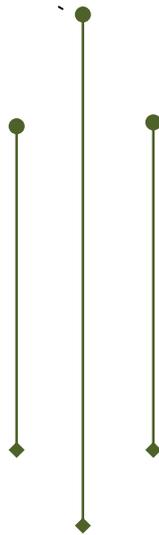
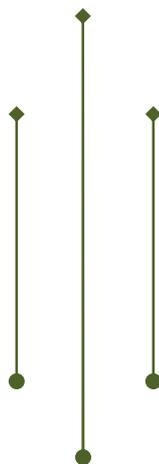


# TANAH SEBAGAI MEDIA TUMBUH



*Oleh :*

Ir. NI GUSTI KETUT RONI, M.Si



FAKULTAS PETERNAKAN  
UNIVERSITAS UDAYANA  
2015

## DAFTAR ISI

I. Media Tumbuh .....	1
II. Definisi dan Fungsi Tanah.....	3
III. Profil dan Komponen Tanah.....	7
IV. Sifat-sifat Tanah.....	9
V. Dasar Hubungan Tanah-Tanaman.....	18
VI. Kesuburan Tanah.....	20
VII. Pupuk dan Teknologi Pemupukan .....	23
Daftar Pustaka.....	32

# TANAH SEBAGAI MEDIA TUMBUH

## I. MEDIA TUMBUH

**Media tumbuh** atau media tanam merupakan komponen utama ketika akan bercocok tanam. Media tanam yang akan digunakan harus disesuaikan dengan jenis tanaman yang ingin ditanam. Menentukan media tanam yang tepat dan standar untuk jenis tanaman yang berbeda habitat asalnya merupakan hal yang sulit. Hal ini dikarenakan setiap daerah memiliki kelembaban dan kecepatan angin yang berbeda. Secara umum, media tanam harus dapat menjaga kelembaban daerah sekitar akar, menyediakan cukup udara, dan dapat menahan ketersediaan unsur hara.

Jenis media tanam yang digunakan pada setiap daerah tidak selalu sama. Di Asia Tenggara, misalnya, sejak tahun 1940 menggunakan media tanam berupa pecahan batu bata, arang, sabut kelapa, kulit kelapa, atau batang pakis. Bahan-bahan tersebut juga tidak hanya digunakan secara tunggal, tetapi bisa dikombinasikan antara bahan satu dengan lainnya. Misalnya pakis dan arang dicampur dengan perbandingan tertentu hingga menjadi media tanam baru. Pakis juga bisa dicampur dengan pecahan batu bata.

## RAGAM MEDIA TUMBUH

Untuk mendapatkan media tumbuh yang baik dan sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam, seorang hobiis harus memiliki pemahaman mengenai karakteristik media tanam yang mungkin berbeda-beda dari setiap jenisnya. Berdasarkan jenis bahan penyusunnya, media tanam dibedakan menjadi bahan organik dan anorganik.

Media tanam yang termasuk dalam kategori bahan organik umumnya berasal dari komponen organisme hidup, misalnya bagian dari tanaman seperti daun, batang, bunga, buah, atau kulit kayu. Penggunaan bahan organik sebagai media tanam jauh lebih unggul dibandingkan dengan bahan anorganik. Hal itu dikarenakan bahan organik sudah mampu menyediakan unsur-unsur hara bagi tanaman. Selain itu, bahan organik juga memiliki pori-pori makro dan mikro yang hampir seimbang sehingga sirkulasi udara yang dihasilkan cukup baik serta memiliki daya serap air yang tinggi.

Bahan organik akan mengalami proses pelapukan atau dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Melalui proses tersebut, akan dihasilkan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), air ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dan mineral. Mineral yang dihasilkan merupakan sumber unsur hara yang dapat

diserap tanaman sebagai zat makanan. Namun, proses dekomposisi yang terlalu cepat dapat memicu kemunculan bibit penyakit. Untuk menghindarinya, media tanam harus sering diganti. Oleh karena itu, penambahan unsur hara sebaiknya harus tetap diberikan sebelum bahan media tanam tersebut mengalami dekomposisi. Beberapa jenis bahan organik yang dapat dijadikan sebagai media tanam di antaranya arang, cacahan pakis, kompos, moss, sabut kelapa, pupuk kandang, dan humus.

Bahan anorganik adalah bahan dengan kandungan unsur mineral tinggi yang berasal dari proses pelapukan batuan induk di dalam bumi. Proses pelapukan tersebut diakibatkan oleh berbagai hal, yaitu pelapukan secara fisik, biologi-mekanik, dan kimiawi. Berdasarkan bentuk dan ukurannya, mineral yang berasal dari pelapukan batuan induk dapat digolongkan menjadi 4 bentuk, yaitu kerikil atau batu-batuan (berukuran lebih dari 2 mm), pasir (berukuran 50 $\mu$ -2 mm), debu (berukuran 2-50 $\mu$ ), dan tanah liat (berukuran kurang dari 2 $\mu$ ). Selain itu, bahan anorganik juga bisa berasal dari bahan-bahan sintetis atau kimia yang dibuat di pabrik. Beberapa media anorganik yang sering dijadikan sebagai media tanam yaitu gel, pasir, kerikil, pecahan batu bata, spons, tanah liat, vermikulit, dan perlit.

Sebagian besar media tanam yang telah disebutkan di atas umumnya peruntukkannya hanya untuk penanaman tanaman skala kecil terutama hobi. Untuk budidaya tanaman skala besar apalagi untuk tanaman makanan ternak rasanya tidak mungkin hanya menggunakan media-media tanam tersebut, sehingga tanah merupakan pilihan utama. Media tanah merupakan media alamiah tanaman sebagai tempat untuk melangsungkan hidup.

## **KELEBIHAN DAN KELEMAHAN TANAH SEBAGAI MEDIA TUMBUH**

### **Kelebihan Tanah dibanding Media Tanam Lain**

- Lebih kuat dalam menyangga tanaman
- Dapat menyediakan unsur hara
- Dapat mengatur ketersediaan air
- Filter dari kontaminan
- Tempat hidup biota yang menghasilkan unsur yang berguna bagi tanaman

### **Kelemahan Tanah dibanding Media Tanam Lain**

- Tanah dijamin sekarang ini sulit didapat apalagi di kota-kota besar
- Pengolahannya memakan biaya yang besar
- Penggunaan pupuk kurang efisien dibanding dengan media lain
- Tempat hidup biota yang bisa merugikan tanaman

## **UPAYA KONSERVASI TANAH**

1. Memberi pupuk / pemupukan sesuai dengan jenis tanah baik pupuk kandang maupun pupuk buatan.
2. Membuat saluran irigasi untuk pengairan sawah yang jauh dari mata air.
3. Membuat sengkedan untuk mencegah erosi tanah.
4. Menjaga tanah dari penggunaan zat / bahan-bahan kimia yang merugikan.
5. Menanami lahan yang gundul untuk membantu terjadinya erosi.
6. Melakukan rotasi tanaman alias gonta-ganti jenis tanaman yang ditanam pada suatu bidang tanah.
7. Melaksanakan penghijauan dengan cara memberi humus pada tanah.
8. Memelihara cacing tanah dalam tanah untuk membantu mengemburkan tanah.
9. Tidak membuang sampah sembarangan di tanah

## **II. DEFINISI DAN FUNGSI TANAH**

Dalam kehidupan sehari-hari tanah tidak terlepas dari pandangan, sentuhan dan perhatian kita. Kita melihatnya, menginjaknya, menggunakannya dan memperhatikannya. Kita tergantung dari tanah dan begitu juga tanah-tanah yang baik dan subur tergantung dari cara kita menggunakannya.

### **Definisi Tanah**

Secara umum tanah dapat dipelajari dengan pendekatan pedologi dan pendekatan edaphologi. Ilmu yang mempelajari proses-proses pembentukan tanah beserta faktor-faktor pembentuknya, klasifikasi tanah, survai tanah, dan cara-cara pengamatan tanah di lapang disebut "Pedologi". Dalam hal ini tanah dipandang sebagai suatu benda alam yang dinamis dan tidak secara khusus dihubungkan dengan pertumbuhan tanaman. Walaupun demikian penemuan-penemuan dalam bidang pedologi akan sangat bermanfaat pula dalam bidang pertanian maupun non pertanian misalnya pembuatan bangunan (teknik sipil).

Apabila tanah dipelajari dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman disebut "edaphologi". Dalam edaphologi yang dipelajari adalah sifat-sifat tanah dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman, serta usaha-usaha yang perlu dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah (fisik, kimia dan biologi), bagi pertumbuhan tanaman seperti pemupukan pengapuran dan lain-lain.

### **1. Pendekatan Pedologi (Dokuchaev, 1870)**

Pendekatan Ilmu Tanah sebagai Ilmu Pengetahuan Alam Murni. Kata Pedo=gumpal tanah. Tanah adalah bahan padat (mineral atau organik) yang terletak dipermukaan

bumi, yang telah dan sedang serta terus mengalami perubahan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor Bahan Induk, Iklim, Organisme, Topografi, dan Waktu.

## 2. Pendekatan Edaphologis (Jones dari Cornell University Inggris)

Kata Edaphos = bahan tanah subur. Tanah adalah media tumbuh tanaman.

### Perbedaan Pedologis dan Edaphologis

#### 1. Kajian Pedologis:

Mengkaji tanah berdasarkan dinamika dan evolusi tanah secara alamiah atau berdasarkan Pengetahuan Alam Murni. Kajian ini meliputi: Fisika Tanah, Kimia Tanah, Biologi tanah, Morfologi Tanah, Klasifikasi Tanah, Survei dan Pemetaan Tanah, Analisis Bentang Lahan, dan Ilmu Ukur Tanah.

#### 2. Kajian Edaphologis:

Mengkaji tanah berdasarkan peranannya sebagai media tumbuh tanaman. Kajian ini meliputi: Kesuburan Tanah, Konservasi Tanah dan Air, Agrohidrologi, Pupuk dan Pemupukan, Ekologi Tanah, dan Bioteknologi Tanah.

