikan lahan pertanian. Di antara ketiga fraksi, liat merupakan fraksi koloidal yang mampu mengendalikan berbagai sifat kimia maupun fisiko-kimia tanah.

Untuk dapat tumbuh dengan baik, tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman antara lain :

1. Faktor genetik (turunan): faktor yang ada dalam tanaman itu sendiri (kromosom/gen) yang memberikan kemampuan tumbuh dan berproduksi dari suatu tanaman dalam kondisi lingkungan yang ada.
2. Faktor lingkungan
 - a. Bukan tanah

Biotik : hama, penyakit, gulma.

Bukan biotik : iklim/cuaca setempat dan keadaan udara di sekitar perakaran
 - b. Tanah

Semua sifat tanah memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, baik sifat fisika, kimia maupun biologi.

1.2 Sejarah Kesuburan Tanah

Perkembangan Kesuburan Tanah dimulai dari zaman batu, zaman revolusi hijau, dan zaman moderen. Juga perkembangan Kesuburan Tanah berlangsung di benua Amerika Serikat dan benua Eropa. Pada zaman batu, manusia hidup dari alam. Mereka mencari makanan, minuman, dan kayu-kayuan. Mereka berpengalaman dimana makanan, minuman, dan kayu-kayuan dapat diperoleh dengan cepat, sehat, dan aman bagi diri mereka. Pola hidup mereka berpindah-pindah dari suatu tanah yang subur ke tanah subur yang lain setelah tanah yang ditinggalkan tidak memberikan hasil bercocok tanam. Pertanian mereka dikenal dengan pertanian subsisten (*subsistence cultivation*).

Telah disepakati bahwa manusia pertama kali melakukan budidaya pertanian berdiam di lembah Mesopotamia, antara s. Tigris dan Euphrate (Irak sekarang). Xenophon menyatakan dari penyelidikannya bahwa: "kebun akan mengalami kerusakan, sebab orang tidak mengerti cara-cara memupuk lahan"; dan dikatakan lebih lanjut bahwa: "tidak ada cara lebih baik dari pemupukan". Butir-butir penting yang dikemukakan Xenophon (434-355 BC) ialah:

1. Pengaturan pemberian pupuk kandang dapat mempertahankan kesuburan tanah.
2. Saran agar digunakan pupuk kandang dilakukan di awal musim semi.
3. Rumput dapat digunakan sebagai pupuk hijau.

Virgil (70-19 BC) memelopori penggunaan legum sebagai penyubur tanah. Penggunaan apa saat ini disebut pupuk mineral atau perbaikan tanah bukan tidak dikenal pada zaman dulu. Theophrastus (372-287 BC) mengemukakan bahwa pencampuran tanah-tanah berbeda yang dimaksudkan sebagai "penyembuhan

kerusakan dan penambahan hati ke dalam tanah". Cara ini mungkin dalam keadaan tertentu menguntungkan. Penambahan tanah subur ke tanah miskin dapat meningkatkan kesuburan tanah, dan praktek pencampuran satu jenis tanah dengan yang lain mungkin dapat memberi keuntungan terhadap inokulasi biji-biji legum pada suatu tanah pertanian. Juga, pencampuran tanah-tanah bertekstur kasar dengan halus atau sebaliknya mungkin dapat memperbaiki hubungan udara dan air dalam tanah yang diperlakukan. Nilai *marl* (sejenis tanah liat berkapur) juga telah dikenal. Ini merupakan awal dari praktek pengapuran di lahan pertanian.

Columella (0 C) menyarankan suatu uji untuk mengukur derajat keasaman dan kesalinan tanah dan Pliny menyatakan bahwa rasa pahit pada tanah mungkin disebabkan adanya herba-herba hitam di dalam tanah. Pliny menulis bahwa: "di antara penyebab kebaikan tanah adalah perbandingan ketebalan dari batang jagung" dan Columella menyatakan secara sederhana bahwa uji terbaik untuk kesesuaian lahan bagi pertumbuhan tanaman adalah kondisi tempat tumbuh tersebut.

Banyak pakar terdahulu (juga masih banyak dianut oleh pakar sekarang) sependapat bahwa warna tanah dapat menggambarkan kriteria kesuburan tanah. Ide umum adalah bahwa tanah hitam adalah tanah subur, sedang tanah pucat atau abu-abu tidak subur. Columella tidak sependapat dengan pernyataan ini yang mendapatkan bahwa tanah marshland yang berwarna hitam tidak subur, tetapi tanah pucat yang terdapat di Libia mempunyai kesuburan tinggi. Ia merasa bahwa ada faktor-faktor tertentu yang menentukan tingkat kesuburan tanah, seperti struktur, tekstur dan kemasaman merupakan petunjuk yang baik untuk menduga kesuburan tanah.

De Crescenzi (1230-1307) memulai perkembangan pertanian dengan publikasi koleksi praktek setempat di bidang pertanian "*opus ruralium commodorum*". Dengan publikasi koleksi cara bercocok tanam ini maka De Crescenzi dikenal sebagai "Bapak Agronomi Modern". Tetapi isi tulisan hanya terbatas pada hal-hal yang berupa bahan praktek dan tidak menurut perkembangan yang akan datang (hanya dapat dipakai saat itu).

Sekitar permulaan abad ke-17 Francis Bacon (1561-1624) mengemukakan prinsip makanan tanaman adalah air. Ia percaya bahwa fungsi utama tanah adalah memegang tanaman agar tetap tegak dan melindunginya dari panas dan dingin dan bahwa setiap tanaman menyerap senyawa khas sebagai makanan khusus baginya. Bacon menegaskan pendapat Herodotus bahwa bahwa tanah yang ditanami terus menerus akan mengurangi kesuburannya.

Jathro Tull (1674-1741) seorang kebangsaan Inggris mempublikasikan buku: "*Horse Hoeing Husbandry*". Ia mengemukakan bahwa berbagai cara untuk menggunakan tenaga hewan dalam pertanian. Ia dijuluki sebagai "Bapak Mekanisasi Pertanian". Pendapat Tull yang lain adalah: bahwa zarah tanah dapat masuk ke dalam tanaman melalui mulut akar. Tetapi pendapat ini tidak ada penganutnya.

Pertengahan abad ke-19 hingga awal abad ke-20 merupakan periode maju dalam hal pengertian terhadap hara dan kesuburan tanaman. Di antara manusia periode ini yang mempunyai sumbangan besar adalah Jean Baptiste Bousingault, seorang ahli kimia Perancis yang melakukan percobaan lapangan. Ia meniru pekerjaan de Saussure dalam menimbang, menganalisis pupuk yang diberikan dalam plot dan tanaman yang dipanen. Ia menyiapkan seperangkat keseimbangan yang menunjukkan berapa banyak berbagai unsur yang berasal dari air hujan, tanah, dan udara, dianalisis komposisinya dalam tanaman selama fase pertumbuhan, dan ditetapkan bahwa rotasi terbaik yang menghasilkan sejumlah terbesar bahan organik beserta pupuk kandang yang diberikan. Bousingault kemudian dikenal sebagai "Bapak Percobaan Lapangan". Meskipun para pakar tanaman pada periode ini mengakui nilai penelitian de Saussure, teori humus kuno masih banyak dianut. Ini merupakan teori alami yang sulit untuk dihilangkan, yang kemudian sangat terasa hingga saat ini bahwa penghancuran bahan tanaman dan hewan menaikkan produksi adalah penting untuk nutrisi pertumbuhan tanaman.

Justus von Leibig, (1803-1873) seorang ahli kimia bangsa Jerman sangat berkeyakinan dengan mitos humus. Ia mendobrak beberapa paham konservatif seperti misalnya beberapa pakar yang saat itu tidak punya keberanian untuk menyatakan bahwa karbon dalam tanaman berasal dari sumber-sumber selain CO₂. Leibig membuat beberapa pernyataan sebagai berikut:

1. Sebagian besar karbon dalam tanaman berasal dari CO₂ atmosfer.
2. Hidrogen dan oksigen berasal dari air.
3. Logam alkalin dibutuhkan untuk menetralkan asam yang dibentuk oleh tanaman sebagai aktivitas metabolik.
4. Fosfat penting untuk pembentukan biji.
5. Tanaman menyerap semua unsur tanpa membedakan dari dalam tanah tetapi mengekskresikan senyawa-senyawa yang tidak esensial melalui akar-akar.

Leibig sangat percaya pada analisis tanaman dan mempelajari kandungan unsur yang ada merupakan suatu cara untuk dasar rekomendasi. Ia juga berpendapat bahwa pertumbuhan tanaman adalah bagian dari jumlah

senyawa mineral yang terdapat dalam pupuk. Ia juga mengemukakan "hukum minimum" yang berbunyi: "Bahwa pertumbuhan tanaman dibatasi oleh unsur hara tanaman yang tersedia dalam jumlah tersedikit, bila yang lain berada dalam jumlah yang cukup". Konsep ini mempengaruhi pendapat di bidang pertanian dalam jangka lama.

Liebig membuat pupuk berdasar idenya terhadap nutrisi tanaman. Rumusan campuran diperhitungkan tetapi dia melakukan kesalahan dalam mencampur garam fosfat dan kalium dengan kapur. Sebagai hasilnya pupuk menyebabkan kerusakan pada tanaman. Namun demikian, Liebig menyumbangkan dasar-dasar dalam pertanian dan dia barangkali orangnya yang dikenal sebagai: "Bapak Kimia Pertanian".

1.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Kesuburan Tanah

Faktor Alam

Kesuburan tanah dipengaruhi oleh banyak faktor, beberapa faktor alam yang memengaruhi kesuburan tanah adalah:

1. Bahan Induk Tanah

Bahan induk merupakan bahan awal tanah yang mengalami pelapukan dari batuan. Batuan induk memengaruhi kandungan kimia tanah yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan tersebut. Proses pembentukan tanah berlangsung dengan berbagai reaksi fisik, kimia dan biologi. Reaksi ini menghasilkan sifat-sifat tanah hasil perubahan bahan induk tanah menjadi bahan penyusun tanah, dan menata bahan penyusun tanah menjadi tubuh tanah yang terdiri dari mineral-mineral. Kesuburan tanah tergantung pada komposisi kimia dari bahan induknya (Notohadiprawiro et al. 2006). Dalam mineral-mineral ini terkandung unsur-unsur hara penting bagi pertumbuhan tanaman. Kandungan hara yang terdapat dalam suatu mineral ini akan mendukung keberlanjutan dan kesuburan lahan. Bahan induk dengan tekstur halus akan membentuk tanah yang mengandung bahan organik tinggi, bahan induk yang bertekstur kasar mengandung bahan organik yang lebih rendah.

2. Topografi

Topografi memengaruhi kesuburan tanah melalui pengaruhnya terhadap drainase, limpasan permukaan, erosi tanah dan iklim mikro yaitu pemaparan permukaan tanah ke matahari dan angin. Tanah di lereng yang lebih tinggi akan memiliki kesuburan yang lebih rendah dibandingkan tanah di lereng yang lebih rendah. Hal ini karena pencucian yang tinggi dan erosi yang terjadi (Handayanto et al. 2017). Daerah yang terjal tingkat erosinya lebih tinggi sehingga tingkat kesuburannya dalam kurun waktu tertentu akan menurun dan juga sifat kimia tanah relatif mudah berubah ubah mengikuti

proses alam seperti erosi (Wibawa 2000). Disisi lain, topografi adalah faktor pasif pembentuk tanah yang mendorong proses erosi tanah sehingga terjadi perpindahan material dari suatu tempat ke tempat lain. Semakin besar kemiringan kereng maka pengikisan tanah semakin tinggi (Arsyad 2009).

3. Umur Tanah

Umur tanah memengaruhi kesuburan tanah karena pemanfaatannya sebagai sumber hara bagi tanaman melalui budidaya yang intensif. Tanah sangat tua sering tidak subur karena penyerapan unsur hara yang terjadi secara terus menerus. Sedangkan tanah sangat muda juga relatif kurang subur karena proses pembentukan tanahnya masih sedang berlangsung.

4. Iklim

Faktor-faktor iklim (curah hujan, suhu, kelembaban dan angin) sangat memengaruhi kesuburan tanah. Didaerah yang memiliki curah hujan tinggi, unsur hara akan mengalami pencucian dan larut pada horizon tanah yang lebih dalam sehingga menjadi tidak dapat diserap tanaman. Pada daerah yang beriklim tropis dan sub tropis, dekomposisi bahan organik berlangsung lebih cepat dan lebih mudah dibandingkan dengan daerah beriklim sedang, sehingga kesuburannya lebih rendah (Handayanto et al. 2017). Suhu udara memengaruhi tanah dengan memengaruhi suhu badan tanah sehingga tanah bersifat konduktor. Curah hujan yang tinggi akan meningkatkan konsentrasi H^+ di dalam larutan tanah sehingga akan meningkatkan derajat keasaman tanah. Kondisi ini tidak baik bagi pertumbuhan tanaman. Curah hujan yang tinggi juga mengakibatkan proses pencucian yang intensif sehingga kandungan basa-basa yang dapat dipertukarkan akan semakin rendah (Munawar 2018)

5. Kedalaman Profil Tanah

Tanah yang memiliki profil tanah yang dalam lebih subur dibandingkan dengan tanah yang dangkal. Hal ini disebabkan tanah yang dangkal lebih cepat kering. Kandungan air tanah sangat mendukung pertumbuhan tanaman. Akar tanaman akan lebih leluasa menyerap air dan unsur hara pada tanah yang lebih dalam sehingga pertumbuhan tanaman lebih baik.

6. Kondisi Fisik Tanah

Kondisi fisik tanah berpengaruh besar terhadap kesuburan tanah. Sifat fisik tanah seperti tekstur dan struktur tanah sangat menentukan kapasitas memegang air. Jika sirkulasi air dan udara dalam tanah tidak baik maka tanah tersebut tidak cocok sebagai media tumbuh tanaman. Tanah yang didominasi oleh partikel pasir (partikel tanah

yang lebih besar) memiliki kapasitas memegang air yang rendah. Tanah yang memiliki partikel yang lebih kecil (debu dan liat) akan lebih subur.

7. Erosi Tanah

Erosi adalah peristiwa pengikisan tanah. Tanah yang terkikis adalah lapisan tanah paling atas yakni lapisan tanah yang paling subur. Hasil erosi (pengikisan tanah) tersebut diendapkan di daerah yang lebih rendah. Menurut perkiraan, unsur hara tanaman yang hilang melalui erosi adalah 20 kali lebih banyak dibandingkan dengan yang digunakan untuk pertumbuhan tanaman (Handayanto et al. 2017). Erosi dan sedimentasi akan mengakibatkan akumulasi garam/ basa/ bahan polutan, terjadi pH yang luar biasa rendah, limbah bahan organik dan ancaman penyakit pada tanaman (Arsyad 2009).

Faktor Buatan

1. Genangan air/Aerasi tanah

Aerasi tanah adalah kondisi tata udara dalam tanah. Aerasi tanah dikatakan baik jika pergerakan udara dari dalam dan keluar tanah tidak terhambat dan sebaliknya pada tanah dengan aerasi buruk mengakibatkan terhambatnya pergerakan udara dalam tanah. Tanah dengan aerasi buruk akan mengakibatkan terhambatnya respirasi akar, pertumbuhan akar, dan penyerapan air dan hara. Permasalahan pada tanah rawa, genangan air akan menurunkan pH, sehingga cenderung bersifat lebih asam (Rosmarkam and Yuwono 2002).

2. Sistem atau pola tanam

Pola tanam yang dilakukan petani terdiri dari pola tanam monokultur, penanaman campuran dan rotasi tanaman. Pola tanam monokultur yang dilakukan bertahun-tahun akan mengakibatkan penumpukan zat beracun yang dikeluarkan oleh akar tanaman dan kekurangan hara karena penyerapan hara dengan jumlah dan jenis yang sama. Untuk menunjang kesuburan tanah sebaiknya pola tanam yang diterapkan adalah pola tanam atau rotasi tanaman. Menurut Arsyad, (2009) keragaman vegetasi yang tinggi akan mengurangi pukulan hujan pada tanah melalui intersepsi air hujan. Tajuk yang berlapis-lapis akan melindungi tanah dari proses erosi.

3. Bahan kimia beracun dan Pestisida dalam Tanah

Penggunaan pestisida dan pupuk kimia dalam jangka panjang untuk mengendalikan berbagai hama dan penyakit serta peningkatan produktivitas tanah akan menurunkan kesuburan tanah. Bahan kimia yang beracun dalam tanah akan berpengaruh buruk dalam pertumbuhan tanaman. Hal ini juga memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam tanah, sehingga proses dekomposisi akan menurun dalam tanah.

4. Reaksi Tanah

Reaksi tanah (pH) menentukan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Tanah dapat bereaksi basa, netral dan asam. Pada kondisi pH netral, unsur hara banyak tersedia bagi tanaman, sedangkan pada kondisi pH tanah basa atau asam akan didominasi oleh unsur hara tertentu sehingga tidak semua tanaman dapat bertahan hidup. Dengan demikian reaksi tanah memengaruhi kesuburan tanah.

5. Status Bahan Organik dalam Tanah

Bahan organik tanah memengaruhi kesuburan tanah. Bahan organik merupakan sumber unsur hara dalam tanah. Bahan organik memengaruhi kesuburan tanah secara tidak langsung. Bahan organik berperan penting dalam memperbaiki kesuburan fisik tanah. Bahan organik memengaruhi agregasi tanah yang berpengaruh terhadap infiltrasi, pergerakan dan retensi air tanah, aerasi tanah dan penetrasi akar. Bahan organik juga memengaruhi sifat biologi tanah. Bahan organik juga meningkatkan aktivitas mikroba dalam proses dekomposisi bahan organik. Tanah yang kaya bahan organik adalah tanah yang sangat subur (Handayanto et al. 2017).

Indikator Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah ditentukan oleh berbagai faktor, namun kesuburan tanah dapat diukur dengan berbagai indikator. Beberapa di antaranya adalah kejenuhan basa, kapasitas absorpsi, kandungan liat dan kandungan bahan organik. Beberapa indikator tersebut di atas secara umum dilakukan analisis di laboratorium, indikator kesuburan tanah yang dapat diamati langsung di lapangan adalah pertumbuhan tanaman di lahan tersebut. Kejenuhan basa nilainya dalam bentuk persen. Kejenuhan basa menggambarkan akumulasi susunan kation dalam tanah. Peningkatan nilai persen kejenuhan basa mencerminkan semakin tingginya kandungan basa-basa tanah pada posisi nilai pH tanah yang menyebabkan nilai kesuburan kimiawi optimal secara menyeluruh.

Kapasitas absorpsi merupakan kemampuan tanah untuk mengikat suatu kation dan anion oleh partikel-partikel koloid tanah (koloid liat dan koloid organik). Kapasitas absorpsi mencerminkan kemampuan tanah melakukan aktivitas pertukaran hara. Semakin tinggi nilai kapasitas absorpsi maka kesuburan tanah semakin baik. Menurut (Silalahi, Lubis, and Hanum 2016), agregat yang stabil dan struktur tanah yang bagus dapat meningkatkan retensi dan transmisi air, sehingga memberikan pertumbuhan tanaman yang lebih baik. Kesuburan tanah secara fisik yang lebih baik menunjang pertumbuhan.

Beberapa organisme tanah mampu meningkatkan kesuburan tanah melalui hasil samping yang dihasilkan, seperti organisme pelarut fosfat ataupun penambat N-bebas yang hidup bebas/soliter ataupun yang hidup bersimbiose secara mutualistik dengan tanaman. Benang-benang miselium/hifa dari jamur benang (fungi) juga dapat mengikat agregat-agregat tanah untuk saling berikatan, sehingga tidak mudah rusak dan tahan terhadap tekanan fisik/ erosi (Subowo 2010).

Kandungan liat dan kandungan bahan organik menggambarkan kandungan kolloid tanah. Kolloid tanah ini baik kolloid liat maupun kolloid organik merupakan partikel tanah yang memiliki luas permukaan tempat terjadinya pertukaran hara. Semakin tinggi jumlah partikel ini maka semakin tinggi kemampuan untuk absorpsi hara dan ruang pori juga makin tinggi. Semakin tinggi partikel kolloid ini juga menunjukkan kesuburan tanah yang tinggi. Namun jumlah kandungan liat ini juga harus seimbang dengan jumlah komponen tanah yang lain. Jika kandungan kolloid liat yang mendominasi akan mengakibatkan rendahnya peredaran air dan udara dalam tanah rendah atau aerasi tanah, infiltrasi, perkolasi dan permeabilitas tanah rendah.

Kandungan bahan organik merupakan indikator paling penting dalam kesuburan tanah. Bahan organik bersifat multifungsi dalam tanah. Bahan organik mampu merubah sifat-sifat tanah, baik sifat fisik, kimia maupun sifat biologi tanah. Kandungan BO merupakan indikator paling penting dan menjadi kunci dinamika kesuburan tanah. Bahan organik mempunyai peran yang multifungsi, yaitu mampu merubah sifat fisik, sifat kimia dan sifat biologi tanah. Selain itu bahan organik juga mampu berperan mengaktifkan persenyawaan yang ditimbulkan dari dinamikanya sebagai ZPT (zat pengatur tumbuh), sumber Enzim (katalisator reaksi-reaksi persenyawaan dalam metabolisme kehidupan) dan Biocide (obat pembasmi penyakit dan hama dari bahan organik). Bahan organik dikatakan mampu merubah sifat fisik tanah, karena kondisi fisik tanah yang keras/liat (pejal) akan dapat berubah menjadi tanah yang gembur oleh adanya bahan organik. Akibatnya porositas dan permeabilitas tanah semakin baik sehingga aerasi udara meningkat, ini bermanfaat untuk menghindari kejenuhan air yang menyebabkan kebusukan akar (Munawar 2018).

Beberapa organisme tanah mampu meningkatkan kesuburan tanah melalui hasil samping yang dihasilkan, seperti organisme pelarut fosfat ataupun penambat N-bebas yang hidup bebas/soliter ataupun yang hidup bersimbiose secara mutualistik dengan tanaman. Benang-benang miselium/hifa dari jamur benang (fungi) juga dapat mengikat agregat-agregat tanah untuk saling berikatan, sehingga tidak mudah rusak dan tahan

terhadap tekanan fisik/ erosi. Fauna tanah yang hidup di dalam tanah dengan menggali lubang dan mencampur tanah dapat memperbaiki aerasi dan kesuburan tanah (Subowo 2010). Meningkatnya aktivitas organisme tanah yang mampu mencegah laju penyusutan bahan organik, memperbaiki aerasi dan agregat tanah, meningkatkan ketersediaan hara, dan mencegah berkembangnya hama penyakit tular tanah akan meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah.

1.4 Masalah Kesuburan Tanah di Indonesia

a. Penurunan kualitas lahan pertanian

Penurunan kualitas lahan pertanian merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi dalam pembangunan pertanian Indonesia. Sedangkan kebutuhan produksi pangan semakin meningkat setiap harinya seiring dengan bertambahnya penduduk di Indonesia. Degradasi tanah merupakan salah satu penyebab rendahnya produktivitas di Indonesia. Menurut Havlin et al (2005) kesuburan tanah akan semakin menurun akibat penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dan menyebabkan rusaknya sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Keadaan ini diperparah dengan banyaknya petani yang menggunakan pupuk buatan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk memenuhi kesejahteraan masyarakat petani tanpa harus mengurangi kualitas lahan pertanian. Berdasarkan permasalahan ini, maka diperlukan solusi untuk mengurangi pemakaian pupuk kimia (anorganik). Penggunaan pupuk organik dapat dijadikan salah satu solusi sebagai pengganti pupuk anorganik.

Bahan organik memiliki peran penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung tanaman. Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah, yang mempunyai peran sebagai bahan perekat antar partikel tanah (Lestari, 2009). Pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya berasal dari bahan-bahan organik. Pupuk organik dapat memperbaiki sifat fisik tanah, diantaranya memperbaiki struktur tanah, menaikkan daya resap tanah terhadap air, menaikkan kondisi kehidupan didalam tanah dan ketahanan terhadap erosi. Selain itu pupuk organik juga memperbaiki kehidupan biologi tanah dan menambah unsur hara dari proses mineralisasi humus (Setyamidjaja, 1986).

b. Kemasaman tanah

Tanah yang bereaksi asam (tanah masam) secara alamiah umumnya terdapat pada lahan-lahan yang selalu tergenang air atau berkelembaban tinggi seperti lahan gambut. Tingginya kandungan air pada tanah ditambah lagi terjadinya pembusukan sisa-sisa tanaman dalam suasana anaerob secara berkesinambungan menghasilkan ion-ion H^+ pada tanah.

Keasaman atau kealkalian tanah (pH tanah) adalah suatu parameter penunjuk keaktifan ion H^+ dalam suatu larutan, yang berkesetimbangan dengan OH^- tidak terdesosiasi dari senyawa-senyawa dapat larut dan tidak larut yang ada didalam sistem. Jadi intensitas keasaman dari suatu system dinyatakan dengan ph dan kapasitas keasaman dinyatakan dengan takaran H^+ terdesosiasi ditambah OH^- tidak terdesosiasi dalam sistem. Sistem tanah yang dirajai oleh ion-ion H^+ akan bersuasana asam.

Kemasaman tanah merupakan salah satu sifat yang penting sebab terdapat hubungan pH dengan ketersediaan unsur hara dan juga terdapat hubungan antara pH dengan proses pembentukan tanah. Kemasaman tanah ditentukan oleh dinamika H^+ di dalam tanah, ion H^+ yang terdapat dalam suspensi tanah berada keseimbangan antara ion H^+ yang terjerap. Akibat dari proses itu, maka dikenal dua jenis kemasaman, kemasaman aktif dan kemasaman potensial. Kemasaman aktif disebabkan oleh ion H^+ di dalam larutan tanah, sedangkan kemasaman potensial disebabkan oleh ion H^+ dan Al^{3+} yang terjerap pada permukaan kompleks jerapan.

BAB II. Tanah Masam dan Pengapuran

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 4. Sumber, penyebab dan dampak keasaman tanah. 5. Upaya untuk mengendalikan tanah masam.
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

2.1 Tanah Masam

Tanah masam merupakan tanah yang memiliki kandungan pH normal, yaitu dibawah 6. pH tanah yang normal adalah 6. Tanah yang pH nya kurang dari 6 disebut tanah asam dan tanah yang pH nya lebih dari 7 disebut tanah basa. Tanah masam bukan merupakan jenis tanah yang karakteristiknya alami dari asalnya. Namun tanah ini merupakan tanah yang sedang mengalami krisis. Dengan kata lain, tanah ini dapat dikembalikan supaya menjadi jenis tanah yang normal dengan menggunakan upaya-upaya khusus.

Tanah masam memiliki karakteristik dari tanah masam antara lain sebagai berikut:

1. Memiliki pH dibawah 6

Karakteristik yang pasti ada dan paling utama dari tanah masam adalah memiliki pH yang rendah yaitu dibawah 6. pH sendiri merupakan tingkat keasaman, yang dimaksud disini adalah tingkat keasaman pada tanah.

2. Memiliki daya simpan air yang sangat tinggi

Tanah masam memiliki karakteristik lain yaitu daya simpan air yang sangat tinggi. Jadi, tanah masam lebih tahan untuk menyimpan air daripada tanah yang memiliki pH normal. Apabila lebih tahan menyimpan air maka tanah ini lebih lembek daripada jenis tanah yang lainnya dan tentunya lebih lembab.

3. Memiliki daya isap air yang sangat tinggi

Karakteristik yang ketiga adalah memiliki daya isap air yang tinggi. Jadi tanah masam ini tidak mudah untuk membiarkan air menggenang di permukaan tanah terlalu lama. Tanah ini sangat mudah untuk menyerap air kemudian menyimpan di dalamnya.

4. Memiliki kapasitas penyangga basa yang sangat besar
Karakteristik selanjutnya dari tanah masam adalah tanah ini memiliki kapasitas penyangga basa yang sangat besar daripada jenis tanah yang lainnya.
5. Ada keracunan unsur Al, Mn, dan Fe pada tanaman
Tanaman yang ditanam di atas tanah masam diindikasikan mengalami keracunan Al, Mn dan juga Fe.
6. Memiliki kandungan N, P, K, Ca, Mo dan Mg yang sangat rendah
Tanah masam memiliki kandungan N, P, K, Ca, Mo dan juga Mg yang sangat rendah, lebih rendah daripada tanah yang memiliki pH normal.
7. Pengikatan unsur N dan kegiatan mikroba menurun
Pada tanah masam terdapat penurunan pada kegiatan mikroba maupun kemampuan pengikatan unsur N.
8. Magnesium (Mg) dan kapur dapat bertukar rendah
Magnesium dan juga kapur dapat bertukar rendah di tanah masam ini.
9. Terkadang disertai kekurangan unsur Cu dan S
Di tanah masam terkadang disertai juga kekurangan kandungan unsur- unsur Cu dan S.

Pada lahan-lahan pertanian terjadinya kemasaman tanah bisa disebabkan beberapa hal:

1. Hujan asam karena adanya CO_2 , SO_2 , SO_3 diudara terlarut dalam air dan beraksi menjadi asam karbonat, asam sulfit dan asam sulfat. Asam-asam ini akan menyebar kesegala penjuru lewat selokan, anak sungai sungai, kembali lagi naik kewaduk, dam kembali kepersawahan. Sumber gas-gas tersebut bias karena letusan gunung api, asap pembakaran hutan, pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, dan pembakaran-pembakaran lain yang sebagian besar menghasilkan gas CO_2 (misalnya pembakaran sampah yang terjadi dimana-mana).
2. Proses pembusukan bahan organik dalam tanah, Karena dalam tanah terjadi dekomposisi bahan organik oleh bakteri dan menghasilkan asam.
3. Jenis batuan yang memang bersifat asam misalnya batuan sedimen yang berasal dari gunung berapi.
4. Penggunaan pupuk ZA (*Zwaqavelzuur Amonia*) yang rumus kimianya $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ini adalah sebenarnya garam yang berasal dari basalemah NH_4OH dengan asam kua H_2SO_4 , maka hasilnya H_2O dan pupuk tadi.
5. Mineral-mineral memiliki kecenderungan untuk menyerap ion OH^- dari air dan melepaskan H^+ (asam). Hal ini dijelaskan dengan berbagai teori, antara lain hidrolisis..

6. Hasil dekomposisi oleh bakteri adalah asam. Bakteri juga menghasilkan asam untuk membantu menghancurkan materi yang akan didekomposisi.
7. Jenis perairan wilayah. Contohnya pada daerah Kalimantan, perairan masih bersifat asam (sudah diuji dengan berbagai indikator), tidak heran sifat tanah di sana juga bersifat asam. Misalnya tanah gambut dan sebagainya.

Faktor Penyebab kemasaman tanah :

1. Air Hujan

Ada kekhawatiran tentang hujan asam, tetapi hampir semua hujan adalah ber pH rendah (asam). Air Hujan murni yang tidak mengandung bahan pencemar pada dasarnya adalah air distilasi. Air hujan ini yang dalam kesetimbangan dengan atmosfer akan memiliki pH sekitar 5,6 karena pelarutan karbondioksida di dalam air. Ketika air hujan murni berada dalam kesetimbangan dengan karbondioksida, maka konsentrasi ion hidrogen yang dihasilkan menyebabkan pH 5,6.

