

Pengantar Nutrisi Tanaman

Oleh:

Dr. DEWI RATNA NURHAYATI MP

Penerbit



Unisri Press © 2021

Pengantar Nutrisi Tanaman

Penulis:

Dr. Dewi Ratna Nurhayati MP

Penyunting:

Hasna Wijayati

ISBN: 978-623-95479-4-3

Desain sampul dan tata letak:

Anindyo Mahendra Prasetyo

Penerbit:

UNISRI Press

Redaksi:

Jalan Sumpah Pemuda No 18. Joglo, Banjarsari, Kota Surakarta

unisripress@gmail.com/ press.unisri.ac.id

Anggota APPTI

Dicetak oleh “Percetakan Kurnia” Solo

Cetakan Pertama, Februari 2021

Copyright © 2021

ISI MENJADI TANGGUNG JAWAB PENULIS

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.

Kata Pengantar

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT bahwa buku ajar yang berjudul Pengantar Nutrisi Tanaman telah tersusun guna membantu para pembaca mendalami pemasalahan nutrisi tanaman. Penulisan buku ajar ini merupakan suatu langkah sebagai upaya memperluas pentingnya peran nutrisi dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Buku ini tersusun secara sederhana memuat substansi yang spesifik meliputi: Pengertian Nutrisi Tanaman dan fungsi dari nutrisi bagi tanaman, jenis-jenis unsur hara, pergerakan hara ke akar, Asimilasi N, C, S dan metabolisme hara-hara penting, Hubungan keadaan nutrisi dan pertumbuhan tanaman, Faktor lingkungan yang berpengaruh khususnya keadaan stress lingkungan. Semuanya tidak lepas dari materi nutrisi tanaman dari para senior pengembang ilmu bidang Pertanian, dengan harapan semoga dengan adanya buku ajar ini bermanfaat, akan memudahkan para pembaca dalam diskusi dan pengembangan ilmu nutrisi tanaman .

Terakhir, semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Tentunya masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku ini, oleh karena itu saran dan masukan selalu kami harapkan untuk menjadikan buku ini lebih baik lagi. Ucapan terima kasih kami haturkan kepada semua pihak yang membantu terselesaikannya buku sederhana ini..

Surakarta, februari 2021

Penulis

Daftar Isi

.....

<i>Kata Pengantar</i>	iii
<i>Daftar Isi</i>	iv
<i>Daftar Tabel</i>	viii
<i>BAB 1 NUTRISI TANAMAN</i>	1
1. 1. Definisi dan Klasifikasi.....	1
1. 2. Fungsi umum unsur hara.....	11
1. 3. Kandungan Mineral.....	15
<i>BAB 2 PENYERAPAN DAN PENGANGKUTAN HARA MINERAL</i>	23
2. 1 Gerakan Hara dari Tanah Ke Air.....	24
2. 1. 1 Intersepsi Akar.....	24
2. 1. 2 Aliran Masa.....	25
2. 1. 3 Difusi.....	26
2. 2 Penyerapan Umsur Hara oleh Akar.....	29
2. 2. 1 Akar Tanaman dan Serapan Hara.....	30
2. 2. 2 Mikroza.....	33
2. 2. 3 Kapasitas Tukar Kation Akar.....	34
2. 2. 4 Mekanisme Serapan dan Pengangkutan Hara.....	35
2. 3 Serapan Hara Melalui Daun.....	42
2. 4 Pengangkutan Hara di Dalam Tanaman.....	43
2. 4. 1 Pengangkutan di Dalam Xilem.....	43
2. 4. 2 Pengangkutan di Dalam Floem.....	45
2. 5 Mobilasi Unsur Hara Mineral.....	47

2. 6 Gejala Kekahatan Hara.....	49
2. 7 Gejala Keracunan Hara.....	50
2. 8 Kelaparan Tersembunyi.....	51
<i>BAB 3 NITROGEN TANAH DAN TANAMAN.....</i>	<i>52</i>
3. 1 Sumber Nitrogen Tanah.....	52
3. 1. 1 Penambatan Nitrogen oleh Bakteri Simbiosis.....	53
3. 1. 2 Penambatan Nitrogen oleh Bakteri Hidup Bebas.....	56
3. 1. 3 Penambatan Nitrogen dari Atmosfer.....	57
3. 1. 4 Penambatan di Pabrik.....	57
3. 2 Bentuk-Bentuk Nitrogen Tanah.....	59
3. 2. 1 Senyawa Nitrogen Inorganik.....	59
3. 2. 2 Senyawa Nitrogen Organik.....	60
3. 3 Ketersediaan dan Transformasi Nitrogen Tanah.....	61
3. 3. 1 Mineralisasi Nitrogen Organik.....	61
3. 3. 2 Nitrifikasi.....	62
3. 3. 3 Imobilisasi Nitrogen.....	64
3. 3. 4 Fiksasi Amonium.....	65
3. 4 Kehilangan Nitrogen Tanah.....	66
3. 4. 1 Denitrifikasi.....	66
3. 4. 2 Pelidian NO_3	68
3. 4. 3 Volatilisasi Amoniak.....	68
3. 5 Nitrogen dalam Nutrisi Tanaman.....	69
3. 6 Kekahatan Nitrogen.....	73
<i>BAB 4 FOSFORUS TANAH DAN TANAMAN.....</i>	<i>74</i>
4. 1 Sumber Fosforus Tanah.....	75
4. 2 Bentuk Bentuk Fosforus di Dalam Tanah.....	75

4. 2. 1 Fosforus Organik.....	76
4. 2. 2 Fosforus Inorganik.....	78
4. 3 Fiksasi Fosforus dan Ketersediaanya bagi Tanaman.....	81
BAB 5 KALIUM TANAH DAN TANAMAN.....	83
5. 1 Bentuk Kalium di dalam Tanah.....	83
5. 1. 1 K larutan Tanah.....	84
5. 1. 2 K dapat ditukar (K-dd).....	85
5. 1. 3 K Tidak Dapat Ditukar dan Mineral.....	85
5. 1. 4 Kalium Terfiksasi.....	86
5. 2 Ketersediaan Kalium dalam Tanah.....	88
5. 2. 1 Kadar Lengas Tanah.....	89
5. 2. 2 Kapasitas Tukar Kation (KTK).....	89
5. 2. 3 Kandungan Ion Lain.....	90
5. 2. 4 pH Tanah.....	90
5. 2. 5 Aerasi Tanah.....	91
5. 2. 6 Perbedaan Jenis Tanaman.....	91
5. 3 Kalium dalam Nutrisi Tanaman.....	91
5. 4 Kekahatan Kalium.....	93
BAB 6 KALSIUM, MAGNESIUM, DAN SULFUR PADA TANAH DAN TANAMAN.....	95
6. 1 Kalsium tanah dan tanaman.....	95
6. 1. 1 Kalsium di dalam tanah.....	95
6. 1. 2 Kalsium dalam nutrisi tanaman.....	97
6. 1. 3 Kekahatan kalsium.....	99
6. 2 Magnesium Tanah dan Tanaman.....	100
6. 2. 1 Magnesium di dalam Tanah.....	100

6. 2. 2 Magnesium dalam nutrisi tanaman.....	102
6. 2. 3 Kekahatan Magnesium.....	103
6. 3 Sulfur Tanah dan Tanaman.....	104
6. 3. 1 Sulfur di dalam Tanah.....	104
6. 3. 2 Sumber Sulfur Tanah.....	105
6. 3. 3 Bentuk bentuk Sulfur di Dalam Tana.....	106
6. 3. 4 Kehilangan Sulfur Tanah.....	111
6. 3. 5 Sulfur Dalam Nutrisi Tanaman.....	112
6. 3. 6 Kekahatan Sulfur.....	113
<i>BAB 7 NUTRIENT DEFICIENCY IN PLANT.....</i>	115
DAFTAR PUSTAKA.....	134
Profil Penulis.....	136

Daftar Tabel

Tabel 1. 1 Klasifikasi Nutrisi Tanaman.....	3
Tabel 1. 2 Klasifikasi Nutrisi Tanaman.....	7
Tabel 1. 3 Beberapa unsur hara esensial dan peranannya dalam tanaman.	9
Tabel 1. 4 Kandungan air dari beberapa jaringan tanaman dalam persen berat basah.	16
Tabel 1. 5 . Kandungan mineral pada beberapa bahan tanaman.	22
Tabel 2. 1 Unsur hara esensial dan bentuk-bentuk ion-ion yang tersedia bagi tanaman.....	23
Tabel 2. 2 Persen hara diserap oleh tanaman jagung yang menuju ke akar melalui intersepsi akar, aliran masa, dan difusi.....	29
Tabel 2. 3 Perbedaan karakteristik antara kenampakan gejala kekahatan hara dan mobilitas unsur hara mineral.....	48
Tabel 3. 1 Perkiraan laju sumbangan organisme penambat N di Lapangan.....	55
Tabel 4. 1 Beberapa mineral P yang biasa dijumpai di dalam tanah.....	78

BAB 1

NUTRISI TANAMAN

Tujuan Instruksional Khusus

- *Dapat menjelaskan definisi dan klasifikasi unsur hara tanaman.*
- *Dapat menjelaskan fungsi setiap unsur hara tanaman.*
- *Dapat menjelaskan kandungan mineral tanaman.*

1. 1. Definisi dan Klasifikasi

Suatu ciri khas dari makhluk hidup adalah kemampuan atau kapabilitas sel – sel untuk mengambil zat-zat makanan dari komponen sel itu sendiri sebagai sumber energi. Suplai dan absorpsi dari senyawa-senyawa kimia yang diperlukan untuk proses pertumbuhan dan metabolisme disebut nutrisi. Dan senyawa kimia yang diperlukan oleh organisme disebut nutrien (unsur hara). Mekanisme bagaimana unsur hara dikonversi menjadi material selular atau digunakan sebagai sumber energi dikenal dengan proses metabolisme. Istilah metabolisme mencakup berbagai reaksi yang terjadi pada sel hidup untuk mempertahankan hidup dan untuk pertumbuhan. Dengan demikian nutrisi dan metabolisme mempunyai hubungan timbal balik.

Pada dasarnya tumbuhan-tumbuhan hijau sangat berbeda dengan manusia, binatang dan mikroorganisme lainnya yang membutuhkan senyawa organik dari luar. Elemen esensial adalah elemen yang harus ada agar siklus hidup yang normal dari organisme bisa terjadi dan fungsinya tidak bisa diganti oleh senyawa kimia lainnya. Tambahan pula unsur-unsur itu harus mencakup nutrisi sebagai bahan pokok untuk proses metabolisme yang diperlukan dalam aktivitas enzim.

Suatu elemen dapat dikatakan sebagai hara esensial jika memenuhi kriteria berikut,

1. Jika tanaman kekurangan suatu unsur hara , tanaman tersebut tidak dapat menyelesaikan seluruh siklus hidupnya.
2. Defisiensi dari unsur hara tersebut sangat spesifik dan tidak digantikan oleh unsur hara lain.
3. Elemen tersebut terlibat secara langsung dalam nutrisi tanaman, sebagai contoh terlibat langsung dalam proses metabolisme dan sangat esensial, dan atau juga terlibat dan dibutuhkan untuk proses enzimatik.

Bertolak dari pengertian yang dikemukakan oleh Arnon dan Stout (1939), berikut ini adalah beberapa unsur kimia yang diperlukan oleh tumbuhan tingkat tinggi yakni:

Tabel 1. 1 Klasifikasi Nutrisi Tanaman

Karbon	C	Potassium	Zink	Zn
Hidrogen	H	Calsium	Molibdenum	Mo
Oksigen	O	Magnesium	Boron	B
Nitrogen	N	Iron	Clorin	Cl
Posphor	P	Mangan	Sodium	Na
Sulfur	S	Cuprum	Silikon	Si
Cobalt	Co			

Na merupakan unsur dasar untuk tumbuhan tingkat tinggi. Karena itu pada daftar unsur yang diperlukan untuk tanaman tingkat tinggi diberi tanda kurung. Dalam hal ini Na untuk beberapa spesies tanaman, khususnya *Chenopodia* dan adaptasi spesies terhadap kondisi saling mengambil unsur ini dalam jumlah yang relatif tinggi. Na mempunyai manfaat dan sangat esensial. Hal yang sama juga pada Si, yang dari beberapa penelitian tampak merupakan nutrisi pokok untuk tanaman padi (Broyer, dkk. 1954) dalam penemuannya yang baru menyatakan bahwa Klorin juga merupakan unsur pokok untuk pertumbuhan tanaman tingkat tinggi. Hal ini sangat diperlukan pada proses fotosintetis (Arnon, 1959). Dari daftar unsur pokok lainnya yang belum terdaftar untuk tumbuhan tingkat tinggi, misalnya saja Vanadium juga merupakan elemen yang sangat penting (Nicholas, 1961).

Nutrisi tanaman dibagi atas dua yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien dibutuhkan oleh tumbuh-tumbuhan

dalam jumlah yang relatif tinggi ketimbang unsur hara mikronutrient. Kandungan unsur hara makro pada jaringan tanaman, seperti N, 1000 kali lebih besar daripada kandungan unsur hara mikro Zn. Berikut ini adalah klasifikasi dari unsur hara makro yakni : C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, (Na, Si). Sedangkan yang termasuk unsur-unsur hara mikro adalah : Fe, Mn, Zn, Mo, B, Cl. Pembagian nutrisi tanaman atas makro dan mikronutrient bersifat relatif dan kadang-kadang dalam kasus-kasus lainnya kandungan makronutrient dan mikronutrient ternyata lebih mudah daripada yang tercantum diatas. Misalnya saja kandungan nutrisi dari Fe atau Mn ternyata hampir sama atau sebanding dengan kandungan unsur hara dari S atau Mg. Kandungan unsur hara mikro sering melampaui kebutuhan fisiologisnya. Hal ini juga terjadi pada Mn. Klorida juga dibutuhkan dalam jumlah yang cukup tinggi pada beberapa spesies tanaman yang dibutuhkan pada proses fotosintesis.

Contoh-contoh diatas menunjukkan bahwa adanya kandungan hara tanaman pada organ-organ tanaman seperti daun, batang, buah dan akar tidak mengindikasikan kuantitas yang efektif untuk proses fisiologis dan biokimia. Tanaman dalam situasi tertentu juga mengandung elemen yang sebenarnya bukan elemen yang dibutuhkan tumbuhan. Hal ini bisa merupakan toksik bagi tanaman itu sendiri, misalnya Aluminium (Al), Nikel (Ni), Selenium (Se) dan Florin (F).

1. Kelompok pertama, mencakup unsur-unsur pokok dari bahan organik tanaman yakni : C, H, O, N, dan S. Karbon diperoleh dalam bentuk senyawa CO₂ dari

atmosfir dan bisa juga dari senyawa HC_3 dalam larutan tanah. Senyawa ini diasimilasikan oleh karboksilase membentuk gugusan karboksilase baru. Proses asimilasi C secara simultan juga diikuti oleh proses asimilasi O, jadi tidak hanya C sendiri tetapi juga CO_2 atau HCO_3 . Hidrogen diambil dari air pada larutan tanah atau di bawah kondisi atmosfir yang humid. Dalam proses fotosintetis H_2O direduksi menjadi H (fotolisis). Proses transfer ini melalui beberapa proses dan menggunakan senyawa organik yang menghasilkan reduksi nikotinamida adenin dinukleotida (NAD^+) yang kemudian direduksi menjadi senyawa NADPH. Ini merupakan koenzim yang sangat penting dalam proses reduksi-oksidasi, seperti NADPH dapat ditransfer dalam bentuk H menjadi sejumlah senyawa yang berbeda-beda. Nitrogen diperlukan tanaman dalam bentuk nitrat atau ion amonium dari larutan atau gas N_2 dari atmosfir. Proses yang terakhir disebut Fiksasi molekular N_2 dan melalui beberapa organisme (*Rhizobium*, *Actinomyces alni*) yang bersimbiosis pada tumbuhan tingkat tinggi. Asimilasi N menjadi NO_3^- terjadi akibat proses reduksi dan proses persenyawaan. Amonium -N dalam proses asimilasi juga melibatkan proses persenyawaan. Proses Persenyawaan N dari molekul N_2 tergantung pada proses awal dari N_2 menjadi NH_3 yang selanjutnya dimetabolisme oleh proses persenyawaan. Asimilasi sulfat (S) menjadi NO_3^- -N seperti pada reduksi SO_4^{2-}

menjadi gugus -SH. Sulfur tidak saja diperoleh dari larutan tanah dalam bentuk SO_4^{2-} tetapi juga diabsorpsi dari SO_2 dari atmosfer. Reaksi C, H, O, N, dan S menjadi molekul merupakan proses metabolisme fisiologis yang sangat penting bagi tumbuhan. Hal ini akan diuraikan secara mendalam. Dalam bagian ini hanya disebutkan beberapa unsur pokok dari material organik tumbuhan yang diasimilasi dalam reduksi fisiologis yang kompleks.

2. Kelompok kedua, adalah gugusan P, B, dan Si serta gugusan lainnya, menunjukkan kesamaan tingkah laku biokimia, semuanya mengabsorpsi anion organik atau zat asam.

Dalam sel tumbuhan unsur-unsur ini dalam bentuk bebas atau diabsorpsi tidak dalam bentuk difusi anion organik. Misalnya absorpsi Ca^{2+} oleh gugusan pepsin karboksilik.

3. Kelompok ketiga, adalah K, Na, Mg, Mn, Cl. Kelompok ini diambil dari larutan tanah dalam bentuk ion. Dalam sel tanaman ion-ion ini dalam bentuk ion bebas atau dapat diabsorpsi dan menjadi ion tidak bebas yaitu dalam bentuk anion organik, sebagai contoh penyerapan Ca^{2+} oleh group karboksil dari pektin.

Magnesium juga terikat dengan kuat dalam molekul klorofil. Di sini Mg^{2+} adalah dalam bentuk chelat yang diikat oleh ikatan kovalen maupun ikatan koordinat (akan diuraikan lebih lanjut pada hal selanjutnya). Dalam hubungannya dengan

Mg²⁺, elemen ini sangat erat dan mirip dengan kriteria pada group keempat: Zn, Fe, Cu, Mo. Elemen ini secara umum berada dalam bentuk chelat dalam tanaman. Pembagian antara group ketiga dan keempat tidak secara jelas dapat dibagi-bagi untuk Mg²⁺, elemen Mn dan Ca²⁺ di dalam tanaman juga berada dalam bentuk chelat.

Menurut Nurhayati dkk. , (1986), unsur- unsur yang dibutuhkan tanaman secara umum dibagi kedalam 2 kelompok, yaitu unsur hara makro dan mikro. Menurut Marschner (1986), selain unsur hara makro dan mikro juga terdapat unsur hara yang tidak essensial menurut definisi essensial tetapi dapat menstimulasi pertumbuhan atau dapat juga essensial hanya pada beberapa tanaman atau menjadi essensial pada beberapa kondisi. Marschner menyebut dengan beneficial element. Sebagai contoh adalah Na, Si, Co, Ni, Se, Al.

Tabel 1. 2 Klasifikasi Nutrisi Tanaman

Unsur Hara	Penyerapan	Fungsi Biokimia
Kelompok IC, H, O, N, S	Dalam bentuk CO ₂ , HCO ₃ ⁻ , H ₂ O, H ₂ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁻ , N ₂ , SO ₄ ²⁻ , SO ₂ . Ion dalam larutan tanah, gas-gas	Sumbangan utama dari bahan organik. Unsur- unsur esensial dari kelompok-kelompok atomik dalam proses enzimatik. Asimilasi oleh reaksi melalui reaksi –

	dari atmosfer	reaksi oksidasi – reduksi
Kelompok II P, B, Si	Dalam bentuk fosfat, asam Borik/Borat, Silikat berasal dari larutan tanah	Esterifikasi dengan kelompok alkohol dalam tanaman. Ester – ester Fosfat terlibat dalam reaksi transport energi
Kelompok IIIK, Na, Mg, Mn, Cl	Dalam bentuk ion – ion dari larutan tanah.	Fungsi ion spesifik membentuk potensial osmotik. Reaksi reaksi yang lebih spesifik melalui konfirmasi protein enzim menjadi siklus optimum (aktivitasi enzim). Membatasi reaksi -reaksi berpasangan. Menyeimbangkan anion – anion yang dapat larut dan yang tidak dapat larut.
Kelompok IVZn, Fe, Cu, Mo	Dalam bentuk ion chelate berasal dari larutan tanah	Sebagian besar berada dalam chelate bergabung dalam kelompok prostetik. Memungkinkan transport elektron melalui pertukaran

		valensi.
--	--	----------

Unsur hara makro, biasanya diatas 500 ppm dalam tanaman. Untuk hara mikro diperlukan hanya dalam jumlah sedikit, biasanya kurang dari 50 ppm dalam tanaman.

Menurut Epstein (1972), unsur- unsur yang diklasifikasikan esensial ada 16 untuk seluruh tanaman budidaya. Khusus Na, Si, dan kobalt hanya esensial untuk beberapa tanaman, Klorin adalah unsur yang paling akhir dinyatakan esensial.

Tabel 1. 3 Beberapa unsur hara esensial dan peranannya dalam tanaman.

Unsur	Peranan dalam tanaman
Nitrogen (N)	Penyusun semua protein. Klorofil, dan peranan koenzim, dan asam- asam nukleat.
Phospor (P)	Transfer energi, bgn dari ADP, ATP, penyusun beberapa protein, koenzim, asam nukleat, dan substrat metabolisme
Kalium (K)	Sedikit peranannya sebagai penyusun komponen tanaman. Berfungsi dalam pengaturan metabolisme sprt fotosintesis, translokasi karbohidrat, sintesis protein dll.
Kalsium (Ca)	Komponen dinding sel. Berperan dalam struktur dan permeabilitas membran.
Magnesium (Mg)	Penyusun klorofil dan enzim aktivator.

Belerang (S)	Bagian penting dari protein tanaman.
Boron (Bo)	Tidak pasti, tetapi dipercaya penting dalam translokasi gula dan metabolisme karbohidrat.
Besi (Fe)	Sintesis klorofil dan enzim- enzim untuk transfer elektron.
Mangan (Mn)	Pengendali beberapa sistem oksidasi-reduksi, pembentukan O ₂ dalam fotosintesis.
Tembaga (Cu)	Katalisator untuk respirasi, penyusun enzim.
Seng (Zn)	Dalam sistem enzim, yang mengatur bermacam- macam aktiv. metabolik.
Molibdenum (Mo)	Dalam nitrogenase dibutuhkan untuk fiksasi nitrogen.
Kobalt (C)*	Penting untuk fiksasi N secara simbiotik oleh rhizobium. * tidak penting untuk semua tanaman berpembuluh menurut batasan suatu unsur penting oleh Arnon.
Klorin (Cl)	Aktivator sistem untuk menghasilkan O ₂ dalam fotosintesis.

1. 2. Fungsi umum unsur hara

Seperti telah disebutkan diatas C, H, O, N dan S adalah bagian dari bahan organik tumbuhan. Selain hal tersebut unsur-unsur tersebut juga terlibat dalam proses enzimatik, C dan O adalah komponen utama group karboksil, H dan O pada proses oksidasi – reduksi, N pada pembentukan NH_2^- , $\text{NH} =$, dan juga $-\text{N}^\pm$ dan S dalam pembentukan group SH. Unsur tersebut juga adalah pereaksi dari berbagai proses biokimia. Beberapa contoh umum dari reaksi tersebut akan dijelaskan dibawah ini. Karbon diassimilasi oleh tanaman sebagai CO_2 . Proses ini disebut karboksilasi dan merupakan proses dasar dimana CO_2 berperan dalam proses fotosintesis. Proses kebalikannya dimana CO_2 dibebaskan juga sudah sangat umum dan dikenal dengan dekarboksilasi. Sebagai contoh dekarboksilasi adalah pelepasan CO_2 dari asam malat ke bentuk asam piruvat. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim malat, koenzim A, nikotin adenin dinukleotida pospat (NADP) juga dibutuhkan dan mengalami pengurangan selama proses reaksi.

Gambar hal 15, bk ungu.

Keseimbangan dalam reaksi ini sangat dipengaruhi oleh asam piruvat yang terbentuk. Dua atom H dari asam malat ditransfer pada reaksi ini. Satu dilepaskan pada proses reduksi koenzim NADP^+ dan yang satunya lagi tampak sebagai proton (H^+). Komponen yang aktif dari koenzim adalah nicotinamida. Oksidasi dan reduksi bentuknya adalah seperti dibawah ini:

Contoh dari dekarboksilasi juga menunjukkan keterlibatan atom N disetiap proses enzim. Semua enzim dan coenzim mengandung N. Group- SH dapat juga terlibat dalam proses oksidasi – reduksi. Persamaan berikut menunjukkan reaksi dari dua group – SH dari dua molekul sistin yang dihasilkan pada proses sintesis satu molekul sistin, karakteristik yang majemuk karena adanya jembatan . S –S-. Pada reaksi ini molekul sistin dioksidasi dan dua atom H hilang. S-S group sangat dikenal di protein, biasanya berfungsi sebagai rantai antara pada rantai polipeptida

Group ke tiga dan keempat dari nutrisi tanaman (Tabel 1. 1.), tidak mempunyai fungsi khusus di sel, hanya menentukan potensial osmotik di sel organel atau dalam keseimbangan ion. Juga dijelaskan unsur hara ini dapat mempengaruhi fungsi khusus. Pada suatu review paper Clarkson dan Hanson (1980), menunjukkan group ketiga dan keempat dari group unsur hara yang telah dijelaskan didepan , dibagi lagi menjadi empat kategori. Yaitu:

1. Merangsang dan mengontrol mekanisme (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^-), dengan mengontrol potensial osmotik, permeabilitas membran, elektro potensial dan ketahanannya.
2. Mempengaruhi struktur sel (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+}) dengan mengikat (binding) dengan molekul organik terutama molekul enzim dan ikut dalam proses pembentukan.

3. Membentuk asam Lewis (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}). Ion-ion ini dapat menerima pasangan elektron oleh karena itu dapat mengkatalisis atau merangsang suatu reaksi.
4. Reaksi redoks (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+}). Ion-ion ini adalah komponen esensial dari group prostetik yang bertanggung jawab terhadap transport elektron.