### Paduan antara Pedologis dan Edaphologis:

Meliputi kajian: Pengelolaan Tanah dan Air, Evaluasi Kesesuaian Lahan, Tata Guna Lahan, Pengelolaan Tanah Rawa, Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan.

### Definisi Tanah (Berdasarkan Pengertian yang Menyeluruh)

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang secara fisik, kimia dan biologi secara integral mampu menunjang produktivitas tanaman untuk menghasilkan biomassa dan produksi baik tanaman pangan, pakan, obat-obatan, industri, perkebunan, maupun kehutanan.

- Secara fisik berfungsi sebagai tempat tumbuh & berkembangnya perakaran penopang tegak tumbuhnya tanaman dan menyuplai kebutuhan air dan udara;
- Secara kimiawi berfungsi sebagai gudang dan penyuplai hara atau nutrisi (senyawa organik dan anorganik sederhana dan unsur-unsur esensial seperti: N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn, B, Cl);
- Secara biologi berfungsi sebagai habitat biota (organisme) yang berpartisipasi aktif dalam penyediaan hara tersebut dan zat-zat aditif (pemacu tumbuh, proteksi) bagi tanaman.

Dalam bidang pertanian, tanah memiliki arti yang lebih khusus dan penting sebagai media tumbuh tanaman darat. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan bercampur dengan sisa

bahan organik dari organisme (vegetasi atau hewan) yang hidup di atasnya atau di dalamnya. Selain itu di dalam tanah terdapat pula udara dan air yang berasal dari hujan yang ditahan oleh tanah sehingga tidak meresap ke tempat lain. Dalam proses pembentukan tanah, selain campuran bahan mineral dan bahan organik terbentuk pula lapisan-lapisan tanah yang disebut horizon. Dengan demikian tanah (dalam arti pertanian) dapat didefinisikan sebagai kumpulan benda alam di permukaan bumi yang tersusun dalam horizon-horizon, terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air dan udara, dan merupakan media tumbuhnya tanaman.

## Fungsi Tanah

### Fungsi-fungsi Tanah Sebagai Sumberdaya Alam

-  unsur produksi pertanian
-  unsur pengatur tata air → siklus hidrologi
-  unsur perlindungan alam/lingkungan
-  unsur teknik bangunan/infrastruktur

### Fungsi-fungsi Tanah menurut Karlen *et al.*, 1997

- Mendukung aktivitas biologi, keanekaragaman hayati dan produktivitas
- Mengatur tataair dan aliran lautan
- Sebagai saringan, buffer, degradator, detoksifikator senyawa anorganik dan organik, termasuk limbah industri, rumah tangga dan limbah atmosfer;
- Menyimpan dan mendaur ulang hara dan unsur lain didalam biosfer;
- Mendukung bangunan dan melindungi kekayaan arkeologi.

### Fungsi Tanah sebagai Faktor Produksi Tanaman :

#### 1. Tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran tanaman

Akar-akar tanaman tumbuh, berkembang dan melakukan aktivitasnya di dalam tanah. Akar melakukan kegiatan fisik, kimia dan biologi di dalam tanah sehingga dapat terus tumbuh dan berkembang ke lapisan tanah yang lebih dalam agar dapat menopang tumbuhnya bagian tanaman di atas tanah.

#### 2. Penyedia kebutuhan primer tanaman (air, udara, dan unsur-unsur hara)

Untuk mendukung produktivitasnya tanaman membutuhkan air, udara, dan unsur-unsur hara yang dapat diambil dari dalam tanah. Air, udara dan unsur-unsur hara sangat dibutuhkan tanaman dalam kegiatan metabolismenya untuk dapat melangsungkannya proses-proses kehidupan tanaman. Tanpa air, udara dan unsur-unsur hara, tanaman tidak dapat tumbuh.

3. Penyedia kebutuhan sekunder tanaman

- ✓ zat-zat pemacu tumbuh: hormon, vitamin, dan asam-asam organik;
- ✓ antibiotik dan toksin anti hama;
- ✓ enzim yang dapat meningkatkan kesediaan hara

Senyawa-senyawa tersebut terbentuk karena adanya proses-proses yang terjadi di dalam tanah baik yang dihasilkan oleh tanaman itu sendiri, mikroba tanah maupun komponen-komponen tanah lainnya.

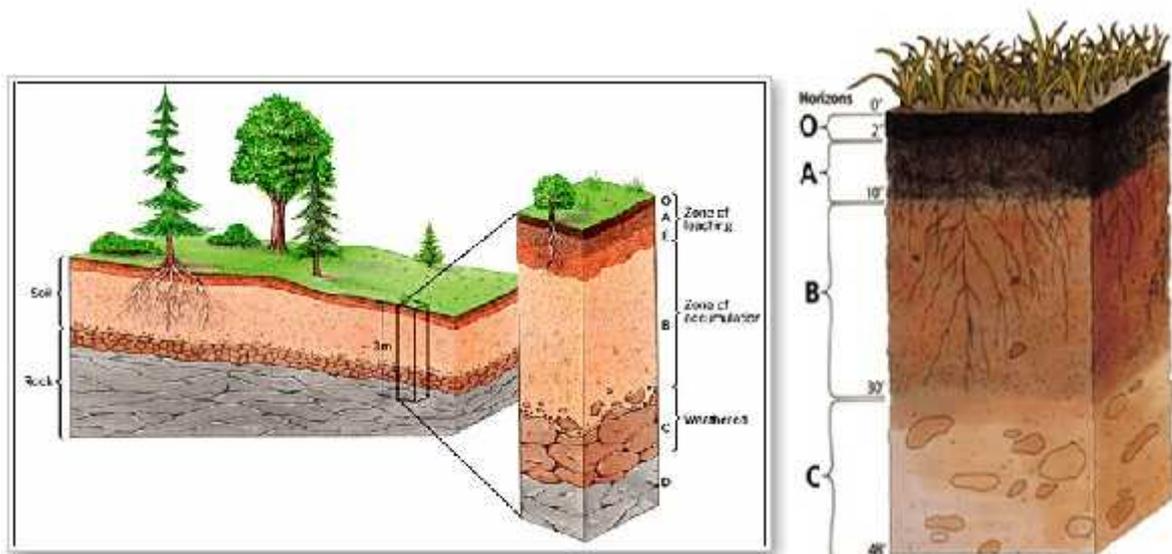
4. Sebagai habitat biota tanah

Di dalam tanah hidup berbagai jenis organisme baik yang berdampak positif karena terlibat langsung atau tak langsung dalam penyediaan kebutuhan primer dan sekunder tanaman tersebut, maupun yang berdampak negatif karena merupakan hama & penyakit tanaman.

### III. PROFIL DAN KOMPONEN TANAH

#### Profil Tanah

Jika tanah digali sampai kedalaman tertentu, dari penampang vertikalnya dapat dilihat gradasi warna yang membentuk lapisan-lapisan (horison) atau biasa disebut profil tanah (Gambar 1).



Gambar 1. Profil tanah

Keterangan:

O : Serasah / sisa-sisa tanaman (Oi) dan bahan organik tanah (BOT) hasil dekomposisi serasah (Oa)

A : Horison mineral ber BOT tinggi sehingga berwarna agak gelap

E : Horison mineral yang telah tereluviasi (tercuci) sehingga kadar (BOT, liat silikat, Fe

- dan Al) rendah tetapi pasir dan debu kuarsa (seskuoksida) dan mineral resisten lainnya tinggi, berwarna terang
- B : Horison illuvial atau horison tempat terakumulasinya bahan-bahan yang tercuci dari horison di atasnya (akumulasi bahan eluvial).
- C : Lapisan yang bahan penyusunnya masih sama dengan bahan induk (R), belum terjadi perubahan atau sedikit terlapuk
- R atau D: Bahan Induk tanah

Profil Tanah adalah irisan vertikal tanah dari lapisan paling atas hingga ke batuan induk tanah. Profil dari tanah yang berkembang lanjut biasanya memiliki horison-horison sbb: O – A – E – B – C – R. Solum Tanah terdiri dari: O – A – E – B, atau A – B tergantung profil tanah. Lapisan Tanah Atas meliputi: O – A. Lapisan Tanah Bawah : E – B.

Di tanah hutan yang sudah matang terdapat tiga horison penting yaitu horison A, B dan C Horison A atau **Top Soil** adalah lapisan tanah paling atas yang paling sering dan paling mudah dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor biologis. Pada lapisan ini sebagian besar bahan organik terkumpul dan mengalami pembusukan. Horison B disebut juga dengan **zona penumpukan** (*illuvation zone*). Horison ini memiliki bahan organik yang lebih sedikit tetapi lebih banyak mengandung unsur yang tercuci daripada horizon A. Horison C adalah zona yang terdiri dari batuan terlapuk yang merupakan bagian dari batuan induk. Kegiatan pertanian umumnya berada pada horison A dan B.

## **Komponen Tanah**

Tanah disusun oleh empat bahan utama yaitu bahan mineral, bahan organik, air dan udara.

- (1) Bahan Padatan berupa bahan mineral 45 %
- (2) Bahan Padatan berupa bahan organik 5%
- (3) Air 20-30 %
- (4) Udara 20-25 %

### Bahan mineral

Bahan mineral di dalam tanah berasal dari pelapukan batu-batuan. Oleh karena itu susunan mineral di dalam tanah berbeda-beda sesuai dengan susunan mineral batuan yang dilapuk. Mineral yang berasal dari batuan vulkanik umumnya banyak mengandung unsur hara, sedangkan mineral yang berasal dari batuan endapan dan metamorfosa umumnya rendah kandungan unsur haranya. Bahan mineral di dalam tanah terdapat dalam berbagai ukuran yaitu pasir (50  $\mu$  – 2 mm), debu (2  $\mu$  – 50  $\mu$ ), liat (< 2  $\mu$ ). Bahan mineral yang lebih

besar dari 2 mm terdiri dari kerikil, kerakal dan batu. Mineral tanah juga dapat dibedakan menjadi mineral primer dan sekunder. Mineral primer adalah mineral yang berasal langsung dari batuan yang dilapuk, sedangkan mineral sekunder adalah mineral bentukan baru yang terbentuk selama proses pembentukan tanah berlangsung. Mineral primer umumnya terdapat dalam fraksi pasir dan debu, sedangkan mineral sekunder umumnya terdapat dalam fraksi liat.