Curah hujan yang tinggi ditambah lagi dengan temperatur yang tinggi menyebabkan terjadinya pelapukan yang intensif, proses mineralisasi berjalan sangat intensif. Air yang berlebih menyebabkan pencucian hasil-hasil mineralisasi terutama kation-kation basa (Ca, Mg, K, Na) yang mengakibatkan pada kompleks jerapan tanah dipenuhi oleh ion H^+ dan Al^{+3}

2. Respirasi Akar

Tanaman juga menghasilkan karbondioksida karena proses respirasi akar, dan selama periode pertumbuhan aktif akar dapat menyebabkan karbondioksida di tanah yang konsentrasinya lebih tinggi beberapa kali dari di atmosfer, sehingga terjadi peningkatan jumlah karbondioksida terlarut dalam air tanah dan menyebabkan peningkatan keasaman tanah atau pH menjadi lebih rendah.

3. Pupuk

Karbondioksida bukan satu-satunya sumber ion hydrogen dalam tanah, namun. Pada tanah yang dikelola, pupuk dapat menjadi sumber utama ion hidrogen.

Dampak tanah masam :

1. Unsur-unsur logam berat terutama aluminium pada tanah menjadi bentuk terlarut sehingga diserap tanaman secara berlebihan dan meracuni tanaman.
2. Suplai unsur hara bagi tanaman menjadi tidak berimbang sebagaimana yang dibutuhkan. Ada yang berlebih, dan ada yang kurang karena unsur hara berubah bentuk.
3. Kapasitas tukar kation tanah menjadi rendah sehingga tidak terjadi pertukaran ion yang optimal dan seimbang antara agregat tanah dan akar.

4. Perakaran tanaman mengalami gangguan dan penurunan fungsi dalam menyerap unsur hara.
5. Tanah yang bersifat asam menjadi media tumbuh yang cocok untuk jamur parasit dan menular pada tanaman.
6. Bakteri menguntungkan akan terhambat pertumbuhannya dan kurang bisa bersimbiosis dengan tanaman.

2.2 Pengapuran

Ada beberapa metode perlakuan untuk menaikkan pH tanah, tergantung kapan saatnya, bagaimana tipe lahannya, dan bagaimana situasi cuacanya. Salah langkah yang dapat dilakukan adalah dengan pemberian kapur, seperti dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) atau kalsit (CaCO_3). Kegiatan pengapuran merupakan upaya untuk menaikkan pH tanah dengan cara menambahkan kapur ke dalam tanah.

Pengapuran adalah pemberian kapur ke tanah yang bertujuan menambahkan unsur Ca untuk menetralkan kemasaman tanah, guna meningkatkan ketersediaan unsur-unsur hara bagi pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu pH tanah perlu dinaikkan agar unsur-unsur hara seperti P mudah diserap tanaman dan keracunan Al dapat dihindarkan. Pengapuran merupakan teknologi yang paling tepat dalam pemanfaatan tanah masam didasarkan atas beberapa pertimbangan. Pertama, reaksi kapur dapat menaikkan pH tanah dan menurunkan kelarutan Al yang meracun. Kedua, respons tanaman semakin baik dengan pemberian kapur pada tanah masam. Ketiga, efek sisa kapur atau manfaat kapur dapat bertahan hingga 3 sampai 4 tahun berikutnya. Keempat, bahan kapur cukup tersedia dan relatif murah, termasuk di Indonesia. Tujuan dari pengapuran pada intinya adalah bagaimana supaya tanah memiliki pH yang sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kelarutan Al dalam tanah dapat ditekan. Cara pengapuran sendiri yang sesuai dengan rekomendasi pengapuran adalah :

1. Tanah diolah baik itu dicangkul atau dibajak.
2. Kapur ditabur merata diatas permukaan tanah, dengan dosis kapur sesuai dengan kebutuhan tanaman dan tingkat kejenuhan Al.
3. Tanah diaduk hingga kedalaman 20 cm
4. Dibiarkan selama 2 minggu baru kemudian ditanami.

Dosis kapur dapat mengacu pada tabel berikut :

Tabel 1. Dosis dolomit menurut pH tanah.

No.	pH Tanah	Dolomit (ton.ha ⁻¹)
1.	4,0	10,00
2.	4,5	7,80
3.	5,0	5,50
4.	5,5	3,10
5.	6,0	0,75

Manfaat kapur yang diberikan kedalam tanah adalah :

1. Menurunkan pH tanah
2. Menurunkan kelarutan Al
3. Meningkatkan kandungan unsur hara Ca dan Mg.
4. Memperbaiki tekstur, struktur dan memantapkan agregat tanah
5. Menurunkan tingkat bahaya erosi karena agregat tanah yang mantap
6. Memperbaiki sifat biologi tanah seperti aktivitas mikro organisme.

Prinsip Pengapuran.

Hal utama yang harus diperhatikan dan menjadi prinsip dasar dalam pengapuran tanah adalah :

1. Pemberian kapur harus sesuai dengan dosis anjuran daerah setempat.
2. Penaburan, pembenaman dan pencampuran kapur ketanah harus dalam dan rata.

Jenis Kapur.

Kapur yang digunakan untuk pengapuran tanah adalah kapur pertanian yang berupa bahan alamiah yang mengandung senyawa Kalsium (Ca) atau Magnesium (Mg). Kapur yang mengandung Ca disebut Kalsit dengan rumus molekul CaCO_3 , bila bahan alamiah kapur sedikit mengandung Mg maka disebut Dolomit dengan rumus molekul $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Kapur pertanian selain Kalsit dan Dolomit dapat juga berupa kapur tohor, kapur tembok, kulit kerang dan terak baja.

Perhitungan kebutuhan kapur :

Jika tanah mengandung Al-dd sebanyak 1.2 me/100 g tanah dan akan ditekan atau ditiadakan dengan kapur pertanian CaCO_3 sebanyak 2 kali Al-dd, maka jumlah Ca^{++} perlu setara dengan jumlah Al-dd tersebut. Untuk perhitungannya dapat dilakukan sebagai berikut :

Kebutuhan kapur = $1 \times BA \text{ Ca}^{++} / \text{valensi} \times \text{me Al-dd} / 100\text{g tanah}$

$$(\text{Ca}^{++}) = 1 \times 40/2 \times 1.2 \text{ mg}/100 \text{ g tanah}$$

$$= 1 \times 20 \times 1.2 \text{ mg}/100 \text{ g tanah}$$

$$= 24 \text{ mg Ca}/100 \text{ g tanah}$$

$$= 240 \text{ mg}/1000 \text{ g tanah}$$

$$= 240 \text{ mg Ca}/\text{kg tanah}$$

Jika berat tanah 1 Ha = 2.000.000 kg (BV= 1), maka :

$$\text{Kebutuhan kapur} = 2.10^6 \times 240 \text{ mg Ca}/\text{ha}$$

$$(\text{Ca}^{++}) = 480.10^6 \text{ mg}/\text{ha}$$

$$= 480 \text{ kg Ca}/\text{ha}$$

$$\text{CaCO}_3/\text{Ha} = (\text{BM CaCO}_3/\text{BA CA}) \times 480 \text{ kg Ca}/\text{Ha}$$

$$= (100/40) \times 960 \text{ kg Ca}/\text{Ha}$$

$$= 1200 \text{ kg CaCO}_3/\text{Ha}$$

BAB III. UNSUR HARA TANAH

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : <ol style="list-style-type: none">1. Hubungan kondisi tanah dan unsur hara2. Hubungan unsur hara dan kesuburan tanah3. Proses penyerapan hara oleh tanaman.4. Organ-organ penyerap hara pada tanaman
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

3.1 Pembagian Unsur Hara Tanah

Tanaman untuk dapat tumbuh dengan baik membutuhkan beberapa hal yaitu antara lain:

1. Air (H_2O)
2. Karbon Dioksida (CO_2)
3. Cahaya
4. Oksigen (O_2)
5. Unsur-unsur Hara (Mineral Nutrients)

Unsur hara tanaman yang merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, dapat dibagi menjadi beberapa, yaitu:

1. Hara makro (*macronutrients*)

Unsur hara ini merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Hal ini dikarenakan unsur hara tersebut terdapat dalam jaringan tanaman dengan konsentrasi $> 0,1\%$ bahan kering. Unsur hara yang masuk golongan unsur hara makro antara lain: (C, H, O), N, P, K, Ca, Mg, S. Hara makro juga dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu Makro primer : N, P, K dan Makro sekunder : Ca, Mg, S. Hara makro yang dibutuhkan tanaman, sebagian besar didapatkan dari dalam tanah

2. Hara mikro (*micronutrients*)

Unsur hara ini merupakan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Hal ini dikarenakan unsur hara tersebut terdapat dalam jaringan tanaman dalam konsentrasi $0,01\%$. Unsur hara yang masuk golongan unsur hara mikro antara lain: Fe,

Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl. Hara mikro yang dibutuhkan tanaman, sebagian besar didapatkan dari dalam tanah.

Tabel 2. Pembagian unsur hara tanah menurut sumbernya

Unsur hara makro		Unsur hara mikro
Udara	Tanah	Tanah
C (karbon)	N (Nitrogen)	Fe (besi)
H (hidrogen)	P (fosfor)	Mn (mangan)
O (oksigen)	K (kalium)	B (boron)
	Ca (kalsium)	Mo (molibdenum)
	Mg (magnesium)	Cu (tembaga)
	S (belerang)	Zn (seng)
		Cl (klor)

Tabel 3. Bentuk-bentuk hara yang dapat diserap oleh

Unsur Hara	Bentuk yang diserap	Unsur Hara	Bentuk yang diserap
N	NH_4^{+} , NO_3^{-}	Fe	Fe^{+2} , Fe^{+3}
P	HPO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$	Mn	Mn^{+2} , Mn^{+4}
K	K^{+}	B	BO_3^{-3}
Ca	Ca^{+2}	Mo	MoO_4^{-2}
Mg	Mg^{+2}	Cu	Cu^{+} , Cu^{+2}
S	SO_4^{-2}	Zn	Zn^{+2}
C	CO_2	Cl	Cl^{-}
H	H_2O		
O	O_2		

Jika dilihat dari kondisi Unsur Hara didalam tanah, terdapat beberapa konsep mengenai unsur hara:

1. Hara total : Total hara merupakan unsur hara didalam tanah, baik tersedia dan tidak tersedia, baik bersumber dari alamnya (mineral) maupun jika tambahan dari luar seperti kegiatan pemupukan pupuk anorganik.
2. Hara tidak tersedia : kondisi unsur hara yang tidak tersedia untuk tanaman, karena syarat ketersediaannya tidak terpenuhi. Hara tidak tersedia ini tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman.

3. Hara tersedia : merupakan kondisi unsur hara yang tersedia untuk tanaman karena syarat tersedianya terpenuhi, seperti :
 - a. Bentuk, yang menunjukkan bahwa masing-masing unsur hara memiliki bentuk yang berbeda sebagai syarat dapat diserap oleh tanaman. Jika bentuk belum sesuai, maka tanaman tidak dapat menyerap unsur hara tersebut dan nantinya akan mempengaruhi proses yang terjadi didalam tubuh tanaman seperti fotosintesis.
 - b. Reaksi tanah (pH) lingkungan
 - c. Kadar lengas
 - d. Batuan induk
 - e. Tekstur (Lempung)
 - f. Bahan organik

Unsur hara dapat juga disebut sebagai unsur Hara esensial bagi tanaman, tetapi tidak semua unsur hara merupakan Unsur Hara Esensial. Kriteria Esensialitas hara antara lain:

1. Tanpa unsur tersebut tanaman tidak dapat menyelesaikan daur hidupnya (life cycle).
2. Fungsi unsur tersebut harus spesifik & tidak dapat digantikan oleh unsur lain.
3. Unsur tersebut harus berperan langsung dalam pertumbuhan dan metabolisme tanaman.

Saat ini tidak kurang dari 16 unsur hara esensial dibutuhkan tumbuhan hijau untuk kehidupannya. Disebut unsur hara esensial, karena tanaman tidak akan dapat hidup tanpa unsur-unsur tersebut, dan bila kekurangan tumbuh tidak normal. Ke 16 unsur hara tersebut adalah: karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), Fosfor (P), sulfur (S), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), molibdenum (Mo), boron (B), dan khlor (Cl). Tumbuhan hijau memperoleh karbon sebagai karbon-dioksida dari udara; oksigen dan hidrogen dari air, sedang unsur lain diambil dari dalam tanah. Berdasar pada keberadaan dalam tanaman secara normal. Unsur hara nitrogen, fosfor, sulfur, kalium, kalsium, dan magnesium, dikenal sebagai unsur hara esensial makro, karena dibutuhkan dalam jumlah relatif banyak; sedang unsur hara mikro esensial dibutuhkan relatif sedikit, adalah besi, mangan, tembaga, seng, boron, molibden, dan khlor.

3.2 Dinamika Unsur Hara dalam Tanah

Keberadaan unsur hara di dalam tanah sifatnya dinamis. Dalam tanah, unsur hara terdapat pada tiga kondisi/bentuk :

1. Unsur hara di kompleks penyimpanan.

Unsur hara yang pada kondisi di kompleks penyimpanan ada dalam bentuk senyawa. Kompleks penyimpanan ini antara lain: mineral tanah, Bahan organik dan Senyawa yang mengendap. Sifat unsur hara disini berada pada kondisi ketersediaan lambat s/d sangat lambat untuk tanaman.

2. Unsur hara di dalam kompleks pertukaran.

Unsur hara yang pada kondisi di dalam kompleks pertukaran ini sudah berupa ion yang terikat lemah sehingga dapat ditukar dengan ion lain. Sifat ketersediaannya tersedia lambat s/d sedang.

3. Unsur hara di dalam larutan tanah.

Unsur hara yang pada kondisi di dalam larutan tanah ini merupakan ion bebas dalam larutan tanah, sehingga ketersediaannya cepat s/d sangat cepat untuk tanaman.

Semua unsur hara tanaman, kecuali karbon, hidrogen dan oksigen, berasal dari tanah. Sistem tanah digambarkan oleh para pakar tanah terdiri dari fase padat, cair, dan gas. Fase ini secara fisik dapat terpisah-pisah. Perharaan tanaman berbasis pada fase padat berdisosiasi dengan fase cairan; kebiasaan lintasan masuk ke dalam sistem tanaman melalui akar dan sel-sel tanaman. Lintasan ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$M (\text{padatan}) \rightarrow M (\text{larutan}) \rightarrow M (\text{akar tanaman}) \rightarrow M (\text{tajuk tanaman})$$

'M' adalah unsur hara bergerak kontinyu melalui sistem tanah menuju tanaman. Operasional sistem ini tergantung pada energi matahari melalui aktivitas fotosintesis dan metabolisme. Kejadian ini merupakan fenomena alami sederhana, namun dapat dijelaskan secara detail melalui proses fisik dan fisiko-kimia berkaitan dengan reaksi-reaksi dan lintasan. Transfer aktual di alam menempati muatan ion-ion, berupa bentuk di mana unsur makanan tanaman dijumpai dalam larutan (fase cair dalam sistem). Akar tanaman mengangkut ke atas unsur-unsur dari tanah dalam bentuk ion-ion. Muatan ion-ion positif disebut 'kation' meliputi kalium (K^+), kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), besi (Fe^{2+}), tembaga (Cu^{2+}), seng (Zn^{2+}), dan lain-lain. Ion-ion bermuatan negatif disebut 'anion, contohnya nitrat (NO_3^-), mono fosfat ($H_2PO_4^-$), sulfur (SO_4^{2-}), Klor (Cl^-), dan lain-lain. Oleh karena hampir seluruh unsur hara esensial tanaman diambil dari dalam tanah, maka tanah berperan sangat penting

sebagai sumber unsur hara; di samping sebagai medium tumbuh akar tanaman. Sebagian unsur hara diikat kompleks jerapan dan sebagian lagi larut sebagai senyawa atau ion dalam cairan tanah.

3.3 Kandungan Unsur Hara dalam Tanah

Harkat hara dalam tanah dan tanaman terdapat dalam beberapa kondisi:

1. Sangat Rendah :

Pada keadaan ini tanaman menderita gejala kekurangan hara. Produksi tanaman sangat rendah, apabila dipupuk menunjukkan respon yang nyata dan produksi tanaman meningkat, gejala kekurangan hara menghilang.

2. Rendah:

Sebagian tanaman menampilkan gejala kekurangan hara, produksi tanaman rendah dan bila dipupuk dengan pupuk yang mengandung hara ini, produksi naik, cukup memadai atau menunjukkan tanggapan terhadap pemupukan.

3. Cukup, Sedang, Medium :

Keadaan hara dalam tanah cukup, produksi memadai, bila dipupuk dengan pupuk yang mengandung hara ini sedikit menunjukkan produksi atau masih tanggap terhadap pemupukan.

4. Tinggi :

Tanaman umumnya menampilkan gejala pertumbuhan normal dan pemupukan tidak nyata meningkatkan produksi atau tanaman kurang tanggap terhadap pemupukan. Keberadaan unsur hara di dalam tanah sifatnya dinamis. Dalam tanah, unsur hara

5. Sangat tinggi :

Bila kadarnya melampaui ambang batas toleransi, sebagian tanaman akan menunjukkan gejala penyimpangan pertumbuhan. Penyimpangan berupa keracunan hara, produksi menunjukkan penurunan secara nyata

3.4 Proses Penyerapan Hara Oleh Tanaman

Unsur hara sangat penting dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Unsur hara dibutuhkan tanaman ada yang dalam jumlah atau kuantitas yang tinggi (unsur hara makro) dan ada yang dibutuhkan dalam jumlah atau kuantitas kecil (unsur hara mikro). Pertumbuhan terjadi jika tanaman memperoleh hara yang cukup dan kekurangan salah satu unsur dari nutrisi tanaman berpengaruh pada proses pertumbuhan tanaman (Sagala et al., 2022). Jumlah dan kecepatan penyerapan air, oksigen, dan unsur hara oleh tanaman tergantung pada kemampuan akar menyerap larutan tanah serta

kemampuan tanah untuk mensuplai air, oksigen, dan hara ke akar tanaman (Almendro-Candel et al., 2018). Kecukupan hara ini sangat tergantung pada proses penyerapan hara oleh tanaman, sehingga mekanisme penyerapan hara ini sangat perlu menjadi perhatian.

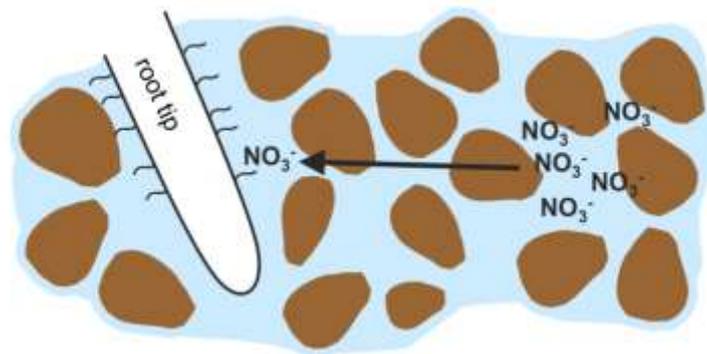
Proses perpindahan unsur hara dari dalam tanah ke tanaman terjadi melalui salah satu dari tiga proses, yaitu :

1. Difusi (*Diffusion*)

Pengertian difusi merupakan proses penyerapan hara karena adanya perbedaan konsentrasi, hara bergerak dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Jumlah ion/hara yang terdifusikan ke akar dipengaruhi oleh :

- Jumlah kandungan air/lengas tanah
- Konsentrasi hara pada permukaan akar
- Konsentrasi hara dalam keseimbangan

Pada proses difusi ini, hara berpindah menuju apoplas, lalu ke membran sel untuk selanjutnya didistribusikan ke jaringan lain untuk proses metabolisme dan pertumbuhan tanaman.



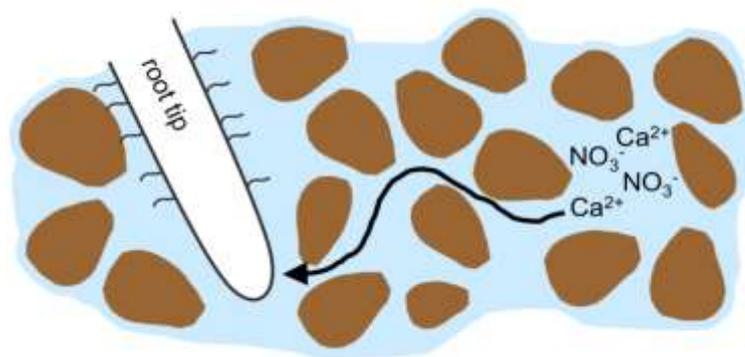
Gambar 3. Proses difusi unsur hara

Mekanisme perpindahan hara secara difusi adalah perpindahan ion akibat perbedaan konsentrasi. Ion akan berpindah dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Perubahan konsentrasi di permukaan akar disebabkan hara mengalir ke akar, sehingga konsentrasi menjadi rendah. Pada kondisi konsentrasi yang rendah, ion akan disuplai dari larutan tanah yang memiliki konsentrasi lebih tinggi. Difusi terjadi karena konsentrasi unsur hara pada permukaan akar tanaman lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi hara pada larutan tanah, pada permukaan koloid liat serta pada permukaan koloid organik. Kondisi ini terjadi karena sebagian besar unsur hara tersebut telah diserap oleh akar tanaman. Tingginya konsentrasi unsur hara pada ketiga posisi tersebut menyebabkan terjadinya peristiwa difusi dari unsur

hara berkonsentrasi tinggi ke posisi permukaan akar tanaman. Hara yang telah berada di permukaan akar akan diserap tanaman melalui dua proses, yaitu: proses aktif dan selektif. Proses aktif adalah proses penyerapan unsur hara yang memerlukan energi aktif, sehingga harus tersedia energi metabolik yang dihasilkan dari proses pernapasan akar tanaman. Selama proses pernapasan akar tanaman akan menghasilkan energi metabolik yang berfungsi untuk mendorong berlangsungnya penyerapan unsur hara. Penyerapan hara aktif akan ditentukan oleh aktivitas pernapasan akar tanaman.

2. Aliran massa (*Mass Flow*)

Aliran massa merupakan proses perpindahan hara dengan air tanah sebagai perantara, yang terutama disebabkan oleh daya serap akar. Gerakan air dalam tanah memungkinkan terjadinya kontak air-akar sehingga hara dapat bergerak ke dalam akar.



Gambar 4. Proses aliran massa

Hara-hara yang relatif lebih banyak terdapat di larutan tanah seperti N akan lebih banyak diserap melalui aliran massa. Pada tanah dengan kandungan pasir tinggi, K ditransportasikan melalui proses aliran massa, dan menyebabkan tingginya kehilangan K dari tanah permukaan tanah (Siswanto, 2019). Pada kondisi adanya aplikasi mikoriza, proses penyerapan hara akan lebih banyak dengan adanya bantuan hifa melalui proses aliran massa terutama untuk hara N, P dan K.

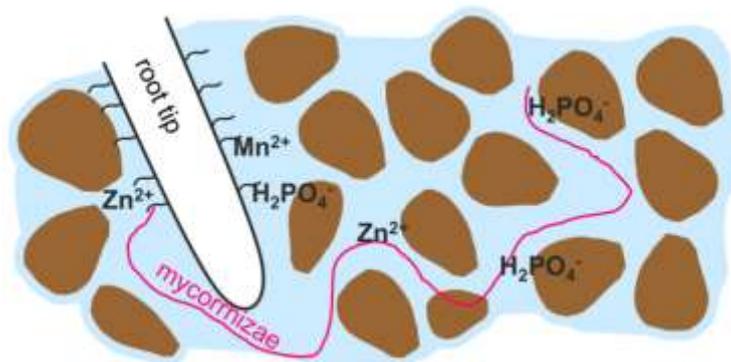
Pada aliran massa, ion dan bahan lain akan berpindah bersama dengan aliran air ke akar. Aliran air terjadi akibat perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan disebabkan adanya transpirasi. Mekanisme aliran massa adalah gerakan unsur hara di dalam tanah menuju ke permukaan akar bersama-sama dengan gerakan massa air. Selama proses transpirasi tanaman berlangsung, terjadi juga proses penyerapan air oleh akar tanaman. Terserapnya air karena adanya perbedaan potensial air yang disebabkan oleh proses transpirasi tersebut. Nilai potensial air di dalam tanah lebih rendah dibandingkan dengan

permukaan bulu akar sehingga air tanah masuk kedalam jaringan akar. Pergerakan massa air ke akar tanaman akibat langsung dari serapan massa air oleh akar tanaman berikut juga unsur hara yang terkandung dalam air tersebut.

3. Persinggungan akar (*Root Interception*)

Pertumbuhan akar dan terbentuknya bulu akar baru menyebabkan terjadi persinggungan antara akar dengan ion hara tanaman. Pertumbuhan bulu akar akan menembus pori agregat tanah dan bersinggungan dengan ion/hara yang ada. Bila ion dalam bentuk tersedia, maka terjadi pertukaran ion dan kemudian ion masuk ke dalam tubuh tanaman. Persinggungan akar ditentukan oleh :

- Hara yang tersedia pada volume tanah yang ditempati oleh akar
- Volume tanah yang ditempati oleh akar
- Pori-pori tanah
- Akar.



Gambar 5. Proses persinggungan akar unsur hara

Proses masuknya unsur hara ke dalam jaringan tanaman bersifat sangat selektif. Agar dapat digunakan untuk proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, ion hara berpindah melalui epidermis dan korteks menuju bagian endodermis. Bagian endodermis berperan dalam mengendalikan serapan hara ke dalam tabung vaskular sentral akar (stele). Proses tersebut juga merupakan bentuk selektivitas dalam transfer ion di sistem vascular.

Perpindahan hara dari dalam tanah dan larutan tanah menuju permukaan akar dengan mekanisme intersepsi dan persinggungan, aliran masa, dan difusi. Mekanisme perpindahan hara secara intersepsi dan persinggungan disebabkan oleh terjadinya pertumbuhan akar tanaman dan terbentuknya bulu akar. Pembentukan akar dan bulu akar akan menyebabkan persinggungan dengan ion yang ada dalam tanah. Persinggungan akar dengan tanah akan mengakibatkan pertukaran ion dan ion akan

masuk ke akar. Mekanisme yang terjadi pada intersepsi akar adalah pergerakan akar tanaman yang memperpendek jarak antara tanaman dengan keberadaan unsur hara. Peristiwa ini terjadi karena akar tanaman tumbuh dan memanjang, sehingga memperluas jangkauan akar tersebut. Perpanjangan akar tersebut menjadikan permukaan akar lebih mendekati posisi keberadaan unsur hara, baik unsur hara yang ada dalam larutan tanah, permukaan koloid liat, maupun permukaan koloid organik.

3.5 Organ-organ Penyerap Hara Pada Tanaman

Organ penyerapan hara pada tanaman terdiri atas dua macam yaitu daun dan akar. Organ daun terdiri atas jaringan epidermis, jaringan mesofil, dan jaringan pengangkut. Jaringan epidermis terdiri atas satu lapis sel, berbentuk balok, dinding selnya mengalami penebalan dari zat kutin (kutikula) atau lignin. Pada jaringan epidermis terdapat stomata (mulut daun) yang terletak di antara dua sel penutup. Letak stomata terkadang terdapat di permukaan atas dan ada yang terdapat di permukaan bawah atau ada yang terdapat di permukaan atas dan bawah daun. Struktur stomata dapat membuka dan menutup dan berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran gas dan air. Selain itu pada jaringan epidermis juga terdapat modifikasi berupa trikoma (rambut) dan sel kipas. Struktur jaringan epidermis bervariasi dalam hal jumlah lapisan, bentuk, struktur, susunan stomata, penampilan, dan susunan trikoma, serta adanya sel khusus. Umumnya permukaan atas daun disebut adaksial, sedangkan permukaan bawah daun disebut abaksial. Jaringan mesofil terdiri atas parenkim pagar dan bunga karang. Jaringan parenkim pagar mengandung kloroplas dan berfungsi untuk fotosintesis.

Jaringan palisade susunannya lebih rapat, hal ini berbeda bila dibandingkan dengan jaringan spons terdiri dari sel bercabang yang tak teratur bentuknya. Bentuk sel parenkim spons dapat berbentuk bermacam-macam. Secara spesifik ditandai adanya rongga yang terdapat antara sel satu dan lainnya. Berkas pengangkut terdiri atas xylem dan floem. Sel berkas pengangkut ini berdinding tipis untuk memudahkan terjadinya transpor antar sel (Campbel, 2005; Mulyani, 2006).

Organ akar terdiri atas jaringan epidermis, korteks, endodermis dan jaringan pengangkut. Struktur terluar dari organ akar adalah jaringan epidermis dan terdiri atas selapis sel yang rapat serta berdinding tipis. Terkait fungsinya dalam proses penyerapan air, jaringan epidermis bersifat semipermeabel dan mudah ditembus air. Sedangkan terkait fungsinya sebagai pelindung jaringan epidermis mengalami penebalan sehingga strukturnya lebih kuat. Pada permukaan epidermis terdapat bulu-bulu akar yang merupakan modifikasi dari jaringan epidermis dan berfungsi untuk menyerap air dan

unsur hara. Jaringan dasar berupa korteks yang terdiri atas banyak sel dan mempunyai dinding sel yang tipis. Di dalamnya terdapat ruang-ruang antar sel sebagai tempat penyimpanan udara dan pertukaran gas. Korteks mengelilingi silinder pusat dan berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan. Jaringan-jaringan yang terdapat pada korteks antara lain adalah parenkim, kolenkim, dan sklerenkim. Endodermis terletak di sebelah dalam korteks. Endodermis terdiri atas satu lapis sel yang tersusun rapat tanpa ruang antar sel, dinding selnya mengalami penebalan gabus. Deretan sel-sel endodermis dengan penebalan gabus disebut pita kaspari. Dengan adanya penebalan gabus ini maka tidak dapat ditembus air sehingga air harus masuk ke silinder pusat melalui sel endodermis yang dindingnya tidak menebal, yang disebut sel penerus air. Endodermis merupakan pemisah yang jelas antara korteks dan stele atau silinder pusat. Silinder pusat merupakan lapisan yang terletak di tengah akar di sebelah dalam endodermis. Didalam silinder pusat terdapat pembuluh kayu (xylem) dan pembuluh tapis (floem) yang berfungsi untuk pengangkutan air dan mineral.

BAB IV. UNSUR HARA NITROGEN (N)

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Karakteristik unsur hara Nitrogen 2. Sumber dan transformasi N dalam tanah
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

4.1 Karakteristik unsur hara nitrogen

Unsur hara Nitrogen (N) merupakan hara makro esensial bagi tanaman yang artinya harus mutlak harus ada, dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Unsur hara ini merupakan hara mobile dalam tanaman dan tanah (mudah bergerak dan berpindah tempat). Unsur ini diserap tanaman dalam bentuk ion nitrat (NO_3^- atau amonium NH_4^+) dari tanah. N umumnya menjadi faktor pembatas pada tanah-tanah yang tidak dipupuk. Kadar N dalam berat kering tanaman adalah sekitar 1-5 %, tergantung spesies dan fase pertumbuhan tanaman. Konsentrasi N lebih tinggi pada jaringan tanaman muda, kandungan N total dalam tanaman menurun dengan bertambahnya umur tanaman. mikro).