Ca dan Mg mempunyai affinitas yang tinggi untuk group karboksil dan group fosfat, dimana unsur metal seperti Fe, Mn, Cu dan Zn lebih cepat ditarik dan spesifik dibandingkan N dan S. Ca oleh karena itu pada umumnya terikat di dinding sel dan membran dan konsentrasinya di sitoplasma relatif rendah dibandingkan Mg^{2+} .

Apabila terikat dengan molekul organik, bentuk Mg^{2+} , mengikuti kelompok pyropospat dari coenzym ATP, untuk membentuk kompleks Mg ATP^{2-} , yang kemudian terikat dengan enzim protein. Mg^{2+} dapat juga membentuk kompleks dengan koenzim ADP walaupun affinitas ATP untuk Mg lebih besar. Pada beberapa reaksi kompleks Mn ATP^{2-} , lebih aktif dibandingkan Mg ATP^{2-} . Pada beberapa reaksi enzimatik dimana ATP adalah penyumbang atau donor pospat, Mg ATP^{2-} . Tampak lebih aktif dari koenzim (FIG 1. 1).

Group terakhir dari unsur hara tanaman (Tabel 1. 1) adalah logam berat. Unsur-unsur ini paling sering tampak dalam bentuk chelat di dalam tanaman. Atom dari logam chelat adalah salah satu yang terikat dalam bentuk ikatan majemuk organik

(ligand) dengan dua atau lebih ikatan. Contoh bentuk ikatan adalah seperti tampak pada FIG. 1. 2.

Ca^{2+} , terikat dengan ethylene diamine tetraacetate (EDTA), dengan cara ini dua group karboksil dari asam terikat dengan Ca^{2+} , melalui ikatan elektrostatis, sedangkan dua koordinat terikat dalam bentuk antara Ca^{2+} , dan dua atom N. Kompleks yang sangat stabil yang terbentuk, yang kelarutannya sangat tinggi dalam air dan relatif stabil untuk berubah dalam ph.

Yang terpenting dan terjadi ikatan chelate secara alamiah dalam tanaman adalah dari group haem dan chlorophyl. Group haem adalah Fe porphyrin. Besi diikat dengan N-atom dari dua ikatan phyrol dengan ikatan koordinat . Group haem dalam bentuk group prostetik beberpa enzim (katalase, peroksidase, cytochrome, cythochrome oksidase). Kehadiran besi (Fe) dalam ikatan haem valensi dapat berubah i dari Fe^{2+} , menjadi Fe^{3+} .
 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^{-}$

Ini memungkinkan transfer elektron, fungsi prinsip dari group prostetik ini. Bentuk yang tereduksi (Fe^{2+}) kelompoknya disebut haem dan di dalam bentuk oksidasi (Fe^{3+}) disebut haemin . Atom logam yang lain seperti Cu, Co dan Mo juga berfungsi dalam sistem enzim analogi cara seperti yang disebutkan pada Fe. Gambar 1. 3 dan 1. 4. ungu.

Struktur klorophyl mirip dengan struktur haem (Fig 1. 4.). Ikatan Mg bergabung dengan atom N pada struktur porphyrin melalui dua ikatan kovalen dan dua ikatan koordinat. Klorofil mempunyai fungsi utama dan penting dalam metabolisme tanaman dimana kompleks logam berat dapat

mengantar elektron apabila ada cahaya. Ini adalah proses dasar dari fotosintesis.

Ini seperti logam berat yang terutama diserap dari tanah dalam bentuk chelat. Proses chelatisasi disekitar akar atau dipermukaan akar, adalah merupakan hal utama yang memungkinkan ketersediaannya.

1. 3. Kandungan Mineral

Material atau bahan tumbuhan hidup terdiri dari bahan organik, air dan mineral. Jumlah relatif dari ketiga komponen tersebut dapat bervariasi, tetapi untuk material tumbuhan hijau, air selalu ada dalam proporsi tertinggi dan mineral dalam proporsi terendah. Distribusi prosentasi dari tiga komponen ini berdasarkan besarnya adalah ;

Air	70 %
Bahan Organik	27 %
Mineral	3 %

data yang lebih rinci yang menunjukkan kandungan tingkat mineral tumbuhan dapat dilihat dalam Tabel 1. 2 dan 1. 3 .

Namun, air mempunyai peranan yang sangat penting karena memungkinkan tanaman membuat bahan organik hasil fotosintesis. Dengan adanya air, kandungan mineral pada tumbuhan dan organ tumbuhan menjadi sangat penting secara fisiologis dan praktis.

Tabel 1. 4 Kandungan air dari beberapa jaringan tanaman dalam persen berat basah.

No	Jenis tanaman	Persen
1	Bahan tanaman muda	90 – 95
2	Akar muda	92 – 93
3	Daun tua	75 – 85
4	Jerami biji-bijian tua	15 – 20
5	Batang	15
6	Biji cereal	10 – 16
7	Biji masak	7 – 10
8	Buah tomat	92 – 93
9	Jeruk	86 – 90
10	Apel	74 – 81
11	Buah pisang	73 – 78
12	Umbi kentang	75 – 80
13	Akar bit gula	75 – 80

Faktor utama yang mengendalikan kandungan mineral tumbuhan adalah potensial pengambilan hara yang tetap secara genetis dan spesifik, bagi hara mineral yang berbeda. Hal ini menjadi dasar kandungan N dan K pada bahan tumbuhan hijau yang 10 kali lebih tinggi dari P dan Mg, dan pada dasarnya 100-

1000 kali lebih tinggi dari kandungan mikronutrient. Pola umum terjadi pada semua spesies tumbuhan tinggi. Namun demikian dalam satu spesies pun terdapat perbedaan yang nyata dalam kandungan mineral, yang juga ditentukan secara genetis. Hal ini dipelajari Collander (1941), yang menumbuhkan 20 spesies tanaman yang berbeda-beda dalam larutan hara yang sama dan menentukan komposisi mineral dari tanaman yang tumbuh. Ditemukan bahwa kandungan K tidak banyak berbeda antar spesies tapi perbedaan nyata dalam kandungan Ca, Mg dan Si, dan yang tertinggi ditemukan adalah spesies tanaman yang memiliki potensial pengambilan tinggi terhadap mineral-mineral ini (*Atripleks hortense* dan *Vicia* untuk Na, *Latuca* dan *Pisum* untuk Mn) pada kasus – kasus ekstrim mengandung Na atau Mn 60 kali lebih banyak dibanding spesies tumbuhan lain yang memiliki potensial pengambilan hara yang rendah (*Fagopyrum* dan *Zea* untuk Na, *Salicornia* dan *Nicotiana* untuk Mg).

Telah sering diamati bahwa tumbuhan dikotil umumnya mengandung proporsi kation divalen dan monovalen yang lebih besar daripada monokotil. Ca^{2+} , terdapat dalam jumlah yang besar di dinding sel bahan tanaman (apoplast) dengan jumlah yang sangat sedikit di sitoplasma. Sejak kapasitas pertukaran kation materi dinding sel dari dikotil juga selalu lebih tinggi dibandingkan monokotil, dapat diduga bahwa tingginya pengambilan Ca untuk dikotil berhubungan dengan tingginya kapasitas pertukaran kation. Ini menunjukkan indikasi yang jelas bahwa paling sedikit kontrol dari transport ion divalen antar tanaman adalah tergantung kepada berapa luasnya kapasitas

pertukaran kation dari jaringan tanaman (van de Geijn dan Petit, 1979).

Dalam literatur lama dikatakan bahwa dalam hubungan sebab akibat antar KTK dan pengambilan kation divalen dan monovalen yang berbeda (McLean et al. , (1956), Drake and White (1961)), diketahui bahwa efek pertukaran kation diakar menyebabkan akar menjadi sangat penting dalam mengatur pengambilan kation dan juga komposisi kation tumbuhan (Mengel, 1961, Cunningham dan Nielsen, 1963).

Faktor kedua yang mengontrol kandungan mineral adalah ketersediaan hara tanaman dalam medium hara. Konsentrasi dari mineral tertentu dalam tanaman meningkatkan bentuk kurva kejenuhan seiring dengan meningkatnya ketersediaannya dalam medium hara. Hubungan digambarkan dalam Gambar 2. 25. , di hal. 106.

Garis bertitik dari kurva dalam kisaran rendah ketersediaan hara menunjukkan bahwa di sini kandungan mineral tumbuhan tetap konstan. Hal ini menunjukkan konsentrasi terendah yang dibutuhkan untuk mempertahankan metabolisme dan kehidupan tanaman. Pertumbuhan dalam keadaan ketersediaan hara yang rendah sangat terhambat dan bila ada peningkatan dalam suplai hara akan mendorong pertumbuhan. Dengan demikian walaupun ada peningkatan pengambilan hara sebagai hasil dari bertambah banyaknya hara yang tersedia, konsentrasi hara dalam tanaman tetap konstan.

Dalam metode analisis daun dan tanaman untuk mendiagnosis ketersediaan hara dalam tanah. Hal ini

didiskusikan secara lebih rinci nanti (hal. 88). Tumbuhan memerlukan tingkat tertentu dari tiap hara dalam jaringannya, dan jika tidak tersedia akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Tingkat kritis kebutuhan hara berbeda untuk tiap tanaman. Sangat jelas bahwa hara makro biasanya hadir dalam konsentrasi yang lebih tinggi dibanding hara mikro.

Kandungan mineral berbeda secara nyata antara organ – organ tumbuhan. Umumnya bagian vegetatif tumbuhan seperti daun, batang, dan akar bervariasi sangat tinggi dalam komposisi mineral dibandingkan buah, umbi dan biji. Tanaman memasok hara dan mineral serta bahan organik dari bagian – bagian lain tumbuhan dan hal ini umumnya menyebabkan terjadinya variasi yang hanya sedikit dalam kandungan antar organ reproduktif dan organ penyimpan. Hubungan ini untuk Mg dapat dilihat dalam Gambar 1. 5. . Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya ketersediaan Mg dalam tanah, kandungan Mg dalam batang jerami lebih terpengaruh dibanding kandungan Mg biji (Schreiber, 1949). Hubungan yang sama juga terjadi pada hara tanaman lain seperti N, P, K, Fe dan Ca.

Kandungan hara tanaman juga sangat tergantung dari umur. Tumbuhan muda dan jaringan tumbuhan muda mempunyai kandungan N, P, K yang tinggi. Sementara dibagian tanaman yang lebih tua dan lebih masak, kandungan Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe dan B lebih tinggi lagi

(Smith, 1962), asalkan kandungan hara didasarkan pada bahan kering. Variasi tripikal dalam kandungan N, P, K selama periode pertumbuhan sereal ditunjukkan dalam Gambar 1. 6.

pada minggu I musim tumbuh, kandungan hara meningkat. Karena pengambilan hara yang relatif tinggi dibanding laju pertumbuhan. Segera setelah fase pertunasan berakhir laju pertumbuhan sangat tinggi dari perpanjangan batang dimulai. Pertumbuhan yang aktif menyebabkan reduksi dramatis dalam kandungan mineral tanaman karena pengenceran. Bila tanda-tanda bunga telah berkembang sempurna, hanya sedikit perubahan dalam kandungan N, P dan K dalam semua jaringan tumbuhan. Jumlah tersebut dalam tumbuhan itu sendiri terjadi perubahan yang cukup berarti antara jaringan, karena selama periode pemasakan ini sejumlah besar N dan P ditranslokasikan dari daun dan batang ke biji.

Kandungan mineral tumbuhan biasanya dinyatakan dengan dasar berat kering, dimana bahan tumbuhan segar dikeringkan pada suhu 105° C sampai semua air keluar hingga tersisa 4% K dalam bahan kering atau 3 mg P per gram bahan kering atau 27 ppm Mn dalam bahan kering. Istilah ppm berarti part permillion, 27 bagian Mn (berat) per 1. 000. 000 bagian (berat) bahan kering. Kadang – kadang ug/g atau mg/kg lebih digunakan dibanding ppm. Istilah ini berlaku bila kuantitas kecil dihitung seperti dalam kasus hara mikro. Untuk hara makro kandungan mineral biasanya dinyatakan dalam % atau mg/gram bahan tanaman. Tabel 1. 3. menyajikan hasil survei dari kandungan mineral dari berbagai tumbuhan dan organ tumbuhan. Angka – angka yang disajikan hanyalah petunjuk. Kandungan mineral bisa bervariasi secara nyata tergantung dari kondisi pengambilan dan faktor lain termasuk yang disebut diatas.

Untuk tujuan praktis seperti perkiraan pengambilan hara total tanaman atau penggunaan analisis tumbuhan sebagai alat mendiagnosis ketersediaan hara dalam tanah, kandungan mineral berdasarkan dasar bahan kering adalah paling cocok untuk pertimbangan fisiologis, lebih tepat untuk menyatakan konsentrasi hara pada tanaman dengan dasar bahan segar dalam bentuk millimol (mm) atau mili ekuivalen (me), 2, 5 me Ca/100g bahan segar. Hal ini akan memberi kesan yang lebih realistis dari konsentrasi mineral aktual dalam sel tanaman. Juga penting kalau menyatakan konsentrasi atau molekul organik seperti asam amino bebas, asam organik dan gula. Sebagai tanaman, dengan mendasarkan konsentrasi atas bahan segar dan menyatakan nilainya dalam mm atau me, sering lebih mudah untuk mengenal hubungan fisiologis. Satu contoh adalah pengaruh umur terhadap kandungan mineral jaringan tumbuhan

Umumnya kandungan air pada bahan tanaman lebih tinggi pada jaringan yang lebih muda sehingga jaringan tumbuhan muda tidak terlalu kaya akan N, P dan K seperti diketahui dari analisis bahan kering. Jungk (1970), menunjukkan bahwa dalam kasus *Sinapis alba* kandungan K^+ dan NO_3^- yang didasarkan pada berat segar tetap konstan pada seluruh musim tumbuh, asalkan tumbuhan cukup tersuplai kedua hara ini. Buah berdaging dan organ penyimpanan juga mempunyai kandungan air yang tinggi dibandingkan buah-buahan dan biji-bijian. Dengan demikian perbandingan komposisi mineral dari bahan kering diperoleh dari sampel bahan segar dengan kandungan air yang sangat berbeda harus dilakukan dengan lebih teliti.

Tabel 1. 5. Kandungan mineral pada beberapa bahan tanaman.

Elemen	Gandum pada fase akhir pembentukan bulir	Biji gandum	Jerami gandum	Batang pada fase vegetatif
N	39	17	4. 5	56
P	4. 4	4. 3	1. 2	4. 9
S	3. 2	2. 8	3. 3	9. 3
Cl	15	2. 7	14	12
K	43	6. 4	14	46
Na	5. 3	0. 2	3	1. 3
Ca	9. 4	2. 2	9. 0	29
Mg	2. 1	1. 2	1. 0	2. 0
Si	3. 5	1. 8	3. 3	3. 4
Fe	74	53	85	550
Mn	130	80	50	250
Cu	7	3	2. 3	7
B	6	1. 1	7	35
Mo	2	1. 6	1. 0	—

BAB 2

PENYERAPAN DAN PENGANGKUTAN HARA MINERAL

.....

Pada bab sebelumnya disebutkan bahwa tanaman dapat menyerap ion hara yang berada dalam larutan tanah maupun hara dalam bentuk dapat ditukar pada kompleks jerapan tanah. Bentuk unsur hara esensial yang dapat diserap oleh tanaman dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. 1 Unsur hara esensial dan bentuk-bentuk ion-ion yang tersedia bagi tanaman

Unsur esensial	Bentuk hara tersedia
C, H, O, N, S	Ion di dalam larutan (HCO_3 , NO_3 , NH_4 , SO_4^{2-}) atau gas di atmosfer
P, B, Cl	Ion di dalam larutan (H_2PO_4 , HPO_4^{2-} , BO_3^{3-} , Cl)
K, Mg, Ca,	Ion (K , Mg^{2+} , Ca^{2+}) di dalam larutan dan dapat ditukar
Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, ,	Ion (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , MoO_4 , Zn^{2+}) atau khelat di dalam larutan

Sumber: Mengel dan Kirkby (1982), dan Jones (1998)

2. 1 Gerakan Hara dari Tanah Ke Air

Selain C, H, dan O, unsur unsur hara esensial yang lain diserap tanaman melalui akar (Comerford 2005). Agar dapat diserap oleh tanaman unsur unsur hara tersebut harus berada atau kontak dengan permukaan akar tanaman. Oleh karena itu, unsur unsur hara yang berada di dalam suatu bongkah tanah harus bergerak ke permukaan akar. secara garis besar, mekanisme gerakan unsur hara ke permukaan akar dikelompokkan menjadi tiga yaitu *intersepsi akar*, *aliran masa*, dan *difusi*.

2. 1. 1 Intersepsi Akar

Intersepsi hara terjadi jika akar tanaman hidup tumbuh memanjang dan menerobos kontrak dengan partikel tanah, sehingga bagian akar dapat melakukan kontrak langsung dengan hara yang berada dalam larutan atau bagian tanah yang lain. Dengan mekanisme ini, hara tidak harus bergerak agar dapat tersedia dan diserap oleh tanaman. Jumlah hara yang dipatok ke akar melalui intersepsi akar merupakan fungsi dari volume tanah yang diduduki oleh akar tanaman. Dengan demikian, keberadaan rambut akar dapat meningkatkan luas permukaan bidang serapan akar yang bersentuhan dengan tanah.

Perakaran kebanyakan tanaman semusim menduduki kurang dari 1% volume tanah pada kedalaman 0 sampai 20 cm. Oleh karena itu, hanya sekitar kurang dari 1% hara tersedia dalam tanah yang dipasok melalui intersepsi akar (Havlin et al .

2005). kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) merupakan unsur yang banyak dipasok ke akar melalui mekanisme ini.

Intersepsi hara oleh akar meningkat dengan adanya mikoriza, simbiosis antara jamur dan akar tanaman. Efek positif mikoriza ini paling besar bila tanaman tumbuh pada tanah yang kurang subur (Comerford 2005; Haylin et al. 2005). Hifa dari jamur meningkatkan luas permukaan bidang jerapan akar tanaman.

2. 1. 2 Aliran Masa

Aliran masa merupakan pergerakan hara di dalam tanah permukaan akar tanaman yang terangkut oleh aliran konvektif air akibat penyerapan air oleh tanaman atau sebagian air transpirasi. Jumlah hara yang bergerak dengan aliran masa sebanding dengan jumlah air yang diserap tanaman dan konsentrasi hara di dalam air tersebut. Jika kandungan lengas tanah rendah, gerakan melalui aliran masa dapat berkurang atau terhenti. Jumlah hara yang bergerak melalui aliran masa dapat digambarkan dalam persamaan berikut:

$$Q : VC$$

Q : Jumlah zat terlarut (ion-ion hara) terbawa oleh aliran masa

V : Volume air, dan C : Konsentrasi hara

Jumlah hara bergerak melalui aliran masa sangat beragam, tergantung jenis tanaman, iklim, dan kondisi lengas tanah, karena semua berpengaruh terhadap penggunaan air oleh tanaman. Kekeringan akan mengakibatkan penurunan jumlah hara bergerak dengan cara ini. Unsur hara yang bergerak melalui

mekanisme ini adalah hara atau ion yang banyak jumlahnya di dalam larutan tanah atau mobil di dalam tanah, yang akan bergerak sesuai dengan gerakan air. Hara $N(NO_3)$, Ca^2 , Mg^2 , dan H_3BO_3 dipasok ke permukaan akar dengan mekanisme ini. sekitar 80% gerakan N ke akar tanaman melalui aliran masa, dan sebaliknya hanya 5% P bergerak melalui aliran masa.

2. 1. 3 Difusi

Difusi adalah proses pergerakan hara di dalam larutan tanah dari bagian yang berkonsentrasi tinggi ke bagian yang berkonsentrasi rendah. Ketika hara tanaman bergerak melewati rizosfer dan memasuki tanaman yang masih hidup, konsentrasi ion hara di rizosfer tersebut berkurang. Akibatnya, hara tanaman akan bergerak dalam larutan tanah dari daerah yang tinggi konsentrasinya (jarak jauh dari akar) ke daerah yang rendah konsentrasinya (bagian dekat dengan permukaan akar) dan siap diserap oleh akar tanaman. laju difusi dapat digambarkan oleh persamaan berikut:

$$dC/dt : D \cdot A \cdot dC/dX$$

dengan dC/dt adalah laju difusi (perubahan konsentrasi dengan waktu), D merupakan koefisien difusi efektif, A adalah luas penampang melintang yang akan dilewati ion yang berdifusi, dan dC/dX merupakan gradien konsentrasi (perbedaan konsentrasi dengan jarak). Nilai koefisien difusi efektif dapat dirinci sebagai berikut:

$$D : D_L \text{ of } 1/b$$

Dengan D_L sebagai koefisien difusi di dalam air, θ sebagai fraksi volumetris air di dalam tanah yang menentukan luas bidang melintang untuk difusi, nilainya antara 0,1 dan 0,5 cm^3 air per cm^3 tanah sekitar akar pada kondisi tanaman tumbuh; τ merupakan faktor impedan, yang ditentukan oleh lintasan tortuositas ion dan zat terlarut lain melewati ruang pori, yang jaraknya lebih panjang daripada garis lurus diantara dua titik; b adalah daya sangga tanah yang nilainya : $8C/8C_L$, dengan C sebagai fraksi hara yang terjerap pada matriks tanah dan C_L merupakan fraksi hara dalam larutan tanah, yang kedua-duanya berkeseimbangan.

Faktor tortuositas menggambarkan bahwa lintasan hara di dalam tanah itu bukan gerakan langsung, tetapi hara harus melewati lapisan tipis disekitar partikel tanah. Dengan demikian, gerakan hara dipengaruhi oleh tekstur dan kandungan lengas tanah. Tanah yang bertekstur liat dan mempunyai lapisan air tipis pada partikel-partikel tanah akan mempunyai lintasan difusi yang lebih panjang. Oleh karena itu seperti halnya aliran massa laju difusi akan berkurang secara signifikan jika tanah mengalami kekeringan. Kapasitas sangga menyatakan bahwa gerakan hara di dalam tanah tertahan karena ion-ion hara tersebut dijerap oleh partikel-partikel, sehingga ion bergerak lambat dan laju difusi berkurang. Gerakan atom-ion secara umum meningkat dengan suhu, maka laju difusi meningkat dengan kenaikan suhu.

Difusi merupakan mekanisme utama bagi unsur hara esensial yang mempunyai mobilitas rendah di dalam tanah,

seperti ion-ion hara P, K, Cu, Fe, Mn, dan Zn, bahkan Cu hampir tidak dapat bergerak dalam banyak tanah. Sebagai contoh, jarak difusi pada kondisi lengas kapasitas lapang beberapa ion hara adalah 1cm perhari untuk NO_3^- ; 0, 2cm perhari untuk K; dan 0, 2cm perhari untuk H_2PO_4^- . Konsentrasi P dan K pada permukaan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan tanah bongkah mengakibatkan terjadinya kondisi khusus di sekitar akar.

Berbeda dengan aliran massa difusi merupakan faktor mobilitas ion di daerah yang sangat dekat dengan permukaan akar. Oleh karena itu besarnya tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi tanah, tetapi juga faktor tanaman, seperti pertumbuhan akar dan luas permukaan akar karena akar tanaman yang tumbuh mengalami perubahan secara anatomi maka fungsi dan laju serapan ion juga berubah. Secara umum jika jarak ion hara dari pucuk akar berjauhan maka serapan ion akan berkurang. Pembentukan akar rambut akan secara signifikan memacu serapan ion akibat bertambahnya luas permukaan bidang serap akar. Perkembangan rambut akar juga dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia tanah sekitar perakaran, sehingga mempengaruhi penyerapan hara oleh tanaman sebagai contoh, tanah yang mampat (compacted) dapat menyebabkan pertumbuhan akar terbatas di samping itu pembentukan akar lateral juga akan menambah permukaan kontak antara tanah dan akar sehingga memacu serapan ion.

Ketiga mekanisme tersebut secara bersama-sama sangat penting untuk menjamin kecukupan pasokan unsur hara untuk

pertumbuhan tanaman. jika salah satu dari proses terganggu maka kekahatan hara dapat terjadi. pentingnya masing masing mekanisme gerakan hara dari tanah ke akar tanaman dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 Persen hara diserap oleh tanaman jagung yang menuju ke akar melalui intersepsi akar, aliran masa, dan difusi

Hara	Intersepsi akar	Aliran masa%serapan	Difusi
Nitrogen	<1	80	19
Fosforus	2	5	93
Kalium	2	18	80
Kalsium	150	375	0
Magnesium	33	600	0
Sulfur	5	300	0

2. 2 Penyerapan Umsur Hara oleh Akar

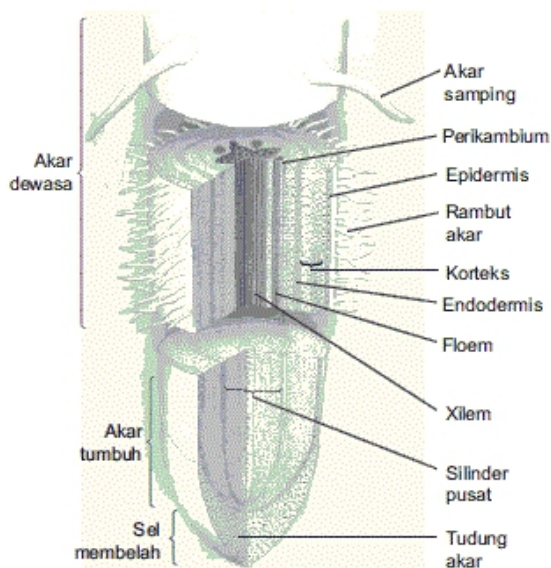
Pasokan hara dari dalam tanah ke tanaman terutama melalui sistem perakaran. Namun unsur C dalam bentuk gas karbodioksida (CO2), oksigen dalam bentuk O2 sulfur dalam bentuk sulfur dioksida(SO2) dan sejumlah kecil ion lain dapat diserap oleh daun. Kinekita serapan hara kedalam sel sel akar, dan translokasinya kebagian bagian tanaman lain untuk

dipergunakan oleh tanaman merupakan salah satu proses penting di dalam perubahan tanaman.