### Bahan Organik

Bahan organik umumnya ditemukan di permukaan tanah, jumlahnya tidak besar hanya sekitar 3-5 % tetapi pengaruhnya terhadap sifat-sifat tanah besar sekali. Bahan organik dalam tanah terdiri dari bahan organik kasar dan bahan organik halus atau humus. Humus berasal dari hancuran bahan organik kasaar serta senyawa-senyawa baru yang dibentuk dari hancuran bahan organik tersebut melalui kegiatan mikroorganisme di dalam tanah. Tanah yang banyak mengandung humus atau bahan organik adalah tanah-tanah lapisan atas atau *top soil*. Semakin ke lapisan bawah maka kandungan bahan organik semakin berkurang, sehingga tanah semakin kurus. Oleh karena itu, *top soil* perlu dipertahankan.

### Air

Air terdapat di dalam tanah karena ditahan (diserap) oleh masa tanah, tertahan oleh lapisan kedap air, atau karena keadaan drainase yang buruk. Baik kelebihan maupun kekurangan air dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Bagi tanaman, air berguna sebagai unsur hara, pelarut unsur hara, dan bagian dari sel-sel tanaman. Banyaknya air yang tersedia bagi tanaman adalah selisih antara kadar air pada kapasitas lapang dengan kadar air pada titik layu permanen. Kadar air kapasitas lapang menunjukkan jumlah air terbanyak yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya tarik gravitasi. Kadar air pada titik layu permanen adalah kandungan air tanah pada saat akar-akar tanaman mulai tidak mampu lagi menyerap air dari tanah, sehingga tanaman menjadi layu. Tanaman akan tetap layu baik pada siang maupun malam hari atau tetap layu bila telah dilakukan penyiraman.

### Udara

Udara dan air mengisi pori-pori tanah. Banyaknya pori-pori di dalam tanah kurang lebih 50% dari volume tanah, sedang jumlah air dan udara di dalam tanah berubah-ubah.

Pada tanah-tanah yang tergenang air semua pori-pori tanah diisi air, sedangkan pada tanah kering atau air ditemukan terutama pada pori-pori mikro dan udara mengisi pori-pori tanah yang tidak terisi air.

#### **IV. SIFAT-SIFAT TANAH**

Ada tiga sifat tanah yang berpengaruh terhadap produktivitasnya yaitu sifat fisik, kimia dan biologi. Sifat fisik tanah yang terpenting adalah : solum, tekstur, struktur, drainase, pori-pori tanah, dll. Sifat kimia tanah meliputi : kadar unsur hara tanah, reaksi tanah (pH), kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB), dan lain-lain, sedangkan sifat biologi tanah meliputi : flora dan fauna tanah (khususnya mikroorganisme penting : bakteri, fungi dan Algae), interaksi mikroorganisme tanah dengan tanaman (simbiosis) dan polusi tanah.

##### **Sifat fisik tanah**

###### Solum tanah

Solum tanah merupakan daerah jelajah akar, yang pada profil tanah ditunjukkan dengan horizon O-A-E-B, atau hanya A-B tergantung horizon penyusun profil tanah. Semakin dalam solum tanah, berarti semakin baik kemampuan tanah dalam mendukung produktivitas tanaman

###### Tekstur tanah

Tekstur tanah menunjukkan kasar halusnya tanah. Tanah terdiri dari butir-butir tanah dari berbagai ukuran. Bagian tanah yang berukuran lebih dari 2 mm disebut bahan kasar (kerikil sampai batu). Bahan-bahan tanah yang lebih halus dapat dibedakan menjadi pasir (2mm - 50  $\mu$ ), debu (50  $\mu$  - 2  $\mu$ ) dan liat (< 2  $\mu$ ). berdasarkan perbandingan banyaknya butir-butir pasir, debu dan liat, maka tanah dapat dikelompokkan ke dalam beberapa macam kelas tekstur yaitu

- Kasar : pasir, pasir berlempung
- Agak halus : lempung berpasir, lempung berpasir halus
- Sedang : lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu, debu
- Agak halus : lempung berliat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu
- Halus : liat berpasir, liat berdebu, liat.

Tekstur tanah dapat ditentukan di laboratorium dengan melakukan analisis tekstur tanah dan dapat juga di lapangan secara manual dengan memijit tanah lembab di antara jari-jari sambil dirasakan kasar halusnya yaitu dirasakan adanya butir-butir pasir, debu dan liat yaitu :

#### Pasir

- rasa kasar sangat jelas,
- tidak melekat,
- tidak dapat dibentuk bola dan gulungan

#### Pasir berlempung

- rasa kasar jelas
- Sedikit sekali melekat
- Dapat dibentuk bola yang mudah sekali hancur

#### Lempung berpasir

- Rasa kasar agak jelas
- Agak melekat
- Dapat dibuat bola mudah hancur

#### Lempung

- Rasa tidak kasar dan tidak licin
- Agak melekat
- Dapat dibentuk bola agak teguh, dapat sedikit dibuat gulungan dengan permukaan mengkilat

#### Lempung berdebu

- Rasa licin
- Agak melekat
- Dapat dibentuk bola agak teguh, gulungan dengan permukaan mengkilat

#### Debu

- Rasa licin sekali
- Agak melekat
- Dapat dibentuk bola agak teguh, dapat digulung dengan permukaan mengkilat

#### Lempung berliat

- Rasa agak licin
- Agak melekat
- Dapt dibentuk bola agak teguh, dapat dibentuk gulungan yang agak mudah hancur

#### Lempung liat berpasir

- Rasa halus dengan sedikit bagian agak kasar
- Agak melekat
- Dapat dibentuk bola agak teguh, dapat dibentuk gulungan mudah hancur

#### Lempung liat berdebu

- Rasa halus agak licin
- Melekat
- Dapat dibentuk bola teguh, mudah digulung

Liat berpasir

- Rasa halus, berat tetapi terasa sedikit kasar
- Melekat
- Dapat dibentuk bola teguh, mudah digulung

Liat berdebu

- Rasa halus, berat agak licin
- Sangat lekat
- Dapat dibentuk bola teguh, mudah digulung

Liat

- Rasa berat, halus
- Sangat lekat
- Dapat dibentuk bola dengan baik, mudah digulung

### Struktur Tanah

Struktur tanah merupakan gumpalan kecil dari butir-butir tanah. Gumpalan struktur ini terjadi karena butir-butir pasir, debu dan liat terikat satu sama lain oleh suatu perekat seperti bahan organik, oksida-oksida besi dan lain-lain. Gumpalan-gumpalan kecil ini mempunyai bentuk, ukuran, dan kemantapan (ketahanan) yang berbeda-beda. Menurut bentuknya struktur tanah dapat dibedakan menjadi :

Lempeng : sumbu vertical < sumbu horizontal. Ditemukan di horizon A atau pada lapisan padas liat

Prisma : sumbu vertical > sumbu horizontal, bagian atasnya rata. Ditemukan di horizon B tanah daerah iklim kering

Tiang : sumbu vertical > sumbu horizontal, bagian atasnya membulat. Ditemukan di horizon B tanah daerah iklim kering

Gumpal bersudut : seperti kubus dengan sudut-sudut tajam sumbu vertical=sumbu horizontal. Ditemukan di horizon B tanah daerah iklim basah

Gumpal membulat: seperti kubus dengan sudut-sudut membulat, sumbu vertical=sumbu horizontal. Ditemukan di horizon B tanah iklim basah

Granuler : bulat, porous. Ditemukan di horizon A

Remah : bulat sangat porous. Ditemukan di horizon A

Di daerah dengan curah hujan tinggi umumnya ditemukan struktur remah atau granuler di permukaan dan gumpal di horizon bawah. Di daerah kering sering dijumpai tanah dengan struktur tiang atau prisma di lapisan bawah.

Tanah dengan struktur baik (granuler, remah) mempunyai tata udara yang baik, unsur-unsur hara lebih mudah tersedia dan tanah mudah diolah. Struktur tanah yang baik adalah yang bentuknya membulat sehingga tidak dapat saling bersinggungan dengan rapat. Dengan demikian pori-pori tanah banyak terbentuk. Di samping itu, struktur tanah harus mantap (tidak mudah rusak) sehingga pori-pori tanah tidak cepat tertutup bila terjadi hujan.

### Drainase tanah

Air dapat hilang melalui permukaan tanah maupun melalui peresapan kedalam tanah. Mudah tidaknya air hilang dari tanah menentukan klas drainase tanah. Penentuan klas drainase di lapang dengan melihat adanya gejala-gejala pengaruh air dalam penampang tanah, antara lain warna pucat, kelabu, atau adanya bercak-bercak karatan.

- Warna pucat atau kelabu kebiru-biruan menunjukkan adanya pengaruh genangan air yang kuat sehingga merupakan petunjuk adanya tanah berdrainase buruk
- Adanya karatan menunjukkan bahwa udara masih dapat masuk ke dalam tanah setempat-setempat sehingga terjadi oksidasi di tempat tersebut dan terbentuk senyawa  $Fe^{3+}$  yang berwarna merah.
- Seluruh tanah umumnya berwarna merah atau coklat menunjukkan bahwa air tidak pernah menggenang sehingga tata udara dalam tanah selalu baik.

### Pori-pori Tanah

Pori-pori tanah adalah bagian tanah yang tidak terisi bahan padat tanah tapi terisi oleh air atau udara. Pori-pori tanah dapat dibedakan menjadi pori-pori kasar yang berisi udara atau air gravitasi, dan pori-pori halus yang berisi udara atau air kapiler. Pori-pori tanah dipengaruhi oleh:

- Kandungan bahan organik : pori-pori tanah tinggi kalau bahan organik tinggi
- Struktur tanah : tanah-tanah dengan struktur granuler atau remah mempunyai pori-pori yang lebih tinggi daripada struktur tanah lain
- Tekstur tanah : tanah dengan tekstur pasir banyak mempunyai pori-pori makro sehingga sulit menahan air.