Nitrogen adalah unsur yang berpengaruh cepat terhadap pertumbuhan tanaman. Bagian vegetatif berwarna hijau cerah hingga gelap bila kecukupan N; karena ia berfungsi sebagai regulator penggunaan kalium, fosfor dan unsur-unsur lain dalam proses fotosintesis. Bila kekurangan N, tanaman kerdil dan pertumbuhan perakaran terhambat. Daun-daun berubah kuning atau hijau kekuningan (klorosis, kekurangan klorofil) dan cenderung gugur. Di lain pihak, bila N berlebihan akan terjadi penebalan dinding sel; jaringan bersifat sukulen (berair), dan mudah rebah atau terserang hama penyakit.

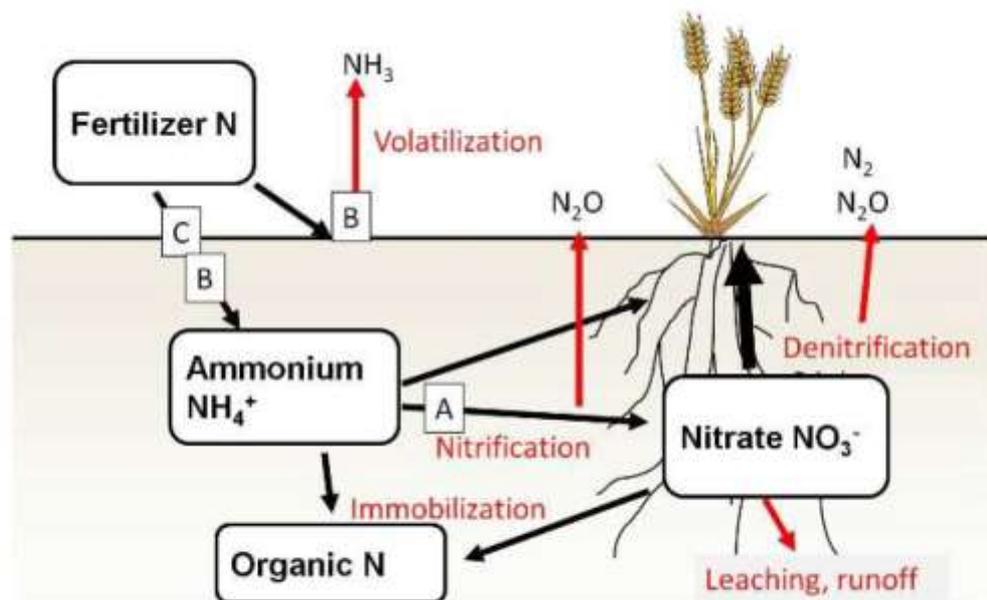
Sumber alami Nitrogen

Nitrogen disediakan secara cepat oleh batuan dan mineral batuan beku, tetapi komponen utama adalah berasal dari atmosfer (79%). Di sini dijumpai molekul gas yg sangat stabil (N_2), merupakan bagian yang tidak mudah lepas. Di bagian atas atmosfer dapat dibagi menjadi radikal oleh radiasi ultraviolet, segera bersenyawa dengan oksigen menjadi berbagai oksida nitrat (N_2O , NO , NO_2), dan kemudian dengan air membentuk asam nitrat fertil ($3\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$). Senyawa ini juga pembentuk inti awan hujan melalui energi tinggi muatan petir.

Tahun 1914 ilmuwan Jerman Fritz Haber dan Carl Bosch, pemenang hadiah Nobel menemukan proses fiksasi nitrogen secara industri dari nitrogen murni dikombinasikan dengan amoniak (NH_3) sebagai methane (CH_4), menggunakan gas alam sebagai sumber energi. Sebagian amoniak direaksikan dengan karbon dioksida menghasilkan urea, pupuk lambat tersedia (slow-release fertiliser). Sisa amoniak dikonversikan menjadi amonium nitrat ($\text{NH}_3 \cdot \text{NO}_3$), pupuk sangat cepat tersedia dan berdaya tinggi. Oleh karena biaya gas alam sangat murah, pupuk buatan baru ini memegang kendali dalam revolusi hijau (green revolution), bersama dengan kultivar unggul produksi tinggi.

Nitrogen tanah berasal dari berbagai sumber, yaitu: (1) hasil dekomposisi bahan organik; (2) penambatan gas N_2 atmosfer oleh bakteri Rhizobium bersimbiose dengan tanaman leguminosae; (3) penambatan gas N_2 atmosfer non-simbiotik oleh jasad mikro tanah seperti Azotobacter dan Clostridium; (4) penambatan gas N_2 atmosfer oleh ganggang hijau biru bersimbiose dengan paku air, (5) terdapat dalam air hujan; (6) terbawa asap gunung berapi; dan (7) sebagai pupuk organik maupun anorganik.

Siklus Nitrogen



Gambar 3.1. Siklus hara Nitrogen (N)

Gambar 6. Siklus hara Nitrogen (N)

4.2 Transformasi N dalam tanah

Nitrogen diambil akar dalam bentuk ion NH_4^+ dan NO_3^- . Di dalam tanah, nitrogen bersifat mobil dan mudah mengalami perubahan bentuk (transformasi). Pada kondisi tertentu ia menjadi tidak tersedia karena terikat atau terfiksasi. Perubahan-perubahan ini umumnya dilakukan oleh jasad mikro tanah. Beberapa di antaranya jasad mikro spesifik kondisi aerobik atau anaerobik. Aktivitas jasad, di satu pihak menyediakan N bagi tanaman, tetapi di lain pihak menyebabkan ketidak-tersediaan.

Nitrogen tanah kebanyakan berada dalam bentuk senyawa organik. Perombakan merupakan proses dekomposisi atau mineralisasi senyawa N dari kompleks menjadi lebih sederhana; dengan urutan, yaitu: aminisasi, amonifikasi, dan nitrifikasi. Proses-proses tersebut diterangkan sebagai berikut:

a. Aminisasi

Merupakan proses pelepasan senyawa amina dari perombakan senyawa organik mengandung nitrogen, dalam hal ini adalah protein:

Protein R-NH_4^+ + CO_2 + senyawa lain + energi

b. Amonifikasi

Perubahan komponen secara cepat menjadi ammonium (NH_4^+)

c. Nitrifikasi

Proses ini merupakan proses perubahan bentuk dari ammonium menjadi nitrat oleh kegiatan mikroorganisme nitrifikasi. Mikroorganisme ini menggunakan sumber karbon (C) lain dan energi dari oksidasi ammonium menjadi nitrat. Organisme yg berperan dlm proses nitrifikasi :

Untuk merubah NH_4^+ menjadi NO_2^- adalah Nitrosomonas

Untuk merubah NO_2^- menjadi NO_3^- adalah Nitrobacter

Hal-hal yang mempengaruhi Nitrifikasi :

1. Aerasi/penghawaan tanah: aerasi tanah semakin baik, proses nitrifikasi akan berjalan lebih cepat. dalam praktek, untuk mempercepat nitrifikasi dengan pembajakan dan penyiangan.
2. Suhu: nitrifikasi berjalan baik pada suhu 27-32 °C
3. Kelembaban : terlalu kering atau basah, nitrifikasi terhambat. Kelembaban yang optimum bagi tanaman merupakan kondisi optimum juga bagi nitrifikasi.
4. Nilai pH tanah : pada umumnya pH 5,5-10,0 nitrifikasi dapat berjalan dan optimum pada pH 6,5-8,5
5. Pupuk: pupuk makro dan mikro membantu nitrifikasi. Nitrifikasi berjalan baik pada keseimbangan N, P, K.

6. Nisbah C/N : Nisbah C/N berpengaruh terhadap nitrifikasi. C/N tinggi • nitrifikasi terhambat karena kurangnya N ammonia yang digunakan oleh mikroorganisme.
- d. Denitrifikasi
- Denitrifikasi merupakan proses perubahan N dalam bentuk nitrat menjadi gas-gas N oleh kegiatan biologi (ada peran dari mikroorganisme). Proses ini terjadi pada kondisi tidak ada oksigen (anaerobik) menjadi gas-gas N seperti N_2O (nitrous oksida), NO (nitrit oksida) dan N_2 (Eleftheriadis et al., 2018).
- e. Immobilisasi
- Immobilisasi merupakan perubahan bentuk N anorganik (NO_3^- atau NH_4^+) menjadi bentuk N organik karena aktivitas biologi (mikroorganisme). Mikroorganisme mengambil dan memanfaatkan N untuk diubah menjadi protein dan dinding sel. Immobilisasi merupakan proses kebalikan dari Mineralisasi.
- f. Volatilisasi
- Volatilisasi merupakan perubahan N dalam bentuk amonium menjadi gas amoniak (NH_3^+) dalam suasana alkalis (ada sumber OH, pH di atas 7).
- g. Fiksasi N
- Fiksasi N adalah proses penambatan/pengambilan N dari udara dengan bantuan mikroorganisme (bakteri). Terdapat 2 kelompok bakteri yang dapat memfiksasi N dari udara :
- Fiksasi secara simbiosis : mikroorganisme yang hidup berasosiasi dengan akar tanaman legume (kacang"an) membentuk bintil akar. Genus bakteri Rhizobium adalah kelompok bakteri yang dapat mengambil N dari udara melalui proses sintesis yang menggunakan karbohidrat terlarut sebagai sumber energi dari tumbuhan inang.
 - Fiksasi N bukan simbiosis: bakteri heterotof pada kondisi aerobik (ada oksigen) yang berperan penting memfiksasi N adalah Azotobacter.

Peran/Fungsi N bagi tanaman :

1. Bersama dengan hara Mg, sebagai bahan pembentuk inti molekul klorofil (Leghari et al., 2016).
2. Berperan dalam sintesis (pembentukan) protein
3. Penyusun asam amino
4. Bersama dengan hara P menyusun asam nukleat
5. Memacu pertumbuhan vegetatif tanaman (Saleem et al., 2012).

6. Serapan nitrat akan memberikan hasil biomassa yang lebih tinggi, luas permukaan daun, pertumbuhan akar sehingga meningkatkan efisiensi N (Nastaro et al., 2019).

Sumber tambahan Nitrogen untuk tanaman :

1. Fiksasi N
2. Mineralisasi/dekomposisi bahan organik
3. Pupuk organik dan anorganik
4. Air irigasi

Kehilangan N di dalam tanah :

1. Immobilisasi
2. Denitrifikasi
3. Volatilisasi
4. Leaching (pelindian oleh air) (Firmansyah and Sumarni, 2013).
5. Terangkut bersama hasil panen
6. Erosi

Gejala kekurangan/defisiensi N :

1. Tanaman terhambat pertumbuhannya, kerdil
2. Daun berwarna hijau cerah sampai kuning pucat
3. Daun rontok/kering
4. Tanaman mengalami kematangan dini • menurunkan kualitas
5. Gejala defisiensi tampak jaringan tua, karena N bersifat mobile.

Perilaku nitrogen dapat menjelaskan perubahan N, berkaitan dengan pemupukan. Pemberian urea, ZA, Amofos, DAP, atau amonium-nitrat, pada tanah sawah seringkali kurang efisien; bila disebar rata di permukaan. Ion NH_4^+ dioksidasi menjadi NO_3^- , tercuci ke lapisan reduktif atau ikut air irigasi. Di lapisan reduktif, NO_3^- mengalami denitrifikasi. Oleh karena itu, hanya sebagian N diambil tanaman, sebagian lagi hilang. Ketidak efisienan pemberian N secara sebar-rata di permukaan tanah dapat diatasi bila pupuk amonium dibenamkan (Ponammperuma, 1964).

Teknik mengantisipasi kehilangan N melalui aplikasi sebar-rata di permukaan tanah sawah, antara lain dilakukan dengan melapisi atau memperbesar butir pupuk agar bersifat lambat tersedia (slow release). Sebagai contoh sulfur terselimut urea (SCU, urea dibungkus sulfur); super granular urea (SGU, urea butir besar); mudball urea (MBU, urea kelereng lumpur), bricket urea (urea pasta), dan pellet urea (urea tablet). Bentuk-bentuk ini lambat larut karena menghambat proses nitrifikasi merupakan alternatif mengefisienkan pupuk amonium. Kegiatan bakteri nitrifikasi dicegah dengan

menggunakan senyawa kimia penghambat (inhibitor), misalnya nitrapyrin. Zat penghambat banyak diteliti dan dikembangkan di International Rice Research Institute, Filipina, tetapi sulit diaplikasikan karena khawatir dapat membunuh organisme penting.

Waktu pemberian yang tepat merupakan kunci efisiensi pemberian pupuk N. Pemberian secara split sebelum dan setelah tanaman berumur tertentu ditujukan agar serapan N lebih efisien dengan memperhatikan perkembangan sistem perakaran. Cara ini disebut sinkronisasi pemberian pupuk dan merupakan konsep yang rasional. Pada umumnya petani lebih menyukai pemberian pupuk N secara sebar-rata dipermukaan (broadcasting), dibandingkan dibenamkan (dipping) di lapisan reduksi. Karena itu, usaha untuk membenamkan pupuk amonium ke lapisan reduktif melalui pengembangan berbagai teknik aplikasi, masih sulit diadopsi petani meskipun secara teori lebih efisien.

Perkembangan metode analisis nitrogen tanah sampai saat ini sangat pesat. Namun beberapa di antaranya ada yang sulit digunakan secara rutin, karena bersifat terlalu spesifik. Metode standar yang paling umum adalah oksidasi katalitik, di mana N-organik dan anorganik diubah menjadi bentuk amonium, menggunakan distilator Kjeldahl. Metode ini digunakan pula untuk ekstrak ion NH_4^+ yang terikat pada lempeng liat. Meskipun pengukuran dengan metode yang sama seringkali menunjukkan hasil berbeda, namun kisaran nilai harkat yang disajikan dalam Tabel 8 dapat digunakan mengevaluasi kandungan N total secara umum. Sebagai catatan tambahan, serapan N akan menurun bila dalam tanah terdapat khlor. Pengaruh pH rendah terhadap ketersediaan N juga perlu diperhatikan sehubungan dengan aktivitas jasad mikro menurun sehingga N tersedia rendah, meskipun total N tinggi. Pada pH sangat rendah, perombakan bahan organik terhenti dan terjadi gambut. Keadaan spesifik ini perlu diperhatikan agar interpretasi tidak keliru.

BAB V. UNSUR HARA PHOSFOR (P)

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Karakteristik unsur hara Fosfor 2. Sumber dan transformasi P dalam tanah
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

5.1 Karakteristik unsur hara P

Unsur hara Fosfor (P) merupakan hara makro esensial bagi tanaman yang artinya mutlak harus ada, dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Unsur hara ini merupakan hara mobile dalam tanaman, immobile dalam tanah. Unsur ini diserap tanaman dalam bentuk ion fosfat H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} dari tanah. Kadar P dalam berat kering tanaman sekitar 0,1-0,5 %, tetapi tergantung spesies dan fase pertumbuhan tanaman. P dalam tanah berasal dari pelapukan mineral tanah yang mengandung P (contoh : apatit) dan dekomposisi bahan organik.

PHOSPHORUS FORM	EXAMPLE MOLECULAR FORMULA	NOTES
Phosphate	$\text{HPO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{PO}_4^-$	Form that plants can use
Sorbed P	—	Can slowly become available
Mineral P		
Calcium phosphates	CaHPO_4	Relatively insoluble
Aluminum phosphate	AlPO_4	
Iron phosphate	FePO_4	
Organic P	—	Slowly supplies available P to plants and microorganisms

Gambar 7. Bentuk-bentuk unsur hara P

Fosfor dalam tanah berada dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik. Bila dalam bentuk organik, maka perombakan merupakan proses penting dalam penyediaan P bagi tanaman. Fosfor dalam mineral misalnya apatit, strengit, varasit, dan lain-lain, lebih sulit tersedia. Fosfor organik dijumpai sebagai senyawa fitin, asam nukleat, dan lain-lain dan ada pendapat bentuk P-organik ini tersedia bagi tanaman.

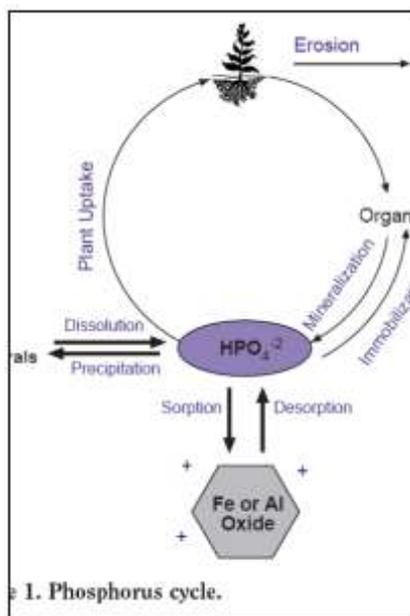
Bentuk fosfat tersedia adalah anion-anion: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} larut dalam cairan tanah. Bentuk-bentuk ion ini sangat ditentukan oleh pH tanah. Pada pH rendah, ion H_2PO_4^- dominan; sedang pada pH tinggi ion HPO_4^{2-} . Ion PO_4^{3-} terjadi bila pH berada di atas 10.0 sehingga bentuk ini pada kisaran pH tanah mineral (4.0 hingga 9.0) jarang dijumpai. Jumlah ion H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} berimbang pada kondisi

pH netral; sehingga banyak pendapat bahwa pH netral merupakan kondisi terbaik bagi ketersediaan fosfat.

Pada tanah masam, kelarutan kation-kation Fe, Al, Mn, Cu, Zn tinggi; sedang pada tanah alkalin Ca dan Mg berada dalam jumlah banyak. Ion fosfor sangat mudah bereaksi dengan kation-kation tersebut membentuk ikatan kompleks yang mengendap dan sukar tersedia. Dengan besi, aluminium, dan mangan, ion P membentuk mineral strengit, varasit, dan manganifosfat yaitu bentuk-bentuk fiksasi fosfat utama pada tanah-tanah masam. Ikatan P dengan kalsium membentuk mineral apatit, merupakan bentuk fiksasi P pada tanah alkalin atau kalkareus.

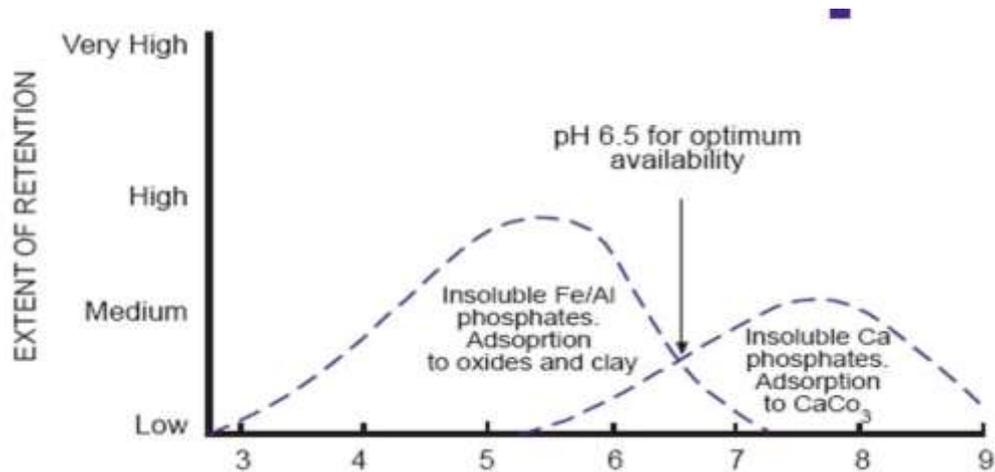
Proses dalam siklus P :

- Mineralisasi: perubahan bentuk dari P organik menjadi P anorganik, dapat diserap tanaman.
- Immobilisasi: kebalikan dari mineralisasi; perubahan bentuk dari P anorganik menjadi P organik, tidak dapat diserap tanaman.
- Sorption: ion P diikat kuat oleh partikel tanah; tidak dapat diserap tanaman.
- Desorption: kebalikan dari sorption; ion P dilepaskan ke larutan tanah, dapat diserap tanaman.
- Dissolution: pelarutan mineral tanah yang mengandung unsur P sehingga menghasilkan ion-ion P yang dapat diserap tanaman.
- Precipitation: kebalikan dari dissolution; pengendapan ion-ion P.
- Plant uptake: diserap tanaman
- Erosion: erosi



Gambar 8. Siklus unsur hara P

- Retensi atau jerapan P : yaitu ion P diikat oleh partikel tanah; misal lempung, oksida besi, atau kapur (CaCO_3)
- Pada pH rendah : $< 6,5$ P diikat kuat oleh mineral lempung, oksida besi (Fe) dan alumunium (Al), Mn
- Pada pH tinggi : $> 6,5$ P diikat kuat oleh kalsium (Ca) menjadi kalsium fosfat.



Gambar 9. Pengaruh pH terhadap jerapan P

Peranan P bagi tanaman :

1. Komponen enzim dan protein tertentu, ATP (transfer energi), RNA dan DNA (pembawa sifat genetik/keturunan)
2. Penyusun asam-asam amino tertentu
3. Merangsang pertumbuhan dan aktif dalam pembelahan sel
4. Metabolisme karbohidrat
5. Pembentukan bunga, buah dan biji
6. Memperkokoh tegaknya tanaman
7. Meningkatkan ketahanan terhadap penyakit

Faktor yang mempengaruhi ketersediaan P

1. pH tanah : mempengaruhi pengikatan P dalam tanah
2. Fe, Al, Mn yang larut : pH rendah menyebabkan Fe dan Al tinggi, sehingga membuat ikatan dengan P
3. Mineral yang mengandung P (apatit)
4. Ketersediaan Ca : pH tinggi, Ca banyak, Ca mengikat P
5. Jumlah dan tingkat dekomposisi BO
6. Kegiatan jasad renik (mikroorganisme) tanah

Sumber hara P

- Pupuk buatan dan pupuk organik
- Mineralisasi : Fosfat primer terbentuk dari pembekuan magma alkali yang bersusunan mineral fosfat apatit, terutama fluor apatit $\{Ca_5(PO_4)_3F\}$ dalam keadaan murni mengandung 42 % P_2O_5
- perombakan bahan organik: menyumbang 20-80% dari total P dalam tanah

Kehilangan hara P

1. Diserap tanaman
2. Immobilisasi P :

Proses ini merupakan kebalikan dari mineralisasi. Pengambilan P anorganik dari tanah (HPO_4^{2-} or $H_2PO_4^-$) kemudian diubah menjadi P organik oleh mikrobia. Nisbah C:P menentukan laju perombakan bahan organik (seperti halnya nisbah C/N), mineralisasi P juga ditentukan oleh nisbah C/N. Nisbah C/P tinggi, mikrobia menggunakan P tersedia dari larutan tanah, ketersediaan bagi tanaman berkurang. Jika kadar P dalam larutan tanah rendah maka pertumbuhan mikrobia terhambat, perombakan bahan organik juga lambat.

3. Presipitasi (pengendapan P)

Pada tanah masam: dirajai kation terlarut Al dan Fe, menyebabkan presipitasi mineral Al-fosfat dan Fe-fosfat. Pada tanah netral dan kapuran: banyak kation terlarut Ca, menyebabkan presipitasi mineral Ca-fosfat. Keadaan pH larutan dan kelarutan Al, Fe dan Ca fosfat menentukan kadar P dalam larutan tanah, perhatikan stabilitas mineral. Ketersediaan P maksimum pada pH 6 – 7, yaitu diantara zona Al dan Fe fosfat dengan Ca fosfat yang tidak terlarut. Reaksi presipitasi umumnya terjadi sangat lambat. Ion fosfat jarang terlindi (leaching) karena secara cepat akan bereaksi dengan partikel tanah membentuk endapan (presipitasi) atau terjerap pada permukaan mineral tanah (sorption). Reaksi tsb menyebabkan fosfat tidak dalam bentuk tersedia bagi tanaman.

Gejala kekurangan P

- Pertumbuhan lambat, tanaman kerdil
- Daun berwarna hijau gelap
- Pada daun tua menunjukkan bercak berwarna keungu-unguan, berwarna kelam kecoklatan
- Perkembangan akar terhambat
- Dalam keadaan parah, daun warnanya beraneka dan batangnya kurus, terjadi penundaan perkembangan biji atau buah.

Gejala kelebihan/keracunan P

- Kelebihan P menunjukkan gejala kekurangan hara mikro : Fe dan Zn adalah unsur pertama yang terpengaruh.
- Hubungan hara P dan Fe (dan Zn)

Pengelolaan hara P

- Menjaga pH tanah berkisar antara 6,0-7,0
- Pemupukan
- Pemberian BO
- Pencegahan erosi

Analisis dan Interpretasi

Metode yang paling umum digunakan untuk menetapkan P tanah adalah metode Olsen dengan ekstraksi bikarbonat. Metode ini peka terhadap suhu, terutama untuk pH di atas 7.0. Untuk tanah-tanah masam, digunakan metode Bray, Truog, atau Morgan. Hasil pengukuran dinyatakan dalam ppm fosfat (P_2O_5); dengan faktor konversi P elemental dan P_2O_5 :

Konversi dari P ke P_2O_5 kalikan 2.29

Konversi dari P_2O_5 ke P kalikan 0.44

Oleh karena banyak macam metode analisis, maka tidak ada pedoman interpretasi umum ketersediaan P. Untuk metode asam flourida (Bray) dan semua ekstraksi asam, nilai rendah menunjukkan defisiensi, tetapi nilai tinggi belum tentu dapat diinterpretasikan. Nilai tinggi ini dapat diperoleh dari tanah-tanah dengan tingkat ketersediaan P rendah atau seringkali pula defisiensi unsur P.

Rata-rata analisis P-total untuk kedalaman 15 cm di USA adalah sekitar 0.06% atau 600 ppm P, dan jarang ditemukan lebih dari 0.2% atau 2000 ppm. Data P-total (ekstraksi asam perkhlorat) dari Varley (Landon, 1984) untuk tanah-tanah tropika adalah: rendah 200 ppm, sedang 200 hingga 1000 ppm, dan tinggi >1000 ppm. Perlu diingat bahwa terdapat interaksi negatif antara P dengan Fe, Zn, dan Cu dan khlorida dalam tanah dapat mengurangi serapan P oleh tanaman.

BAB VI. UNSUR HARA KALIUM (K)

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Karakteristik unsur hara Kalium 2. Sumber dan transformasi K dalam tanah
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

6.1 Karakteristik unsur hara Kalium

Unsur hara Kalium (K) merupakan unsur hara makro esensial bagi tanaman yang berarti mutlak harus ada dan dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Hara ini merupakan hara mobile dalam tanaman dan immobile dalam tanah. Unsur ini diserap tanaman dalam bentuk kation K^+ . Kadar K dalam berat kering tanaman : sekitar 0,5-0,8 %; lebih tinggi dari hara fosfor (P).

Unsur hara K ini dinamis di dalam sistem tanah. Reaksi yang dinamis tersebut melibatkan bentuk-bentuk K di dalam larutan tanah, K tertukar, K terfiksasi (K yang terikat) dan mineral K. Reaksi-reaksi tersebut selanjutnya mempengaruhi keberadaan hara K, apakah akan diserap oleh tanaman, hilang terlindi ke bagian bawah tanah atau diubah dalam bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. K dalam tanah berasal dari pelapukan mineral tanah yang mengandung K (contoh : feldspar, mika) dan dekomposisi bahan organik (McCray and Powell, 2016).

Unsur K merupakan hara utama yang dibutuhkan untuk meningkatkan pertumbuhan akar dan ketahanan terhadap kerebahan tanaman dan hama penyakit. Pada kebanyakan tanah, pelindian K oleh aliran air kecil, kecuali pada tanah pasiran yang nilai KPKnya rendah, di daerah dengan curah hujan tinggi sehingga menyebabkan ketersediaan K rendah, karena banyak yang terlindi. Unsur K bersifat antagonis dengan hara Mg, dan jika konsentrasi K tinggi menyebabkan Mg defisien.

Kalium tanah yang cukup merupakan syarat ketegaran dan vigor tanaman, karena kalium berperan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit tertentu, di samping mendorong perkembangan akar. Tanaman defisiensi kalium menunjukkan kekeringan mulai ujung daun paling tua (bawah), meluas sepanjang pinggir, disertai khlorotik bagian tengah. Hampir semua tanah kecuali bertekstur berpasir, mengandung K-total tinggi. Meskipun K dipegang kompleks jerapan tanah, namun sedikit yang dapat dipertukarkan. Dengan demikian, proporsi terbesar adalah

tidak larut atau relatif tidak tersedia. Kalium tersedia hanya 1 hingga 2 persen dari total kalium tanah mineral.

Kalium termasuk unsur mobil sehingga mudah mengalami pencucian bila kondisi memungkinkan pergerakannya. Sifat mobilitas K ini berhubungan dengan kemudahan pertukaran dengan kation lain dan ketersediaannya bagi tanaman. Tingkat pencucian K tinggi merupakan penyebab utama defisiensi K pada tanah-tanah masam. Salah satu usaha mengefisienkan penggunaan K yaitu mengatur cara dan waktu pemberian pupuk yang tepat. Hal ini merupakan alasan mengapa K diberikan lebih dari satu kali (*split application*) selama masa tanam.

6.2 Sumber dan Transformasi K

Kebanyakan kalium merupakan bagian kompleks mineral tanah yang sedikit demi sedikit larut dalam air tanah, asam karbonat, atau asam-asam lain. Kemudahan pelepasan K tergantung pada kompleks mineral tanah dan intensitas dekomposisi. Kalium dibebaskan berupa hidroksida mudah terionisasi dan ion K⁺ bebas dapat diserap tanaman, hilang melalui air drainase, atau diikat muatan negatif kompleks jerapan tanah. Kalium merupakan unsur penting dalam kerak bumi, tidak dapat berdiri sendiri, melainkan berada sebagai senyawa-senyawa dalam batuan, mineral, dan garam-garam larut. Secara umum, kerak bumi mengandung kurang lebih 3.11 persen K₂O; sedang air laut 0.04 persen (Madiadipoera, 1976).