Sebelum memulai diskusi tentang penyerapan hara oleh akar tanaman diperlukan pemahaman tentang morfologi dan anatomi dari akar tanaman karena akar merupakan bagian tubuh tanaman yang paling penting dalam penyerapan hara dari daalam tanah.

2. 2. 1 Akar Tanaman dan Serapan Hara

Secara garis besar, jaringan akar yang terlibat dalam penyerapan hara dari lautan tanah dapat dilihat pada gambar tabel 2. 1 akar tanaman mulai dari ujung ke pangkal batang dapat dibagi menjadi beberapa daerah (zona), yaitu mantel musigel, tudung akar, zona pemanjangan, dan zona pemasakan.



Sumber: *Hampan Dunia Ilmu Time-Life, Tira Pustaka*

Mantel Musigel

Mantel musigel merupakan daerah sel yang bertudung tipis dan berada pada bagian ujung akar. Tudung akar berfungsi sebagai perlindungan daerah neristematik yang sangat vital terutama pada saat akar menembus tanah dan berfungsi pula sebagai gerak geotropis akar.

Tudung Akar

Tudung akar merupakan daerah sel yang bertudung tipis dan berada pada bagian ujung akar. tudung akar berfungsi sebagai pelindung daerah neristematik yang sangat vital. terutama pada saat akar menembus tanah dan berfungsi pula sebagai gerak geotropis akar.

Daerah Meristematis

Daerah ini merupakan bagian akar yang sel selnya masih aktif membelah, dan mengalami pertumbuhan secara longitudinal. Pada daerah ini, ion dan air bergerak bebas menembus koteks dan memasuki arus transpirasi dalam xilem tanpa melewati membran plasma. kebanyakan kation diserap pada akar akar yang terbentuk ini.

Daerah Pemanjangan

Daerah ini terdiri dari sel sel yang belum masak dan berada kdi belakang dekat pucuk akar yang panjangnya sekitar 0,5mm, sebagai hasil perkembangan sel sel daerah meristematik ke arah akropetal Pada daerah ini, ion hara dan air dapat bebas bergerak masuk kebagian tengah akar memasuki arus transpirasi ke dalam jaringan xilem. Kebanyakan Ca^{2+} diserap oleh tanaman

melalui daerah ini. Oleh karena itu jika pasokan hara Ca kurang maka pertumbuhan akar tanaman akan terganggu.

Daerah Masak

Apabila sel-sel di daerah pemanjangan mencapai ukuran sempurna, maka sel-sel akan mengalami diferensiasi menjadi tiga jaringan yaitu: epidermis, korteks, dan stele. Daerah ini berada beberapa sentimeter di belakang daerah pemanjangan. Pada daerah masak ini sarung kaspari telah berkembang dan menebal mengelilingi sel endodermis di dekat stele. Sarung kaspari mulai terbentuk pada jarak beberapa milimeter pada pucuk akar sebagai contohnya pada akar jagung sarung kaspari mulai terbentuk pada 13 sampai 16 mm dari pucuk akar. Sarung kaspari ini menjadi pembatas masuknya hara ke dalam akar melewati daerah masak.

Rambut Akar

Rambut akar atau bulu akar merupakan modifikasi sel-sel epidermis sehingga hanya terdiri dari sel. Keberadaan rambut akar meningkatkan luas permukaan akar sehingga ia sangat penting dalam penyerapan hara dan air dari dalam tanah.

Epidermis

Jaringan epidermis akar tersusun dari selapis deretan sel di bagian luar akar yang tidak mempunyai kutikula, sehingga memungkinkan larutan eas masuk ke dalam sel-sel epidermis.

Korteks

Korteks adalah jaringan yang tersusun dari sel-sel parenkim yang tipis dengan ruang-ruang antar sel, sehingga air

mudah masuk melewatinya jaringan ini menempati sebagian besar volume akar tanaman yang masih muda.

Endodermis

Endodermis merupakan cincin sel sel yang dindingnya dapat mengalami penebalan dan berkembang secara radial. pada bagian akar tanaman yang telah masak, perkembangan radial nya akan mengalami hiberasasi bersama sel sel endodermis yang lain membentuk lapisan yang disebut sarung kaspary. sarung ini bersifat tidak tembus air sehingga mengalami aliran air dan ion menuju stele.

Disamping akar tanaman ada beberapa mekanisme yang melibatkan akar dan mempunyai peranan penting dalam penyerapan hara oleh tanaman, yaitu adanya asosiasi antara akar dengan jamur yang disebut dengan mikoriza dan kapasitas tukar kation akar.

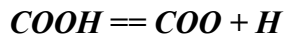
2. 2. 2 Mikroza

Kebanyakan akar tanaman sehat yang tumbuh pada kondisi alami atau hutan berasosiasi dengan satu atau lebih jenis jamur. Akar akar yang berkolaborasi dengan jamur inilah yang disebut dengan mikoriza. jamur mikoriza dan akar hidup secara simbiosis mutualis, saling memberikan manfaat. jamur memperoleh pasokan karbon dan energi dari akar, sebaliknya jamur membantu akar mendapatkan unsur hara. Oleh karena itu mikoriza sangat membantu dalam penyerapan unsur hara bagi tanaman, terutama unsur unsur hara yang jumlahnya sedikit di dalam tanah dan tidak mobil, seperti P, . Di samping membantu

peningkatkan serapan hara oleh akar, mikroza juga mempunyai beberapa manfaat lain seperti; (a) meningkatkan serapan air dan ketahanan terhadap kekeringan, (b) meningkatkan ketahanan terhadap penyakit akar, dan (c) meningkatkan toleransi tanaman terhadap keracunan unsur, suhu ekstrem, dan pH rendah.

2. 2. 3 Kapasitas Tukar Kation Akar

Permukaan akar tanaman mempunyai kemampuan menyerap kation, karena mempunyai muatan negatif. Muatan negatif pada akar berasal terutama dari gugus karboksil pada membran akar, seperti digambarkan dalam reaksi berikut;



Kapasitas tukar kation akar (KTK_A) tanaman sangat beragam, dari 10 sampai hampir 100 emol/kg. Tanaman legum dan dikotil mempunyai KTK_A lebih tinggi dari monokotil, termasuk rerumputan. akar tumbuhan monokotil memiliki 10-30 meq/100g dan mengikat kation monovalen lebih mudah, sedangkan KTK_A dikotil sekitar 40-100 meq/100g dan lebih mudah menyerap kation divalen. sifat KTK_A ini dapat menjelaskan kenapa tanaman rumput pada padang rumput yang terdiri dari rumput legum pada tanah yang kurang K dapat bertahan hidup, sedangkan legumnya mati. tanaman rumput merupakan penyerapan K yang lebih efektif daripada legum.

2. 2. 4 Mekanisme Serapan dan Pengangkutan Hara

Seperti yang disebutkan sebelumnya unsur hara masuk ke dalam tanah seluruhnya atau sebagian besar melalui akar, dan a sebagian lainya dalam bentuk iion. masing masing unsur hara esensial sedapat mungkin harus diserap daalam jumlah sama atau lebih besara daripda yang diperlukan tanman untuk menghasilkan biosima. unshr unsur yang bukan esensial juga dapat terserapa kedalam tanaman jika beradaa di sekitar akarr aktif.

Secara umum dapat dikatakan bahwa seluruh proses penyerapan ion oleh tanaman bukan merupakan mekanisme tunggal, melainkan aksi dari beragam proses. Berdasarkan bukti yang diperoleh dengan perunut radioaktif, penghambat respirasi, ionofor dan mutan di dalam tanaman, hewan, dan mikroba, proses pengangkutan ion secara keseluruhan berlangsung dalam dua tahap, yakni *fase pasif* dan *fase aktif*

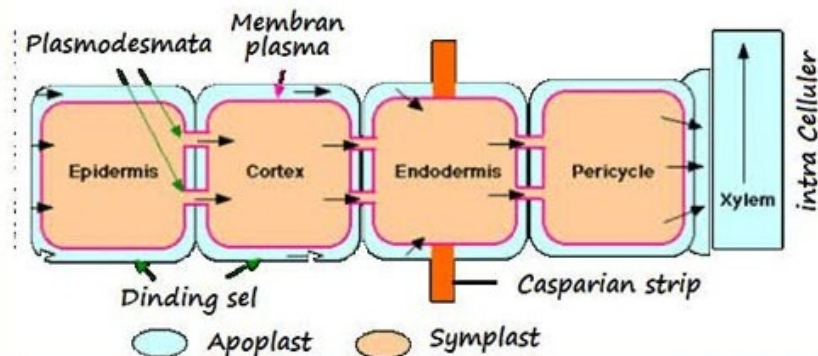
Fase Pasif

Pada fase pasif ion ion hara berdifusi ke dalalm ruang bebas yang berada di dalam dinding sel dan ruang ruang antarsel dalam jaringan akar tanaman. laju difusinya tergantung kepada gardien antara laruatan eksternal dan larutan di dalam aruang ruang bebas. ruang ruang mikro yang berada di dalam dinding sel sebenarnya tdak mudah dimasuki melalui difusi, tetapi selulolsa bermuatan membantu difusi ion memasuki aruang ruang dinding seljadi ion ion atersebut berdifusi melewati ruang ruang bebas dalam sistem perakan dan melintasi sejumlah sel.

alur gerakan ion melewati ruang-ruang antar sel ini disebut sebagai **lintasan apoplastis**. Sebagian besar ion Ca^{2+} diketahui bergerak melalui lintasan apoplastik.

Dalam lintasan apoplastis ion memasuki dinding sel sel epidermis kemudian bergerak melintasi ruang antar dinding sel pada jaringan korteks, apoplasma dari endodermis, dinding sel perisikel dan akhirnya mencapai xilem. Ketika melintasi sel endodermis ion-ion akan terhambat oleh sarung kaspari yang menyelimuti bagian luar sel sel endodermis hingga ion-ion tersebut harus melewati sitoplasma untuk menerombos sel endodermis.

Di dalam sel sel xilem konsentrasi ion lebih rendah karena hanya pergerakan cairan ke bagian atas tanaman secara terus menerus sering dengan transpirasi. Dengan demikian, penyerapan pada tahap awal sangat cepat dan terjadi secara pasif. Keseluruhan peristiwa merupakan gerakan massa ion sesuai gradien konsentrasi sampai mencapai membran plasma. Pengangkutan ion yang bergerak ke dalam akar melalui mekanisme ini disebut dengan **penyerapan pasif**.



Fase aktif

Ketika ruang ruang bebas dalam dinding sel dan antar dinding sel terisi dengan hara mineral melalui difusi bebas, gerakan ion ion melintasi membran plasma(plasmalema) ke dalam sitoplasma berlangsung secara selektif dan tergantung kepada ketersediaan energi metabolik. Alur pergerakan ion ion dari baagian luar sel memasuki sitoplasma sel ke sitoplasma sel yang lain disebut dengan ***lintasan simplastis***. pengangkutan hara ini harus melaawan gradien konsentrasi, karena konsentrasi ion ion di dalam cairan sel sering lebih tinggi daripada di dalam larutan tanah. untuk melawan gradien tersebut di perlukan energi metabolik. oleh karena itu pergerakan ion secara simplatis disebut ***penyerapan*** atau ***pengangkutan aktif***. ion P dan K diketahui bergerak melalui lintasan simplatis.

Ada beberapa bukti adanya keterlibatan aenergi metaabolik dalam penyerapan ion hara, yaitu (i) laju resperesi yang tinggi meningkatkan akumulasi garam di dalam sel. (ii) penghambat respirasi mempengaruhi serapan hara dan, (iii)berkkurangnya oksigen di dalam mediun tanaman mengakibatkan berkurangnya serapana ion hara. Bukti bukti ini menandakan bahwa penyerapan hara itu berhubungan langsung dengan laju respirasi dan tingkatan energi di dalama tubuh tanaman karena peneyerapan aktif memerlukan energi.

Studi dengan mikroskop elektron menunjukan bahwa membran sel mengandunga sejumlahprotein dengan ukuran dengan dimensi yang berbeda beda pada seluruh atau sebagian irisan melintang membran. Sebgaian protein tersebut teragregasi

pada satu sisi dan yang lainnya tersebar secara acak. Sejumlah besar protein yang berstruktur tiga dimensi bertindak sebagai **protein karier**. protein karier ini mempunyai afinitas tinggi terhadap ion-ion spesifik, karena mereka memiliki atom ikatan yang spesifik. terkait dengan keterlibatan energi dalam proses perpindahan hara di dalam akar, ada dua konsep untuk menjelaskannya. satu konsep disebut dengan **teori karier** dan yang lain disebut **pompa ion**.

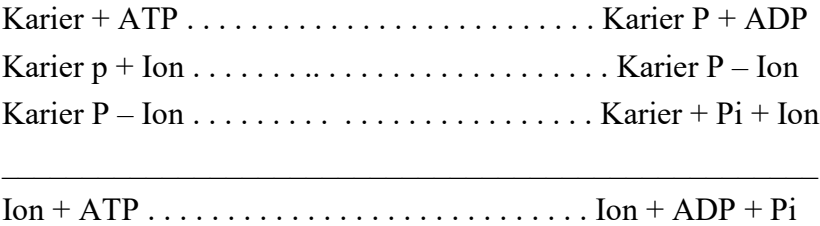
Teori karier

Dalam teori ini dipercaya bahwa membran sel mengandung molekul tertentu yang mampu membawa ion menyebrangi membran. molekul itu disebut sebagai karier, sejenis senyawa protein yang mempunyai ikatan spesifik untuk jenis-jenis ion tertentu sehingga memungkinkan terjadinya penangkutan ion secara selektif melalui membran. Sebagai contoh protein karier untuk yang memfasilitasi pengangkutan Ca^{2+} disebut kalmodulin dan untuk K^{+} disebut valinomisin.

Keberadaan karier ini langsung dan tidak langsung memerlukan energi dalam bentuk ATP. dibawah ini menunjukkan bagan potetik pengangkutan ion hara menurut teori karier berlangsung. Ion karier yang diaktifkan oleh enzim fosfokinase (PK) bergerak mengambil hara yang berda dibatas membran bagian luar sehingga membentuk kompleks karier ion (KIC). kompleks ini bergerak menyebrangi membran ke fofase yang terletak pada batas membran bagian dalam enzim fosfatase memisahkan gugus bfosfat dari kompleks karier. pada

proses ini karier kehilangan afinitas terhadap ion(IC) kemudian dibebaskan masuk kedalam sitoplasma. untuk regenerasi selektivitas IC diperlukan ATP dengan enzim ATP-fosfokinase yang juga berada pada batas membran bagian dalam. senyawa karier yang sudah diaktivitas oleh enzim fosfokinase kembali bergerak kebatas membran bagian luar untuk menggandeng ion lain, demikian seterusnya.

Seluruh daur serapan haara menurut teori karier dapat digambarkan di dalam reaksi reaksi berikut:



Dari reaksi reaksi tersebut di atas diketahii bahwa 1 ion hara membutuhkan 1 molekul ATP. Implikasinya bahwa penyerapan ion yang memerlukan energi bersifat selektif, energi berupa ATP dan transpor ion dapat melawan gradien konsentrasi.

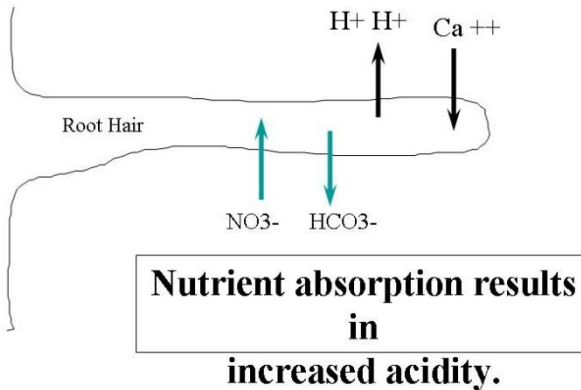
Teori pompa

Ketika air diserap oleh akar tanaman ion ionhara larut dan bahan bahan lain juga terserap. untuk menyerap zat zat terlarut ini tanaman memerlukan energi dalam bentuk ATP agar terjadi potensial kemiosmotik atau gradien komoelektrik sepanjang mmbrann sel tanamn. pompa prproton (H) digunakan untuk menciptakan potensial ini dengan ion-ion H keluar dari

sel menciptakan sitoplasma bermuatan negatif dan cairan luar yang bermuatan positif dengan terjadinya beda potensial tersebut bagaikan dalam membran lebih negatif daripada membran bagian luar. oleh karena itu kation yang berada di sisi luar membran akan tertarik ke dalam sitoplasma sel. penyerapan kation dengan mekanisme ini sangat tergantung kepada permeabilitas membran yang beragam untuk berbagai jenis kation (Mengel dan Kirkby 1982) model hipotesis ini juga diberlakukan untuk penyerapan anion hara oleh akar secara aktif dengan ion OH atau HCO_3 yang harus di pompa keluar.

Mekanisme keluarnya ion H atau OH untuk menyeimbangkan ion yang masuk inilah yang menyebabkan mekanisme ini disebut **teori pompa ion**. karena kejadian ini berlangsung ketika tanaman masih tumbuh maka arah dan besarnya perubahan pH tanah disekitar perakaran (rizosfer) tergantung kepada laju saraapan kation dan anion, dan ion H , OH , dan HCO_3 yang dilepaskannya fenomena ini telah lama dikenal yaitu pada saat diketahuinya dampak pemberian N dalam bentuk pupuk nitrat (NO_3) dan amonium (NH_4). ketika tanaman menyerap N dalam bentuk nitrat (anion) agar terjadi netralisasi di dalam tanaman maka akar akan mengeluarkan (memompa) anion sebagai OH atau HCO_3 yang menyebabkan peningkatan pH tanah di rizosfer. sebaliknya jika tanaman dipasok dengan N amoniakal (kation) maka tanaman mengeluarkan kation H yang mengakibatkan penurunan pH rizosfer.

Nutrient Uptake



Akar tanaman berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan. Kegagalan fungsi akar akan menyebabkan terjadinya perubahan menyeluruh pada tanaman bagian atas. Kekurangan hara dapat terjadi meskipun tingkat kesuburan tanahnya cukup. Hal ini antara lain disebabkan oleh salah satu atau lebih kejadian kejadian berikut; (a) perakaran gagal tumbuh atau rusak atau akibat sifat fisik tanah, seperti terlalu padat; (b) suhu tanah terlalu rendah atau terlalu tinggi; (c) kekurangan air yang mengganggu gerakan ion di dalam tanah; (d) kadar air yang berlebihan dan; (e) serangan hama atau penyakit pada akar, seperti nematoda.

2. 3 Serapan Hara Melaui Daun

Meskipun porsi nya jauh lebihh rendah dibandingkan dengan serapan melalui akar unsur hara terutama yang berada dalam bentuk gas (CO_2 , O_2 , SO_2) dapat diserap oleh tanaman melalui daun atau organ tanaman lain yang berada dipermukaan tanah. serapan melalui daun penting terutama untuk unsur unsur mikro, karena dua alasan. *pertama* unsur mikro diperlukan tanaman dalam jumlah sangat kecil, jika diberikan lewat tanah sebagian akan terjepap kuat pada partikel tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. sebaliknya jika unsur mikro diberikan melewati daun semua unsur dapat langsung memasuki tumbuhan tanaman. *Kedua* pada saat tanaman sudah tumbuh dan mengalami kekurangan hara kemungkinan masih dapat disembuhkan dengan pemberian hara secara langsung.

Tanaman dapat menyerap unsur hara melalui permukaan daun lewat stomata(gas) dan kutikula (ion). kepadatan stomata dapat mendorong serapan ion karena serapannya melalui ektodesmata lubang nonpalasmik yang terletak di dalam sistem membran sel epidermis antara sel sel dibawah. unsur unsur hara kation akan menembus adaun melewati kutikula, sedangkan yang berbentuk anion dan gas akan diserap melalui stomata dalam bentuk gas. pada tanaman daratan stomata merupakan tempat pertukaran gas CO_2 dan O_2 atmosfer dan hara mineral dalam bentuk gas seperti SO_2 , NH_3 , dan NO_2 .

2. 4 Pengangkutan Hara di Dalam Tanaman

Setelah unsur hara dan senyawa-senyawa berat molekul rendah memasuki jaringan akar tanaman, maka unsur-unsur dan senyawa tersebut akan diangkut ke dalam sistem jaringan vaskuler, yakni xilem dan floem melalui media air di dalam batang tanaman. Sistem pengangkutan ini bisa disebut dengan pengangkutan jarak jauh.

Selama pengangkutan jarak jauh unsur hara mineral dan senyawa organik larut dipindahkan di antara floem dan xilem melalui proses pertukaran ektensif, yakni pemuatan dan pengangkutan yang dibantu oleh sel-sel tertentu disebut sel pemindah.

2. 4. 1 Pengangkutan di Dalam Xilem

Pengangkutan unsur dan bahan larut lain melalui xilem berlangsung dengan aliran massa di dalam pembuluh xilem yang tidak hidup (apoplasia). Bahan-bahan tersebut berinteraksi dengan dinding sel pembuluh dan sel-sel parenkima disekitarnya melalui proses pertukaran kation polivalen, resorpsi unsur-unsur mineral, dan pembebasan atau ekskresi senyawa-senyawa organik oleh sel-sel hidup disekitarnya.

Mekanisme pertukaran

Pertukaran kation terjadi akibat adanya gugus-gugus bermuatan negatif pada dinding sel pembuluh xilem. Oleh karena itu, pengangkutan jarak jauh kation polivalen seperti Ca^{2+} di dalam xilem akan lebih lambat jika dibandingkan

dengan anion seperti fosfat dan air. Hal itu karena dia akan terikat pada dinding sel xilem, bahkan juga oleh jaringan disekitarnya. Hal yang sama terjadi pada logam-logam berat, seperti Fe, Cu, dan Cd

Resorpsi unsur-unsur

Selama pengangkutan jarak jauh unsur-unsur mineral dan bahan-bahan larut dapat diserap kembali sel-sel hidup sepanjang lintasan cairan xilem. Oleh karena itu konsentrasi dan komposisi cairan xilem berubah sepanjang lintasan. Semakin panjang lintasan xilem, semakin menurun konsentrasi unsur-unsur mineral dan bahan larut dari akar ke bagian atas tanaman. Terjadinya nekrosis pada bagian pucuk atau punggiran daun merupakan salah satu tanda rendahnya resorpsi unsur-unsur mineral tertentu seperti unsur B dan C selamanya pengangkutan jarak jauh di dalam xilem.

Pembebasan atau sekresi

Komposisi cairan xilem sepanjang lintasan jarak jauh dapat berubah akibat terjadinya pembebasan atau sekresi bahan-bahan larut dari sel-sel hidup dalam jaringan di sekitar xilem. Mekanisme ini mempunyai arti penting yakni terjaganya pasokan hara ke bagian-bagian batang tanaman yang sedang mengalami pertumbuhan. Pada saat pasokan hara ke akar tanaman tercukupi hara mineral akan diserap oleh xilem, sedangkan pada saat pasokan tidak tercukupi unsur-unsur mineral akan dibebaskan ke cairan xilem.

2. 4. 2 Pengangkutan di Dalam Floem

Floem terdiri dari berbagai jenis sel, yakni sel sel tabung tipis, sel sel pengiring, dan sel sel parenkima. komponen tersebut merupakan sel sel yang masih hidup, sehingga berbeda dengan xilem. pengangkutan jarak jauh di dalam floem terjadi di dalam sel sel hidup, sehingga bersifat kompleks. tabung tapis merupakan sel hidup berbentuk silinder(seperti tabung) yang mempunyai sitoplasma tipis. ujung ujung sel tabung tapis saling terhubung oleh ruang pori yang disebut pori pori lempeng tipis. lubang lubang tersebut memungkinkan bahan bahan terlarut mengalir dari satu sel ke sel lainnya. sehinggaa dapat diangkut dari satu bagian ke bagian lain pada tanaman. sel pengiring terdapat disetiap taabung tapis yang berfungsi membantu aktivitas tabung tapis.

Pada kebanyakan tanaman pori pori lempeng tipis ini berlapis dengan kolase, polisakarida yang kaya air. ada bukti bahwa kolase dapat membengkak dengan cepat dan mengisi ruang ruang pori sehingga dapat menyumbat pengangkutan jarak jauh di dalam tabung tapis. melihat peranan tabung tapis ini sebagai jalan untuk pengangkutan makanan. proses penyumbatan ini dianggap sebagai pengaman jika terjadi kerusakan pada jaringan floem.

Komposisi cairan floem

Cairan floem mempunyai pH tinggi (7-8) dan mengandung bahan padat (15%-25% bahan kering) yang sebagian besar(lebih dari 90%) berupa sukrosa. disamping itu juga terdapat bahan padaat berupa asam organik, senyawa

N organik terutama asam amino dan amida. unsur mineral yang banyak dijumpai pada cairan floem adalah K, kemudian di susul P, Mg, S, dan sedikit Ca. kandungan bahan padat di dalam cairan floem beberapa kali lebih tinggi daripada eksudat dari xilem kecuali Ca.

Berbeda dengan pengangkutan di dalam xilem yang satu arah, pengangkutan floem bersifat dua arah, dari sumber(soure) kepenyimpanan(sink). Di dalm tanah daun merupakan sumber hasil fotosintensis (fotosintat) dengan akar, batang, pucuk batang, buah, dan biji sebagai penyimpan. Sumber unsur mineral adalah ruang ruang pori di dalam stele dan akar, xilem di dalam batang dan daun, dan jaringan daun. Sedangkan penyimpanannya adalah pucuk batang, buah, dan biji.

Pemindahan Bahan Larut antara Xilem dan Floem

Floem dan xilem di dalam berkas pembuluh hanya dipisahkan oleh beberapa sel saja, sehingga terjadi pertukaran bahan bahan larut antara kedua sistem pengangkut tersebut. Pemindahan dari floem ke xilem terjadi melalui bocoran membran plasma sel sel tabung tapis akibat adanya gradien konsentrasi. Sebaliknya, pemindahan bahan bahan larut dari xilem ke floem terjadi melalui proses pengangkutan aktif. Pemindahan bahan bahan larut dari xilem ke floema penting bagi hara mineral tanaman karena pengangkutan xilem diarahkan terutama ke organ organ tanaman yang tinggi transpirasinya, yang biasanya bukan merupakan bagian yang banyak membutuhkan hara mineral. Pada jenis jenis rumput, buku buku

pada batang merupakan bagian terjadinya pemindahan bahana dari xilem ke floem untuk hara mineral seperti K.

2. 5 Mobilasi Unsur Hara Mineral

Remobilasi unsur unsur hara mineral penting selama perkembangan tanaman pada fase fase perkecambahan biji, pada saat pasokan hara ke akar atidak cukup selama peratumbuhan vegetatif, masa reproduksi, dan masa sebelum gugur daun.

Perkecambahan Biji

Selama perkecambahan biji atau bertunasnya umbi, hara hara mineral mengalami remobilasi di dalam jaringan biji dan dipindahkan kedalam floem dan atau xilem pada akar dan batang yang sedang berkembang. Dengan demikian, tanaman muda akan tumbuh beberapa hari tanpa pasokan hara mineral dari luar.

Pasokan Tidak Cukup

Jika pasokan hara mineral ke akar tanaman tidak cukup kahat, maka remobilitasi hara dari daun daun masak ke bagian bagian tanaman yang baru tumbuh menjadi penting agar tanaman dapat melangsungkan daur hidupnya. Laju remobilisasi unsur unsur mineral tergantung kepada mobillitas unsur unsur tersebut di dalam tanaman. ini diperlihatkan oleh pola kenampakan gejala gejala kekahatan hara suatu unsur di dalam tanaman (Tabel 2. 3).

Tabel 2. 3 Perbedaan karakteristik antara kenampakan gejala kekahatan hara dan mobilitas unsur hara mineral

Hara mineral	Bagian tanaman yang menampakan gejala kekahatan dominan	Tingkat mobilitas di dalam tanah
N, K, Mg, dan P	Daun daun tua	Sangat mudah bergerak
S	Daun daun muda	Agak muadah bergerak
Fe, Zn, Cu, dan Mo	Daun daun muda	Tidak mudah bergerak
B dan Ca	Daun daun muda dan pucuk tanaman	Sangat tidak mudah bergerak

Fase Reproduksi

Remobilitas hara mineral sangat penting selama pembentukan biji, buah, dan organ penyimpanan. Pada fase ini pasokan karabohidrat ke akar menurun dengan cepat, sehingga aktivitas akar dan serapan hara juga menurun. Demikian pula, kandungan hara mineral pada bagain vegetatif berkurang sangat tajam. Tingkat remobilasi dipengaruhi oleh (a) kebutuhan spesifik biji dan buah, (b) kandungan hara mineral di dalam bagian vegetatif, (c) rasio antara vegetatif(sumber) dan jumlah serta ukuran biji atau buah(penyimpanan), dan (d) laju serapan hara oleh akar selama fase reproduktif.

Tanaman biji bijian, mempunyai kebutuhan N tinggi, sebaliknya rendah kandungan K, Mg, dan Ca. Tanaman berbuah segar seperti tomat dan tanaman yang mempunyai organ penyimpan, seperti ubi kentang membutuhkan K tinggi, tetapi

kandungan N dan P rendah. Remobilisasi hara yang sangat mobil di dalam floem dapat menyebabkan penurunan yang tajam pada bagian vegetatif, bahkan dapat mengalami defisiensi atau gugur daun pada fase reproduktif. Laju remobilisasi unsur tidak mobil seperti unsur mikro dan Ca tinggi jika kandungan unsur tersebut di dalam daun tinggi dan sebaliknya. Laju remobilisasi unsur unsur mobil seperti N dan K tinggi pada saat tanaman kahat hara.

Masa sebelum Gugur Daun

Remobilisasi hara mineral (kecuali Ca) dari daun ke bagian tanaman berkayu merupakan ciri khas pada tanaman tahunan sebelum gugur daun. Remobilisasi berhubungan erat dengan perubahan warna daun pada musim semi.

2. 6 Gejala Kekahatan Hara

Ketika tanaman mengalami kekurangan pasokan (kekahatan) hara, biasanya tanaman tersebut menunjukkan gejala tertentu, sesuai dengan fungsi dari unsur hara tersebut. Gejala visual kakahatan hara dapat beragam bentuk, seperti pertumbuhan kerdil atau berkurangnya ukuran seluruh bagian tanaman, meskipun warnanya masih hijau; daun muda atau tua menguning pada atau antara tulang tulang daun; kematian jaringan pada bagian pinggir daun atau antara tulang daun atau seluruh daun terutama pada daun tua; pertumbuhan lambat atau kecil kerdil pada bagian pucuk tanaman, atau mati pucuk; dan daun daun yang berwarna ungu kemerah merahan sering

muncul di bagian bawah daun-daun tua akibat akumulasi antosianin.

Karakteristik mobilitas unsur-unsur di dalam tanaman seperti tercantum di dalam Tabel 2.3 dapat dipakai untuk menjelaskan bagian tanaman yang akan menampilkan gejala-gejala dominan jika terjadi kekurangan hara tertentu. Kenampakan gejala pada tanaman yang kekurangan unsur yang mudah bergerak (mobil) dimulai dari daun-daun tua. Sebaliknya, pada tanaman yang kekurangan unsur yang tidak mudah bergerak gejala kekurangan dimulai dari bagian tanaman (daun) muda atau titik tumbuh. Jika tanaman semakin masak, serapan dan distribusi unsur hara mobil makin berkurang, dan ini mengakibatkan perubahan konsentrasi yang signifikan pada bagian tanaman yang telah tua dan muda. Sebagai contoh kandungan N, P, dan K di dalam daun akan berkurang seiring dengan makin masaknya bagian tanaman tersebut, sebaliknya Ca dan Mg semakin meningkat. Perubahan ini diakibatkan oleh dua faktor, yaitu keluarnya mobil dari daun-daun yang masak dan penurunan bobot kering akibat kehilangan karbohidrat larut.

2.7 Gejala Keracunan Hara

Konsentrasi yang lebih di dalam jaringan tanaman akibat pasokan hara di dalam tanah yang sangat tinggi dapat memunculkan gejala-gejala tertentu pada tanaman atau bagian tanaman. Namun, konsentrasi unsur hara yang berlebih tidak selalu diikuti oleh munculnya gejala-gejala keracunan dari unsur tersebut. Sebagai contoh kelebihan K di dalam tanaman dapat

mengakibatkan kekahatan Mg dan Ca kelebihan P mengakibatkan kekahatan Zn dan Fe. Unsur unsur lain seperti Al, B, Cl, CU, dan Mn menunjukan gejala visual sebagai pengaruh langsung dari kosentrasi yang berlebih atau terlalu tinggi di dalam tanaman. unsur AI adalah unsur bukan hara esensial, tetapi sering mengakibatkan keracunan di dalam tanaman dengan gejala yang beragam.

2. 8 Kelaparan Tersembunyi

Kadang kadang tanaman yang mengalami kekurangan pasokan hara tertentu tetap tumbuh seperti normal, walaupun tidak menunjukan gejala gejala adanya kekahatan hara. Kondisi demikian disebut dengan *kelaparan tersembunyi*. Kejadian ini sering dijumpai pada tanaman jagung yang kekurangan K. Tananaman jagung tidak menunjukan gejala gejala kekahatan K sampai tanaman tua, ketika tanaman mudah roboh. Pengaruh dari kelaparan tersembunyi terjadi pada buah, misalnya pertumbuhan buah tidak normal, yang mengakibatkan buah tidak tahan disimpan.

BAB 3

NITROGEN TANAH DAN TANAMAN

Nitrogen (N) merupakan bagian dari semua sel hidup. Di dalam tanaman, N berfungsi sebagai komponen utama protein, hormon, klorofil, vitamin, dan enzim esensial untuk kehidupan tanaman ia menyusun 40% -50% bobot keringa protoplasma, bahan hidup tanaman. oleh karena itu, N diperlukan dalam jumlah untuk seluruh proses pertumbuhan di dalam tanaman. Metabolisme N merupakan faktor utama pertumbuhan vegetatif, batang , dan daun. Tanaman mendapatkan pasokan N cukup, pertumbuhan vegetatif baik dengan ciri warna hijau tu, tetapi pasokan yang terlalu banyak dapat menunda pembuangan dan pembentukan buah. Sebaliknya, kekurangan pasokan menyebabkan daun menguning, pertumbuhan kerdil, dan gagal panen.

3. 1 Sumber Nitrogen Tanah

Sekitar 98% total N dunia berasal dari litosfer. dalam bentuk mineral dan amonium terfiksasi dalam mineral liar, seperti mika. Sekitar 2% total N tanah berasal dari atmosfer yang konsentrasinya 78% N sebagai bentuk yang tidak langsung

diserap oleh tanaman karna mempunyai ikatan rangkap tiga yang sangat kuat. Oleh karena itu N, atmosfer harus dirubah bentuk menjadi tersedia bagi tanaman agar dapat digunakan oleh tanaman.

Ada beberapa mekanisme perubahan bentuk N_2 di udara menjadi bentuk yang dapat digunakan tanamana, yaitu (1) penambahan N oleh bakteri Rhizobia dan jasad renik lain secara simbiosis pada akar tanaman legum dan bukan legum, (2) penambatan N oleh jasad renik hidup bebas dan yang hidup pada berbagai daun tanaman, (3) penambatan N lewat petir dan, (4) penambatan sebagai amoniak, NO_3 , atau CN_2 , melalui proses industri pupuk N.

3. 1. 1 Penambatan Nitrogen oleh Bakteri Simbiosis

Penambahan (fiksasi) N adalah proses perubahan dari gas N_2 murni di atmosfer menjadi bentuk bentuk yang dapat tersedia bagi tanaman, yaitu NH_4 atau NO_3 penambatan N secara biologis dilakukan oleh bakteri yang hidup bersibiosis dengan tanaman legum dan bukan legum. Di ekosistem pertanian ada sekitar 200 jenis tanaman legum yang menjadi penambar N, sedangkan di ekosistem bukan pertanian terdapat sekitar 12000 jenis tanaman legum yang dapat memasok N ke tanah secara signifikasi.

Tanaman legum mempunyai hubungan simbiosis dengan bakteri dari marga(genus) Rhizobium, kelompok bakteri aerobik berbentuk batang rizosfer. Keberadaan bakteri di dekat rambut akar menyebabkan rambut akar bercabang dan melekok

kemudian diikuti oleh invasi bakteri. Lalu bakteri memasuki ujung rambut akar dan menembus sel sel korteks bagian dalam. Di dalam sel bakteri mengalami pembelahan sel dan memperbanyak diri. Hal ini direspon tanaman dengan membentuk bintil yang membengkak seperti tumor yang mengandung sel sel bakteri yang mengalami perubahan bentuk dan metabolismenya, yang disebut dengan bakteroid, seperti yang ditunjukkan gambar 4. 1. bakteriod dipasok dengan hasil fotosintensis (fotosintat) dari tanaman legum inangnya untuk respirasi dan menambat N. Di dalam bintil akara terdapat oksigen yang menyebabkan pembentukan pigmen hemoprotein (leghemoglobin).

Nitrogen yang tertambat sebagai amoniak dikeluarkan dari bakteroid ke sel sel tanaman legum dan dibawa sebagai senyawa C-N ke dalam vaskuler. Hubungan ini benar benar simbiosis karena ada hubungan antar pinang dan bakteri yang ditandai dengan adanya pengalihan fotosintat ke bakteri dan N tertambat ke inangnya.

Sejumlah tanaman bukan legum (non-leguminous) yang berasosiasi dengan jenis jamur actinomycetes juga menyumbang penambatan N udara secara signifikasi. Jenis tanaman tersebut seperti *Alnus*, *ceanothus eleagnus*, *casuarina*, dan lainlain. Asosiasi ini dapat mencapai laju penambatan 100kg N/ha/tahun. Beberapa jenis tanaman lain mendapatkan manfaat dari penambatan N yang hidup berasosiasi dengan tanaman tersebut, seperti tanaman kiambang (*Azolla*) yang berasosiasi dengan panggang hijau biru (blue-green) atau acyanobacteria, seperti

Anabarna azolla. Kiambang adalah tumbuhan kecil yang hidup terapung dengan perakaran yang menembus permukaan air, sedangkan gagang Anabarna hidup pada daun kiambang. Tidak ada hubungan vaskuler antara kedua organisme tersebut, tetapi diketahui bahwa sampai 60% N tanaman kiambang berasal dari amoniak yang dihasilkan oleh Anabaena. Anabaena azollae tumbuh pada daun-daun kiambang dan ini penting sebagai pemasok N pada tanaman padi sawah, terutama jika tanaman tersebut di biarkan tumbuh dan kemudian dibajak masuk ke dalam tanah sehingga dapat membebaskan N sebelum tanaman padi di tanam.

Bentuk asosiasi dengan tanaman bukan legum yang lain adalah Frankia dengan akar pohon Alder, dan Nostoc dengan tanaman Cycads(*Ceratozamia mexicana*), sebangsa pakuan.

Laju penambatan N secara simbiosis oleh beberapa jenis tanaman organismenyaa disajikan pada tabel 3. 1

Tabel 3. 1 Perkiraan laju sumbangan organisme penambat N di Lapangan

Jenis tanaman	Organisme yang berasosiasi	Laju penambatan (kg N/ha/tahun)
1. Simbiosis dengan		
Rhizobium	Rhizobium	40-200
Kedelai(<i>Glycine max</i>)	japonium	70-240
Kacangtanah(<i>Arachis</i>	R. cowpea	

hypogaea)

2. Simbiosis dengan

Actinomisetes

Alder (<i>Alnus</i> sp)	Frankia	50-150
--------------------------	---------	--------

Casuarina equisetifolia	Frankia	58
-------------------------	---------	----

3. Simbiosis dengan

Gagang Biru	Anabaena azollae	50-80
-------------	------------------	-------

Kiambang (<i>Azolla</i>	Nostoc	5-10
--------------------------	--------	------

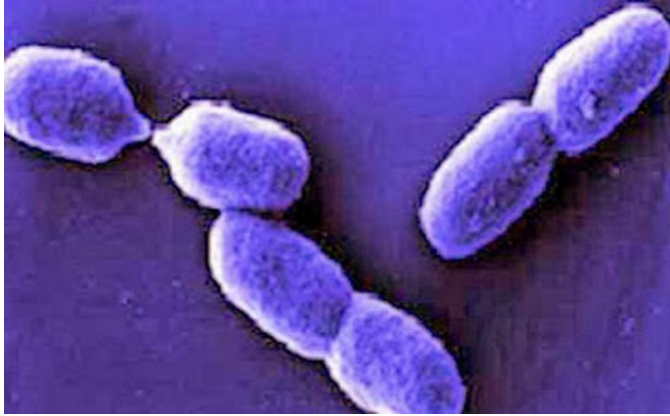
pinnata)

Lichen (*Lobaria*)

3. 1. 2 Penambatan Nitrogen oleh Bakteri Hidup Bebas

Sejumlah bakteri tanah yang hidup bebas dapat menambat N tidak secara simbiosi, meskipun sumbangannya ke tanah pertanian kurang signifikasi, jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang secara simbiosis. Jenis bakteri hidup bebas yang paling dikenal adalah *Azotobacter* dan *Beijerinckia* yang bersifat *aerobik* dan jenis *Clostridium* yang *aneorobik*. *Azotobacter* terdapat hampir di semua tanah. meskipun jumlahnya tidak melimpah. Jenis ini tumbuh bagus pada tanah tanah dengan pH antara 6 dan 7, kaya mineral dan miskin N. Jenis *Clostridium* ditemukan hampir di semua jenis tanah dan lebih toleran terhadap kondisi asam daripada *Azotobacter*. Seperti hal nya pada bakteri simbiosis, bakteria hidup bebas juga memerlukan Mo sebagai aktivator dan aktivitasnya terhambat oleh akumulasi nitrita dan amoniak di dalam tanah.

Jumlah N terhambat oleh bakteri non-fotosinterik hidup bebas di dalam tanah dapat mencapai 15 kg/ha/th. dilaporkan bahwa *Azotobacter* dapat menambat sebanyak 0, 3 N₂/kg/tahun dan *Clostridium pasteurianum* sekitar 0, 1-0, 5 N₂/kg/tahun.



3. 1. 3 Penambatan Nitrogen dari Atmosfer

Penambatan N dari atmosfer N yang ditambat melalui oksidasi N secara elektrik oleh peristiwa petir dan polusi dari buangan industri kemudian terbawa ke tanah melewati hujan atau bentuk jatuhan lain dari atmosfer , seperti salju. Jumlah N yang di tambah kan ke tanah melewati mekanisme ini kecil yakni sekitar 5 kg sampai 15 kg/ha/tahun.

3. 1. 4 Penambatan di Pabrik

Penambatan N melalui proses industri di pabrik pupuk N disebut juga penambatan buatan. Penambatan secara industri ini merupakan sumber N paling signifikasi sebagai hara tanaman. produksi N melalui proses industri di lakukan melalui

tiga metode yaitu, (1) proses sianida , (2) proses busur dari sintesis asam nitrat, dan (3) proses hamberboseh seperti dijelaskan di bawah ini.

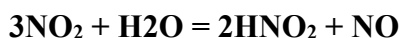
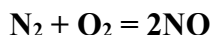
Proses Sianida



Proses ini melewati gas N di atas kalsium karbida pada suhu 100⁰C dan telah diterapkan secara terbatas di Jerman dan beberapa negara Eropa dan sering digunakan untuk keperluan lain selain pembuatan pupuk kimia. Jika digunakan di lapangan, CaCN₂ memiliki pengaruh meracun terhadap tanaman sehingga pemberian barang tersebut dilakukan 4-6 minggu sebelum penanaman. Senyawa ini juga digunakan sebagai herbisida.

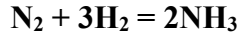
Proses Busur

Dalam proses ini, N elementer dan O₂ dilewatkan melalui sebuah busur yang dikembangkan di dalam elektromagnet untuk meningkatkan kontak dengan gas. Di alam, yang termasuk proses ini adalah peristiwa petir yang merupakan sumber N di dalam air hujan. Reaksi proses busur adalah sebagai berikut:

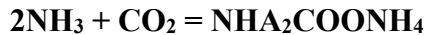


Proses Haber-Boseh

Proses ini adalah reaksi pembentukan amoniak dari gas hidrogen(H_2) dan gas N_2 atmosfer. Reaksi dasarnya adalah sebagai berikut:



Gas hidrogen proses ini diperoleh dari gas alam dan N_2 berasal langsung dari atmosfer. Gas NH_3 yang dihasilkan dapat langsung digunakan sebagai pupuk(NH_3 , anhidrus)atau sebagai bahan dasar untuk pembuatan jenis jenis pupuk N yang lain, termasuk pupuk anonium fosfat, urea, dan amonium nitrat. Berikut ini adalah reaksi dasar pembentukan pupuk urea.



Urea

3. 2 Bentuk-Bentuk Nitrogen Tanah

Nitrogen total di dalam tanah beragam mulai kurang 0, 02% di dalam tanah bawahan sampai lebih 2, 5% di tanah gambut. Bentuk N tanah dapat dibedakan menjadi N inoargranik dan organik. Sekitar 95% atau lebih N di tanah permukaan berada dalam bentuk organik.

3. 2. 1 Senyawa Nitrogen Inorganik

Bentuk N inorganik yang dapat di deteksi di dalam tanah ada enam macam meliputi nitrat (NO_3), nitrit(NO_2), amonium(NH_4), dapat ditukar, amonium tidak dapat ditukar(terfiksasi), gas dinitrogen(N_2)dan oksida nitrus(N_2O).

Bentuk lain seperti oksida nitrik(NO), nitrogen dioksida (NO_2), hidroksilamin (NH_2OH), asam hiponetrus ($\text{HNO}=\text{NOH}$), dan azida (N_3), bahkan juga senyawa senyawa sianida dapat juga berbentuk di dalam tanah. Dari kesuburan tanah dan nutrisi tanaman, bentuk N di dalam tanah yang paling penting adalah NH_4 , NO_3 , dan NO yang konsentrasinya sekitar 2 sampai 5% N total tanah. Bentuk N_2O dan NO juga penting di dalam arti negatif, karena kedua bentuk tersebut merupakan N yang hilang melalui denitrifikasi.

32. 2 Senyawa Nitrogen Organik

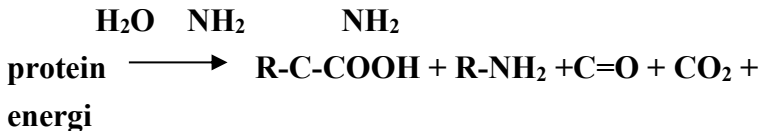
Lebih dari 90% N di dalam lapisan permukaan tanah pada umumnya berbentuk N organik. Bentuk N organik di dalam tanah berwujud sebagai asam amino atau protein(20% - 40%), gula gula amino seperti heksosamin (5% - 10%), derivatif purin dan pirimidin(1% atau kurang), dan senyawa senyawa kompleks yang belum teridentifikasi yang terbentuk oleh reaksi amonium dengan lignin. polimerasi kuinon dengan senyawa senyawa N, dan kondensasi gula dan amin. Nitrogen organik juga dibedakan menjadi fraksi yang mudah mengalami mineralisasi dan fraksi stabil. Fraksi yang mudah mengalami mineralisasi biasanya kurang dari 1/3 N organik total di dalam tanah.

3. 3 Ketersediaan dan Transformasi Nitrogen Tanah

3. 3. 1 Mineralisasi Nitrogen Organik

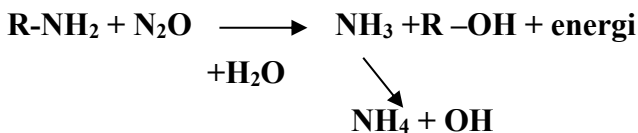
Mineralisasi N adalah perubahan bentuk dari N organik menjadi bentuk bentukan inorganik(NH₄ atau NH₃). Proses ini berlangsung dengan perantara organisme tanah heterotrof yang menggunakan bahan N organik sebagai sumber energi. Mineralisasi terdiri dari beberapa proses penting, yakni **aminasi**, **amonifikasi**, dan **nitrifikasi**. **Aminasi** adalah proses pembebasan senyawa asam amino. Aminasi dari senyawa organik kompleks, disebut juga dengan **proteolisis**, yang dilakukan oleh organisme heterotrof seperti bakteri jamur dan aktinomisetes;sedangkan amonifikasi adalah reduksi dari N amino menjadi amoniak(NH₃) atau ion ion ammonium(NH₄). Kedua proses tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:

Aminasi



bakteri H NH₂
jamur asam amino amin urea

Amonifikasi



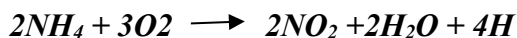
Sebagian besar senyawa kompleks tersebut berupa protein dan asam amino, dan hanya sebagian kecil yang berasal dari lignoprotein dan humat.

Dalam kedua reaksi tersebut, energi yang dibebaskan akan digunakan oleh jasad renik heterotrof yang membantu terjadinya reaksi. Organisme ini memerlukan C organik sebagai sumber energi. Gas amoniak atau ion amonium (NH_4) di dalam larutan tanah yang dihasilkan pada amonifikasi dapat mengalami beberapa proses yaitu (i) teroksidasi menjadi NO_3 yang dapat diserap oleh tanaman (ii) digunakan oleh organisme heterotrof (imobilisasi), (iii) difiksasi oleh mineral liat silikat, atau (iv) terbebas hilang ke udara secara perlahan sebagai gas amoniak.

3.3.2 Nitrifikasi

Ion amonium yang dibebaskan dari mineralisasi bahan organik ke dalam tanah dalam kondisi aerobik dengan pH 6.6 atau lebih tinggi akan dioksidasi oleh bakteri kemoautotrof menjadi nitrat. Reaksi ini disebut **nitrifikasi**, yang berlangsung melalui dua tahap, yakni tahap oksidasi dari amonium menjadi nitrit (NO_2) dan dari nitrit menjadi nitrat (NO_3).

Oksidasi amonium menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri dari marga **Nitrosomonas** dan beberapa bakteri lain. Reaksinya adalah sebagai berikut:



Valensi N berubah dari -3 menjadi +3 dan energi yang dibebaskan cukup untuk bakteri mendapatkan kebutuhan C dari CO₂. Ion nitrit kemudian dapat dioksidasi menjadi nitrat dalam reaksi yang membebaskan energi, yang digunakan oleh bakteri dari marga lain yakni *Nitrobacter* sebagai berikut:



Nitrobacater (obligat ototrof)

Valensi N berubah dari +3 menjadi +5. Bentuk NO₃ stabil di dalam larutan tanah dan siap diserap oleh tanaman. jika tidak diserap oleh tanaman atau jasad renik tanah, NO₃ dapat mengalami pelindian yang dapat mengakibatkan polusi air tanah. Pada kondisi anaerobik NO₃ dapat hilang melalui denitrifikasi sebagai gas oksida nitrus(N₂O).

Kedua kelompok bakteri yang terlibat dalam nitrifikasi tersebuta *Nitrosomanas* dan *Nitrobacter*, secara bersama sama disebut *Nitrobacter*. atau bakteri nitrifikasi yang mendapatkan energi nya dengan mengoksidasi amonium dan menggunakan CO₂ sebagai sumber C untuk sintesis senyawa organik. Jenis bakteri ini pada umumnya sensitif terhadap pH rendah. Nilai pH optimum untuk pertumbuhan nya adalah 6, 6 sampai 8, 0 atau lebih tinggi. Aktivitas nya berkurang di bawah pH 6 dan hampir dapat di abaikan di bawah 5. Namun ada jenis jenis bakteri yang berasal dari tanah tanah masam toleran terhadap kemasaman, sehingga tanah dengan pH 4 atau kurang dapat mengandung NO₃.