## **Sifat Kimia Tanah**

### Kadar Unsur Hara Tanah

Untuk melangsungkan hidupnya tanaman memerlukan unsur-unsur hara yang dapat berasal dari tanah, air dan udara. Unsur hara yang sangat diperlukan oleh tanaman, fungsinya dalam tanaman tidak dapat digantikan oleh unsur lain, sehingga bila tidak terdapat dalam jumlah yang cukup dalam tanah, tanaman tidak dapat tumbuh dengan normal disebut dengan unsur hara esensial. Unsur hara esensial tersebut terdiri dari unsur hara makro yaitu C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, dan unsur hara mikro yaitu B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, dan Zn. Untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman yang maksimal diperlukan unsur-unsur hara dengan kadar yang cukup dan berimbang.

### Reaksi tanah (pH)

Reaksi tanah menunjukkan sifat kemasaman atau kebasaan tanah yang dinyatakan dengan nilai pH (potensial of Hidrogen). Nilai pH menunjukkan banyaknya ion Hidrogen ( $H^+$ ) di dalam tanah yaitu semakin tinggi kadar ion  $H^+$  di dalam tanah semakin rendah nilai pH, ini berarti semakin masam tanah tersebut. Di dalam tanah, selain ion hidrogen ( $H^+$ ) dan ion-ion lain ditemukan pula ion ( $OH^-$ ) yang jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya  $H^+$ . Pada tanah-tanah masam, jumlah ion  $H^+$  lebih tinggi daripada ion  $OH^-$ , sedangkan pada tanah alkalis kandungan  $OH^-$  lebih banyak daripada  $H^+$ . Bila kandungan  $H^+$  sama dengan  $OH^-$ , maka tanah bereaksi netral yaitu mempunyai pH = 7

Konsentrasi  $H^+$  atau  $OH^-$  di dalam tanah sebenarnya sangat kecil. Sebagai contoh misalnya tanah yang bereaksi netral kandungan ion  $H^+$  adalah 1/10.000.000 mole per liter atau  $10^{-7}$  mole per liter. Oleh karena itu, untuk memudahkan menyebut nilai-nilai pH maka telah ditentukan bahwa :

$$pH = \log 1/[H^+] = -\log [H^+]$$

untuk tanah bereaksi netral maka

$$\begin{aligned} pH &= \log 1/10^{-7} &= -\log 10^{-7} \\ & &= 7 \end{aligned}$$

Nilai pH berkisar dari 0 – 14 dengan pH 7 disebut netral sedangkan pH kurang dari 7 disebut masam dan pH lebih dari 7 disebut alkalis. pH tanah umumnya berkisar 3,0 – 9,0. Di Indonesia umumnya tanah bereaksi masam dengan pH 4,0-5,0 sehingga tanah dengan pH 6,0-6,5 sering telah dikatakan cukup netral meskipun sebenarnya cukup masam. pH

tanah < 3,0 sering ditemukan di daerah rawa-rawa, sedangkan pH tanah > 9,0 ditemukan di daerah yang sangat kering (arid)

### Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Kapasitas tukar kation adalah banyaknya kation (dalam miliekivalen) yang dapat dijerap oleh tanah per satuan berat tanah (biasanya per 100 gram). Kation adalah ion bermuatan positif seperti  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  dan sebagainya. Kation-kation yang telah dijerap oleh koloid-koloid tanah tersebut sukar tercuci oleh air gravitasi, tetapi dapat diganti oleh kation lain yang terdapat dalam larutan tanah. Bila tanah mempunyai KTK 1 me/100 g berarti setiap 100 g tanah mengandung  $6,02 \times 10^{20}$  muatan negatif.

Tanah-tanah dengan kandungan bahan organik atau dengan kadar liat tinggi mempunyai KTK lebih tinggi daripada tanah-tanah dengan kandungan bahan organik rendah atau tanah-tanah berpasir. Jenis-jenis mineral liat juga menentukan besarnya KTK tanah, misalnya tanah dengan mineral liat montmorilonit mempunyai KTK yang lebih rendah daripada tanah dengan mineral liat kaolinit. Tanah-tanah yang tua seperti tanah Oxisol mempunyai KTK rendah karena koloidnya banyak terdiri dari seskuioksida. Besarnya KTK digunakan sebagai penciri untuk klasifikasi tanah misalnya Oxisol harus mempunyai KTK < 16 me/100 g liat. Berikut ini merupakan nilai Kapasitas tukar kation beberapa koloid tanah. Humus mempunyai KTK yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mineral liat, yaitu sebagai berikut :

Humus	: 100 – 300	me/100g
Chlorit	: 10 – 40	me/100g
Montmorilonit	: 80 – 150	me/100g
Illit	: 10 – 40	me/100g
Kaolinit	: 3 – 15	me/100g
Haloisit $2\text{H}_2\text{O}$	: 5 – 10	me/100g
Haloisit $4\text{H}_2\text{O}$	: 40 – 50	me/100g
Seskuioksida	: 0 – 3	me/100g

KTK merupakan sifat kimia tanah yang sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Tanah dengan KTK tinggi mampu menjerap dan menyediakan unsur hara lebih baik daripada tanah dengan KTK rendah.

Akar tanaman juga mempunyai nilai KTK yaitu berkisar 10 – 30 me/100g untuk tanaman monokotil (misal rumput) dan 40 – 100 me/100 g untuk tanaman dikotil (misal legum). Legum dan species lain dengan KTK tinggi cenderung mengabsorpsi kation divalen

daripada kation monovalen. Hal sebaliknya terjadi pada rumput. Hal ini menjelaskan kenapa pada pastura campuran rumput-legum, dengan kandungan K rendah, rumput lebih survive tetapi legum lebih tertekan. Ini berarti rumput lebih efektif menyerap K daripada legum. Nilai KTK akar beberapa species tanaman :

species	KTK ( me/100 g BK akar)
Shorgum	23
Jagung	29
Kacang-kacangan	54
Tomat	62

Sumber : Havlin *et al.* 1999.

### Kejenuhan Basa (KB)

Kejenuhan Basa menunjukkan perbandingan antara jumlah kation-kation basa dengan jumlah semua kation (kation basa dan kation asam) yang terdapat dalam kompleks jerapan tanah. Termasuk ke dalam kation basa adalah  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ , dan  $\text{Na}^+$ , sedangkan yang termasuk ke dalam kation asam adalah  $\text{H}^+$ , dan  $\text{Al}^{3+}$

Kation-kation basa umumnya merupakan unsur hara yang diperlukan tanaman. Di samping itu, basa-basa umumnya mudah tercuci, sehingga tanah dengan kejenuhan basa tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut belum banyak mengalami pencucian dan merupakan tanah yang subur.

Tanah-tanah dengan kejenuhan basa rendah berarti kompleks jerapan lebih banyak diisi oleh kation-kation asam seperti  $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{H}^+$ . Apabila jumlah kation asam terlalu banyak, terutama  $\text{Al}^{3+}$ , dapat merupakan racun bagi tanaman. Keadaan seperti ini terdapat pada tanah-tanah masam.

Kejenuhan basa berhubungan erat dengan pH tanah, yaitu tanah-tanah dengan pH rendah umumnya mempunyai kejenuhan basa rendah, sedangkan tanah-tanah dengan dengan pH tinggi mempunyai kejenuhan basa yang tinggi pula.

## **Sifat Biologi Tanah**

### Flora dan Fauna Tanah

Di dalam tanah hidup berbagai jenis organisme yang dapat dibedakan menjadi jenis tumbuhan (flora) dan hewan (fauna). Flora dan fauna tersebut ada yang berukuran besar ada yang berukuran kecil. Organisme yang hidup dalam tanah ini ada yang bermanfaat, ada yang mengganggu, dan ada pula yang tidak bermanfaat tetapi juga tidak mengganggu. Tanah subur mengandung lebih dari 100 juta mikroba per gram tanah. Produktivitas dan daya dukung tanah tergantung pada aktivitas mikroba tersebut. Sebagian besar mikroba memiliki peranan yang menguntungkan bagi pertanian, yaitu berperan dalam menghancurkan limbah organik, recycling hara tanaman, fiksasi biologis nitrogen, pelarutan fosfat, merangsang pertumbuhan, biokontrol patogen dan membantu penyerapan unsur hara, mengubah senyawa beracun menjadi bermanfaat bagi tanaman, dan beberapa golongan actinomycetes dapat menghasilkan antibiotik. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah organisme yang menguntungkan di dalam tanah maka semakin subur tanah tersebut.

### Interaksi Mikroba Tanah dengan Tanaman

Interaksi antara mikroba tanah dengan tanaman dapat terjadi dalam bentuk simbiosis pada bagian akar-akar tanaman. Akar tanaman merupakan habitat yang baik bagi pertumbuhan mikroba. Interaksi antara bakteri dan akar tanaman akan meningkatkan ketersediaan nutrient bagi keduanya. Permukaan akar tanaman disebut rhizoplane. Sedangkan rhizosfer adalah selapis tanah yang menyelimuti permukaan akar tanaman yang masih dipengaruhi oleh aktivitas akar. Tebal tipisnya lapisan rhizosfer antar setiap tanaman berbeda. Rhizosfer merupakan habitat yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroba oleh karena akar tanaman menyediakan berbagai bahan organik yang umumnya menstimulir pertumbuhan mikroba. Mikroba di daerah perakaran terjamin hidupnya karena eksudat yang dihasilkan oleh akar tanaman, misalnya asam amino, asam organik, karbohidrat, faktor tumbuh, enzim dan senyawa-senyawa lain. Bahan-bahan tersebut berfungsi sebagai sumber energi, karbon, nitrogen dan faktor tumbuh bagi mikroba tanah. Mikroba dari golongan bakteri dan cendawan bersimbiosis dengan tanaman untuk penambatan Nitrogen dari udara, pelarutan dan penyerapan fosfor (P). Dalam simbiosis ini, mikroba mendapat sumber makanan dari tanaman, sedangkan tanaman mendapat nitrogen dan fosfor dari mikroba.