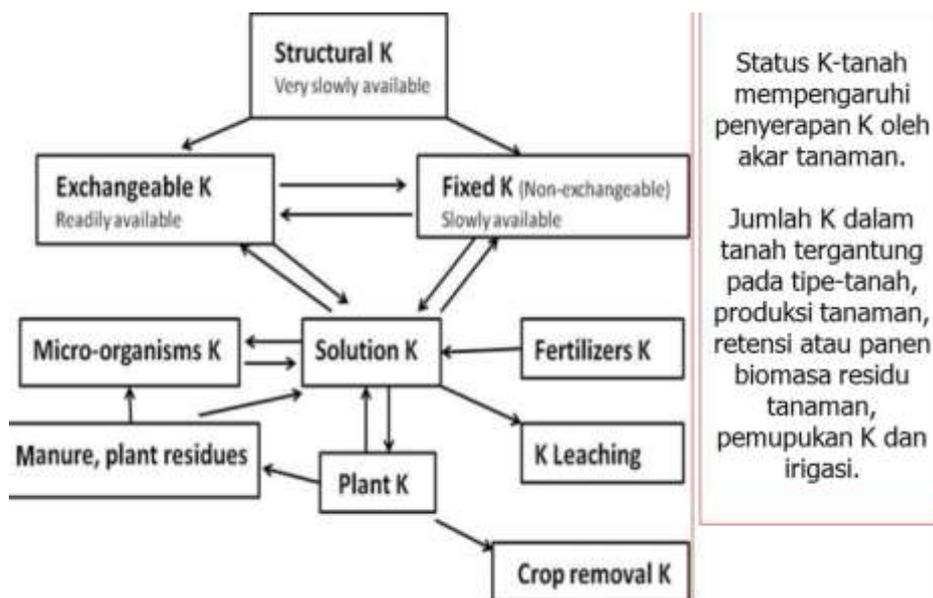
Batuan felsik, intermediet, mafik, dan ultramafik berturut-turut mengandung 3.3, 2.3, 0.8, dan 0.3 persen kalium (Krauskopf, 1979). Menurut Mohr, van Baren, dan Schuylenborg (1972) mineral K paling umum dijumpai dalam tanah adalah feldspat, mika, dan feldspatoid; masing-masing beranggotakan ortoklas dan sanidin (feldspat), 12.3 dan 9.6 persen K; biotit dan muskovit (mika) 5.82 dan 7.48 persen K; dan lusit (feldspatoid) 16.17 persen K. Urutan berdasarkan kepentingan bagi pertanian, dari paling penting hingga kurang penting adalah: lusit > ortoklas > sanidin > muskovit > biotit (Soepardi, 1977). Mineral liat terpenting adalah illit; di mana K terdapat di antara lempeng-lempengnya lebih banyak dibandingkan mineral liat tipe 2:1 lainnya.

Kalium terfiksasi bila jumlah dapat diekstraksi menurun akibat K⁺ larut/tersedia berinteraksi dengan tanah (mineral liat). Fiksasi K terjadi karena terjebak di antara lempeng mineral liat illit atau dihalangi ion NH₄⁺ yang relatif berjari-jari ionik mirip K⁺ (lihat fiksasi NH₄⁺). Pada tanah-tanah mengandung banyak mineral liat illit, bila kondisi kekurangan seringkali tampak gejala defisiensi K pada tanaman; akan tetapi gejala tersebut segera pulih setelah mulai musim hujan. Bila

dalam tanah lebih banyak ion NH_4^+ dari pada K^+ maka serapan K berkurang karena mobilitasnya dihalangi ion NH_4^+ . Oleh sebab itu, pupuk amonium berlebihan dapat menyebabkan defisiensi kalium, khususnya pada tanah masam miskin K.

Bentuk-bentuk K dalam tanah. Di dalam tanah, bentuk-bentuk hara K dapat berupa :

1. Unsur K tidak tersedia merupakan hara K yang terdapat dalam mineral tanah; 90-98% dari total K
2. Unsur K tidak dapat dipertukarkan (*non-exchangeable K*): merupakan unsur hara K yang berada di antara kisi-kisi atau bagian-bagian mineral tanah; 1-2% dari total K; lambat tersedia
3. Unsur K dapat dipertukarkan (*exchangeable K*); 1-2% dari total K : merupakan unsur hara tersedia bagi tanaman
4. Unsur K tersedia cepat merupakan unsur hara K yang terdapat dalam larutan tanah



Gambar 10. Siklus unsur hara K

Unsur hara K dalam siklusnya melewati beberapa proses antara lain :

1. Weathering : pelapukan mineral tanah yang menghasilkan ion-ion K^+ (tidak dapat dipertukarkan atau *non-exchangeable*)
2. Release : pelepasan ion-ion K hasil pelapukan mineral tanah yang tidak dapat diertukarkan menjadi dapat dipertukarkan (*exchangeable*)
3. Fixation : fiksasi (pengikatan) ion-ion K oleh bagian-bagian dalam mineral tanah hara K menjadi tidak tersedia bagi tanaman
4. Sorption : ion K diikat oleh partikel tanah; tidak dapat diserap tanaman.

5. Desorption : kebalikan dari sorption; ion K^+ dilepaskan ke larutan tanah, dapat diserap tanaman.
6. Plant uptake : diserap tanaman
7. Plant release : dilepaskan tanaman

Fungsi/Peranan K bagi tanaman. Unsur hara K memiliki banyak peranan atau fungsi, antara lain (Gopalasundaram et al., 2012):

1. Mengaktifkan enzim tanaman (Sumarni et al., 2012). berperan dalam fotosintesis
2. Berperan dalam translokasi karbohidrat (gula)
3. Berperan dalam pembentukan protein
4. Berperan dalam fiksasi nitrogen pada tanaman legume Terlibat dalam pembentukan ATP dan ADP (transfer energi untuk proses metabolisme dalam tanaman)
5. Meningkatkan ketahanan tanaman (Mozumder et al., 2007)
6. Meningkatkan pertumbuhan akar
7. Berperan dalam pernafasan

Gejala kekurangan K, Terdapat beberapa tanda atau gejala terjadinya kekurangan atau defisiensi unsur hara K, antara lain:

1. Daun cepat menua
2. Pertumbuhan terhambat
3. Ruas batang memendek
4. Klorosis (tanaman menguning)
5. Nekrosis (tanaman berwarna kecoklatan lalu mati)
7. Perkembangan akar terhambat
8. Tanaman mudah rebah
9. Pada tanaman padi, gabah menjadi hampa, dan bobot gabah menjadi ringan
10. Pada tanaman jagung, ujung tongkol bagian atas tidak penuh berisi biji

Analisis dan Interpretasi

Metode analisis kalium yang umum digunakan adalah penetapan K dapat dipertukarkan (K_{dd}), diperoleh dari K larut pada analisis KTK. Patut disesalkan bahwa tidak ada uji tanah yang dapat diterima secara umum yang mampu menjelaskan K_{dd} serta beberapa indeks tingkat pelepasan K untuk melengkapi penilaian status K. Nilai K total mungkin dapat digunakan, meskipun Varley menemukan hasil yang menyolok dari tanah Nepal dan Saint Helena. Tanah pertama mengandung mineral mika dengan nilai K total 20 000 ppm (2%) tetapi hanya menunjukkan nilai K_{dd} 0.1 me/100g; sedang tanah kedua menunjukkan K total 2 000 hingga 3 000 ppm dan

Kdd lebih dari 2.0 me/100g (Landon, 1984). K-dd biasanya berubah bila tanah-tanah menjadi kering. Oleh sebab itu, tidak jarang contoh tanah menunjukkan nilai K cukup tinggi di laboratorium tetapi di lapangan tanaman menunjukkan gejala defisiensi K. Jumlah K yang diperoleh dengan menggunakan ekstraktan amonium-asetat seringkali sedikit berbeda dibandingkan dengan pengestrak asam encer. Namun demikian, ekstraksi amonium-asetat menunjukkan keampuhannya selama 15 hingga 20 tahun terakhir. respon tanaman terhadap pemupukan K tampak bila nilai K tanah <0.2 me/100 g dan tidak tampak bila >0.4 me/100 g. Namun, batas ini masih bersifat pertimbangan tergantung pada sifat-sifat tanah, lingkungan dan tanaman.

Boyer (Landon, 1984) mengemukakan angka patokan defisiensi K tanah-tanah tropika basah sebagai berikut (meskipun menurut Jones dan Wild masih bervariasi menurut jenis tanaman serta level produksi): Minimum Mutlak : 0.07 hingga 0.20 me/100g; Minimum Relatif: paling rendah 2% jumlah basa.

Nisbah K : Mg tinggi dalam tanah dapat menjadi petunjuk defisiensi Mg, misalnya setelah pemupukan K. Pada tanah-tanah KTK rendah, penambahan Ca dan Mg mungkin diperlukan untuk mengimbangi pemupukan K. Pada persentase K tinggi (>25%), permeabilitas dan struktur mungkin dipengaruhi, tetapi tidak sebesar bila Na tinggi. Tanaman dalam kamar kaca atau buah-buahan, serapan Mg mungkin terhambat bila nisbah K : Mg berkadar Mg rendah 2 : 1 (Landon, 1984).

BAB VII. UNSUR KALSIMUM (Ca), MAGNESIUM (Mg) dan SULFUR (S)

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Karakteristik unsur hara Ca, Mg dan S 2. Sumber dan transformasi Ca, Mg dan S dalam tanah
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

7.1 Unsur Hara Kalsium (Ca)

Unsur hara Calcium (Ca) merupakan unsur hara makro esensial sekunder tanaman. Ca dalam tanah berasal dari mineral dimana tanah tersebut terbentuk, umumnya dalam fraksi pasir dan debu. Contoh : anortit, batu kapur, piroksin, amfibol, kalsit, dll. Kandungan Ca di dalam tanah beragam, pada tanah- tanah masam di tropika basah mengandung 0,1-0,3%, sedangkan pada tanah kapur pada iklim kering mengandung lebih dari 25%.

Kalsium diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Ca^{2+} . Fungsi Ca dalam tanaman antara lain :

1. Menjadi bagian dari struktur sel yaitu penyusun dinding dan membran sel (El Habbasha and Ibrahim, 2015)
2. Diperlukan dalam proses pembentukan atau pembelahan sel-sel baru, pemanjangan sel dan menjaga struktur membran di dalam tanaman (Hepler, 2005).
3. Terlibat dalam pengaturan sejumlah proses metabolis, termasuk respon tanaman terhadap lingkungan dan zat pengatur tumbuh.
4. Penting dalam translokasi karbohidrat dan hara
5. Berperan dalam proses perkecambahan biji dan fotosintesis.

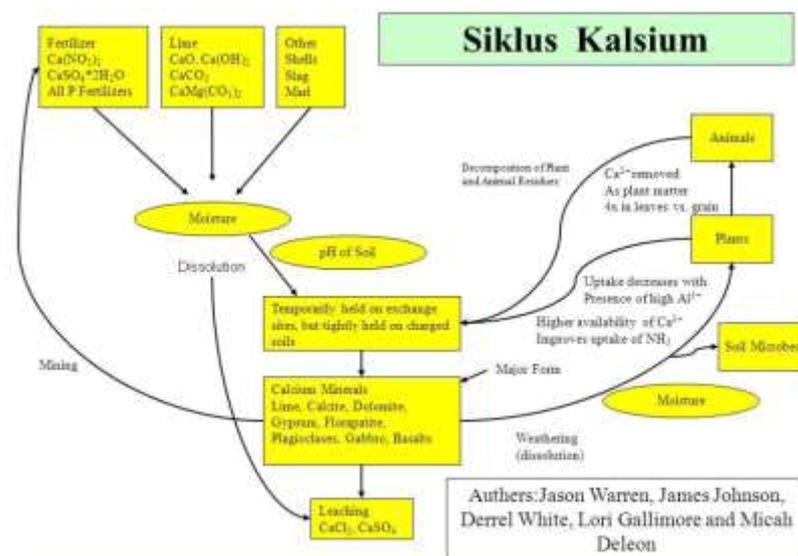
Sumber alami Ca berasal dari pelapukan mineral. Mineral yang mengandung Ca antara lain : Anortit ($CaAl_2Si_2O_8$), Piroksen ($CaAl_2SiO_6$), Kalsit ($CaCO_3$), Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), Gypsum ($CaSO_4$), Kapur tohor (CaO). Selain mineral, bahan organik juga memiliki kandungan Ca tetapi dalam jumlah kecil karena sebagian besar Ca dapat terlindi, dan sebagian yang lain mengalami mineralisasi pada awal tahapan perombakan bahan tersebut. Referensi lain juga menyebutkan bahwa air laut merupakan sumber Ca bagi gambut ombrogen.

Kalsium diserap oleh tanaman dalam bentuk kation divalen Ca^{2+} . Ion Ca^{2+} bergerak menuju ke akar tanaman melalui proses aliran massa dan intersepsi akar. Setelah terangkut ke dalam tanaman, Ca^{2+} bergerak bersama aliran air transpirasi ke dalam xilem. Ca memasuki pembuluh xilem melalui jalur apoplastik. Pengangkutan menembus membran terbatas, diperlukan pertumbuhan akar terus menerus agar pengambilan Ca mencukupi kebutuhan.

Tranformasi Ca sebagaimana kation lain, Kalsium yang dapat dipertukarkan (Ca-dd) dan Kalsium yang berada dalam larutan tanah berada pada posisi keseimbangan, sehingga jika ion Ca pada larutan tanah berkurang akibat pencucian atau diserap oleh tanaman maka Ca pada kompleks jerapan (Ca-dd) akan menyuplai kembali Ca pada larutan tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Ion Ca dalam larutan dapat mengalami: hilang karena pencucian, terimobilisasi (diikat oleh organisme tanah), terjerap pada kompleks jerapan dan Represipitasi terutama pada daerah arid.

Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan Ca antara lain :

- Total suplai Ca dan pH tanah: Total Ca pada tanah berpasir dan berliat sangat berbeda. Pada tanah berpasir sangat rendah, demikian juga pada tanah masam (pH rendah).
- KTK Tanah: Tanah-tanah dengan KTK rendah menjerap Ca relatif lemah
- Tipe koloid : tipe liat 2:1 (Montmorilonit) memerlukan kejenuhan Ca > 70%, sedangkan tipe kaolinit dapat menyuplai Ca yang cukup pada kejenuhan Ca 40-50%
- Nisbah Ca terhadap kation lain dalam larutan : berpengaruh terhadap pertumbuhan dan serapan hara.



Gambar 11. Siklus unsur hara Ca

Gejala Defisiensi Ca antara lain :

1. Unsur Ca tidak mobile dalam tanaman sehingga gejala defisiensi muncul pada daun muda
2. Berhentinya pertumbuhan ujung akar dan pucuk daun. Pucuk menjadi coklat dan mati.
3. Tepi daun yang telah berkembang mengeriting dan menjadi coklat.
4. Pinggiran daun yang baru tumbuh menyatu dengan daun lainnya
5. Kualitas buah menurun dan sering menimbulkan busuk
6. Pertumbuhan pada titik tumbuh batang dan akar terhambat, pada daun pada jagung menjadi lengket (*sticky*).

Secara normal, defisiensi Ca tampak pada tanah dengan nilai KTK rendah dan $\text{pH} < 5.5$. Pemupukan K tinggi atau tanah dengan cadangan K tinggi menghambat serapan Ca pada tanah netral. Defisiensi Ca terjadi pula pada pH tinggi bila Na berlebihan (tanah sodik). Pada kasus ini, pemberian Ca tidak hanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan Ca tanaman tetapi juga untuk memperbaiki struktur tanah yang hancur akibat dispersi oleh Na. Respon terhadap pemberian Ca dapat terjadi pada tanah berkadar Ca $\text{dd} < 0.2 \text{ me}/100 \text{ g tanah}$.

Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan Ca antara lain: (1) konsentrasi ion H^+ (pH), makin rendah pH makin rendah ketersediaan Ca, dan (2) sifat kation Ca dalam tanah, berkenaan dengan tipe koloid dan persentase kejenuhan Ca. Urutan pembebasan Ca terikat pada koloid yaitu: bahan organik > kaolinit > illit > montmorilonit. Hubungan antara persentase kejenuhan Ca dengan jumlah Ca yang dibebaskan berbentuk kuadratik. Pada tanaman sereal, gejala kekurangan Ca ditandai oleh daun muda tidak membuka, tetap menggulung dan mudah patah.

Kalsium sangat memengaruhi pertumbuhan akar tanaman, jadi apabila tanaman kekurangan kalsium maka akar tanaman tersebut terganggu. Sehingga nutrisi yang ada di dalam tanah tidak bisa diserap secara optimal. Unsur hara kalsium dapat membantu dalam proses perbanyakan dan pemanjangan sel tanaman. Pada proses fotosintesis kalsium dapat mengatur serta mendistribusikan hasil tersebut. Tanaman yang defisiensi kalsium, akan membuat akar mengalami gangguan sehingga akan melemahkan titik tumbuh. Tanaman akan mengalami perubahan bentuk daun, perubahan-perubahan bentuk daun mengeriting, bentuk daun yang besar akan mengecil dan daun tanaman akan rontok. Unsur hara kalsium pada tanaman dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman menjadi tinggi, akan tetapi tanaman tersebut tidak kuat. Akar tanaman yang defisiensi unsur hara, akan memengaruhi akar tanaman, sehingga dapat menimbulkan

produksi tanaman berkurang. Hal ini dikarenakan bunga yang terbentuk tidak normal. Tanaman juga dapat menyebabkan bunga menjadi rontok, karena kekurangan kalsium. Toksisitas unsur hara kalsium tidak berdampak banyak pada tanaman, akan tetapi dapat menimbulkan perubahan pada pH tanah (Jones Jr., 2012).

7.2 Unsur Magnesium (Mg)

Unsur hara magnesium (Mg) merupakan unsur hara makro esensial sekunder, diperlukan tanaman dalam jumlah relatif banyak, lebih sedikit dibanding N dan K, serupa jumlahnya dengan P, S dan Ca; umumnya $Mg < Ca$. Mg dalam tanah berasal dari dekomposisi batuan yang mengandung mineral biotit, hornblende, serpentin, epsomit, dan olivin. Selain itu, Mg juga dijumpai pada mineral liat sekunder seperti klorit, illit, montmorilonit, dan vermikulit (Gransee and Führs, 2013). Seperti halnya unsur hara yang lain, Mg di dalam tanaman berada dalam bentuk Mg^{2+} yang dapat dipertukarkan (Mg-dd) dan Mg^{2+} yang ada dalam larutan tanah (Mg larut). Mg diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Mg^{2+} .

Di dalam tanah, magnesium dijumpai dalam bentuk: (1) larut dalam air, (2) dapat dipertukarkan, (3) terjerap pada kisi mineral liat, dan (4) berada dalam mineral primer; dan erat hubungannya dengan bahan induk tanah. Pada tanah Loss kadar Mg adalah tinggi, dan sebaliknya pada tanah tua adalah rendah. Selain itu, kadar Mg tinggi erat pula kaitannya dengan kadar montmorilonit tinggi. Magnesium merupakan penyusun khlorofil tanaman, karena itu kekurangan Mg ditandai oleh khlorosis khas di antara tulang daun (interveinal khlorosis). "Penyakit kuning" pada lada di Sumatera Selatan dan Lampung, khlorosis pada tanaman cengkeh di Sumatera Barat dan teh di Jawa Barat, erat kaitannya dengan kekurangan Mg. Demikian pula penyakit "grass tetany" yang menyebabkan kejang pada ternak ruminansia, dilaporkan karena kekurangan Mg pada rumput pakan ternak. Penggantian pupuk Fused Magnesium Fosfat (FMP) berkadar fosfat rendah dengan DSP atau TSP merupakan salah satu penyebab Mg jarang diberikan melalui pemupukan.

Unsur hara Mg memiliki banyak peran dan manfaat, antara lain:

1. Komponen penyusun klorofil
2. Berperan penting pada hampir seluruh metabolisme tanaman dan sintesis protein
3. Di dalam sistem enzim, Mg sebagai ko-faktor yang aktif di dalam proses fosforilasi, sebagai jembatan antara struktur pirofosfat pada ATP atau ADP dengan molekul enzim
4. Menstabilkan partikel ribosom dalam konfigurasi sintesis protein

Rata-rata Mg menempati 1,93 % kerak bumi, dan seperti Ca dan K, kadar Mg dalam tanah sangat bervariasi, kira-kira 0,1 % pada tanah bertekstur kasar dan 4 % pada tanah bertekstur halus di daerah kering yang bahan induknya banyak mengandung Mg. Mineral yang berperan sebagai sumber hara Mg beragam, antara lain biotit, hornblende, serpentin, epsomit, dan olivin, serta mineral sekunder seperti klorit, illit, montmorilonit, dan vermikulit. Bahan organik juga memiliki Mg, tetapi sebagian besar Mg dapat terlindi, dan sebagian yang lain mengalami mineralisasi pada awal tahapan perombakan bahan tersebut (Mikkelsen, 2010).

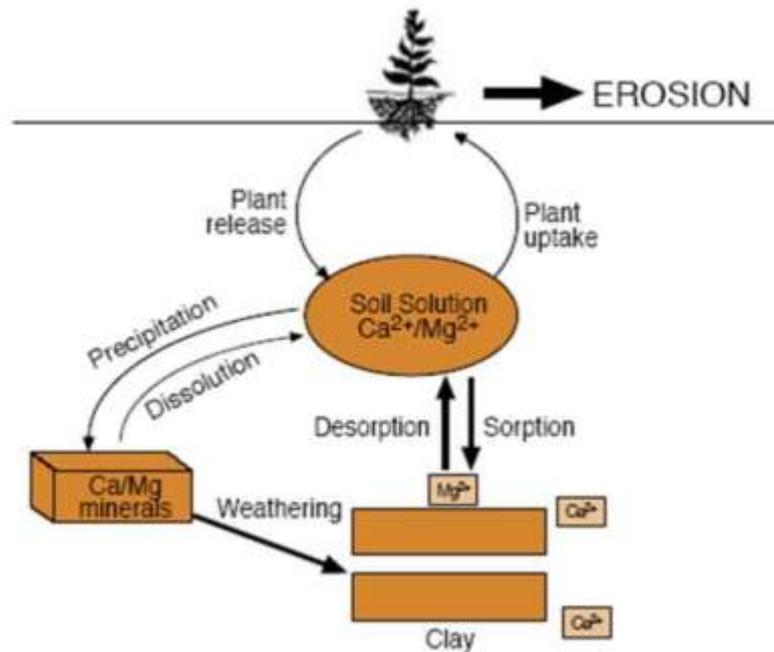
Magnesium diserap oleh tanaman dalam bentuk kation divalen Mg^{2+} . Ion Mg^{2+} bergerak menuju ke akar tanaman melalui proses aliran massa dan intersepsi akar. Pengangkutan Mg di dalam jaringan tanaman sama seperti Ca, yang bergerak bersama aliran air transpirasi. Perbedaannya yaitu Mg bersifat mobil di dalam floem, sehingga dapat ditranslokasikan. Umumnya, kandungan Mg pada daun tua lebih tinggi dibandingkan pada daun muda.

Dekomposisi mineral akan membebaskan Mg ke air yang ada disekitar mineral tersebut. Mg yang dibebaskan akan mengalami (Mikkelsen, 2010):

1. Hilang bersama air perkolasi,
2. Diserap oleh organisme hidup,
3. Terjerap pada kompleks jerapan oleh mineral liat,
4. Diendapkan kembali sebagai mineral sekunder.

Mg dalam mineral liat sekunder akan tersedia secara perlahan dan dibebaskan melalui pelindian. Seperti halnya Ca, Mg-dd dan Mg larutan berada pada posisi keseimbangan. Konsentrasi ion Mg dalam larutan sangat beragam, sedangkan konsentrasi Mg-dd tanah umumnya lebih rendah dari Ca-dd. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan Mg antara lain:

1. Jumlah Mg dalam tanah : Total Ca pada tanah berpasir (tekstur kasar) dan berliat (tekstur halus) sangat berbeda. Pada tanah bertekstur kasar di daerah tropika basah memiliki kandungan Mg yang lebih rendah.
2. Kemasaman tanah (pH) : Mg kurang tersedia pada pH rendah karena kehadiran Al^{3+} dalam larutan menghambat penyerapan Mg^{2+}
3. Kejenuhan Mg : diperlukan kejenuhan $Mg^{2+} > 10\%$ agar mencukupi tanaman
4. Keberadaan Kation lain : Jika kadar Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+ tinggi akan mengganggu penyerapan Mg^{2+} .
5. Tipe liat.



Gambar 11. Siklus unsur hara Ca

Gejala-gejala kekurangan hara Mg antara lain (Gransee and Führs, 2013):

1. Unsur Mg tergolong mobil dalam tanaman sehingga gejala defisiensi muncul pada daun tua
2. Warna daun kekuningan atau khlorosis interveinal atau menguning pada daerah antar tulang daun tua
3. Daun-daun keriting tegak sepanjang tepinya, dengan sisi bawah daun dan pucuk daun tetap berwarna hijau
4. Pada kahat yang semakin berat, daun muda menjadi kuning dan menjadi nekrotik pada kahat sangat berat.

Defisiensi Mg selain karena kadar Mg tanah rendah, juga oleh sifat kompetitif dengan Ca atau K. Peningkatan nisbah Ca : Mg di atas 5 : 1, dapat menyebabkan ketersediaan Mg menurun, meskipun tanah termasuk kategori subur. Bila jumlah Mg jauh melebihi Ca, unsur terakhir ini akan berkurang ketersediannya, dan struktur tanah menjadi lebih lemah akibat terjadi deflokulasi liat.

Tanaman yang mengalami defisiensi unsur hara magnesium dapat menimbulkan senyawa yang ada di dalam tanah tidak bisa terbawa oleh tanaman tersebut. Hal ini dikarenakan, energi yang dihasilkan sedikit dan tanaman tidak bisa menyerap unsur hara tersebut. Jadi tanaman akan menyerap unsur hara yang memiliki kandungan yang paling ringan untuk diserap oleh akar seperti, nitrogen. Tanaman akan mengalami pembentukan sel yang besar, sehingga tanaman mudah ruboh. Tanaman yang defisiensi unsur hara magnesium akan memiliki jaringan yang melemah dan jarak antar ruas akan

memanjang. Sehingga tanaman tersebut seperti mengalami kekurangan cahaya. Tanaman akan mengalami bercak-bercak pada permukaan daun tua. Bercak-bercak tersebut akan menimbulkan perubahan warna menjadi kuning. Hal ini disebabkan, unsur hara magnesium disebarkan ke daun tanaman yang masih muda. Tanaman yang mengalami defisiensi magnesium pada daun tanaman akan mudah terserang penyakit. Penyakit yang menyerang tanaman akibat dari kekurangan magnesium adalah embun tepung atau powdery mildew. Pada tanaman yang toksisitas magnesium tidak memiliki dampak yang mencolok (Jones Jr., 2012).

7.3 Unsur Sulfur (S)

Unsur hara sulfur (S) merupakan makro esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang hampir sama banyaknya dengan unsur P. Fungsi hara S antara lain :

1. Penyusun penting protein tanaman (sebagai asam amino sistin, metionin, sistein), beberapa hormon tanaman, vitamin (tiamin dan biotin), enzim proteolitik
2. Berperan dalam pembentukan protein (pembentukan ikatan formaldehida antara rantai polipeptida di dalam protein).
3. Sintesis co-enzim A yang terlibat dalam oksidasi dan sintesis asam lemak, sintesis asam amino dalam daur asam sitrat.
4. Dibutuhkan untuk perkembangan bintil akar tanaman legum, berikut fiksasi N nya.
5. Memiliki pengaruh dalam proses pembentukan klorofil
6. Berpengaruh terhadap sintesis karbohidrat

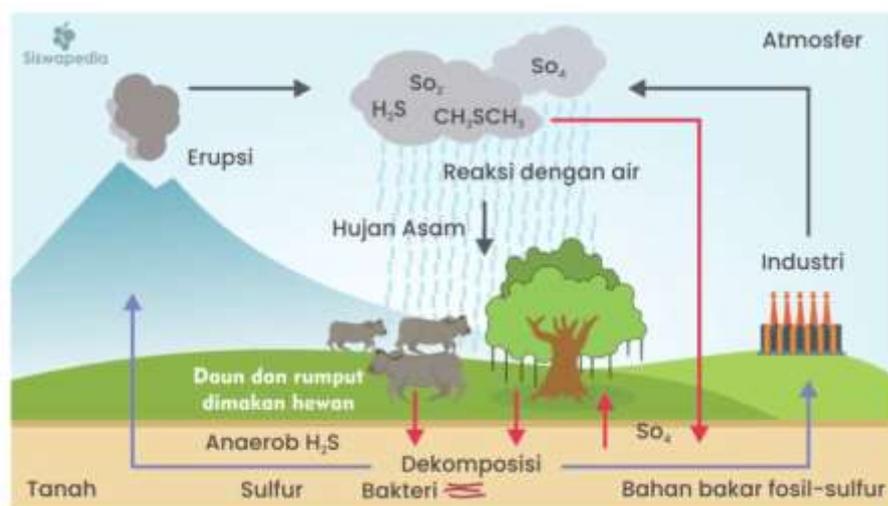
Meskipun jumlah yang diperlukan cukup banyak, namun penambahan S secara khusus ke dalam tanah relatif jarang dilakukan karena : (1) pemberian S sudah dilakukan bersamaan dengan pemberian pupuk lain (contoh : TSP, ZA, Amonium Sulfat). (2) pasokan dari atmosfer yang terbawa oleh air hujan.

Sumber hara S beragam, bisa dari pelapukan mineral, gas S di atmosfer dan bahan organik. Mineral yang mengandung hara ini antara lain : Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Unhidrit (CaSO_4), Epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Mirabilit, Pirit dan Markasit, dan Galena. Gas S di atmosfer berasal aktivitas industri yang menggunakan bahan bakar berbasis S, akan membebaskan sulfur dioksida ke udara yang kemudian akan jatuh ke tanah bersama dengan air hujan. Bahan organik tanah bersumber pada sisa hewan dan tanaman.

Bentuk S di dalam tanah berada dalam bentuk inorganik dan organik. Sulfur Inorganik :

Sulfat Larut : sebagai ion sulfat (SO_4^{2-}), bentuk yang mudah diserap oleh tanaman. Ion ini bergerak melalui difusi dan aliran massa.

1. Bentuk ini mudah mengalami pencucian karena tidak dijerap kuat oleh tanah.
2. Sulfat Terjerap (Terfiksasi) : penjerapan ini terjadi melalui mekanisme pertukaran kation. Penjerapan oleh kompleks hidroksi Al dan Fe, dan penjerapan oleh garam.
3. Sulfat Mengendap (kurang larut) : S dapat mengendap sebagai endapan alam, bentuk ini kurang tersedia bagi tanaman.
4. Sulfur Tereduksi : S akan tereduksi menjadi sulfida pada kondisi air tergenang (anareobik) dan sebagai S elementer pada lingkungan yang kondisi aerobik dan anaerobiknya bergantian.
5. Sulfida (H_2S) : Hasil reduksi sulfat yang dibantu oleh bakteri genus *Desulfovibrio*.
6. Sulfur Elementer (S^0): Akumulasi terjadi pada tanah di daerah delta sungai. Bentuk ini tidak tersedia bagi tanaman melalui sistem perakaran karena ia tidak larut dalam air.



Gambar 12. Siklus unsur hara S

Sulfur Organik antara lain:

1. Sulfat-S Ester : Sulfur ini tidak terikat oleh atom C, namun dalam bentuk ester sulfat dan eter. Contoh : arilsulfat dan alkilsulfat yang menyusun rata-rata 50% total S organik.
2. Unsur S terikat langsung atom karbon : Sulfur yang terikat langsung pada atom C. Contoh : asam amino sistein dan metionin yang menyusun 10- 20% total S organik.

3. S Residual : Kelompok S yang tidak masuk 2 kategori di atas. Kelompok ini menyusun 30- 40% total S organik tanah dan termasuk S yang memiliki sifat stabil.

Gejala kekurangan unsur hara sulfur dapat membuat tanaman yang terserang pada daun muda akan mengalami perubahan warna yang berwarna kuning. Karena tanaman akan mengalami tingkat mobilitas yang rendah sehingga tanaman akan mengalami penurunan kandungan klorofil pada daun tanaman tersebut. Kekurangan ini akan jelas sekali pada tanaman yang memiliki defisiensi unsur hara sulfur. Defisiensi unsur hara menyebabkan proses sintesis protein terhambat, hal ini juga dapat berhubungan dengan akumulasi unsur hara Nitrogen dan nitrat yang organik dapat terlarut. Tanaman yang mengalami toksisitas sulfur akan meningkatkan pH tanah menjadi asam dan dapat menyebabkan daun menjadi rontok (Stevens et al., 2002).

BAB VIII. UNSUR HARA MIKRO (Fe, Mn, Cu, Zn) DAN UNSUR ANION

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Karakteristik unsur hara mikro 2. Karakteristik unsur Anion
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

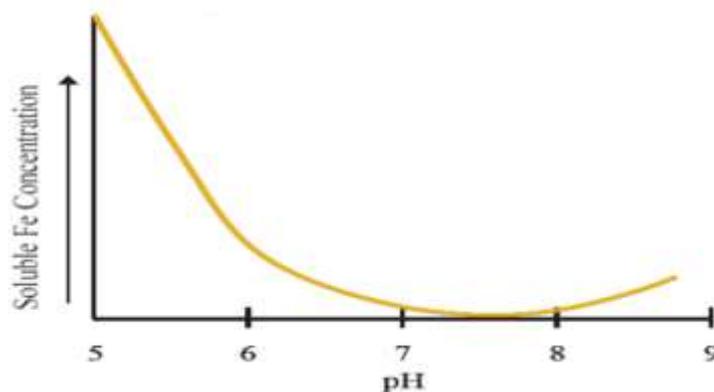
8.1 Karakteristik Unsur Hara Besi (Fe)

Unsur hara mikro besi (Fe) bersumber utama dari bumi. Fe dalam kerak bumi sekitar 50.000 ppm. Pada tanah merah (Oxisol, Alfisol, dan Ultisol) Fe tersedia cukup. Konsentrasi Fe dalam berat kering tanaman sekitar 100 ppm. Pada tanah gambut, kadar Fe antara sedang sampai sangat tinggi sehingga sering menampilkan gejala meracun. Pada lingkungan oksidatif (tegalan, perkebunan), Fe dominan dalam bentuk Fe^{3+} . Pada suasana reduktif (danau, sawah, tanah tergenang), Fe dalam bentuk Fe^{2+} .

Unsur Fe diserap tanaman dalam bentuk ion Fe^{3+} dan Fe^{2+} juga dalam bentuk khelat (ikatan logam dengan bahan organik). Pupuk Fe merupakan khelat dan pupuk Fe (khelat Fe) yang biasa digunakan adalah Fe-EDTA dan Fe-DTPA. Mineral tanah yang mengandung Fe, antara lain : olivine [$Mg,Fe_2(SiO_4)$], pirit (FeS), marcasite (Fe_2S), siderite ($FeCO_3$), hematite (Fe_2O_3), dan goethite ($FeOOH$).

Ketersediaan (penambahan dan kehilangan) unsur Fe dapat disebabkan :

- Penambahan: seperti kegiatan pemupukan, pelapukan mineral dan dekomposisi bahan organik
- Kehilangan : beberapa proses yang menyebabkan kehilangan Fe yaitu diambil oleh tanaman, terlindi / mengalami pencucian, terbawa saat panen



Gambar 13. Grafik hubungan pH dan ketersediaan unsur hara Fe

Fungsi Fe bagi tanaman antara lain :

1. Penyusun klorofil, protein, enzim, dan berperan dalam perkembangan kloroplas.
2. Sintesis klorofil dan sebagai pengantar elektron pada sistem enzimatik.
3. Oksidasi dan reduksi dalam pernafasan.
4. Diperlukan untuk fotosintesis dan penyematan N.
5. Kelebihan atau kekurangan kadar Fe merupakan hal yang dapat menghambat atau mengurangi produksi tanaman

8.2 Karakteristik Unsur Hara Mangan (Mn)

Unsur hara Mangan (Mn) ini di kerak bumi memiliki kadar sekitar 900 ppm. Kadar dalam tanah antara 20 ppm sampai 3000 ppm. Kelarutan Mn dipengaruhi oleh pH tanah. Makin tinggi pH, maka makin rendah tingkat kelarutannya, dan sebaliknya. Pada pH netral sampai alkalis, pengendapan Mn terjadi berupa $MnCO_3$, oksida dan hidroksida Mn^{2+} . Pengapuran yang berlebihan menyebabkan berkurangnya ketersediaan Mn. Daerah beriklim kering dapat meningkatkan defisiensi Mn. Mn diserap dalam bentuk ion Mn^{2+} dan khelat Mineral tanah yang mengandung Mn antara lain : pyrolusite (MnO_2), manganite ($MnO(OH)$), rhodochrosite ($MnCO_3$) dan rhodinite ($MnSiO_3$).

Kehilangan unsur mikro logam Mn dapat disebabkan oleh pencucian, menguap/volatilisasi, absorpsi. Kekurangan Unsur Mikro Logam Mangan dicirikan:

- Warna daun muda berubah dan di beberapa tempat jaringan daun mati.
- Klorosis interveinal pada daun muda
- Pertumbuhan kerdil terutama pada sayuran (tomat dan kentang), tembakau, jeruk dan kedelai.
- Pada tanaman gandum, bagian tengah helai daun berwarna coklat, kemudian patah.
- Pembentukan biji kurang baik.

Pengelolaan hara Mn karena mengingat keberadaan Mangan yang penting maka pengelolaan yang cukup baik perlu dilakukan agar ketersediaan Mangan dalam tanah tetap terjaga. Penambahan BO dapat meningkatkan ketersediaan Mn.

8.3 Karakteristik Unsur Hara Tembaga (Cu)

Unsur hara tembaga (Cu) di kerak bumi memiliki kadar sekitar 55 ppm. Di dalam larutan tanah, Cu berada dalam bentuk divalensi Cu^{2+} atau dalam bentuk ion kompleks. Cu tersedia dalam tanah relatif lebih tinggi daripada Mo, yakni berkisar 10-80 ppm. Sedangkan kadar Cu dalam tanaman berkisar 7-30 ppm. Di dalam tanah, Cu umumnya bergabung dengan senyawa organik membentuk Khelat. Cu yang tersedia untuk

tanaman adalah Cu^+ dan Cu^{2+} . Dapat juga diserap dalam bentuk senyawa kompleks organik, misalnya Cu-EDTA dan Cu-DTPA. Tanah pasir cenderung defisiensi Cu. Cu berbentuk senyawa didalam tanah, dan bersumber dari mineral kalkosit (Cu_2S), kovelite (CuS), kalkopirit (CuFeS_2), borinit (Cu_5FeS_4), luvigit (Cu_3AsS_4), kufirit (Cu_2O). Sumber Cu dalam tanah terutama adalah mineral-mineral sekunder. Cu juga dapat diperoleh dari pemupukan.

Kompos sampah kota merupakan juga pensuplai penting dari Cu selain dari pupuk kandang. Berperan pada pembentukan klorofil, sintesis protein, respirasi dan komponen dari beberapa enzim bagi tanaman. Defisiensi Cu menyebabkan klorosis pada daun muda, tanaman kerdil, Keterlambatan pematangan, melanosis (perubahan warna menjadi coklat), pada tanaman biji-bijian, produksi biji terhambat dan menyebabkan biji kosong/hampa, dan kekurangan Cu biasanya dijumpai pada tanah-tanah organosol (tanah gambut). Pengelolaan Cu adalah dengan pemupukan foliar application (pemupukan lewat daun) dianggap lebih efisien dan efektif apalagi jika pemberiannya bersamaan dengan pemupukan hara mikro yang lain (misal Fe, Mn, Zn).

8.4 Karakteristik Unsur Hara Seng (Zn)

Unsur hara Zinc (Zn) di dalam kerak bumi ada pada kadar berkisar 80 ppm. Sedangkan dalam tanah sekitar 10-300 ppm. Seng tidak diperoleh dengan bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat. Zn diserap tanaman dalam bentuk ion Zn^{2+} . Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain : kalaminit, franklinit, smithsonit, willenit dan zinkit. Zn umumnya diserap dalam bentuk Zn^{2+} , namun pada pH yang tinggi diserap tanaman dalam bentuk ZnOH^+ . Penyerapan Zn dipengaruhi oleh ketersediaan unsur divalent lainnya seperti Ca^{2+} , yang dapat menghambatnya ketersediaan Zn dalam tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah, kadar P dalam tanah, adanya lempung dan penggenangan, dan bahan organik dalam tanah.

Tanah tropis biasanya kekurangan B dan Zn, karena kesuburan alami yang rendah dari tanah dan ketidaksesuaian manajemen, seperti aplikasi kapur yang berlebihan (Franco et al., 2011). Ketersediaan Zn didalam tanah dipengaruhi oleh banyak hal. Sifat tanah seperti pH tanah dan bahan organik juga mempengaruhi ketersediaan Zn dalam tanah. Pada pH tinggi ketersediaan Zn^{2+} menurun karena Zn berada dalam bentuk tidak larut. Ion Zn^{2+} juga dapat membentuk kompleks stabil dengan senyawa organik berberat molekul tinggi seperti asam humat dan fulvat, sehingga tidak tersedia bagi tanaman (Jin et al., 1987).

Tanggapan positif untuk aplikasi mikronutrien dan bahan organik diamati pada semua parameter. Hasil produksi tebu meningkat dengan penerapan mikronutrien

dengan urutan: Zn > Mo = Mn > Cu > B = pupuk mikro lengkap, dengan jumlah produksi dari 18, 12, 12, 10, 9, dan 9 ton tebu per hektar. Tebu memberikan hasil positif pada aplikasi mikronutrien, terutama Zn pada masa pematangan.

Setelah Zn masuk dalam floem, selanjutnya dilakukan translokasi ke berbagai organ tanaman dan sink. Bahkan, Mobilitas Zn pada floem lebih tinggi dari pada xilem karena adanya peningkatan konsentrasi khelat di floem (peptida, asam organik dll). Zn diangkut baik dalam bentuk ion atau sebagai Zn-nicotianamine, Zn-malat, kompleks Zn-histidin dalam jaringan floem. Meskipun xilem mengandung konsentrasi yang lebih rendah zat terlarut, namun penting dalam transfer nutrisi ke berbagai organ. Jaringan muda seperti perkembangan biji, umbi dipengaruhi oleh floem (Gupta et al., 2016). Zn berperan dalam kehidupan tumbuhan, seperti (i) metabolisme nitrogen - penyerapan nitrogen dan protein; (ii) fotosintesis - sintesis klorofil aktivitas karbon anhidrase; (iii) ketahanan terhadap tekanan abiotik dan biotik - perlindungan terhadap kerusakan oksidatif (Palai et al., 2017). Peran Zn terhadap tanaman adalah sebagai kofaktor enzim, sama seperti Magnesium (Mg) dan Manganese (Mn), tetapi Zn spesifik sebagai kofaktor enzim karbonik anhidrase. Karbonat anhidrase adalah metaloenzim yang membutuhkan Zn sebagai kofaktor dan terlibat dalam berbagai proses biologis tanaman termasuk pengaturan pH, transfer CO₂, pertukaran ion, respirasi, fiksasi CO₂, untuk fotosintesis dan penutupan stomata. Karbonat anhidrase di daun 20,1% dari total protein terlarut, dan jumlahnya melimpah kedua di kloroplas setelah ribulose 1,5-disphosphate carboxylase/oxygenase (RuBisCO) (Escudero-Almanza et al., 2012)

8.5 Karakteristik Unsur Anion Klor, Boron dan Molibdenum Klor

Sebagian besar klor dalam tanah dijumpai dalam bentuk sangat larut, misalnya kalium klorida. Ion Cl⁻ tidak dijerap liat yang bermuatan negatif dan oleh karena itu akan turut bergerak mengikuti aliran air, baik ke atas maupun ke bawah. Di daerah bercurah hujan tinggi, ion klor dalam tanah rendah akibat hilang melalui pencucian. Sedang di daerah kering atau setengah kering akan dijumpai kadar klor lebih tinggi, bahkan kadang-kadang bersifat meracun tanaman. Penambahan klor dari atmosfer diduga dapat mencukupi kebutuhan tanaman, terutama untuk kondisi seperti Indonesia yang merupakan kepulauan. Uap air laut merupakan sumber klor cukup tinggi sehingga masalah klor di Indonesia belum ada yang melaporkan. Ion Cl⁻ meningkatkan laju mobilitas Ni²⁺, Cu²⁺ dan Cd²⁺ melalui tanah. Hal ini mungkin secara langsung berkaitan dengan tingkat pembentukan kompleks klor seperti diramalkan dari konstanta kestabilan. Tembaga dipegang jauh lebih kuat dibandingkan Ni maupun Cd seperti ditunjukkan dari jumlah volume pori yang

dibutuhkan untuk memperoleh kembali Cu^{3+} dalam efluen (larutan pencuci) dan yang berada sebagai bentuk jerapan (Doner, 1978).

Boron

Ketersediaan dan penggunaan boron sebagian besar ditentukan oleh pH tanah. Boron sangat larut dalam keadaan masam dan pada kondisi ini sebagian boron berada dalam bentuk asam borat yang segera tersedia bagi tanaman. Pada tanah berpasir bereaksi agak masam boron larut akan segera tercuci; demikian pula pada tanah liat tidak begitu masam, karena liat bermuatan negatif tidak menjerap anion H_2BO_3^- atau HBO_3^{2-} . Kecuali pada tanah liat masam didominasi oleh liat tipe 1 : 1 yang mengalami patahan, anion tersebut dijerap pada kisi yang bermuatan positif.

Pada nilai pH tinggi boron tidak begitu tersedia, kemungkinan mengalami pengikatan oleh liat berkombinasi dengan adanya kation-kation bivalen Ca atau Mg. Pemberian kapur berlebihan seringkali menciptakan kekurangan boron. Boron yang berikatan dengan senyawa organik dilepas setelah pembakaran dan tersedia bagi tanaman. Pada umumnya kadar boron lapisan tanah atas lebih tinggi daripada lapisan bawah. Hal ini merupakan salah satu sebab kekurangan boron terjadi pada musim kemarau. Pada saat kekurangan air, akar tanaman terpaksa masuk lebih dalam untuk memperoleh lebih banyak hara dan air sehingga kadar B rendah di bagian bawah ini menyebabkan tanaman kekurangan. Akan tetapi pada musim hujan, akar tanaman cukup memperoleh hara dan air dari lapisan tanah atas sehingga boron tidak menjadi masalah.

Molibdenum

Reaksi tanah terhadap molibdenum hampir sama seperti terhadap fosfor; misalnya Mo hampir tidak tersedia pada tanah bereaksi masam. Dalam keadaan ini, ternyata anion molibdat (MoO_4^{3-}) bereaksi dengan mineral tanah seperti silikat, besi dan aluminium. Ion molibdat yang terikat dapat digantikan kedudukannya oleh ion fosfat melalui pertukaran anion, suatu petunjuk bahwa senyawa tanah yang sama dapat terlibat dalam pengikatan molibdenum dan fosfat. Ketersediaan Mo sangat menurun pada tanah masam, sehingga kebijakan pengapuran tertentu khusus ditujukan agar ketersediaan Mo meningkat. Molibdenum sangat penting bagi bakteri Rhizobium, sehingga tanaman legum yang ditanam pada tanah kalkareus seringkali menunjukkan respon terhadap pemberian Mo.

8.6. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Mikro

1. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Besi (Fe)

Tanaman dalam pertumbuhan dan perkembangan membutuhkan unsur hara besi (Fe) untuk proses siklus di dalam tubuh tanaman. Kloroplas pada tanaman sangat membutuhkan bantuan besi dalam keberadaan kloroplas tersebut di tanaman. Unsur hara besi juga dapat membantu dalam proses kelangsungan protein. Pada tanaman terjadi proses fotosintesis di daun karena tanaman mengandung zat hijau daun yang dapat dibantu oleh unsur hara besi. Begitu juga respirasi pada tanaman juga melibatkan unsur hara besi. Unsur hara besi sebagai pengaktif dan berfungsinya beberapa enzim yang terdapat pada tanaman. Unsur hara besi bergerak agak lambat gerak sehingga pada tanaman susah dalam menyerap unsur tersebut. Unsur hara besi sangat berbeda dengan unsur hara mikro lainnya, sehingga unsur hara besi sangat berlawanan dengan unsur hara yang lain. Sehingga unsur hara besi di lapangan harus ditambahkan komponen penambah supaya tidak berlawanan dengan unsur hara lain. Sehingga unsur hara besi dapat menekan pH pada tanah. Tanaman yang defisiensi unsur hara besi dapat menyebabkan perubahan-perubahan warna pada tanaman yang disebut dengan klorosis. Daun tanaman akan menjadi kuning, daun tanaman yang baru tumbuh akan berwarna putih. Hal ini disebabkan pada daun tanaman tersebut mengalami kekurangan klorofil. Unsur hara besi dapat memengaruhi pertumbuhan akar tanaman, sehingga akar tanaman akan mati. Toksisitas unsur hara besi yang dialami oleh tanaman dapat membuat tanaman mengalami nekrosis. Gejala nekrosis pada tanaman dapat menyebabkan tanaman tersebut mengalami bintik-bintik yang berwarna gelap pada daun tanaman tersebut (Jones Jr., 2012).

2. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Boron (B)

Unsur hara boron merupakan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman. Unsur hara boron di dalam tanah untuk diserap oleh tanaman sangat sedikit, akan tetapi unsur ini harus ada di dalam tanah yang dapat diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan. Pada tanaman unsur hara boron sangat membantu dalam proses sintesis, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, transport karbohidrat, perkembangan serbuk sari pada tanaman dan membantu aktivitas sel tanaman. Unsur hara boron di dalam tanah berkisar antara 0,5-2,0 ppm. Boron digunakan untuk tanaman sebesar 0,5 sampai 2,5 %. Boron dapat diberikan ke tanaman dengan cara disemprot, sebelum tanaman diberikan kepada benih, dilakukan pemupukan terhadap tanah dan fertigasi. Tanaman yang diberikan unsur hara boron dengan takaran yang tepat dan benar dapat menambah pertumbuhan tanaman secara optimal. Boron juga dapat membantu proses

perkecambahan pada serbuk sari tanaman sehingga tanaman dalam proses penyerbukan lebih baik dan produksi yang dihasilkan maksimal. Pengaplikasian boron pada tanaman dapat langsung diserap oleh tanaman sehingga dapat membantu proses fisiologis tanaman tersebut.

Pertumbuhan tanaman akan terhambat apabila kekurangan atau defisiensi unsur hara boron. Boron tergolong dalam unsur hara yang esensial bagi tanaman. Tanaman yang mengalami defisiensi unsur hara boron dapat menyebabkan tanaman akan mengalami mati pada pucuk-pucuk tanaman. Pucuk-pucuk tanaman tersebut akan berhenti untuk tumbuh karena defisiensi unsur hara tersebut. Tanaman yang daun muda akan mengalami perubahan warna menjadi hijau pucat dan pada daun bagian pangkal menjadi rusak. Defisiensi unsur hara boron dapat menyebabkan akar tanaman menjadi rusak. Tanaman yang defisiensi unsur hara boron dapat menyebabkan terganggunya pada proses terbentuk dinding sel serbuk sari. Boron juga diduga dapat mengontrol polisakarida yang dibentuk dan transportasi gula. Selain itu, boron dapat memberikan pengaruh pembentukan sel. Boron merupakan unsur hara yang dapat mengikat dan pembentukan fenol, auksin, dinding sel, metabolisme asam nukleat, protein dan karbohidrat. Unsur hara boron berkaitan dengan peranan dalam mensintesis RNA sebagai bahan dasar dari terbentuknya sel tanaman. Terbentuknya serbuk sari pada tanaman juga dibantu oleh boron. Selain itu, unsur hara boron dapat membantu proses pembelahan sel, perpanjangan sel, permeabilitas membran sel dan diferensiasi sel tanaman (Hall, 1976; Selian, 2009; Jones Jr., 2012).

Tanaman yang memiliki defisiensi unsur hara boron dapat membuat tanaman mengalami pertumbuhan yang terhambat pada fase vegetatif. Tanaman yang dibantu oleh boron untuk menggerakkan dan mendiadakan unsur hormon auksin pada tanaman. Hormon auksin dapat membantu dalam proses pembesaran dan pembelahan sel tanaman. Jadi tanaman sangat tergantung unsur hara boron untuk pertumbuhan pucuk tanaman, apabila unsur tersebut terpenuhi. Sedangkan unsur hara boron tidak terpenuhi maka akan mengganggu terbentuknya pertumbuhan sel tanaman, sehingga tanaman tidak dapat membentuk pucuk-pucuk tanaman tersebut. Akan tetapi, unsur hara boron dibutuhkan oleh tanaman sesuai dengan varietas tanaman tersebut dan juga unsur hara boron juga harus dipenuhi pada media tanaman (Hall, 1976; Selian, 2009; Jones Jr., 2012).

Toksisitas unsur hara boron dapat menjadikan tanaman mengalami gangguan baik pertumbuhan dan perkembangannya. Akan tetapi, tanaman yang mengalamitoksisitas unsur hara boron tergantung berbagai unsur baik dari tanah

maupun tanaman. Jenis tanah akan memengaruhi tanaman akibat dari unsur hara boron, begitu juga dengan tipe tanah. Jenis varietas yang ditanam juga dapat memengaruhi tanaman yang keracunan boron. Tanaman dapat mengalami stres akibat dari konsentrasi boron yang tidak sesuai diberikan di lapangan. Keracunan boron dapat membuat protoplasma tanaman mengalami kerusakan (Jones Jr., 2012).

3. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Mangan (Mn)

Unsur hara mangan dibutuhkan oleh tanaman untuk membantu dalam proses penyerapan unsur hara nitrogen dan mensintesis protein dalam tanaman. Unsur hara mangan dapat membantu proses pada sistem transfortasi dalam reaksi oksidasi-reduksi pada elektron fotosintesis tanaman. Mangan dapat membantu dalam proses fotosistem II dalam proses fotolisis, hal ini dapat menjadikanpenghubung antara enzim yang kompleks pada phosphokinase dan posphottransferases serta dapat menggerakkan oksidasi IAA. Mangan sampai saat ini belum diketahui dapat dalam proses penyerapan unsur hara yang lain. Kandungan mangan pada tanaman yang terdapat pada daun yang kering dapat dihitung antara 10 sampai 50 ppm. Kandungan tersebut terdapat pada daun tanaman yang tua. Kandungan mangan pada tanaman berbeda-beda tergantung jenis tanaman tersebut. Pada tanaman kapas kandungan unsur hara mangan sebanyak 700 ppm, tanaman kedelai 600 ppm dan tanaman ubi jalar 1.380 ppm. Keberadaan mangan tergantung jaringan tanaman tersebut berkisar antara 200 ppm. Akan tetapi, kandungan tersebut perlu diwaspadai jangan sampai menimbulkan keracunan bagi tanaman. Mangan akan menumpuk pada bagian tepi daun lebih banyak dibandingkan dengan tulang daun (Hall, 1976; Selian, 2009; Jones Jr., 2012).

Tanaman yang memiliki defisiensi unsur hara mangan pada tanaman yang tingkat tinggi. Tanaman tersebut yang memiliki biji berkeping dua yang dapat menghambat pertumbuhan. Karena tanaman mengalami klorosis dapat dilihat secara langsung. Pada tanaman yang lebih muda akan mengalami perubahan warna. Tanaman biji-bijian akan mengalami gejala bintik-bintik yang berwarna abu-abu pada bagian tepian daun yang paling bawah. Tanaman kacang-kacangan akan mengalami perluasan nekrotik pada kotiledon tanaman tersebut. Gejala toksisitas tanaman yang mengalami gangguan dari unsur hara terdapat gejala bintik-bintik yang berwarna coklat yang dikelilingi pembatas. Zona tersebut lebih dikenal dengan nama lingkaran klorosis yang terdapat pada daun tanaman yang tua. Apabila mangan tinggi yang terdapat pada tanaman dapat di lihat dengan bintik yang berwarna hitam pada kulit kayu yang masih muda dan bintik hitam ini terdapat pada buah apel (Jones Jr., 2012).

4. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Seng (Zn)

Unsur hara Seng (Zn) dapat menggerakkan unsur hara Mn dan Mg dengan karbonhidrase pada proses enzimatik pada tanaman. Di dalam tanah unsur hara Zn yang lebih rendah unsur hara fosfor dapat memengaruhi penyerapan unsur hara Zn oleh akar. Hubungan kedua unsur tersebut harus diperhatikan jangan sampai kandungan P yang banyak, sehingga Zn tidak bisa menjalankan fungsinya. Tanaman yang memiliki sensitif terhadap unsur hara Fe, hal ini dapat disebabkan oleh tingginya kandungan unsur hara Zn pada tanaman. Daun tanaman yang tua pada musim kemarau akan mencapai 15 sampai 50 ppm, secara umum kandungan tersebut cukup terdapat pada daun tanaman. Akan tetapi, pada tanaman berbeda, gejala defisiensi unsur hara Zn tidak dapat di lihat secara langsung. Hal ini dikarenakan kandungan unsur hara Zn paling rendah 12 ppm. Untuk tanaman yang sudah besar kandungan Zn sebanyak 15 ppm pada daun sudah dianggap berbahaya.

Kandungan unsur hara Zn dianggap cukup untuk menentukan tanaman tersebut kekurangan atau sudah cukup pada tahap yang paling berbahaya antara 1 sampai 2 ppm untuk tanaman yang masih kecil. Tanaman dapat menampung unsur hara Zn dalam jumlah yang banyak yaitu, 100 ppm, akan tetapi hal ini tidak semua tanaman bisa. Ada beberapa tanaman masih bisa bertahan terhadap kandungan unsur hara Zn tersebut. Zn di dalam tanah dapat dilarutkan sebagai Kation Zn^{2+} . Zn dapat mengalami pertukaran dan membentuk senyawa kompleks secara organik. Zn juga dapat dipengaruhi oleh pH tanah. Meningkatnya dan menurunnya pH tanah akan memengaruhi keberadaan Zn tersebut. Selain itu, Zn akan mengalami penurunan kandungannya di dalam tanah apabila unsur hara P tinggi (Hall, 1976; Selian, 2009; Jones Jr., 2012).

Tanaman yang mengalami defisiensi unsur hara Zn akan timbul gejala klorosis pada daun tanaman yang muda yang dapat menyebabkan terbentuknya pita pada daun tanaman. Apabila gejala defisiensi lebih parah akan menyebabkan tanaman mengalami pertumbuhan daun dan tanaman menjadi kerdil. Kelama-lamaan tanaman tersebut akan mengalami gugur daun dan mati. Selain itu, pada tanaman yang berbuah dan kacang-kacangan akan mengalami rosetting pada bagian cabang. Tanaman yang mengalami gangguan toksisitas akibat dari unsur hara Zn akan timbul gejala klorosis. Gejala ini dapat dipengaruhi oleh tanaman yang memiliki kerentanan terhadap Fe, karena Zn yang tinggi dapat mengganggu Fe. Kandungan Zn yang lebih dari 100 ppm dapat membuat klorosis pada tanaman. Akan tetapi, ada tanaman yang dapat tahan terhadap

kandungan Zn yang tinggi antara 100 sampai 250 ppm. Dengan kandungan Zn tersebut tidak memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman di lapangan (Jones Jr., 2012).

5. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Tembaga (Cu)

Unsur hara tembaga (Cu) pada tanaman dapat membantu konsistennya plastosianin protein yang terdapat pada kloroplas pada tanaman tersebut. Cu juga membantu dalam proses sistem pertukaran elektron yang berhubungan pada proses fotosistem I dan II dalam proses fotosintesis pada tanaman. Tembaga pada tanaman dapat berperan dalam proses metabolisme protein, fiksasi Nitrogen dan karbohidrat. Cu dapat membantu dalam proses enzim yang dapat mereduksi molekul atom oksigen (O₂). Selain itu, tembaga dapat menhidroksilasi dan desaturasi asam lemak. Tembaga dibutuhkan oleh tanaman cukup rendah. Tembaga pada daun tanaman yang kering berkisar antara 3 dan 7 ppm.

Tanaman yang mengalami toksisitas Cu berkisar 20 sampai 30 ppm. Tanaman yang defisiensi unsur hara Cu tidak terjadi pada keadaan tanah mineral. Hal ini, bisa terjadi juga pada tanaman yang berpasir dan organik. Unsur hara tembaga dapat mengganggu kerja Fe yang dapat menyebabkan tanaman akan kekurangan unsur hara Fe. Apabila Cu berinteraksi dengan Mo dapat mengganggu kerja dari enzim dari NO₃ dan penyerapan akar tanaman. Tanaman yang mengalami kekurangan unsur hara Cu dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat dan tanaman tersebut akan menjadi kerdil. Pada daun muda akan mengalami distorsi dan nekrosis pada jaringan apikal meristem tanaman. Pada tanaman yang mengalami defisiensi dapat menyebabkan daun muda menjadi berwarna putih dan tanaman akan mati pada musim kemarau.

Gejala tanaman yang mengalami toksisitas oleh unsur hara tembaga yaitu, menyebabkan defisiensi Fe dan tanaman akan mengalami klorosis pada daun. Akar tanaman akan mengalami pertumbuhan yang terhambat dan akar tidak bisa memanjang serta akar lateral akan mengalami gangguan. Unsur hara Cu bisa berkali-kali lipat beracun bagi tanaman terutama pada bagian akar, jika dibandingkan dengan Al. Hal ini, sangat berpengaruh terhadap pembentukan akar dan dapat membuat lapisan tanah menjadi Asam (Jones Jr., 2012).

6. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Klor (Cl)

Tanaman memerlukan unsur hara Klor untuk proses fotosintesis. Proses fotosintesis melibatkan perubahan oksigen (O₂). Tekanan osmotik sel dapat ditingkatkan oleh unsur hara klor. Klor juga membantu dan memengaruhi membuka dan menutup stomata. Tanaman juga dapat terjadi kekurangan air pada jaringan tanaman. Klor juga

diduga dapat menekan pertumbuhan penyakit bercak daun pada gandum dan penyakit akar pada aot. Pada daun tanaman kandungan klor 20 ppm.

Tanaman yang defisiensi unsur hara Klor (Cl) akan mengalami perubahan warna (Klorosis). Tanaman yang bagian daun muda akan mengalami klorosis dan kemudian tanaman tersebut menjadi layu. Defisiensi unsur hara klor pada tanaman dapat menimbulkan penyakit pada tersebut. Toksisitas tanaman terhadap klor yang terjadi pada daun akan berwarna kuning secara cepat, sebelum daun tanaman tersebut tua. Daun tanaman pada bagian ujung dan tepian daun tanaman. Tanaman daun nya akan mengalami Bronzing dan absisi daun. Tanaman akan mengalami kendala dalam penyerapan air dan ion-ion, hal ini dikarenakan tanah dipengaruhi oleh NaCl yang tinggi (Jones Jr., 2012).

7. Gejala Defisiensi dan Toksisitas Unsur Hara Molibdenum (Mo)

Unsur hara Molibdenum (Mo) merupakan senyawa yang disusun dari 2 sistem enzim utama yaitu, Nitrogenase dan nitrat reduktase. Nitrogenase membantu perubahan nitrat (NO_3) menjadi amonium (NH_4). Keberadaan Mo di dalam tanah yang dibutuhkan oleh tanaman berkurang jika kandungan N di dalam tanaman adalah NH_4 . Daun tanaman yang kering memiliki kandungan Mo kurang dari 1 ppm. Hal ini, dapat dipengaruhi oleh kandungan yang sangat rendah dari anion molibdat (MnO_4^{2-}) yang dapat larut di dalam tanah. Pada tanaman kandungan Mo yang terdapat pada tanaman berkisar 0,34 sampai 1,5 ppm. Kandungan tersebut apabila tinggi pada tanaman dapat menyebabkan tanaman menjadi keracunan. Kandungan Mo yang lebih tinggi dari 10 ppm dapat menimbulkan bahaya bagi hewan ternak, apalagi sapi perah yang lebih sensitif. Unsur hara Mo akan meningkat seiring dengan meningkatnya pH pada tanah. Mo yang berada di dalam tanah dapat diserap oleh Fe dan Al Oksida, hal ini didukung dengan pH pada tanah. Mo masuk ke akar tanaman melalui aliran massa dan difusi, Mo akan masuk ke dalam jaringan tanaman jika Mo tinggi di dalam tanah. Jika unsur hara N bersumber dari NO_3 maka Mo dapat diserap lebih tinggi tanaman. Akan tetapi, jika NH_4 sama dengan atau lebih banyak keberadaannya sebagai sumber N maka Mo akan menyerap lebih sedikit. Penyerapan Mo akan meningkat jika unsur hara P dan Mg banyak, sedangkan Mo akan sedikit diserap oleh tanaman jika SO_4 lebih banyak. Tanaman yang terjadi defisiensi unsur hara Mo hampir sama dengan kekurangan unsur hara Nitrogen. Daun tanaman yang memiliki gejala daun tidak berwarna hijau dan daun tua akan mengalami klorosis, daun tanaman akan menggulung dan pembentukan dan pertumbuhan bunga tidak banyak. Tanaman seperti palawija dan Cruciferae memiliki kebutuhan Mo yang sangat tinggi. Tanaman kembang kol tidak akan terbentuk apabila

kekurangan Mo, hanya terbentuk tulang daun pada tanaman tersebut. Tanaman yang memiliki gejala toksisitas Mo tidak berpengaruh terhadap tanaman itu sendiri, akan tetapi akan berdampak pada hewan ternak (Jones Jr., 2012).

BAB IX. JENIS PUPUK APLIKASI DAN PENGELOLAANNYA

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Klasifikasi dan sifat Pupuk 2. Sumber dan Proses pembuatan pupuk 3. Perhitungan dan Aplikasi Pembuatan pupuk
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

9.1 Pengertian Pupuk dan Pemupukan

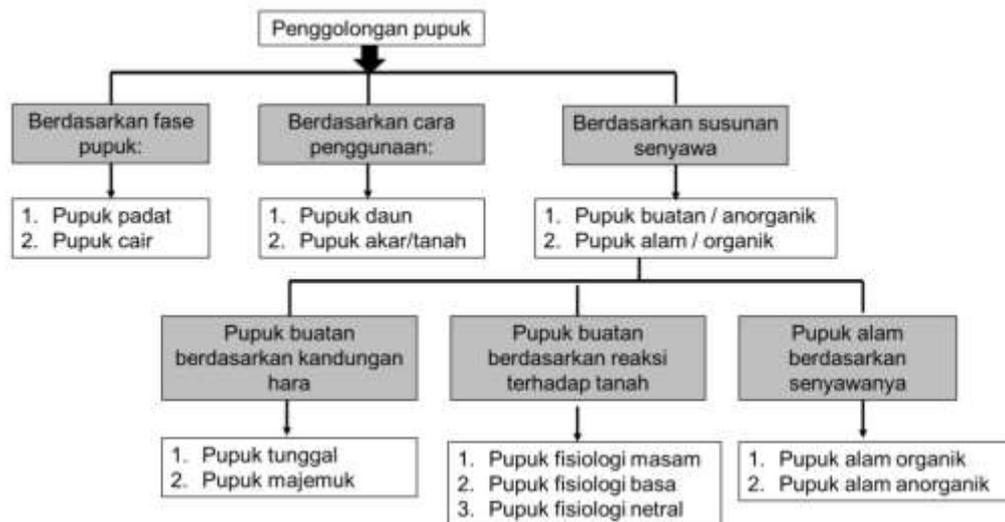
Pengertian pupuk menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 06/Permentan/SR.130/2/2011 adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung. Pengertian lain pupuk menurut Buckman (1994) yaitu bahan anorganik /organik, alami/buatan yg ditambahkan ke dalam tanah untuk memberikan unsur esensial tertentu bagi pertumbuhan tanaman secara normal. Sedangkan menurut Thompson (1975) mendefinisikan pupuk merupakan sumber hara tanaman yang ditambahkan kedalam tanah utk meningkatkan kesuburan tanah. Pupuk memiliki perbedaan dengan bahan pembenah tanah. Pengertian bahan pembenah tanah menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 adalah merupakan bahan-bahan sintesis atau alami, organik atau mineral berbentuk padat atau cair yang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.

Pemupukan dalam arti luas merupakan pemberian bahan kepada tanah dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kesuburan tanah, sedangkan untuk pengertian khususnya bahwa pemupukan merupakan pemberian bahan untuk menambahkan unsur hara tersedia di dalam tanah. Pemupukan yang tepat dan benar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Bahan pembenah tanah juga sering dihubungkan dengan pupuk. Bahan pembenah tanah atau disebut juga amelioran atau soil amendements. Bahan pembenah tanah adalah bahan yang diberikan ke tanah dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas tanah (terkait dengan perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah). Contoh : kapur, pupuk kandang, kompos. Pembenah tanah termasuk pupuk; namun pupuk belum tentu merupakan pembenah tanah. Seperti

contohnya pada sebuah kebun kelapa sawit menggunakan tandan kelapa sawit segar atau yang telah terlapuk dan limbah cair kelapa sawit sebagai bahan pembenah tanah.

9.2 Klasifikasi Pupuk

Penggolongan pupuk yang didasarkan pada fasenya terbagi menjadi pupuk padat dan pupuk cair. Pembagian berdasarkan fase ini bisa dipakai untuk melakukan penggolongan baik untuk pupuk buatan maupun pupuk alam. Pupuk padat merupakan pupuk yang berbentuk padat, sedangkan pupuk cair merupakan pupuk yang berbentuk cair. Pupuk padat ini pada umumnya memiliki kelarutan dari yang mudah larut air hingga sukar larut air, dan hal ini tergantung pada bahan yang digunakan. Seperti contohnya pada pupuk Urea dan pupuk Superphosfat, kedua pupuk ini mudah larut air sehingga unsur hara yang dikandung mudah digunakan tanaman. Pupuk cair umumnya cara pemakaiannya dilarutkan terlebih dahulu dengan air. Umumnya pupuk ini diaplikasikan ke daun. Biasanya kandungan haranya terdiri dari beberapa macam hara, baik unsur hara makro dan mikro.



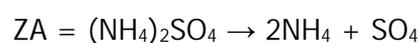
Gambar 14. Bagan penggolongan pupuk

Cara penggunaan pupuk dapat diberikan baik ke dalam tanah ataupun ke dalam daun tanaman yang dituju. Pupuk daun adalah pupuk yang cara pemberiannya dengan dilarutkan dalam air dan disemprotkan pada permukaan daun. Selain itu ada pupuk yang diberikan ke dalam tanah di sekitar akar agar mudah diserap oleh akar tanaman, dan pupuk jenis ini lebih banyak digunakan. Pupuk buatan atau biasa disebut pupuk anorganik, merupakan pupuk yang dibuat oleh pabrik. Berdasarkan kandungan unsur hara, pupuk ini dapat dibagi menjadi:

1. Pupuk tunggal, yaitu pupuk yang hanya mengandung satu jenis unsur hara. Contoh untuk jenis ini adalah pupuk Urea (mengandung hara nitrogen 46%), pupuk SP-36 (mengandung hara fosfor 36%), pupuk KCl (mengandung hara kalium 60%).
2. Pupuk tidak tunggal, yaitu pupuk yang hanya mengandung lebih dari satu jenis unsur hara. Pupuk tunggal dan tidak tunggal memiliki kelebihan dan kelemahan. Pupuk kategori ini dapat dibagi lagi menjadi:
 - a. Pupuk campuran (*mixed fertilizer*), merupakan pupuk tunggal yang digabung menjadi satu pupuk secara manual, sehingga menyebabkan pupuk ini pencampuran hanya secara fisik, sehingga susunan kimianya tidak berubah. Contohnya adalah menggabungkan pupuk urea, pupuk Phonska dan pupuk KCl sehingga menjadi satu pupuk sehingga memiliki kandungan N, P dan K.
 - b. Pupuk majemuk (*compound fertilizer*), merupakan pupuk buatan pabrik yang memiliki kandungan hara lebih dari satu. Pupuk ini terjadi pencampuran bahan secara kimia sehingga susunan kimianya berubah dan biasanya dibentuk dalam bentuk granul (butir) sehingga mudah aplikasi. Pupuk tidak tunggal memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam melakukan aplikasi dan hemat biaya tenaga kerja, karena dalam satu kali aplikasi dapat mencakup beberapa unsur hara sekaligus. Contoh pupuk ini adalah pupuk NPK, yang memiliki kandungan hara N, P dan K.

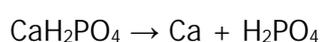
Pupuk anorganik juga dapat dibagi menjadi tiga macam dengan dasar reaksi yang diakibatkan pada aplikasinya ke tanah, yaitu:

1. Pupuk fisiologis masam yaitu pupuk yang bila digunakan terus menerus dalam jumlah besar akan menyebabkan penurunan pH tanah. Contoh untuk tipe ini adalah pupuk Urea dan ZA sebagai sumber hara N. Reaksi yang terjadi yaitu:

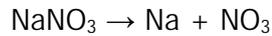


Tanaman akan mengikat dan menggunakan NH_4^+ untuk pertumbuhan tanaman, sehingga menyisakan SO_4 ke larutan tanah. Senyawa SO_4 bertemu dengan lempas tanah akan menyebabkan penurunan pH tanah.

2. Pupuk fisiologis netral yaitu pupuk yang bila digunakan terus menerus dalam jumlah besar tidak akan menyebabkan perubahan pH tanah. Contoh untuk tipe ini adalah pupuk TSP sebagai sumber hara P. Reaksi yang terjadi yaitu:



Pupuk fisiologis basa yaitu pupuk yang bila digunakan terus menerus dalam jumlah besar akan menyebabkan peningkatan pH tanah. Hal ini terjadi karena sisa pupuk akan memberikan pengaruh terhadap kondisi tanah. Contohnya adalah reaksi pada penggunaan pupuk natrium nitrat:



Pupuk yang memiliki sifat fisiologis basa tidak banyak, permasalahan yang banyak terjadi adalah karena pupuk fisiologis masam.

Pupuk alam atau pupuk organik merupakan pupuk yang tersedia di alam atau pupuk yang bahannya didapatkan dari bahan yang ada di alam. Contoh pupuk alam organik yaitu pupuk kandang, kompos dan pupuk hijau. Sedangkan untuk pupuk alam anorganik yaitu batuan fosfat.

Pupuk buatan atau anorganik dan pupuk campuran (mixed fertilizer)

Pada pupuk buatan, dikenal pupuk campuran (mixed fertilizer), yaitu pupuk yang mengandung lebih dari satu macam unsur hara yang dibuat dengan cara mencampur sendiri pupuk-pupuk tunggal yang kita inginkan. Akan tetapi dalam pencampuran pupuk ini tidak bisa dilakukan sembarangan dan ada beberapa hal perlu diperhatikan dalam melakukan pencampuran pupuk, yaitu:

1. Kecocokan secara agronomi (*agronomic suitability*). Pupuk yang dibuat harus cocok dengan tanaman maupun tanah yang diberi.
2. Grade pupuk campuran yang diinginkan. Kandungan pupuk tunggal yang akan dipakai harus lebih besar daripada pupuk campuran yang diinginkan. Hal ini disebabkan karena setelah pencampuran, kemungkinan adanya kehilangan tinggi.
3. Sifat-sifat fisika dan kimia pupuk tunggal yang akan dicampur harus cocok sehingga kualitas pupuk campuran yang dibuat tidak menurun.

Kelebihan dari pupuk campuran ini antara lain:

1. Lebih sedikit tenaga kerja dan waktu yang dibutuhkan untuk mengaplikasikan pupuk campuran terutama jika tenaga kerja terbatas dan mahal
2. Pupuk campuran lebih memiliki kondisi fisik yang lebih baik dan lebih mudah diaplikasikan dibandingkan aplikasi pupuk secara terpisah, terutama jika pupuk campuran berupa granul atau butiran
3. Pemasaman tanah akibat aplikasi pupuk seperti yang biasa terjadi akan lebih mudah dikontrol dengan memberikan pupuk campuran dengan kandungan kapur dolomit.

Sedangkan untuk kelemahannya antara lain:

1. Ketika aplikasi pupuk campur, terkadang petani susah melihat hubungan antara hasil dengan masing-masing hara maupun tanah.
2. Petani masih belum mengetahui tentang aturan dalam mencampur pupuk
3. Untuk konsentrasi hara yang sama, aplikasi pupuk campur membutuhkan berat yg lebih banyak dibandingkan ketika aplikasi pupuk itu secara tunggal.

Pupuk buatan, baik berupa pupuk campur dan pupuk majemuk, memiliki beberapa istilah yang penting untuk diperhatikan. Beberapa istilah tersebut dan penerapannya antara lain:

1. Kandungan hara dalam pupuk. Kandungan hara dalam pupuk dinyatakan biasanya dalam bentuk persen (%). Sebagai contoh: pupuk Urea memiliki kandungan N sebesar 46%, artinya adalah bahwa dalam 100 gram pupuk Urea, maka hara N sebesar 46 gram. Contoh kasus lain jika dibutuhkan hara N sebanyak 10 gram, maka pupuk urea yang harus diberikan sebesar =

$$\frac{100}{46} \times 10 \text{ gram} = 21,74 \text{ gram}$$

2. Fertilizer grade: yaitu prosentase (%) minimum dari N, P₂O₅, dan K₂O yang dikandung pupuk. Misalnya:
 - a. 12-6-6 artinya pupuk tersebut mengandung 12% N, 6% P₂O₅, dan 6% K₂O
 - b. 10-10-10 artinya pupuk tersebut mengandung 10% N, 10% P₂O₅, dan 10% K₂O
3. Fertilizer ratio, ini merupakan perbandingan antara % N, % P₂O₅, dan % K₂O yang ada pada pupuk mejemuk atau pupuk campur, sebagai contoh :
Suatu pupuk memiliki fertilizer ratio 2 : 1 : 1 maka artinya adalah perbandingan antara % N, % P₂O₅ , dan % K₂O adalah 2 : 1 : 1.
4. Conditioner (kondisioner), yaitu bahan yang ditambahkan dalam pupuk campur/majemuk selama atau pada waktu pembuatan untuk mengurangi faktor kelemahan dalam pupuk dan memperbaiki kondisi fisiknya. Contoh : zeolit, gipsum (gips = CaSO₄5H₂O).
5. Filler (pengisi), yaitu bahan yang ditambahkan pada pupuk campur sampai berat tertentu sehingga kandungan unsur-unsur dalam pupuk tersebut terpenuhi. Syarat filler adalah tidak mengandung hara atau kandungan haranya kecil. Contoh : pasir, serbuk gergaji.

BAB X. PUPUK ORGANIK dan PUPUK AN ORGANIK

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Konsep pupuk organik dan an aorganik 2. Manfaat pupuk organik 3. Pembuatan pupuk organik
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

10.1 Defenisi Pupuk Organik

Pupuk organik merupakan bahan yang tersedia di alam berasal dari sisa-sisa jasad hidup yang bila diberikan ke tanah dapat memelihara atau meningkatkan kesuburan tanah. Beberapa contoh pupuk organik yang banyak dipakai adalah pupuk kandang, pupuk hijau dan kompos. Pupuk organik sebaiknya diaplikasikan dalam kondisi matang. Aplikasi pupuk organik yang belum matang memiliki beberapa dampak. Rasio C/N yang tinggi (>30:1) pada kompos yang belum matang menyebabkan dekomposisi yang lambat dan menghambat pertumbuhan tanaman karena kekurangan nitrogen tersedia. Sedangkan rasio C/N yang rendah menyebabkan nitrat-N yang dapat mengurangi mutu tanaman pertanian.

Penggunaan kompos yang belum matang dapat menyebabkan ketersediaan hara N, P, dan K tanah menurun, karena diserap dan digunakan oleh mikroba dekomposer untuk aktivitas penguraian bahan organik (Putro et al., 2016). Mikroorganisme yang terdapat dalam kompos yang belum matang masih aktif mengurai bahan kompos sehingga ketika diaplikasikan pada tanaman mikroorganisme akan mengambil nitrogen dari tanah. Hal ini akan menyebabkan tanaman menjadi bersaing dengan mikroorganisme pengurai dalam memperoleh nitrogen dalam tanah. Mikroorganisme dapat menjadi lebih cepat mengambil nitrogen dari pada tanaman sehingga tanaman akan kekurangan nitrogen (Laviendi et al., 2013).

Manfaat pupuk organik sangat beragam, antara lain (Supartha et al., 2012):

1. Bahan organik dalam proses mineralisasi akan melepaskan hara tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg, S, serta hara mikro) dalam jumlah tidak tentu dan relatif kecil.
2. Dapat memperbaiki struktur tanah, menyebabkan tanah menjadi ringan untuk diolah dan mudah ditembus akar
3. Tanah lebih mudah diolah untuk tanah-tanah berat.

4. Meningkatkan daya menahan air (water holding capacity). Sehingga kemampuan tanah untuk menyediakan air menjadi lebih banyak. Kelengasan air tanah lebih terjaga.
5. Permeabilitas tanah menjadi lebih baik. Menurunkan permeabilitas pada tanah bertekstur kasar (pasiran), sebaliknya meningkatkan permeabilitas pada tanah bertekstur sangat lembut (lempungan).
6. Meningkatkan KPK (Kapasitas Pertukaran Kation) sehingga kemampuan mengikat kation menjadi lebih tinggi, akibatnya apabila dipupuk dengan dosis tinggi hara tanaman tidak mudah tercuci.
7. Memperbaiki kehidupan biologi tanah (baik hewan tingkat tinggi maupun tingkat rendah) menjadi lebih baik karena ketersediaan makan lebih terjamin.
8. Dapat meningkatkan daya sangga (buffering capacity) terhadap goncangan perubahan drastis sifat tanah.
9. Mengandung mikrobia dalam jumlah cukup yang berperan dalam proses dekomposisi bahan organik.

10.2 Ragam Pupuk Organik

A. Pupuk Kandang

Pupuk kandang (pukan) didefinisikan sebagai semua produk buangan dari binatang peliharaan yang dapat digunakan untuk menambah hara, memperbaiki sifat fisik, dan biologi tanah. Apabila dalam memelihara ternak tersebut diberi alas seperti sekam pada ayam, jerami pada sapi, kerbau dan kuda, maka alas tersebut akan dicampur menjadi satu kesatuan dan disebut sebagai pukan pula. Beberapa petani di beberapa daerah memisahkan antara pukan padat dan cair. Pupuk kandang ialah campuran antara kotoran padat dan cair dari hewan ternak dengan sisa-sisa makanan ataupun alas kandang (Marpaung et al., 2014). Persentase bahan padat dan bahan cair pada pupuk kandang :

Sapi	: bahan padat 44,0 %, bahan cair 6,3 %
Kambing	: bahan padat 67,0 %, bahan cair 33,0 %
Ayam	: bahan padat 5,7 %, bahan cair 46,7 %

Perbandingan bagian padat dan cair umumnya 2 : 1 sampai 4 : 1 (rata-rata 3 : 1), walaupun demikian dari segi pertanian nilainya sama-sama penting karena unsur hara dalam bagian cair tersedia lebih cepat. Pupuk kandang merupakan sumber unsur hara penting, baik unsur hara mikro maupun hara makro. Beberapa unsur hara yang ditemukan pada sebuah pupuk kandang antara lain :

Mg = 3,5 – 12,8 kg/ton	B = 0,04 – 0,26 kg/ton
Ca = 5,3 – 162,8 kg/ton	Mn = 0,02 – 0,40 kg/ton
S = 2,2 – 13,6 kg/ton	Cu = 0,02 – 0,07 kg/ton
Fe = 0,02 – 2,05 kg/ton	Mo = 0,002 – 0,02 kg/ton
Zn = 0,07 – 0,4 kg/ton	

Susunan hara pupuk kandang sangat bervariasi tergantung macamnya dan jenis hewan ternaknya. Nilai pupuk kandang dipengaruhi oleh:

1. Makanan hewan yang bersangkutan,
2. Fungsi hewan tersebut sebagai pembantu pekerjaan atau dibutuhkan dagingnya saja,
3. Jenis atau macam hewan, dan
4. Jumlah dan jenis bahan yang digunakan sebagai alas kandang.

Pupuk kandang memiliki kandungan unsur hara lebih rendah, tetapi dapat mempertinggi bahan organik/humus, mendorong kehidupan mikro organisme, dan memperbaiki struktur tanah. Unsur hara dari pupuk kandang lebih lambat bereaksi, karena harus mengalami perombakan lebih dulu sebelum diserap tanaman. Pemberian pupuk kandang melalui tanah dengan cara disebar, ditanamkan, atau diberikan pada tempat-tempat tertentu (tergantung macam tanaman). Pemeliharaan & penyimpanan pupuk kandang harus baik agar kehilangan unsur hara dengan cara : langsung diangkut ke ladang, disimpan dengan ditimbun di kandang. Perlu diperhatikan : Tempat harus kedap air dan datar, pakai hamparan yang mampu menyerap air dengan baik, perhatikan suhu (harus sesuai), perhatikan kelembaban (harus cukup) karena ada hubungannya dengan tinggi tumpukan.

Tabel 5. Kandungan hara pada beberapa jenis pupuk kandang

Sumber pakan	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
	ppm						
Sapi perah	0,53	0,35	0,41	0,28	0,11	0,05	0,004
Sapi daging	0,65	0,15	0,30	0,12	0,10	0,09	0,004
Kuda	0,70	0,10	0,58	0,79	0,14	0,07	0,010
Unggas	1,50	0,77	0,89	0,30	0,88	0,00	0,100
Domba	1,28	0,19	0,93	0,59	0,19	0,09	0,020

Tabel 6. Kandungan hara dari pupuk kandang padat/segar

Sumber pukan	Kadar air	Bahan organik	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Rasio C/N
			%				
Sapi	80	16	0,3	0,2	0,15	0,2	20-25
Kerbau	81	12,7	0,25	0,18	0,17	0,4	25-28
Kambing	64	31	0,7	0,4	0,25	0,4	20-25
Ayam	57	29	1,5	1,3	0,8	4,0	9-11
Babi	78	17	0,5	0,4	0,4	0,07	19-20
Kuda	73	22	0,5	0,25	0,3	0,2	24

Pupuk kandang merupakan salah satu produk pengomposan. Pengomposan diartikan sebagai proses dekomposisi secara biologi untuk mencapai bahan organik yang stabil. Proses pengomposan menghasilkan panas. Dengan dihasilkannya panas maka akan dihasilkan produk kompos akhir yang stabil, bebas dari patogen dan biji-biji gulma, berkurangnya bau, dan lebih mudah diaplikasikan ke lapangan. Selain itu perlakuan pengomposan dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman karena perubahan bentuk dari tidak tersedia menjadi mudah tersedia.

Tabel 6. Keuntungan dan kekurangan dari kompos pupuk kandang

No.	Keuntungan	Kekurangan
1.	Mengurangi masa dan volume (mengurangi biaya penyimpanan)	1. Kehilangan NH ₃ (N)
2.	Berkurangnya bau	2. Diperlukan waktu dan tenaga
3.	Terbasminya patogen	3. Pada awalnya memerlukan biaya investasi alat dan pengoperasiannya
4.	Biji-bijian gulma menjadi mati	4. Dibutuhkan lahan untuk pengomposan
5.	Mempermudah transportasi	5. Diperlukan pemasaran
6.	Memperbaiki kondisi tanah	
7.	Meningkatkan pelepasan hara-hara yang berkualitas lebih tinggi dari kompos (<i>release</i>) secara perlahan-lahan dalam waktu tertentu	
8.	Mengurangi sumber polusi – menstabilkan N yang mudah menguap menjadi bentuk lain seperti protein	
9.	Bernilai ekonomi	
10.	Meningkatkan daya memegang air tanah, sumber energi flora dan fauna tanah	

Hasil penelitian pembuatan kompos dari kotoran hewan menunjukkan bahwa 10-25% dari N dalam bahan asal kompos akan hilang sebagai gas NH₃ selama proses pengomposan. Selain itu dihasilkan pula 5% CH₄ dan sekitar 30% N₂O yang berpotensi untuk mencemari lingkungan sekitarnya (Stevenson, 1982).

B. Pupuk Hijau

Pupuk hijau adalah pupuk yang didapat dari sisa tanaman atau bagian-bagian tanaman dengan tujuan untuk menambah bahan organik dan unsur hara, terutama Nitrogen. Penggunaan pupuk hijau langsung bisa bersamaan saat pengolahan lahan, beberapa minggu sebelum tanam atau saat tanam. Pupuk hijau dapat diberikan dekat waktu penanaman tanpa harus mengalami proses pengomposan lebih dulu sebagaimana sisa-sisa tanaman pada umumnya. Berikut syarat tanaman yang dapat dijadikan pupuk hijau :

1. Cepat tumbuh
2. Produksi biomassa tinggi (banyak menghasilkan bahan organik)
3. Banyak mengandung N dan rasio C/Nnya rendah, biasanya tanaman legume (kacang-kacangan)
4. Dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur (tanah marginal)
5. Bukan tanaman inang hama atau penyakit
6. Tidak membutuhkan pemeliharaan yang baik dan tidak merintang kehidupan tanaman pokok
7. Mudah dipangkas dan tidak berkayu
8. Resisten (tahan) terhadap hama dan penyakit
9. Dapat menekan pertumbuhan gulma
10. Efisien memanfaatkan air

Jenis-jenis pupuk hijau

Secara umum, hampir semua jenis tanaman bisa dijadikan sumber pupuk hijau. Namun sebaiknya gunakan tanaman yang memiliki kandungan humus total tinggi, kandungan nitrogen tinggi dan rasio C/N (nisbah karbon terhadap nitrogen) rendah.

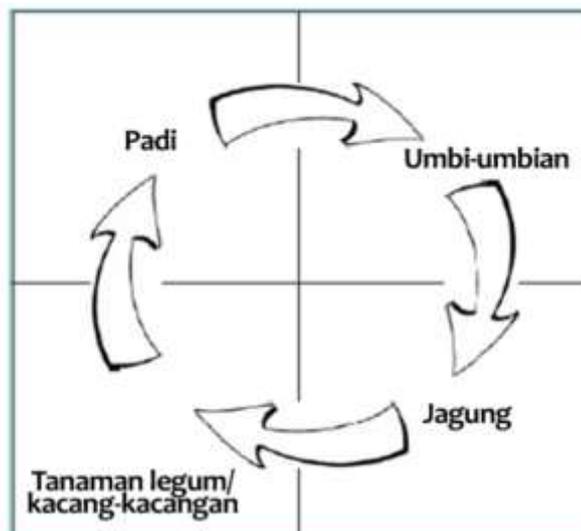
Para ahli menerangkan bahwa pupuk hijau yang berkualitas tinggi memiliki kandungan nitrogennya lebih dari 2,5%, kandungan lignin kurang dari 15% dan kandungan polifenol kurang dari 4%. Tanaman dengan karakteristik seperti itu akan mudah terurai di dalam tanah dan unsur nitrogennya bisa diserap tanaman dengan mudah. Apabila kandungan lignin dan polifenol tinggi akan membutuhkan lebih banyak nitrogen dalam proses pelapukannya. Sehingga berpotensi untuk bersaing

dengan tanaman inti. Berikut ini beberapa sumber tanaman yang biasa dijadikan sumber pupuk hijau.

Sisa tanaman produksi

Pada saat panen tidak semua biomasa tanaman diangkut untuk dijual. Sebagian ditinggal di lahan dan dibiarkan terurai sebagai pupuk hijau. Kendalanya, beberapa petani kurang sabar menunggu masa bera (istirahat) hingga seluruh tanaman lapuk. Seperti petani padi yang sering kali membakar jerami sisa panen. Hal itu dilakukan karena beberapa jenis tanaman memang jangka penguraiannya lama. Sebenarnya ini bisa dipercepat dengan cara mengomposkan tanaman tersebut terlebih dahulu.

Beberapa tanaman dari jenis legum lebih efektif untuk dijadikan pupuk hijau. Kandungan hara tanaman legum terutama unsur N lebih tinggi dari jenis lain. Penyediaan hara dari tanaman legum lebih cepat karena tanaman ini lebih mudah terdekomposisi. Jenis tanaman legum yang sering dibudidayakan diantaranya kacang-kacangan seperti, kacang tanah, kacang hijau, kedelai dan kacang panjang. Untuk mendapatkan pupuk hijau dari sisa tanaman produksi dengan efisien, kita harus melakukan rotasi tanaman. Misalnya, tanaman kacang kedelai ditanam di sela-sela musim tanam padi. Sehingga ketika kacang kedelai ditanam, sisa tanamannya bisa ditanam langsung untuk tanaman padi.



Gambar 15. Contoh rotasi tanaman

Tanaman pagar

Pupuk hijau bisa didapatkan dengan menanam tanaman sumber di sela-sela tanaman inti. Para petani biasa menanamnya di lorong antar bedengan tanaman utama. Praktek seperti ini banyak diaplikasikan oleh para petani tanaman pangan yang mengadopsi sistem SALT. Tanaman pagar akan bekerja efektif bila memenuhi sifat-sifat (1) Prosentase pertumbuhan daun lebih besar dari pada kayu, (2) Pertumbuhan cepat, gampang bertunas dan akarnya dalam agar tidak bersaing dengan tanaman inti, (4) Berkemampuan tinggi menambat nitrogen dan kandungan hara lain, (5) Tidak berpotensi menjadi gulma. Tanaman yang cocok dijadikan tanaman pagar sebagai sumber pupuk hijau merupakan jenis tanaman legum. Beberapa diantaranya adalah:

Hahapaan (*Flemingia macrophylla*)

Lamtoro (*Leuceana leucephala*)

Gamal (*Gliricidia sepium*)

Kaliandra (*Caliandra callothyrsus*)

Tanaman penutup tanah

Ada dua jenis tanaman penutup tanah yang biasa digunakan sebagai sumber pupuk hijau. Pertama, tanaman yang ditanam pada masa bera atau masa ketika lahan tidak digunakan. Pupuk hijau ini biasanya ditanam menjelang musim kemarau, gunanya sebagai mulsa untuk melindungi tanah. Tanaman ini diharapkan bisa mengkonservasi tanah dan hijauannya merupakan sumber nitrogen untuk musim tanam berikutnya.

Kedua, tanaman yang ditanam berdampingan dengan tanaman inti, biasanya diaplikasikan di perkebunan kopi ataupun sawit. Guna tanaman ini untuk menahan laju erosi tanah, mempertahankan kadar air tanah, dan hijauannya bisa digunakan sebagai sumber nitrogen. Beberapa tanaman penutup tanah yang cocok dijadikan sebagai sumber pupuk hijau adalah:

Bunguk (*Mucuna munanease*)

Komak (*Dolicos lablab*)

Kacang tunggak (*Vigna sinensis*)

Kakacangan (*Arachis pinto*)

Tanaman liar

Selain dari tanaman yang secara sengaja kita tanam, pupuk hijau juga bisa diambil dari tanaman liar. Tanaman ini biasanya tumbuh liar disekitar lahan pertanian, biomasnya bisa dimanfaatkan sebagai pupuk hijau. Di sawah yang memiliki kadar

organik tinggi biasanya ditemukan tanaman sejenis pakis air (*azolla*) yang tumbuh dengan cepat. Saat pengolahan tanah, tanaman ini bisa ditanam langsung sebagai pupuk hijau. Beberapa tanaman liar yang biasa dijadikan sebagai sumber pupuk hijau adalah:

Kipait atau paitan (*Tithonia diversifolia*)

Kirinyu (*Cromoleana odorata*)

Babadotan atau Wedusan (*Ageratum conyzoides*)

Azolla (*Azolla caroliniana*, *Azolla filiculoides*, *Azolla mexicana*, *Azolla pinata*)

Karakteristik pupuk hijau

Pupuk hijau memiliki karakteristik seperti pupuk organik pada umumnya. Bisa memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, memicu aktivitas biologi tanah, dan menyediakan unsur hara bagi tanaman. Dilihat dari sisi usaha tani, pupuk hijau memiliki sejumlah keunggulan dan kekurangan untuk digunakan.

Keunggulan penggunaan pupuk hijau:

- Mempunyai keunggulan seperti pupuk organik lain, memperbaiki struktur fisik, kimia dan biologi tanah
- Mampu mencegah erosi tanah
- Berpotensi mendatangkan manfaat lain, seperti kayu bakar, pakan ternak, atau buah yang bisa dimakan
- Cocok untuk daerah yang sulit dijangkau, karena bisa ditumbuhkan secara in situ
- Menurunkan asupan limbah pertanian, lebih baik bagi lingkungan hidup

Kelemahan penggunaan pupuk hijau:

- Memerlukan benih dan menanamnya
- Menghilangkan kesempatan untuk menanam tanaman inti lebih sering
- Memerlukan tenaga lebih untuk menumbuhkannya
- Berpotensi mendatangkan hama dan penyakit pada tanaman inti
- Berpotensi menjadi gulma

Penggunaan pupuk hijau

Pembenaman langsung, sumber pupuk hijau dari jenis tanaman yang memiliki rasio C/N rendah (seperti legum dan *azolla*) bisa ditanam langsung pada lahan saat pengolahan tanah. Tanaman jenis ini biasanya memiliki kandungan nitrogen tinggi dan mudah terurai dalam tanah.

Digunakan sebagai mulsa,

Beberapa jenis pupuk hijau bisa diaplikasikan sebagai mulsa. Misalnya, jerami sisa tanaman padi yang dijadikan mulsa tanaman cabe atau bawang daun. Mulsa berguna untuk menjaga erosi dan kelembaban tanah saat tanaman inti masih muda. Ketika mulsa mulai terurai akan digunakan sebagai sumber hara tanaman oleh tanaman inti.



Gambar 16. Contoh penggunaan untuk mulsa

Dikomposkan, tanaman yang memiliki rasio C/N tinggi (biasanya kadar ligninnya tinggi), sebaiknya dikomposkan terlebih dahulu (lihat: cara membuat kompos). Lignin memerlukan waktu yang lama untuk terurai dalam tanah. Apabila sumber pupuk hijau seperti ini langsung diaplikasikan pada lahan, akan terjadi proses dekomposisi yang memerlukan nitrogen. Hal ini memunculkan persaingan perebutan nitrogen dengan tanaman inti. Akibatnya pertumbuhan tanaman inti terganggu.

C. Kompos

Pupuk Kompos merupakan hasil dari proses pengomposan terhadap bahan-bahan organik. Proses ini menyebabkan BO mengalami perubahan menjadi bahan yang C/N nya rendah mendekati C/N tanah. Kompos dibuat dari BO yang C/N nya tinggi, seperti jagung, jerami padi, tebu, sampah kota, dll. Proses pengomposan dilakukan oleh jasad renik tanah seperti bakteri, jamur, dll pada tenggang waktu tertentu sampai nilai C/N nya mendekati C/N tanah (sekitar 10-15). Karena telah mengalami proses perombakan lanjut maka kompos mempunyai kualitas yang lebih baik dibanding bahan asalnya apabila dipakai sebagai bahan pembenah tanah.

Kelemahan kompos :

1. Jumlah UH yang dikandung kecil, sehingga dalam penggunaannya membutuhkan jumlah yang banyak.
2. Dapat tercampur biji tanaman pengganggu (gulma) sehingga dapat tumbuh menyaingi tanaman pokok.
3. Kadang-kadang mengandung bibit hama dan penyakit yang dapat membahayakan tanaman.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perombakan bahan pada pembuatan kompos

1. Susunan bahan asal, jika banyak lignin, damar akan memperlambat proses perombakan
2. Nitrogen , akan mempercepat proses
3. Ukuran bahan asal, makin halus, makin cepat
4. Homogenitas bahan asal
5. Faktor luar
6. Nilai pH, sekitar netral, tidak boleh terlalu rendah
7. Kelembaban udara harus cukup
8. Suhu sekitar 30 – 45 °C (suhu optimal)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengomposan ialah:

- a. Kelembaban timbunan bahan kompos. Kegiatan dan kehidupan mikrobia sangat dipengaruhi oleh kelembaban yang cukup, tidak terlalu kering maupun basah atau tergenang.
- b. Aerasi timbunan. Aerasi berhubungan erat dengan kelengasan. Apabila terlalu anaerob mikrobia yang hidup hanya mikrobia anaerob saja, mikrobia aerob mati atau terhambat pertumbuhannya. Sedangkan bila terlalu aerob udara bebas masuk ke dalam timbunan bahan yang dikomposkan umumnya menyebabkan hilangnya nitrogen relatif banyak karena menguap berupa NH₃.
- c. Temperatur harus dijaga tidak terlampau tinggi. Selama pengomposan selalu timbul panas sehingga bahan organik yang dikomposkan temperaturnya naik; bahkan sering temperatur mencapai 60 °C. Pada temperatur tersebut mikrobia mati atau sedikit sekali yang hidup. Untuk menurunkan temperatur umumnya dilakukan pembalikan timbunan bakal kompos.
- d. Suasana. Proses pengomposan kebanyakan menghasilkan asam-asam organik, sehingga menyebabkan pH turun. Pembalikan timbunan mempunyai dampak netralisasi kemasaman.

- e. Netralisasi kemasaman sering dilakukan dengan menambah bahan pengapuran misalnya kapur, dolomit atau abu. Pemberian abu tidak hanya menetralisasi tetapi juga menambah hara Ca, K dan Mg dalam kompos yang dibuat.
- f. Kadang-kadang untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas kompos, timbunan diberi pupuk yang mengandung hara terutama P. Perkembangan mikrobial yang cepat memerlukan hara lain termasuk P. Sebetulnya P disediakan untuk mikrobial sehingga perkembangannya dan kegiatannya menjadi lebih cepat. Pemberian hara ini juga meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan karena kadar P dalam kompos lebih tinggi dari biasa, karena residu P sukar tercuci dan tidak menguap.

D. Pupuk hayati

Pupuk hayati adalah mikrobial ke dalam tanah untuk meningkatkan pengambilan hara oleh tanaman dari dalam tanah atau udara. Umumnya digunakan mikrobial yang mampu hidup bersama (simbiosis) dengan tanaman inangnya. Keuntungan diperoleh oleh kedua pihak, tanaman inang mendapatkan tambahan unsur hara yang diperlukan, sedangkan mikrobial mendapatkan bahan organik untuk aktivitas dan pertumbuhannya. Mikrobial yang digunakan sebagai pupuk hayati (biofertilizer) dapat diberikan langsung ke dalam tanah, disertakan dalam pupuk organik atau disalutkan pada benih yang akan ditanam. Mikrobial yang digunakan sebagai pupuk hayati (biofertilizer) dapat diberikan langsung ke dalam tanah, disertakan dalam pupuk organik atau disalutkan pada benih yang akan ditanam. Penggunaan yang menonjol dewasa ini adalah mikrobial penambat N dan mikrobial untuk meningkatkan ketersediaan P dalam tanah.

Keuntungan Pupuk Hayati :

1. Meningkatkan kesuburan tanah
2. Meningkatkan kesehatan tanah, juga tidak berdampak negatif terhadap tanah & lingkungan
3. Harga relatif murah
4. Mudah penggunaannya
5. Satu kali pemupukan untuk seumur tanaman

10.3 Pupuk An Organik

Pupuk telah lama dikenal sebagai salah satu faktor penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Hal ini terkait dengan fungsi utama pupuk yaitu sebagai

penyedia unsur hara yang dibutuhkan tanaman, yang akan semakin sedikit tersedia di alam karena diserap tanaman. Kebutuhan unsur hara dan ketersediaannya yang tidak seimbang di alam, membuat pupuk menjadi solusi atas masalah kecukupan kebutuhan unsur hara tanaman yang dibudidayakan.

Pupuk anorganik adalah jenis pupuk yang berasal dari bahan anorganik, biasanya mengandung unsur hara/mineral tertentu. Jenis pupuk ini biasa dikenal pula dengan sebutan pupuk kimia.

Contoh pupuk anorganik yaitu:

1. Urea (mengandung unsur Nitrogen)
2. SP-36 (mengandung unsur Fosfor)
3. NPK (mengandung Nitrogen, Fosfor dan Kalium)

Selanjutnya kategori pupuk berdasarkan kandungannya, dibagi menjadi:

a. Pupuk Tunggal, adalah pupuk yang hanya mengandung satu unsur hara tertentu saja. Contoh pupuk tunggal:

- Pupuk urea (mengandung Nitrogen)
- SP-36 (mengandung unsur Fosfor)

b. Pupuk Majemuk, adalah pupuk yang mengandung beberapa unsur hara tertentu.

Contoh pupuk majemuk:

- Pupuk NP (mengandung Nitrogen dan Fosfor)
- Pupuk NK (mengandung Nitrogen dan Kalium)

c. Pupuk Lengkap adalah pupuk yang mengandung unsur hara yang lengkap, baik unsur hara makro maupun unsur hara mikro; bahkan ada pupuk lengkap yang juga mengandung bahan pestisida.

Penggunaan semua jenis pupuk anorganik secara berlebihan dalam jangka panjang akan dapat menurunkan kesuburan tanah dan merusak struktur tanah. Akibatnya akar bawah tanaman menjadi pendek, sehingga menyebabkan produktivitas tanaman menurun. Banyak petani di Indonesia hanya mengandalkan naluri dan pengalaman dalam menggunakan pupuk; namun belum mengerti bahwa fungsi pupuk bisa maksimal apabila digunakan dalam kadar yang tepat. Banyak anggapan bahwa semakin banyak pupuk yang diberikan, maka akan semakin baik pula efeknya terhadap hasil pertanian. Padahal yang terjadi justru sebaliknya jika petani mencampurkan pupuk A dengan pupuk B atau C. Kandungan kimia yang ada di dalam tiap pupuk bisa saling bereaksi sehingga menimbulkan kerugian terhadap kondisi ekologi pertanian. Hal ini akan berkesesuaian dengan postulat lama yang dikembangkan oleh Justus Von Liebig

(1840) yang dikenal dengan Hukum Liebig Minimum yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman yang ditentukan oleh faktor ekologi yang paling langka (faktor pembatas). Peningkatan jumlah berlimpah nutrisi tidak meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hanya dengan meningkatkan jumlah hara pembatas (yang paling langka dalam kaitannya dengan "kebutuhan") barulah pertumbuhan suatu tanaman atau panen meningkat. Prinsip ini dapat disimpulkan dalam pepatah, "Ketersediaan hara yang paling melimpah di dalam tanah hanya akan sebaik ketersediaan hara yang paling sedikit di dalam tanah". Ini dapat dipahami oleh karena pertumbuhan tanaman yang optimal bergantung pada berbagai faktor ekologi (Rosmarkam & Yuwono, 2002).

Berikut beberapa akibat penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan, antara lain:

1. Mengganggu mikroorganisme dalam tanah

Sebelum menggunakan pupuk secara berlebihan, ingatlah bahwa tanaman bukanlah satu-satunya makhluk hidup yang bergantung pada tanah. Di Dalam tanah juga terdapat cacing tanah dan mikroorganisme lain yang hidup, maka jika penggunaan pupuk secara berlebihan pada tanah, bukan hanya tanah akan menjadi asam sehingga teksturnya cenderung lebih keras dan tidak gembur; namun aktivitas cacing tanah dan mikroorganisme di dalam tanah pun dapat terganggu, padahal cacing tanah bisa berperan membantu menyuburkan tanah.

2. Menjadi racun bagi tanaman

Bilamana pupuk yang digunakan mengandung kalium dan bila digunakan secara berlebihan, kandungan kalium tersebut bisa mengganggu keseimbangan basa pada tanah pertanian sehingga berpotensi merusak tanaman. Disamping itu kandungan magnesium dan kalsium yang berlebihan dalam tanah bisa membuat kondisi pH tanah menjadi terlalu basa. Kondisi ini bisa mengurangi atau menghilangkan beberapa unsur hara menjadi tidak tersedia untuk tanaman.

3. Menghambat pembusukan bahan organik

Pupuk kimia yang digunakan dalam jumlah terlalu banyak bisa menyebabkan risiko kematian mikroorganisme. Padahal berbagai mikroorganisme tersebut berfungsi menguraikan bahan-bahan organik di dalam tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah, sehingga bila banyak mikroorganisme yang mati, tentunya tanah lahan pertanian akan menjadi tidak subur sehingga berpengaruh buruk terhadap hasil pertanian.

4. Kualitas air disekitar lahan pertanian jadi buruk

Penggunaan pupuk secara berlebihan juga berdampak pada lingkungan sekitar lahan terutama air. Hal ini bisa terjadi karena ketika hujan, sisa pupuk yang tidak terserap akar

tanaman akan terbawa aliran air hujan menuju sungai atau danau terdekat, selanjutnya dimanfaatkan oleh tanaman air untuk tumbuh seperti eceng gondok tumbuh hingga menutupi permukaan sungai, tentunya bisa mengurangi kandungan oksigen di area permukaan tersebut.

5. Biaya operasional membengkak

Semakin banyak pupuk yang digunakan, maka akan semakin banyak pula biaya yang harus dikeluarkan, padahal belum tentu seluruh pupuk yang disebar sepenuhnya dapat diserap dengan baik oleh tanaman. Biasanya tanaman hanya mengambil unsur hara secukupnya dari lingkungan lahannya, sehingga kelebihan pupuk pun jadi terbuang sia-sia berarti juga mengeluarkan cukup banyak biaya.

BAB XI. APLIKASI PUPUK

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : 1. Konsep dan Cara Pemupukan
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

11.1 Konsep Pemupukan

Pemupukan dalam arti luas merupakan pemberian bahan ke tanah dengan tujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kesuburan tanah, sedangkan untuk pengertian khususnya bahwa pemupukan merupakan pemberian bahan untuk menambahkan unsur hara tersedia di dalam tanah. Pemupukan yang tepat dan benar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan terjadi efisiensi pemupukan yang tinggi. Beberapa hal yang mempengaruhi efisiensi pemupukan dikenal dengan konsep 5 Tepat, yaitu Tepat Waktu, Tepat Dosis, Tepat Jenis, Tepat Cara dan Tepat Tempat.

1. Tepat Waktu

Waktu aplikasi pemupukan bisa didasarkan pada dua hal yaitu (1) Tanaman : fase pertumbuhan / umur atau (2) pada pupuk yang diberikan (pupuk memiliki kecepatan penyediaan hara yang berbeda-beda (cepat-sedang-lambat). Berdasarkan hal tersebut, waktu pemberian pupuk dapat dibedakan menjadi :

- Sebelum tanam : Untuk pupuk yang pelepasan unsur haranya perlu waktu cukup lama (pupuk slow release). Seperti 1. fosfat alam butuh waktu 2 – 4 minggu sebelum tanam. ke dalam tanah.2. pupuk organik/pembenah tanah
- Bersamaan waktu tanam atau segera sesudah tanam : Untuk pupuk yang cepat tersedia misalnya pupuk N (urea, ZA, NaNO_3 dll) diberikan seketika sesuai dengan kebutuhan tanaman.
- Sesudah tanam (top dressing): untuk pupuk yg cepat tersedia dan harus disesuaikan dengan stadium / fase pertumbuhan tanaman

2. Tepat Dosis

Pemberian pupuk sesuai dengan dosis yang dibutuhkan sangat mempengaruhi efisiensi pemupukan. Dosis ini disesuaikan antara kebutuhan tanaman dan jumlah hara yang dimiliki tanah. Analisa daun dan analisa tanah merupakan cara untuk dapat menentukan kebutuhan atau penting dalam penentuan dosis pupuk yang akan diberikan.

3. Tepat Jenis

Pemberian pupuk sesuai dengan jenis yang dibutuhkan sangat mempengaruhi efisiensi pemupukan. Jenis ini disesuaikan antara kebutuhan tanaman dan jumlah hara yang dimiliki tanah. Analisa daun dan analisa tanah merupakan cara untuk dapat menentukan kebutuhan atau penting dalam penentuan jenis pupuk yang akan diberikan

4. Tepat Cara

Cara aplikasi pupuk yang efektif dan efisien akan meningkatkan keberhasilan pemupukan. Beberapa metode pemupukan yaitu:

a. *Broadcasting (disebar)*

Pemupukan dengan cara sebar (*broadcasting*) : cara ini adalah cara yang paling sederhana karena pupuk diberikan ke media tanam dengan cara disebar di atas permukaan media saat pengolahan tanah (biasanya dilakukan pada tanaman semusim seperti padi dan kacang-kacangan yang ditanam di sawah), sehingga pupuk tercampur merata dengan tanah. Pemupukan dengan cara sebar ini berpotensi tinggi merangsang pertumbuhan tanaman-tanaman pengganggu (*gulma*) serta tingkat fiksasi atau pengikatan unsur hara tertentu oleh tanah. Cara sebar dilakukan jika :

- Populasi tanaman cukup tinggi akibat aplikasi jarak tanam yang rapat
- Sistem perakaran tanaman yang menyebar di dekat permukaan tanah
- Volume pupuk yang digunakan berjumlah banyak
- Tingkat kelarutan pupuk yang tinggi agar dapat terserap dalam jumlah banyak oleh tanaman
- Tingkat kesuburan tanah yang relatif baik

Broadcasting dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

2. *Top dressing*: pupuk ditebarkan merata ke seluruh permukaan tanah atau menurut alur yang tersedia. Untuk lahan yang sudah ditanami, jika permukaan tanaman basah atau lembab cara ini harus ditunda, karena dapat menyebabkan plasmolisis daun. Kerusakan akan meningkat pada dosis yang lebih besar, terutama pupuk N dan K.

3. *Side dressing*: pupuk ditebarkan di samping alur benih atau tanaman.

b. *Ring Placement*

Pemupukan pada tempat tertentu (*placement*), berbentuk seperti barisan lurus di antara larikan atau barisan tanaman, membentuk garis lurus, atau membentuk lingkaran di bawah tajuk tanaman. *Ring Placement* (memutari tanaman). Metode ini mirip dengan metode *broadcasting*, namun penyebaran pupuk secara merata.

- parit dibuat sedalam 10-15 cm mengelilingi tanaman selebar tajuk terluar
- pupuk disebar secara melingkar pada tanaman dengan cara tanah digemburkan terlebih dahulu, kemudian pupuk ditebarkan merata.

c. *Spot Placement*

Alur pemupukan dibuat dengan membuat semacam kanal dangkal sebagai tempat pupuk dengan mencangkul tanah selebar kurang lebih 10 cm dengan kedalaman kurang lebih 10 cm dari permukaan tanah dalam baris tanaman. Setelah pupuk diletakkan di dalam alur, kemudian ditutup kembali dengan tanah. Pemupukan dengan cara ini dilakukan dengan alasan :

- Kesuburan tanah relatif lebih rendah (tanah tegalan atau kebun)
- Populasi tanaman lebih rendah karena jarak tanam lebih lebar
- Volume pupuk yang digunakan berjumlah lebih sedikit
- Volume akar tanaman sedikit dan tidak menyebar

d. *Fertigasi*

Fertigasi berasal dari dua bahasa Inggris yaitu fertilization dan irrigation yang kemudian disingkat dan disebut fertigasi. Dengan teknik fertigasi biaya tenaga kerja untuk pemupukan dapat dikurangi, karena pupuk diberikan bersamaan dengan penyiraman. Keuntungan lain adalah peningkatan efisiensi penggunaan unsur hara karena pupuk diberikan dalam jumlah sedikit tetapi kontinyu, serta mengurangi kehilangan unsur hara (khususnya nitrogen) akibat leaching atau pencucian dan denitrifikasi (kehilangan nitrogen akibat perubahan menjadi gas). Fertigasi dapat diterapkan tidak hanya pada sistem konvensional, namun juga hidroponik dengan prinsip yang sama.

e. *Injection*

Metode ini dilakukan dengan cara menyuntikkan larutan pupuk secara langsung ke batang tanaman. Pemupukan dengan cara ini memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan, keunggulan tersebut adalah memberikan efek langsung ke warna daun tanaman. Sedangkan kelemahannya adalah terganggunya kesehatan pada tanaman yakni timbulnya patogen dan hama, dapat menyebabkan batang membelah, pembusukan dan cacat structural serta berbahaya bagi pohon dalam kondisi buruk. Adapun yang lain pohon yang disuntikan batangnya maka akan menjadi lebih rentan terhadap hama serangga, dikarenakan kandungan nitrogen pada daun meningkat. Metode ini

digunakan pada musim kemarau dengan tujuan agar lebih efisien dalam penggunaan pupuk.

f. Foliar Application

Foliar Application merupakan pemupukan dengan cara penyemprotan bahan pupuk cair pada permukaan daun. Cara ini dilakukan untuk melengkapi pemberian pupuk melalui tanah. Unsur hara yang diberikan terutama unsur hara mikro masuk ke dalam tanaman melalui stomata daun secara difusi atau secara osmosis. Hal yang perlu diperhatikan:

- Kepekatan/konsentrasi larutan pupuk harus rendah. • Tegangan muka larutan pupuk harus rendah, sehingga kontak dengan permukaan daun lebih besar.
- Kadar biuret pada urea harus kurang dari 2%.
- Kondisi lingkungan (cuaca) harus mendukung.

5. Tepat Tempat

Tempat disini bisa dalam sebuah konsep jeluk atau kedalamannya, bisa juga didasarkan pada di tanah atau di daun sesuai dengan jenis pupuk yang diberikan. Untuk tanaman semusim dan tahunan, kedalaman penempatan pupuk berbeda agar bisa menghasilkan efisiensi yang tinggi. Hal lain seperti akar tanaman juga mempengaruhi peletakan pupuk di tanah.

11.2 Kategori aplikasi pemupukan

Beberapa kategori pupuk berdasarkan cara aplikasi pemberian pupuk, antara lain:

1. Pupuk Akar

Pupuk akar adalah pupuk yang fokus pemberiannya agar dapat terserap oleh akar tanaman.

2. Pupuk Daun

Pupuk daun adalah jenis pupuk yang ditujukan agar dapat diserap oleh daun. Penyerapan pupuk oleh daun dilakukan melalui stomata (Agromedia, 2007).

Penggunaan pupuk organik padat harus disesuaikan dengan jenis tanaman, tekstur tanah dan kondisi lingkungan karena pupuk jenis ini mempunyai beberapa bentuk:

1. Serbuk, bentuk serbuk banyak ditemukan pada pupuk organik karena penggunaannya yang mudah. Penggunaanya cukup menaburkan pupuk di permukaan tanah yang akan digemburkan. Biasanya hal ini dilakukan saat proses pengolahan lahan. Selain itu, pupuk jenis ini juga dapat digunakan dengan dicampur dengan media tanam lainnya, seperti gambut maupun pasir.

2. Butiran dan Pelet, pupuk ini memiliki butiran yang tidak seragam dan terkadang pecah. Penggunaannya hampir sama dengan jenis pupuk organik berbentuk serbuk. Pupuk ini diaplikasikan dengan cara disebar di atas permukaan tanah. Biasanya banyak petani yang menggunakan cara ini untuk memudahkan pekerjaannya dan lebih praktis. Selain itu, dapat juga dilakukan dengan ditanam dalam tanah. Pupuk dapat diberikan pada lubang tanam untuk pembibitan di media polybag atau pada lubang di sekitar tanaman untuk media lapangan.
3. Tablet, pupuk organik bentuk ini lebih umum digunakan pada tanaman tahunan seperti tanaman kehutanan, perkebunan atau buah-buahan. Penggunaannya akan diberikan setiap dua hingga tiga bulan sekali pada masa awal tanam, kemudian dikurangi menjadi empat sampai enam bulan atau bahkan setahun sekali, tergantung dengan jumlah dan ukuran tabletnya. Pupuk digunakan dengan cara ditanam pada sekeliling tanaman selebar kanopi. Sedangkan untuk proses transplantasi, pupuk tablet ditanam pada lubang tanam sebelum bibit tanaman dimasukkan.

Pengolahan tanah dan proses panen sering menyebabkan hilangnya unsur hara dan bahan organik lainnya pada tanah. Persentase terbesar terjadi pada lapisan tanah bagian atas (top soil) kemudian untuk mengembalikannya dapat dilakukan dengan cara pemberian pupuk organik padat pada setiap awal masa tanam. Dengan banyaknya bentuk pupuk organik padat yang tersedia, memudahkan pengguna untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada tanamannya. Penggunaan pupuk organik padat secara konvensional membutuhkan tenaga kerja cukup banyak karena setiap hektarnya membutuhkan 10-20 ton. Oleh karena itu penggunaan pupuk organik disesuaikan dengan tanaman yang akan digemburkan tanahnya. Pupuk organik dalam bentuk serbuk akan sangat efektif bila digunakan pada jenis tanaman yang memiliki umur panen pendek (40 – 80 hari) masa tanam, misalnya pada jenis sayur-sayuran. Bentuk butiran akan lebih efisien digunakan pada tanaman dengan masa tanam sekitar 100 – 180 hari seperti pada tanaman cabai, jagung dan tomat; sedangkan bentuk tablet digunakan pada tanaman dengan masa panen tahunan, seperti tanaman perkebunan dan kehutanan. Dengan demikian bahwa penggunaan pupuk organik padat akan lebih efektif jika memperhatikan jenis tanaman dan masa panen yang akan dilakukan. Selain itu jenis tanah sangat berpengaruh dengan perkembangan tanaman maka perlunya identifikasi jenis tanah yang terdapat pada wilayah tanam dan sesuaikan dengan takaran pupuk yang disarankan. Dengan mengikuti cara penggunaan pupuk organik padat dengan benar, pertumbuhan tanaman pun akan optimal (Suwahyono, 2011).

Penggunaan pupuk organik cair bisa dilakukan dengan dua cara, yakni: dengan cara pertama disiramkan ke media tanam dengan tujuan selain diserap lewat akar juga untuk menghancurkan sisa pupuk kimia atau pupuk an organik di dalam tanah, sehingga tanah menjadi gembur kembali. Cara kedua adalah disemprotkan langsung ke bagian daun agar nutrisi pupuk dapat diserap melalui stomata. Penggunaan pupuk yang menggunakan teknologi nano memiliki karakteristik slow release (lepas lambat) dan tersusun atas partikel yang sangat kecil (nano). Makin halus ukuran hara makin mudah atau makin cepat diserap dan dicerna oleh tanaman baik perakaran, stomata dan jaringan meristem. Karena lebih mudah dan lebih cepat diserap dan dicerna, maka jumlah pemakaian pupuk akan dapat dihemat tanpa mengganggu hasil produksi panen (Gunawan et al., 2017).

Ketersediaan hara dalam tanah sesuai dengan kebutuhan tanaman pada masing-masing fase pertumbuhannya sangat ditentukan oleh kondisi lahan dan ketepatan pemupukan. Dalam pemupukan perlu diperhatikan efektivitas dan efisiensi. Kesuburan tanah menentukan keberhasilan budidaya tanaman, menyangkut aspek faktor pembatas fisik dan kimia tanah. Sifat fisik tanah yang menonjol adalah drainase / permeabilitas, tekstur dan ruang pori; sedangkan sifat kimia tanah adalah kadar bahan organik, pH, ketersediaan hara esensial dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah (Munawar, 2018).

Selain penggunaan dosis pemupukan yang akurat, usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi tanaman yaitu melalui metode pemberian pupuk yang tepat. Terdapat beberapa cara aplikasi pemupukan, di antaranya adalah dengan cara disebar, dengan cara ditugal serta dengan cara dikocor, di mana masing-masing cara aplikasi pemupukan ini memberikan hasil yang berbeda bagi pertumbuhan dan hasil tanaman.

Kelebihan pemupukan dengan cara dikocor yaitu lebih hemat, dapat diterapkan di segala cuaca, lebih mudah dikerjakan, mudah diserap tanaman/reaksi cepat dan dapat meningkatkan hasil panen, tapi juga memiliki kekurangan yaitu potensi penguapan lebih tinggi dan membutuhkan lebih banyak air. Sedangkan kelebihan pemupukan dengan cara disebar/ditugal yaitu lebih tahan atau tidak mudah larut oleh air hujan. Tetapi memiliki kekurangan yaitu penggunaan pupuk lebih banyak, reaksi tanaman lebih lambat dikarenakan membutuhkan lebih banyak waktu untuk melarutkan kandungan unsur hara dalam pupuk, serta membutuhkan lebih banyak tenaga untuk menabur/menugal pupuk (Munawar, 2018).

Pemilihan metode pemupukan juga harus mempertimbangkan cuaca, jenis tanah, jenis tanaman, dan jenis pupuk. Aplikasi pemupukan dengan cara kocor dapat

diterapkan untuk pupuk berbentuk larutan, sedangkan apabila pupuk dalam bentuk padat maka dapat diaplikasikan dengan metode ditugal / ditabur. Dengan pemilihan cara aplikasi pemupukan yang tepat serta mengetahui berbagai karakteristik pupuk, maka dapat dipilih jenis pupuk yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi tanaman sehingga dapat memberi manfaat optimal bagi pertumbuhan dan hasil tanaman yang optimal.

BAB XII. Evaluasi Kesuburan Tanah

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : Kesuburan tanah suatu area maupun individu tanaman melalui metode analisis dan visual.
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

12.1 Masalah Pengharaan Tanah

Masalah perharaan dapat terjadi pada berbagai kondisi tanah. Berikut disajikan kondisi tanah yang umumnya menunjukkan masalah unsur hara.

Nitrogen

Masalah unsur N dijumpai pada semua jenis tanah, terutama bertekstur kasar dan berkadar bahan organik rendah; pada tanah berkapur atau bersuhu tinggi; serta tanah-tanah berdrainase jelek.

Fosfor

Ketersediaan P sering dikaitkan dengan rekasi tanah (pH). Pada tanah-tanah masam difiksasi oleh ion-ion Al, Fe, atau Mn; dan pada tanah alkalin oleh Ca. Umumnya ketersediaan P tidak bermasalah pada tanah netral. Keberadaan anion seperti SO_4^{2-} , SiO_4^{4-} , NO^- , atau Cl^- dapat mengganggu ketersediaan P. Kondisi basah-kering bergantian, dan juga tanah-tanah berkadar liat tinggi dapat pula dikaitkan dengan permasalahan ketersediaan P akibat terfiksasi atau teretensi.

Kalium, Kalsium, Magnesium

Kadar basa-basa umumnya rendah pada tanah-tanah masam, terutama bila bertekstur kasar. Fiksasi K terjadi pada tanah kaya mineral liat liit pada keadaan kekurangan air. Antara K, Ca, Mg (dan juga Na) terjadi kompetisi terhadap serapan oleh tanaman, di mana bila salah satu lebih tinggi maka unsur lain akan tertekan serapannya.

Sulfur

Masalah sulfur terjadi pada tanah-tanah mempunyai kandungan sulfat rendah, atau drainase buruk yang menyebabkan reduksi sulfat menjadi sulfida. Gas H_2S bersifat racun bagi akar tanaman selain tidak tersedia karena menguap. Bila terdapat unsur-unsur logam (misalnya Fe, Mn, dan lain-lain.), sulfida akan diikat dalam bentuk senyawa kompleks logam-sulfida. Bentuk pirit misalnya, merupakan ikatan besi-sulfida yang mengendap dan sukar larut.

Unsur Mikro Kation (Fe, Mn, Cu, Zn)

Kelarutan unsur mikro kation tinggi pada tanah bereaksi masam, terutama unsur Fe dan Mn, sehingga seringkali menjadi racun bagi tanaman. Masalah keracunan kedua unsur terjadi pula pada tanah berdrainase buruk, berkaitan dengan proses reduksi menjadi bentuk tersedia. Pada tanah alkalin, ketersediaan unsur mikro kation rendah akibat berikatan dengan hidroksida menjadi senyawa kompleks logam-hidroksida yang mengendap.

Kadar bahan organik tinggi dapat pula menjadi penyebab ketidak-tersediaan unsur mikro logam, berkaitan dengan ikatan logam-organik (khelat) yang relatif sukar lepas. Kekurangan unsur Cu (dan juga Zn) pada tanah gambut yang direklamasi merupakan contoh hal tersebut. Kekurangan unsur mikro Cu dan Zn sering terjadi pada tanah masam akibat pencucian.

Unsur Mikro Anion (B, Mo, Cl)

Kekurangan boron sering dikaitkan dengan tanah-tanah porous yang memungkinkan pencucian. Perilaku Mo mirip P sehingga kondisi yang menyebabkan P bermasalah dapat pula terjadi pada Mo; kecuali Mo tidak bermasalah pada kondisi alkalis. Unsur Cl jarang bermasalah di Indonesia karena uap air laut cukup mengandung khlor yang dibutuhkan tanaman.

12.2 Evaluasi Status Kesuburan Tanah

Satus perharaan tanah dan tanaman dapat digunakan dalam mengevaluasi tingkat kesuburan tanah untuk pertumbuhan tanaman. Konsep evaluasi perharaan ini berdasar pada pengertian yang diberikan oleh Liebig di tahun 1840-an, yaitu kebutuhan hara tanaman dapat dihubungkan dengan jumlah unsur hara yang diserap tanaman. Berdasar pada pengertian ini, maka berkembanglah metode - metode penetapan status perharaan tanah dan tanaman melalui cara-cara:.

1. Analisis kimia seluruh tanaman atau bagian-bagian tanaman tertentu,
2. Percobaan respons tanaman di lapang dengan perlakuan dan tanpa perlakuan unsur tertentu,
3. Analisis tanah untuk mengetahui suplai unsur hara tanah (total maupun tersedia),
4. Respons tanaman melalui pemberian langsung ke bagian tanaman melalui cara injeksi ataupun penyemperotan, dan
5. Diagnosis secara visual berdasarkan gejala kelainan yang ditunjukkan tanaman akibat kekurangan atau kelebihan unsur tertentu.

Dari butir-butir di atas, secara umum penilaian status perharaan dapat dilakukan dengan cara: analisis kimia, percobaan respons tanaman terhadap

pemberian pupuk, dan pengamatan secara langsung terhadap kelainan pertumbuhan. Ketiga cara masih digunakan dalam metode penelitian tanah dan tanaman. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

(a) Pengamatan Secara Visual:

Gejala kelainan pertumbuhan atau perubahan warna yang terjadi kita amati, kemudian kita hubungkan dengan gejala spesifik kekurangan ataupun kelebihan unsur hara masing-masing unsur.

(b) Analisis Kimia:

Untuk mengetahui apakah gejala yang muncul dari pengamatan secara visual pada butir (a) disebabkan oleh kekurangan/kelebihan unsur tertentu, maka perlu dilakukan analisis tanah dan tanaman. Sebagai petunjuk umum digunakan standar baku unsur hara tanah atau tanaman yang ada.

(c) Percobaan Respons:

Untuk menguji apakah unsur-unsur yang telah diketahui menunjukkan kondisi abnormal pada butir (b) benar-benar bermasalah bagi tanaman, maka perlu dilakukan percobaan respons tanaman terhadap pemberian unsur yang bermasalah tersebut. Digunakan kontrol sebagai pembandingan, dan dapat pula digunakan beberapa tingkat dosis pemberian sehingga dapat dibuat suatu kurva respons. Percobaan dapat dilakukan di kamar kaca maupun di lapang.

Pengenalan Gejala Defisiensi

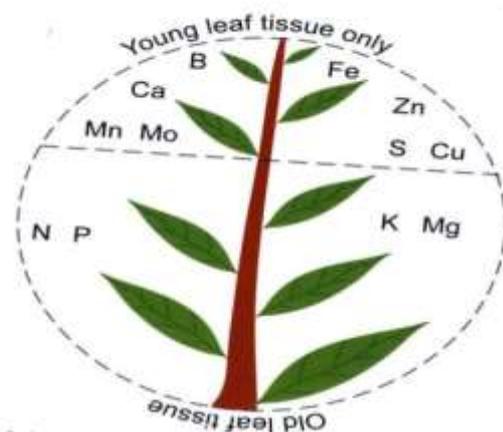
Secara umum, kekurangan dan kelebihan unsur hara akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pengaruh ini dapat bersifat makroskopik atau mikroskopik berupa perubahan pada struktur sel. Gejala-gejala spesifik yang tampak secara lokal pada bagian tanaman adalah sangat penting untuk mengenali kekurangan atau kelebihan unsur hara tertentu. Namun dalam praktek seringkali dijumpai kesulitan. Gejala defisiensi atau toksisitas suatu unsur berbeda antara satu tanaman dengan tanaman lain; bahkan dalam satu jenis tanaman. Sebagai contoh, defisiensi seng pada pohon buah-buahan dan beberapa jenis tanaman semusim menunjukkan kondisi yang jelas, disebut "little leaf", yaitu ukuran daun tidak normal. Tetapi, pada jagung, ditunjukkan oleh khlorosis pada daun-daun yang baru berkembang, disebut "white bud" yang berbeda dengan "little leaf".

Tetapi tidak hanya perbedaan defisiensi suatu jenis unsur yang sulit dilakukan diagnosis; gejala sama atau identik bisa disebabkan oleh unsur-unsur yang

berbeda. Sebagai contoh, defisiensi N dan S ditunjukkan oleh khlorosis yang sulit dibedakan hanya melalui pengamatan secara visual. Kesulitan lain dalam pengenalan gejala yaitu suatu tanaman bisa mengalami defisiensi atau toksisiti lebih dari satu unsur. Terakhir, gejala umum defisiensi atau toksisiti bisa disebabkan bukan oleh perharaaan, misalnya kekurangan air, atau serangan hama atau penyakit. Oleh sebab itu, sebelum gejala yang tampak dinyatakan sebagai defisiensi atau toksisiti, maka perlu dilakukan uji pendahuluan berikut:

- Gejala kekurangan unsur hara akibat kekurangan air akan pulih bila tanah diairi,
- Serangan hama dapat diketahui dari bekas gigitan atau tusukan hewan
- serangga atau kita jumpai serangga tersebut, dan
- Serangan penyakit dapat dilacak dengan cara menularkan tanaman sakit ke tanaman sehat; dalam hal ini dapat digunakan cairan tanaman terkena infeksi kemudian disuntikan ke jaringan tanaman sehat.

Secara umum, pengenalan gejala defisiensi berdasar penampakan pada bagian tanaman dijelaskan seperti pada bagan dalam gambar berikut :



Gambar 17. Bagan Pengenalan Gejala Umum Defisiensi Unsur Hara pada Tanaman

Bila uji pendahuluan ini negatif, maka selanjutnya dapat dilakukan diagnosis kekurangan atau kelebihan unsur hara. Sebagai pedoman, berikut ini disajikan gejala umum defisiensi unsur pada tanaman (Epstein, 1972):

Nitrogen

Kecuali kekeringan, tidak ada defisiensi unsur yang berakibat seburuk kekurangan nitrogen. Gejala yang paling umum yaitu khlorosis dan etiolasi. Pertumbuhan terhambat dan tanaman tampak kurus serta kerdil. Tetapi warna buah yang normal merupakan perkecualian. Gejala tampak terutama pada daun tua yang meluas ke daun muda yang lebih aktif.

Sulfur

Gejala defisiensi sulfur seringkali dikaburkan dengan defisiensi nitrogen. Tanaman menunjukkan khlorotik, kurus dan pertumbuhan jelek.

Fosfor

Warna daun hijau tua atau biru tua adalah salah satu gejala utama defisiensi P pada berbagai tanaman. Seringkali pigmen merah, ungu, atau coklat dijumpai pada daun, khususnya sepanjang tulang daun. Pertumbuhan terhambat dan pada kondisi defisiensi hebat tanaman menjadi kerdil.

Kalium

Defisiensi kalium pada beberapa jenis tanaman menyebabkan warna hijau tua atau biru tua seperti pada defisiensi P. Bercak-bercak seringkali muncul pada permukaan daun. Bisa pula muncul nekrosis pada tepi daun atau daun seperti terbakar. Pada kondisi defisiensi berat, tunas pucuk dan samping bisa mati ("dieback").

Kalsium

Gejala defisiensi Ca tampak pada fase pertumbuhan awal dan bagian yang paling menderita adalah jaringan meristematik serta daun muda. Kalsium cenderung mengalami imobilisasi pada daun tua atau jaringan lain dan tidak dapat ditranslokasikan ke bagian muda yang aktif; akibatnya titik tumbuh rusak atau mati ("dieback"). Pada bunga dan buah muda gejala disebut "blossom-end-rot". Pertumbuhan akar sangat dipengaruhi. Gejala defisiensi Ca pada tanah-tanah masam sering diikuti keracunan ion hidrogen, atau logam-logam seperti Al, Fe, atau Mn. Hal terakhir ini berkaitan dengan kepekaan ion-ion tersebut tinggi pada pH rendah. Akar-akar tanaman yang rusak dapat terinfeksi bakteri ataupun cendawan.

Magnesium

Berlainan dengan Ca, magnesium mudah ditranslokasikan dari bagian tua ke bagian muda atau daerah pertumbuhan aktif. Oleh sebab itu, defisiensi pertama kali tampak pada daun tua. Seringkali terjadi khlorosis tepi daun diikuti munculnya berbagai pigmen. Khlorosis mungkin pula dimulai dalam bentuk bercak-bercak atau panu yang berkembang pada tepi dan ujung daun; yang secara keseluruhan merupakan interveinal chlorosis (khlorosis di antara tulang-tulang daun dimulai pada daun tua).

Besi

Defisiensi besi umumnya ditunjukkan oleh khlorosis pada daun muda. Mula-mula tulang daun tetap hijau, tetapi pada kebanyakan tanaman tulang daun juga mengalami khlorosis. Defisiensi umumnya dijumpai pada pohon buah-buahan. Defisiensi yang

disebabkan level kalsium karbonat tinggi (tanah- tanah berkapur atau kalkareus) disebut "lime induced khlorosis".

Mangan

Gejala defisiensi mangan sangat bervariasi pada berbagai jenis tanaman. Daun seringkali menunjukkan khlorosis di antara tulang, dan tulang daun membentuk pola berwarna hijau dengan latar belakang kuning, menyerupai fase awal defisiensi besi. Dapat pula muncul bintik-bintik nekrotik atau garis-garis pada daun (pada oats disebut "gray speck"). Pada biji legum, nekrosis bisa muncul pada embrio atau di permukaan dalam keping biji. Pada beberapa jenis tanaman, daun-daun mengalami perubahan bentuk (pada pohon pecan disebut "mouse ear"). Bila defisiensi berat, tanaman menjadi sangat kerdil.

Seng

Gejala klasik defisiensi seng pada pohon buah-buahan adalah berupa "Little leaf" atau "rossette"; akibat gagalnya jaringan berkembang secara normal. Perkembangan terhambat menyebabkan daun menyempit (little leaf), dan ruas terhambat menyebabkan kedudukan daun menyerupai bunga rose ("rossette"). Pada jenis-jenis tanaman tertentu daun mengalami khlorotik, tetapi daun-daun lain berwarna hijau tua atau hijau biru, membengkok dan nekrotik. Pada kondisi defisiensi berat, pembungaan dan pembuahan sangat berkurang dan seluruh tanaman bisa kerdil dan cacat.

Tembaga

Gejala sangat bervariasi tergantung jenis tanaman. Daun-daun mengalami khlorotik atau warna hijau biru tua dengan pinggir melengkung ke atas. Kulit pohon sering kali kasar dan melepuh; gom atau belendok keluar dari celah kulit melepuh tersebut ("exanthema"). Pucuk muda sering mati diikuti munculnya tunas-tunas dalam jumlah banyak menyerupai semak-semak. Pembungaan dan pembuahan berkurang; tanaman semusim bisa gagal tumbuh dan mati pada fase pembibitan.

Khlor

Keesensialan khlor ditemukan pada penelitian tomat yang ditumbuhkan di media larutan murni oleh Broyer dkk tahun 1954. Tanaman yang mengalami defisiensi Cl mula-mula berwarna hijau biru dan daun-daun muda memanjang; di terik matahari ujung daun muda layu dan terkulai, tetapi segar kembali pada malam hari, suhu dingin atau berawan. Selanjutnya muncul "bronzing" pada daun, diikuti khlorosis dan nekrosis. Pada keadaan defisiensi hebat tanaman kurus dan kerdil. Layu, kehilangan warna (bronzing) dan nekrosis dijumpai pula pada jenis tanaman lainnya. Belum dijumpai defisiensi Cl pada tanaman yang ditumbuhkan di udara terbuka.

Boron

Pertumbuhan ujung sering rusak dan tanaman sering mati akibat defisiensi B. Jaringan tanaman mengeras, kering, dan rapuh. Daun rontok, batang kasar dan retak-retak; bagian menonjol bergabus dan berbintik-bintik dan pembungaan sangat dipengaruhi. Bila buah terbentuk, seringkali tampak gejala seperti pada batang; akar sangat menderita, dan akar atupun pucuk seringkali terinfeksi bakteri.

Molibdenum

Defisiensi Mo pertama kali diidentifikasi pada tanaman tomat, menyebabkan tanaman ini dan jenis tanaman lain khlorosis di antara tulang daun. Tulang berwarna hijau pucat sehingga khlorosis menyebabkan daun tampak berbercak-bercak kadang-kadang seperti defisiensi mangan. Tepi daun cenderung mengeriting atau menggulung. Dalam kasus defisiensi berat diikuti oleh nekrosis dan tanaman mengerdil. Pada kubis helai daun menjadi nekrotik dan tidak berkembang, menampilkan banyak garis sepanjang tulang daun utama ("whiptail").

BAB XIII . ANALISIS TANAH DAN TANAMAN

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah	:	Mahasiswa dapat menjelaskan : Konsep analisis tanah dan tanaman
Metode Pembelajaran	:	<i>Student Center Learning (SCL)</i>

13. 1 Tahapan Analisis Tanah

Tahapan analisis tanah dan tanaman meliputi:

1. Tahapan evaluasi meliputi pekerjaan-pekerjaan: survai lapang, percobaan pendahuluan (rumah kaca), dan percobaan kalibrasi (lapang).
2. Survai lapang berupa pengumpulan contoh-contoh tanah (dan tanaman) serta data penunjang lainnya berkenaan dengan kondisi pertumbuhan tanaman, produksi, dan lingkungan. Untuk tanaman jagung: contoh tanah diambil secara komposit pada kedalaman 0 –30 cm, dan contoh daun berupa daun dewasa terbuka sempurna (fully expanded leaf) pada fase silk (silking period).
3. Percobaan rumah-kaca merupakan pengujian status hara berdasar informasi dari hasil survai lapang (pada tempat dengan status unsur: rendah/sangat rendah) melalui percobaan dosis pupuk; dan percobaan kalibrasi di lapang merupakan pengujian respon tanaman lebih lanjut di tempat asal contoh tanah berdasar hasil percobaan rumah-kaca.
4. Data analisis survai lapang bersifat korelatif, sedang percobaan rumah-kaca dan kalibrasi lapang berupa respon yang dapat diuji tingkat probabilitasnya melalui F-tes, t-tes ataupun regresi.
5. Sebelum survai, diperlukan peta dasar untuk area yang akan dievaluasi. Peta dasar dapat berupa peta lokasi, vegetasi, topografi, geologi, iklim, dan sebagainya. Penentuan jumlah contoh tanah (dan tanaman) dan titik pengamatan dilakukan pada peta dasar melalui dua cara:
 - Secara acak (dilakukan peneliti berpengalaman), dan
 - Secara sistematis (oleh pemula, misalnya dengan sistem grid). Intensitas pengamatan menyangkut ketelitian evaluasi.
6. Pemisahan data analisis tanah (dan tanaman) dari titik pengamatan tanaman abnormal (bergejala) dan normal (tidak bergejala), menghasilkan garis batas kritikal unsur, seperti dikembangkan oleh Wear dan Somner (1948).

7. Apabila status perharaan ditinjau dari sudut kekahatan terselubung (tidak ditunjukkan oleh gejala kelainan), maka batas kritikal unsur dapat diperoleh melalui kurva dikemukakan Ulrich dan Hill (Epstein, 1972) atau Cate dan Nelson (1965).
8. Penggambaran status perharaan dapat dilakukan dengan memasukkan data analisis pada titik-titik pengamatan dalam peta. Setelah semua data masuk, penyebaran data dapat dikelompokkan dalam suatu kisaran tingkat status masing-masing unsur pada kategori: sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Data analisis dapat diplotkan dengan data melalui metode overlay.
9. Bila dijumpai lebih dari satu unsur yang menjadi masalah, sedangkan di antara unsur-unsur tersebut ada yang berinteraksi, maka evaluasi dapat didekati dengan menggunakan metode statistik. Langkah pertama adalah membuat matrik korelasi (r) di antara semua komponen yang di analisis. Selanjutnya mencari bentuk regresi berganda yang tepat sebagai penduga respon. Kontribusi masing-masing unsur dalam regresi dapat diketahui melalui nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari perhitungan delineating.
10. Bentuk pengujian di rumah-kaca bisa berupa manipulasi pemberian unsur hara ke tanah melalui metode inkubasi, uji kurang satu, ataupun percobaan tingkat dosis pemupukan. Dasar pengujian diperoleh dari informasi awal survai lapang.
11. Selain analisis tanah (dan tanaman), data yang diperoleh dapat berupa pengamatan visual gejala kelainan pertumbuhan, respon pertumbuhan dan produksi dari pencatatan parameter yang diamati. Gambaran respon yang jelas dapat diperoleh bila hasil analisis dikaitkan dengan data tersebut.
12. Penelitian respon di rumah-kaca bisa dilakukan sampai panen, tergantung jumlah media yang digunakan. Namun data yang ada belum dapat dipakai untuk keperluan rekomendasi karena dilakukan secara terkontrol pada media terbatas. Penelitian kalibrasi di lapang dapat digunakan sebagai dasar rekomendasi kepada petani karena medium tidak terbatas dan dilakukan pada kondisi praktikal. Apabila kita menginginkan data lebih akurat, maka dapat dilakukan percobaan menurut cara petani.

Hasil yang Diperoleh

1. Dari informasi-informasi survai lapang, percobaan pendahuluan di rumah-kaca, dan percobaan kalibrasi di lapang diperoleh kurva-kurva standar

yang dapat digunakan secara cepat dan tepat untuk keperluan rekomendasi selanjutnya tanpa perlu melakukan percobaan di area yang diteliti.

2. Dari kurva respon dapat diperoleh informasi yang tepat terhadap dosis optimum pemberian unsur melalui pupuk.

13.2 Interpretasi Uji Tanah

Uji tanah merupakan alat pengelolaan penting dalam mengembangkan program efisiensi kesuburan tanah, misalnya monitoring potensi pengelolaan tanah dan air. Uji tanah menyediakan informasi dasar kapasitas penyediaan unsur hara tanah. Uji tanah tidak valid jika pengambilan contoh tanah salah atau ditangani secara serampangan. Dalam hal ini perlu konsultasi pada pihak instansi yang berkompeten. Oleh karena teknik analisis bervariasi antar laboratorium, maka hasil analisis pun mungkin tidak sama di antara berbagai laboratorium. Angka-angka yang digunakan oleh masing-masing bisa mempunyai tujuan tertentu. Dalam tulisan ini analisis tanah, tanaman dan air dilakukan menurut metode yang dikembangkan di laboratorium New Mexico State University (NMSU).

Rekomendasi pengelolaan tanah dan pemupukan berbentuk laporan berdasar informasi hasil uji tanah disajikan pada suatu lembar hasil analisis laboratorium. Materi yang dilaporkan meliputi latar belakang budidaya, produksi sebelumnya, pupuk yang digunakan, kedalaman tanah dan permukaan air bawah tanah, mutu air, dan praktek irigasi. Informasi tambahan meliputi keadaan umum tanaman, hasil praktek, atau masalah yang mungkin berhubungan dengan tanaman. Kebutuhan pemupukan dapat berbeda pada umumnya program pengelolaan tanaman. Informasi yang lengkap dan akurat penting untuk memperoleh rekomendasi pupuk yang menjamin hasil maksimum dengan biaya murah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaoui, I., O. El Ghadraoui, S. Serbouti, H. Ahmed, I. Mansouri, et al. 2022. The Mechanisms of Absorption and Nutrients Transport in Plants: A Review. *Trop. J. Nat. Prod. Res.* 6(1): 8–14. doi: 10.26538/tjnpr/v6i1.2.
- Almendro-Candel, M.B., I.G. Lucas, J. Navarro-Pedreño, and A. Zorpas. 2018. Physical Properties of Soils Affected by the Use of Agricultural Waste. *IntechOpen*.
- Basri, A.H.H. 2018. Kajian Peranan Mikoriza Dalam Bidang Pertanian. *Agrica Ekstensia* 12(2): 74–78.
- Eleftheriadis, A., F. Lafuente, and M. Turrión. 2018. Effect of land use , time since deforestation and management on organic C and N in soil textural fractions. *Soil Tillage Res.* 183(January): 1–7.
- Escudero-Almanza, D.J., D.L. Ojeda-Barrios, O.A. Hernández-Rodríguez, E. Sánchez Chávez, T. Ruíz-Anchondo, et al. 2012. Carbonic Anhydrase and Zinc in Plant Physiology. *Chil. J. Agric. Res.* 72(1): 140–146. doi: 10.4067/s0718-58392012000100022.
- Epstein, E. 1972. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Wiley Eastern Limited. New Delhi.
- Farrasati, R., I. Pradiko, S. Rahutomo, and E.N. Ginting. 2021. Review: Pemupukan Melalui Tanah Serta Daun Dan. *War. PPKS* 26(1): 7–19.
- Firmansyah, I., and N. Sumarni. 2013. Pengaruh Dosis Pupuk N dan Varietas Terhadap pH Tanah , N-Total Tanah , Serapan N , dan Hasil Umbi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L .) pada Tanah Entisols-Brebes Jawa Tengah (Effect of N Fertilizer Dosages and Varieties On Soil pH , Soil Total-N , N U. *J. Hortik.* 23(4): 358–364. doi: 10.21082/jhort.v23n4.2013.p358-364.
- Franco, H.C.J., E. Mariano, A.C.Vitti, C.E.Faroni, R. Otto, et al. 2011. Sugarcane Response to Boron and Zinc in Southeastern Brazil. *Sugar Tech* 13(1): 86–95. doi: 10.1007/s12355-010-0057-x.
- Gopaldasundaram, P., A.Bhaskaran, and P.Rakkiyappan. 2012. Integrated Nutrient Management in Sugarcane. *Sugar Tech* 14(1): 3–20. doi: 10.1007/s12355-011-0097-x.
- Gransee, A., and H. Führs. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis , magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant Soil* 386: 5–21. doi: 10.1007/s11104-012-1567-y.
- Gupta, N., H. Ram, and B. Kumar. 2016. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 15(1): 89–109. doi: 10.1007/s11157-016-9390-1.
- El Habbasha, S.F., and F.M. Ibrahim. 2015. Calcium: Physiological function, deficiency and absorption. *Int. J. ChemTech Res.* 8(12): 196–202. Hepler, P.K. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *Plant Cell* 17(8): 2142–2155. doi: 10.1105/tpc.105.032508.
- Jayanti, D.S., S. Goenadi, and P. Hadi. 2013. Land Suitability Evaluation and Land Use Optimization for Cacao (*Theobroma cacao* L.) Development (Case Study in Batee

- District and Padang Tiji District, Pidie Sub-Province, Aceh Province). *Agritech* 33(02): 208–218. doi: 10.22146/agritech.9808.
- Jin, J., D.C. Martens, and L.W. Zelazny. 1987. Distribution and Plant Availability of Soil Boron Fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51(5): 1228–1231. doi: 10.2136/sssaj1987.03615995005100050025x.
- Laviendi, A., J. Ginting, and Irsal. 2013. Pengaruh Perbandingan Media Tanam Kompos Kulit Biji Kopi dan Pemberian Pupuk NPK (15:15:15) Terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi (*Coffea arabica* L.) di Rumah Kaca. *J. Agroekoteknologi FP USU* 10(1): 72–77.
- Leghari, S.J., N.A. Wahocho, G.M. Laghari, A. HafeezLaghari, G. MustafaBhabhan, et al. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Adv. Environ. Biol.* 10(9): 209–219.
- Liu, Y.M., D.Y. Liu, Q.Y. Zhao, W. Zhang, X.X. Chen, et al. 2020. Zinc fractions in soils and uptake in winter wheat as affected by repeated applications of zinc fertilizer. *Soil Tillage Res.* 200(February). doi: 10.1016/j.still.2020.104612.
- Marpaung, A.E., B. Karo, and R. Tarigan. 2014. Pemanfaatan pupuk organik cair dan teknik penanaman dalam peningkatan pertumbuhan dan hasil kentang. *J. Hort* 24(1): 49–55. doi: 10.21082/jhort.v24n1.2014.p49-55.
- McCray, J.M., and G. Powell. 2016. Sugarcane Yield Response to Potassium on A Florida Histosol. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 36: 9–18.
- Mellis, E.V., J.A. Quaggio, G.R.G. Becari, L.A.J. Teixeira, H. Cantarella, et al. 2016. Effect of Micronutrients Soil Supplementation on Sugarcane in Different Production Environments: Cane Plant Cycle. *Agron. J.* 108(5): 2060. doi: 10.2134/agronj2015.0563.
- Mengel, K., dan E.A. Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. Intern. Potash Inst. Switzerland, 655 p.
- Mikkelsen, R. 2010. Soil and Fertilizer Magnesium. *Better Crop.* 94: 26–28. Mozumder, S., M. Moniruzzaman, and G. Halim. 2007. Effect of N, K and S on the Yield and Storability of Transplanted Onion (*Allium cepa* L.) in the Hilly Region. *J. Agric. Rural Dev.* 5(June): 58–63. doi: 10.3329/jard.v5i1.1459.
- Nastaro, B., E. Mariano, R. Antunes, P. Cesar, and O. Trivelin. 2019. Plant Physiology and Biochemistry Influence of nitrate - ammonium ratio on the growth , nutrition , and metabolism of sugarcane. *Plant Physiol. Biochem.* 139(March): 246–255. doi: 10.1016/j.plaphy.2019.03.024.
- Palai, J.B., N.C. Sarkar, and J. Jena. 2017. Effect of Zinc on Growth, Plant Yield, NPK Uptake and Economics. *Int. J. Bio-resource Stress Manag.* 8(5): 698–702. doi: 10.23910/ijbsm/2017.8.5.1848b.
- Putro, B.P., G. Samudro, and W.D. Nugraha. 2016. Pengaruh Penambahan Pupuk NPK Dalam pengomposan Sampah Organik Secara Aerobik Menjadi Kompos Matang dan Stabil Diperkaya. *J. Tek. Lingkung.* 5(2): 1–10.
- Raviv, M., S. Medina, A. Krasnovsky, and H. Ziadna. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Sci. Util.* 12(1): 6–10. doi: 10.1080/1065657X.2004.10702151.
- Sagala, D., H. Ningksih, N. Sudarmi, T. Purba, R. Rezki, et al. 2022. Pengantar Nutrisi Tanaman. Saleem, M.A., A. Ghaffar, S.A. Anjum, M.. Cheema, and M.F. Bilal. 2012.

- Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sugarcane. *J. Am. Soc. Sugar Cane Technol.* 32: 75–93.
- Siswanto, B. 2019. Sebaran Unsur Hara N, P, K Dan pH Dalam Tanah. *Buana Sains* 18(2): 109. doi: 10.33366/bs.v18i2.1184.
- Sumarni, N., R. Rosliani, R.S. Basuki, and Y. Hilman. 2012. Respons Tanaman Bawang Merah terhadap Pemupukan Fosfat pada Beberapa Tingkat Kesuburan Lahan (Status P-Tanah). *J. Hortik.* 22(2): 129–137. doi: 10.21082/jhort.v22n2.2012.p130-138.
- Supartha, I., G. Wijaya, and G.M. Adnyana. 2012. Aplikasi Jenis Pupuk Organik Pada Tanaman Padi Sistem Pertanian Organik. *E-Jurnal Agroekoteknologi Trop. (Journal Trop. Agroecotechnology)* 1(2): 98–106.
- Ukwattage, N.L., Y. Li, Y. Gan, T. Li, and R.P. Gamage. 2020. Effect of Biochar and Coal Fly Ash Soil Amendments on the Leaching Loss of Phosphorus in Subtropical Sandy Ultisols. *Water. Air. Soil Pollut.* 231(2). doi: 10.1007/s11270-020-4393-5.