Semua bakteri nitrifikasi memerlukan O_2 dan jika tidak ada O_2 nitrifikasi akan berhenti. Itulah mengapa nitrifikasi sensitif terhadap struktur tanah dan kandungan air. Oleh karena bakteri sangat mudah dijumpai di kebanyakan tanah atau air di alam, sebagian besar amonium akan mudah sekali diubah menjadi NO_3 yang mempunyai dampak terhadap lingkungan yaitu pelidian ke air tanah. Penggenangan akan menekan nitrifikasi, dan itulah alasan mengapa NH_4 di tanah sawah(tergenang)cenderung diserap oleh akar tanaman dan tidak mengalami nitrifikasi. Nitrifikasi juga sensitif terhadap suhu dan terjadi terutama pada rentang $5^{\circ}C$ adan $40^{\circ}C$ dengan suhu optimum antara $30^{\circ}C$ dan $35^{\circ}C$. dampak lingkungan yang lain akibat niatrifikasi adalah terjadinya pengasaman tanah, terutamaa jika tanah secara terus menerus di pupuk dengan pupuk yang mengandung amonium.

3. 3. 3 Imobilisasi Nitrogen

Imobilisasi adalah perubahan bentuk (konversi) senyawa senyawa N inorganik (NH_4 , NH_3 , NO_3 , NO_3) menjadi N organik (asam asam amino dan protein) melalui aktivitas biologis. Imobilisasi ini merupakan proses kebalikan dari mineralisasi dan bentuk bentuk N yang termobilisasi tidak dapat tersedia bagi tanaman. selama imobilisasi jasad renik berkompetisi berebut NH_4 dan NO_3 dengan akar tanaman, sehingga tanaman dapat mengalami kekahatan N. Imobilisasi terjadi jika C/N bahan organik > 30 . Contoh resudi tanaman dengan rasion C/N tinggi meliputi jerami padi, batang jagung,

daun daun kering, dan serbuk gergaji. Pada nisbah C/N sedang, antara 20 dan 30 imobilisasi dan mineralisasi akan seimbang, sedangkan pada rasio rendah C/N <20, maka terjadi mineralisasi. Sisa tanaman legum, seperti kedelai dan kacang tanah mempunyai nisbah C/N rendah.

Jika residu tanaman dengan nisbah C/N tinggi di berikan kedalam tanah, ia akan diserang dan digunakan oleh jasad renik tanah. Pada saat jasad renik ini mendekomposisi akan terjadi persaingan N tersedia antara jasad renik dengan tanaman. selama dekomposisi N tersedia tanah berkurang dan C di dalam residu dibebaskan sebagai gas CO₂ nisbah C/N residu menurun, dan pasokan energi hampir tidak ada lagi. Pada saat itu, populasi jasad renik akan mati, kemudian mengalami mineralisasi dan membebaskan N tersedia bagi tanaman. lamanya proses ini akan tergantung kepada beberapa faktor, seperti suhu tanah, lengas tanah , sifat sifat kimia tanah da jumlah residu yang ditambahkan. Proses ini dapat dipercepat dengan penambahan pupuk N pada saat pemberian residu.

3. 3. 4 Fiksasi Amonium

Berbeda dengan NO₃ yang mobil di dalam tanah dan jarang dijerap oleh partikel tanah, NH₄, dijerap kuat oleh partikel tanah NH₄, di jerap kuat oleh mineral liat yang bermuatan negatif. Karena sifat sifat kation NH₄ beberapa mineral liat silikat tipe 2:1 seperti ilit, vermikulit dan monmorilonit dapat menerapkan ion NH₄ di dalam ruang kisi kisi mineral yang berdiameter sama dengan ukuran ion NH₄. Ion

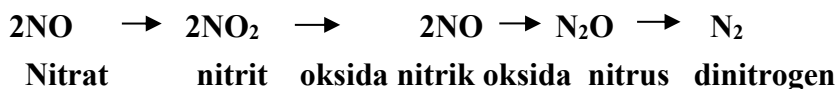
NH_4 akan berkompetisi dengan ion K terhadap jerapan spesifik dan fiksasi pada mineral mika, karena keduanya mempunyai kesamaan ukuran diameter dan energi hidrasi. Semakin banyak K terfiksasi di dalam tanah makin sedikit NH_4 yang terfiksasi.

Sekitar 10% N di dalam tanah terfiksasi oleh mineral liat, sehingga agihannya di dalam tanah seiring dengan agihan liat. Seperti halnya K ada keseimbangan yang terjadi antara NH_4 di dalam bentuk dapat ditukar dan yang ada di dalam larutan, dan antara ion dapat ditukar dengan ion yang terfiksasi. Fiksasi NH lebih cepat dari pada pelepasan dan NH_4 terfiksasi dapat menjadi cadangan pelepasan N. Di laporkan bahwa NH_4 yang terfiksasi di dalam mineral liat bermanfaat karena mengurangi N terlindi dari dalam tanah. Dalam jangka panjang NH_4 dapat di bebaskan dan dapat digunakan oleh selama periode pertumbuhannya.

3. 4 Kehilangan Nitrogen Tanah

3. 4. 1 Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah reduksi kimiawi dan nitrit menjadi gas nitrogen (NO_3 , NO_2 , N_2) yang dilakukan oleh banyak jenis bakteri yang kemudian dibebaskan ke atmosfer. Proses denitrifikasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Bakteri denitrifikasi yang menyebabkan reaksi ini sejatinya adalah bakteri aerobik, kecuali bahwa mereka mempunyai kemampuan menggunakan NO_3 tanpa adanya oksigen. Banyak bakteri seperti *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Thiobacillus* dan *Pseudomonas* dapat menyebabkan denitrifikasi. Sebenarnya denitrifikasi berguna bagi bakteri untuk memproduksi energi, tetapi dari kepentingan pertanian reaksi ini merugikan. Ia mengakibatkan kehilangan N dari tanah, sehingga pasokan bagi tanaman berkurang.

Jumlah N yang dapat hilang dari tanah akibat denitrifikasi sangat beragam, yakni dari 3% sampai 62% dari N total yang diberikan, dan kehilangan paling tinggi adalah dari sawah padi. Laju denitrifikasi di samping di pengaruhi oleh tiga faktor primer (konsentrasi O_2 , NO_3 , dan C) dipengaruhi juga oleh beberapa sifat tanah, seperti kadar lengas tanah, kemasantanan (pH), suhu tanah, dan laju difusi O_2 . Semakin tinggi kadar lengas semakin tinggi laju denitrifikasi. Bakteri yang terlibat dalam denitrifikasi pada umumnya sensitif terhadap ion H, meskipun dilaporkan dapat berlangsung cepat di dalam tanah dengan pH 4, 7.

Pada pH lebih tinggi dari 6 yang dihasilkan adalah gas terutama N_2 , sedangkan pada pH lebih masam gas N_2O lebih dominan. Denitrifikasi sangat lambat pada suhu 20°C dan meningkat sampai maksimum 25°C atau lebih. Pertumbuhan akar tanaman dapat menghambat laju denitrifikasi akibat meningkatnya laju difusi O, dan berkurangnya NO karena diserap oleh akar. Namun pertakaran yang menghasilkan

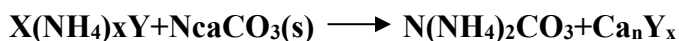
eksudat akan menyediakan C bagi tanaman, sehingga akan terjadi konsumsi O oleh bakteri. Kondisi tersebut dapat merangsang terjadinya denitrifikasi.

3. 4. 2 Pelidian NO_3

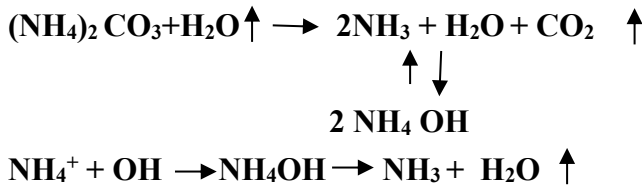
Nitrogen dalam bentuk NO_3 bersifat sangat larut di dalam air dan tidak dijerap oleh kompleks jerapan tanah. Akibatnya ia mudah hilang melalui pelidian bersama mengalirnya air yang berlebihan dan keluar dari tanah dan berpotensi mencemari air tanah. Oleh karena itu sampai batas tertentu denitrifikasi bermanfaat untuk menghindari polusi air oleh NO_3 . Jumlah NO_3 terlindi melalui kelebihan air pada kapasitas lapang beragam dengan kandungan lengas volume pada kapasitas lapang. Pelidian dapat lebih cepat jika terdapat lubang bekas akar mati atau cacing tanah adanya rekahan rekahann alami seperti pada tanah vertisols.

3. 4. 3 Volatilisasi Amoniak

Kehilangan N ke atmosfer sebagai gas amoniak(NH_3) terjadi pupuk N yang mengandung atau menghasilkan amonium berada permukaan tanah, terutama pada pH tinggi (>7) dan suhu tinggi atau diberikan ketanah tanah kapuran yang mengandung CaCO_3 membentuk amonium karbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ dan edapan kalsium, seperti digambar reaksi di bawah ini.



Y= amonium anion N, X, dan Z tergantung valensi anion dan kation. Senyawa $N(NH_4)_2CO_3$ yang terbentuk tidak stabil dan terdekomposisi:



Keseimbangan $NH_3 - NH_4$ tergantung pada pH. Pada pH rendah, maka akan cenderung membentuk NH_4^+ , sebaliknya pada pH tinggi akan terjadi pembentukan NH_3 yang dapat menguap ke atmosfer.

Jumlah kehilangan N akibat volatilisasi amoniak setelah pemberian pupuk beragam dari 0% sampai 50% N yang diberikan. Kehilangan N lebih tinggi jika urea diberikan ke dalam air menggenang sedalam 5cm dibandingkan ke dalam tanah yang jenuh. Memasukkan urea ke dalam tanah dapat mengurangi kehilangan tersebut.

3. 5 Nitrogen dalam Nutrisi Tanaman

Kandungan N di dalam jaringan tanaman sekitar 2% - 4% bobot kering tanaman. ia merupakan penyusun dari banyak senyawa organik penting di dalam tanaman, seperti asam amino, protein, dan asam nukleat, dan merupakan bagian dari proses yang terlibat di dalam sintesis dan transfer energi. Nitrogen merupakan bagian dari klorofil yang bertanggung

jawab terhadap fotosintesis. Nitrogen membantu pertumbuhan tanaman peningkatan produksi biji dan buah, dan meningkatkan kualitas daun dan pakan ternak.

Nitrogen diserap tanaman dari tanah dalam bentuk nitrat (NO_3) dan amonium (NH_4^+). Nitrat merupakan bentuk yang paling disukai untuk pertumbuhan kebanyakan tanaman, tetapi dipengaruhi jenis dan faktor faktor lingkungan. Tanaman pertanian cenderung menyerap NO_3 meskipun di berikan kedalam tanah dalam bentuk pupuk NH_4 laju serapan NO_3 pada umumnya lebih tinggi dan diserap akar tanaman secara aktif. Perbedaan utama serapan NO_3 dan NH_4 adalah kepekaannya terhadap pH. Serapan NH_4 berlangsung paling baik pada media netral dan berkurang dengan menurunnya pH. Sebaliknya serapan NO_3 lebih cepat pada pH rendah. Yang terakhir ini terjadi karena pada pH tinggi NO_3 harus bersaing dengan ion OH .

Serapan paling tinggi jika kedua bentuk N berada dalam larutan tanah. Meskipun alasannya belum diketahui dengan baik, perubahan NO_3 direduksi setelah berada di dalam jaringan tanaman membutuhkan energi. Dengan demikian, dengan penyerapan N sebagai NH_4 terjadi konservasi energi yang selanjutnya digunakan dalam proses metabolisme termasuk untuk penyerapan ion dan pertumbuhan tanaman.

Nitrogen di dalam tanaman mengalami beberapa tahap alih bentuk. Tahap **pertama** adalah perubahan N inorganik menjadi senyawa organik berberat molekul rendah, seperti asam amino. Di dalam tanaman NO_3 direduksi menjadi NH_4 atau

NH_3 yang kemudian di asimilasi menjadi asam amino. Tahap **kedua** sintesis senyawa N berberat molekul tinggi, seperti protein dan asam nukleat. Protein menjadi bagian dari beberapa struktur lainnya yang menjadi tempat terjadinya reaksi biokimia. Jenis protein yang terbentuk di kendalikan oleh kode genetika spesifik di dalam asam nukleat, yang menentukan jumlah dan rangkaian asam amino di dalam masing masing protein. Salah satu asam nukleat adalah asam deoksiribonukleat (DNA), yang terdapat pada inti sel dan mitokondria di dalam sel dan berfungsi menggendakan informasi genetika di dalam kromosom sel induk ke keturunannya. Asam ribonukleat (RNA) di dalam inti sel dan sitoplasma berfungsi melaksanakan perintah yang dikodekan di dalam molekul DNA. Sebagian besar enzim dan koenzim yang mengendalikan proses metabolisme ini juga merupakan protein dan terus menerus mengalami metabolisme dan resintesis. Tahap **ketiga** merupakan pemecahan senyawa berberat molekul tinggi melalui hidrolisis.

Pada tanaman hijau protein merupakan fraksi N paling besar dan jumlah nya sekitar 80% - 85% total N. Nitrogen dari asam nukleat menyusun 10% dan N asam amino larut sekitar 5% total N bahan tanaman.

Pada kebanyakan tanaman budidaya sebagian besar N digunakan untuk menghasilkan protein tanaman. pada bagian vegetatif fraksi protein utama berupa protein enzim, sedangkan di dalam biji fraksi protein utama terdiri dari protein tersimpan. Selain untuk pembentukan protein, N merupakan

bagian integral klorofil yang mampu mengubah sinar menjadi energi kimia yang diperlukan untuk fotosintesis. Kecukupan pasokan N tanaman di tandani oleh aktivitas fotosintesis yang tinggi, pertumbuhan vegetatif yang baik, dan warna tanaman yang hijau tua. Pasokan N yang berlebihan dapat mengakibatkan pemasakan tanaman teralambat. Kelebihan N juga mempengaruhi penggunaan karbohidrat. Jika pasokan N rendah, karbohidrat didepositkan di dalam sel sel vegetatif. Jika pasokan N rendah karbohidrata didepositkan di dalam sel sel vegetatif, sehingga sel sel nya menebal. Jika pasokan N tinggi dan kondisi cocok untuk pertumbuhan, protein akan terbentuk, deposit karbohidrat di dalam sel vegetatif berkurang. Ini mengakibatkan pembentukan protoplasma lebih tinggi, sehingga tanaman banyak mengandung air(sukulen). Kandungan air yang berlebihan mengakibatkan tanaman mudah roboh, peka terhadap serangan hama dan penyakit, terutama jika pasokan K rendah.

Di dalam tanaman N yang diserap oleh akar tanaman ditranslokasikan di dalam xilem ke bagian atas tanaman diasimilasi di dalam jaringan akar dan didistribusikan kembali sebagai asam amino. Sedangkan NO_3 dapat ditranslokasikan ke batang dan daun tanpa perubahan bentuk. Bersama sama asam amino. NO_3 merupakan bentuk utama translokasi N di dalam jaringan vaskuler tanaman tingkat tinggi.

3. 6 Kekahatan Nitrogen

Jika pasokan N dari akar tidak cukup, N di dalam daun daun yang telah menua akan di mobilisasi untuk memasok orrgan tanaman yang masih muda. Inilah mengapa tanaman yang amengalami kekuarangan (kahat) N pertama kali menunjukkan gejala pada kekahatan pada daun daun tua. Pada daun daun yang sudah tua, protein mengalami hidrolisis(proteolisis)menghasilkan asam asam amino yang didistribusikan ke pucuk dan daun yang lebih muda. Proteolisis mengakibatkan pecahnya kloroplas dan menurunnya kandungan klorofil, sehingga warna hijaun daun berkurang.

Gejala kekahatan pada kebanyakan tanaman adalah trubusnya pendek dan tipis; daun daun nya kecil, pucat, berwarna hijau kekuningan pada awal pertumbuhannya, kemudian berkembang menjadi kuning, oranye dan merah, atau kadang kadang ungu yang dimulai dari bagian bagian daun tua berkembang ke daun daun muda, dan warna warna juga berkembang pada tangkai daun;gugur daun terjadi sebelum saanya dan dimulai pada daun daun tua akibat terjadinya sintesis dalam translok sitokinin; akar akar lateral sedikit, dan kuncup kuncup lateral pun mati atau dorman. Kekahatan N tanaman serealial jagung misalnya, dicirikan oleh peranakan yang buruk, jumlah tongkol persatuan luas dan jumlah biji persatuan tongkol berkurang. Kenamapakan gejala N beberapa jenis tanaman dapat dilihat pada gambar. Bijinya kecil, tetapi sering mempunyai kandungan protein yang tinggi, akibat berkurangnya impor karbohidrat ke biji selama fase fase akhir pengisian biji.

BAB 4

FOSFORUS TANAH DAN TANAMAN

Fosforus(p) adalah unsur hara esensial penyusun beberapa senyawa kunci dan sebagai katalis reaksi reaksi biokimia penting di dalam tanaman. ia berperan di dalam menangkap dan mengubah energi matahari menjadi senyawa senyawa yang sangat berguna bagi tanaman. itulah peran vital di dalam nutrisi tanaman agar tanaman dapat tumbuh, berkembang, dan berproduksi dengan normal.

Meskipun perannya begitu penting untuk tanaman, jumlah yang dapat dipasol oleh tanah pada umumnya terbatas. Kandungan P di dalam tanah sendiri sangat beragam, yaitu antara 0, 02% sampai 0, 5% dengan rata rata 0, 5%. Jumlah P pada tanah atasan rata rata 1000kg P/ha, tidak begitu besar dibandingkan dengan jumlah yang diangkut tanaman sejumlah sampai 40kga P/han setiap tahun. Hal ini karena sebagian besar fraksi P di dalam berada dalam bentuk mineral atau senyawa tidak mudah dimanfaatkan oleh tanaman.

4. 1 Sumber Fosforus Tanah

Fosforus di dalam tanah berasal terutama dari hasil desintegrasi dan dekomposisi bantuan yang mengandung mineral apatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2]$. Di dalam dikenal ada 3 macam mineral apatir, yakni **flour (F) apatit**, **khlor (Cl) apatit**, dan **hidroksi (OH) apatit**.

4. 2 Bentuk Bentuk Fosforus di Dalam Tanah

Bentuk fosforus(P) di dalam tanah dapat diklasifikasikan menjad P organik dan P inorganik. **Fosforus organik** terdapat dalam sisa sisa tanaman , hewan , dan jaringan jasad renik, sedangkan **fosforus inorgannik** tanah terdiri dari mineral apatit, kompleks fosfat Fe dan Al, dan P terjerap pada partikel liat. Kelarutan senyawa P organik maupun inorganik d dalam tanah pada umumnya sangat rendah, sehingga hanya sebagian kecil P tanah yang berada dalam larutan tanah.

Ion ortofosfat(HPO_4^{2-} dan H_2PO_4)adalah dua bentuk P utama yang dapat tersedia bagi tanaman. ia dihasilkan ketika mineral apatit mengalami pelapukan, bahan organik mengalami mineralisasi, dan pupuk P terlarut. Bentuk bentuk tersebut memiliki mobilitas terbatas karena sangat mudah bereaksi dengan banyak unsur, senyawa, dasn permukaan mineral tanah. Akibatnya ketersediaan P dalam tanah pada umumnya sangat rendah.

4. 2. 1 Fosforus Organik

Jumlah P organik di dalam tanah beragam, dari 20% - 80% P total. Pada kebanyakan tanah, P organik merupakan mayoritas terutama pada tanah lapisan atau horiazon A. Kandungan P organik pada tanah yang miskin bahan organik hanya sekitar 3%, sedangkan pada tanah yang kandungan bahan organiknya tinggi dapat mencapai 50% atau lebih. Fosforus organik tanah dapat digolongkan menjadi tiga besar yakni; (i) inositol fosfat (2-50%), (ii) asam nukleat(0, 2-2, 5%), dan (iii) fosfolipida(1-5%). Senyawa senyawa lain yakni fosfoprotein dan fosfat metabolik juga dijumpai di dalam tanah tetapi jumlahnya sangat sedikit.

Inositol fosfat

Inositol fosfat adalah senyawa homosiklik seperti gula ($C_6H_{12}O_6$) yang dapat membentuk ester fosfat dari mono heksafosfat. Senyawa ini tidak mudah terdekomposisi oleh mikroba, terutama jika berlaku di dalam tanah besar mencapai separuh lebih P organik pada kebanyakan tanah. Senyawa inositol fosfat paling umum dijumpai adalah asam fisfat $[C_6H_6(OHPO_3)_6]$ yang menyusun sekitar 20% P organik tanah. Senyawa ini dapat membentuk garam-garam tidak larut dengan Fe dan Al pada tanah masam dan dengan Ca pada tanah alkalin. Jenis kation menentukan sensitivitas senyawa fosfat ini terhadap serangan enzimatik pada kondisi masam senyawa tersebut lebih tahan daripada di bawah kondisi alkalin.

Asam Nukleat

Ada dua asam nukleat, yakni asam ribonukleat dan deoksiribonukleat(RNA dan DNA)yang membentuk ester dengan fosfat merupakan senyawa sangat penting dan terdapat pada semua makhluk hidup. Asam ini menyusun sekitar 2, 4% P organik tanah. Bahan organik yang baru saja ditambahkan ke dalam tanah biasanya kaya asam nukleat dari pada inositol fosfat, tetapi mudah sekali terombak, sehingga jumlah residu di dalam tanah lebih rendah.

Fosfolipida

Fosfolipida adalah asam lemak yang mengandung P, seperti fosfatidilkolin (lesitin) dan fosfatidil etanolamin, dua senyawa fosfolipida paling dominan. Senyawa fosfolipida menyusun <5% P organik tanah.

Fosforus organik yang lain

Bentuk P organik yang lain(30% sampai 50%) di dalam tanah diduga berasal dari jasad renik tanah, terutama dinding sel bakteri yang memiliki sejumlah senyawa ester yang sangat mantap.

Meskipun lebih dari 50% P di dalam horizon A berupa P organik, bentuk ini tidak tersedia bagi tanaman seperti halnya P organik. Agar tersedia bagi tanaman, P organik terhadap kebutuhan nutrisi tanaman dijumpai di wilayah tropika lebih besar daripada daerah sedang. Karena P organik memasuki tanah dalam jumlah yang signifikan. Di tanah tropik, dengan

suhu tinggi, laju dekomposisi bahan organik lebih cepat daripada tanah di daerah sedang.

Proses ketersediaan fosfat organik adalah dengan bantuan enzim fosfatase, yang di hasilkan oleh akar tanaman tingkat tinggi dan sejumlah jasad renik, seperti: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas*. Prinsip reaksi enzimatik oleh fosfatase adalah hidrolisis yang membebaskan ion fosfat dari senyawa P organik. Dilaporkan juga bahwa aktivitas fosfatase pada mikroriza juga berperan penting dalam kemampuan organisme ini menyediakan P tanah.

4. 2. 2 Fosforus Inorganik

Fosforus inorganik adalah senyawa senyawa fosfat dari Ca, Fe, dan Al. Derajat kemasam tanah (pH) merupakan faktor utama yang menentukan jumlah relatif bentuk bentuk P inorganik di dalam kebanyakan tanah. Pada tanah dengan pH netral sampai alkalin ($\text{pH} > 7$), Ca-fosfat merupakan bentuk P inorganik dominan, sedangkan pada tanah masam Fe-dan Al-fosfat dominan. Beberapa mineral atau senyawa inorganik P yang ada di dalam tanah dapat dilihat pada tabel 5. 1 berikut.

Tabel 4. 1 Beberapa mineral P yang biasa dijumpai di dalam tanah

Kalsium fosfat (Ca-P)	Aluminum fosfat (Al-P)	Besi fosfat (Fe-P)
Flour-apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	Varisir $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)(\text{OH})_2$	Strengit $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Hidroksi-apatit $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$	Kalium taranakit $\text{H}_6\text{K}_3\text{Al}(\text{PO}_4)_818\text{H}_2\text{O}$	
Trikalsium fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	Berlinit AlPO_4	
2, 5H ₂ O Dikalsium fosfat CaHPO_4		
Dikalsium fosfat dihidrat $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		

Mineral mineral tersebut mempunyai tingkat kelarutan yang beragam dan dipengaruhi oleh kondisi sistem tanah yang sangat kompleks serta kandungan zat pengotor. Contohnya, mineral hidroksi apatit tinggi daripada apatit murni. Sementara itu, mineral strengit dan varisit dijumpai dalam tanah hanya pada kondisi pH rendah, masing masing lebih rendah dari pH 4, 2 dan 3, 1, sehingga keduanya tidak begitu penting pada kebanyakan tanah pertanian.

Dari segi nutrisii tanaman, P inorganik tanah dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yaitu, (1) fosfat dalam larutan tanah, (2) fosfat dalam kelompok labil, dan (3) fosfat fraksi nonlabil.

Fosforus dalam Larutan Tanah

Fosfat dalam larutan tanah merupakan bentuk P tersedia bagi tanaman. jumlah fraksi ini sangat kecil dibandingkan dengan fosfat yang terjerap partikel tanah. Fosfat terjerap sekitar

100 sampai 1000 kali lebih tinggi daripada fosfat dalam larutan tanah. Di dalam tanah tidak subur konsentrasinya sekitar 10^5 sampai 10^{-4} atau sekitar 0,3 sampai 3 ppm P. Ion paling penting dalam larutan tanah adalah HPO_4^{2-} dan H_2PO_4^- dan rasio kedua ion tersebut dikendalikan oleh pH seperti ditunjukkan oleh gambar 5.2. di dalam tanah dengan pH lebih besar dari 7,2 bentuk HPO_4^{2-} dominan, sedangkan pada pH antara 5,0 dari 7,2 bentuk H_2PO_4^- dominan.

Fosforus Labil

Fraksi labil merupakan fosfat padat yang diikat atau terjerap kuat pada permukaan mineral liat, oksida oksida hidrus, karbonat dan bahkan apatit maupun fosfat dalam larutan tanah dan dapat ditetapkan dengan cara pertukaran isotropis, dan oleh karena itu disebut fosfat labil

Fosforus Nonlabil

Fraksi ketiga merupakan fosfat tidak larut, yang dapat dilepaskan menjadi bentuk labil yang sangat lambat. Fraksi ini merupakan bentuk P dalam mineral seperti apatit. Dalam konsep kuantitas/intensitas(Q/I), jumlah P di dalam larutan tanah merupakan besaran intensitas(I), sedangkan fraksi labil dan non labil bersama sama menjadi faktor kuatitas(Q). Rasio antara Q/I disebut sebagai **kapasitas sangga fosfat**. Kapasitas sangga fosfat berpengaruh besar terhadap pasokan P akar tanaman dan tanah dengan kapasitas sangga P rendah membutuhkan konsentrasi P yang lebih besar di dalam larutan untuk mencukupi pasokan P ke tanaman. konsep Q/I ini berlaku untuk unsur hara K.

4.3 Fiksasi Fosforus dan Ketersediaanya bagi Tanaman

Fosforus merupakan salah satu unsur hara esensial yang memiliki reaktivitas tinggi terhadap partikel tanah, P akan cepat mengalami reaksi dengan partikel liat dan senyawa senyawa Fe dan Al di dalam tanah kemudian akan berubah menjadi bentuk bentuk tidak atau kurang tersedia bagi tanaman. proses ini lazim disebut dengan istilah fiksasi P. Beberapa istilah seperti **retensi**, **sorpsi**, dan **presipitasi** sering digunakan untuk menggambarkan proses fiksasi.

Istilah **sorpsi** dibedakan menjadi dua yakni **adsorpsi** dan **absorpsi**. **Asorpsi** atau **penjerapan** berarti ion ortofosfat diikat secara fisik pada permukaan tanah padat, sedangkan pada **absorpsi** ion ortofosfat masuk menyusup kedalam atau bersenyawa dengan partikel tanah. Absorpsi juga sering disebut **kemisorpsi** karena P bersama partikel tanah membentuk senyawa yang kurang larut. **Presipitasi** sering diartikan sebagai pengendapan. **Retensi** merupakan sekuen yang kontinu dari presipitasi dan adsorpsi. Di dalam presipitasi, ion ortofosfat larut bersama sama partikel tanah mengendap sebagai akibat konsentrasi P larut yang tinggi melampaui konstanta kelarutan membentuk senyawa sekunder, sedangkan adsorpsi terjadi ketika kapasitas adsorpsi tidak jenuh P. Oleh karena itu reaksi adsorpsi dan presipitasi secara bersama sama di sebut dengan **fiksasi P atau retensi**. Secara prinsip, fiksasi atau retensi merupakan perubahan bentuk P dari P larut di dalam larutan

tanah menjadi P yang diikat oleh partikel tanah, sehingga menjadi bentuk yang kurang larut dan tidak mudah tersedia bagi tanaman.

Akibat reaksi reaksi tersebut, pergerakan P di dalam tanah sangat lambat dan tidak mudah hilang karena pelidian. Tanaman jarang mampu lebih dari 20% pupuk P yang diberikan pada musim pertama, karena sebagian P terfiksasi akan tetap tinggal di daerah perakaran dan yang secara perlahan tersedia bagi tanaman pada musim berikutnya. Bentuk P tertinggal ini disebut dengan **P residual** adapun **imobilisasi** P merupakan perubahan bentuk P inorganik menjadi P organik akibat diserap menjadi bagian dari senyawa di dalam tubuh organisme. Konsentrasi ortofosfat di dalam.

BAB 5

KALIUM TANAH DAN TANAMAN

Bersama sama dengan unsur N dan P, kalium (K) adalah unsur hara esensial primer bagi tanaman yang diserap oleh tanaman dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan unsur unsur hara lainnya, kecuali N. Meskipun kandungan total K di dalam tanah biasanya beberapa kali lebih tinggi daripada yang diserap oleh tanaman selama musim tanam, sering kali hanya sebagian kecil K tanah yang tersedia bagi tanaman. kandungan Ka di dalam tanah beragam, mulai dari 0, 1% - 3%, dengan rata rata 1%K. Tetapi, sebagian besar (sampai 98%) K tanah terikat dalam bentuk mineral, sehingga tidak tersedia bagi tanaman. bahkan, banya tanah yang mengandung sejumlah K total besar masih tanggap terhadap pemberian pupuk. Di dalam tanah, interaksi antara K dan mineral tanah sangat menentukan ketersediaan K bagi tanaman.

5. 1 Bentuk Kalium di dalam Tanah

Tidak seperti N dan P, semua K di dalam tanah merupakan K inorganik (mineral), dan merupakan unsur yang tidak menjadi bagian struktur senyawa senyawa organik.

Mineral primer yang merupakan sumber K di dalam tanah adalah kelompok feldspar dan mika. Kelompok feldspar terdiri dari ortoklas $[(K, Na)AlSi_3O_8]$ dan mikroklin $[(Na, K)AlSi_4]$, sedangkan kelompok mika meliputi muskovit $[K(AlSi_3O_{10}(OH)_2)]$ dan biotit $[K(Mg, Fe^{2+})_3AlSi_3O_{10}(OH)_2]$. Mineral feldspar dan mika bersama sama kuarsa terdapat dibatuan granit. Mineral sekunder yang mengandung K termasuk ilit atau mika hidrus, vermiculit, dan klorit.

Jika mengalami pelapukan, mineral mineral tersebut akan melepaskan ion ion K. K yang dibebaskan kedalam larutan tanah dijerap oleh koloit liat dan organik sebagai ion K^+ dapat ditukar (K-dd) dan ion K^+ terfiksasi di dalam struktur mineral tipe 2:1. Kalium dalam larutan tanah dan K-dd mudah tersedia bagi tanaman, sedangkan K terfiksasi dalam mineral tersebut lambat tersedia bagi tanaman.

Fraksi mineral K yang belum lapuk atau agak lapuk, merupakan bentuk paling dominan, yakni sekitar 90% - 98% total K di dalam tanah. Sekitar 1% - 10% total K berada dalam bentuk lambat tersedia atau terfiksasi pada mineral liat silikat (tidak tersedia). Fraksi K tersedia atau K dalam larutan tanah dan K dapat ditukar menyusun sekitar 0, 1% - 2, 0% total tanah tergantung tipe tanahnya.

5. 1. 1 K larutan Tanah

Kalium dalam larutan tanah sebagai ion K^+ , sehingga mudah tersedia bagi tanaman. konsentrasi K larutan tanah beragam berkisar antara 1-10 mg K^+ kg⁻¹ tanah, dan diukur mengekstrak tanah dengan air distilasi. di dalam tanah, K larutan

berkeseimbangan cepat dengan K-dd. Konsentrasi K dalam larutan tanah merupakan injeksi ketersediaan K, karena difusi K permukaan akar berlangsung dalam larutan tanah dan kecepatan difusi nya tergantung pada gradien konsentrasi dalam larutan tanah disekitar permukaan akar.

5. 1. 2 K dapat ditukar (K-dd)

Sebagai kation, K dijerap oleh koloid tanah bermuatan negatif, baik inorganik maupun organik. Liat tipe 2:1 menyerap K lebih kuat daripada liat tipe 1:1, dengan urutan smektit>illit>kaolinit. di dalam tanah pertanian, pada umumnya terdapat 40-600 mg K⁺ Kg⁻¹ atau 2% - 5% kapasitas tukar kation. Biasanya K-dd ditetapkan dengan menggunakan larutan 1 N amonium asetat. Bersama K larut air, K-dd merupakan bentuk yang mudah tersedia bagi tanaman. yang jumlahnya hanya sekitar 1% - 2% K tanah total.

5. 1. 3 K Tidak Dapat Ditukar dan Mineral

Selain dari K larutan dan dapat ditukar, K terdapat dalam bentuk tidak dapat ditukar dan K yang berada di dalam mineral. Meskipun jenis K ini tidak segera dapat tersedia bagi tanaman, keduanya mempunyai andil besar dalam menjaga keberadaan K dapat ditukar atau K labil di dalam tanah. Sebagian K tidak dapat ditukar menjadi tersedia bagi tanaman pada saat K dapat ditukar atau K larut diserap oleh tanaman atau hilang terlindi selama musim tanam, meskipun jumlah nya sangat sedikit untuk memenuhi kebutuhan tanaman..

5. 1. 4 Kalium Terfiksasi

Seperti yang dialami oleh unsur P, bentuk K yang tersedia di dalam tanah dapat menjadi bentuk yang tidak atau kurang tersedia, sehingga tidak dapat tersedia bagi tanaman. Reaksi inilah yang disebut dengan fiksasi K. Berbeda dengan fiksasi P, fiksasi K terjadi akibat terperangkapnya ion K di dalam rongga d ruang antarlapisan mineral liat tipe 2:1 yang berukuran sama dengan diamete ion K, sehingga tarikannya sangat kuat.

Dua bentuk K terfiksasi dan K-dd berada dalam keseimbangan dinamis dengan larutan tanah, tetapi keduanya sangat berbeda dengan dalam merespon perubahan K larutan tanah. Ion K terfiksasi terikat sangat kuat dalam partikel tanah, sehingga membutuhkan waktu lama, bulanan sampai tahunan. Untuk berkeseimbangan dengan larutan tanah, sedangkan K-dd dapat dilepaskan lebih cepat karena hanya terikat pada permukaan partikel tanah, sehingga berada dalam keseimbangan cepat dengan larutan tanah. Ada sejumlah faktor yang mempengaruhi besar K terfiksasi oleh tanah, yaitu kandungan dan tipe liat silikat, pH tanah, pembasahan dan pengeringan, pemupukan, pembekuan, dan pelelehan.

Kandungan dan Tipe Silikat

Tanah dengan kandungan liat silikat tinggi, terutama yang bertipe 2:1 mempunyai kapasitas fiksasi K tinggi dibandingkan dengan tanah dengan kadar liat rendah. Mineral liat tipe 2:1 seperti ilit, vermikulit, dan smektit (monmorilonit) menyerap ion K lebih kuat daripada mineral liat tipe 1:1, seperti

kaolinit dan mempunyai kapasitas fiksasi tinggi, sehingga tanah bertekstur halus dan didominasi oleh liat silikat tipe 2:1 berpotensi besar memfiksasi K

Pada horison organik tanah hutan atau tanah-tanah lain dengan kandungan bahan organik tinggi, K dapat ditukar biasanya lebih tinggi daripada pada tanah-tanah horizon mineral dan jumlah K terfiksasinya rendah. Tanah-tanah bertekstur kasar (berpasir) mempunyai KTK rendah, sehingga kapasitas fiksasi K rendah, bahkan sebagian besar unsur K cenderung berada di dalam larutan tanah. Dengan demikian, tanah berpasir berpotensi kehilangan K lebih besar akibat pelindian.

pH Tanah

Pada tanah masam ion Al^{3+} banyak menduduki kompleks jerapan tanah. Jika pH tanahnya meningkat, seperti akibat pengapuran, dan jika terjadi pengendapan Al-hidroksida pada ruang antar lapisan mineral. Liat silikat tipe 2:1 dapat menghambat fiksasi K oleh tanah. Namun, jika pengapuran mengendapkan Al-hidroksida di luar antar lapisan mineral, maka akan terjadi peningkatan fiksasi K. Kasus yang terakhir ini merupakan manfaat pengapuran untuk mengurangi perlindian K dari tanah.

Pembasahan dan pengeringan

Pengaruh peningkatan dan penurunan kadar lengas tanah terhadap fiksasi K tergantung pada kandungan K di dalam tanah. Pengeringan tanah yang berkadar K tinggi akan meningkatkan fiksasi K 2-3 kali lebih tinggi daripada pembasahan. Sebaliknya

pengeringan tanah dengan kandungan K rendah sampai sedang dapat meningkatkan K dapat ditukar

Pemupukan K

Penambahan K ke dalam larutan tanah terutama dengan dosis tinggi akan meningkatkan jumlah K dapat ditukar dan K terfiksasi. Sebaliknya, penyerapan K oleh tanaman atau perlindungan K cenderung akan mengubah K terfiksasi menjadi bentuk lebih tersedia.

Pembekuan dan Pelelehan

Pengaruh ini relevan untuk daerah dengan perbedaan musim yang sangat nyata seperti di daerah sedang. Pada musim dingin, larutan tanah dapat membeku menjadi es, dan sebaliknya ketika berganti musim panas maka larutan tanah yang membeku akan meleleh dan mencair. Fenomena pergantian pembekuan dan pelelehan akan berpengaruh terhadap besarnya fiksasi K di dalam tanah. Berbagai riset melaporkan bahwa pergantian tersebut meningkatkan K dapat ditukar,

5. 2 Ketersediaan Kalium dalam Tanah

Unsur K diserap oleh tanaman sebagai ion K^+ . Di samping konsentrasi ion K larut dalam larutan tanah dan K pada kompleks jerapan tanah, ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan K bagi tanaman, yaitu kadar lengas, kapasitas tukar kation (KTK), kandungan kation lain, pH, aerasi, dan jenis tanaman.

5. 2. 1 Kadar Lengas Tanah

Kation K diikat kuat oleh kompleks jerapan tanah, sehingga gerakan K di dalam tanah untuk sampai ke permukaan akar lambat sebelum siap diserap oleh tanaman. Gerakan ion K tersebut terutama melalui difusi yang sangat tergantung kepada kadar lengas tanah. Jika tanah mengering, difusi akan berkurang, sehingga akan menurunkan jumlah K yang dapat tersedia bagi akar tanaman.

5. 2. 2 Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Pada tanah dengan KTK tinggi, sebagian besar K tersedia bagi tanaman berada dalam bentuk K dapat ditukar (K-dd) dan hanya sebagian kecil berada dalam bentuk K larut. Namun, karena K-dd dan K larut dalam keseimbangan, jika konsentrasi K larut berkurang akibat penyerapan oleh tanaman, akan segera ada pasokan K dari K-dd. Dengan mekanisme ini, tanah-tanah dengan KTK tinggi dapat menjamin pasokan K lebih efektif dibandingkan dengan tanah-tanah dengan KTK rendah. Pada tanah dengan KTK rendah konsentrasi K larut lebih besar, sehingga akan mudah mengalami kehilangan K akibat pelindian. Hubungan antara K-dd dan K larutan biasanya disebut sebagai kapasitas sangga K (KsK), yang digambarkan sebagai:

$$\text{KsK} = \text{perubahan K-dd/perubahan K larutan}$$

Persamaan ini dapat diperjelas dengan kurva hubungan Quantitas/Intensitas (Q/I). Semakin tinggi kemiringan, semakin tinggi KSK, dan ini menunjukkan KTK tanah yang tinggi. Tanah yang telah berkembang lanjut yang kaya akan mineral

kaolinit dan oksida Fe dan Al mempunyai KsK rendah sehingga K cenderung berada di dalam larutan tanah dan rentan terhadap perliindian. Sebaliknya, tanah-tanah dengan kandungan mineral kelompok mika memiliki KsK tinggi

5. 2. 3 Kandungan Ion Lain

Kation-kation lain di dalam tanah, seperti Ca dan Mg, mempengaruhi efektivitas serapan K larutan tanah oleh tanaman. Ini digambarkan dalam hubungan Quantitas/Intensitas (Q/I) K. Sebagai fungsi ketersediaannya intensitas K dikonversi menjadi Nisbah Aktivitas K (NAK). NAK didefinisikan sebagai aktivitas dua kation penting di dalam tanah, yakni Ca dan Mg, dalam rumusan sebagai berikut:

$$\text{NAK} = \text{aktivitas K/V (aktivitas Ca+Mg)}$$

NAK merupakan ukuran intensitas K labil dan menunjukkan konsentrasi K yang mudah tersedia bagi tanaman.

5. 2. 4 pH Tanah

Pengaruh pH terhadap ketersediaan K bersifat tidak langsung, yaitu melalui pengaruh pH terhadap jenis kation dominan pada kompleks jerapan tanah dan ruang antar lapisan mineral liat. Tanah masam dengan kompleks jerapan tanah akan didominasi oleh Al^{3+} tinggi, dan ion Al-hidroksil akan mengumpul pada ruang antar lapisan mineral liat. Akibatnya K cenderung akan berada di dalam larutan tanah, sehingga mudah tersedia bagi tanaman. Sebaliknya jika pH tanah tersebut ditingkatkan seperti dengan pengapuran, maka ion Al^{3+} akan mengendap sebagai $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga K dijerap oleh tanah lebih kuat. Pengaruh lain dari pengapuran adalah penurunan

daya racun Al, sehingga tanaman tumbuh lebih bagus dan mampu menyerap K lebih baik.

5. 2. 5 Aerasi Tanah

Seperti proses fisiologis yang lain, aerasi buruk dapat mengganggu respirasi dan pertumbuhan akar tanaman. Akibatnya dapat menurunkan kemampuan akar menyerap K

5. 2. 6 Perbedaan Jenis Tanaman

Jenis tanaman maupun varietas tanaman dalam satu jenis tanaman mempunyai kebutuhan K yang beragam. Pada umumnya, tanaman jenis rumput menyerap K lebih baik daripada jenis legum. Itulah mengapa kedua jenis tanaman itu sering ditanam bersama-sama atau campuran untuk meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara di dalam tanah.

5. 3 Kalium dalam Nutrisi Tanaman

Untuk pertumbuhan tanaman optimum, kandungan K di dalam tanaman berkisar antara 2% dan 3% bobot kering. Berbeda dengan N dan P serta kebanyakan hara yang lain, unsur K hanya terdapat di dalam larutan atau terikat pada permukaan jaringan yang bermuatan negatif. Meskipun demikian, K terlibat banyak proses biokimia dan fisiologi yang sangat vital bagi pertumbuhan dan hasil tanaman, serta ketahanan terhadap cekaman.

Unsur K esensial dalam fotosintesis karena terlibat di dalam sintesis ATP, produksi dalam aktivitas enzim-enzim fotosintesis (seperti RuBP karboksilase), penyerapan CO₂

melalui mulut daun, dan menjaga keseimbangan listrik selama fotofosforilasi di dalam kloroplas. Selain itu, K juga terlibat dalam pengangkutan hasil-hasil fotosintesis atau asimilasi dari daun melalui floem ke jaringan organ reproduktif dan penyimpanan (buah, biji, ubi, dan lain-lain). Pada tanaman buah-buahan dan sayuran (jeruk, pisang, tomat, kentang, bawang, dan lain-lain), pasokan K cukup dapat memperbaiki ukuran, warna, rasa, kulit buah yang penting untuk penyimpanan dan pengangkutan. Oleh karena itu, pasokan K yang cukup akan menjamin fungsi daun selama pertumbuhan buah dan jumlah gula pada buah. Peranan K dalam sintesis protein akan memacu konversi nitrat ke protein, sehingga meningkatkan efisiensi pemupukan N

Kation K terlibat dalam menjaga potensial osmotik tanaman, seperti pengaturan pembukaan dan penutupan stomata, sehingga dalam tanaman terjadi pertukaran gas dan air dengan atmosfer. Ini membuat tanaman mampu menjaga kondisi air di dalam tanaman pada kondisi tercekam (stress), seperti akibat salinitas. Tanaman dengan kandungan K tinggi memerlukan jumlah air yang lebih rendah daripada tanaman yang kekurangan K untuk memproduksi jumlah biomassa yang sama. Dengan demikian, pasokan K yang cukup dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman.

Kalium berfungsi dalam pembentukan lapisan kutikula yang sangat penting untuk pertahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Tanaman yang dipasok K cukup mempunyai aktivitas enzim tinggi dan tahan terhadap serangan

jamur dan sengatan serangga. Selain itu, K juga terlibat dalam proses pemasakan buah melalui sintesis likopen, pigmen yang bertanggung jawab terhadap warna merah buah seperti pada tomat. Kalium juga mendorong tingginya kandungan asam di dalam tanaman, yang esensial untuk membuat rasa enak dari buah.

5. 4 Kekahatan Kalium

Tanaman yang kahat K mempunyai daun-daun muda berwarna hijau tua, batang kecil, dan buku pendek. Daun-daun tuanya nekrosis pada bagian pinggir dan ujung daun, serta keriting tegak atau nekrosis di daerah antar rulang daun. Buahnya gugur pada saat masak awal, rasa buah tidak nyata karena kurang masam, masak buah tidak merata, jumlah buah sedikit, dan organ penyimpanan memiliki bobot rendah. Pada tanaman padi dan jagung, kekahatan K menyebabkan batang menjadi lebih kecil, lemah, dan mudah rebah. Di samping itu, tanaman yang kahat K lebih peka terhadap serangan hama dan penyakit serta perubahan cuaca yang ekstrem, seperti terjadinya “frost”. Karena K bersifat mobil di dalam tanaman, gejala kekahatan K pertama kali muncul pada bagian tanaman yang tua.

Kekahatan K lebih sering dijumpai pada tanah bertekstur kasar atau berpasir daripada tanah bertekstur liat. Kekahatan K pada tanah liat dapat dijumpai pada jenis-jenis tanaman yang menyukai K, seperti kentang.

Ada fenomena yang menarik terkait dengan nutrisi K, yakni bahwa jenis tanaman mempunyai kecenderungan untuk menyerap K lebih banyak daripada yang dibutuhkan pada saat banyak K tersedia di dalam tanah, tetapi kelebihan tersebut tidak dapat meningkatkan hasil tanaman. Fenomena ini yang dikenal dengan konsumsi berlebih. Untuk menghindari ini, pemupukan K sebaiknya diberikan secara terpilah, sehingga pada akhir-akhir pertumbuhan, tanaman masih mendapatkan pasokan K tersedia yang cukup.

BAB 6

KALSIUM, MAGNESIUM, DAN SULFUR PADA TANAH DAN TANAMAN

Kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S) merupakan hara makro sekunder, yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang relatif besar untuk pertumbuhan tanaman. ketiga unsur ini biasanya diberikan ke tanah sebagai bahan pembenah tanah, atau diberikan bersamaan dengan pemberian hara primer. Kandungan S dan Mg di dalam tanaman hampir sama atau lebih banyak dari pada P, tetapi beberapa jenis tanaman memerlukan Ca lebih besar dari pada P. Hara sekunder sama pentingnya dalam nutrisi tanaman seperti halnya hara primer, karena kekurangan hara sekunder dapat menghambat pertumbuhan tanaman seperti halnya kekurangan unsur hara primer.

6. 1 Kalsium tanah dan tanaman

6. 1. 1 Kalsium di dalam tanah

Kalsium di dalam tanah merupakan hasil desintegrasi dan dekomposisi batuan dan mineral dalam fraksi pasir dan

debu. Mineral tersebut antara lain anortit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), batu kapur(limestone), piroksin, amfibol, kalsit(CaCO_3) terutama didaerah beriklim kering, dolomire($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan gipsum($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Pelapukan mineral mineral ini akan membebaskan Ca ke dalam tanah, yang kemudian akan larut dalam larutan tanah sebagai Ca^{2+} , dijerap kuat oleh liat silikat dan koloid organik, diserap oleh organisme, dan sebagai Ca^{2+} akan diendapkan lagi dan membentuk mineral baru, seperti kalsium karbonat(CaCO_3) atau gipsum(CaSO_4). Pada tanah kapur sebagian Ca terlindi keluar dari lapisan atas tanah yang bersifat masam dan kaya bahan organik, kemudian mengendap di dalam horizon kalsik kaya Ca dalam lapisan tanah bawahan (subsoil) kedua mineral sekunder tersebut (CaCO_3) atau CaSO_4)

Kandungan Ca di dalam tanah beragam, tetapi jarang mengalami kekurangan pasokan Ca. Tanah tanah masam berstektur pasir ditropika basah mengandung 0, 1%- 0, 3% total dan 8-45 ppm di dalam larutan tanah, sedangkan tanah kapur didaerah beriklim kering dapat mengandung lebih dari 25%. Pada kebanyakan tanah, Ca^{2+} mendominasi kompleks jerapan, kecuali tanah tanah masam di daerah tropika basah. Bentuk ini disebut dengan Ca dapat diukur(Ca-dd) yang besarnya dapat mencapai 80%dari KTK. Bentuk Ca-dd berada dalam keseimbangan dengan ion Ca^{2+} dalam larutan tanah, sehingga akan menggantakan Ca^{2+} yang hilang akibat diserap tanaman atau terlindi. Oleh karena itu, perlindungan Ca dapat disignifikan pada tanah tanah masam bertekstur kasar, ketika banyak air yang mengalir melewati problem tanah. Karena tinggi nya

persentase pada kompleks jerapan, Ca-dd menjadi penyangga perubahan Ca di dalam larutan tanah, ion Ca^{2+} dijerap oleh tanah lebih kuat dari pada Mg, K, dan Na, dan tidak difiksasi oleh liat silikat.

Ketersediaan Ca bagi tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu pasokan Ca total, kemasaman tanah, KTK, derajat kejenuhan Ca, tipe koloid, dan perbandingan antara Ca dengan kation-kation lain di dalam tanah. Pasokan Ca pada tanah masam bertekstur pasir dengan KTK rendah sering tidak mencukupi kebutuhan tanaman. pada tanah tanah masam tersebut, aktivitas Al dan H tinggi, sehingga dapat menghambat serapan Ca oleh tanaman. jika kompleks jerapan didominasi Ca, kondisi tanah biasanya cocok untuk pertumbuhan tanaman dan organisme yang lain, sehingga hasil tanaman tinggi. Derajat kejenuhan Ca kurang dari 25% menunjukkan ada potensi kekurangan pasokan Ca, sehingga tanaman tanggap terhadap pemberian Ca. Liat tipe 2:1 yang memerlukan kejenuhan Ca yang lebih besar daripada liat tipe 1:1 untuk memasok jumlah Ca yang sama. Sebagai contoh, liat monmorilonit perlu derajat kejenuhan Ca lebih dari 70%, sedangkan kaolinit cukup antara 40% sampai 50%. Kandungan Al tinggi di dalam larutan tanah dapat mengurangi ketersediaan Ca bagi tanaman jagung, kedelai, dan kapas.

6. 1. 2 Kalsium dalam nutrisi tanaman

Kalsium (Ca) merupakan hara makro esensial yang terangkut dalam tanaman melalui aliran transpirasi. Defisiensi Ca

biasanya berhubungan dengan ketidakmampuan tanaman untuk memindahkan Ca cukup ke bagian tanaman.

Unsur ini memainkan peranan penting di dalam tanaman. ia menjadi bagian dari struktur sel, yaitu dinding dan membran sel, dan diperlukan dalam pembentukan atau pembelahan sel-sel baru, yakni yang terdapat pada benang-benang(spindles) miosis. Ia juga sangat penting di dalam lintasan transduksi dengan mengikat kalmodulin, protein tanaman sitosolik. Bersama kalmodulin, Ca terlibat di dalam mengatur sejumlah proses metabolis, termasuk respon tanaman terhadap lingkungan dan zat-zat pengatur tumbuh. Selain itu, unsur Ca juga memainkan peranan penting di dalam pemanjangan sel dan menjaga struktur membran di dalam tanaman. ion Ca^{2+} esensial untuk translokasi karbohidrat dan hara. Akumulasi karbohidrat di dalam daun pada kondisi tercekam Ca^{2+} menurunkan kandungan karbohidrat dari batang dan akar yang kemudisan menghambat fungsi akar akibat rendahnya pasokan energi. Akibatnya, kekurangan Ca menjadikan pembentukan jaringan penyimpan tidak normal pada banyak jenis buah dan sayuran. Keberadaan Ca di dalam akar juga mengatur pengambilan kation lain oleh tanaman dengan membatasi penyerapan Na dan meningkatkan penyerapan K.

Tambahan lagi, kalsium diperlukan sebagai ko-faktor banyak enzim di dalam tanaman, meskipun pada konsentrasi tinggi dapat menghambat aktivitas enzimatik. Ia juga berperan nyata dalam proses perkecambahan biji. Asam giberilik dan asam absisik mengatur produksi α -amilase di dalam jaringan

aleuron selama perkecambahan. Asam giberilik meningkatkan, dan asam absisik menurunkan aliran ion Ca ke dalam endoplasmik retikulum. Kalsium pun sangat penting bagi proses fotosintesis. Pada jaringan yang kekurangan Ca , produk awal fotosintesis kurang tersedia untuk aktivitas respirasi yang berlangsung diluar kloroplas.

Namun demikian, ion Ca^{2+} di dalam tanaman tidak mudah bergerak. Setelah terangkut kedalam tanaman, Ca^{2+} bergerak bersama air transpirasi ke dalam xilem ketika asudah berada di dalam daun, hanya sedikit translokasi Ca^{2+} berlangsung di dalam floem, sehingga pasokan Ca^{2+} ke dalam akara dan organ penyimpan kurang. Oleh karena Ca^{2+} tidak dapat didistribusikan di dalam tanaman, maka diperlukan pasokan terus menerus agar pertumbuhan dan perkembangan buah normal.

6. 1. 3 Kekahatan kalsium

Pasokan Ca di dalam larutan tanah dapat mencapai 10 kali lebih besar dari K . Namun, karena kebutuhan tanaman akan Ca jauh lebih sedikit, kekahatan Ca jarang terjadi. Aliran masa pemasok Ca cukup ke tanaman, kecuali pada tanah tanah yang rendah Ca , sehingga difusi menjadi penting.

Karena Ca tidak mudah bergerak di dalam tanaman, ketika pasokan Ca kurang, pengaruhnya akan terlihat pada bagian bagian tanaman yang masih berkembang(Meristematis), seperti daun muda, titik tumbuh pada batang, maupun akar. Gejala gejala kekahatan Ca ditandai dengan warna hijau muda

atau klorosis yang tidak merata pada daun muda. Daun muda gagal tumbuh sehingga berbentuk seperti mangkok, berkerut, kuncup rusak, titik tumbuh batang dan bunga mati sebelum berkembang dan gugur, pertumbuhan akar buruk (pendek dan menebal), dan struktur batang tanaman lemah. Beberapa contoh kenampakan gejala kekahatan Ca pada tanaman dapat dilihat pada gambar 7. 1.

6. 2 Magnesium Tanah dan Tanaman

6. 2. 1 Magnesium di dalam Tanah

Magnesium tanah berasal dari dekomposisi batuan yang mengandung mineral biotit, dolomit, hornblende, serpentin, epsomit, dan olivin. Ia juga dijumpai pada mineral mineral liat sekunder, seperti klorit, illit, monmorilonit, dan vermiculit. Jika mineral mineral tersebut mengalami dekomposisi, Mg akan dibebaskan ke air yang ada disekitarnya. Kemudian Mg yang dibebaskan tersebut akan (i) hilang bersama dengan air perkolasi, (ii) diserap oleh organisme hidup, (iii) dijerap oleh partikel partikel liat, atau (iv) diendapkan kembali sebagai mineral sekunder, seperti $MgCO_3$ atau $MgSO_4$ dan sering kali bersama sama dengan $CaCO_3$.

Magnesium dalam mineral liat sekunder tersedia secara perlahan dan dibebaskan melalui pelindian dan penanaman terus menerus. Vermiculit memiliki afinitas tinggi terhadap Mg, dan dapat menjadi sumber Mg yang signifikan. Di tanah daerah kering atau setengah kering, Mg berasal dari mineral epsomit

($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), heksahidrit ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan bloedid [$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]. Magnesium dalam bentuk mineral retalit tahan terhadap pelapukan dan merupakan fraksi paling besar Mg total di dalam tanah.

Menurut Havlin, kandungan Mg di dalam tanah beragam, tergantung kepada jenis tanahnya. Pada umumnya kandungan Mg berkisar antara 0, 05% di tanah tanah berpasir atau telah mengalami pelindian dan pelapukan lanjut, dan 0, 5% pada tanah tanah bertekstur liat pada daerah cekungan atau depresi. Seperti halnya Ca, bentuk Mg di dalam tanah dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk, yaitu Mg larut air, Mg dapat ditukar (Mg – dd), dan Mg tidak dapat ditukar. Ketiga bentuk Mg tersebut saling berkeselimbangan.

Konsentrasi ion Mg^{2+} dalam larutan sangat beragam tetapi konsentrasi sekitar 24ppm sudah dapat memenuhi kebutuhan tanaman pada umumnya. Sedangkan konsentrasi Mg-dd tanah adalah sekitar 5% yang menduduki 10% sampai 20% KTK tanah, lebih rendah daripada Ca-dd tetapi lebih tinggi daripada K-dd. Sebagian besar Mg di dalam tanah dalam bentuk tidak dapat ditukar, yakni sebagai penyusun mineral primer dan sekunder. Pada tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut, bertekstur pasir, dan bereaksi masam, potensi pelindian Mg lebih tinggi daripada Ca karena kekuatan jerapan Mg lebih rendah.

Tanaman menyerap Mg dalam bentuk ion Mg^{2+} dari larutan tanah dan Mg dapat ditukar (Mg-dd) dengan jumlah Mg larut hanya sekitar 1%-10% dari Mg-dd. Jumlah Mg yang

diserap tanaman lebih rendah daripada Ca dan K. Ketersediaan Mg di dalam tanah dipengaruhi oleh jumlah pasokan Mg, kemasakan tanah(pH), derajat kejenuhan Mg, sifat sifat dari ion dapat ditukar yang lain, dan tipe liat tanah. Kekahatan Mg terjadi pada tanah masam bertekstur pasir dan bereaksi masam di daerah tropika basah dengan kandungan liat ber-KTK rendah. Kekahatan terjadi apabila Mg-dd kurang dari 3% KTK atau 25-50ppm. Kandungan K dan Al tinggi dalam larutan dapat menekan serapan Mg oleh tanaman. gejala abnormalitas “**grass tetany**” (hypomagnesaemia) pada sapi adalah akibat kekahatan Mg pada rumput, yang dipengaruhi oleh tingginya penumpukan K atau N dalam bentuk amonium (NH_4). Seperti halnya Ca, sebagian besar pengangkutan Mg ke perakaran tanaman melewati aliran massa, dan hanya sebagian kecil yang melalui intersepsi akar.

6. 2. 2 Magnesium dalam nutrisi tanaman

Konsentrasi Mg di dalam tanaman beragam antara 0, 1% dan 0, 4%. Dengan konsentrasi sekecil ini, peran paling penting Mg di dalam tanaman adalah sebagai komponen molekul klorofil pada semua tanaman hijau, dan berperan penting pada hampir seluruh metabolisme tanaman dan sintesis protein. Unsur Mg pun berperan sebagai ko-faktor pada hampir seluruh enzim yang menggunakan nukleotida lain untuk sintesis DNA dan RNA. Selain itu, magnesium juga memiliki fungsi esensial sebagai unsur jembatan agregasi satuan ribosom dalam sintesis protein.

Pengangkutan Mg di dalam tanaman sama seperti Ca, yang bergerak ke atas dalam sistem transpirasi. Namun, perbedaannya adalah Mg bersifat mobil di dalam floem, sehingga dapat ditranslokasikan dari bagian tanaman yang tua ke bagian yang lebih muda. Umumnya, kandungan Mg di dalam daun tua lebih tinggi daripada daun yang lebih muda. Namun demikian, fraksi Mg tanaman yang terkait dengan klorofil relatif kecil dan hanya sekitar 15%-20%.

6. 2. 3 Kekahatan Magnesium

Tanaman membutuhkan Mg lebih sedikit dari Ca, tetapi kekahatan Mg lebih sering terjadi karena konsentrasinya di dalam larutan tanah pada umumnya lebih rendah. Seperti disebutkan di depan, tanah masam dan bertekstur pasir sering mempunyai kandungan Mg rendah, sehingga tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut berisiko kekurangan pasokan Mg.

Kenampakan gejala kekahatan Mg beragam diantara jenis tanaman tetapi ada ciri ciri yang umum berlaku untuk semua jenis tanaman. tanaman yang kahat Mg menunjukkan gejala korosis atau menguning pada daerah antartulang daun tua, daun-daun keriting tegak sepanjang bagian tepinya, dengan sisi bawah daun dan pucuk daun tetap berwarna hijau. Pada kondisi ekstern terjadi klorosis, bahkan menjadi nekrotik.

Oleh karena Mg bersifat mobil di dalam tanaman, kekahatan Mg berawal dari daun-daun tua, kemudian bergerak ke daun-daun yang lebih muda. Daun-daun secara individual

pada tanaman yang kahat Mg agak kaku dan mudah rusak, keriting, dan mudah rontok. Kekahatan Mg dapat mengakibatkan penundaan masa reproduktif tanamannya. Pada tanaman apel, kekahatan Mg dapat menyebabkan gugur buah prematur.

6. 3 Sulfur Tanah dan Tanaman

6. 3. 1 Sulfur di dalam Tanah

Sulfur(S) merupakan unsur hara makroesensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang hampir sama banyaknya dengan unsur P. Namun, persoalan terkait dengan S tidak sebanyak dan signifikan unsur makro yang lain, bahkan penanaman S kedalam tanah relatif masih jarang dilakukan.

Ada 2 penyebab mengapa hanya sedikit jumlah pupuk S yang diberikan. **Pertama**, sebenarnya secara tidak langsung pemberian S ke dalam tanah sudah dilakukan, karena S terkandung dalam beberapa jenis pupuk yang biasa diberikan, seperti pemupukan triperl superfosfat (TSP) yang mengandung 12%S. dan azwavelzure ammonia(ZA) atau amonium sulfat $[(NH_4)_2SO_4]$ yang mengandung 23, 7%S. **Kedua**, pasokan S kedalam tanah juga harus berlansung melewati atmosfer yang terbawa air hujan, terutama di daerah industri yang banyak mengeluarkan gas S ke atmosfer. Sulfur di atmosfer juga dapat berasal dari air laut yang dihempas angin dan asap kendaraan bermotor. Namun, akhir akhir ini berkembang jenis pupuk kormesial yang sedikit atau tidak

mengandung S dan semakin tingginya bagian masa tanaman yang diangkut dari tanah pada saat panen, sehingga potensi terjadinya kekurangan S dilapangan akan semakin meningkat.

6. 3. 2 Sumber Sulfur Tanah

Sulfur merupakan unsur kerak bumi terbanyak ke-13. Kandungan S rata-rata di dalam kerak bumi diperkirakan antara 0, 06%-0, 10%. Unsur ini berada dalam bentuk S elementer, sulfida, dan kombinasi organik dengan C dan N.

Ada tiga sumber alami pokok unsur S tanah yang menjadi sumber penting bagi tanaman, yakni mineral tanah, gas S di atmosfer, dan bahan organik tanah. Mineral di dalam batuan dan tanah yang mengandung S adalah gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), unhidrit (CaSO_4), epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), mirablit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), pirit dan markasit (FeS_2), spalerit (ZnS), kalkopirit (CuFeS_2), kobaltit (CoAsS), pirotit ($\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$), galena (PbS), arsenopirit ($\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$), dan pentlandit ($\text{Fe, Ni}_9\text{S}_8$). Sulfur elementer terdapat di dalam deposit garam, deposit vulkanik, dan deposit yang berasosiasi dengan kalsit, gipsum, dan anhidrit. Apabila mineral ini mengalami pelapukan, sulfida akan teroksidasi membentuk sulfat. Sulfat ini kemudian mengendap sebagai garam-garam sulfat larut dan tidak larut di daerah iklim kering, diserap oleh organisme, atau direduksi menjadi sulfida atau S elementer pada kondisi anaerobik.

Di wilayah sekitar aktivitas industri yang menggunakan batu bara atau bahan bakar lainnya yang mengandung S, sulfur

dioksida akan dibebaskan ke udara yang kemudian akan jatuh ketanah bersama air hujan dan dapat tersedia bagi tanaman. tanaman juga mampu menyerap SO_2 melalui difusi kedalam daun, yang kemudian digunakan oleh tanaman dalam proses metabolisme. Namun, jika konsentrasinya di atmosfer terlalu tinggi dapat mengakibatkan kerusakan tanaman.

Sebagian besar S pada tanah didaerah lembab berada dalam bentuk S organik, yang berasal dari sisa tanaman dan hewan yang kembali ke dalam tanah. Sebagian S organik berupa protein, sehingga , mudah dilepaskan kedalam tanah melalui dekomposisi. Bentuk S organik juga dijumpai di alam, seperti di dalam minyak tanah dan batubara.

6. 3. 3 Bentuk bentuk Sulfur di Dalam Tana

Sulfur di dalam tanah berada dalam bentuk inorganik dan organik. Sebagian besar S berasal dari pelapukan mineral sulfat seperti gypsum. Akan tetapi sekitar 90% sulfur total di lapisan permukaan tanah kapur termobilisasi dalam bahan organik.

6. 3. 3. 1 Sulfur Organik

Pada tanah tanah berdaya dukung baik, hampir semua S berada di dalam bentuk sulfat dengan kation kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , atau NH_3 di dalam larutan tanah, S sebagai endapan garam sulfat di daerah kering sulfat terjerap pada mineral liat tipe 1:1 dan oksida hidroksi dari Fe dan Al dan sulfat yang tereduksi menjadi sulfida.

- i. Sulfat larut

Sulfat larut sebagai ion sulfat(SO_4^{2-}) dalam larutan tanah merupakan bentuk S yang mudah diserap oleh tanaman. konsentrasi 3-5ppm SO_4^{2-} dalam larutan tanah dianggap cukup bagi kebanyakan tanaman ion ini bergerak mencapai akar melalui difusi dan aliran masa. Karena larut dalam tanah dan tidak dijerap kuat oleh kebanyakan tanah, maka sulfat mudah terlindi. Kemudahan pelindian dipengaruhi oleh jenis kation pasangan. Sulfat dari kation K dan Na paling mudah terlindi, diikuti oleh sulfat dengan Ca dan Mg, dan yang paling sulit adalah sulfat Al dan Fe.

ii. Sulfat terjerap (terfiksasi)

Keberadaan sulfat terjerap penting, terutama pada tanah tanah yang kaya akan oksigen Fe dan Al akibat eluviasi dan pelindian. Jumlah SO_4^{2-} terjerap terjadi pada tanah bawahan(subsoil) dan tanah atasan(topsoil) masing masing sekitar 1/3% dan 10%. Penjerapan SO_4^{2-} ini bersifat dapat balik, tergantung pada kondisi tanah. Besarnya SO_4^{2-} terjerap dipengaruhi oleh kandungan liat dan tipe liat, oksida hidrus Al dan Fe, horizon atau kedalaman, pH tanah(<6, 5), lama kontak dengan penjerap, adanya anion anion lain, kation kation garam atau dapat ditukar dengan urutan $\text{H} > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Rb} > \text{K} > \text{NH}_4 > \text{Na} > \text{Li}$, dan bahan organik. Penjerapan SO_4^{2-} di dalam tanah terjadi mengalami mekanisme pertukaran anion, penjerapan oleh kompleks hidroksi Al dan F, dan penjerapan oleh garam.

iii. Sulfat mengendap(kurang larut)

Sulfat dapat mengendap sebagai endapan alam, dan keberadaannya penting, terutama pada tanah kapur di daerah kering atau setengah kering sebagai gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). sulfat dalam bentuk ini kurang tersedia bagi tanaman. garam garam sulfat yang lain adalah selenit, jarosit, dan kokuimbit.

iv. Sulfur tereduksi.

Sulfat akan tereduksi menjadi bentuk sulfida pada kondisi air tergenang(anaerobik), atau sebagai elementer pada lingkungan yang kondisi aerobik dan anaerobiknya terjadi bergantian. Sulfur elementer merupakan sumber S yang baik, tetapi ia harus teroksidasi dulu secara biologi menjadi SO_4^{2-} , dipacu oleh bakteri *Thiobacillus thiooxidans*, sebelum dapat dimanfaatkan oleh tanaman. reaksinya menghasilkan kemasaman tanah, karena membentuk masam sulfat.



v. Sulfida

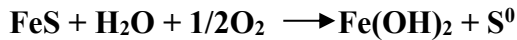
Bentuk S sulfida banyak dijumpai pada tanah tanah yang senantiasa tergenang. Pada kondisi reduktif, sulfat akan tereduksi menjadi sulfida (H_2S) dengan bantuan bakteri pereduksi sulfat, seperti genus *desulfovibrio*. Reaksi reduksi ini akan berlangsung dengan baik jika tanahnya mempunyai kandungan bahan organik tinggi. Bahan organik akan bertindak sebagai elektron donor terhadap

SO_4 , sehingga tereduksi menjadi hidrogen sulfida(H_2S). Jika di dalam tanah terkandung logam-logam larut tinggi, seperti Fe, Zn, dan Ca, maka akan terbentuk sulfida logam-logam tersebut yang kurang larut. Bentuk Fe sulfida yang terbentuk pertama kali adalah FS amorf, kemudian menjadi pirit atau markasit, dengan rumus kimia FeS_2 . Sebaliknya, jika konsentrasi logam rendah, maka H_2S akan menguat bebas keudara atau bila mengumpul dapat bersifat meracun bagi tanaman. pada tanah yang kaya bahan organik dan miskin logam-logam larut, reaksi reduksi akan menghasilkan dimetilsulfida (DMS). Seperti sering terjadi pada tanah sawah dilahan gambut. Keberadaan gas H_2S dan DMS ditandai dengan bau sangat menyengat yang sangat tidak enak. Keracunan oleh H_2S pada padi sawah dikenal dengan penyakit akioci, yang pertama kali ditemukan di Jepang. Keberadaan mineral pirit dan markasit dengan mudah dijumpai pada lahan pascatambang batu bara. Jika bahan berpirit ini terbuka ke udara dan air, maka mineral pirit akan teroksidasi menghasilkan asam sulfat, sehingga mengakibatkan kemasaman yang sangat tinggi pada air drainase dan tanah pascatambang. Cairan inilah yang kemudian dikenal dengan air asam tambang(acid mine drainage, AMD). Tingkat kemasaman yang tinggi ini juga meningkatkan kelarutan logam-logam di dalam tanah dan air tinggi sampai tingkat meracun, sehingga dapat

membatasi keberhasilan revegetasi lahan pascatambang dan merusak kehidupan pada ekosistem akuatik.

vi. Sulfur Elementer

Sulfur elementer (S^0) bukan merupakan hasil langsung dari reduksi sulfat pada kondisi reduktif di dalam tanah, melainkan hasil antaraj yang terbentuk selama oksidasi sulfida akibat proses kimia. Akumulasi S^0 terjadi pada tanah tanah di daerah delta sungai, tempat terjadi nya oksidasi sempurna yang diselingi oleh banjir secara periode. Pembentukan S elementer secara sederhana adalah sebagi berikut:



Sulfur elementer(S^0) adalah bentuk yang sama sekali tidak tersedia bagi tanaman melalui sistem perakaran, karena ia murni dan tidak larut di dalam air. Secara komersial ia disimpan di dalam oven dan tidak berubah selama bertahun tahun, tidak terpengaruh oleh kelengasan dan suhu. Namun, jika S^0 akan teroksidasi menjadi bentuk SO_4^{2-} yang tersedia bagi tanaman.

6. 3. 3. 2 Sulfur Organik

Seperti halnya unsur N, S di dalam tanah sebagian besar berupa S organik, terutama pada bagian lapisan tanah permukaan, bahkan dapat mencapai 90% total S pada tanah bukan kapur. Di dalam tanah, S organik dibedakan menjadi 3 kelompok penting yaitu (1) S diikat sebagai ester, (2) S terikat langsung dengan atom C, dan (3) S residual.

i. Sulfat – S ester

Sulfur disini tidak terikat langsung oleh atom C, tetapi dalam bentuk ester sulfat dan eter, seperti C-O-S, C-N-S, dan C-S-S. Sulfur dalam bentuk ini dapat direduksi oleh HI menjadi H_2S . Contohnya adalah senyawa arilsulfat, dan alkilsulfat. Kelompok ini menyusun antara 27%-90% atau rata rata sekitar 50% total S organik.

ii. Sulfur Terikat Langsung Atom Karbon.

Sulfur yang terikat langsung, contohnya seperti pada senyawa asam amino sistein dan metionin. Ia juga dapat berupa alin, seperti sulfoksida, sulfon, dan sulfenik, dan menyusun antara 10%-20% total S organik.

iii. Sulfur Residual

Sulfur residual meliputi semua senyawa S yang tidak masuk ke dalam 2 kelompok S yang lain, . Kelompok ini tidak begitu penting dalam nutrisi tanaman, meskipun menyusun 30%-40% total S organik tanah, karena sifatnya yang stabil.

6. 3. 4 Kehilangan Sulfur Tanah

Kehilangan S dari tanah dapat dikarenakan oleh: (1) erosi tanah terutama pada lapisan tanah permukaan. (2) pelindian sebagai sulfat terutama pada tanah berpasir, dan (3) menguap sebagai gas SO terutama pada kondisi tanah anaerobik.

6. 3. 5 Sulfur Dalam Nutrisi Tanaman

Tanaman memerlukan S sebanyak unsur P, yakni sekitar 0, 1 % - 0, 5% yang terdistribusi ke seluruh bagian tanaman. Kandungan S tinggi dijumpai pada tanaman yang menghasilkan minyak mustard dengan bau dan rasa yang khas pada jenis-jenis tanaman dari keluarga Cruciferae, seperti kubis, kol, kale, dan tanaman keluarga Liliaceae, seperti bawang merah (*Allium ascalonicum*), bawang putih (*Amaranthus spinosus*), asparagus (*Asparagus racemosus*), dan banyak tanaman bunga yang lain. Rasa dan bau khas pada tanaman kedua keluarga tanaman tersebut adalah akibat adanya senyawa-senyawa S yang mudah menguap.

Sulfur merupakan penyusun penting semua protein, beberapa hormon tanaman, vitamin (tiamin dan biotin), dan enzim (proteolitik), glikosida minyak-mustard dan glutasi, dan esensial untuk pembentukan klorofil. Kandungan S pada protein tanaman (sebagai asam amino sistin, metionin, dan sistein) tidak lebih dari 2%. Salah satu fungsi utama S di dalam pembentukan protein adalah pembentukan ikatan formaldehida (--S-S-S--) antara rantai polipeptida di dalam protein. Ikatan tersebut penting di dalam menentukan konfigurasi dan sifat-sifat katalitik atau struktur protein. Hormon tanaman yang mengandung S tiamin dan biotin bertindak sebagai zat pengatur tumbuh tanaman dan juga penting dalam nutrisi hewan.

Sulfur diperlukan untuk sintesis ko-enzim A , yang terlibat di dalam oksidasi dan sintesis asam lemak, sintesis

asam amino, dan oksidasi bahan antara, dalam daur asam sitrat. Sulfur juga berpengaruh terhadap beberapa proses lain di dalam tanaman. sulfur dibutuhkan dalam perkembangan bintil akar tanaman legum, berikut fiksasi N nya. Ini karena S merupakan bagian dari feredoksin, protein Fe-S di dalam kloroplas yang mempunyai peran penting di dalam asimilasi N_2 oleh bakteri bintil akar dan bakteri penambat N yang hidup bebas di dalam tanah. Meskipun bukan merupakan penyusun, S tampaknya juga berpengaruh pada pembentukan klorofil, yang ditunjukkan oleh warna kuning pada tanaman yang kahat S. Pigmen antosianin berkembang pada beberapa jenis tanaman kahat S menunjukkan bahwa S juga berpengaruh terhadap sintesis karbohidrat.

6. 3. 6 Kekahatan Sulfur

Gejala gejala kekahatan S pada tanaman umumnya menyerupai kekahatan N. Berbeda dengan N, unsur S kurang mobil dibandingkan dengan N, sehingga tanaman yang kahat S memiliki daun muda berwarna kuning pucat, sementara daun tua masih hijau. Klorosis sering kali lebih parah pada daun tua, tetapi pada beberapa jenis tanaman seperti jeruk, tembakau, dan kapas, kondisi lebih parah ditunjukkan oleh bagian tanaman yang baru tumbuh (muda). Perbedaannya dengan kekahatan N, daun yang mengalami klorosis parah tidak die-back pada fase awal kekahatan, dan tidak menunjukkan pola tertentu. Pada tanaman legum, kekahatan S sering mengakibatkan terhambatnya pembentukan bintil akar.

Pada tanaman sayuran seperti kubis, gejala kekahatan hara mula mula terlihat warna kemerahan pada sisi bawah daun. Jika kekahatan terus berlangsung pada tanaman kubis, terjadi perubahan daun berwarna merah dan ungu pada kedua sisi, daun daun berbentuk mangkok melipat keatas, ukuran daunnya berkurang menjadi menggulung kearah permukaan daun, daun kaku dan mudah rapuh, dan menunjukan klorosis. Pada kondisi parah, daunnya gugur dan akhirnya pucuk tanaman mati.

Sulfur dapat meracun tanaman, terutama berupa sulfur dioksida (SO_2) diatmosfer, meskipun kadarnya hanya 1ppm. Keracunan tanaman dapat juga terjadi akibat tngginya kandungan garam garam sulfat larut, terutama didaerah kering atau sangat kering.

BAB 7

NUTRIENT DEFICIENCY

IN PLANT

Kualitas pertumbuhan dan perkembangan tanaman ditentukan oleh asupan nutrisi atau unsur hara yang dibutuhkan. Seperti halnya manusia dan makhluk hidup lainnya, tanaman membutuhkan asupan nutrisi yang cukup dan seimbang agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik serta menghasilkan buah yang berkualitas. Nutrisi tanaman atau unsur hara yang diperlukan tanaman terdiri dari dua jenis, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro terdiri dari unsur nitrogen (N), phosphor / fosfor (P), kalium (K), magnesium (Mg), kalsium (Ca) dan belerang/sulfur (S). Sedangkan unsur hara mikro yang dibutuhkan oleh tanaman antara lain boron (B), tembaga (Cu), seng (Zn), besi (Fe), molibdenum (Mo), mangan (Mn), khlor (Cl), natrium (Na), cobalt (Co), silicone (Si), dan nikel (Ni). Pada dasarnya di dalam tanah sudah tersedia berbagai jenis unsur hara, namun ketersediaanya tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Oleh sebab itu dalam kegiatan budidaya tanaman diperlukan penambahan unsur hara yang berupa pupuk, baik pupuk kimia maupun pupuk organik. Sumber unsur hara mikro biasanya berupa pupuk padat atau cair yang diaplikasikan pada

akar tanaman, baik dengan cara pemberian pupuk dasar maupun pupuk susulan. Sedangkan sumber unsur hara mikro berupa pupuk daun yang diaplikasikan melalui penyemprotan.

Akan tetapi terkadang pemberian pupuk tidak seimbang atau tidak sesuai dengan kebutuhan sehingga timbul gejala kekurangan unsur hara. Defisiensi atau kekurangan unsur hara mengakibatkan pertumbuhan tanaman yang tidak normal, pertumbuhan kerdil, daun tanaman berukuran kecil dan berubah warna serta tanaman tidak mampu menghasilkan buah. Sebenarnya gejala kekurangan unsur hara dapat diketahui segera karena secara visual dapat terlihat dengan jelas perubahan fisik tanaman. Gejala kekurangan unsur hara dapat diketahui dengan adanya perubahan fisik pada daun tanaman, seperti perubahan bentuk dan warna daun. Namun jika tidak memiliki pengetahuan dan pengalaman yang memadai, identifikasi kekurangan unsur hara pada daun seringkali membingungkan karena defisiensi beberapa unsur hara memiliki kemiripan yang sulit dibedakan.

Adapun terdapat 5 Type Kekurangan / Defisiensi Unsur Hara

Secara umum gejala kekurangan (defisiensi) unsur hara pada daun tanaman dibedakan menjadi 5 tipe yaitu ;

- a) . Klorosis ; yaitu keadaan jaringan tumbuhan, khususnya pada daun, yang mengalami kerusakan atau gagalnya pembentukan klorofil sehingga daun berubah warna menjadi kuning atau pucat hampir putih yang munculnya seragam.

- b) . Nekrosis ; yaitu kerusakan yang disebabkan adanya kerusakan pada sel atau kerusakan bagian sel daun, gejala nekrosis muncul pada tepi daun atau ujung daun.
- c) . Kurangnya pertumbuhan baru ; yaitu terhentinya pertumbuhan baru, baik pada tunas maupun daun. Hal ini bisa mengakibatkan kematian pada bagian ujung atau tunas dan daun, dieback atau rosetting.
- d) . Akumulasi antosianin ; yaitu timbulnya warna merah, biru dan ungu pada semua bagian daun dan batang. Antosianin adalah satu pigmen fenolik yang terekspresi sebagai karakter warna merah, biru dan ungu, terdapat pada vakuola sel. Sintesis antosianin terjadi selama pertumbuhan daun, senesens, dan pada saat tanaman merespons cekaman abiotik (Sukartini dan Jawal, 2009).
- e) . Stunting ; pertumbuhan tanaman kerdil dengan warna hijau normal atau hijau tua atau kuning.

Secara normal, defisiensi (kekurangan) suatu unsur hara atau elemen nutrisi pada tanaman akan menghasilkan karakteristik kekurangan nutrisi yang mungkin hanya bisa diperbaiki dengan aplikasi elemen tersebut. Misalnya gejala kekurangan unsur nitrogen (N) akan menghasilkan karakteristik daun yang berwarna kuning karena kekurangan klorofil, gejala ini bisa diatasi dengan pemberian pupuk yang mengandung unsur nitrogen. Seperti yang sudah disebutkan diatas, jika tidak jeli dan tidak memiliki pengetahuan yang memadai identifikasi defisiensi beberapa unsur hara yang terjadi secara bersamaan akan sulit dibedakan karena gejala menjadi lebih kompleks.

Berikut ini contoh Gejala Visual Defisiensi Unsur Hara pada Daun Tomat:

1. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Nitrogen (N)



Gejala kekurangan unsur hara nitrogen (N)

Ciri-ciri : tanaman yang kekurangan unsur nitrogen dapat diidentifikasi dengan memperhatikan daun bagian bawah. Daun pada bagian bawah tersebut berwarna kuning karena kekurangan klorofil atau zat hijau daun, lama kelamaan daun akan mengering dan gugur. Tulang daun dibawah permukaan daun muda akan tampak pucat, pertumbuhan tanaman lambat, kerdil dan lemah. Akibatnya tanaman tidak akan tumbuh normal, produksi bunga dan biji atau buah rendah bahkan tidak mampu memproduksi sama sekali.

Kekurangan unsur nitrogen (N) dapat diatasi dengan pemberian pupuk yang mengandung unsur nitrogen, misalnya urea, ZA, KNO₃ atau dengan penyemprotan pupuk daun yang memiliki kandungan nitrogen tinggi. Perlu diingat bahwa pemberian pupuk nitrogen juga tidak boleh berlebihan.

Kelebihan unsur nitrogen menyebabkan tanaman menjadi rentan terserang jamur dan bakteri, mudah roboh, batang mudah patah, pembungaan lambat, produksi bunga dan buah menurun.

2. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Fosfor (P)



Gejala kekurangan unsur fosfor (P)

Ciri-ciri: kekurangan unsur fosfor terlihat dengan munculnya warna merah keunguan pada bagian bawah daun, terutama tulang daun. Daun terpelintir, tepi daun, batang dan cabang juga berwarna ungu karena pembentukan antosianin. Gejala kekurangan unsur P diawali pada daun-daun tua yang berubah warna menjadi keunguan dan cenderung kelabu. Tepi daun menjadi coklat, tulang daun muda berwarna hijau gelap. Tepi daun seperti hangus terbakar, pertumbuhan daun kecil, kerdil, dan akhirnya gugur. Pertumbuhan menjadi lambat dan tanaman kerdil. Kekurangan unsur fosfor mengakibatkan terhambatnya sistem perakaran dan pembuahan pada tanaman. Kelebihan P menyebabkan penyerapan unsur lain terutama unsur mikro seperti besi (Fe) , tembaga (Cu) , dan seng (Zn)

terganggu. Namun gejalanya tidak terlihat secara fisik pada tanaman.

Kekurangan atau defisiensi unsur fosfor (P) dapat diatasi dengan pemberian pupuk yang mengandung unsur phosphor, misalnya pupuk TSP, SP 18, SP 36 atau pupuk NPK.

3. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Kalium (K)



Gejala kekurangan unsur kalium (K)

Ciri-ciri ; Gejala kekurangan unsur K agak sulit dikenali karena jarang ditampakkan saat tanaman masih muda. Kekurangan unsur K ditandai dengan mengerutnya daun, terutama daun tua meskipun tidak merata. Tepi dan ujung daun menguning, kemudian menjadi bercak coklat. Bercak daun ini akhirnya gugur, sehingga daun tampak bergerigi dan akhirnya mati. Jika tanaman berbuah, maka buah yang terbentuk tidak sempurna, kecil, kualitasnya jelek, dan tidak tahan simpan. Kekurangan K terlihat dari daun paling bawah yang kering atau ada bercak hangus. Kekurangan unsur ini menyebabkan daun seperti terbakar dan akhirnya gugur. Bunga mudah rontok dan

gugur. Tepi daun 'hangus', daun menggulung ke bawah, dan rentan terhadap serangan penyakit.

Kekurangan unsur kalium bisa diatasi dengan pemberian pupuk yang mengandung unsur kalium (K), misalnya KCL, NPK, serta pupuk daun dengan kandungan K tinggi.

4. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Sulfur (S)



Gejala kekurangan unsur sulfur (S)

Ciri-ciri ; gejala kekurangan unsur sulfur atau belerang (S) ditandai dengan warna daun muda memudar atau klorosis, berubah menjadi hijau muda, kadang-kadang tampak tidak merata, menguning atau agak putih. Pertumbuhan tanaman menjadi terhambat, kerdil (stunted), berbatang pendek, dan kurus.

Jumlah S yang dibutuhkan oleh tanaman sama dengan jumlah fosfor (P). Kekahatan S menghambat sintesis protein dan hal inilah yang dapat menyebabkan terjadinya klorosis seperti tanaman kekurangan nitrogen. Kahat S lebih menekan

pertumbuhan tunas dari pada pertumbuhan akar. Gejala kahat S lebih nampak pada daun muda dengan warna daun yang menguning sebagai mobilitasnya sangat rendah di dalam tanaman (Haneklaus dan Penurunan kandungan klorofil secara drastis pada daun merupakan gejala khas pada tanaman yang mengalami kahat S . Kahat S menyebabkan terhambatnya sintesis protein yang berkorelasi dengan akumulasi N dan nitrat organik terlarut.

Cara penanganan kekurangan unsur S pada tanaman dilakukan dengan pemupukan menggunakan pupuk yang mengandung unsur S, misalnya ZA (S=20%), Phonska (S=10%), serta pupuk daun yang mengandung unsur S.

5. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Kalsium (Ca)



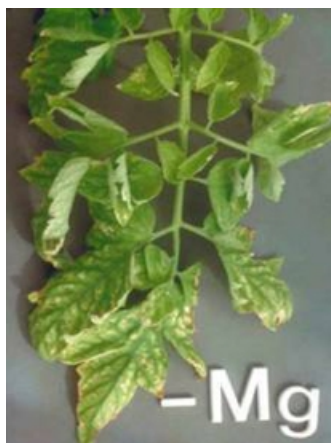
Gejala kekurangan unsur kalsium (Ca)

Ciri-ciri ; Gejala kekurangan kalsium ditunjukkan dengan munculnya gejala berupa matinya titik tumbuh pada pucuk dan akar, kuncup bunga dan buah gugur prematur, warna

buah yang tidak merata, buah retak-retak, misalnya pada tomat, tangkai bunga membusuk, terutama pada tomat dan cabai, buah kosong karena bijinya gagal terbentuk, misalnya pada kacang, daun muda berwarna cokelat dan terus menggulung, misalnya pada jagung, serta daun terpinil dan mengerut, terutama pada tembakau. Gejala kekurangan kalsium yaitu titik tumbuh lemah, terjadi perubahan bentuk daun, mengeriting, kecil, dan akhirnya rontok. Kalsium menyebabkan tanaman tinggi tetapi tidak kekar. Karena berefek langsung pada titik tumbuh maka kekurangan unsur ini menyebabkan produksi bunga terhambat. Bunga gugur juga efek kekurangan kalsium.

Cara mengatasi kekurangan kalsium bagi tanaman adalah dengan menambahkan kapur dolomit ($\text{Ca}=38\%$), kalsium karbonat ($\text{Ca}=90\%$), serta pupuk kalsium kandungan Ca 80-90%.

6. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Magnesium (Mg)



Gejala kekurangan unsur magnesium (Mg)

Ciri-ciri ; Muncul bercak-bercak kuning di permukaan daun tua. Hal ini terjadi karena Mg diangkut ke daun muda. Daun tua menjadi lemah dan akhirnya mudah terserang penyakit terutama embun tepung (powdery mildew). Kekurangan magnesium menyebabkan sejumlah unsur tidak terangkut karena energi yang tersedia sedikit. Yang terbawa hanyalah unsur berbobot 'ringan' seperti nitrogen. Akibatnya terbentuk sel-sel berukuran besar tetapi encer. Jaringan menjadi lemah dan jarak antar ruas panjang. Ciri-ciri ini persis seperti gejala etiolasi-kekurangan cahaya pada tanaman.

Magnesium adalah aktivator yang berperan dalam transportasi energi beberapa enzim di dalam tanaman. Unsur ini sangat dominan keberadaannya di daun , terutama untuk ketersediaan klorofil. Jadi kecukupan magnesium sangat diperlukan untuk memperlancar proses fotosintesis. Unsur itu juga merupakan komponen inti pembentukan klorofil dan enzim di berbagai proses sintesis protein.

Penanganan kekurangan magnesium adalah dengan menambahkan pupuk kieserite, kapur dolomite ($Mg= 18\%$) serta pupuk daun yang mengandung unsur Mg.

7. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Besi (Fe)



Gejala kekurangan unsur besi (Fe)

Ciri-ciri ; Kekurangan besi ditunjukkan dengan gejala klorosis dan daun menguning atau nekrosa. Daun muda tampak putih karena kurang klorofil.

Selain itu terjadi karena kerusakan akar. Jika adenium dikeluarkan dari potnya akan terlihat potongan-potongan akar yang mati. Gejala kekurangan Fe ditandai dengan warna kuning pada daun muda, pertumbuhan tanaman terhambat, daun berguguran mati pucuk, tulang daun yang berwarna hijau berubah kekuningan, kemudian memutih, pertumbuhan tanaman seolah terhenti.

Besi atau Fe merupakan unsur mikro bagi tanaman. Fe diserap dalam bentuk ion feri (Fe^{3+}) ataupun fero (Fe^{2+}). Fe pada tanaman sekitar 80% terdapat dalam kloroplas atau

sitoplasma. Fungsi lain dari Fe adalah pelaksana pemindahan elektron dalam proses metabolisme, misalnya reduksi N_2 , reduktase nitrat. Kekurangan Fe menyebabkan terhambatnya pembentukan klorofil dan akhirnya juga mempengaruhi penyusunan protein

Pemberian pupuk dengan kandungan Fe tinggi menyebabkan nekrosis yang ditandai dengan munculnya bintik-bintik hitam pada daun.

8. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Boron (B)



Gejala kekurangan unsur boron (B)

Ciri-ciri ; Daun berwarna lebih gelap dibanding daun normal , tebal , dan mengkerut. Gejala defisiensi hara ini adalah pertumbuhan tanaman terhambat pada jaringan meristematik (pucuk, akar), mati pucuk (die back), mobilitas rendah, buah yang sedang berkembang sangat rentan, mudah terserang penyakit. Pada tanaman bercabang, ruas tanaman memendek,

batang keropos, pembentukan cabang tumbuh sejajar berdampingan.

Fungsi boron dalam tanaman antara lain berperan dalam metabolisme asam nukleat, karbohidrat, protein, fenol, dan auksi. Di samping itu boron juga berperan dalam pembelahan, pemanjangan dan diferensiasi sel, permeabilitas membran, dan perkecambahan serbuk sari.

Boron memiliki kaitan erat dengan proses pembentukan , pembelahan dan diferensiasi , dan pembagian tugas sel. Hal ini terkait dengan perannya dalam sintesis RNA , bahan dasar pembentukan sel. Boron diangkut dari akar ke tajuk tanaman melalui pembuluh xylem. Di dalam tanah boron tersedia dalam jumlah terbatas dan mudah tercuci. Kekurangan boron paling sering dijumpai pada adenium. Cirinya mirip daun variegata.

9. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Tembaga (Cu)



Gejala kekurangan unsur tembaga (Cu)

Ciri-ciri ; Daun berwarna hijau kebiruan , tunas daun menguncup dan tumbuh kecil , pertumbuhan bunga terhambat. Gejala kekurangan tembaga ditandai dengan daun berwarna hijau kebiru-biruan, ujung daun layu secara tidak merata, kadang terjadi klorosis meski jaringannya tidak mati, pertumbuhan tanaman kerdil dan gagal membentuk bunga.

Kebanyakan tembaga terdapat dalam kloroplas(>50%) dan diikat oleh plastosianin. Tembaga berperan mengaktifkan enzim sitokrom-oksidadase , askorbit-oksidadase, asam butirat-fenolase dan laktase. Tembaga juga berperan dalam metabolisme protein dan karbohidrat, perkembangan generatif, fiksasi N secara simbiotis dan penyusunan lignin

Fungsi penting tembaga adalah aktivator dan membawa beberapa enzim. Dia juga berperan membantu kelancaran proses fotosintesis. Pembentuk klorofil , dan berperan dalam fungsi reproduksi. Kelebihan unsur tembaga (Cu) mengakibatkan tanaman tumbuh kerdil , percabangan terbatas , pembentukan akar terhambat , akar menebal dan berwarna gelap.

10. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Mangan (Mn)



Gejala kekurangan unsur mangan (Mn)

Ciri-ciri ; Gejala kekurangan unsur mangan ditandai dengan pertumbuhan tanaman kerdil, daun berwarna kekuningan atau kemerahan, jaringan daun di beberapa tempat mati

serta biji yang terbentuk tidak sempurna. Defisiensi unsur hara, atau kata lain kekurangan unsur hara, bisa menyebabkan pertumbuhan tanaman yg tidak normal dapat disebabkan oleh adanya defisiensi satu atau lebih unsur hara, gangguan dapat berupa gejala visual yang spesifik. Mangan (Mn) merupakan penyusun ribosom dan juga mengaktifkan polimerase, sintesis protein, karbohidrat. Berperan sebagai activator bagi sejumlah enzim utama dalam siklus krebs, dibutuhkan untuk fungsi fotosintetik yang normal dalam kloroplas, ada indikasi dibutuhkan dalam sintesis klorofil.

Defisiensi unsur Mn antara lain : pada tanaman berdaun lebar, interveinal chlorosis pada daun muda mirip kehahatan Fe tapi lebih banyak menyebar sampai ke daun yang lebih tua, pada serealia bercak-bercak warna keabu-abuan sampai kecoklatan dan garis-garis pada bagian tengah dan pangkal daun muda, split seed pada tanaman lupin.

Identifikasi Gejala defisiensi mangan bersifat relatif, seringkali defisiensi satu unsur hara bersamaan dengan kelebihan unsur hara lainnya. Di lapangan tidak mudah membedakan gejala-gejala defisiensi. Tidak jarang gangguan hama dan penyakit menyerupai gejala defisiensi unsur hara mikro. Gejala dapat terjadi karena berbagai macam sebab. Gejala dari defisiensi mangan memperlihatkan bintik nekrotik pada daun. Mobilitas dari mangan adalah kompleks dan tergantung pada spesies dan umur tumbuhan sehingga awal gejalanya dapat terlihat pada daun muda atau daun yang lebih tua. . Kekurangan mangan ditandai dengan menguningnya

bagian daun diantara tulang-tulang daun. Sedangkan tulang daun itu sendiri tetap berwarna hijau.

11. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Seng (Zn)



Gejala kekurangan unsur seng (Zn)

Ciri-ciri ; Gejala kekurangan seng ditandai dengan daun tua berwarna kekuningan atau kemerahan, daun berlubang, mengering dan akhirnya mati. Pertumbuhan lambat , jarak antar buku pendek , daun kerdil , mengkerut , atau menggulung di satu sisi lalu disusul dengan kerontokan. Bakal buah menguning, terbuka, dan akhirnya gugur. Buah pun akan lebih lemas sehingga buah yang seharusnya lurus membengkok.

Unsur seng berfungsi untuk mengaktifkan enzim anolase, aldolase, asam oksalat, dekarboksilase, lesitimase, sistein desulfhidrase, histidin deaminase, super okside demutase, dehidrogenase, karbon anhidrase, proteinase dan peptidase.

Unsur seng juga berperan dalam biosintesis auksin, pemanjangan sel dan ruas batang.

Kelebihan unsur seng (Zn) tidak menunjukkan dampak nyata pada tanaman. Hampir mirip dengan Mn dan Mg , sengat berperan dalam aktivator enzim , pembentukan klorofil dan membantu proses fotosintesis. Kekurangan biasanya terjadi pada media yang sudah lama digunakan.

12. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Molibdenum (Mo)



Gejala kekurangan unsur molibdenum (Mo)

Ciri-ciri ; kekurangan unsur molibdenum (Mo) ditunjukkan dengan munculnya klorosis di daun tua , kemudian menjalar ke daun muda.

Molibdenum (Mo) bertugas sebagai pembawa elektron untuk mengubah nitrat menjadi enzim. Unsur ini juga berperan dalam fiksasi nitrogen. Kelebihan tidak menunjukkan gejala yang nyata pada adenium. Cara penanganan kekurangan unsur mikro adalah dengan menambahkan pupuk organik yang tinggi,

pemberian pupuk organik cair untuk pemupukan susulan serta penyemprotan pupuk daun dengan kandungan mikro lengkap.

13. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Natrium (Na) atau Sodium

Ciri-ciri ; Daun-daun tanaman bisa menjadi hijau tua dan tipis. Tanaman cepat menjadi layu.

Unsur natrium atau sodium terlibat dalam osmosis (pergerakan air) dan keseimbangan ion pada tumbuhan. Salah satu kelebihan efek negatif Na adalah dapat mengurangi ketersediaan K.

14. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Cobalt (Co)

Kekurangan unsur cobalt (Co) dapat Mengurangi pembentukan hemoglobin dan fiksasi nitrogen. Cobalt jauh lebih tinggi untuk fiksasi nitrogen daripada amonium gizi. Tingkat kekurangan nitrogen dapat mengakibatkan gejala defisiensi.

15. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Nikel (Ni)

Kekurangan dari unsur Nikel pada tanaman akan menimbulkan kegagalan dalam menghasilkan benih yang layak. Unsur nikel (Ni) diperlukan untuk enzim urease untuk menguraikan urea dalam membebaskan nitrogen ke dalam bentuk yang dapat digunakan untuk tanaman. Nikel diperlukan untuk penyerapan zat besi. Benih perlu nikel untuk berkecambah. Tanaman tumbuh tanpa tambahan nikel akan berangsur-angsur mencapai tingkat kekurangan saat mereka dewasa dan mulai pertumbuhan reproduksi.

16. Ciri-ciri Tanaman Kekurangan Unsur Silicone (Si)

Si dapat meningkatkan hasil melalui peningkatan efisiensi fotosintesis dan menginduksi ketahanan terhadap hama dan penyakit. Ditemukan sebagai komponen dari dinding sel. Tanaman dengan pasokan silikon larut menghasilkan tanaman yang lebih kuat, meningkatkan panas dan kekeringan tanaman, toleransi silikon dapat disimpan oleh tanaman di tempat infeksi oleh jamur untuk memerangi penetrasi dinding sel oleh jamur menyerang. Kekurangan Silicon dapat mengakibatkan tanaman mudah terserang penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

.....

- Agustina L. 1990. *Nutrisi Tanaman*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Ambeger A. 2006. *Soil Fertility and Plant Nutrition in The Tropics and Subtropics*. Paris: International *Fertilizer Industry and International Potash Institute*
- Anonim. 2004. Principles and concept of soil fertility. <http://www.aglearn.net/isfm.Mod2.html>
- Armson KA. 1979. *Forest Soils: Properties and Processes*. Toronto: University of Toronto Press.
- Barber SA. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. New York: John Wiley & Sons
- Barbar SA. 1995. *Soil Nutrient Bioavaaailability. A Mechanistic Approach*. New York: John Wiley & Sons
- Bertch PM, Thomas GW. 1985. Potassium status of temperate region soils. In: Munson RD. (Ed). *Potassium on Agriculture*. Madison: American Society of Agronomy
- Bowen GD. 1984. Tree roots and use of soil nuatrients. In Bowen GD. Nambiar EKS. (Eds). *Nutrition of plantation forest*. London: Academic Press.
- Comerford NB. 2005. Soil factors affecting nurient bioavailability. p: 1-15. In H. Bassiri Rad (Ed). *Nutrient Acquisition by plants. An Ecologian Perspective*,

- Ecological Studies Co 181. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Foth HD, Ellis BG. 1997. *Soil fertility*. 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press.
- Havlin JL, Beaton JD, Nelson SL, Nelson WL. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. New Jersey Pearson Prentice Hall.
- Marschner H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press
- Tisdale SM, Nelson WL, Beaton JD. 1990. *soil fertility and fearatility*. New York: Maxmillan Publishing Company
- Prasad R, Power JF. 1997. *Soil Fertility Management For Sustainable Agriculture*. NewYork: CRC Lesi Public
- Jones Jr. JB. 1998. Plant Nutrition Manual. Boca Raton: CRC Press.
- Marschner H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London: Academic Press.
- O'Brien. 2009. Magnesium nutrition and Metalosate magnesium. Plant Nutrition News Letter 10 (1): 1-3

Profil Penulis

Dr. DEWI RATNA NURHAYATI, MP lahir 20 November



1963 di Semarang, mengawali studi S1 nya di Fakultas Pertanian UNS lulus tahun 1987. Pendidikan S2-nya diselesaikan tahun 2006 di Fakultas Teknologi Pangan UGM dan pendidikan S3 terselesaikan tahun 2016 di Fakultas Pertanian UGM.

Penulis kini aktif beraktivitas sebagai tenaga pengajar di Fakultas Pertanian UNISRI, yang telah dijalaninya sejak tahun 1988. Penulis yang memiliki hobi membaca, travelling, dan bertaman ini, kini juga mendapat amanah menjadi Dekan FP UNISRI masa bakti sampai 2023. Di sela-sela kesibukannya, penulis masih menyempatkan diri menulis berbagai buku hasil penelitian, yang umumnya bertema pertanian, sesuai dengan kapabilitasnya.