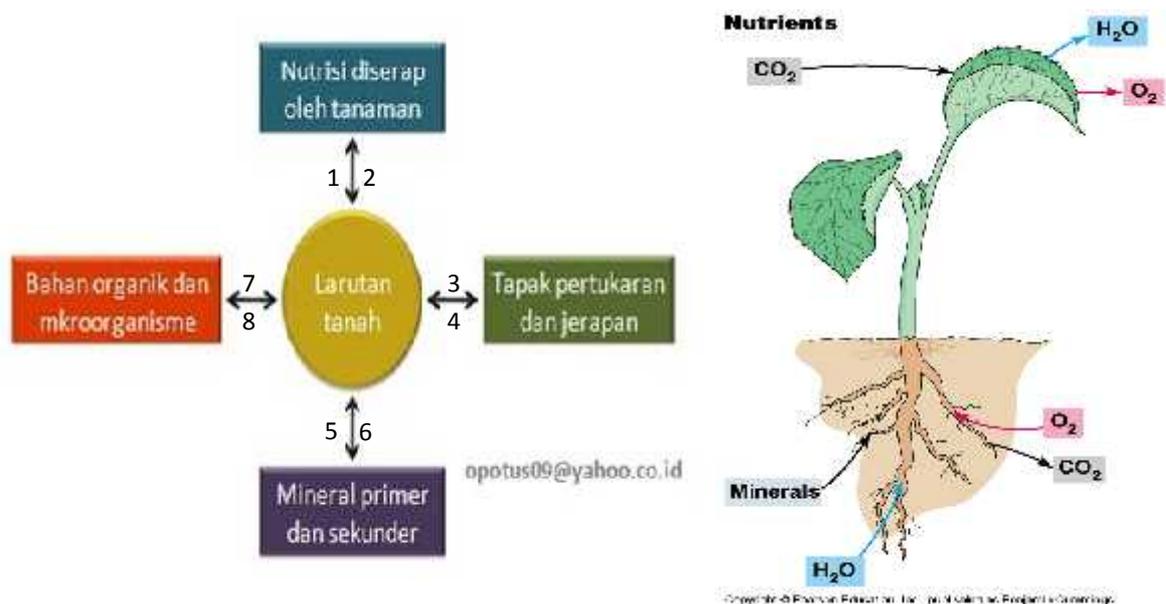
## Polusi (Pencemaran) Tanah

Pencemaran tanah terjadi akibat masuknya benda asing (misalnya senyawa kimia buatan manusia) ke tanah dan mengubah suasana/lingkungan asli tanah sehingga terjadi penurunan kualitas dan fungsi tanah. Pencemaran dapat terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial; penggunaan pestisida; masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan; kecelakaan kendaraan pengangkut minyak, zat kimia, atau limbah; air limbah dari tempat pembuangan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara sembarangan (*illegal dumping*).

Tingkat pencemaran dan kerusakan lingkungan di lingkungan pertanian dapat terjadi karena penggunaan agrokimia (pupuk dan pestisida) yang tidak proporsional. Penggunaan pestisida yang berlebih dalam kurun waktu yang panjang, akan berdampak pada kehidupan dan keberadaan musuh alami hama dan penyakit, dan juga berdampak pada kehidupan biota tanah. Hal ini menyebabkan terjadinya ledakan hama penyakit dan degradasi biota tanah.

## V. DASAR HUBUNGAN TANAH -TANAMAN

Nutrisi yang bisa tersedia untuk tanaman dikendalikan oleh interaksi antara sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Sebagai media tumbuh dan penyedia unsur hara bagi tanaman, pasokan nutrisi yang cukup harus dipertahankan untuk menjaga stabilitas produksi tinggi dan mutu hasil yang diinginkan.



Gambar 2. Pasokan nutrisi dalam larutan tanah

Pasokan nutrisi bagi akar-akar tanaman merupakan suatu proses yang dinamis (Gbr. 2). Tanaman menyerap nutrisi dalam bentuk kation dan anion dari larutan tanah dan melepaskan sejumlah ion seperti  $H^+$ ,  $OH^-$ , dan  $HCO_3^-$  (reaksi 1 dan 2). Perubahan konsentrasi ion dalam larutan disangga oleh proses jerapan pada permukaan mineral tanah (reaksi 3 dan 4). Penurunan kadar ion dalam larutan menyebabkan pelepasan ion yang sama dari permukaan mineral tanah. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi ion dalam larutan dari pemupukan atau input lain dapat menyebabkan sebagian ion diendapkan sebagai mineral (reaksi 5 dan 6). Mikroba tanah menggunakan ion dari larutan tanah untuk merombak bahan organik, dan ketika mikroba tersebut mati maka nutrisi dilepaskan kembali ke larutan tanah (reaksi 7 dan 8). Proses tersebut bergantung pada pasokan bahan organik, ketersediaan ion anorganik, dan kondisi lingkungan lainnya.

Dalam respirasi, akar tanaman dan organisme tanah menggunakan  $O_2$  dan melepaskan  $CO_2$  sehingga kadar  $CO_2$  tanah lebih tinggi dibandingkan dengan atmosfer. Difusi gas ke dalam pori tanah menurun drastis ketika kandungan air tanah meningkat. Sejumlah faktor lingkungan dan aktivitas manusia mempengaruhi konsentrasi ion dalam larutan tanah yang berinteraksi dengan mineral dan proses biologi dalam tanah. Terdapat berbagai peristiwa yang merupakan dasar hubungan tanah dengan tanaman, di antaranya adalah:

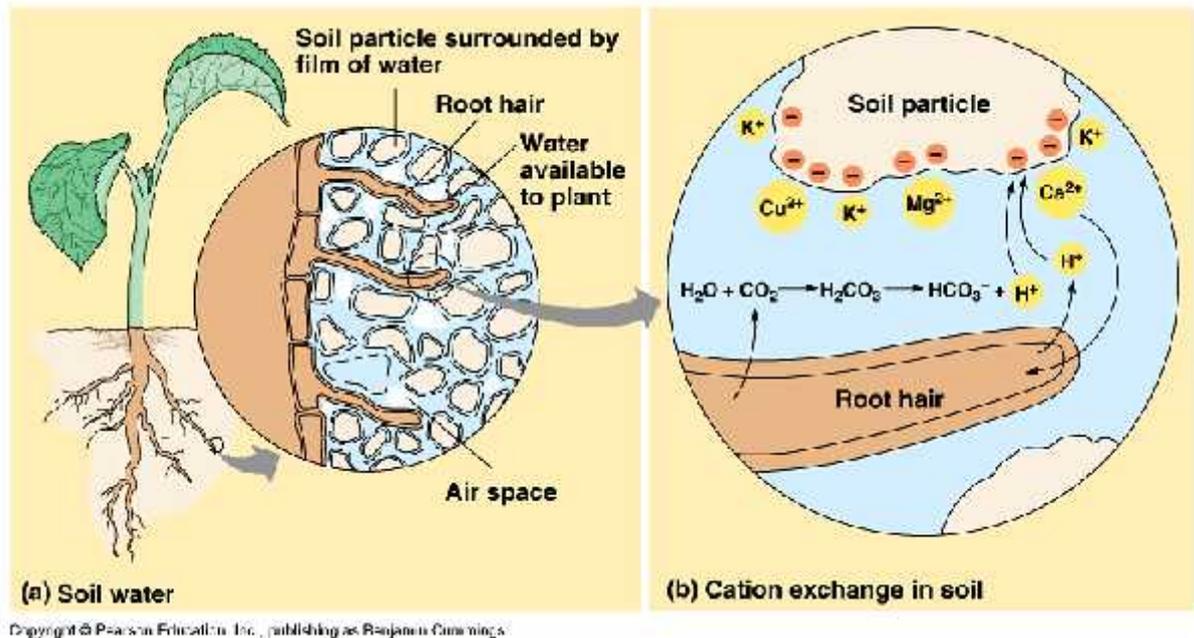
### **1. Pertukaran ion**

Pertukaran ion dalam tanah terjadi pada permukaan mineral liat, senyawa inorganik, bahan organik, dan akar (Gambar 3). Pertukaran ion terdiri dari pertukaran kation (ion positif) dan anion (ion negatif). Dalam sebagian besar tanah-tanah pertanian, pertukaran anion jauh lebih sedikit dibandingkan dengan pertukaran kation. Pertukaran ion merupakan proses timbal balik yang mana satu kation atau anion yang terjerap pada bentuk padat (partikel tanah) ditukar dengan kation atau anion lain yang ada pada bentuk cair (larutan tanah). Apabila terjadi kontak langsung antara dua bentuk padat maka ion-ion juga dapat dipertukarkan antara dua bentuk tersebut.

### **2. Pergerakan ion dari larutan tanah ke akar tanaman**

Agar ion-ion hara dapat diserap oleh akar-akar tanaman, maka ion-ion tersebut harus berada di sekitar permukaan akar. Secara umum terdapat tiga cara agar ion-ion tersebut dapat mencapai permukaan akar yaitu:.

- Intersepsi akar yaitu akar tanaman terus tumbuh dan mencapai ion-ion hara
- Aliran masa yaitu ion-ion hara bergerak menuju akar tanaman mengikuti gerakan air yang menuju akar karena adanya air transpirasi yang diserap oleh tanaman.
- Difusi yaitu ion-ion hara bergerak dari daerah berkonsentrasi tinggi menuju daerah berkonsentrasi rendah.



Gambar 3. Pertukaran ion

### 3. Penyerapan Ion Oleh akar Tanaman

Penyerapan ion-ion dalam larutan tanah oleh akar-akar tanaman dapat dijelaskan melalui proses pasif dan aktif, yaitu ion-ion secara pasif bergerak sampai suatu batas kemudian dilanjutkan dengan pergerakan ion secara aktif menuju organ-organ dalam sel tanaman yang memetabolisme ion-ion nutrisi (hara) tersebut.

Penyerapan secara pasif terjadi pada dinding sel epidermis dan korteks akar, bagian luar casparian strip, bagian luar plasmalemma (membrane plasma), dan sel-sel mesophyll daun. Proses tersebut dapat terjadi karena terdapat pori-pori atau ruang-ruang bebas yang ukurannya berbeda-beda (sekitar 3,5 – 3,8 nm), sedangkan ukuran ion-ion hara misalnya  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  dan lain-lain  $\pm 10\text{-}20\%$  ukuran pori tersebut.

Penyerapan secara aktif terjadi ketika ion-ion hara melewati casparian strip, plasmalemma (membrane plasma), dan tonoplasma. Penyerapan ini melawan gradien elektrokimia sehingga memerlukan energi yang dihasilkan melalui proses metabolisme sel (ATP-ase) dan melibatkan substansi pembawa ion yg juga diproduksi secara metabolisme.

## **VI. KESUBURAN TANAH**

Kesuburan Tanah adalah kemampuan suatu tanah untuk menghasilkan produk tanaman yang diinginkan, pada lingkungan tempat tanah itu berada. Produk tanaman tersebut dapat berupa: buah, biji, daun, bunga, umbi, getah, eksudat, akar, trubus, batang, biomassa, naungan atau penampilan (Nasih, 2010). Tanah memiliki kesuburan yang berbeda-beda tergantung faktor pembentuk tanah yang merajai di lokasi tersebut, yaitu: Bahan induk, Iklim, Relief, Organisme, atau Waktu. Tanah merupakan fokus utama dalam pembahasan kesuburan tanah, sedangkan tanaman merupakan indikator utama mutu kesuburan tanah. Tanah yang subur lebih disukai untuk usaha pertanian, karena menguntungkan. Sebaliknya terhadap tanah yang kurang subur dilakukan usaha untuk menyuburkan tanah tersebut sehingga keuntungan yang diperoleh meningkat.

Kesuburan tanah tidak terlepas dari keseimbangan sifat fisika, kimia, dan biologi. Ketiga unsur tersebut saling berkaitan dan sangat menentukan tingkat kesuburan lahan pertanian. Tanpa disadari selama ini sebagian besar pelaku tani di Indonesia hanya mementingkan kesuburan yang bersifat kimia saja, yaitu dengan memberikan pupuk anorganik seperti : urea, TSP/SP36, KCL dan NPK secara terus menerus dengan dosis yang berlebihan.

### **Urgensi Menjaga Kesuburan Tanah**

Jumlah penduduk Indonesia terus meningkat, sehingga kebutuhan pangan terus bertambah. Sebaliknya luas lahan produktif relatif tetap atau bahkan menyusut. Lahan-lahan yang bagus di Jawa dialih fungsikan menjadi pemukiman atau kawasan industri. Peningkatan produksi dapat dilakukan melalui intensifikasi untuk meningkatkan produktivitas atau ekstensifikasi untuk mendapatkan lahan baru. Kunci utama dari kedua hal tersebut adalah bagaimana memelihara atau meningkatkan status kesuburan tanahnya.

Konsep pembangunan berkelanjutan terus digalakkan agar kegiatan pertanian senantiasa menguntungkan, aman, lestari dan ramah lingkungan. Perlu penyusunan rekomendasi pemupukan terpadu yang bersifat spesifik lokasi disesuaikan dengan komoditas yang diusahakan dan lahan tempat usahanya. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dan mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan.

Seperti kita ketahui rantai makanan bermula dari tumbuhan. Manusia dan hewan hidup dari tumbuhan. Memang ada tumbuhan dan hewan yang hidup di laut, tetapi sebagian

besar dari makanan kita berasal dari permukaan tanah. Oleh sebab itu, sudah menjadi kewajiban kita menjaga kelestarian tanah sehingga tetap dapat mendukung kehidupan di muka bumi ini. Akan tetapi, sebagaimana halnya pencemaran air dan udara, pencemaran tanah pun sebagian besar akibat kegiatan manusia juga.

Meningkatnya kegiatan produksi biomassa (tanaman yang dihasilkan kegiatan pertanian, perkebunan dan hutan tanaman) yang memanfaatkan tanah yang tak terkendali dapat mengakibatkan kerusakan tanah untuk produksi biomassa, sehingga menurunkan mutu serta fungsi tanah yang pada akhirnya dapat mengancam kelangsungan kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Hubungan antara kesuburan tanah dengan keadaan lingkungan dapat digambarkan sebagai berikut. Hara dapat bergerak menuju badan air permukaan atau air dalam tanah. Hal ini disebabkan bentang lahan saling berhubungan, lahan pertanian tidak terpisah dari lingkungan di sekitarnya. Pengelolaan hara yang buruk, misalnya pemupukan yang berlebihan, pengelolaan pupuk yang sembarangan, akan menimbulkan bahaya lingkungan.

### **Komponen Kesuburan Tanah**

1. Jeluk membran perakaran (solum) yang memadai  
Merupakan daerah jelajah akar, perlu dikonservasi menghadapi erosi.
2. Struktur tanah yang optimum  
Mengatur imbalan air-udara dan kemudahan ditembus akar.
3. Reaksi tanah yang optimum  
Mencerminkan ketersediann/kelarutan unsur hara serta dominansi mikrobia.
4. Hara cukup dan seimbang  
Macam, jumlah dan nisbah.
5. Penyimpanan dan penyediaan hara dan lengas yang optimum  
Berkaitan dengan Kapasitas Pertukaran Kation
6. Humus yang cukup  
Penyimpanan C-organik dalam tanah, berfungsi dalam khelasi, sebagai sumber materi dan energi bagi mikroba.
7. Mikroba bermanfaat  
Melakukan sinergisme, pelaku aktif daur hara dan materi.
8. Bebas bahan meracun  
Berupa senyawa toksin dan limbah.

### Komponen Kesuburan Tanah pada Tanah Subur

Sifat tanah	Komponen Kesuburan Tanah	Kriteria
Fisik	Solum	Memadai
Kimia	Struktur	Bentuknya membulat, mantap
	pH (reaksi tanah)	Sekitar netral
	Unsur hara	Cukup dan seimbang
	Kapasitas Tukar Kation	Tinggi
	Kejenuhan Basa	Tinggi
Biologi	Humus	Cukup
	Mikroba bermanfaat	Cukup
	Bahan meracun	Tidak ada (bebas)

### Evaluasi Kesuburan Tanah

Kemampuan produksi sebidang tanah berbeda-beda dari tempat ke tempat dan dari musim ke musim. Berapa jumlah pupuk dan kapan harus diberikan merupakan salah satu masalah pelik yang dihadapi oleh para petani termasuk para ahli. Untuk memecahkan masalah inilah, perlu diadakan evaluasi kesuburan tanah setiap diperlukan. Ada beberapa cara yang umum dilakukan untuk mengetahui status hara suatu tanah yaitu :

1. Identifikasi gejala-gejala defisiensi unsur hara pada tanaman
2. Analisa jaringan tanaman yang tumbuh pada tanah yang bersangkutan
3. Test biologi terhadap pertumbuhan salah satu tanaman tinggi atau mikroorganisme tertentu yang digunakan untuk mengukur kesuburan tanah
4. Analisa tanah.

## VII. PUPUK DAN TEKNOLOGI PEMUPUKAN

### PUPUK

Pupuk adalah suatu bahan yang mengandung satu atau lebih unsur hara bagi tanaman, yang dapat berupa mineral atau organik, yang dihasilkan oleh kegiatan alam atau diolah oleh manusia di pabrik. Unsur hara yang diperlukan oleh tanaman adalah: C, H, O (ketersediaan di alam masih melimpah), N, P, K, Ca, Mg, S (hara makro, kadar dalam tanaman > 100 ppm), Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, Mo, B (hara mikro, kadar dalam tanaman < 100 ppm).

Pupuk diberikan agar tanaman (tumbuhan yang diusahakan manusia) dapat tumbuh, berkembang dan menghasilkan sesuai yang diharapkan. Manusia selalu menuntut lebih terhadap kemampuan tanaman. Rekayasa genetik dan lingkungan dilakukan agar tanaman memberikan kinerja yang lebih baik. Dengan bantuan hasil tanaman tersebut, unsur yang semula berada dalam tanah masuk ke dalam tubuh manusia.

### Mengapa harus memupuk

Di Indonesia masih banyak hutan lebat yang tumbuh dengan subur tanpa dipupuk, tetapi mengapa tanaman kita harus dipupuk? Pada alam yang bebas dari pengaruh manusia perkembangan tanaman seimbang dengan pelapukan batu-batuan dan pelapukan sisa-sisa organisme, sehingga tidak diperlukan input dari luar. Pada usaha pertanian yang dilakukan manusia, proses penghanyutan dan pencucian hara diperbesar sehingga meningkatkan jumlah hara yang hilang dari tanah, dan tidak sedikit unsur hara yang diangkut/diambil bersama hasil panen. Sebagai contoh panen rumput gajah sebanyak 10 ton terangkut unsur-unsur N, P, K, Ca dan Mg dari tanah masing-masing sebanyak 144 kg N, 54 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 216 kg K<sub>2</sub>O, 35 kg Ca dan 30 kg Mg. Oleh karena itu tanah-tanah bekas hutan yang telah beberapa tahun diusahakan untuk berladang, menjadi kurus sehingga tidak dapat digunakan untuk berladang lagi. Semakin berkurang usikan manusia terhadap suatu lahan, maka lahan tersebut akan bertambah subur. Sebaliknya, semakin banyak usikan semakin banyak pula masukan yang harus diberikan agar lahan tetap subur. Semakin intensif lahan dikelola, semakin banyak pula pupuk yang diperlukan.

## **Jenis-jenis pupuk**

Pupuk dapat dibedakan menjadi pupuk alam (organik) dan pupuk buatan (anorganik). Pupuk alam adalah pupuk yang langsung didapat dari alam yaitu fosfat alam, pupuk kandang, pupuk hijau, pupuk kompos, pupuk kascing, dan pupuk hayati. Jumlah dan jenis unsur hara dalam pupuk alam terdapat secara alami. Pupuk buatan adalah pupuk yang dibuat di pabrik dengan jenis dan kadar unsur haranya sengaja ditambahkan dalam pupuk tersebut dalam jumlah tertentu

### Pupuk Organik

Pupuk organik adalah pupuk yang sebagian atau seluruhnya terdiri atas bahan organik yang berasal dari tanaman dan/atau hewan, yang dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan mensuplai bahan organik untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Ada beberapa jenis pupuk yang digolongkan ke dalam pupuk organik yaitu pupuk fosfat alam, pupuk kandang, pupuk hijau, pupuk kompos, pupuk kascing, dan pupuk hayati.

Pupuk fosfat alam adalah pupuk yang terbuat dari batuan fosfat alam digiling sehingga menjadi serbuk halus berwarna kecoklat-coklatan muda. Contoh : fosfat Cirebon, agrophos, Christmas Island Rock Phosphate (CIRP).

Pupuk kandang adalah pupuk yang berupa kotoran padat dan cair yang dihasilkan oleh hewan. Berdasarkan proses penguraiannya, pupuk kandang dibedakan menjadi pupuk panas (dihasilkan oleh kuda, kambing, biri-biri dan ayam), dan pupuk dingin (dihasilkan oleh sapi, kerbau dan babi).

Pupuk hijau dapat diartikan sebagai hijauan muda atau sisa-sisa tanaman yang dikembalikan ke tanah. Umumnya berupa tanaman leguminosa dan sering ditanam sebagai tanaman sela atau tanaman rotasi untuk memanfaatkan waktu sehingga tanah tidak diberakan.

Kompos adalah hasil penguraian parsial/tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artificial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik.

Kascing merupakan kotoran cacing tanah yang bercampur dengan tanah atau bahan lainnya yang merupakan media cacing tanah, yang telah siap untuk diserap oleh tanaman.

Pupuk hayati (biofertilizer) merupakan inokulan berbahan aktif organisme hidup yang berfungsi untuk menambat hara tertentu atau memfasilitasi tersedianya hara dalam tanah untuk tanaman. Mikrobial yang digunakan sebagai pupuk hayati (biofertilizer) dapat diberikan langsung ke dalam tanah, disertakan dalam pupuk organik atau disalutkan pada

benih yang akan ditanam. Penggunaan yang menonjol dewasa ini adalah mikrobia penambat N, dan mikrobia untuk meningkatkan ketersediaan P dalam tanah.

### Pupuk buatan (anorganik)

Pupuk buatan dapat dibedakan menjadi pupuk tunggal dan pupuk majemuk. Pupuk tunggal adalah pupuk yang hanya mengandung satu macam unsur hara misalnya pupuk N, pupuk P, pupuk K dan sebagainya. Pupuk majemuk adalah pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara misalnya NP, PK, NK, NPK dan sebagainya.

Pupuk tunggal antara lain pupuk N ( urea, ammonium sulfat, ammonium chlorida dan sebagainya), pupuk P (TSP, SP-36, dan lain-lain), pupuk K (KCl, ZK dan lain-lain). Pupuk majemuk biasanya dilengkapi dengan tiga angka yang berturut-turut menunjukkan kadar N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan K<sub>2</sub>O. Misalnya pupuk NPK 15-25-10 menunjukkan bahwa tiap 100 kg pupuk mengandung 15 kg N + 25 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 10 kg K<sub>2</sub>O.

Contoh pupuk majemuk :

- Rustica yellow (15-15-15) juga Mg 0,5%, B, Cu, Zn
- NPK 7-7-7 SUPER BAHARI,
- NPK 16-16-16 / 15-15-15 DAUN SEGAR,
- Pupuk NK FLORAMAS kandungan N +/- 22,62%, dan K<sub>2</sub>O +/- 8,72
- PUPUK NPK MENJANGAN (Kandungan maks. 15-13-19)

### **Trend saat ini**

Pupuk hayati, pupuk organik, dan pupuk kimia (anorganik) adalah jenis pupuk yang tegas perbedaannya. Namun saat ini ada kecenderungan untuk mengkombinasikan jenis-jenis pupuk tersebut. Misalnya ada produk pupuk yang menyebut dirinya pupuk NPK organik. Pupuk ini merupakan pupuk kimia yang dikombinasikan dengan pupuk organik. Ada juga yang menyebut sebagai pupuk bioorganik. Maksudnya adalah kombinasi antara pupuk organik dengan pupuk bio (hayati).

Contoh : - pupuk organik dofosf g-21

- pupuk organik granul (curah)
- pupuk organik granul "green leaf"

Namun masih sedikit atau bahkan tidak ada yang mengkombinasikan pupuk NPK dengan pupuk hayati. Karena umumnya mikroba tidak tahan jika disatukan dengan pupuk kimia dalam konsentrasi tinggi.

## **PEMUPUKAN**

Pemupukan menurut pengertian khusus ialah pemberian bahan yang dimaksudkan untuk menyediakan hara bagi tanaman. Pemupukan merupakan salah satu usaha pengelolaan kesuburan tanah. Dengan mengandalkan sediaan hara dari tanah asli saja, tanpa penambahan hara, produk pertanian akan semakin merosot. Hal ini disebabkan ketimpangan antara pasokan hara dan kebutuhan tanaman. Hara dalam tanah secara berangsur-angsur akan berkurang karena terangkut bersama hasil panen, pencucian, air limpasan permukaan, erosi atau penguapan.

Tujuan utama pemupukan adalah menjamin ketersediaan hara secara optimum untuk mendukung pertumbuhan tanaman sehingga diperoleh peningkatan hasil panen. Penggunaan pupuk yang efisien pada dasarnya adalah memberikan pupuk dalam bentuk dan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, dengan cara yang tepat dan pada saat yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan tingkat pertumbuhan tanaman tersebut.

### **Dosis pemupukan**

Dosis pupuk adalah Pemberian pupuk dalam jumlah yang tepat sehingga diperoleh hasil pemupukan yang optimal (bila terlalu banyak akan menyebabkan keracunan, bila terlalu sedikit akan menyebabkan tidak tampak pengaruhnya).

Dosis pupuk untuk pupuk organik biasanya dinyatakan dalam satuan **ton per hektar** untuk pupuk organik padat atau **liter per hektar** untuk pupuk organik cair, sedangkan untuk pupuk anorganik dosis pupuk biasanya dinyatakan dalam **kg N + kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + kg K<sub>2</sub>O per ha**. Dosis pupuk biasanya diperoleh dari data hasil analisa dan percobaan-percobaan (evaluasi kesuburan tanah) atau rekomendasi dari balai-balai penelitian atau instansi yang berwenang.

### **Perhitungan Keperluan Pupuk**

Banyaknya pupuk yang diperlukan per luasan tanah atau per berat tanah tertentu tergantung pada jumlah unsur hara yang dibutuhkan (dosis), dan besarnya kandungan (kadar) hara dalam pupuk yang bersangkutan.

Untuk pupuk organik, keperluan pupuk untuk satu hektar biasanya langsung diaplikasikan sesuai dengan dosis anjuran. Misalnya dosis 10 ton per hektar, untuk lahan yang luasnya 1 hektar maka dapat langsung diaplikasikan 10 ton pupuk organik, sedangkan

untuk lahan dengan luas tertentu atau pot dengan berat tanah tertentu dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Luas tanah tertentu} = L / 10.000 \times D$$

$$\text{Berat tanah tertentu} = B / 2.000.000 \times D$$

Ket. : D = dosis pemupukan (ton/ha atau liter/ha)

L = luas tanah tertentu (m<sup>2</sup>)

B = berat tanah tertentu (kg)

Untuk pupuk anorganik, karena terdapat beberapa macam pupuk sejenis dengan kadar unsur hara yang berbeda maka pupuk tersebut dapat diganti satu sama lain berdasarkan kadar unsur hara masing-masing pupuk tersebut. Secara umum perhitungan keperluan pupuk untuk pupuk anorganik adalah

$$1. \text{ Untuk 1 hektar} = D/K \times 100$$

$$2. \text{ Luas tanah tertentu} = L / 10.000 \times D/K \times 100$$

$$3. \text{ Berat tanah tertentu} = B / 2.000.000 \times D/K \times 100$$

Ket. : D = dosis pemupukan (kg/ha)

L = luas tanah tertentu (m<sup>2</sup>)

K = Kadar pupuk (%)

B = berat tanah tertentu (kg)

Sebagai contoh misalnya untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman direkomendasikan dosis pupuk 100 kg N + 45 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 kg K<sub>2</sub>O per hektar, pupuk yang tersedia adalah urea (45% N), TSP (45% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) dan KCl (50% K<sub>2</sub>O). Keperluan pupuk tersebut adalah

$$\text{Urea} = 100/45 \times 100 = 222 \text{ kg}$$

$$\text{TSP} = 45/45 \times 100 = 100 \text{ kg}$$

$$\text{KCl} = 100/50 \times 100 = 200 \text{ kg}$$

Apabila pupuk yang tersedia adalah pupuk majemuk dan pupuk tunggal, maka untuk memenuhi dosis pemupukan penuhlah pertama-tama dengan pupuk majemuk dan kekurangannya dipenuhi dengan pupuk tunggal. Misalnya untuk rekomendasi pemupukan di atas, tersedia pupuk majemuk 20-0-20 dan TSP maka kebutuhan akan N dan K dapat diganti dengan pupuk majemuk tersebut sehingga keperluan pupuk tersebut adalah:

$$\text{Pupuk majemuk 20-0-20} = 100/20 \times 100 = 500 \text{ kg}$$

$$\text{TSP} = 45/45 \times 100 = 100 \text{ kg}$$

Contoh lain misalnya tanaman legum seluas 1 hektar akan dipupuk dengan dosis pemupukan **60 kg N + 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 50 kg K<sub>2</sub>O**. Pupuk yang tersedia adalah pupuk majemuk NPK 15-15-15, urea (45% N) dan TSP (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Penuhi keperluan pupuk

untuk dosis yang besarnya sama dengan pupuk NPK dan sisanya dengan pupuk tunggal, sehingga keperluan masing-masing pupuk adalah:

- NPK =  $50/15 \times 100 = 333,3 \text{ kg}$
- Urea =  $(60-50)/45 \times 100 = 22,2 \text{ kg}$
- TSP =  $(100-50)/46 \times 100 = 108,7 \text{ kg}$

## Cara pemupukan

### **Pemupukan lewat akar**

#### 1. Penyebaran (*broadcasting*)

Dengan cara ini pupuk ditebarkan pada permukaan tanah. Pemupukan dilakukan sebelum tanam (waktu pembajakan/ penggaruan/ pengolahan tanah) sebagai pupuk dasar, atau sesudah tanam sebagai pupuk susulan, kemudian diinjak-injak agar pupuk terbenam ke dalam tanah. Metoda ini cocok dilakukan untuk lahan sawah atau tanaman dengan jarak tanam yang rapat, perakaran merata pada tanah bagian atas (*top soil*) misalnya **pastura**, dan pupuk diberikan dalam jumlah yang besar. cara ini mudah dilakukan, hemat biaya dan tenaga, pemberian pupuk agak berlebih tidak berdampak buruk bagi tanaman. Namun kerugian yang harus ditanggung adalah kontak pupuk dengan tanah besar, sehingga penjerapan hara khususnya P oleh tanah akan lebih besar, pada tanah alkalis dan kering sebagian N akan hilang menguap dalam bentuk ammonia ( $\text{NH}_3$ ), juga pertumbuhan gulma akan ikut terpacu. Pemupukan dengan cara ini dapat dibedakan:

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

#### 2. Penempatan (*placement*)

Dengan cara ini pupuk ditempatkan secara khusus ke dalam lubang atau alur yang sudah dipersiapkan lebih dahulu. Pupuk dapat diberikan pada saat penyiapan atau saat penanaman, terutama untuk tanaman semusim.

Untuk lahan yang belum ditanami :

- *plow sole placement* (bersamaan dengan pengolahan tanah, pupuk dijatuhkan melalui lubang di belakang mata bajak)
- *row placement* (pupuk dibenamkan ke dalam tanah menurut alur bekas bajakan kemudian akan tertutup oleh pembalikan tanah pada alur berikutnya)
- *combine drilling* (pupuk dibenamkan bersama benih ke dalam alur yang sudah dibuat sebelumnya, posisi pupuk dapat di bawah benih, disamping, atau keduanya).

Untuk lahan yang sudah ditanami

- *side band placement* (pupuk ditempatkan pada alur disamping barisan tanaman)
- *spot/point placement* (pupuk ditempatkan pada suatu titik atau lubang di kanan atau kiri tanaman)
- *circular band / ring placement* (pupuk dibenamkan ke dalam alur melingkar di sekeliling tanaman sejauh tajuk daun terluar).

Untuk tanaman tahunan pupuk dapat diberikan ke dasar lubang tanam, dapat pula dicampur terlebih dahulu dengan tanah bagian atas yang akan digunakan untuk menimbun lubang.

Metode *placement* cocok digunakan untuk tanah yang kurang subur, lahan kering, jarak tanam renggang, perakaran sedikit, tanaman tahunan, jumlah pupuk sedikit, pupuk tablet, dan terutama pupuk P dan K. Keuntungan yang diperoleh dengan metode ini adalah kontak pupuk dengan tanah dapat dikurangi, sehingga penyerapan hara dapat ditekan, pengambilan hara oleh tanaman lebih mudah, terutama bagi tanaman yang perakarannya terbatas, *residual effect* dari pupuk lebih besar, serta kehilangan hara dapat dikurangi.

### 3. Fertigasi (*fertilizing-irrigation*)

Dengan cara ini kita melakukan pengairan sekaligus memupuk tanaman. Pengairan dapat secara sederhana yakni air saluran yang dimasukkan ke lahan, atau irigasi modern menggunakan tangki bertekanan. Pupuk yang digunakan dapat berupa cairan atau pupuk padat yang dilarutkan dalam air. Pupuk yang sering digunakan adalah ammonia, asam fosfat dan KCl. Cara ini biasanya diterapkan untuk usaha yang komersial terutama di wilayah padang pasir atau perbukitan.

#### 4. Injeksi

Pupuk ammonia (gas) bertekanan disuntikkan pada jeluk 10-20 dibawah permukaan tanah, pupuk tanpa tekanan disuntikkan dekat dengan permukaan tanah. Umumnya diterapkan pada skala usaha yang besar dan hamparan yang luas.

#### **Pemupukan lewat daun**

Cara ini dikenal dengan nama *foliar application*. Pupuk terlarut disemprotkan pada permukaan tanaman terutama daun. Cara ini dilakukan untuk melengkapi pemberian pupuk melalui tanah untuk mengatasi dengan segera gejala kekahatan yang muncul, terutama hara mikro dan hara yang immobil dalam tubuh tanaman. Hara masuk ke dalam tubuh tanaman melalui mulut stomata secara difusi atau osmosis.

Hal-hal penting yang harus diperhatikan adalah:

1. Larutan harus encer ( $< 0,5\%$ );
2. Tegangan muka larutan harus rendah sehingga kontak dengan permukaan daun lebih besar, biasanya ditambahkan zat perekat;
3. Kadar biuret pada urea harus  $< 2\%$ ;
4. Kondisi lingkungan cuaca harus memungkinkan.

#### **Waktu Pemupukan**

Waktu pemupukan tergantung pada :

##### 1. Kebutuhan dan respons tanaman

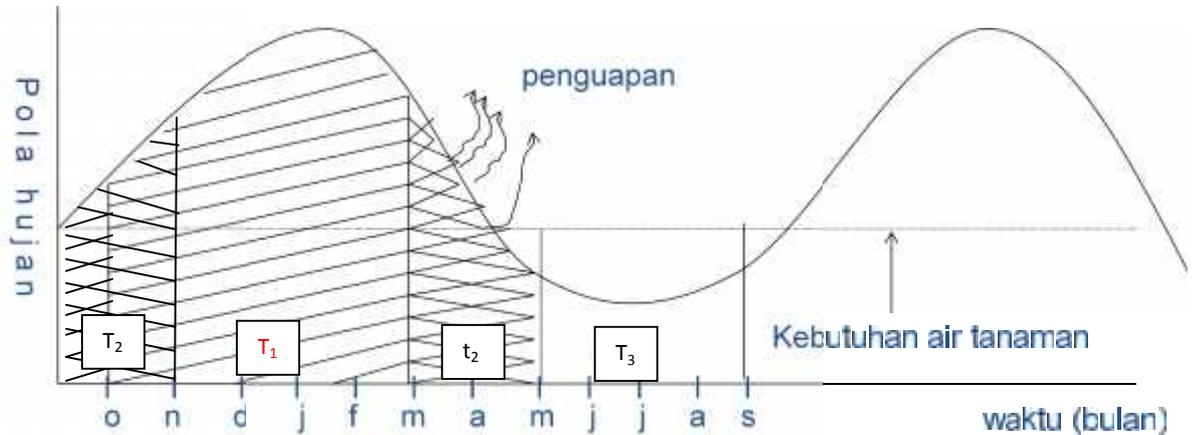
Pada tanaman yang kurang subur pemupukan dilakukan Lebih cepat dan lebih banyak

##### 2. Tingkat kelarutan (solubility) pupuk

- Pupuk yang Sukar larut (bekerjanya lambat) diberikan sebelum tanam atau paling lambat pada saat tanam dan sekaligus. contoh : pupuk fosfat, pupuk Kalium. Untuk tanaman tahunan diberikan setiap akan mulai kegiatan maksimum pertumbuhan.
- Pupuk yang cepat larut diberikan pada saat tanam sebagai pupuk dasar atau setelah tanam sebagai pupuk susulan. Sebaiknya 2 – 3 kali pemupukan. Contoh : urea, ZA, ASN,  $\text{NH}_4\text{Cl}$
- Pupuk yang kelarutan/bekerjanya sedang diberikan sebelum atau sesudah tanam contoh : SS, rustica Yellow

### 3. Keadaan iklim

Curah hujan kaitannya dengan pencucian, sedangkan radiasi matahari, suhu, angin dan kelembaban, kaitannya dengan volatilisasi.



Keterangan:

$t_1$  : \* Bila dilakukan pemupukan, dan tiba-tiba terjadi hujan maka pupuk yang kita aplikasikan akan mengalami leaching terutama untuk pupuk N, P dan S, sehingga terjadi kerugian. Di samping itu, bersama run off aliran permukaan tanah pupuk-pupuk tersebut akan masuk ke sungai dan berpotensi meracuni perairan.

\* Bila terpaksa harus dilakukan maka:

- Hindari penggunaan metode broadcast (penyebaran)
- Metode yang baik : penempatan pada larikan/barisan, pada lubang.

$T_2$  : waktu yang paling tepat melakukan pemupukan. Pada kondisi ini, tanah dalam keadaan lembab (air tidak kurang juga tidak berlebihan) karena pelarutan unsur hara memerlukan air yang cukup

$T_3$  : Pemupukan apapun tidak baik dilakukan kecuali dilakukan penyiraman. Pada kondisi ini, pupuk akan mengikat agregat tanah sehingga tanah menjadi kompak.

Catatan: Pemupukan sebaiknya dilakukan pada pagi hari karena:

- Perbedaan temperatur tidak terlalu jauh
- Evapotranspirasi belum banyak

## DAFTAR PUSTAKA

- Hardjowigeno S. 1995. Ilmu Tanah. Jakarta: Akademi Pressindo.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL, Nelson WL. 1999. Soil Fertility and Fertilizer. 6<sup>th</sup> Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Imas T, Hadioetomo RS, Gunawan AW, Setiadi Y. 1989. Mikrobiologi Tanah II. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. PAU Bioteknologi IPB.
- Simanungkalit RDM, DA Suriadikarta, R Saraswati, D Setyorini, dan W Hartatik. Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. 2006. Balai Besar Litbang Sumberdaya Pertanian. Badan Penelitian dan pengembangan pertanian. Bogor.
- Subba Rao, N.S. 2010. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Edisi kedua. Universitas Indonesia Press.
- Whitehead DC. 2000. Nutrient Elements in Grassland, Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing.