

MODUL DASAR DASAR ILMU TANAH



Oleh:

Dr. Ir. M. IDRIS, MP

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmatNya sehingga kami dapat menyelesaikan Modul Mata Kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah . Modul ini merupakan bagian dari media bahan ajar yang dimaksudkan untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap materi perkuliahan yang disampaikan, khususnya mata kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah . Modul ini disusun dalam 16 pertemuan. Pertemuan ke-1 sampai dengan pertemuan ke - 7 berisikan materi perkuliahan dan pertemuan ke-8 Ujian Tengah Semester, Selanjutnya pertemuan ke-9 sampai dengan pertemuan ke -15 berisikan materi dan pertemuan ke-16 Ujian Akhir Semester. Kami menyadari bahwa dalam penyusunan modul ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan untuk bahan penyempurnaan di masa mendatang. Semoga modul ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang berminat untuk memperdalam Dasar-Dasar Ilmu Tanah khususnya dalam bidang biologi.

**Hormat kami,
Penyusun**

Dr. Ir. M. Idris, MP

DAFTAR ISI

	Halaman
Pertemuan 1, Pendahuluan.....	1
Pertemuan 2, Pembentukan Tanah.....	10
Pertemuan 3, Sifat Fisika Tanah.....	45
Pertemuan 4, Air Tanah.....	83
Pertemuan 5, Sifat Biologi Tanah.....	114
Pertemuan 6, Koloid Tanah dan Kesuburan Tanah.....	152
Pertemuan 7, Reaksi Tanah.....	262
Pertemuan 8, UTS.....	296
Pertemuan 9, Hubungan Hara Tanah dan Tanaman.....	297
Pertemuan 10, Pupuk dan Pemupukan	352
Pertemuan 11 dan 12, Konservasi Tanah dan Air.....	384
Pertemuan 13, Evaluasi Lahan.....	448
Pertemuan 14 dan 15.....	457
Pertemuan 16, UAS.....	458
Daftar Pustaka	

MODUL DASAR-DASAR ILMU TANAH

PERTEMUAN 1

PENGERTIAN TANAH

PENDAHULUAN

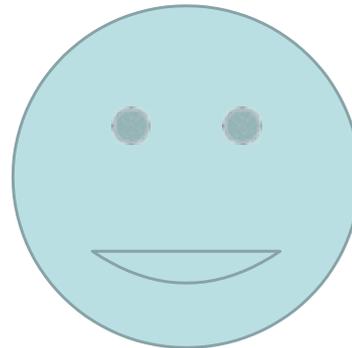
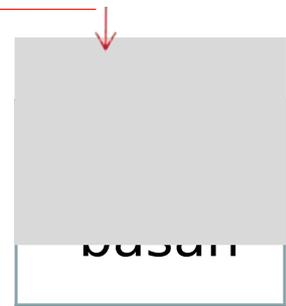
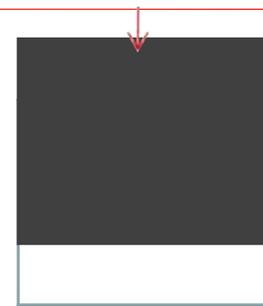
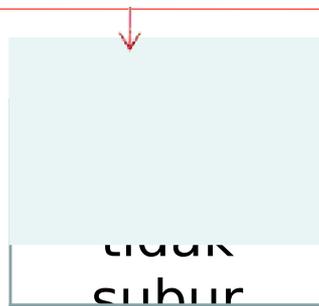
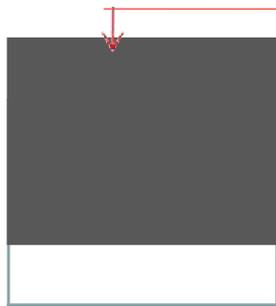
Tanah secara umum dipahami sebagai bagian dari daratan muka bumi yang kepentingan manusia terhadapnya



❖KEPENTINGAN PERTANIAN :

Tanah sebagai media tumbuh tanaman (darat (sebagai tumbuh tanaman))
Sebagai media tumbuh tanaman maka tanah berfungsi sebagai

- Sebagai media tumbuh tanaman maka tanah berfungsi sebagai
 - Tempat berjangkar dan berkembangnya perakaran tanaman
 - Sebagai penyedia makanan untuk tanaman (hara tanaman)
 - Sebagai penyedia air bagi tanaman



Dari apa
tanah itu
berasal

Asal tanah:

Asal tanah berasal dari pecahan batuan dan bercampur dengan bahan organik dari vegetasi (tumbuhan) dan hewan dan makhluk lain yang hidup di atas dan di dalamnya

Berdasarkan asal usul dan proses terjadinya tanah maka tanah diartikan sebagai :

Tubuh alam bebas dipermukaan bumi yang terdiri dari bahan mineral, bahan organik, air, dan udara yang tersusun dalam horison-horison (lapisan) yang terbentuk akibat kerja gaya-gaya alam)



Melalui ilmu pedologi:

Pedologi : ilmu yang mempelajari proses-proses pembentukan tanah beserta faktor-faktor pembentuknya, mengklasifikasikannya, mempelajarinya

dilapangan (survei tanah) dan cara-cara
pengamatan sifat tanah dilapangan

Terkait dengan pengertian tanah sebagai media tumbuh maka tanah dapat dipelajari melalui ilmu edaphologi:

- Edaphologi mempelajari tanah sebagai media tumbuh dalam hubungannya dengan pertumbuhan tanaman**



Untuk mempelajari tanah secara komprehensif maka perlu mempelajari bidang khusus dalam ilmu tanah di antaranya:

Fisika tanah : Mempelajari sifat fisika tanah

Kimia Tanah : Mempelajari sifat kimia tanah

Kesuburan tanah : Mempelajari unsur hara tanah dan pertumbuhan tanaman

dan usaha memperbaikinya

Mikrobiologi tanah: Mempelajari mikroorganisme yang berpengaruh terhadap

tanah dan tanaman

Pengawetan tanah dan air : Mempelajari cara atau usaha bagaimana melestarikan fungsi tanah, mempelajari erosi, dan memperbaiki tanah yang rusak akibat erosi

Mineralogi Tanah : Mempelajari mineral dan pengaruhnya terhadap tanah dan

tanaaman

Genesis dan klasifikasi tanah : Mempelajari pembentukan tanah dan

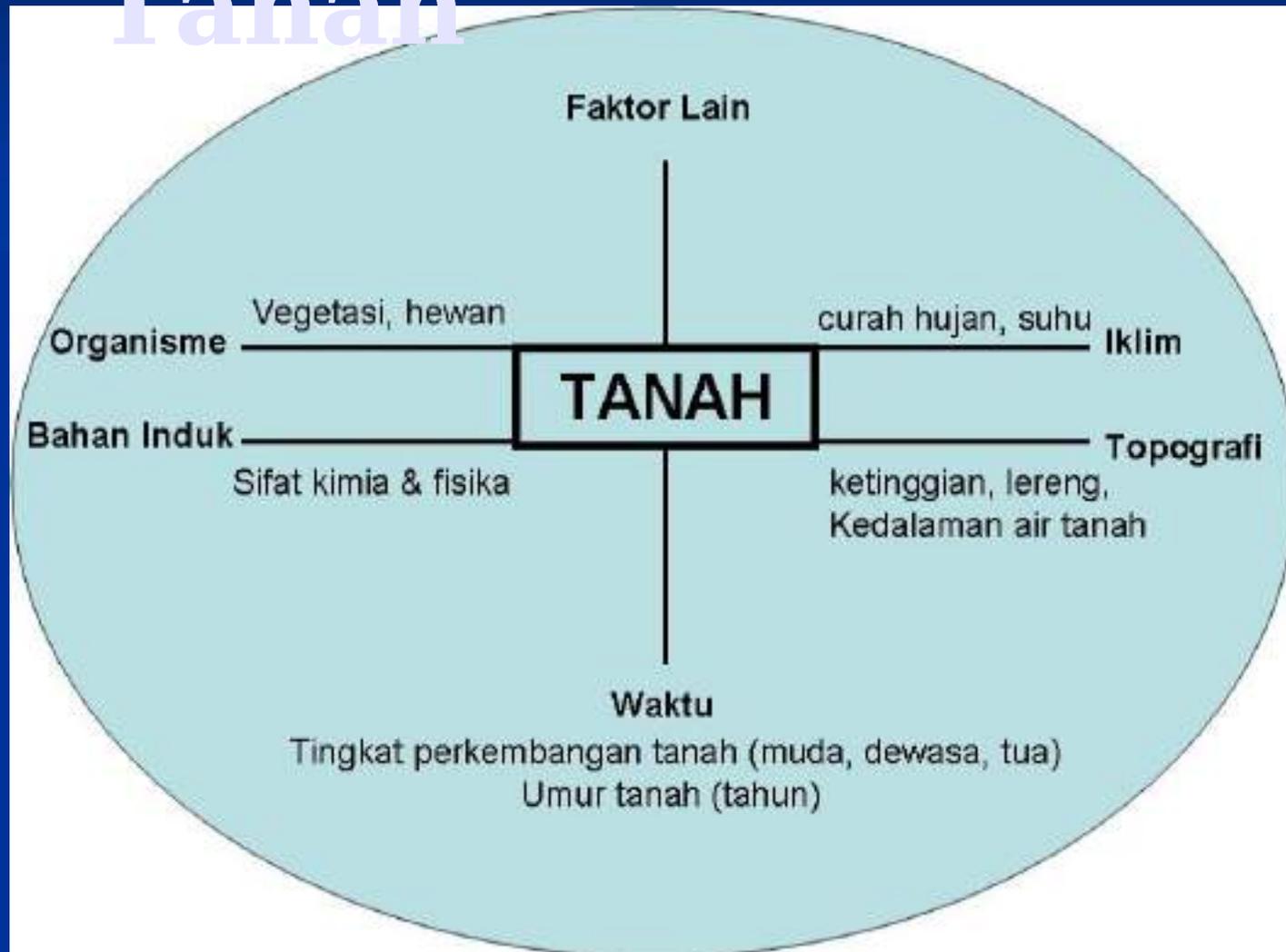
klasifikasinya

Survei tanah : Mempelajari sifat tanah di lapangan dan pengelompokannya dan menggambarkannya dalam peta tanah

PERTEMUAN 2

Pembentukan Tanah

Faktor Pembentuk Tanah



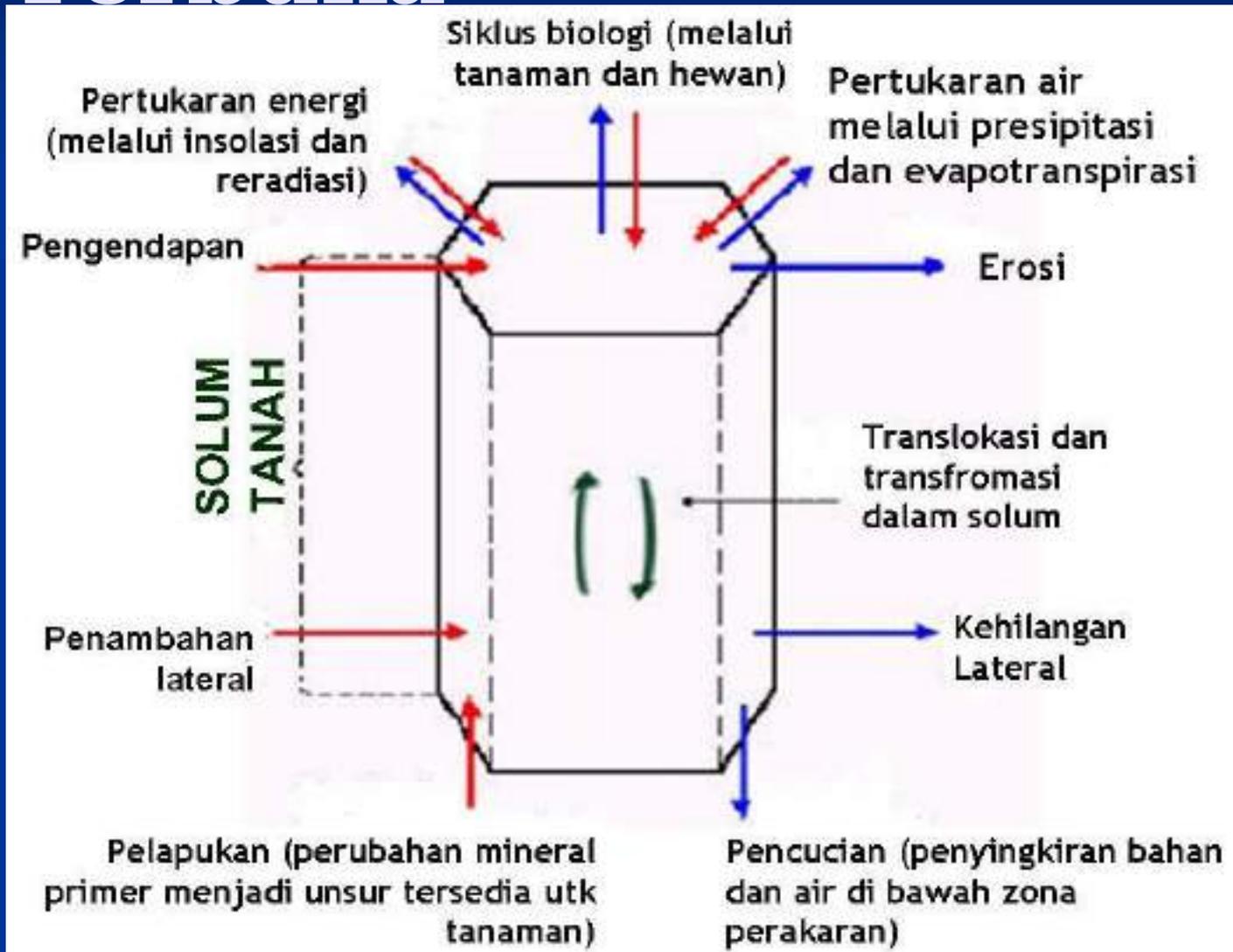
Konsep Pembentukan Tanah

■ model proses terbuka

- tanah merupakan sistem yang terbuka
- **model proses terbuka**
 - sewaktu-waktu tanah dapat menerima tambahan bahan dari luar (*input*), atau kehilangan bahan-bahan yang telah dimilikinya (*output*).
 - ☞ *Input*: hasil pelapukan bahan induk, endapan baru, air hujan/irigasi, sisa-sisa tanaman, energi dari sinar matahari.
 - ☞ *Output*: erosi tanah, penguapan air, penyerapan unsur hara oleh tanaman, pencucian, pancaran panas.
 - ☞ Selain itu di dalam tanah sering terjadi

pemindahan bahan tanah dari lapisan atas ke lapisan bawah atau sebaliknya (disebut translokasi dalam solum).

Tanah sebagai Sistem Terbuka



Faktor Pembentuk Tanah

▶ 5 faktor pembentuk tanah

☪ **Bahan induk** (p) (tekstur, struktur, komposisi kimia dan mineral)

☪ **Iklim** (cl) (suhu dan curah hujan)

☪ **Topografi / relief** (r)

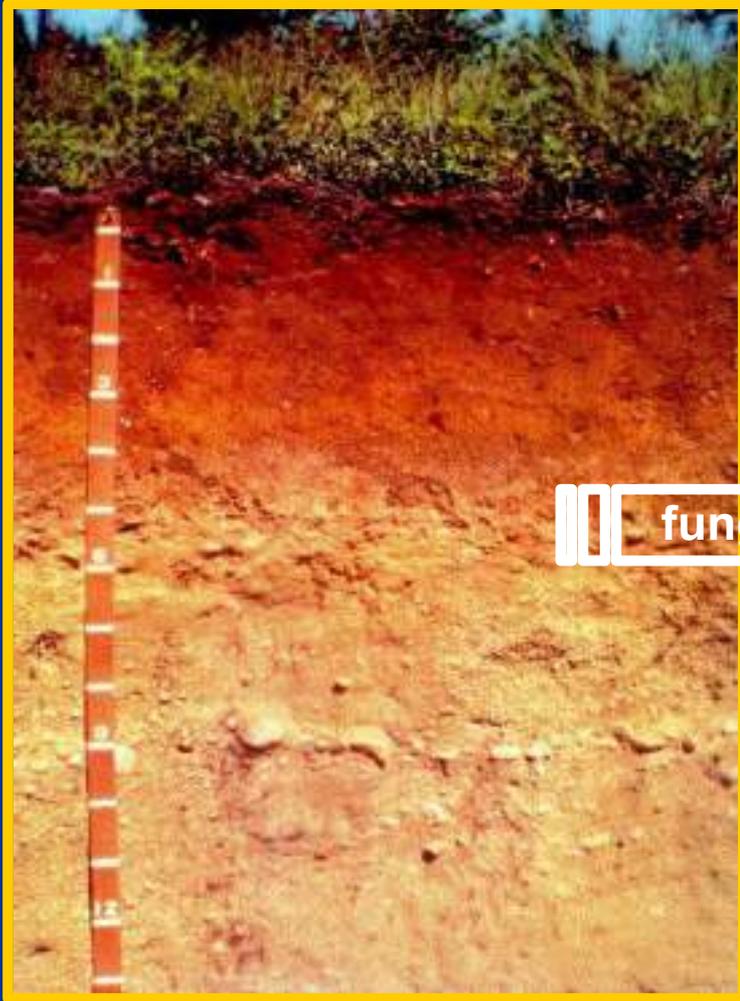
☪ **Organisme** (o) (vegetasi dan hewan; termasuk manusia)

☪ **Waktu** (t)

▶ *Tanah adalah produk dari iklim, organisme, dan topografi yang mempengaruhi bahan induk dalam jangka waktu tertentu”*

Faktor Pembentuk Tanah

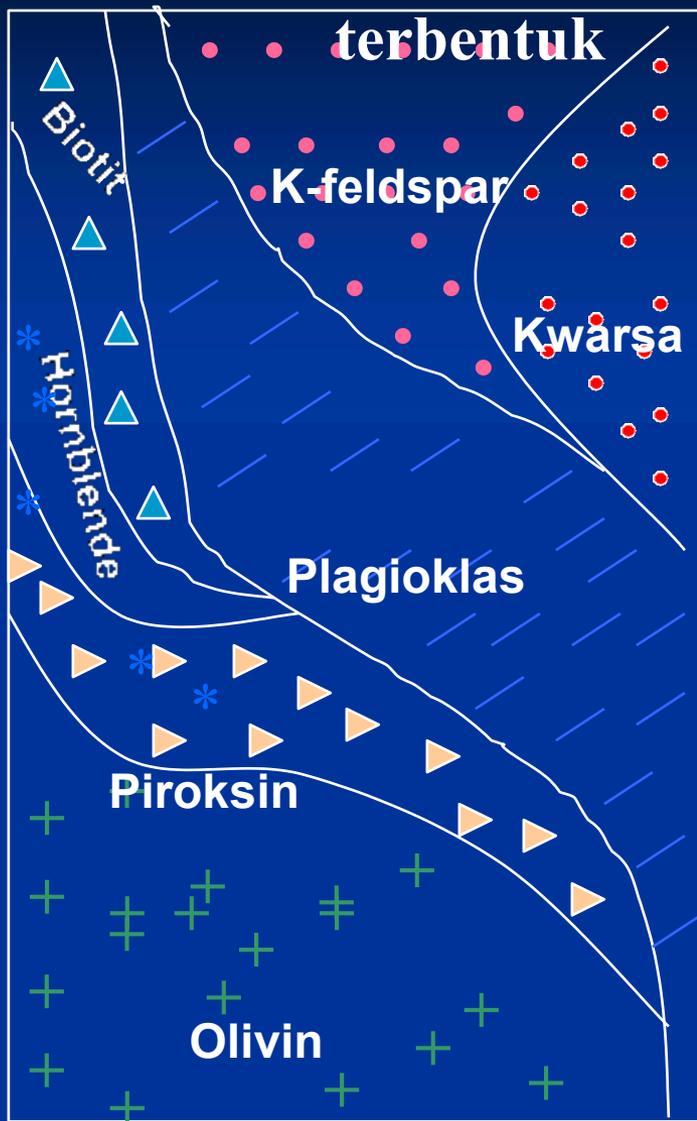
Agen, gaya, atau kondisi yang telah, sedang, atau akan mempengaruhi pembentukan tanah



Faktor	Yang terbentuk jika faktor lain dapat diabaikan
Iklm	Climo sequence
Organisma	Bio sequence
Bahan Induk	Litho sequence
Topograf i	Topo sequence
Waktu	Chrono sequence
Lain-lain	

BAHAN INDUK

Tanah yg



Granit	Rhyolit
Syenit	Trachyt
Granodiorit	Dacit
Diorit	Andesit
Gabro	
Peridotit	Basalt

Sulit dilapuk

Mudah dilapuk

Tekstur kasar
Masam
Unsur Hara

Tekstur halus
Basa

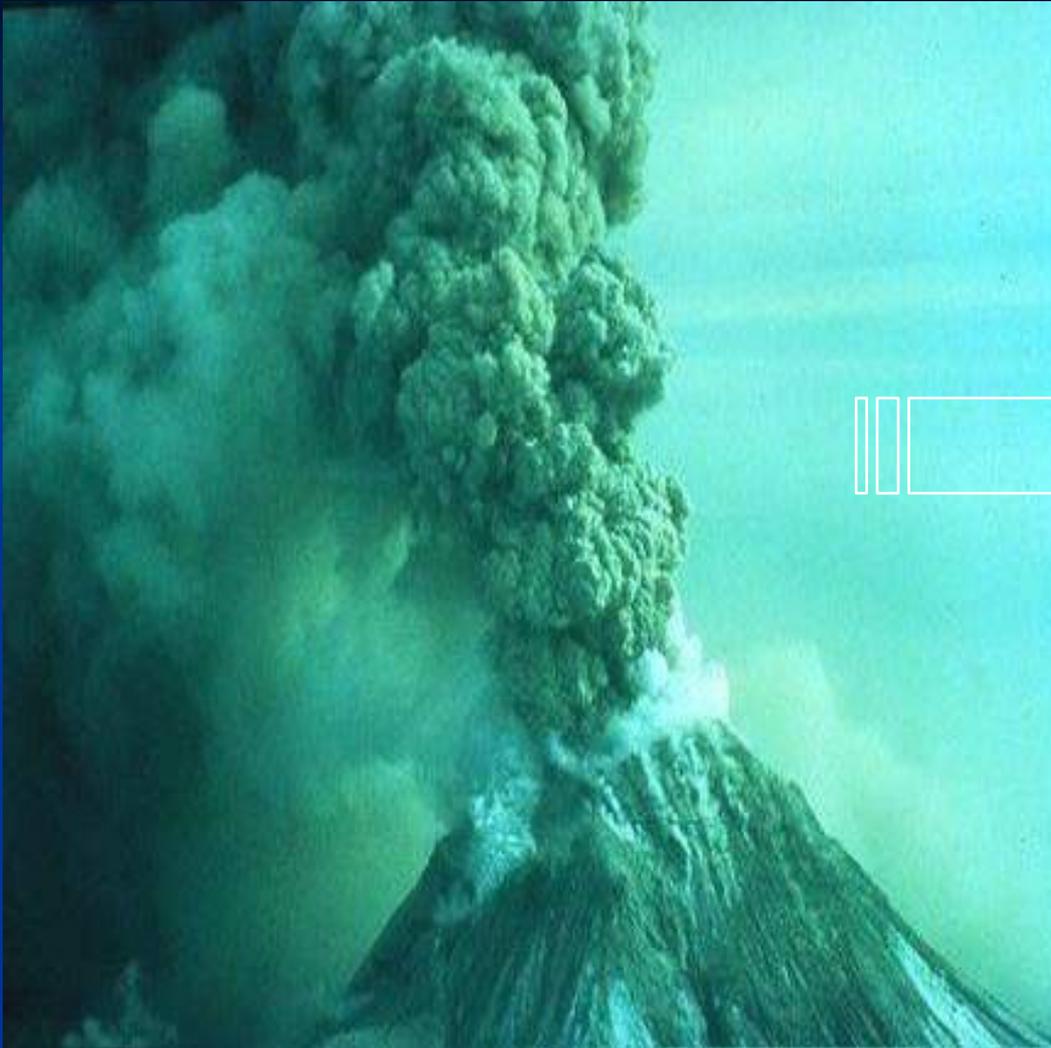
Unsur Hara



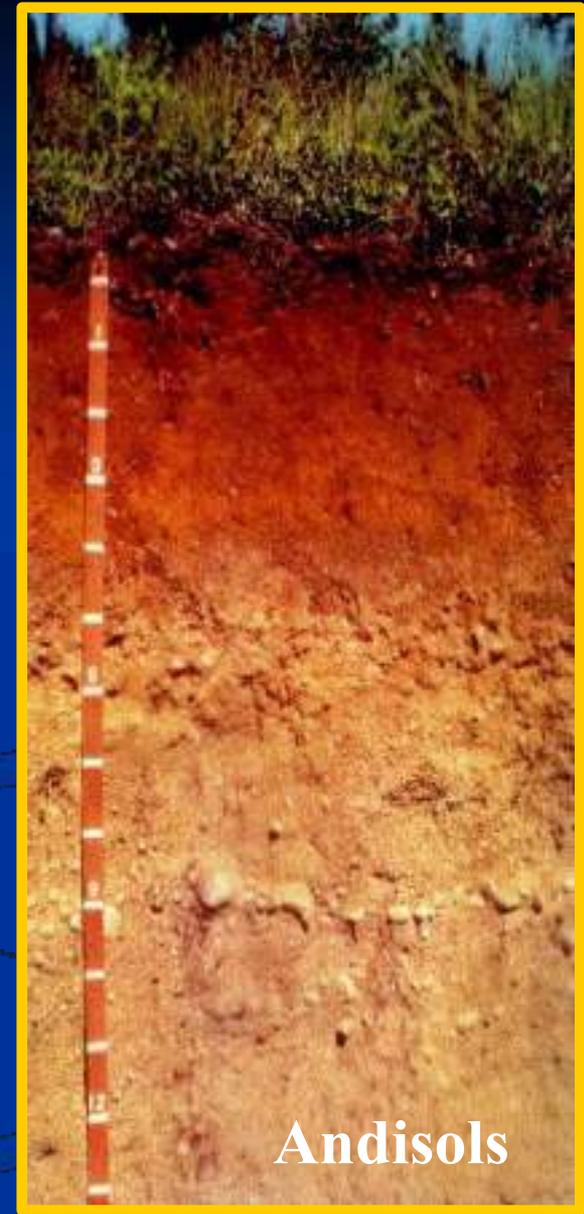
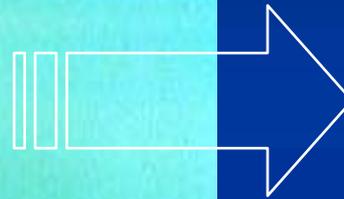
Sulit dilapuk

Mudah dilapuk

Dunit



Volcanic Ash



Andisols

Bahan Induk Lain

- 👉 **Bahan Induk Terangkut: Prinsip Erosi dan Pengendapan**
 - 👉 Aliran air partikel tanah dan fragmen batuan (sedimen)
 - 👉 Jika air mengalir cepat maka membawa partikel besar dan sedimen lebih banyak.
 - 👉 Jika aliran menjadi lambat, partikel besar diendapkan dulu.
- 👉 **Bahan diendapkan air**
 - 👉 **Endapan Aluvial:** Terbentuk akibat aliran air terhenti sehingga sedimentasi terjadi cepat, banyak terjadi di daerah pegunungan, air dan semi arid.
 - 👉 **Dataran banjir dan Teras:** Teras mencerminkan sisa dataran banjir yang lebih tua, aliran sungai telah memotong menjadi dataran banjir baru dalam bentuk teras.
 - 👉 **Delta:** Terbentuk jika sedimen halus yang dibawa sungai diendapkan pada daerah perairan yang luas (misal danau) ✉ tanah subur.
- 👉 **Colluvium:** bahan diendapkan akibat gravitasi, pada lereng curam; tanah longsor

Bahan Induk Tanah

IKLIM

Merupakan faktor yang paling aktif dalam proses pembentukan tanah, mempengaruhi reaksi kimia, dan aktivitas flora dan fauna

SUHU

Reaksi cepat (fisik)
Pelapukan mekanik cepat
Proses kehilangan lambat
Perkembangan terhambat

Reaksi cepat (kimia fisik)
Pelapukan kimia / mekanik cepat
Proses kehilangan cepat
Perkembangan cepat

Reaksi lambat
Pelapukan mekanik lambat
Proses kehilangan lambat
Perkembangan terhambat

Reaksi lambat
Pelapukan kimia cepat
Proses kehilangan cepat
Perkembangan agak cepat

CURAH
HUJAN

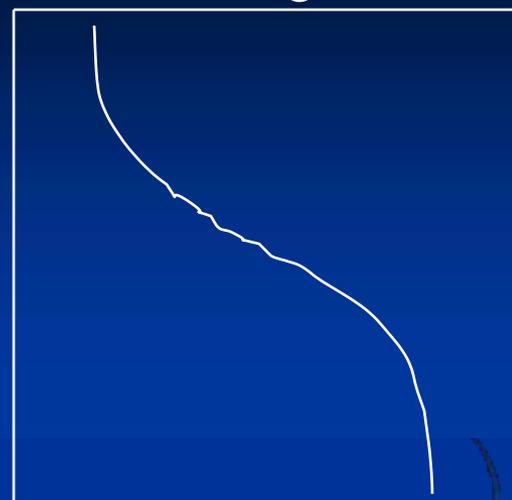


Basah - Panas



% kadar garam

Kedalaman



IKLIM

% kadar garam

Kedalaman



Kering - Panas

Iron and Al-oxide Rich



Oxisols

Iklim Tropis

Curah hujan tinggi

Suhu tinggi

Pelapukan batuan/mineral
cepat

Penambahan bahan organik
cepat, demikian juga
dekomposisinya

Pencucian unsur hara relatif
tinggi

Basah- Panas

TOPOGRAFI

Bandingkan

- ▲ **Kondisi air**
- ▲ **Suhu**
- ▲ **Aliran air**
- ▲ **Erosi**
- ▲ **Pelapukan**

A

Tropudult

B

Tropudalf

C - - - Aquept/Aquent

ORGANISMA

Fungsi

Sumber bahan organik
tanah

Pembentukan humus

Sifat fisiko-kimia tanah

Peredaran Unsur Hara

Perkembangan struktur
tanah

Dekomposisi Bahan
Organik

Flora

Fauna

Jumlah dan macam

Kondisi iklim

Suasana fisiko-kimia

Vegetasi lain
(kompetisi, sumber
makanan, dll)

📌 Waktu

📌 Umur (chronological)

📌 Tingkat perkembangan profil (SOIL DEVELOPMENT = "SOIL AGE")

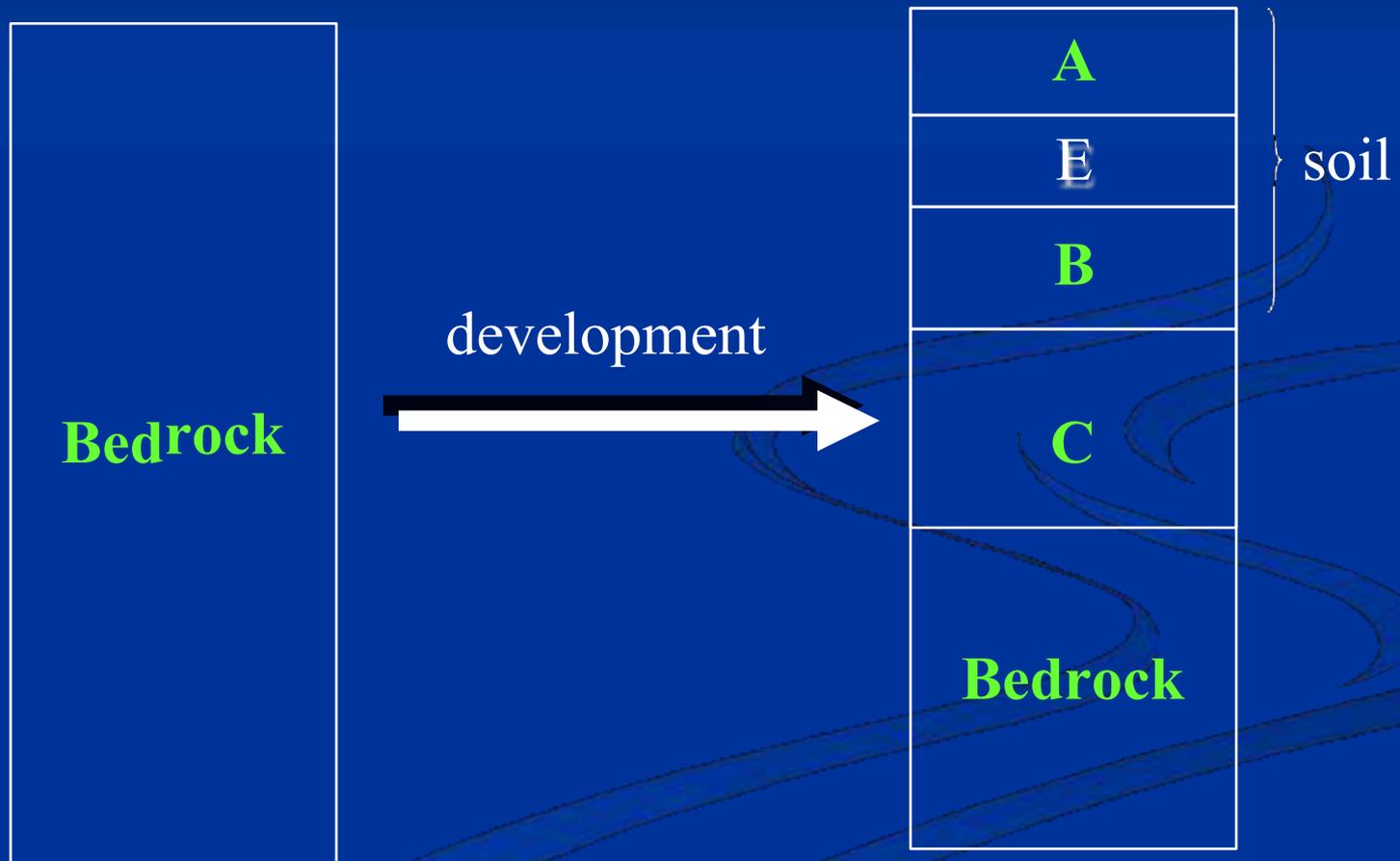
📌 **Tanah muda:** pelapukan dan pencampuran bahan mineral dan organik, di permukaan tanah dan pembentukan struktur tanah, horison A dan C, sifat tanah didominasi sifat bahan induknya, contoh tanah muda; Entisol (Aluvial, Regosol).

📌 **Tanah dewasa:** pembentukan horison B, kemampuan berproduksi tertinggi, karena tersedia unsur hara, contoh tanah dewasa, Inceptisol (Latosol), Andisol (Andosol), Vertisol, Mollisol.

📌 **Tanah tua:** perubahan nyata pada horison A dan B, terbentuk horison $A_{1,2,3}$, B_1 , B_2 , B_3 dll.. pelapukan mineral dan pencucian basa, tanah kurus dan masam, contoh tanah tua, Ultisol (Podsolik merah kuning) dan Oxisol (Laterit).

PROSES PEMBENTUKAN TANAH

- **Soil Profile Development**
contains characteristic layers
called horizons



▲ Translokasi

- ▲ Dekomposisi bahan organik
- ▲ Pengurangan ukuran partikel oleh pelapukan
- ▲ Transformasi mineral (primer menjadi sekunder)
- ▲ Reaksi-reaksi liat dan bahan organik

▲ Transformasi

- ▲ Liat, bahan organik, oksida besi, dan bahan kimia oleh air
- ▲ Unsur hara disirkulasikan oleh tanaman
- ▲ Garam-garam terlarut oleh air
- ▲ Tanah oleh fauna tanah

▲ Penambahan

- ☞ Air presipitasi, kondensasi, atau run-off
- ☞ O₂ dan CO₂ dari atmosfer
- ☞ N, Cl, dan S dari atmosfer dan presipitasi
- ☞ Bahan organik dari aktivitas biotik
- ☞ Bahan dari sedimen
- ☞ Energi matahari

▲ Kehilangan

- ☞ Air oleh evapotranspirasi
- ☞ N oleh denitrifikasi
- ☞ C sebagai CO₂ dari oksidasi bahan organik
- ☞ Tanah oleh erosi
- ☞ Energi oleh radiasi
- ☞ Air dan bahan dalam larutan atau suspensi

PELAPUKAN FISIK

- ☞ Merupakan proses mekanik : desintegrasi (menghasilkan perubahan fisik, tanpa perubahan kimia)
- ☞ Agen penting: Suhu dan Air, (bisa juga akar tanaman)
- ☞ Penyebab: komposisi mineralogi (daya serap panas berbeda), struktur batuan (retakan, dsb), perbedaan suhu yang drastis

PELAPUKAN KIMIA

- ☞ Merupakan proses dekomposisi (perubahan fisik dengan perubahan kimia)
- 👤 Agen penting: Suhu dan Air, (bisa juga bahan organik)
- 👤 Proses: hidrolisis, hidrasi, karbonasi, oksidasi- reduksi, pelarutan

Pelapukan Kimia

Pelapukan Kimia

Sepuluh Proses Pembentukan Tanah

- 1. Pencucian
(leaching)**
- 2. Asidifikasi**
- 3. Eluviasi**
- 4. Podsolisasi**
- 5. Desilikasi**
- 6. Reduksi**
- 7.**

Salinisasi

8.

Alkalisasi

9. Erosi

10. Deposisi (pengendapan)

☞ **Pencucian (leaching)**

☞ Jika terjadi hujan yang sangat lebat sehingga air meresap ke dalam profil tanah, senyawa-senyawa organik larut akan terangkut

☞ **Asidifikasi**

☞ disebabkan oleh air hujan yang bersifat masam karena karbon dioksida larut di dalamnya membentuk asam karbonat

👤 **Eluviasi liat**

👤 liat di lapisan tanah atas tercuci dan diendapkan ke lapisan yang lebih bawah. Bagian tanah atas yang kekurangan liat disebut horizon A atau horizon eluvial (eluvial = tercuci ke bawah), dan horizon bagian bawah disebut horizon B atau horizon iluvial (iluvial = tercuci ke dalam)

👤 **Podsolisasi**

👤 horizon A yang berwarna pucat kelabu. Proses podsolisasi terjadi pada tanah-tanah masam. Komponen organik dan anorganik

diangkut oleh air dan diendapkan pada horizon
B

❧ **Desilikasi**

❧ pencucian silika (lebih besar dibandingkan pencucian besi dan aluminium). Proses ini terjadi di daerah tropika, yang menyebabkan terbentuknya tanah yang sangat sarang (porous) dengan kandungan oksida besi yang tinggi. Tanah yang dicirikan oleh adanya proses ini adalah Oxisol.

❧ **Reduksi**

❧ Jika terjadi akumulasi air drainase dalam tanah maka udara di dalam

tanah digantikan oleh air

👤 **Salinisasi & Alkalisasi**

👤 Salinisasi adalah akumulasi garam seperti sulfida dan klorida 👤 Alkalisasi adalah akumulasi sodium pada kisi pertukaran

👤 garam yang dihembus dari lautan ke daratan, masuk melalui irigasi atau dihasilkan oleh proses pelapukan menyebabkan tanah tidak subur. Masalah ini umumnya terjadi di daerah kering dimana tidak tersedia cukup air untuk mencuci garam dari profil tanah

👤 **Erosi dan Deposisi**

👤 Tanah selalu peka terhadap erosi air dan angin. Bahan hasil erosi mungkin diendapkan di lembah-lembah sungai untuk menjadi bahan pembentuk tanah baru, atau

mungkin terangkut sampai ke laut

PERTEMUAN 3

Sifat Fisika Tanah

Tekstur Tanah

- Tekstur tanah adalah proporsi relatif dari partikel pasir, debu dan liat (jumlah ketiganya 100%).
- Bahan organik tanah bukan merupakan bagian tekstur tanah, tetapi bersama-sama dengan kandungan bahan organik tanah, tekstur tanah digunakan dalam '*pedotransfer functions*'
- Proporsi pasir, debu dan liat tersebut dikelompokkan dalam kelas tekstur

Pengaruh Tekstur pada Lingkungan Tanah

- Pergerakan dan retensi air
- Pergerakan udara tanah
- Serapan hara dan bahan pencemar (pollutans)
- Mudah tidaknya tanah diolah

Penetapan Tekstur Tanah

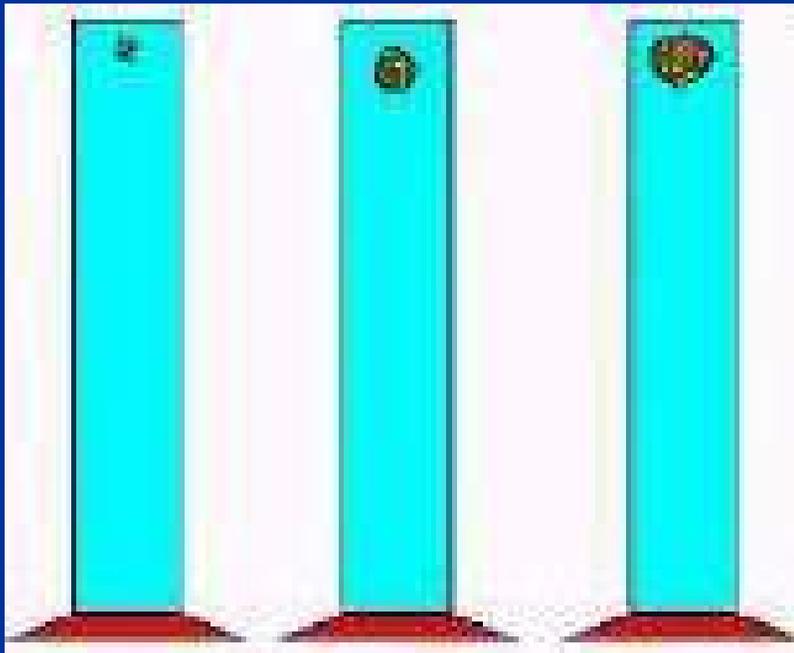
- *Feel method* – kualitatif € di lapangan, untuk orang yang sudah berpengalaman lama di lapangan
- Metode Sedimentasi – ayakan € di laboratorium
 - Pasir ditetap dengan ayakan
 - Sedimentasi ditetapkan untuk partikel ukuran $< 20 \mu\text{m}$
 - Distribusi ukuran partikel (pasir, debu, Liat), dipisahkan dari bahan organik (dengan H_2O_2), di dispersi dengan natrium heksametafosfat

Menetapkan Kelas Tekstur dengan perasaan (by-Feel)

Ball	Ribbon	Ribbon Length (cm)	Wet Feel			Textural Class
			Gritty	Smooth	Niether	
No						Sand
Yes	No					Loamy Sand
	Yes	2.5	yes			Sandy loam
				yes		Silt loam
					yes	Loam
		2.5 to 5.0	yes			Silty clay
				yes		Silty clay loam
					yes	Clay loam
		5.0	yes			Sandy clay
				yes		Silty clay
					yes	Clay

Penetapan Ukuran Partikel dengan Sedimentasi

- **Prinsip:** velositas suatu partikel yang jatuh melalui cairan berhubungan dengan diameter efektif partikel tsb



Velositas Terminal, V , terkait dengan:

- gaya gravitasi, g
- densitas partikel, D_s
- densitas cairan, D_f
- viskositas cairan, η
- diameter partikel, d

HUKUM STOKES

Menjelaskan kecepatan jatuhnya partikel dalam media cair

Kecepatan jatuhnya partikel sebanding dengan pangkat dua

$$v = \frac{2(ds - df) * g * r^2}{9 \eta}$$

v = velocity of particle, cm/sec

ds & df = particle and fluid densities, g/cm³

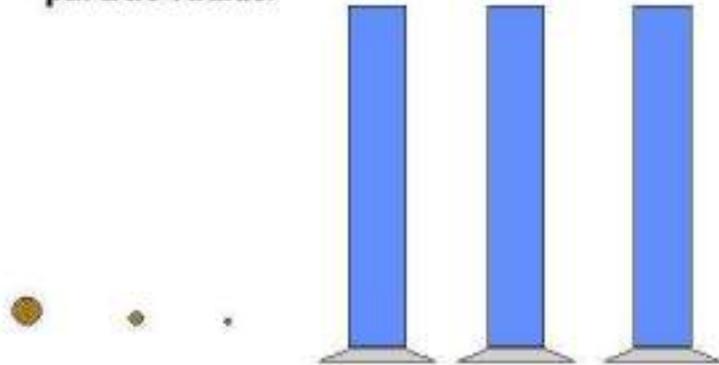
η = viscosity, poise

g = acceleration of gravity, cm/sec²

r = radius of particle, cm

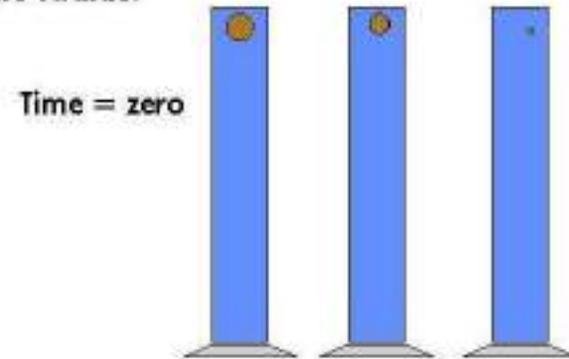
Stokes Law

The velocity is proportional to the square of the particle radius.



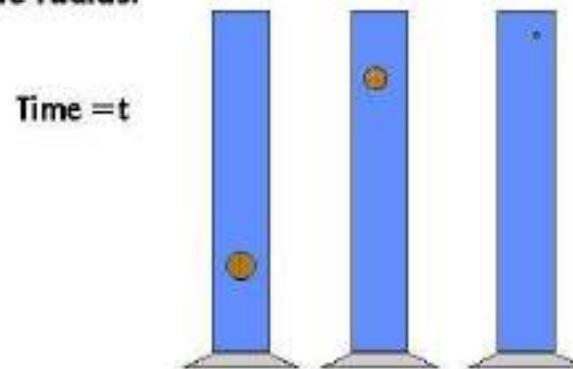
Stokes Law

The velocity is proportional to the square of the particle radius.

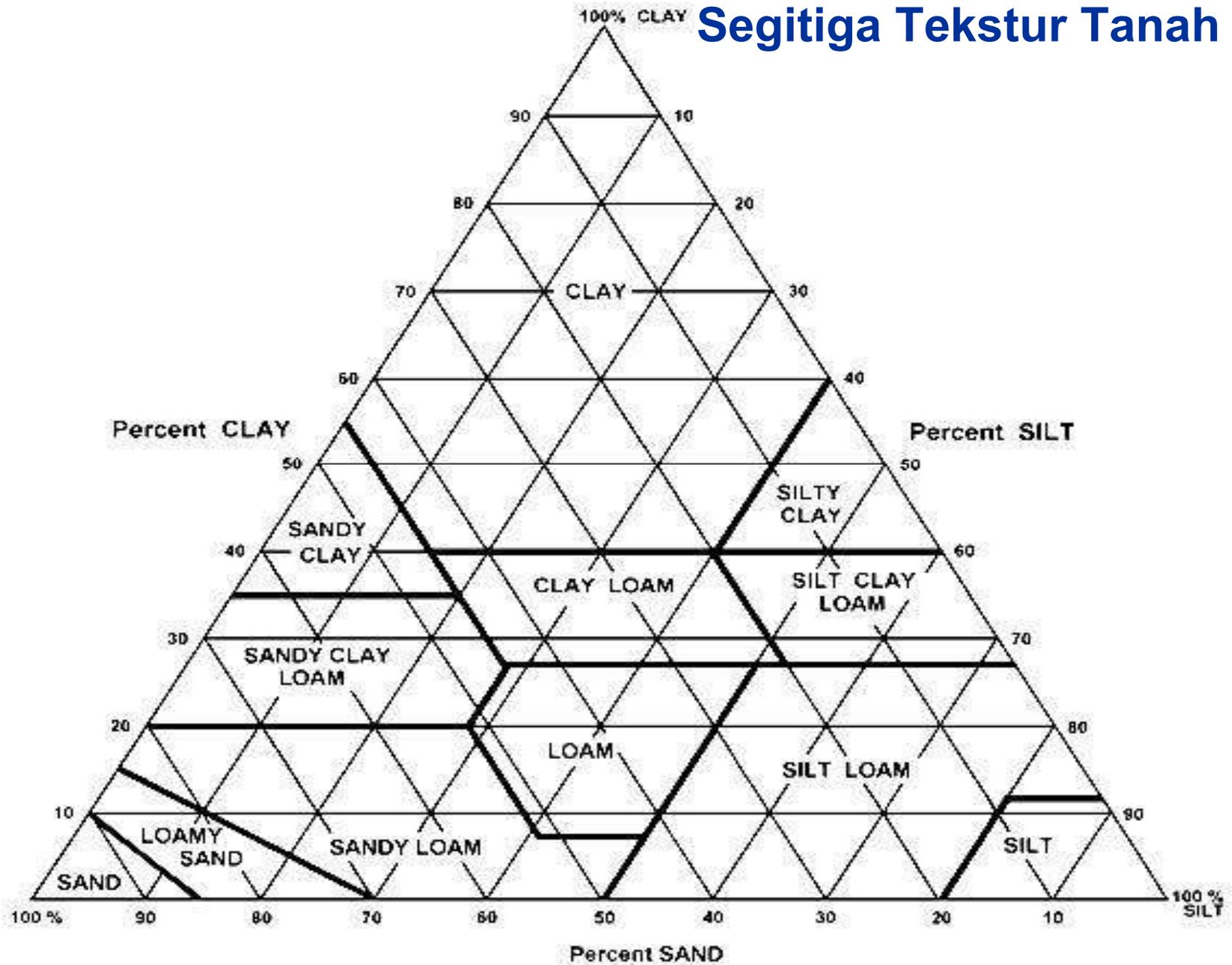


Stokes Law

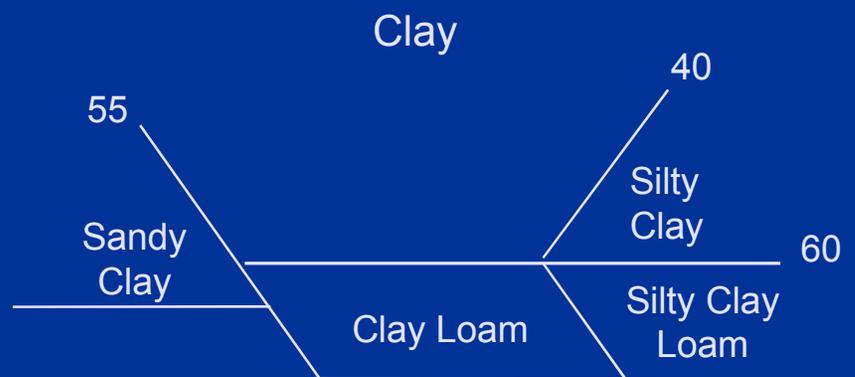
The velocity is proportional to the square of the particle radius.



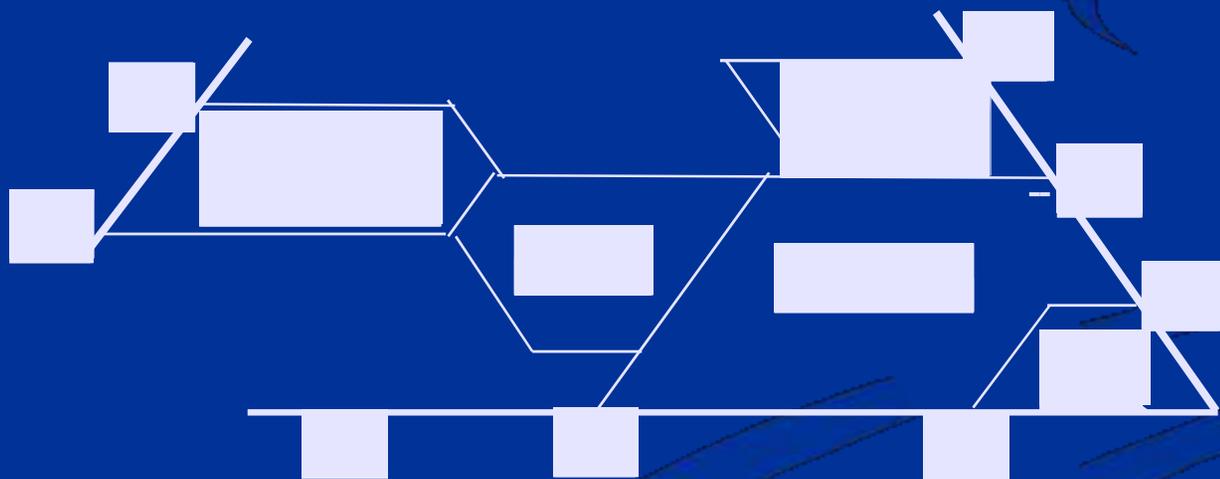
Segitiga Tekstur Tanah



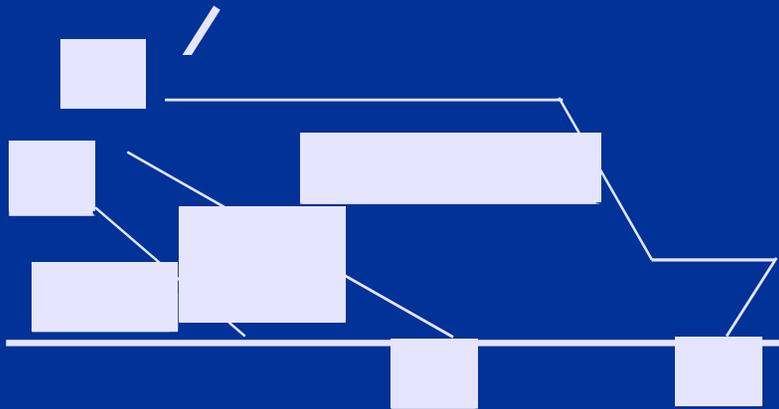
Clayey Soil (fine textured)



Loamy/Silty
Soils
(medium textured)



Sandy Soils (coarse textured)



Struktur Tanah

- **Struktur** adalah susunan partikel pasir, debu dan liat menjadi satuan yang lebih besar (agregat atau ped); *ped adalah agregat tunggal*
- **Pentingnya struktur tanah**
 - Meningkatkan infiltrasi air, jadi mengurangi limpasan permukaan (runoff) dan erosi serta meningkatkan jumlah air tersedia untuk tanaman
 - Meningkatkan daya perkecambahan biji, pertumbuhan akar, dan kedalaman perakaran.
- Meningkatkan permeabilitas

Konsep Struktur Tanah



Struktur Kubus (blocky)



Tidak berstruktur



Tanah Diolah

Pembentukan Struktur Tanah

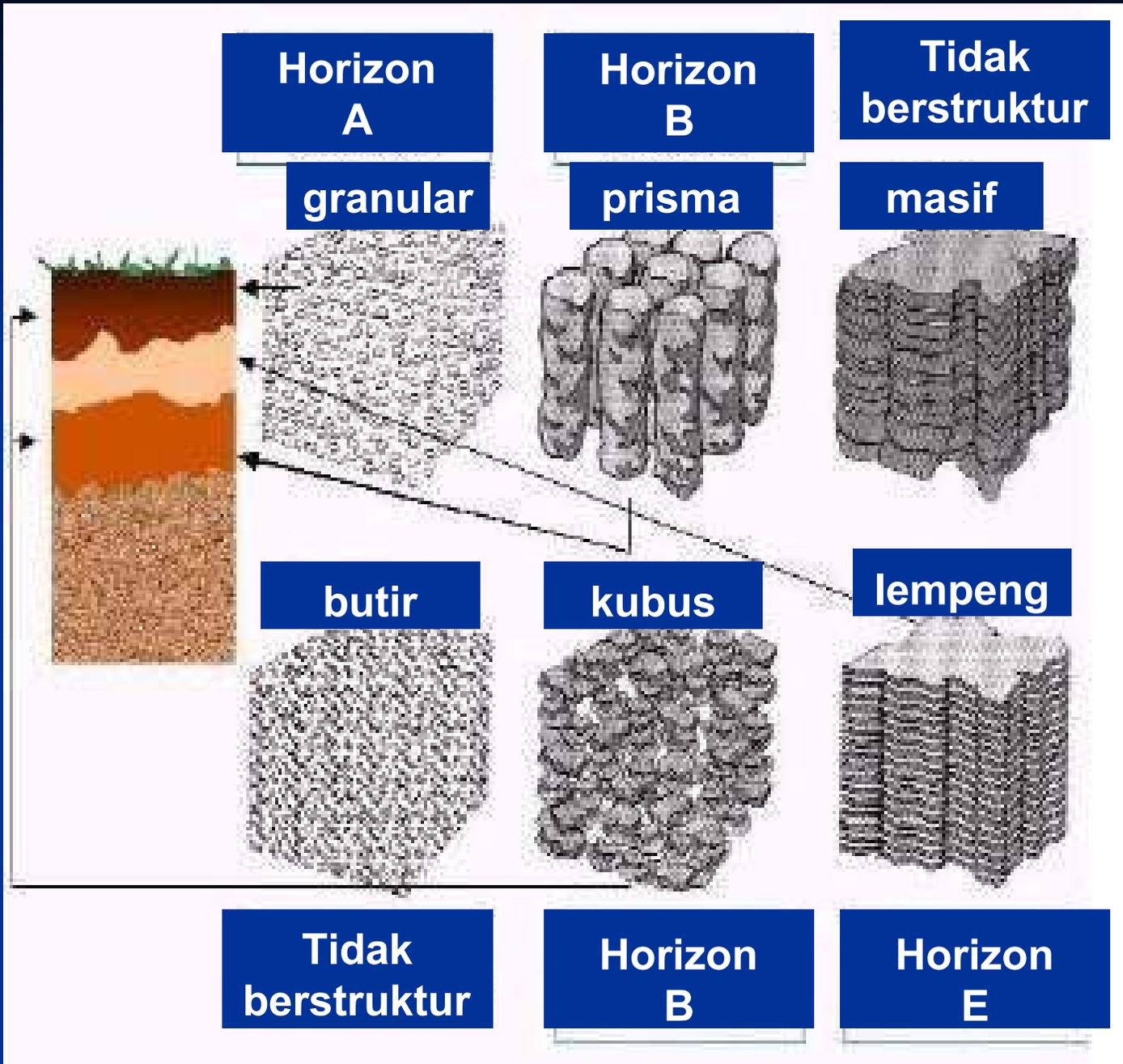
- Dua tahap pembentukan
 - Flokulasi (gaya elektrostatis karena kation polivalen, spt Ca, Mg, Fe)
 - Sementasi (misl; bahan organik, oksida besi, kalsium karbonat)
- Proses fisikokimia: mengembang dan mengkerut, pembasahan dan pengeringan
- Proses biologi: pengaruh langsung mikro dan makroorganisme dan pengaruh tidak langsung melalui penambahan bahan organik

Karakterisasi Struktur Tanah

- **Tipe struktur** : lempeng, kubus, prisma, butir, masif
- **Kemantapan**: lepas (tidak berstruktur), lemah, sedang, kuat
- **Kelas Struktur**: sangat halus, halus, sedang, kasar, sangat kasar

5 Tipe dasar struktur Tanah

- **Prisma (Prismatic):** sumbu vertikal tidak lebih panjang dari sumbu horizontal.
 - Jika bagian atas datar, disebut prismatic
 - Jika bagian atas bulat disebut columnar
- **Butir (Granular):** Ped bulat dan porous, spheroidal. Struktur umum pada horizon A
- **Tidak berstruktur:** tidak ada agregasi
 - Butir tunggal, lepas-pasir
 - Masif-mampat tanpa agregat



Tipe Struktur Tanah

Struktur tanah di lapangan



Lempeng



Kubus



Prisma



granuler

prisma

Mempertahankan Struktur Tanah

1. Olah tanah pada kandungan air yang sesuai
2. Tidak mengolah tanah jika terlalu basah, merusak agregat
3. Menambahkan pupuk dan kapur yang sesuai. Pertumbuhan tanaman yang baik membantu perkembangan struktur tanah yang baik
4. Menaman rumput dan legumes. Biomasa organik tanaman tersebut dapat membantu menstabilasi agregat
5. Pertumbuhan legum juga juga akan merangsang pertumbuhan mikroorganismen tanah, termasuk jamur yang dengan hifanya bisa menstabilasi ped
6. Mempertahankan atau menambah kandungan bahan organik tanah

Permeabilitas Tanah

- **Permeabilitas** – kemampuan tanah untuk mengalirkan air atau udara; dinyatakan dalam cm air/jam
- **Permeabilitas tanah vs Drainase Tanah**
- Permeabilitas adalah kecepatan pergerakan udara dan air dalam tanah; € dipengaruhi oleh tekstur dan struktur
 - Jika permeabilitas tinggi: air bergerak cepat
 - Jika permeabilitas rendah: air bergerak lambat
- Drainase adalah frekuensi dan durasi (lama) kejenuhan (waktu pada kondisi tanah tergenang) € dipengaruhi oleh posisi lansekap dan permeabilitas

Faktor mempengaruhi permeabilitas

- **Ukuran pori-pori tanah € terkait TEKSTUR**
 - Air bergerak lebih cepat melalui pori-pori besar dibandingkan pori-pori kecil € terkait dengan tekstur tanah
- **Kontinuitas Pori-pori € terkait STRUKTUR**
 - Permeabilitas tinggi – mengandung pori-pori yang kontinyu dan cukup besar untuk dilalui air dan udara
 - Semua faktor yang akan mempengaruhi ukuran pori-pori atau kontinuitas pori-pori akan mempengaruhi permeabilitas
 - Hal tsb menunjukkan bahwa permeabilitas terkait dengan tekstur dan struktur tanah

Berat Isi (Bulk Density)

- **Berat Isi**
 - Merupakan ukuran seberapa mampat atau padat suatu tanah
 - Berat Isi adalah berat tanah kering oven dibagi volume total tanah (g/cm^3)
- **Berat Isi dipengaruhi oleh padatan dan ruang pori tanah**
 - Ruang pori tinggi = berat isi rendah
 - Ruang pori rendah = berat isi tinggi
- **Jika berat isi meningkat,**
 - Kekuatan tanah meningkat
 - ruang pori menurun
 - Tanah menjadi makin mampat / padat / kompak

Kerapatan Tanah (Density)

- Kerapatan Isi (BI)

$$\rho_b = \frac{\text{mass of oven - dry soil } Mg}{\text{volume bulk soil}} = \frac{Mg}{m^3}$$

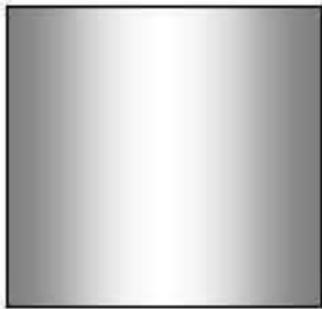
Kerapatan Jenis (BJ)

$$\rho_b = \frac{\text{mass of oven - dry soil } Mg}{\text{volume soil particles}} = \frac{Mg}{m^3}$$

BI tanah organik sekitar 0.8 g/cm^3

BI tanah mineral (lapisan bawah) sekitar 1.7 g/cm^3

Bulk Density



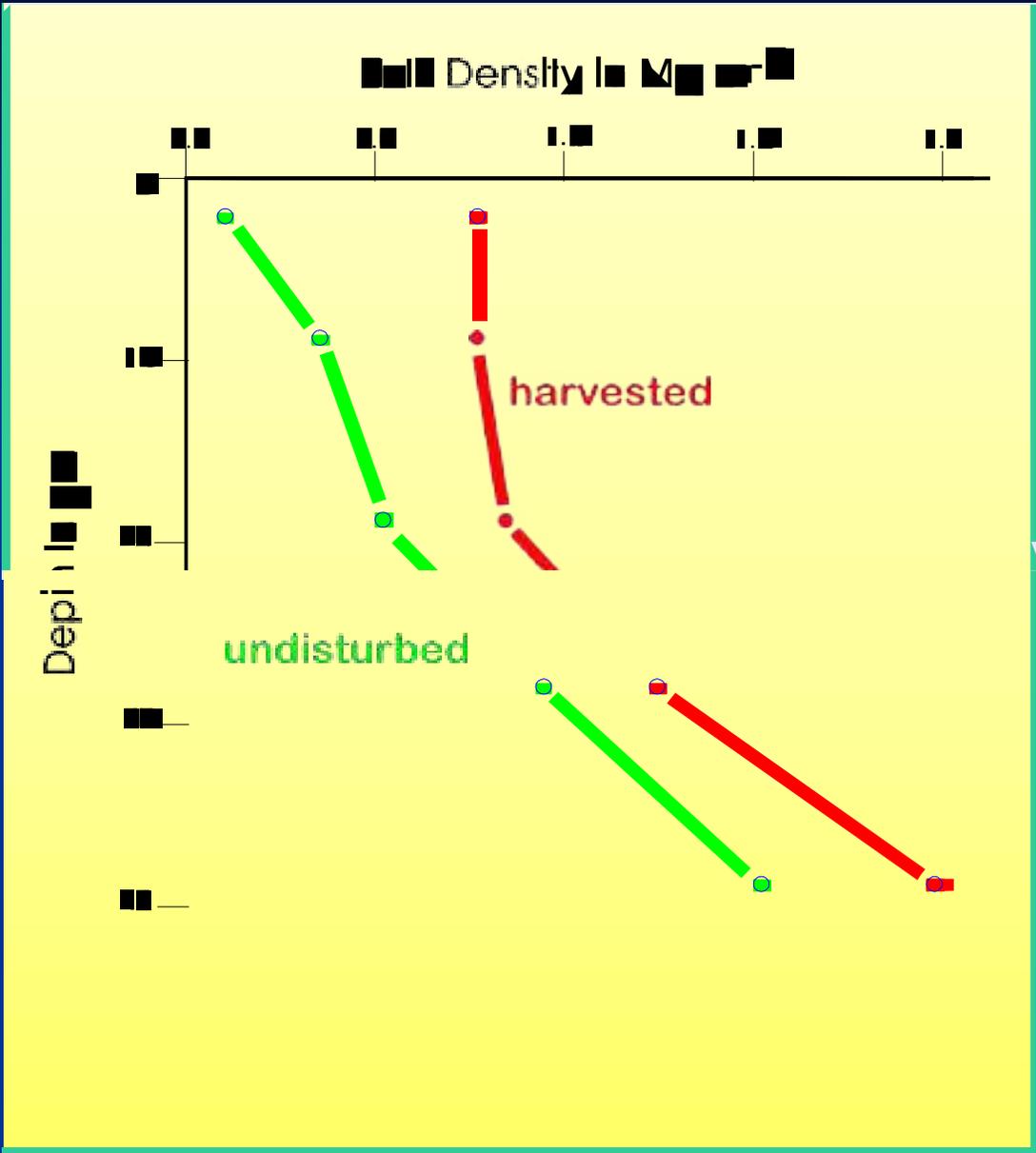
Bulk soil vol. = particle vol. + pore vol.

B. D. = dry wt. (g) / soil volume (cm³) = g/cm³

Nilai Berat Isi yang baik

Biasanya pada tanah-tanah pertanian tanpa pemadatan

Tekstur	BI (g/cm ³)
Berpasir	1.5-1.8
Berlempung	1.3-1.6
Berliat	1.1-1.4

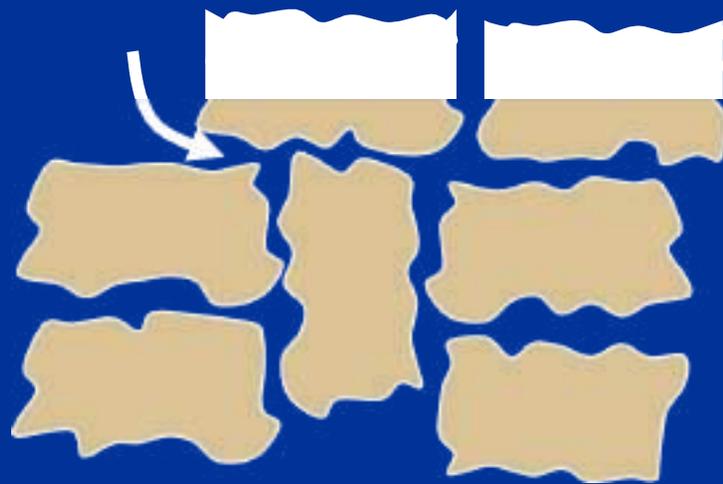


Timber Harvest

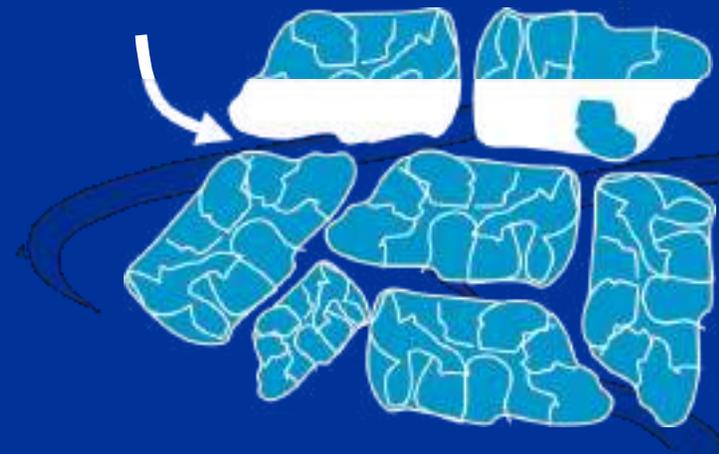
Volcanic Ash Soil

Porositas Makro

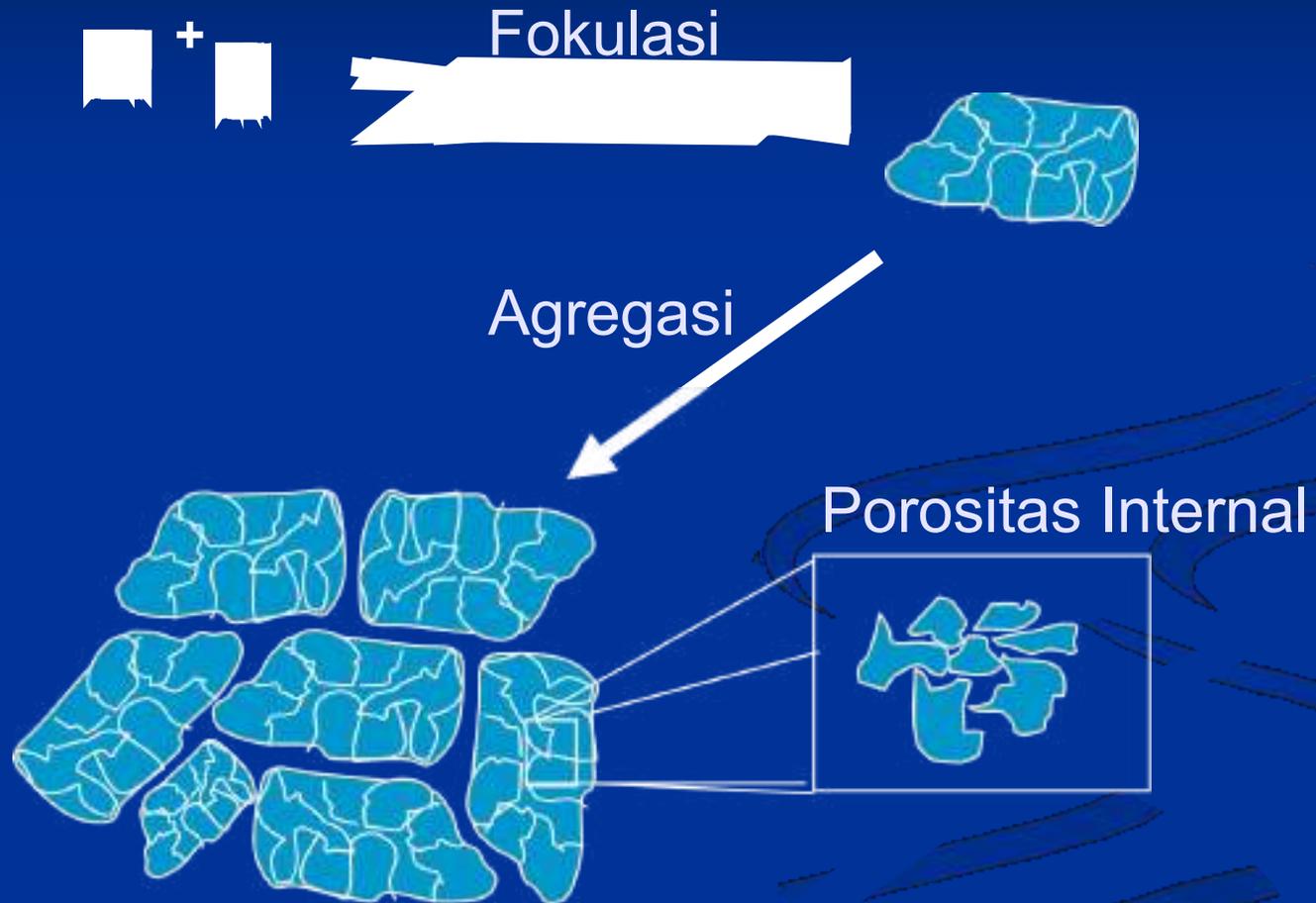
Partikel pasir



Agregat Liat



Pori Mikro



Porositas

$$\varphi = \frac{\text{volume of pore space}}{\text{bulk volume of soil}} = \frac{m^3}{m^3}$$

$$\varphi = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_p}$$

Kisaran Porositas dan BI

Pada tanah pertanian
tanpa
pemadatan

Tekstur	BI	Porositas
	g/cm^3	cm^3/cm^3
Berpasir	1.5-1.8	0.4 to 0.3
Berlempung	1.3-1.6	0.5 to 0.4
Berliat	1.1-1.4	0.6 to 0.5

Salah satu Aplikasi BI

- untuk menghitung kebutuhan pupuk atau air untuk tiap-tiap hektar tanah, yang didasarkan pada berat tanah per hektar.
- Contoh:
 - Jika telah diketahui dosis pupuk N yang dianjurkan untuk suatu tanah adalah 100 kg N/ha dalam bentuk Urea). Kandungan N dalam urea adalah 46%, berat isi tanah adalah 1,1 g/cm³, untuk 20 cm lapisan olah.
 - Berapakan dosis pupuk Urea yang diperlukan untuk percobaan pot dengan menggunakan 10 kg tanah lapisan olah tersebut di atas?,

Salah satu Aplikasi BI

- Jawaban:
 - Volume tanah 1 hektar = 20 cm (tinggi lapisan olah) x 100.000.000 cm² (luas 1 hektar): 2000.000.000 cm³;
 - berat tanah lapisan olah seluas 1 hektar adalah: BI x volume = 1,1 x 2000.000.000 g = 2200.000.000 g atau 2.400.000 kg.;
 - Jika 1 ha (2.200.000 kg) digunakan 100 kg N, maka untuk 10 kg tanah dalam pot diperlukan $(10/2.200.000) \times 100 \text{ kg} = 0,4545 \text{ gram N}$ yang setara dengan 0,988 g Urea.

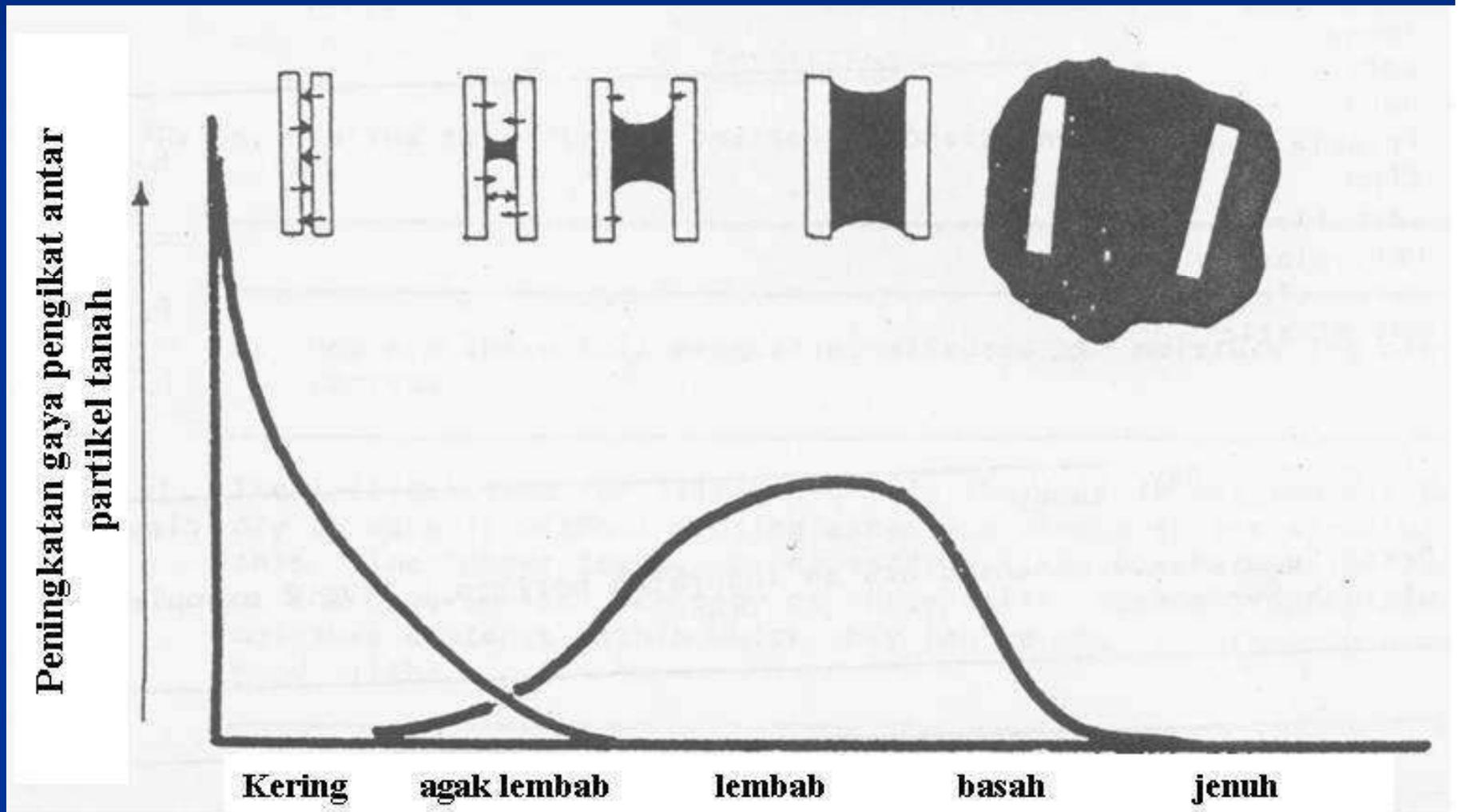
Konsistensi Tanah

- Mencerminkan gaya-gaya adesi dan kohesi yang menahan partikel tanah;
- Bervariasi menurut kandungan air.
- Mengambarkan resistensi tanah pada berbagai kandungan air terhadap manipulasi mekanis
- Dinyatakan dalam 3 tkt kelembaban tanah
 1. BASAH
 - tidak lekat, agak lekat, lekat, sangat lekat
 - tidak plastis, agak plastis, plastis, sangat plastis)
 2. LEMBAB
 - Sangat rapuh, rapuh, teguh ,sangat teguh
 3. KERING
 - Lepas, lunak, agak keras, keras, sangat keras

Konsistensi Tanah

- **Konsistensi mengindikasikan**
 - Jumlah dan tipe mineral liat
 - Kondisi pengolahan tanah
 - Potensi pemadatan
- **Penetapan**
 - Dengan jari tangan-meremas agregat atau menekan tanah dengan jari tanah
 - Penetrometer – mengamati seberapa keras tanah, hal ini sama dengan pengaruh akar tanaman.
 - Tanah memiliki konsistensi sangat lemah, hanya ada gaya kecil diantara partikel. Maka roda mobil mudah menekan pasir dan terjebak dalam pasir

Hubungan antara gaya pengikat partikel tanah dengan kandungan air pada tanah lempung berliat



3 Faktor Utama mempengaruhi Konsistensi Tanah

- **Kandungan Air: terpenting!!**
 - Partikel tanah akan bergerak lebih mudah jika pada tanah basah, air berperan sebagai pelumas
 - Kekuatan tanah meningkat jika tanah kering
 - Tanah menjadi mampat, makin berat diolah jika basah.
- **Tekstur Tanah**
 - Kekuatan tanah meningkat dengan meningkatkan kandungan liat
 - Tanah-tanah berliat lebih kuat dibanding tanah berpasir
- **Berat Jenis Tanah**
 - Makin berat tanah makin kuat.

PERTEMUAN 4

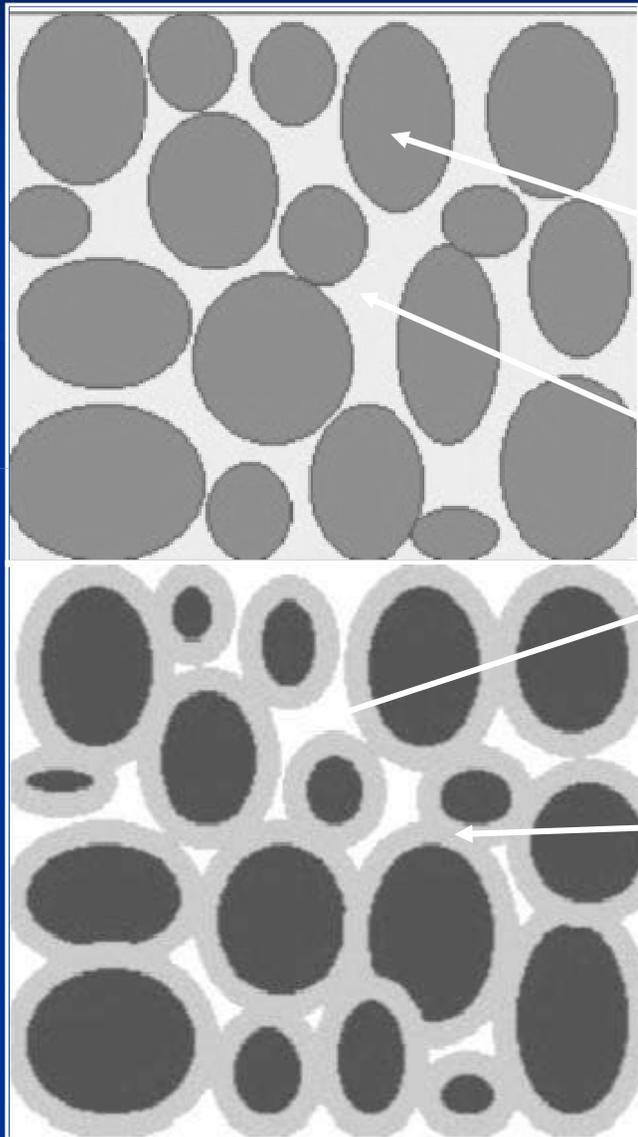
Air Tanah



Apa yang dipelajari ?

- ❏ Kapilaritas dan Air Tanah
- ❏ Konsep Energi Air Tanah
- ❏ Kadar Air dan Potensial Air
- ❏ Mengukur Kadar dan Potensial Air
- ❏ Macam-macam aliran air di dalam tanah
- ❏ Retensi Air di Lapangan
- ❏ Klasifikasi Air
- ❏ Ketersediaan air bagi Tanaman

AIR berada di ! ! ! ! ! ! ! ! dalam ruangan PORI
(diantara MATRIKS tanah)



Partikel Tanah

Ruang Pori

Air Tanah

Berapa banyaknya air dalam tanah ?

Kadar Air

$$w \text{ (massa)} = M_a/M_p \quad \text{kg/kg}^1$$

$$q \text{ (volume)} = V_a/V_t \quad \text{m}^3/\text{m}^3$$

$$t \text{ (tebal)} = T_a/T_t \quad \text{mm/m}^1$$

M_a = massa air

M_p = massa padatan

V_a = volume air

V_t = volume tanah

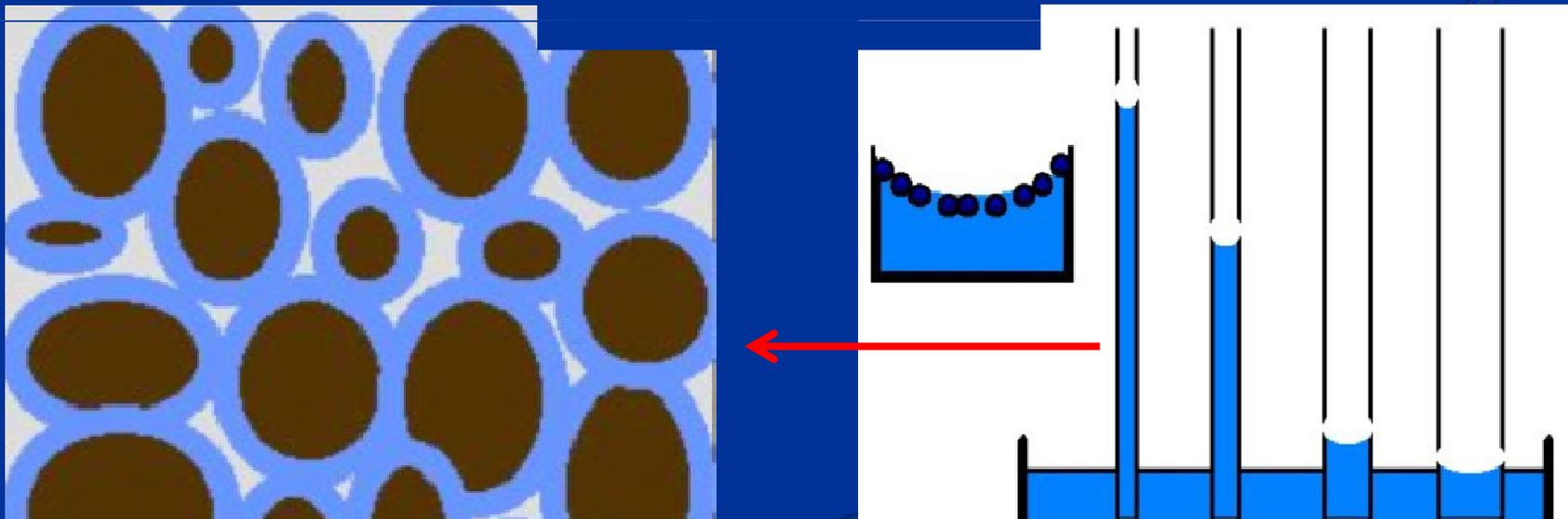
T = tebal air

T_t = tebal tanah

ruangan pori ?

Air diikat oleh partikel (padatan) dan air oleh gaya adhesi dan kohesi

KAPILARITAS



Air mengalir ! !



Aliran permukaan
terjadi karena
gaya gravitasi



gravitasi

Apakah air selalu
mengalir ke bawah ?

Air juga bisa mengalir ke atas

Menyiram tanaman melalui selokan))) . .

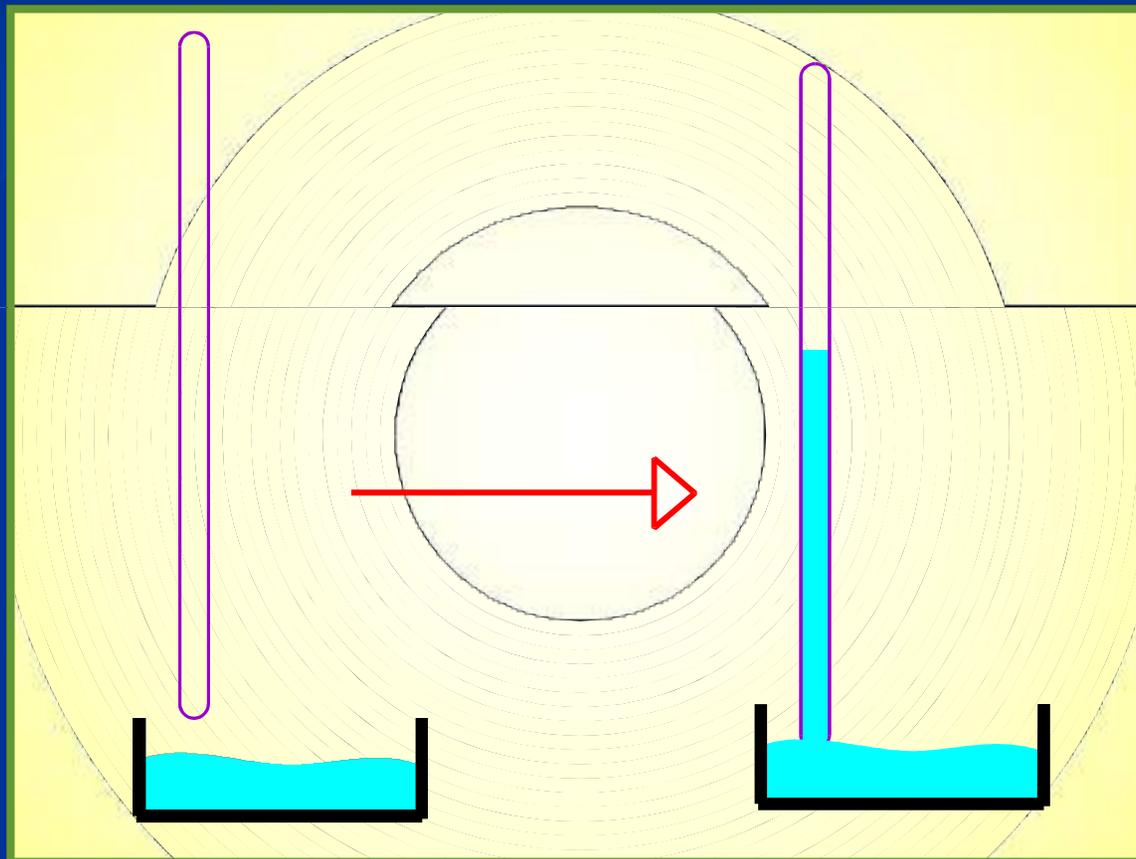


**Air diberikan
lewat
selokan**

**Air
membasahi
permukaan**

Kapilaritas

Air bisa mengalir naik melalui ruang pori tanah secara kapiler, disebabkan oleh gaya-gaya adhesi dan kohesi



Potensial Air

LARUTAN TANAH

osmotik

AIR

absorpsi

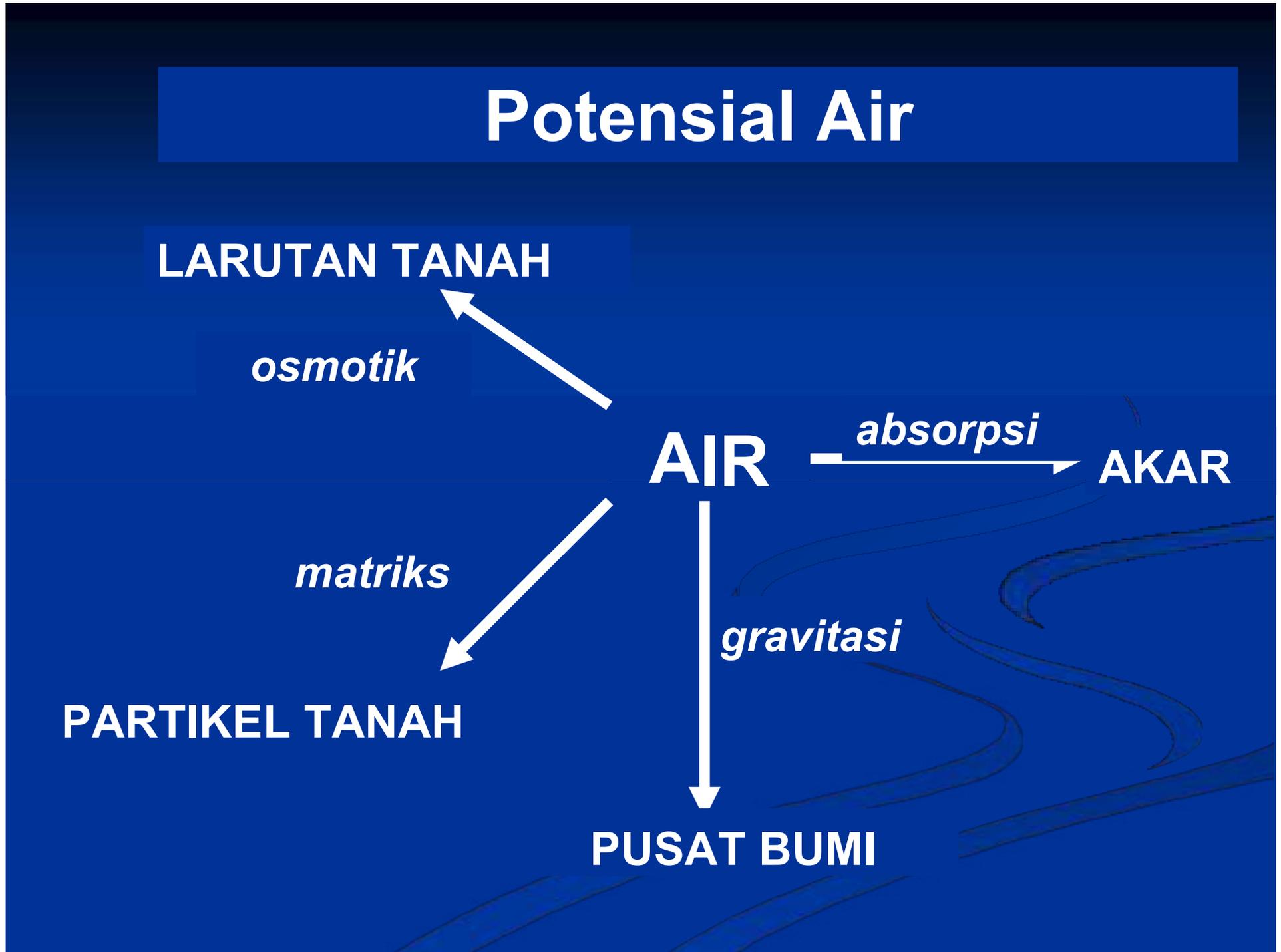
AKAR

matriks

gravitasi

PARTIKEL TANAH

PUSAT BUMI



Potensial Air ψ

- Potensial gravitasi

- Potensial matriks



Potensial Total

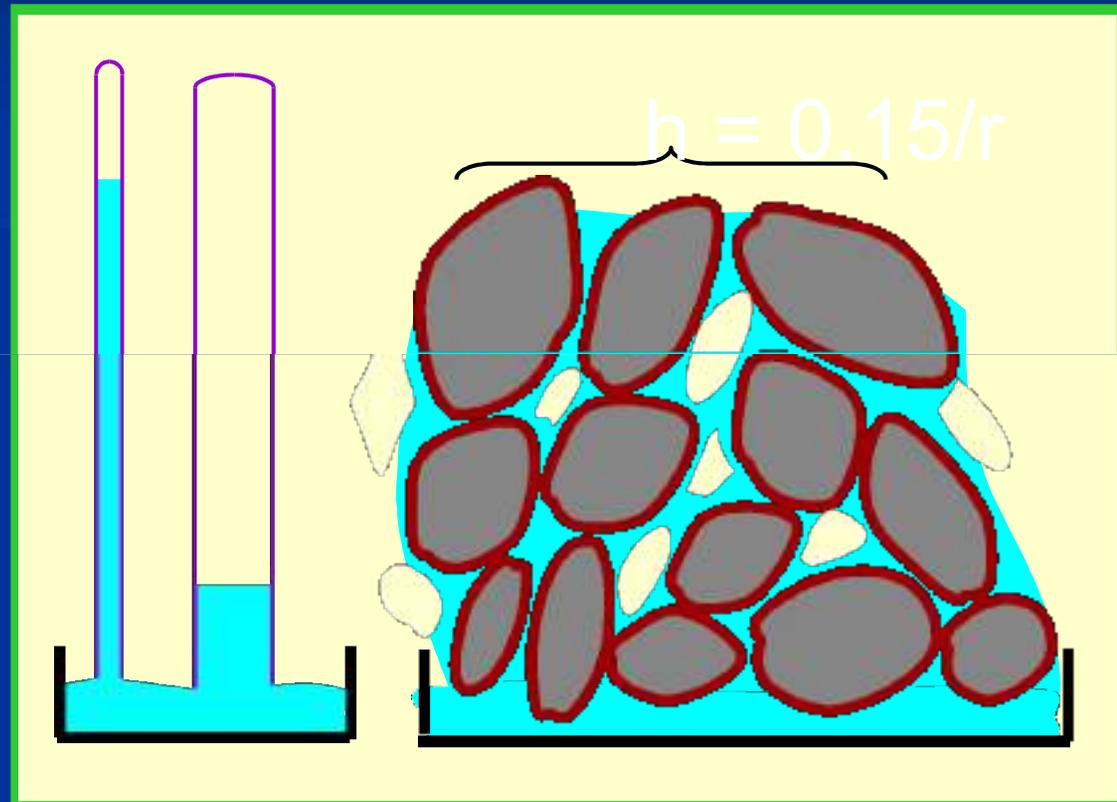
- Potensial osmotik

$$\psi_t = \psi_g + \psi_m + \psi_o$$

Gaya Kapiler (matriks)

$$h = \frac{2g \cos a}{r r g}$$

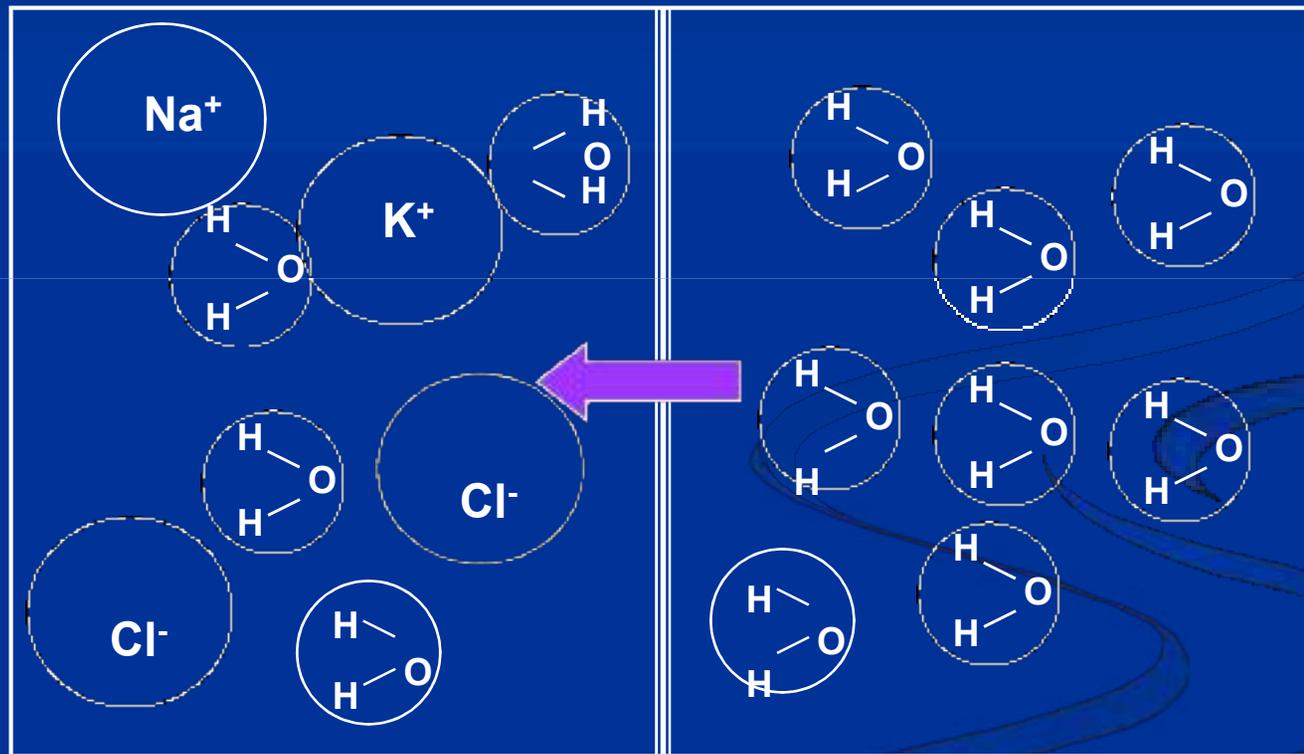
g = tegangan permukaan
a = sudut kontak
r = jari-jari pipa (pori)
r = berat jenis air
g = gravitasi



Pori yang halus menahan air ditahan dengan energi yang lebih besar

Gaya Osmotik

Air mengalir melewati selaput semi-permeabel



Konsep Energi

Air mengalir dari *energi tinggi* ke *energi rendah*

tanah basah

pori kasar

energi H₂O
lebih tinggi

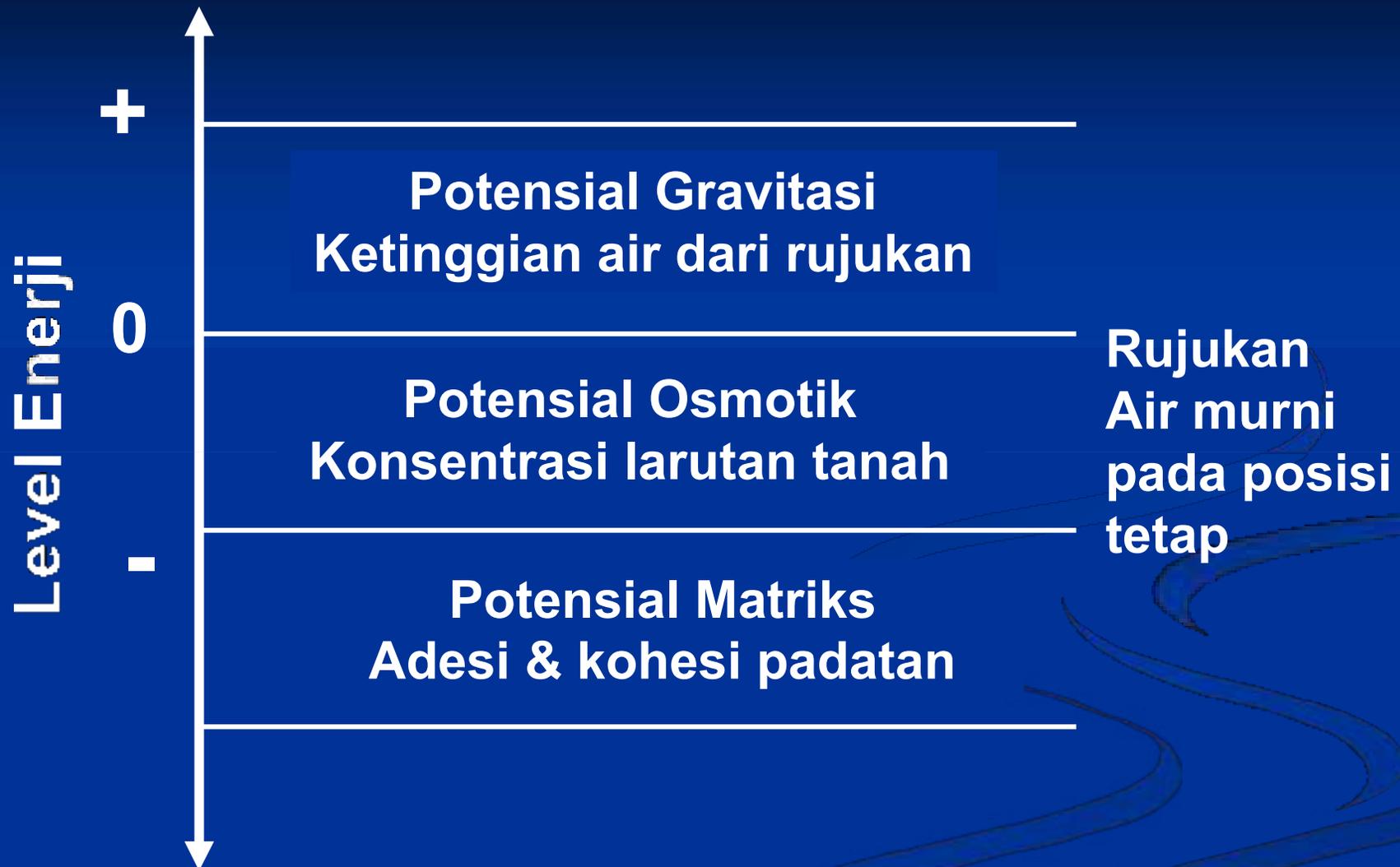


tanah kering

pori kasar

energi H₂O
lebih rendah

perbedaan energi bebas menyebabkan pergerakan H₂O



Satuan Pengukuran Air Tanah

Kadar Air Tanah :

Kadar Air massa **kg/kg**

Kadar Air Volume **m³ /m³**

Tebal Air **mm**

Potensial Air Tanah

Potensial per massa **J/kg**

Potensial per volume **N/m² = Pa**

Potensial per berat **m**

Konversi Satuan

1 atm = 760 mm Hg = 1020 cm H₂O = 1 bar = 100 KPa

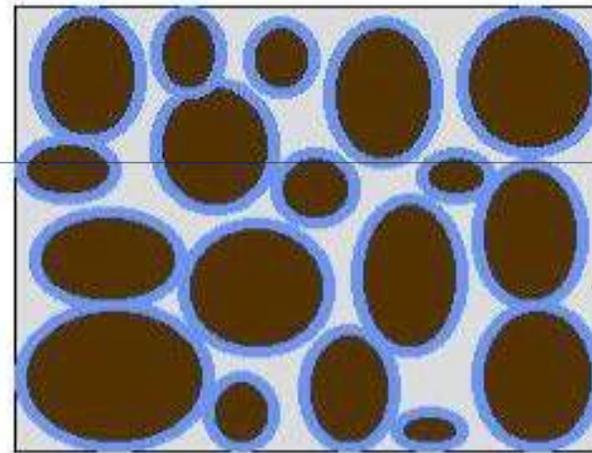
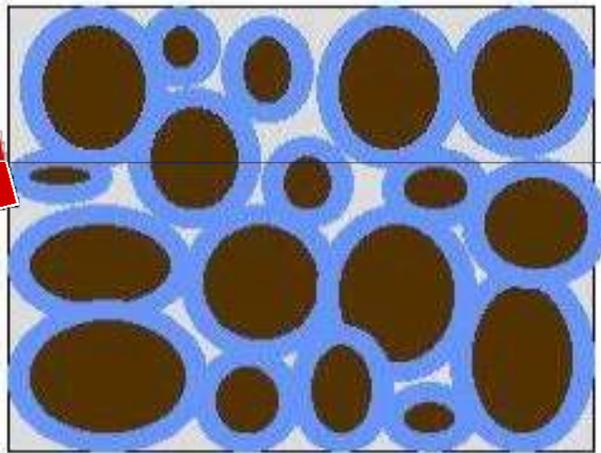
cm H ₂ O	bars	kPa	pF
300	-0.3	-30	2,5
1.000	-1	-100	3,0
10.000	-10	-1000	4,0
15.000	-15	-1500	4.2

pF = logaritma tekanan air dalam satuan cm H₂O

Kadar Air dan Potensial Air

Tanah jenuh = jumlah air banyak

- Potensial rendah
- Air mudah dilepaskan



Tanah kering = jumlah air sedikit

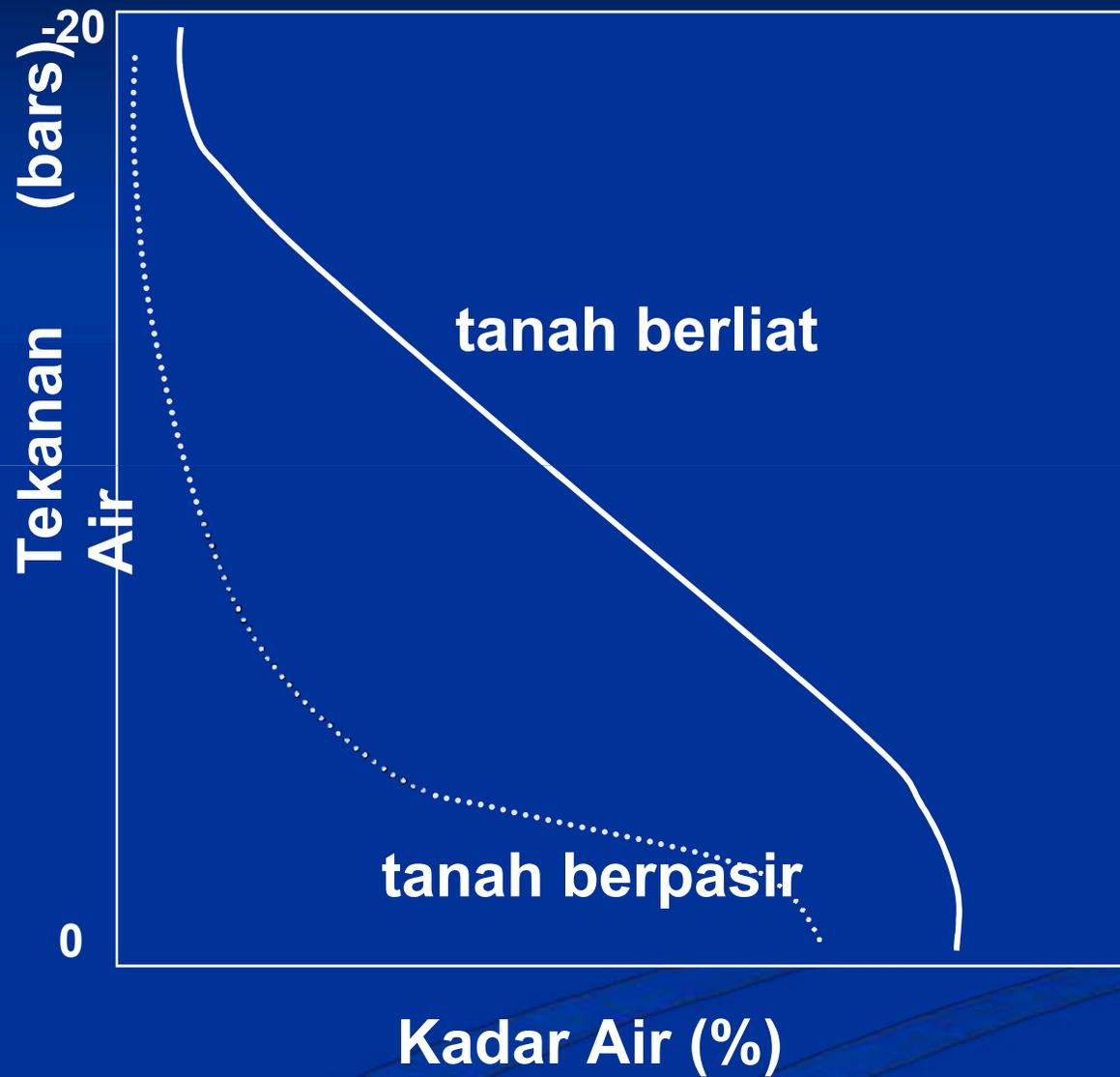
- Potensial kuat (nilai makin negatif)
- Air sulit dilepaskan

Kadar Air dan Potensial Air

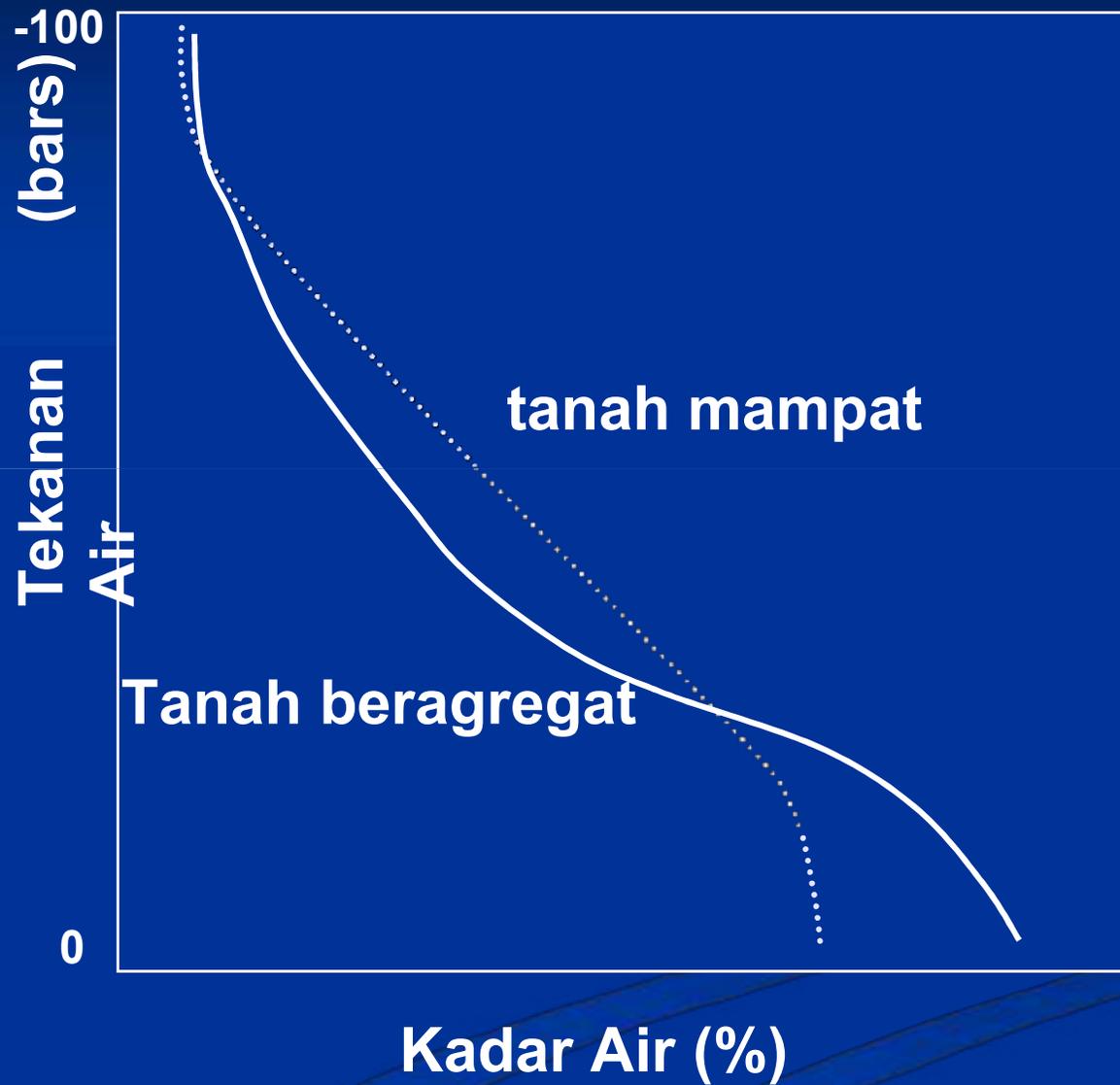
Semakin kering tanah semakin kuat potensial air tanah :

- Ada hubungan antara Kadar Air vs Potensial
- Hubungan berbentuk semi-logaritmik
- Disebut :
 - Kurva Karakteristik Air Tanah
 - Kurva pF

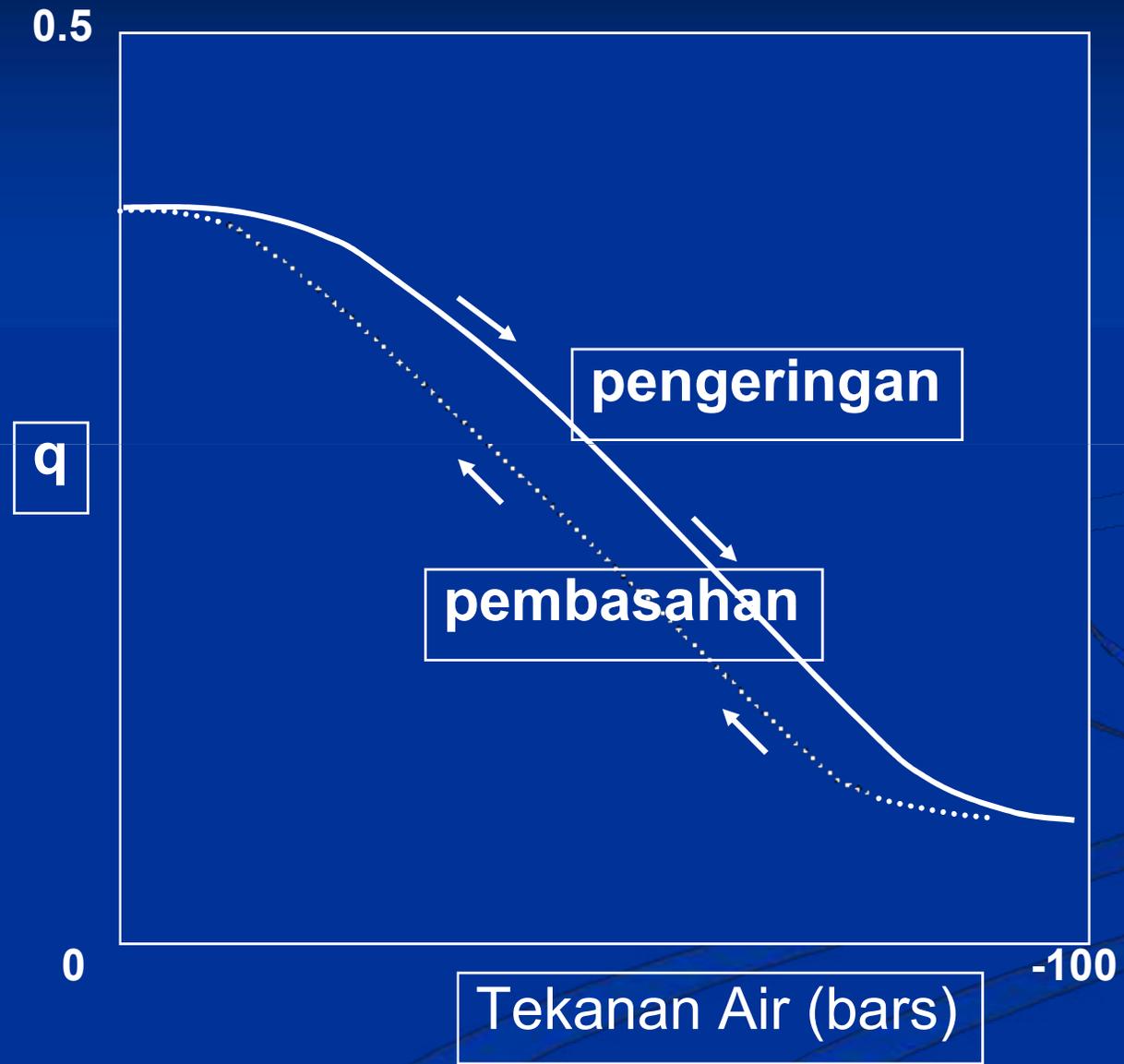
Kurva pF : Pengaruh Tekstur Tanah



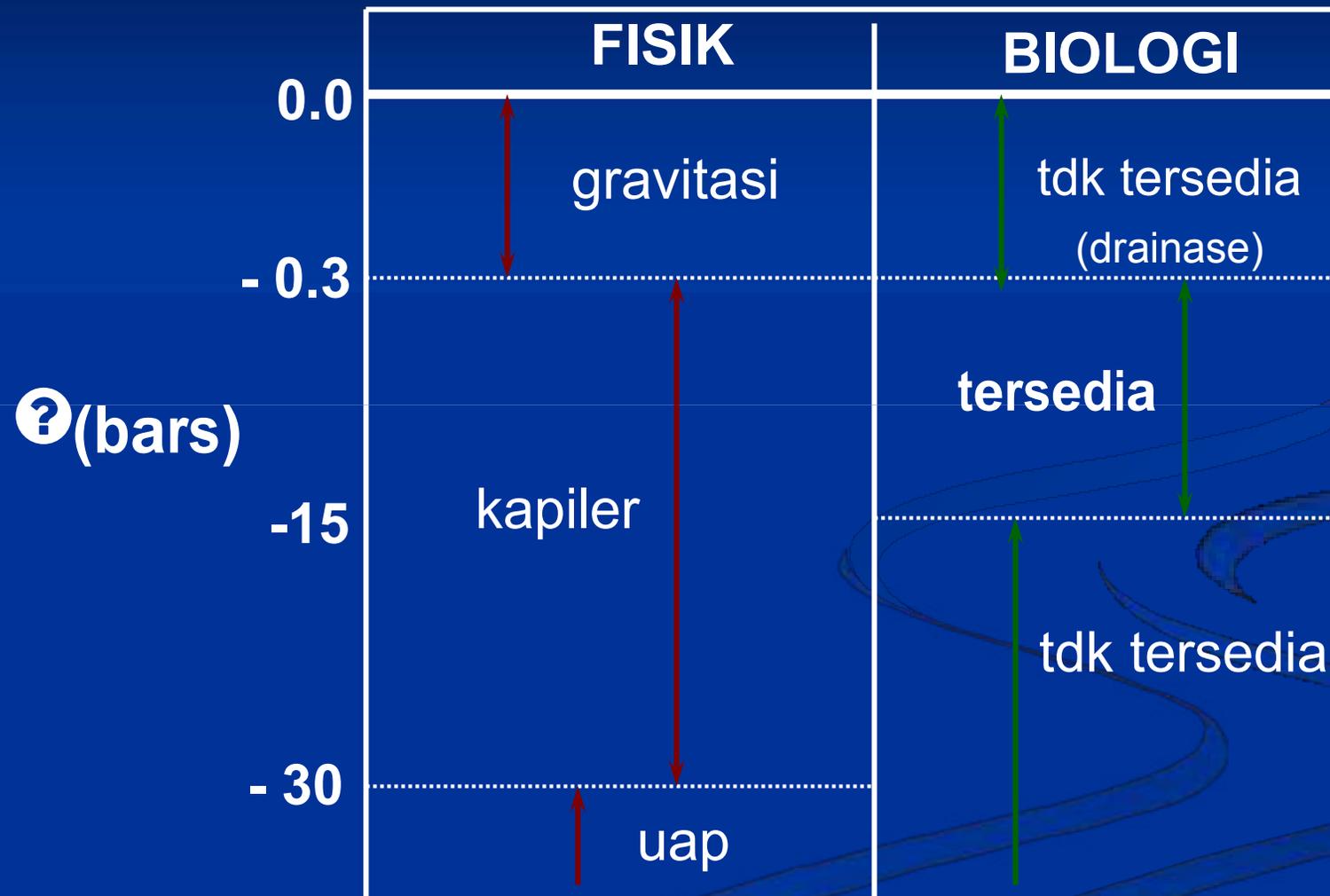
Kurva pF : Pengaruh Struktur Tanah



Hysteresis



Air Tanah : Klasifikasi dan Ketersediaan



Kapasitas Menahan Air

Kapasitas beberapa tanah dalam menahan air

TEKSTUR <u>TANAH</u>	Prosentase Air (Kadar air volume, q)		
	<u>Kapasitas Lapangan</u>	<u>Koefisien Higroskopis</u>	<u>Air Kapiler</u>
Lempung berpasir	12	3	9
Lempung berdebu	30	10	20
Liat	35	18	17
Tekanan (atm = bar)	- 0,3	- 31	(-0,3)–(-31)

Bandingkan istilah² ini dengan klasifikasi air secara fisik & biologi !

Air Tanah dan Tanaman

- Fakta :**
- Air tanah terikat dalam berbagai tingkat kekuatan (potensial)
 - Tanaman menyerap air melalui akar dengan kekuatan isap maksimum

Konsekuensinya:

Air tanah dapat diserap akar bila kekuatan isap akar lebih besar dari kekuatan ikatan matriks

AIR TERSEDIA BAGI TANAMAN



Ketersediaan Air bagi Tanaman

Air Drainasi :

Setelah hujan atau penggenangan, air masih mengalir ke bawah (drainasi)

Kapasitas Lapangan :

air yang tidak mengalir ke bawah lagi tetapi diam dalam ruangan pori

Titik Layu :

Air tinggal sedikit diikat sangat kuat sehingga akar tidak bisa menyerapnya (tanaman menunjukkan gejala layu)

Hubungan Air dan Akar

Perakaran tanaman KEDELE yang ditanam pada tanah lempung berdebu

Kedalaman (cm)	Panjang Akar (km/m ³)	
	<u>Tidak Diairi</u>	<u>Diberi Air</u>
00-16	76	89
16-32	30	37
32-48	21	27
48-64	14	16

Hubungan Air dan Akar

Distribusi akar 3 jenis tanaman yang ditemukan pada dua lapisan tanah

Kedalaman (cm)	Persen massa Akar (%)	
	<u>00-30 cm</u>	<u>30-180 cm</u>
Kedele	71	29
Jagung	64	36
Sorghum	86	14

Mengukur Kadar Air Tanah

Gravimetrik :

- Timbang Tanah (Padatan + Air) = G1
- Keringkan dan Timbang (Padatan) = G2
- Hitung kadar air (w)

$$w = \frac{G1 - G2}{G2} \quad (g \ g^{-1})$$

Alat-alat untuk Mengukur Air Tanah



Gypsum Block

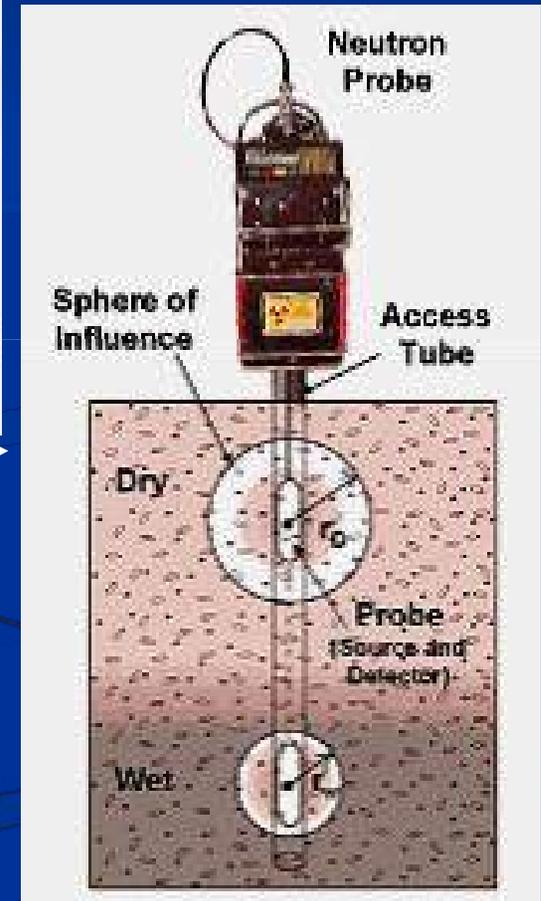
Elektroda (Resistensi)

Sinar Gamma

Sinar Neutron

Tensiometer

TDR (Time Domain Reflectometer)



Neutron Probe

Aliran Air dalam Tanah

3 macam Aliran Air dalam Tanah

1. Aliran jenuh (*saturated flow*)
2. Aliran tidak jenuh (*unsaturated flow*)
3. Aliran uap air (*vapour flow*)

Prinsip Aliran (hukum Darcy) : $q = -k \frac{dh}{ds}$

Air mengalir karena ada perbedaan tekanan antara dua titik (dh/ds)

Aliran air melalui pori-pori tanah, memiliki sifat daya hantar berbeda-beda (k)

PERTEMUAN 5

Tanah dalam bidang pertanian sangat penting untuk dikaji lebih mendalam, terutama mengenai sifat-sifat dari tanah itu sendiri. Secara umum sifat tanah yang umum dikaji adalah sifat Fisik tanah, sifat Kimia tanah dan Sifat Biologi tanah. Ketiga sifat ini sering dibahas secara bersamaan dalam mengkaji tanah secara umum.

Dalam buku ini penelaahan pustakanya lebih banyak menyangkut sifat-sifat biologinya yang berhubungan langsung atau tidak langsung berpengaruh terhadap tingkat kesuburan tanah. Begitu juga akan dijabarkan pengaruh sifat biologi tanah dalam mendukung konsep pertanian ramah lingkungan dan pertanian berkelanjutan.

Sifat karakteristik tanah ditentukan oleh bagaimana sifat fisik, kimia dan **biologis tanah** sebagai gambaran potensi produktivitas tanah. Sifat fisik, kimia dan biologis tertentu telah diketahui dan dijelaskan pada setiap jenis tanah.

SIFAT BIOLOGI TAHAAH

Sifat biologi tanah berhubungan dengan aktivitas makhluk hidup yang ada didalam dan permukaan tanah. Berbagai jenis makhluk hidup berkembang dalam tanah, baik berbagai jenis tumbuhan, hewan, atau makhluk hidup yang berukuran besar (makro) maupun yang makhluk hidup yang ada di berukuran kecil (mikro). Sifat sifat biologi tanah sangat penting dalam hal dekomposisi bahan organik, proses mineralisasi, immobilisasi, daur hara serta proses proses lainnya di dalam tanah.

Semua proses ini sangat penting dalam bidang pertanian untuk dikaji lebih mendalam khususnya dalam pengelolaan tanah, agar tanah menjadi lestari.

STRATEGI PERBAIKAN SIFAT BIOLOGI TANAH

Tanah dapat dikatakan sebagai laboratorium yang hidup. Berbagai organisme tanah baik yang berukuran sangat kecil seperti bakteri, fungi, aktinomisetes, protozoa dan alga yang dikelompokkan dalam mikroorganisme mudah dijumpai di tanah. Demikian pula organisme tanah lain yang termasuk dalam kelompok tumbuhan seperti akar tanaman (makroflora) dan berbagai hewan tanah berukuran kecil (mikrofauna) seperti nematode, berukuran sedang (mesofauna) seperti mikroarthropoda hingga yang berukuran besar (mesofauna) seperti cacing tanah menjadi penghuni tanah. Organisme tanah ini mempunyai peranan penting bagi kehidupan tanaman dan bagi tanah itu sendiri. Tanpa aktivitas berbagai organisme tanah tersebut tanaman tidak akan memperoleh nutrisi dari tanah secara berkesinambungan. Sesuai dengan peran masing-masing, berbagai organisme ada yang berperan sebagai produser maupun konsumen, dekomposer maupun sebagai predator dan mereka membentuk jaring-jaring makanan tanah (soil food web) yang menyediakan berbagai kebutuhan nutrisi tanaman maupun organisme itu sendiri.

Aktivitas biologi ditentukan oleh faktor- faktor pada 3 tingkat yang berbeda.

Pertama pada skala organisme secara individu, aktivitas biologi ditentukan oleh keadaan- keadaan seperti temperatur dan kelembaban dalam habitat mikroorganisme.

Kedua, pada skala populasi aktivitas biologi ditentukan oleh jumlah keragaman

habitat, jenis pengganggu habitat, dan keragaman dan interaksi-interaksi antara berbagai populasi tanah.

Ketiga pada skala proses biologi, fungsi-fungsi seperti siklus hara atau pengendalian dipengaruhi oleh interaksi- interaksi populasi biologi dengan sifat- sifat kimia dan fisika tanah (Yulipriyanto, 2010).

Perbaikan tanah dilakukan lebih pada menyeimbangkan kembali hubungan simbiosis mutualisme atau hubungan yang saling menguntungkan pada alam. Dengan kembalinya struktur pada tanah secara umum maka biota tanah sebagai penyedia unsur hara dan penjaga kesuburan tanah akan kembali, dengan terjaganya kesuburan tanah maka daya ikat tanah terhadap air, terhadap unsur hara dan tanah sebagaisumber hidup utama tanaman akan terpenuhi (Widodo, 2010).

Pengelolaan konidisi biologis tanah meliputi konsep pengelolaan tanah dengan teknologi masukan rendah (LEISA) yaitu memanfaatkan pupuk hayati dalam perbaikan sifat kimia tanah atau kesuburan tanah. Di samping konsep LEISA juga akan dijelaskan :

- a. Peranan jasad hidup tanah dalam pembentukan atau pemantapan struktur tanah.
- b. Interaksi jasad hidup tanah dengan bahan organik dalam pelapukan mineral dan pembentukan tanah.
- c. Peranan interaksi jasad hidup di tanah dengan akar tanaman dalam proses pembentukan/ agregasi tanah.

Penggunaan pupuk hayati (biosfertilizer) bertujuan untuk mengurangi penggunaan pupuk-pupuk an organik atau bahan-bahan kimia. Penggunaan pupuk hayati bertendensi *low input* atau penggunaan input yang rendah dan akrab lingkungan. Definisi pupuk hayati adalah penggunaan jasad hidup untuk meningkatkan kesuburan tanah antara lain :

1. Untuk meningkatkan nitrogen tanah, digunakan *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azolla* dan BGA (Blue Green Algae)
2. Untuk meningkatkan kadar P, digunakan Mikoriza, bakteri pelarut fosfat
3. Untuk meningkatkan kualitas kompos, digunakan cacing tanah dan EM4.

ORGANISME TANAH

Berdasarkan peranannya, organisme tanah dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: (a) organisme yang menguntungkan bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, (b) organisme yang merugikan tanaman, dan (c) organisme yang tidak menguntungkan dan tidak merugikan. Contoh organisme tanah yang menguntungkan:

1. Organisme tanah yang dapat menyumbangkan nitrogen ke tanah dan tanaman, yaitu: bakteri pemfiksasi nitrogen (*Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, dll),
2. Organisme tanah yang dapat melarutkan fosfat, yaitu: bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas*) dan fungi pelarut fosfat,
3. Organisme tanah yang dapat meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman, yaitu: cacing tanah. Salah satu organisme tanah yang umum dijumpai adalah cacing

tanah. Cacing tanah mempunyai arti penting bagi lahan pertanian. Lahan yang banyak mengandung cacing tanah akan menjadi subur. Cacing tanah juga dapat meningkatkan daya serap air permukaan. Secara singkat dapat dikatakan cacing tanah berperan memperbaiki dan memper-tahankan struktur tanah agar tetap gembur. Biota tanah lain yang umum dijumpai adalah Arthropoda. Arthropoda merupakan fauna tanah yang macam dan jumlahnya cukup banyak, yang paling menonjol adalah springtail dan kutu. Fauna tanah ini mempunyai kerangka luar yang dihubungkan dengan kaki, sebagian besar mempunyai semacam sistem peredaran darah dan jantung.

Aktivitas biota tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah. Aktivitas biota tanah dapat diukur dengan mengukur besar respirasi di dalam tanah. Respirasi yaitu suatu proses pembebasan energi yang tersimpan dalam zat sumber energi melalui proses kimia dengan menggunakan oksigen. Dari respirasi akan dihasilkan energi kimia ATP untuk kegiatan kehidupan, seperti sintesis (anabolisme), gerak, pertumbuhan (Yulipriyanto, 2010)

PENTINGNYA ORGANISME TANAH

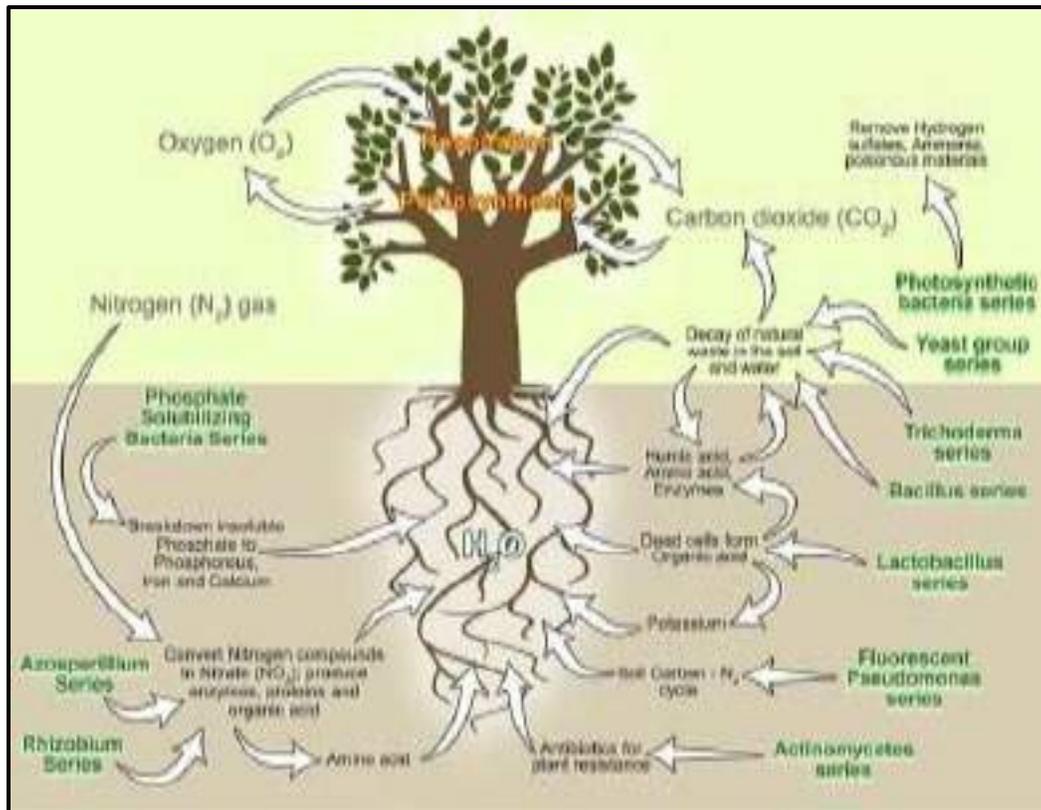
Beberapa fungsi penting dari organism tanah (biota) adalah:

Fungsi-fungsi	Organisme yang terlibat
Memelihara struktur tanah	Bioturbating invertebrates and plant roots; mycorrhizae and some other micro-organisms
Regulasi proses hidrologis	Most bioturbating invertebrates and plant roots
Pertukaran gas dan sequestration karbon (akumulasi dalam tanah)	Mostly micro-organisms and plant roots; some C protected in large compact biogenic invertebrate aggregates
Detoksifikasi tanah	Mostly micro-organisms

Siklus unsur hara	Mostly micro-organisms and plant roots; some soil- and litter-feeding invertebrates
Dekomposisi bahan organik	Various saprophytic and litter-feeding invertebrates (detritivores); fungi; bacteria; actinomycetes and other micro-organisms
Mengendalikan gangguan hama-parasit-penyakit	Plants; mycorrhizae and other fungi; nematodes; bacteria and various other micro-organisms; collembolan; earthworms; various predators
Sumber makanan dan obat-obatan	Plant roots; various insects (crickets; beetle larvae; ants; termites (jangkrik, larva kumbang, semut dan rayap); earthworms; vertebrates;
Hubungan Symbiotic dan asymbiotic dengan tanaman dan akarnya	micro-organisms and their by-products Rhizobia; mycorrhizae; actinomycetes; diazotrophic bacteria and various other
Mengontrol pertumbuhan tanaman (positive dan negative)	rhizosphere micro-organisms; ants Direct effects: plant roots; rhizobia; mycorrhizae; actinomycetes; pathogens; phytoparasitic nematodes; rhizophagous insects; plant-growth promoting rhizosphere micro-organisms; biocontrol agents Indirect effects: most soil

Sumber: Rao, 1986 biota

Mikroba tanah sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Mereka memperbanyak diri dan aktif membantu penyediaan unsure hara bagi tanaman melalui proses simbiosis dengan jalan melepaskan unsur hara yang “terikat” menjadi bentuk yang tersedia bagi akar tanaman. Mikroba tanah ini juga mempunyai peran aktif melindungi tanaman melawan penyakit “soil-borne diseases” (penyakit yang ditularkan melalui tanah)



Organisme Tanah Memperbaiki Struktur Tanah

Bahan sekresi dari organisme tanah dapat mengikat partikel-partikel tanah menjadi agregat yang lebih besar. Contohnya, bakteri mengeluarkan kotoran yang berbentuk dan bersifat seperti perekat (organic gum). Jamur-jamuran memproduksi bahan berupa benang-benang halus yang disebut hifa. Zat perekat dari bakteri dan hifa jamur dapat mengikat partikel-partikel tanah secara kuat sehingga agregat tanah yang besar pun tidak mudah pecah walaupun basah. Agregat tanah yang besar tersebut dapat menyimpan air tanah dalam pori-pori halus di antara partikel-partikel tanah untuk digunakan oleh tanaman. Dalam keadaan air berlebihan, air dapat dengan mudah mengalir keluar melalui pori-pori besar diantara agregat-agregat tanah yang besar. Agregasi tanah merupakan kumpulan partikel-partikel tanah yang diikat bersama oleh bahan organik. Akumulasi C-organik di tanah memberikan kontribusi dalam proses pembentukan struktur tanah secara mikrobiologi dan fisikokimia.

Organisme tanah yang lebih besar dapat memperbaiki struktur tanah dengan cara membuat saluran-saluran (lubang-lubang) di dalam tanah (contohnya lubang cacing),

dan membantu mengaduk-aduk dan mencampur baurkan partikel-partikel tanah, sehingga aerasi (aliran udara) tanah menjadi lebih baik. Pembuatan saluran-saluran dan lubang-lubang ini memperbaiki infiltrasi dan pergerakan air didalam tanah, serta drainase.

Pengelolaan Tanah dengan Teknologi Masukan Rendah

LEISA (Low external input sustainable agriculture) merupakan suatu pilihan yang layak bagi petani dan bisa melengkapi bentuk-bentuk lain produksi pertanian. Karena sebagian besar petani tidak mampu untuk memanfaatkan input buatan itu atau hanya dalam jumlah yang sangat sedikit, maka perhatian perlu dipusatkan pada teknologi yang bisa memanfaatkan sumber daya lokal secara efisien. Petani yang kini menerapkan HEIA, bisa saja mengurangi pencemaran dan biaya serta meningkatkan efisiensi input luar dengan menerapkan beberapa teknik LEISA. LEISA mengacu pada bentuk-bentuk pertanian sebagai berikut: Berusaha mengoptimalkan sumber daya lokal yang ada dengan mengkombinasikan berbagai macam komponen sistem usaha tani, yaitu tanaman, hewan, tanah, air, iklim, dan manusia sehingga saling melengkapi dan memberikan efek sinergi yang paling besar.

Berusaha mencari cara pemanfaatan input luar hanya bila diperlukan untuk melengkapi unsur-unsur yang kurang dalam ekosistem dan meningkatkan sumber daya biologi, fisik, dan manusia. Dalam memanfaatkan input luar, perhatian utama diberikan pada maksimalisasi daur ulang dan minimalisasi kerusakan lingkungan. LEISA (Low external input sustainable agriculture) tidak bisa dipresentasikan sebagai solusi mutlak terhadap masalah-masalah pertanian dan lingkungan yang

mendadak di dunia ini, tetapi LEISA bisa memberikan kontribusi yang berharga untuk memecahkan beberapa permasalahan tersebut: LEISA terutama merupakan suatu pendekatan pada pembangunan pertanian yang ditujukan pada situasi di daerah-daerah pertanian tadah hujan yang terabaikan oleh pendekatan-pendekatan konvensional.

Prinsip-prinsip ekologi dasar pada LEISA bisa dikelompokkan sebagai berikut:

- Menjamin kondisi tanah yang mendukung bagi pertumbuhan tanaman, khususnya dengan mengelola bahan-bahan organik dan meningkatkan kehidupan dalam tanah.
- Mengoptimalkan ketersediaan unsur hara dan menyeimbangkan arus unsur hara, khususnya melalui peningkatan nitrogen, pemompaan unsur hara, daur ulang dan pemanfaatan pupuk luar sebagai pelengkap
- Meminimalkan kerugian sebagai akibat radiasi matahari, udara dan air dengan cara pengelolaan iklim mikro, pengelolaan air, dan pengendalian erosi.
- Meminimalkan serangan hama dan penyakit terhadap tanaman dan hewan melalui pencegahan dan perlakuan yang aman.
- Saling melengkapi dan sinergi dalam penggunaan sumber daya genetik yang mencakup penggabungan dalam sistem pertanian terpadu dengan tingkat keanekaragaman fungsional yang tinggi.

Metode LEISA mengacu pada bentuk-bentuk pertanian sebagai berikut:

- Optimalisasi pemanfaatan sumber daya lokal yang ada dengan mengkombinasikan berbagai macam komponen sistem usaha tani, yaitu tanaman, ternak, ikan, tanah, air, iklim, dan manusia sehingga saling melengkapi dan memberikan efek sinergi yang

paling besar. Pemanfaatan input luar dilakukan hanya bila diperlukan untuk melengkapi unsur-unsur yang kurang dalam agroekosistem dan meningkatkan sumber daya biologi, fisik, dan manusia. Dalam memanfaatkan input luar, perhatian utama diberikan pada mekanisme daur ulang dan minimalisasi kerusakan lingkungan. Metode LEISA tidak bertujuan memaksimalkan produksi dalam jangka pendek, namun untuk mencapai tingkat produksi yang stabil dan memadai dalam jangka panjang. LEISA berupaya mempertahankan dan sedapat mungkin meningkatkan potensi sumber daya alam serta memanfaatkannya secara optimal.

Beberapa hal yang tercakup dalam pengelolaan tanah dengan teknologi masukan rendah adalah :

1. Mengatasi kendala-kendala fisik dan kimia
2. Mengurangi kebutuhan pupuk dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk
3. Mengurangi penggunaan pupuk kimia
4. Tidak terjadi pengurasan unsur hara tanah (Reijntjes dkk.,1999)

Unsur –unsur teknologi masukan rendah yaitu : non hayati seperti bantuan fofastaf alam, kapur, sedangkan unsur hayati seperti bahan organik dan jasad mikro yang dapat memfiksasi nitrogen, pelarut fosfor, mikiriza, EM4 dan cacing.

Rhizosphere (Mitakat Perakaran)

Rhizosfer adalah selapis tanah yang menyelimuti permukaan akar tanaman yang masih di pengaruhi oleh aktivitas akar. Permukaan akar tanaman disebut rhizoplane. Jadi, rhizosfer adalah selapis tanah yang menyelimuti rhizoplane yang masih dipengaruhi

oleh aktivitas akar dan merupakan habitat yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroba oleh karena akar tanaman menyediakan berbagai bahan organik yang umumnya menstimulir pertumbuhan mikroba.

Rhizosfer digunakan untuk menunjukkan bagian tanah yang dipengaruhi oleh perakaran tanaman yang dicirikan oleh lebih banyaknya kegiatan mikrobiologis dibandingkan kegiatan di dalam tanah yang jauh dari perakaran tanah. Laju kegiatan metabolik mikroorganisme rhizosfer berbeda dengan laju kegiatan metabolik mikroorganisme dalam tanah non-rhizosfer. Efek rhizosfer menunjukkan pengaruh keseluruhan perakaran tanaman terhadap mikroorganisme tanah yang terkandung banyak jumlah bakteri, jamur, dan actinomycetes. Hal itu dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu tipe tanah, kelembapan tanah, pH tanah, temperature tanah, umur tanah, serta umur tanah.

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari mikroba rhizosfer yaitu mikroba dapat melarutkan dan menyediakan mineral, menghasilkan vitamin, asam amino, auksin dan giberelin yang dapat menstimulir pertumbuhan tanaman seperti *Pseudomonas*. Mikroba juga dapat menghasilkan antibiotik.

Akar rambut mengabsorpsi hara dan air juga berfungsi sebagai organ sekresi tanaman. Bahan-bahan yang dikeluarkan oleh akar tanaman disebut eksudat akar yang bervariasi dalam jumlah maupun macam tanaman.

Ronra 1965 (dalam Russel, 1977) telah mengelompokkan macam-macam persenyawaan yang dikeluarkan oleh akar tanaman seperti pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1

Macam-macam persenyawaan yang dikeluarkan oleh akar tanaman

Kelompok	Macam Persenyawaan
Karbohidrat	Glukose, Fruktose, Sukrose, Silose dan lain-lain
Asam amino	Leusin. As. Butirat, Glutamin, Alamin, asparagin, as. Glutamat, as. Aspartat, dll
Asam Organik	As. Tartarat, oksalat, sitrat, malat, asetat, propionat, butirat, suksinat, glicolat dan valerat
Enzim	Fosfatase, amilase, protease, poligalakturonase
Senyawa lain	Biotin, Tiamin, pentatenat, auksin, niasin, dll

Dengan adanya eksudat tersebut maka populasi bakteri dan aktinomcetes di rhizosphere menjadi 70 kali lipat dibandingkan dengan tanpa ada tanaman dalam waktu tiga hari. Pada hari ke 16 populasi bakteri dan aktinomcetes menjadi lebih besar dari 70 kali dibandingkan populasi pada tanah tanpa tanaman. Dengan adanya peningkatan jasad mikro di rhizosphere akan mempengaruhi sifat tanah dan kelarutan hara dan aktivitas akar.

Peranan jasad adalah sangat penting dalam bahan organik. Bila bahan organik tidak diuraikan oleh mikroorganisme tanah, tidak akan banyak perannya/manfaatnya bagi agregasi tanah. Sebaliknya mikroorganisme tanpa adanya bahan organik tidak banyak perannya dalam agregasi.

Peran Jasad Mikro dalam Pembentukan Struktur Tanah:

Struktur Tanah

Struktur tanah merupakan sifat fisik tanah yang menggambarkan susunan ruangan partikel-partikel tanah yang bergabung satu dengan yang lain membentuk agregat dari hasil proses pedogenesis. Struktur tanah berhubungan dengan cara di mana, partikel pasir, debu dan liat relatif disusun satu sama lain. Di dalam tanah dengan struktur yang baik, partikel pasir dan debu dipegang bersama pada agregat-agregat (gumpalan kecil) oleh liat humus dan kalsium. Ruang kosong yang besar antara agregat (makropori) membentuk sirkulasi air dan udara juga akar tanaman untuk tumbuh ke bawah pada tanah yang lebih dalam. Sedangkan ruangan kosong yang kecil (mikropori) memegang air untuk kebutuhan tanaman. Idealnya bahwa struktur disebut granular.

Pengaruh struktur dan tekstur tanah terhadap pertumbuhan tanaman terjadi secara langsung. Struktur tanah yang remah (ringan) pada umumnya menghasilkan laju pertumbuhan tanaman pakan dan produksi persatuan waktu yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur tanah yang padat. Jumlah dan panjang akar pada tanaman makanan ternak yang tumbuh pada tanah remah umumnya lebih banyak dibandingkan dengan akar tanaman makanan ternak yang tumbuh pada tanah berstruktur berat.

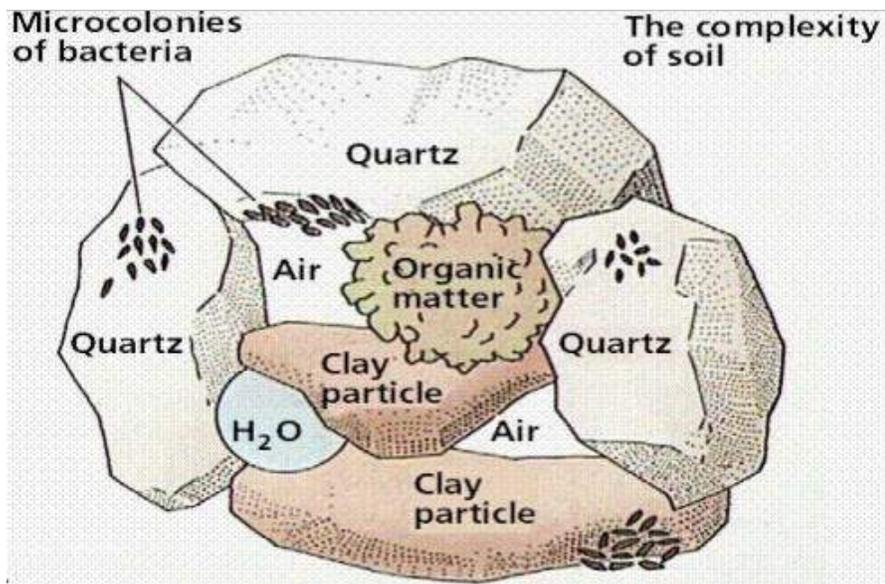
Perlu diketahui bahwa bahan organik baru berfungsi sebagai tanah setelah mengalami dekomposisi. Proses dekomposisi sapat terjadi jika terdapat jasad mikro tanah. Dengan demikian walaupun terdapat banyak bahan organik, tetapi tidak ada

mikroorganisme, maka bahan organik tidak banyak gunanya bagi struktur tanah. Jasad mikro yang berperan dalam membantu agregasi tanah adalah jamur, actinomycetes dan bakteri. Ada dua cara jasad mikro mengikat butir-butir tanah menjadi agregat :

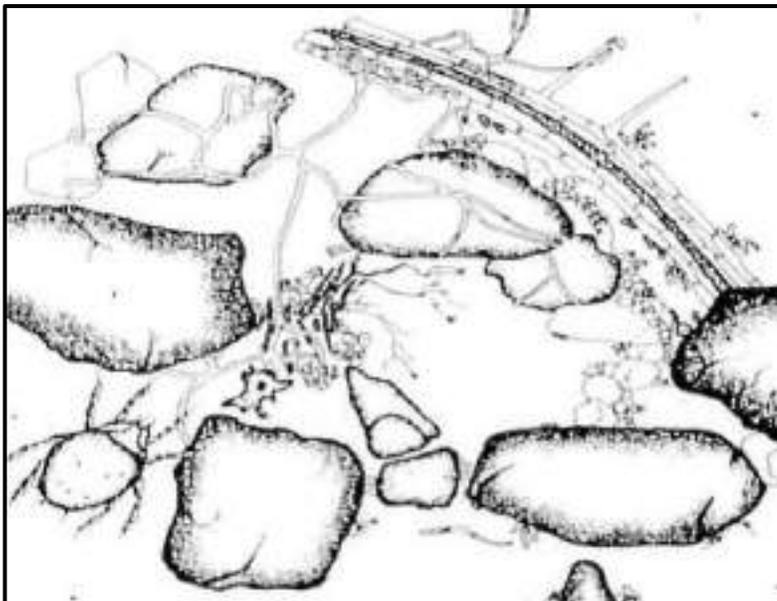
- a. Pertama secara langsung yaitu dengan ikatan mekanis oleh sel-sel dan filamen jasad mikro, misalnya oleh jamur dan aktinomycetes.
- b. Kedua dengan cara tidak langsung, yaitu dengan melalui ikatan yang digunakan oleh hasil sintese jasad mikro dan ikatan yang dilakukan oleh hasil peruraian bahan organik.

Martin (1945) memperkirakan kemampuan jamur dan actinomycetes dalam pengikatan butir-butir tanah adalah 50 % dari bahan yang dihasilkannya, sedang untuk bakteri, perbandingannya adalah 20 % berasal dari aktivitas mekanis cell, 80 % berasal dari bahan yang dihasilkannya (seperti polisakarida). Makin cepat bahan organik mengalami dekomposisi makin cepat pula keefektifannya dalam agregasi.

Jenis mikroorganisme juga berpengaruh terhadap agregasi. Mc Calla (1946) mendapatkan bahwa derajat efektivitas dalam melakukan agregasi adalah jamur, actinomycetes dan bakteri.



Struktur tanah (Sumber: <http://www.nanik.al-unib.net/2011/02/struktur-tanah/> diunduh 26/5/2011)



Genesis struktur tanah (Sumber: <http://ghort.nl/images/thumbs/korrelstruct.jpg>)

Transfer N dari Legum ke non Logam:

Fiksasi Nitrogen adalah proses diubahnya unsur Nitrogen dari atmosfer menjadi amonium, bentuk ionik Nitrogen yang tersedia bagi tumbuhan tingkat tinggi. Fiksasi N pada tanaman legum yang ditanam bersamaan dengan non legum dapat berguna sebagai sumber N bagi tanaman non legum. Hal ini sesuai dengan pendapat Reeves (1990) yang menyatakan bahwa transfer N sering dapat terlihat dan penting pada kondisi ketersediaan N tanah yang rendah. Fujita et al., (1992) menyatakan bahwa 24,9% dari N terfiksasi oleh Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) ditransfer ke jagung dan 10,4% N yang terfiksasi oleh kedelai ditransfer ke tanaman jagung. Bakteri bintil akar dan mikoriza vesikula-arbuskula merupakan organisme yang telah diketahui dapat mengadakan simbiosis dengan akar tanaman. Simbiosis bintil akar dengan akar tanaman akan menambat N dari udara dalam tanah. Jumlah penambatan N melalui leguminosa di laporkan sebesar 80 – 140 kilogram per hektar per tahun (Rao, 1979).

Peningkatan transfer N pada sorgum dengan semakin dekatnya jarak dengan tanaman kedelai. Hasilnya akan menurun dengan semakin meningkatnya jarak antara sorgum dengan kedelai (Fujita *at al.* 1992). Pada sistem tanaman campuran kedelai dan sorgum, transfer N meningkat 0,89 Gn/m² pada jarak tanam 50 x 50 cm menjadi 2,05 g N/m² pada jarak 12,5 x 12,5 cm.

Buhaira (2007), melaporkan bahwa penanaman kacang tanah di antara dua baris jagung pada jarak 100 cm ternyata masih mampu memberikan hasil sebesar 2,93 ton per hektar polong kering. Penanaman kacang tanah yang ditumpangsarikan

dengan jagung dapat meningkatkan efisiensi pemakaian pupuk dan lahan, bila jarak dan waktu tanam diatur secara tepat. Sarman dan Ardiyaningsih (2000) dalam Buhaira (2007), melaporkan bahwa dengan model tanam jagung baris ganda dengan jarak tanam 140 cm antar baris ganda jagung x 40 cm dalam baris berpengaruh nyata terhadap hasil biji jagung, luas daun tanaman kedelai dan bobot kering tanaman jagung. Sedangkan selama periode pertumbuhan sampai panen, tanaman jagung lebih mampu bersaing atau agresif dibandingkan dengan tanaman kedelai dengan model jarak tanam baris tunggal (100 cm x 40 cm).



Effective Microorganism:

Cairan EM4 merupakan campuran dari beberapa mikroorganisme “baik” hidup yang sangat bermanfaat dan menguntungkan guna proses penyerapan/persediaan unsur hara didalam tanah. Bentuk EM4 adalah berupa cairan yang berwarna kecoklatan dan aromanya segar. EM4 ini mengandung Bakteri Fermentasi, mulai dari Genus Lactobacillus, Jamur Fermentasi, Actinomycetes Bakteri Fotosintetik, Bakteri Pelarut Fosfat, dan juga Ragi. Pemanfaatannya sering diaplikasikan dalam pembuatan kompos, atau pupuk bokashi. Manfaat yang dirasakan petani, peternak, atau perikanan dalam produk hasil dekomposisi menggunakan mikroba 4.

Larutan EM4 sangat tepat digunakan untuk memajukan pertanian karena dapat membantu perbaikan kualitas lahan. Tanaman yang sehat bersumber dari lahan yang sehat pula. Petani dan peternak juga dapat menciptakan keuntungan yang besar melimpah karena hasil panen berbuah lebat atau ternak unggas yang gemuk.

[Cairan EM4](#) sangat berguna dan dapat dimanfaatkan pada tanaman cabe, padi, papaya, sayuran, [bawang merah](#), karet, jahe, jagung, jeruk, maupun tanaman hias. Kegunaan EM4 pada peternakan dapat diaplikasikan pada ternak unggas, ayam broiler, petelur, pedaging, potong, kambing, bebek, domba, babi, dan lainnya. Begitu juga dengan perikanan, EM4 dapat memanfaatkannya untuk menyehatkan tambak atau kolam ikan.

Berikut daftar manfaat, fungsi dan keuntungan menggunakan EM4 bagi tanah dan tanaman:

1. memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.
2. meningkatkan jumlah produksi tanaman
3. menjaga kestabilan hasil pertanian maupun perkebunan
4. Memfermentasi bahan organik
5. Mempercepat proses dekomposisi bahan-bahan organik di dalam tanah.
6. Meningkatkan kualitas kuantitas panen
7. Menciptakan pertanian yang berwawasan ramah terhadap lingkungan.
8. Memperkaya keragaman mikroba sangat menguntungkan di dalam media tanam atau tambak
9. Memperbaiki nutrisi, senyawa yang dibutuhkan tanaman/ikan dari dalam tanah
10. Mempercepat proses Fixasi/Bintil Akar
11. Meminimalisir atau mengurangi kebutuhan pupuk bahkan pestisida.
12. Dapat dipergunakan untuk semua jenis komoditi
13. Sebagai bahan campuran pakan ternak yang sehat

Mikroorganisme Pelarut Fosfat:

Pada tanah-tanah masam, fosfat akan bersenyawa dalam bentuk-bentuk Al-P, Fe-P, dan *occluded*-P, sedangkan pada tanah-tanah alkali, fosfat akan bersenyawa dengan kalsium (Ca) sebagai Ca-P membentuk senyawa kompleks yang sukar larut.

Adanya pengikatan-pengikatan fosfat tersebut menyebabkan pupuk fosfat yang diberikan tidak efisien, sehingga perlu diberikan dalam takaran tinggi. Pemberian pupuk fosfat ke dalam tanah, hanya 15-20% yang dapat diserap oleh tanaman. Sedangkan sisanya akan terjerap di antara koloid tanah dan tinggal sebagai residu dalam tanah (Buckman dan Brady, 1956; Jones, 1982). Hal ini akan menyebabkan defisiensi fosfat bagi pertumbuhan tanaman.

Salah satu alternatif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat dalam mengatasi rendahnya fosfat tersedia dalam tanah adalah dengan memanfaatkan kelompok mikroorganisme pelarut fosfat, yaitu mikro-organisme yang dapat melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia sehingga dapat diserap oleh tanaman. Pemanfaatan mikro-organisme pelarut fosfat diharapkan dapat mengatasi masalah P pada tanah masam (Sundara Rao dan Sinha, 1963; Asea *et al.*, 1988; Saleh *et al.*, 1989).

Mikrobia yang berperan dalam melautkan fosfor adalah : bakteri, jamur, aktinomycetes. Ketiga jenis ini mempunyai daya melarutkan berbeda-beda (Kucey, 1983). Bakteri pelarut fosfat kebanyakan bersifat aerob dan membentuk spora, misalnya *Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Archromobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*.

Jamur yang dapat melarutkan fosfat yaitu dari genus : *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Scleretium*, *aspergillus niger*, *Aspergillus candidus*.

Aktinomycetes dari genus *Streptomyces*, misalnya *Streptomyces venezuelae*. Perubahan senyawa fosfat anorganik tak larut menjadi senyawa fosfat larut oleh mikrobia, pada umumnya disebabkan karena mikrobia menghasilkan asam organik. Dari beberapa penelitian didapatkan bahwa pelarutan fosfat disebabkan karena chelasi Ca^{++} , Mg^{++} dan Al^{3+} dengan asam hidroksi organik-laktat, glikolat, suksinat, alfaketoglurat. Asam organik yang dapat langsung melarutkan fosfat adalah “ asam asetat, asam malat, asam glukonat, asam oksalat, asam butirat, dan asam malonat. Asam-asam organik tersebut merupakan hasil akhir perombakan bahan organik tanah. pada umumnya $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ paling mudah dilarutkan, kemudian berturut-turut AlPO_4 dan FePO_4 kecuali *Aspergillus* yang lebih mudah melarutkan FePO_4 dari pada AlPO_4 .

Mikoriza:

Pengertian mikoriza adalah jamur yang hidup bersimbiose mutualistik dengan tanaman inangnya, khususnya pada akar (Alexander, 1978).

a. Peranan Mikoriza terhadap kesuburan Tanah

Jamur mikoriza dapat mengatur mobilitas unsur hara dalam tanah, misalnya unsur nitrogen, phosphor dan hara lain. Salah satu contoh adalah nitrogen pada tanah berpasir akan mudah mengalami pencucian, tetapi dengan adanya mikoriza akan dapat meningkatkan serapan hara nitrogen sehingga nitrogen akan tersimpan dalam tanaman, dalam bentuk N-organik. Disamping itu mikoriza juga mampu menghasilkan zat pengatur tumbuh seperti Auxin, Cytokinin dan Gibberellins (Stiadi, 1992)

b. Peranan Mikoriza terhadap Ketersediaan N-tanah

Pada respirasi mikoriza akan dihasilkan asam karbonat. Dengan bertambahnya asam karbonat di daerah perakaran, maka kelarutan unsur hara dalam rhizosfer akan meningkat, sehingga lebih tersedia bagi tanaman. Asam karbonat yang dihasilkan juga akan mempercepat proses pelapukan bahan organik dalam tanah, sehingga akan dapat menambah cadangan unsur hara di dalam tanah. Buckman dan Brady (1974) mengatakan bahwa asam karbonat mempunyai daya pelarut yang sangat tinggi terhadap kalsium dalam tanah, dengan membentuk asam karbonat yang mempunyai daya pelarut yang sangat tinggi terhadap kalsium dalam tanah, dengan membentuk asam bikarbonat yang mudah larut.

c. Peranan Mikoriza terhadap Ketersediaan P dan Struktur Tanah

Mikoriza dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dan juga unsur hara lainnya. Demikian juga terhadap struktur tanah, mikoriza berpengaruh secara langsung dan tak langsung terhadap kemantapan struktur tanah. Benang-benang miselium dari jamur mikoriza akan menyebar dalam tanah dan menjerat partikel-partikel tanah sehingga terbentuk struktur tanah yang stabil. Secara tidak langsung mikoriza dapat menghasilkan bahan-bahan sintetik (diduga polysaccharida & polyuronida) yang dapat berfungsi sebagai bahan sementasi yang ikut membantu pembentukan struktur yang mantap. Dari sini timbul untuk memanfaatkan mikoriza dalam usaha pengawetan tanah, sehingga mengurangi kerusakan tanah akibat aliran air pada permukaan tanah. Akibat lebih lanjut karena kehadiran mikoriza dalam tanah adalah semakin

meningkatnya jumlah air yang dapat masuk ke dalam tanah. Hal ini dimungkinkan karena terlambatnya aliran air di permukaan tanah dan terhindarnya kerusakan agregat tanah.

Peranan Cacing tanah:

Cacing tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui N yang termineralisasi. N meningkat karena mineralisasi cacing tanah yang telah mati (kurang lebih 3 % dalam bentuk senyawa organik). Tubuh cacing tanah mengandung 72 % protein dari berat keringnya dan tubuh cacing tanah yang mati dapat menghasilkan 10 mg mirat. Pelaupkan cacing tanah per hektar dapat mencapai 3,75 juta dan ini dapat menghasilkan kira-kira 217 kg nitrat/ha.

Ekskresi cacing tanah juga mengandung senyawa nitrogen. Diperkirakan bahwa total N yang dikeluarkan cacing tanah sebagai berikut :

- $\frac{1}{2}$ dikeluarkan sebagai mukoprotein melalui sel-sela kelenjar pada epidermis
- $\frac{1}{2}$ lagi dalam bentuk amonia, urea dan allantoin dalam cairan urine yang telah diekskresikan. Hal ini tergantung dari tingkat makanan cacing tanah. Ini bisa mencapai 129 ppm NH_4 dan NO_3 .

Hasil penelitian menunjukkan dalam plot yang mengandung 126 g cacing per m^2 , telah menghasilkan 70 kg N/ha, walaupun jenis iki akan dikonsumsi kembali oleh cacing tanah yang lain.

Pengaruh Cacing Tanah terhadap Hara Tersedia

Tanah-tanah yang dihuni cacing tanah memiliki kapasitas tukar basa lebih tinggi (base exchange capacity), Ca, Mg K dan P-tersedia juga lebih tinggi dibandingkan dengan tanah-tanah tanpa dihuni cacing tanah seperti pada Tabel 2.2 sebagai berikut : Dalam kotoran cacing tanah unsur-unsur di atas juga lebih tinggi dibandingkan dengan dalam tanah. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa cacing tanah telah mampu menciptakan unsur hara lebih tersedia bagi tanaman.

Tabel 2.2. kapasitas tukar basa-basa pada tanah yang dihuni cacing

Unsur	Ekskresi cacing
C/N ratio	14,7
NO ₃ (ppm)	21,9
Kalium Total (%)	1,19
K-dd (ppm)	2793
Ca-dd(%)	25,6
Mg-total	0,54
P-tersedia (ppm)	150
K-tersedia(ppm)	358
Ph	7

Cacing tanah dan kesuburan tanah

Dari berbagai hasil penelitian dilaporkan bahwa aktivitas cacing tanah dapat berperan dalam :

- Memantapkan struktur tanah
- Meningkatkan stabilitas agregat
- Menghancurkan butir-butir tanah
- Membalikkan tanah
- Memperbaiki kondisi aerasi

Dengan demikian cacing tanah dikatakan dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitasnya. Pengaruh cacing tanah terhadap struktur tanah melalui beberapa kegiatan :

1. Menghancurkan bahan organik dan mencampurbaurkan fraksi-fraksi tersebut, lalu mengeluarkan kotoran ke permukaan tanah.
2. Menggali terowongan dan mengangkut tanah bawah (sub soil) ke permukaan.

Pemecahan partikel-partikel tanah telah dibuktikan bahwa cacing tanah dapat menghancurkan partikel-partikel granit dan batuan basalt

Peranan Cacing Pada Perubahan Sifat Fisik Tanah

Aktivitas cacing tanah yang mempengaruhi struktur tanah meliputi : (1) pencernaan tanah, perombakan bahan organik, pengadukannya dengan tanah, dan produksi kotorannya yang diletakkan dipermukaan atau di dalam tanah, (2)

penggalian tanah dan transportasi tanah bawah ke atas atau sebaliknya, (3) selama proses (1) dan (2) juga terjadi pembentukan agregat tanah tahan air, perbaikan status aerasi tanah dan daya tahan memegang air (Hanafiah, dkk, 2007).

Cacing penghancur serasah (epigeic) merupakan kelompok cacing yang hidup di lapisan serasah yang letaknya di atas permukaan **tanah**, tubuhnya berwarna gelap, tugasnya menghancurkan serasah sehingga ukurannya menjadi lebih kecil. Cacing penggali tanah (anecic dan endogeic) merupakan cacing jenis penggali tanah yang hidup aktif dalam tanah, walaupun makanannya berupa bahan organik di permukaan tanah dan ada pula dari akar-akar yang mati di dalam tanah. Kelompok cacing ini berperan penting dalam mencampur serasah yang ada di atas tanah dengan tanah lapisan bawah, dan meninggalkan liang dalam tanah. Kelompok cacing ini membuang kotorannya dalam tanah, atau di atas permukaan tanah. Kotoran cacing ini lebih kaya akan karbon (C) dan hara lainnya dari pada tanah sekitarnya (Hairiah, dkk, 1986).

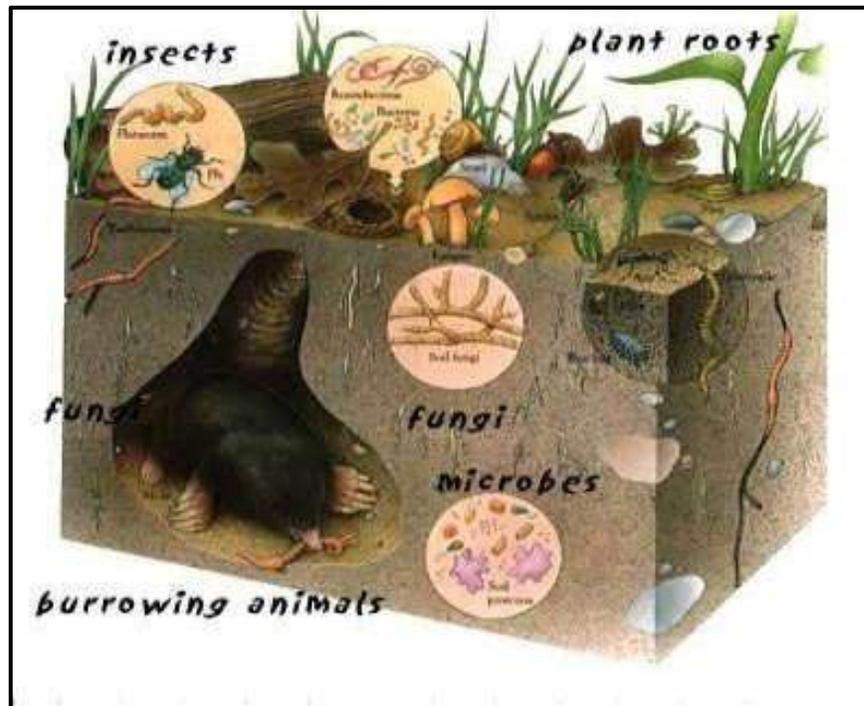
Cacing mampu menggali lubang di sekitar permukaan **tanah** sampai kedalaman dua meter dan aktivitasnya meningkatkan kadar oksigen tanah sampai 30 persen, memperbesar pori-pori tanah, memudahkan pergerakan akar tanaman, serta meningkatkan kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air. Zat-zat organik dan fraksi liat yang dihasilkan cacing bisa memperbaiki daya ikat antar partikel tanah sehingga menekan terjadinya proses pengikisan/erosi hingga 40 persen (Kartini, 2008).

Pengelolaan lahan pertanian yang dapat memperkaya organisme tanah

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan para petani untuk meningkatkan kegiatan organisme tanah di lahan mereka, diantaranya adalah:

1. Menyediakan makanan.

Petani dapat menyediakan bahan makanan untuk organisme tanah dengan cara memelihara tanaman penutup tanah dan menambah bahan organik seperti mulsa, kompos, merang, pupuk hijau, dan pupuk kandang ke dalam tanah yang mereka kelola.



Bahan organik menjadi makanan organisme tanah (Sumber: http://2.bp.blogspot.com/_AjnRBYfyYo/TS0F2qc0SmI/AAAAAAAAACdY/qXqR9vs5_sU/s1600/soil-life.jpg diunduh 23/5/2011)

2.Menyediakan cukup oksigen (aerasi tanah yang baik).

Seperti makhluk hidup yang lain, organisme tanah membutuhkan cukup oksigen untuk hidup. Petani dapat menjamin ketersediaan oksigen yang cukup untuk organisme tanah dengan cara mencegah pemadatan tanah. Pemadatan tanah dapat mengurangi pori-pori tanah sehingga ketersediaan udara menjadi lebih sedikit. Pemadatan tanah dapat terjadi apabila tanah diinjak-injak oleh hewan dan manusia atau dilalui mesin-mesin berat secara berlebihan (trampling), terutama pada saat tanah sedang basah.

3.Menyediakan air.

Organisme tanah juga membutuhkan air dalam jumlah tertentu. Tetapi kalau terlalu banyak air (dalam tanah yang jenuh), mereka bisa mati karena kekurangan oksigen. Petani dapat mengatur ketersediaan air didalam tanah dengan cara memperbaiki struktur tanah. Aggragate tanah yang lebih besar dapat menyimpan air di dalam pori-pori halus, dan dapat mengeluarkan kelebihan air melalui pori-pori besar. Drainase yang cukup di lahan yang banjir juga dapat memperbaiki kondisi tanah untuk habitat organisme tanah.

4.Melindungi habitat biota.

Petani dapat mendukung kehidupan organisme tanah dengan cara melindungi habitat mereka. Pemeliharaan tanaman penutup tanah adalah cara yang terbaik untuk melindungi habitat organisme tanah dari bahaya kekeringan. Penggunaan mulsa juga dapat melindungi habitat mereka. Penggunaan mulsa organik dapat juga berfungsi sebagai sumber makanan bagi organisme tanah. Musa plastik dapat mengurangi

resiko penyakit dan hama tertentu karena mulsa tersebut cenderung meningkatkan suhu permukaan tanah dan dapat menghambat pergerakan hama dari tanah ke tanaman. Tetapi mulsa plastik tidak dapat meningkatkan bahan organik tanah sehingga pendauran ulang unsur hara tidak terjadi. Cara yang lain adalah dengan pengolahan tanah yang tepat guna. Pengolahan tanah yang berlebihan dapat merusak pori-pori tanah dimana organisme tanah hidup.

PENGELOLAAN TANAH DAN AIR SERTA HUBUNGANNYA DENGAN SIFAT BIOLOGI TANAH

Batasan ilmu Pengelolaan Tanah dan Air adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang: Pengaturan peruntukan lahan, pemanfaatan dan penggunaan tanah dan air untuk berbagai kepentingan termasuk usaha pertanian dengan cara-cara tertentu secara efektif dan efisien untuk mencapai hasil produksi yang optimal, berkesinambungan dan berkelanjutan. Berdasarkan batasan ilmu pengetahuan ini maka ilmu pengelolaan tanah dan air bersifat terapan, berkaitan dengan pemanfaatan dan penggunaan tanah dan air untuk berbagai kepentingan pembangunan. Setiap bidang tanah memiliki potensi tertentu, memiliki tingkat kemampuan dan daya dukung tertentu serta mempunyai tingkat kesesuaian tertentu untuk peruntukan jenis komoditi pertanian tertentu yang berbeda dengan bidang tanah lainnya. Adanya variasi jenis tanah membuat adanya variasi tingkat kemampuan tanah dan air untuk mendukung keberhasilan peruntukan pemanfaatan/penggunaan tanah dan air, termasuk untuk kepentingan usaha pertanian. Di sisi lain, jenis komoditi yang akan diusahakan dan dikembangkan juga sangat bervariasi jenisnya dan mempunyai

karakteristik tertentu yang membutuhkan persyaratan tertentu untuk dapat tumbuh dan berproduksi. Kecocokan sifat karakteristik lahan dengan karakteristik dan persyaratan tumbuh jenis tanaman itulah yang menentukan peruntukan lahan secara efektif.

Sifat karakteristik tanah ditentukan oleh bagaimana sifat fisik, kimia dan **biologis tanah** sebagai gambaran potensi produktivitas tanah. Sifat fisik, kimia dan biologis tertentu telah diketahui dan dijelaskan pada setiap jenis tanah.

Cara-cara bagaimana dalam Pengelolaan Tanah dan Air yang tepat dan efisien diterapkan pada sebidang tanah untuk usaha komoditi pertanian tertentu dapat mendukung hasil yang optimum. Cara-cara pengelolaan ataupun teknik pengelolaan tanah dan air yang tepat dan efisien diterapkan tergantung pada kondisi lahan yang ada. Utamanya mengenai kemampuan lahan dan persyaratan kebutuhan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi. Teknik pengelolaan tanah dan air tidak lain merupakan tindakan perlakuan yang dipilih dan diatur mulai dari persiapan tanah sampai panen yang disesuaikan dengan kemampuan lahan (karakteristik lahan) dan karakteristik jenis komoditi yang diusahakan yang membutuhkan persyaratan tertentu. Bila pada tanah terdapat kondisi (fisik, kimia dan **biologi tanah**) yang kurang ataupun tidak optimal mendukung pertumbuhan dan pencapaian hasil, dijadikan dasar untuk memilih tindakan perlakuan apa yang harus diberikan pada tanah.

Tindakan perlakuan untuk memperbaiki kondisi tanah agar sesuai dengan kondisi yang dipersyaratkan kebutuhan tanaman dapat berupa land clearing, penterasan,

pengolahan tanah, perbaikan drainase, pemupukan dan sebagainya. Pemilihan teknik pengelolaan tanah dan air secara efisien dan efektif untuk mencapai hasil produksi yang optimal. Pengertian batasan ilmu Pengelolaan Tanah dan Air, menekankan bahwa tujuan dan sasaran yang akan dicapai dari pengaturan pemanfaatan dan penggunaan tanah dengan teknik (cara-cara) tertentu adalah tercapainya hasil produksi secara ekonomi menguntungkan. Karena itu semua tindakan perlakuan dalam pengelolaan tanah dan air adalah merupakan input biaya produksi yang harus dipertimbangkan apakah setiap macam tindakan perlakuan secara ekonomi dapat memberi keuntungan yang langsung dirasakan maupun keuntungan jangka panjang. Ada tindakan perlakuan yang pengaruhnya terhadap peningkatan hasil produksi yang menguntungkan nyata pada panen saat itu, namun ada perlakuan yang bertujuan menstabilkan hasil produksi pada panen-panen berikutnya ataupun pengaruhnya nyata setelah satu dua tahun kemudian, tergantung macam dan jenis perlakuan yang diterapkan, seperti pemberian bahan organik ataupun penterasan dan sebagainya, pengaruhnya nyata secara ekonomi setelah 1 – 3 tahun kemudian.

Pemberian pupuk buatan termasuk salah satu perlakuan yang langsung (cepat) memperlihatkan pengaruhnya. Untuk mencapai hasil produksi optimal yang berkesinambungan dan berkelanjutan, sangat jelas bahwa pengelolaan tanah dan air selalu berorientasi pada prinsip konservasi dan pengawetan tanah dan air. Kesinambungan dan kelangsungan pencapaian hasil optimal dari suatu bidang tanah yang dikelola untuk suatu penggunaan tertentu hanya dapat dicapai bila dalam

pengelolaannya selalu memperhatikan aspek konservasi dan pengawetan tanah dan air. Untuk itu setiap macam tindakan perlakuan yang dipilih tidak hanya benar sesuai pertimbangan ekonomi menguntungkan, tetapi harus pula berdasar aspek konservasi/pengawetan tanah adalah benar, efisien dan efektif (tepat guna) sesuai persyaratan keperluan konservasi tanah dan air agar keawetan kemampuan dan produktivitas tanah tetap terjaga atau dipertahankan, bahkan kalau dapat ditingkatkan. Pada setiap peruntukan/penggunaan tanah maupun pemilihan tindakan perlakuan pada suatu bidang tanah dengan kemampuan tertentu sudah benar dilaksanakan/dilakukan, bahkan sudah efisien, tetapi belum tentu tepat. Tepat atau tidak tepatnya pengelolaan tanah dan air, dampaknya akan nampak cepat atau lambat di kemudian hari. Jika pengelolaan tanah dan air benar dan tepat serta efisien diterapkan akan diperlihatkan oleh pencapaian hasil yang relatif stabil, keuntungan produksi yang dicapai atau bahkan meningkat. Tetapi bila pengelolaan tanah dan air benar pilihannya tetapi tidak tepat akan diperlihatkan hasil yang dicapai cenderung menurun dan terus menurun sampai pada tingkat yang merugikan, walaupun faktor iklim dan faktor lainnya sudah optimal.

Ilmu pengetahuan Pengelolaan Tanah dan Air bila dikaji lebih jauh berdasarkan batasan ilmu yang dikemukakan, ilmu pengetahuan ini mempunyai kaitan baik langsung maupun tidak langsung dengan ilmu pengetahuan bidang pertanian dalam arti luas. Pada prinsipnya ilmu pengetahuan ini harus didukung oleh ilmu-ilmu dasar mengenai tanah dan air serta hubungannya dengan pengetahuan Ilmu Teknologi Budidaya Pertanian, Ilmu Keteknikan Pertanian (Mekanisasi Pertanian),

Ilmu Kehutanan, Ilmu Sosial Budaya, Ilmu Sosial Ekonomi, Ilmu Perlindungan Tanaman (Hama dan Penyakit Tanaman) serta Ilmu Perencanaan Pembangunan Pertanian.

Alasan-alasan mengapa ilmu Pengelolaan tanah dan Air perlu dipelajari :

1) Tanah dan air termasuk sumberdaya alam lahan yang terbatas :

Tanah dan air sebagai sumberdaya alam lahan yang terbatas luas dan kualitasnya serta tidak dapat diperbaharui, sedangkan kehidupan dan kelangsungan hidup manusia dan seluruh makhluk hidup lainnya sangat tergantung dari hasil eksploitasi tanah dan air. Karena itu tanah dan air yang terbatas ini perlu dikelola secara benar, tepat dan efisien secara berkesinambungan dan berkelanjutan agar dapat dimanfaatkan terus.

2) Akibat kemajuan pembangunan yang sejalan dengan semakin meningkatnya

jumlah penduduk, semakin meningkatnya tingkat pendapatan dan pengetahuan penduduk, membuat semakin meningkatnya pula tuntutan kebutuhan pangan, gizi, sandang dan papan baik jumlah maupun kualitasnya. Di lain pihak tanah dan air terbatas keberadaannya, yang banyak tersedia adalah tanah-tanah yang termasuk lahan marginal ataupun lahan bermasalah. Lahan marginal yang rendah produktivitasnya ataupun lahan bermasalah, bila diusahakan produktivitasnya mampu ditingkatkan, namun membutuhkan input biaya produksi tinggi, termasuk input teknologi serta butuh waktu relatif lama untuk mencapai hasil yang menguntungkan (titik impas = break even point). Inipun bila dikelola secara benar, tepat dan efisien.

- 3) Tanah dan air adalah salah satu faktor produksi yang sifatnya tidak bergerak dan berfungsi sebagai modal dasar, bila diusahakan selalu berorientasi pada hasil yang menguntungkan secara berkelanjutan.
- 4) Tanah dan air sebagai modal dasar pembangunan untuk berbagai aspek kepentingan, untuk berbagai sektor pembangunan. Untuk itu setiap bidang tanah perlu diatur peruntukan dan pemanfaatannya, yang disesuaikan dengan kemampuan tingkatkesesuaianlahan.
- 5) Tanah dan air bagian dari lingkungan, untuk itu bagaimana tanah dan air digunakan secara optimal dan tetap memperhatikan aspek lingkungan. Kerusakan fungsi lingkungan dari tanah dan air dapat disebabkan karena kesalahan teknik pengelolaantanahdanair.
- 6) Tanah dan air pada setiap lokasi bervariasi (berbeda) sifat, karakteristik, bervariasi kemampuannya/produktivitasnya, karena adanya perbedaan faktor pembentukannya, agar dapat dimanfaatkan secara optimal untuk tujuan penggunaan tertentu diperlukan teknik pengelolaan tertentu pula.
- 7) Dari tahun ke tahun informasi tentang lahan kritis semakin meluas adalah indikator adanya pengelolaan tanah dan air yang keliru. (tidak benar, tidak efektif dan tidak efisien). Penggunaan lahan dengan teknik pengelolaan yang keliru akan menyebabkan produktivitas tanah semakin menurun sampai ke titik hampir tidak mampu lagi mendukung produksi (kritis) dan akhirnya menjadi tanah rusak jika terus dikelola secara tidak benar. Hal ini terjadi karena dalam pengelolaanya tanah diperlakukan diluar batas tingkat kemampuan lahan, sekalipun dengan input biaya produksi yang tinggi seperti penterasan dan pengolahan tanah secara mekanis.

- 8) Kasus banjir dan kekeringan pada beberapa DAS di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meluas dan semakin meningkat frekuensinya selama setahun.
- 9) Kasus kelaparan/kegagalan panen di beberapa negara berkembang ataupun pada negara miskin adalah indikator adanya kekeliruan pengelolaan tanah dan air yang dipersyaratkan untuk mencapai produksi secara menguntungkan dan berkelanjutan.
- 10) Tanah dan air yang berfungsi sebagai media tumbuh tanaman harus dipersiapkan kondisinya untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman dilakukan dengan pengelolaan tanah dan air secara benar, tepat dan efisien dengan teknik tertentu sesuai sifat karakteristik tanah dan karakteristik jenis komoditi tanaman yang akan diusahakan.
- 11) Fungsi tanah dan air sebagai media tempat berlangsungnya siklus air. Siklus air dan siklus hidup mikroorganisme akan terganggu (berubah) bila tanah dan air itu diperuntukkan, dimanfaatkan, diperlakukan melalui penerapan teknik pengelolaan tanah dan air yang digunakan keliru atau tidak benar, tidak tepat dan tidak efisien dan pada akhirnya menjadi lahan yang tidak lagi produktif dan berdampak terhadap kerusakan sistem lingkungan.

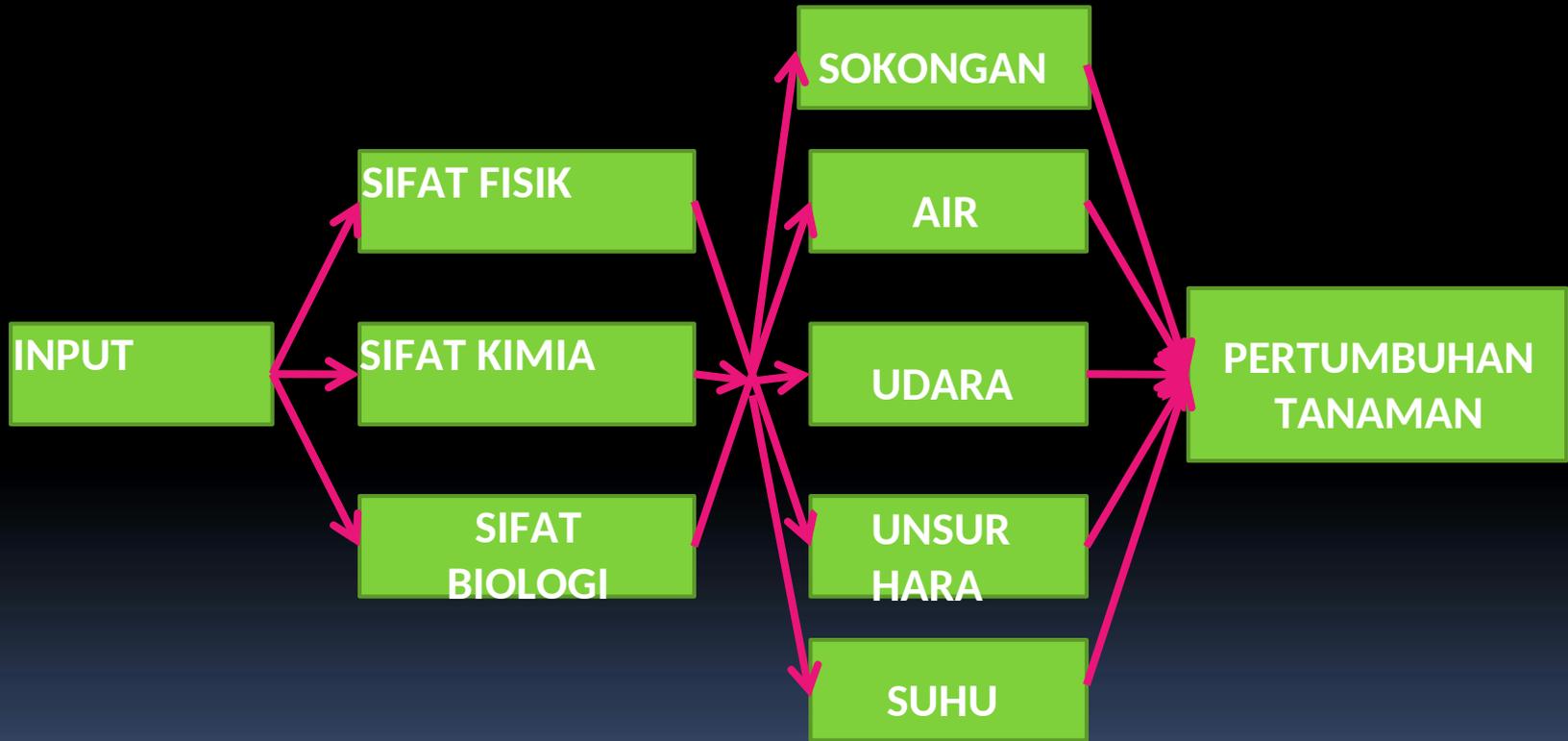
Berdasarkan uraian ini yang menjelaskan betapa pentingnya ilmu pengetahuan Pengelolaan Tanah dan Air dalam kehidupan dan kelangsungan hidup manusia dan seluruh makhluk hidup lainnya dan begitu pentingnya dalam mencapai tujuan dan sasaran pembangunan pada berbagai aspek dan sektor pembangunan yang menggunakan tanah dan air sebagai faktor produksi yang berfungsi sebagai modal

dasar pembangunan yang tidak dapat diperbaharui, ternyata kurang diperhatikan atau sama sekali tidak diterapkan (Anon.,2009)

DAFTAR PUSTAKA

- Anon., 2009 PENGELOLAAN TANAH DAN AIR (SOIL AND WATER MANAGEMENT) <https://eqyrock.wordpress.com/2009/08/28/pengelolaan-tanah-dan-air-soil-and-water-management>.
- Anon., 2011.
http://www.nanik.al-unib.net/2011/02/.com/_AJnRBYfjyYo/TS0F2qc0SmI/AAAAAAAAACdY/qXqR9v s5_sU/s1600/soil-life.jpg diunduh 23/5/2011)
Struktur tanah.
- Widodo, F. 2010. Bertani dan Meningkatkan Hasil Produksi di Atas LahanKritis.<http://agrogreentech.blogspot.com/2010/08/bertani-dan-meningkatkan-hasil-produksi.html>.
- Yulipriyanto, H. 2010. Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya. Graha Ilmu.
- Hadi Utomo, W. 1982. Dasar-Dasr Fisika Tanah. Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya: Malang.
- Rao N. S., 1986. Current Development in Biological Nitrogen Fixation. Oxford & IBH Publishing Co, New Delhi.
- Vaugan, D. & R.E. Malcolm. 1985. Soil Organic Matter and Biological Activity, Kluwer Academic.
- Reijntjes, C., Bertus Haverkort dan Ann Waters-Bayer. ILEIA Pertanian Masa Depan. Pengantar Untuk Pertanian Berkelanjutan dengan Input Luar Rendah. Kanisius.

2. KOLOID TANAH DAN KESUBURAN TANAH



2. KOLOID TANAH DAN KESUBURAN TANAH

2.1. Pendahuluan

a. Pengertian Koloid

Koloid adalah partikel berukuran kurang dari 1 mikron sampai berukuran mendekati ukuran molekul dan menunjukkan sifat-sifat koloidal (Gerak Brown dan efek tyndal).

b. Koloid dalam tanah

Koloid dalam tanah secara garis besar dapat dibagi 2:

- > Koloid anorganik: mineral liat tanah
 - > Koloid organik: senyawa humik (*Humic substance*)
-

Table 3.3 Classification of Soil Mineral Particles According to Size

Soil separate	International Society of Soil Science (mm)	U.S. Department of Agriculture (mm)
Gravel	2.0 or more	2.0 or more
Sand		
Very coarse		2.0–1.0
Coarse	2.0–0.2	1.0–0.5
Medium		0.5–0.25
Fine	0.2–0.02	0.25–0.1
Very fine		0.1–0.05
Silt	0.02–0.002	0.05–0.002
Clay	0.002 or less	0.002 or less

From USDA (1951).

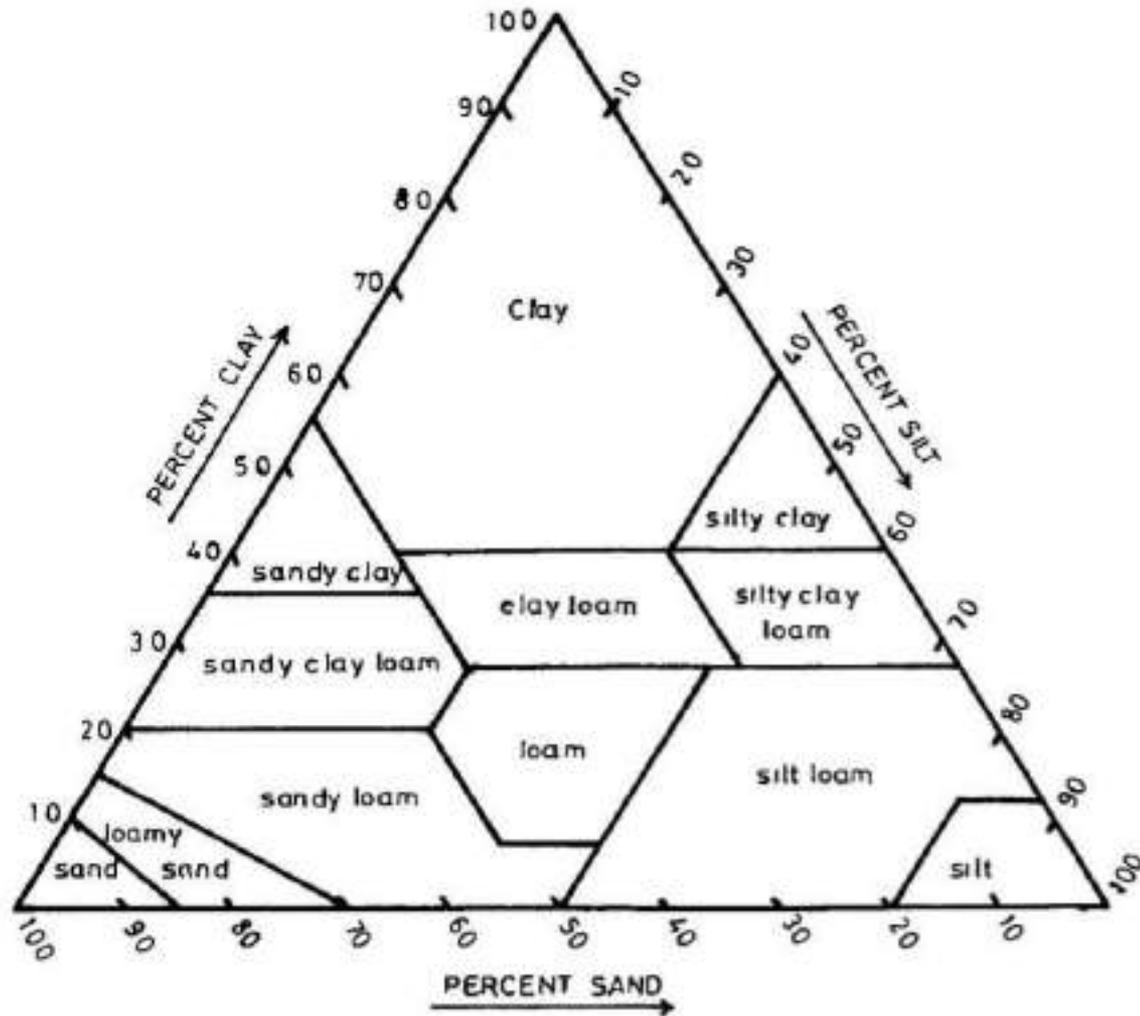


Figure 3.4. Chart showing the percentages of clay (below 0.002 mm), silt (0.002 to 0.05 mm), and sand (0.05 to 2.0 mm) in the basic soil textural classes. (From USDA, 1951.)

KOLOID

- **Is:** partikel berukuran $< 1 \mu\text{m}$ sampai mendekati ukuran molekul yang menunjukkan sifat2 koloidal.
- **Sifat koloidal:** menunjukkan gerak brown dan efek tindal

Koloid Tanah:

Is: partikel tanah yang menunjukkan sifat-sifat koloidal. Why?

Karena liat yg mrp partikel tanah yg ukurannya $< 2 \mu\text{m}$ termasuk koloid.

Koloid tanah terdiri dari koloid anorganik (mineral liat) dan organik (senyawa humik/humic compound/humic substance)

□ **Apa Kepentingan koloid tanah?**

Koloid tanah menentukan sifat fisik, kimia bahkan biologi tanah. Sifat fisik dan kimia apa saja yang dipengaruhi koloid tanah



Manfaat Koloid Tanah

1. Di bidang Pertanian

Berperanan dalam kesuburan tanah, shg berpengaruh thd pertumbuhan tanaman.

2. Di Bidang Konservasi Tanah dan Air

Koloid tanah menentukan sifat fisika tanah, shg berpengaruh terhadap infiltrasi, permeabilitas. Dg dmk, berpengaruh thd run off dan erosi.

3. Teknik sipil (Bangunan, jalan, dll)

Mineralogi tanah/koloid tanah karena berpengaruh terhadap sifat fisik tanah, sehingga mempengaruhi kekokohan bangunan, jalan, dll.

B. Klasifikasi Mineral

1. Bdsk Genesisnya

Mineral digolongkan ke dalam: mineral primer dan sekunder. **Mineral Primer:**

adalah mineral yg terjadi langsung dr magma dan membentuk diri menjadi batuan t3 sbg kerak bumi.

Mineral Sekunder

adalah mineral yang terjadi dr mineral primer yang tih mengalami pelapukan atau pelarutan dan mengkristal kembali

2. Bdsk Warnanya

Mineral digolongkan ke dalam **mineral terang** dan **gelap**. **Mineral terang** adalah mineral yg tdk berwarna or berwarna putih spt kuarsa.

Mineral Gelap adalah mineral yg berwarna coklat, hitam, dsb.

3. Bdsk Bobot Jenisnya

Digolongkan ke dalam mineral **berat** dan mineral **ringan**. Mineral berat memiliki BJ $> 2,9 \text{ g/cm}^3$ sedangkan mineral ringan memiliki BJ $< 2,9 \text{ g/cm}^3$

4. Bdsk Kedudukan sbg Penyusun Batuan

Mineral digolongkan ke dalam mineral **utama**, **tambahan** dan mineral **pengiring**.

Mineral utama: menyusun sebagian besar dari batuan. Mineral tambahan hanya menyusun sebagian kecil dari batuan.

Mineral pengiring: mineral yg kadang-kadang ada, ttp terkadang tidak ada dalam suatu batuan.

5. Bdsk sifat dan susunan kimianya (Berzelius dan Mason, 1959):



- 
- 1. Unsur tunggal, spt emas (Au), Intan (C) , dll**
 - 2. Senyawa sulfida, spt AgS, dll**
 - 3. Senyawa oksida dan hidroksida, spt hematit (Fe_2O_3), Limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), dll.**
 - 4. Senyawa Halogen, spt KCl, NaCl, dll.**
 - 5. Senyawa karbonat, nitrat, dll: spt CaCO_3 , NaNO_3 , dll**
 - 6. Senyawa sulfat, Chromat, Molibdat, spt gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dll**
 - 7. Senyawa Fosfat, arsenat, vanadat, spt apatit, dll.**
 - 8. Senyawa silikat, spt kuarsa, Felsdspar,**





> Mineral yg banyak ditemukan dipermukaan bumi adalah silikat yakni hampir 80% kerak bumi tersusun mineral gol. silikat.

> Mineral gol silikat dibedakan atas:

- **Neso silikat**
- **Sorro silikat**
- **Cyclo silikat**
- **Ino silikat I (Piroksen)**
- **Ino silikat II (Amphibol)**
- **Phylosilikat**
- **Tektosilikat**

> Golongan Phylosilikat terdiri dari:

- **1. Gol. Serpentin**
 - **2. Gol. mineral liat: Kaolinit, Montmorilonit, dll.**
 - **3. Gol Mika: Muskovit, Phlogopit, Biotit, Lepidolit, Margarit**
 - **4. Gol. Klorit.**
-



Mineral yang terdapat di dalam tanah:

- > Komposisi tanah terediri dari: padatan, air, dan udara**
- > Padatan: terdiri dari komponen anorganik dan organik**
- > Anorganik : pasir, debu dan liat. Mineral liat dibedakan atas:**

1. Kristalin:

- a. Oksida dan hidroksida: Fe, Al, Mn, Si, Ti**
- b. Silikat: Neso-, Sorro-, Siklo-, Ino- dan Phyllosilikat**
- c. Garam agak larut: karbonat, sulfat, sulfida**

2. Non kristalin:

- a. Hidrous oksida dari Al dan Si**
 - b. Alumino silikat: Alofan, Imogolit dan gelas volkan.**
-

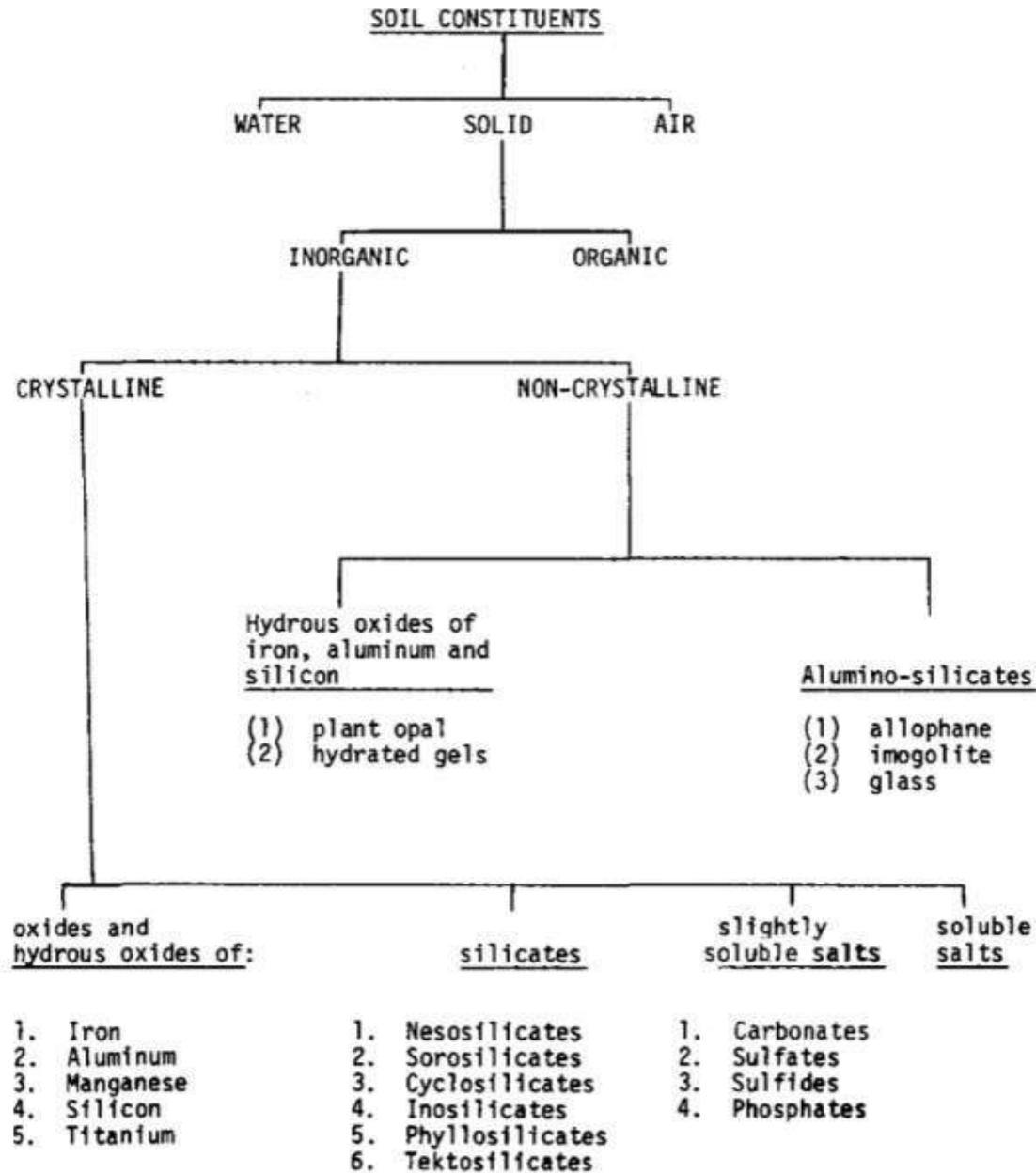


Figure 2.3. Minerals commonly found in soils.

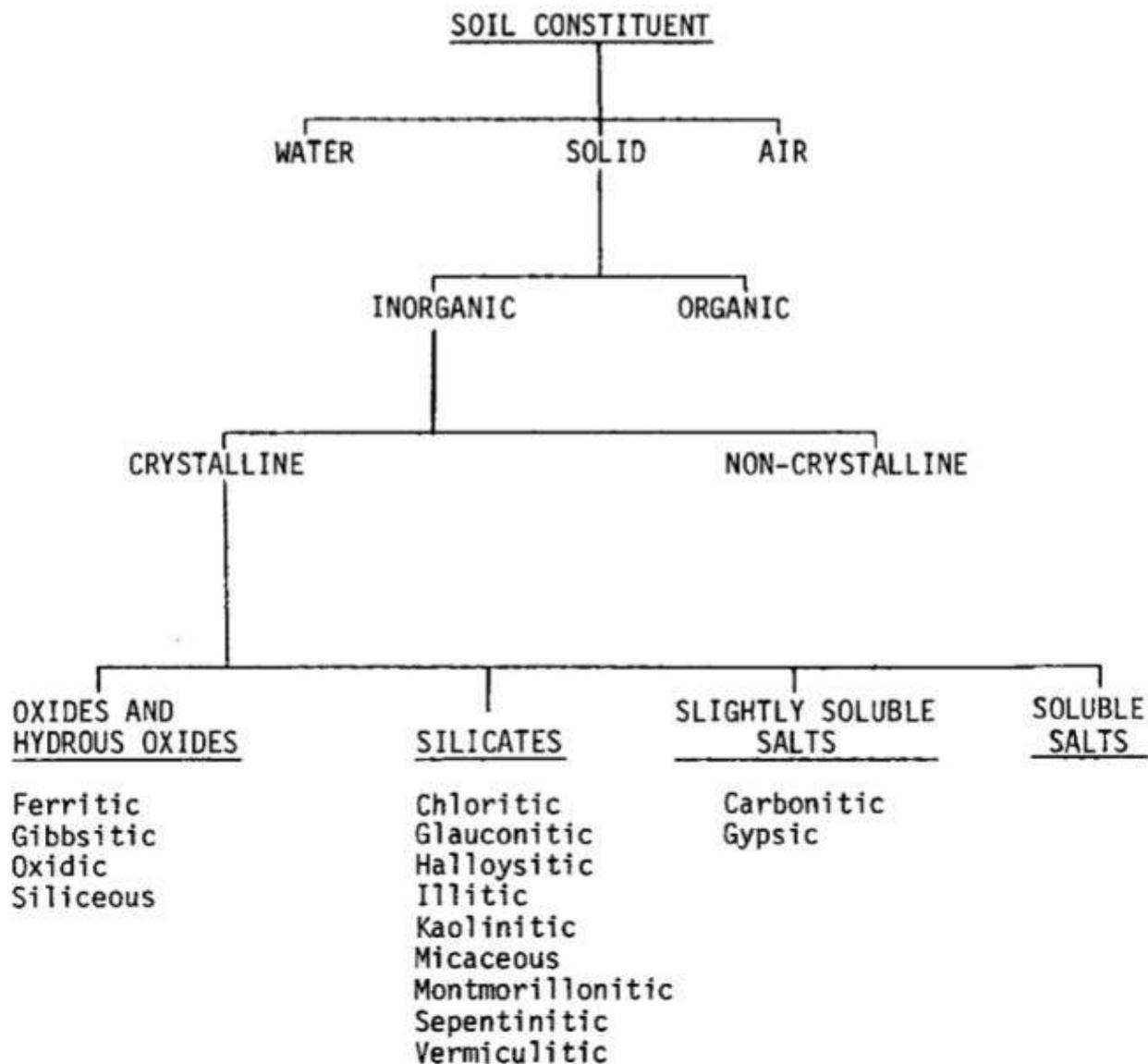


Figure 2.4. Classification of mineralogy according to *Soil Taxonomy*.

- 
- **Pengelompokkan tsb berkaitan erat dengan sifat dan ciri tanah**
 - **Tanah kaya mineral primer berarti tanah belum mengalami pelapukan lanjut. Dmk sebaliknya.**
 - **Tanah kaya mineral gelap, berarti tanah ini mudah mengalami pelapukan, dmk sebaliknya.**
 - **Mineral kelas silikat mrp mineral yg dominan di dalam batuan dan tanah.**
 - **Ada hubungan jenis mineral dominan dengan iklim**
 - **Ada hubungan jenis mineral dominan dengan ordo tanah**

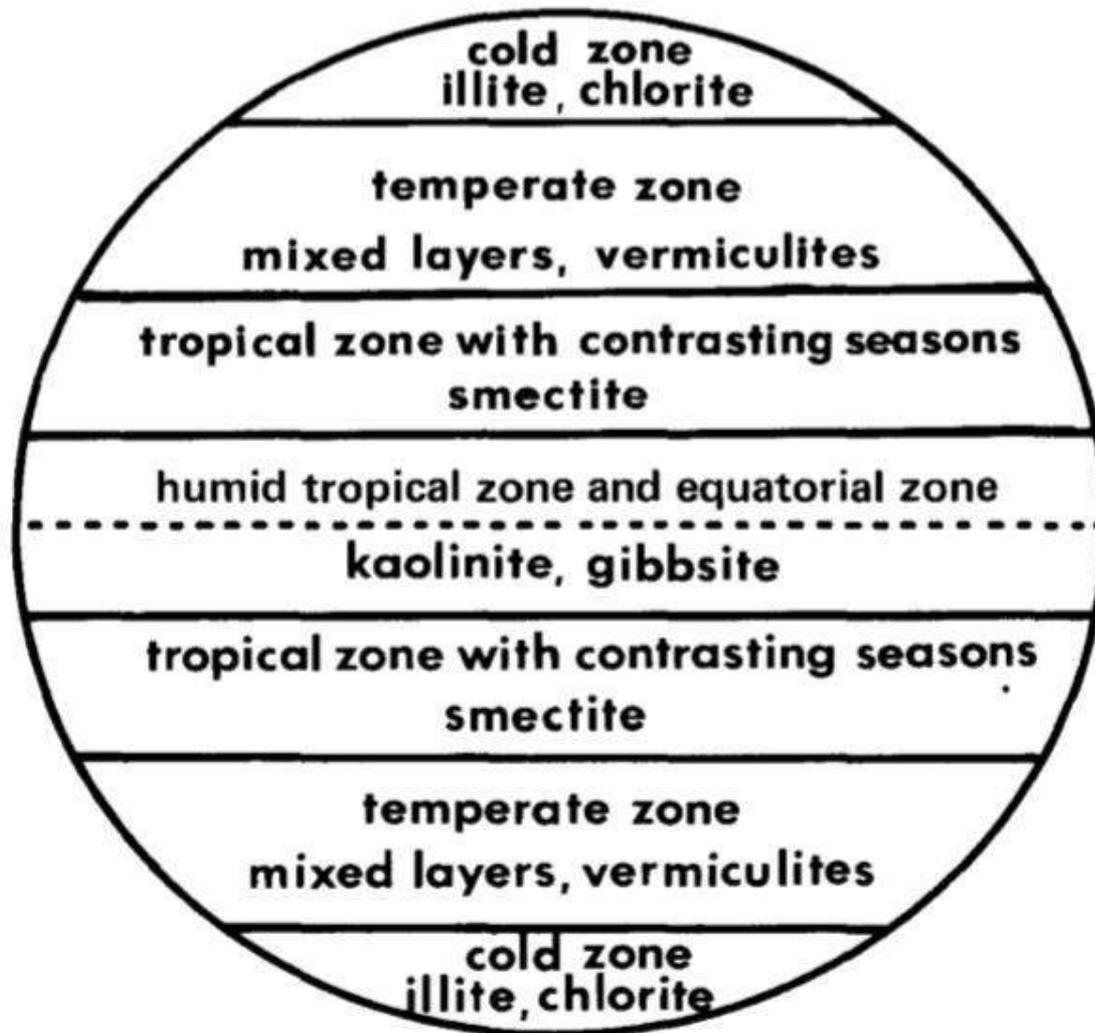


Figure 2.1. The effect of climate on clay mineral occurrence. Millot (1979).

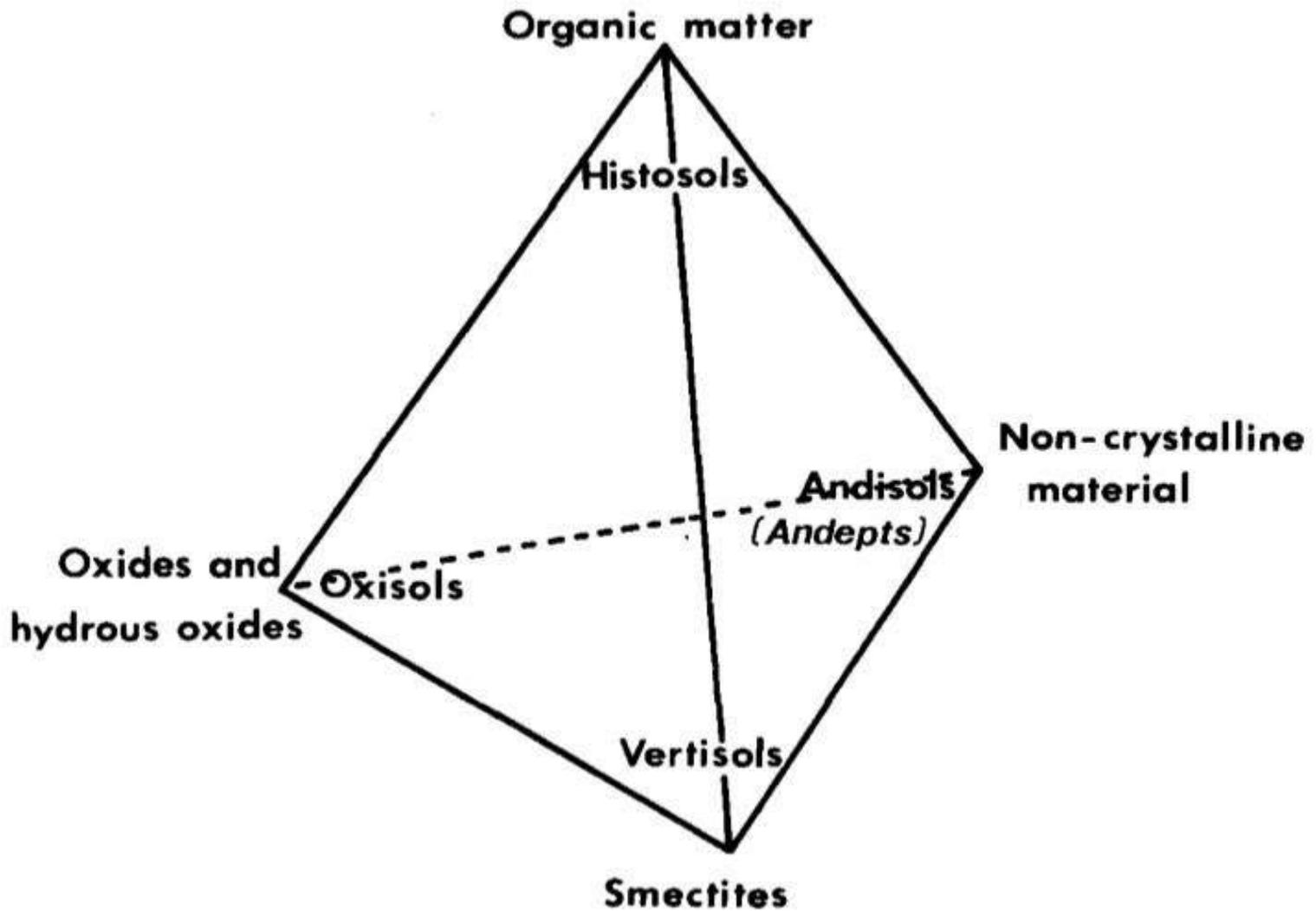


Figure 2.5. Relationship between soil composition and soil classification.

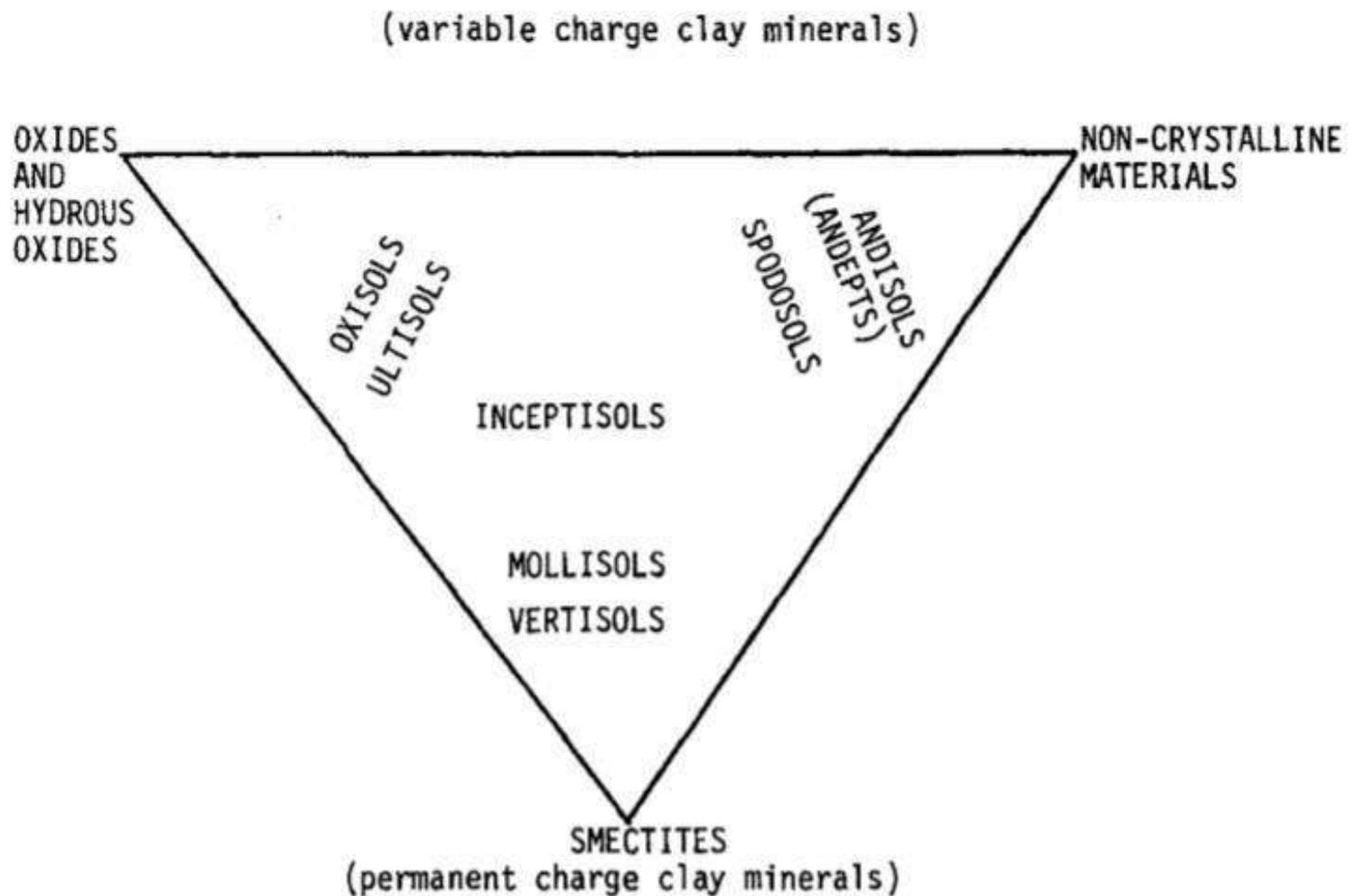


Figure 2.6. Relationship between inorganic soil constituents and soil orders.

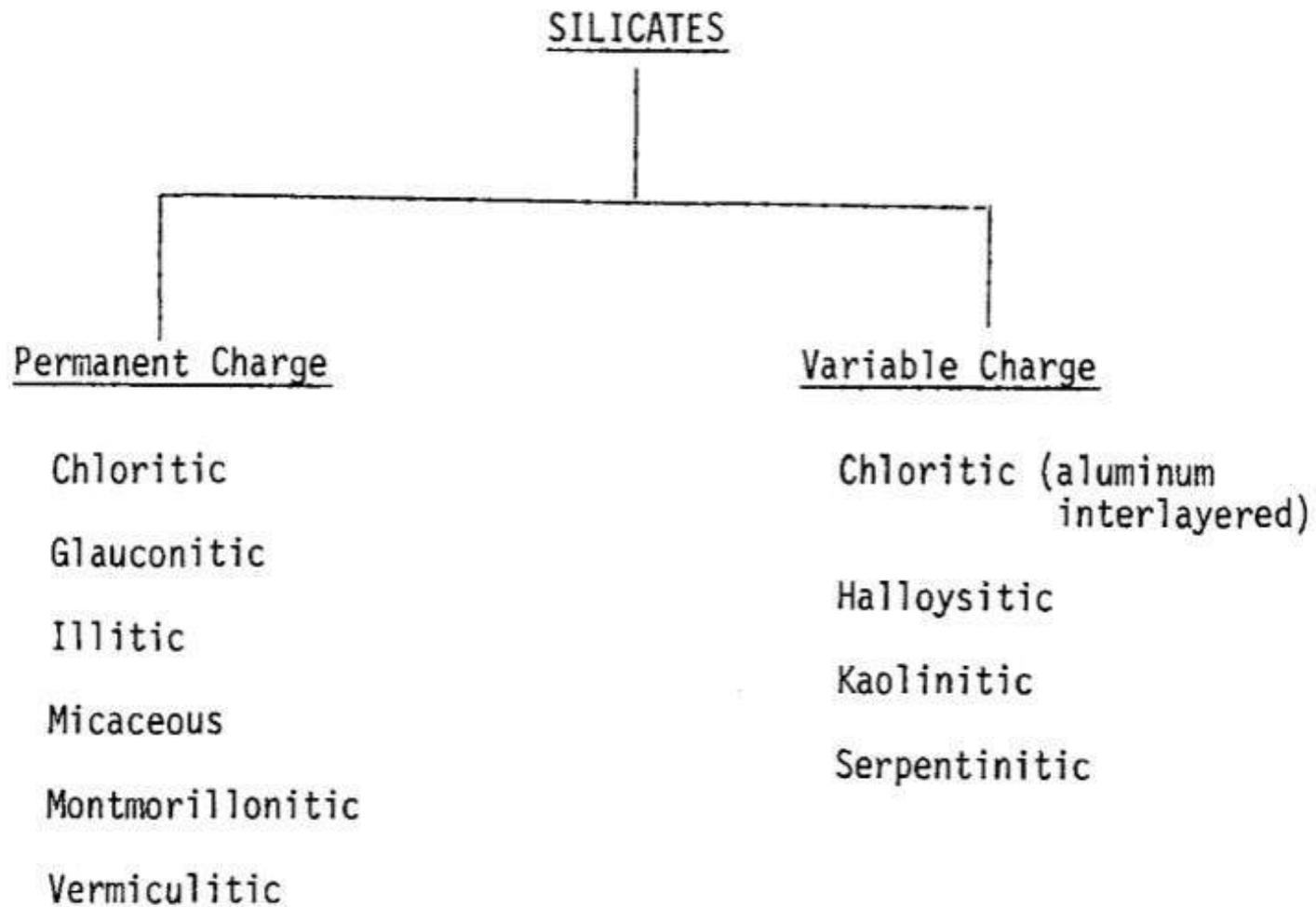
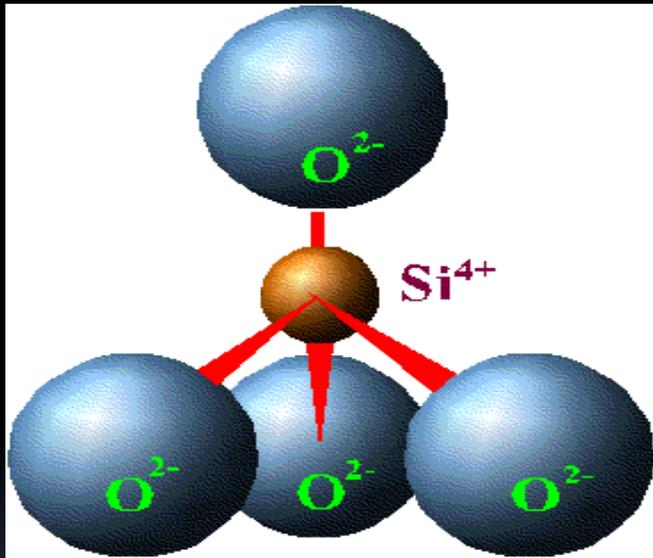
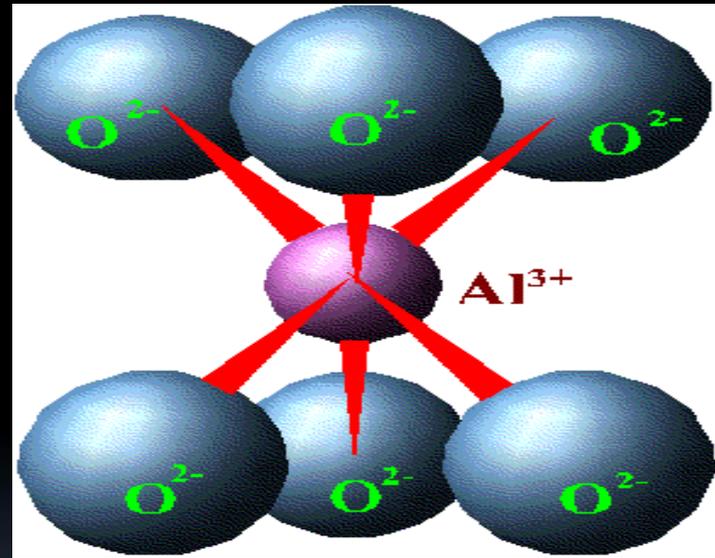


Figure 2.7. Separation of the silicate mineralogy classes into permanent and variable charge types.

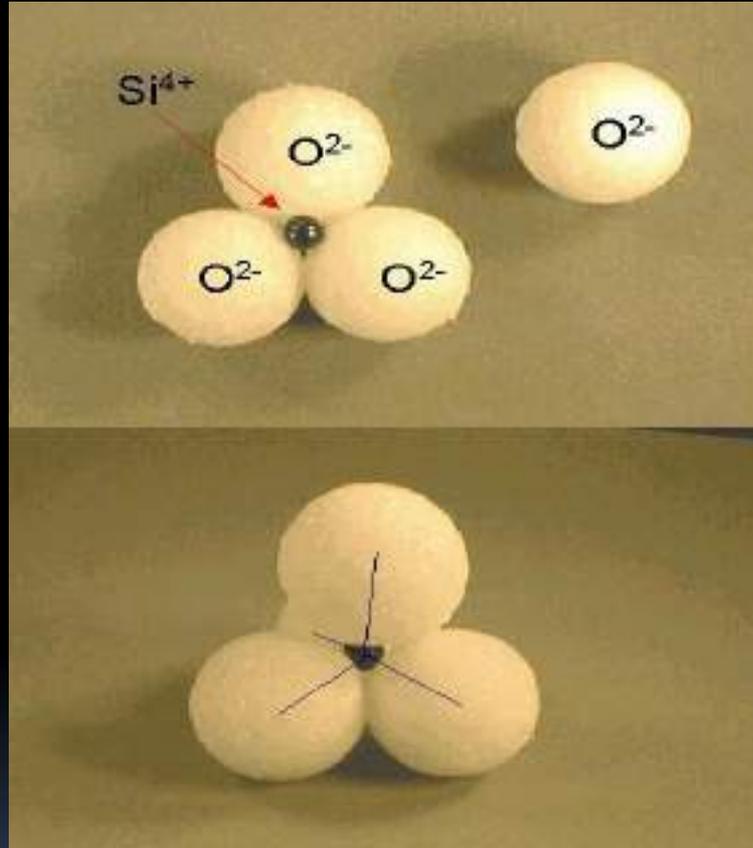
STRUKTUR DASAR MINERL LIAT FILOSILIKAT



Si -Tetrahedra



Al-Oktahedra



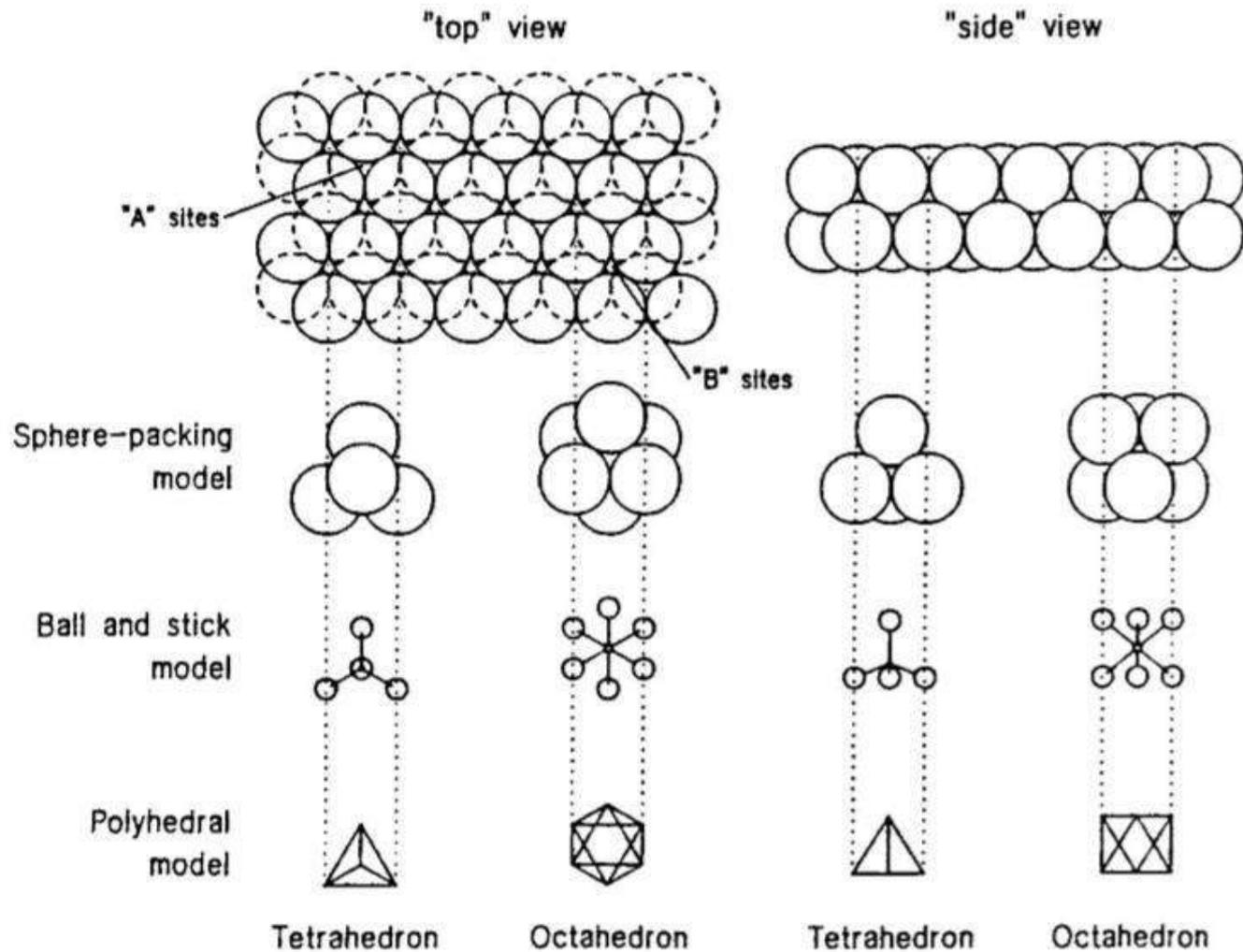
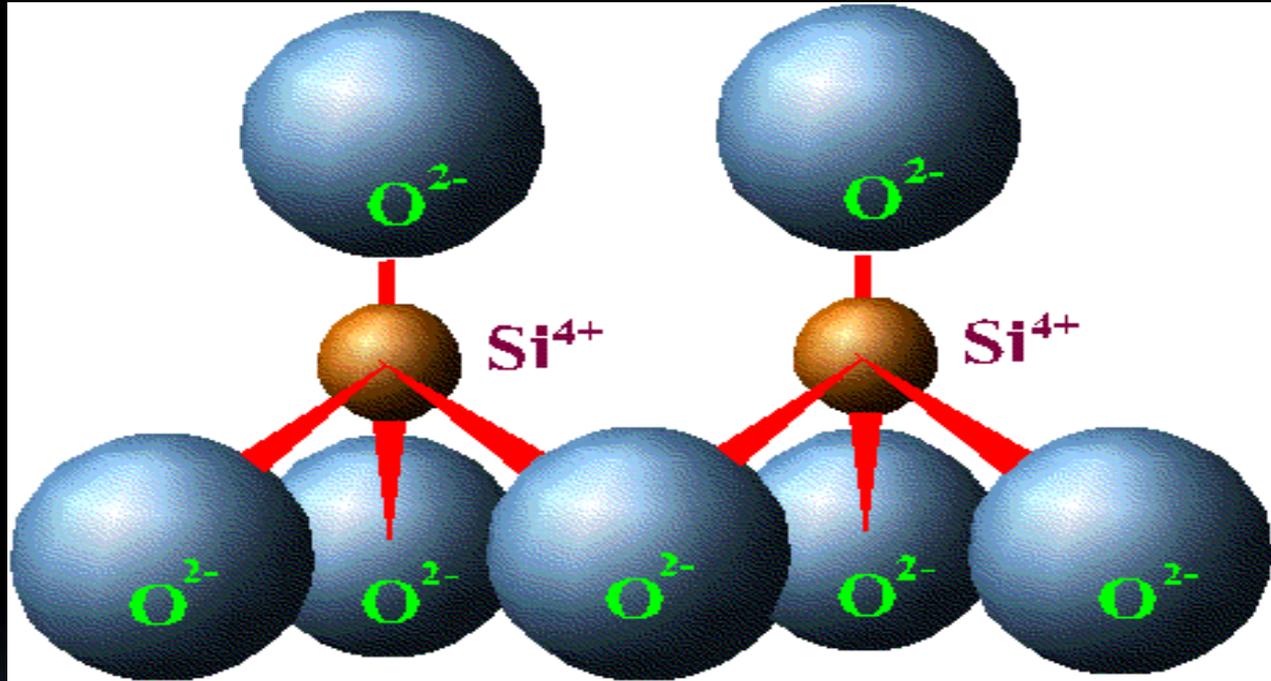
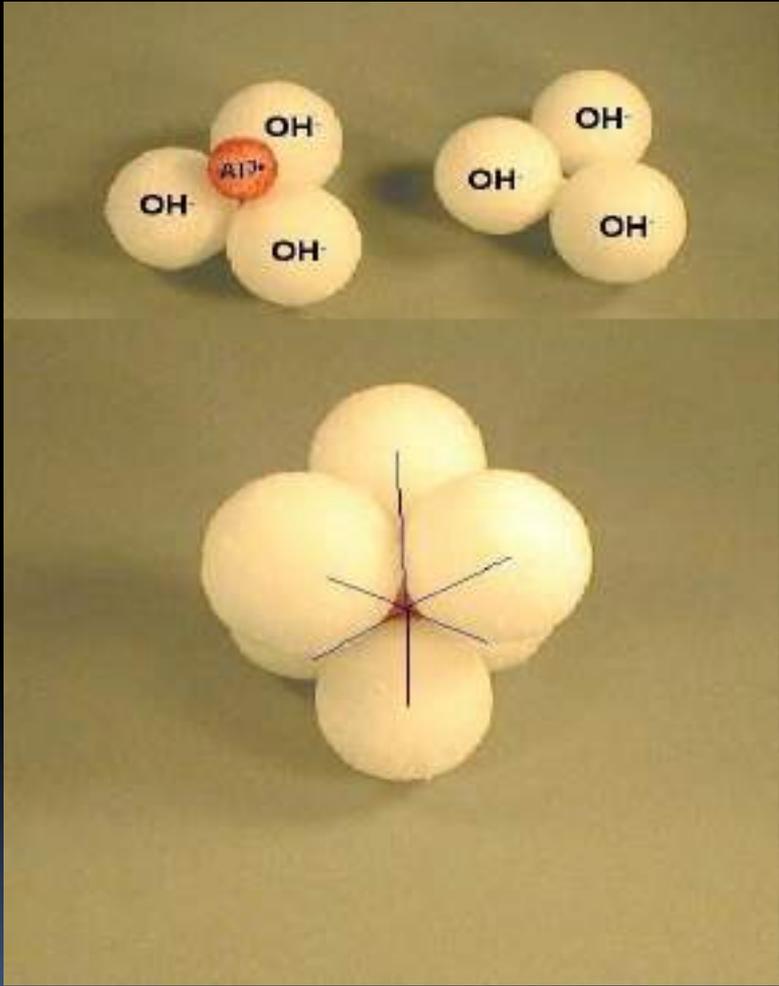
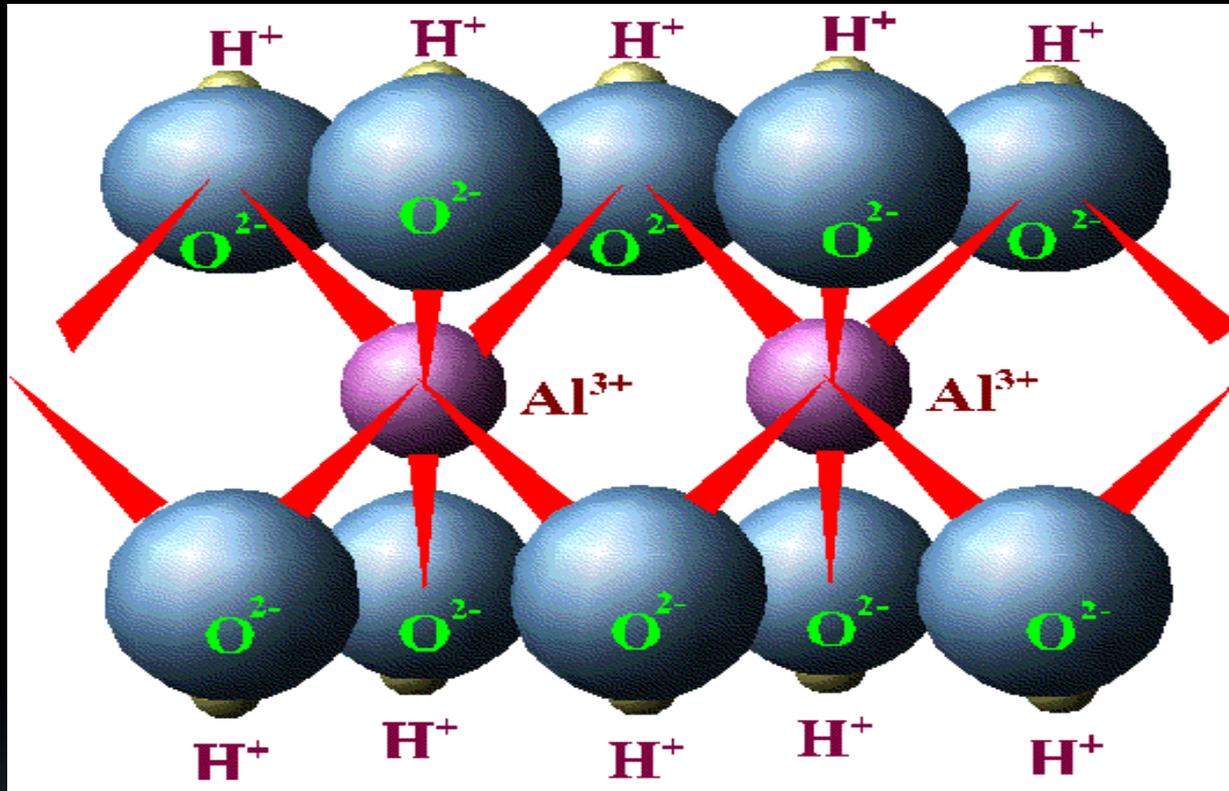


Figure 4.1. Octahedra and tetrahedra as a consequence of two planes of close-packaged spheres and three ways of representing octahedra and tetrahedra. (Adapted from Schulze, 1989.)



Pertautan antara Struktur Si-tetrahedra dengan Si-tetrahedra lainnya membentuk lembar Si-tetrahedra





Pertautan antara Struktur Al-oktahedra dengan Al-oktahedra lainnya membentuk lembar Al-oktahedra

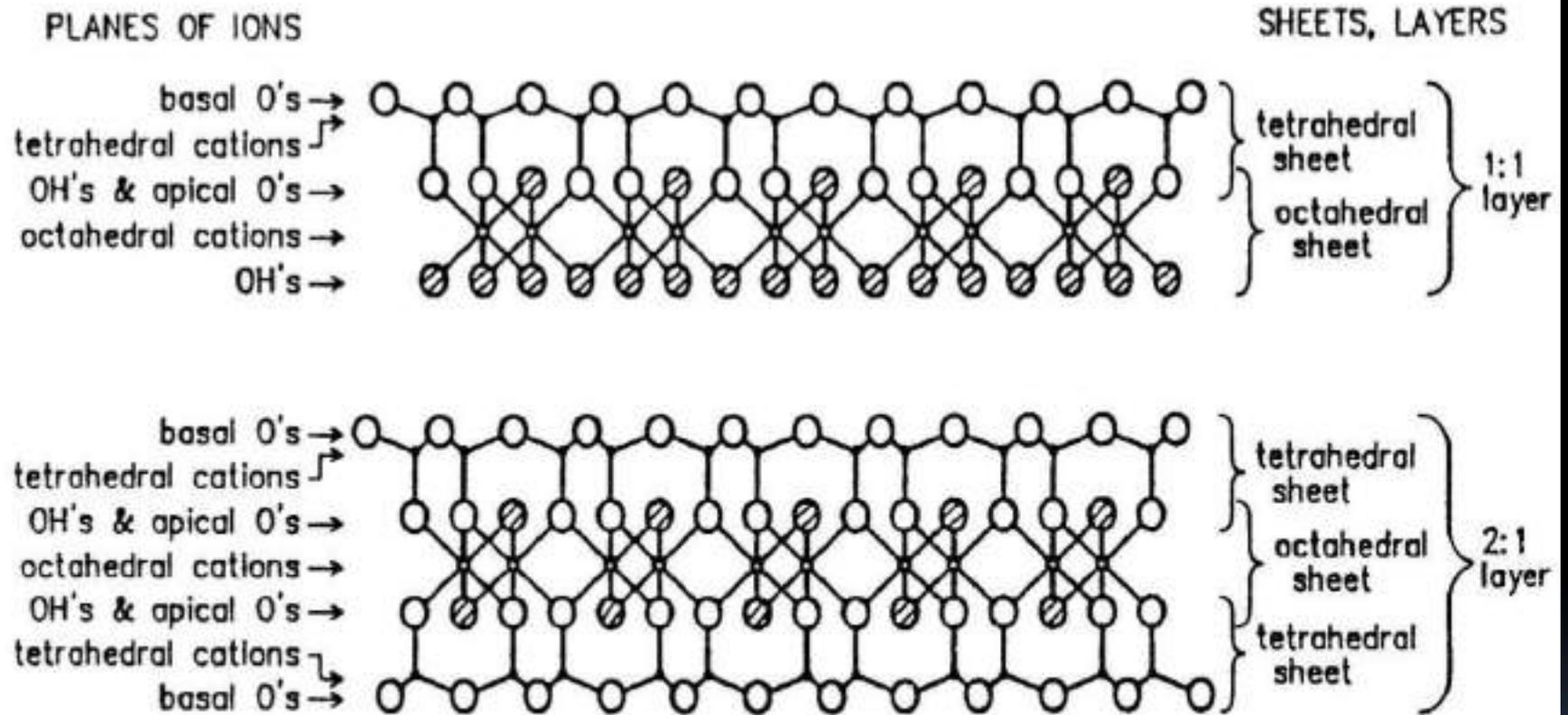
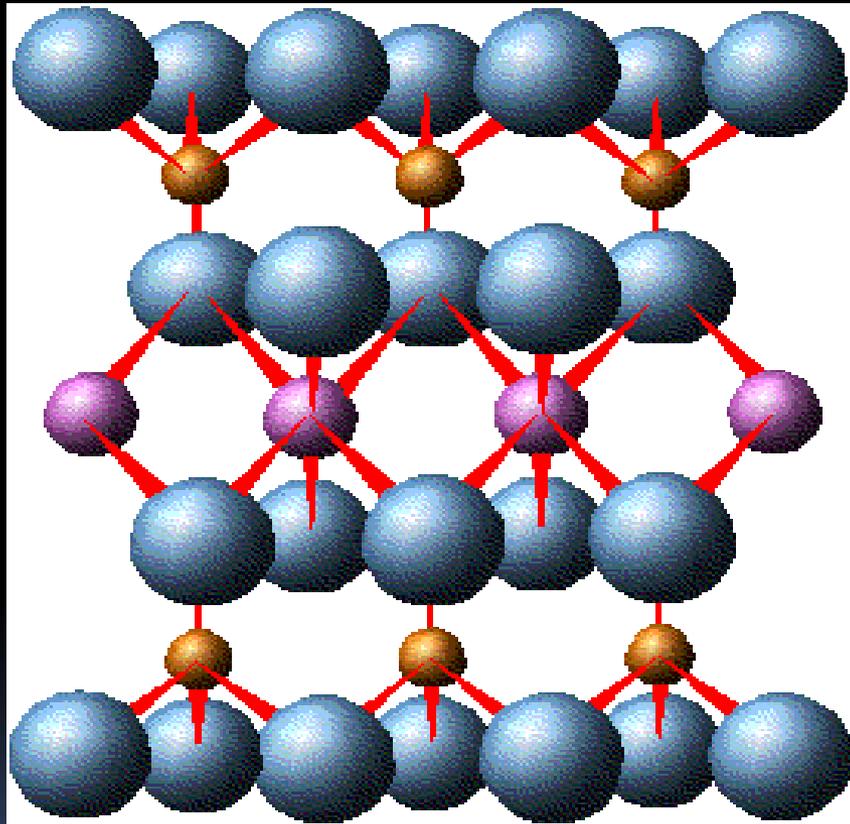


Figure 4.2. Phyllosilicate nomenclature. (Adapted from Schulze, 1989.)



**Struktur
mineral
liat Tipe
2:1
Tdr dr 2
lembar Si-
tetrahedra
dan
1 lembar Si-
tetrahedra**

GENESIS MINERAL LIAT



1. Rekristalisasi

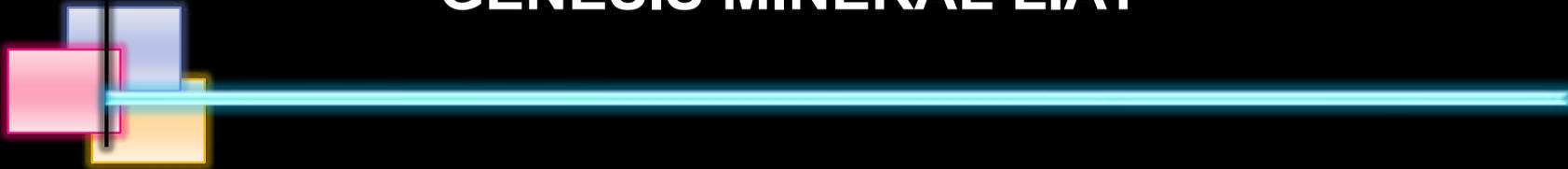
Mineral primer mengalami pelapukan, sehingga dihasilkan senyawa-senyawa terlarut yang kemudian mengalami resintesis/ rekristalisasi.

2. Penggabungan bahan amorf

koloidal membentuk alofan dan imogolit.



GENESIS MINERAL LIAT



3. Transformasi/alterasi

Perubahan dari bahan mineral bukan filosilikat, mengalami perombakan shg struktur asalnya berubah menjadi mineral filosilikat (struktur asalnya masih ada). Plagioklas mengalami alterasi menjadi mineral liat.

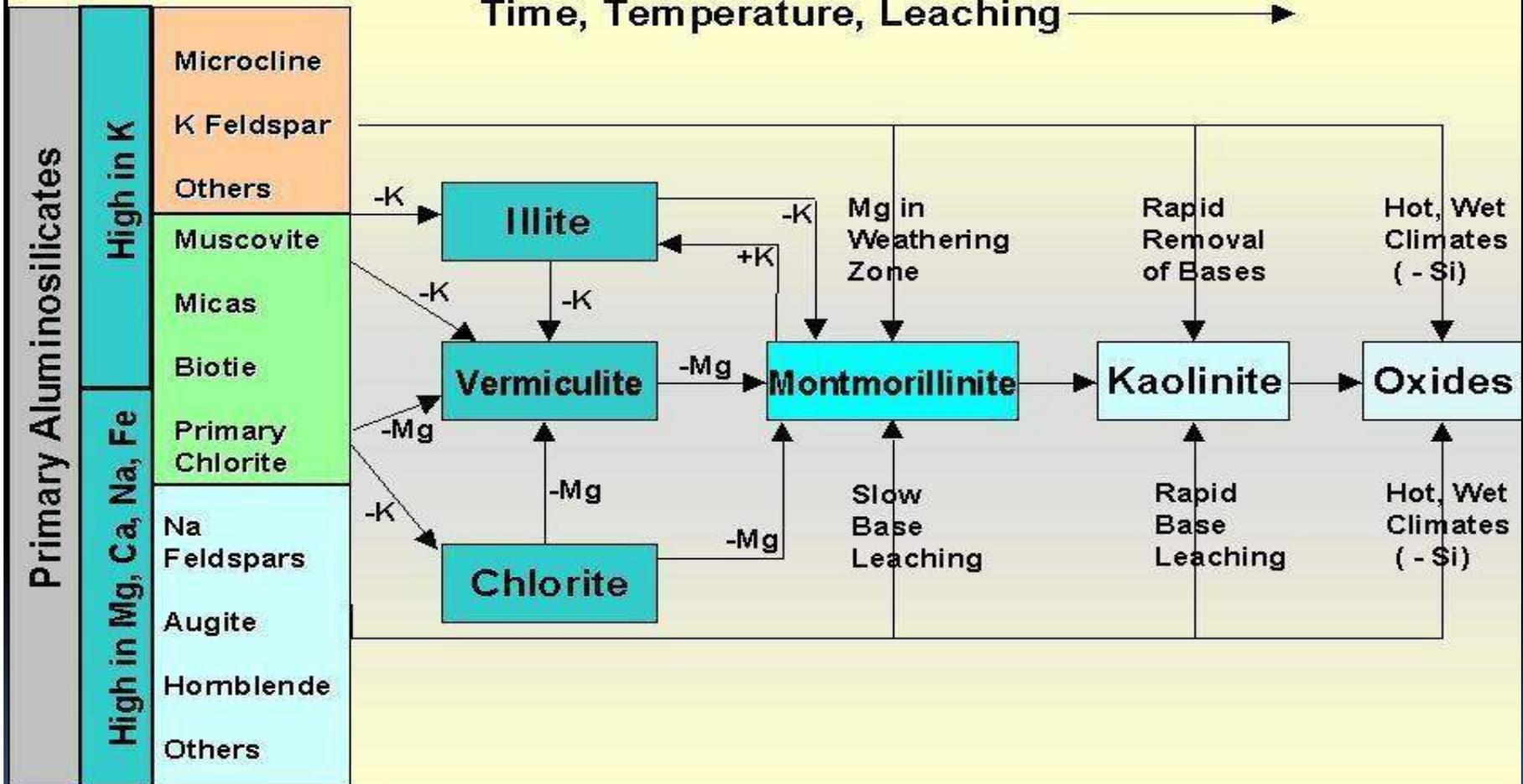
4. Transformasi lapisan

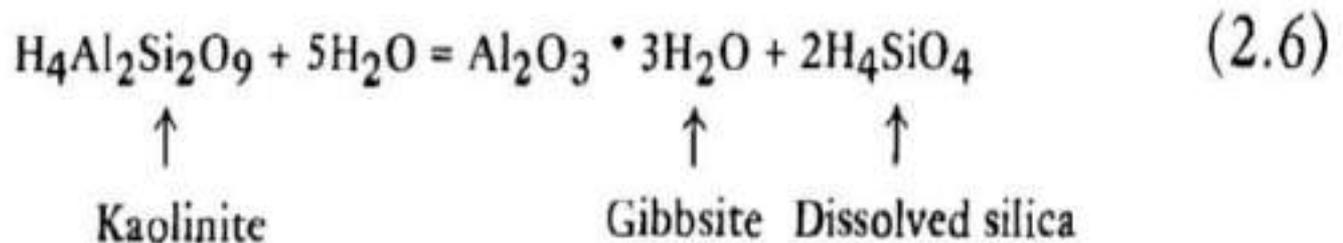
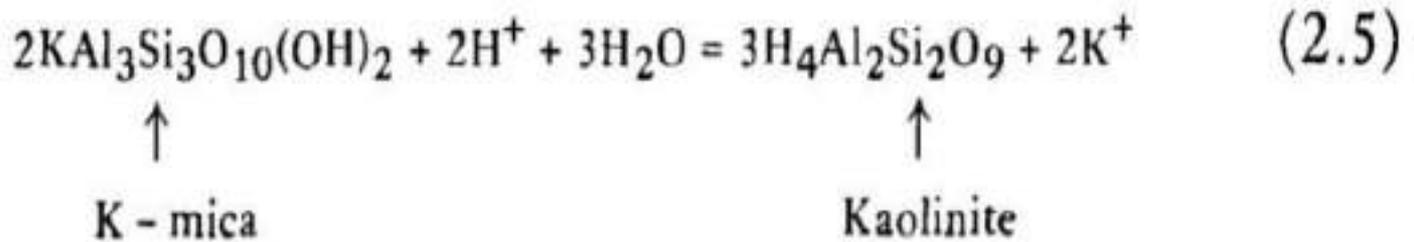
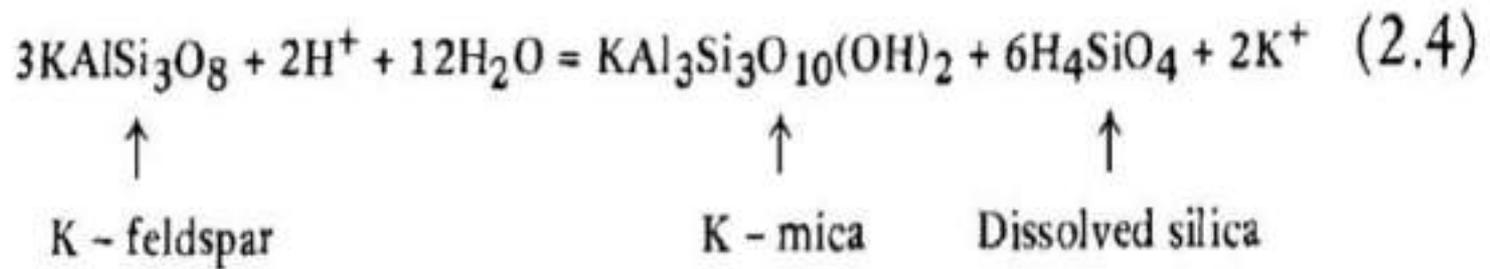
Lapisan dari suatu mineral mengalami perubahan shg menjadi mineral baru. e.g. perubahan mika menjadi vermikulit. Strk asal Al-Si terhidrat masih ada. Transformasi Montmorillonit menjadi Kaolinit.



PROSES GENESIS MINERAL LIAT

Time, Temperature, Leaching →





C. Mineral Liat Tanah

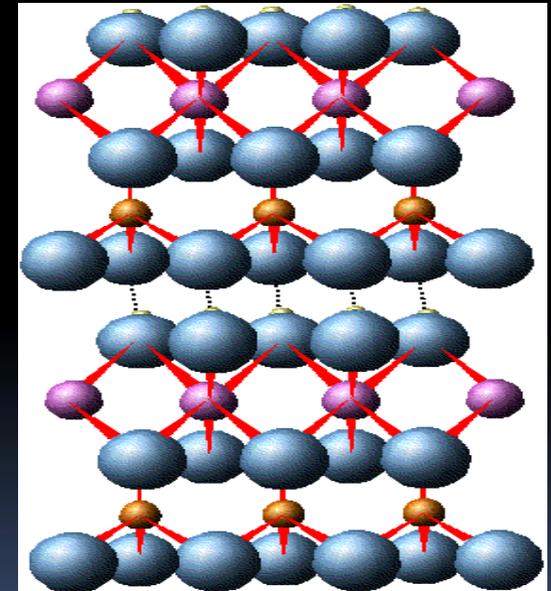
1. Tipe Mineral Liat

Bdsk jml lembar silikat dan aluminat, mineral liat silikat digolongkan ke dalam tipe: 1:1, 2:1, 2:2 atau 2:1:1

2. Struktur Kimia beberapa mineral liat tanah

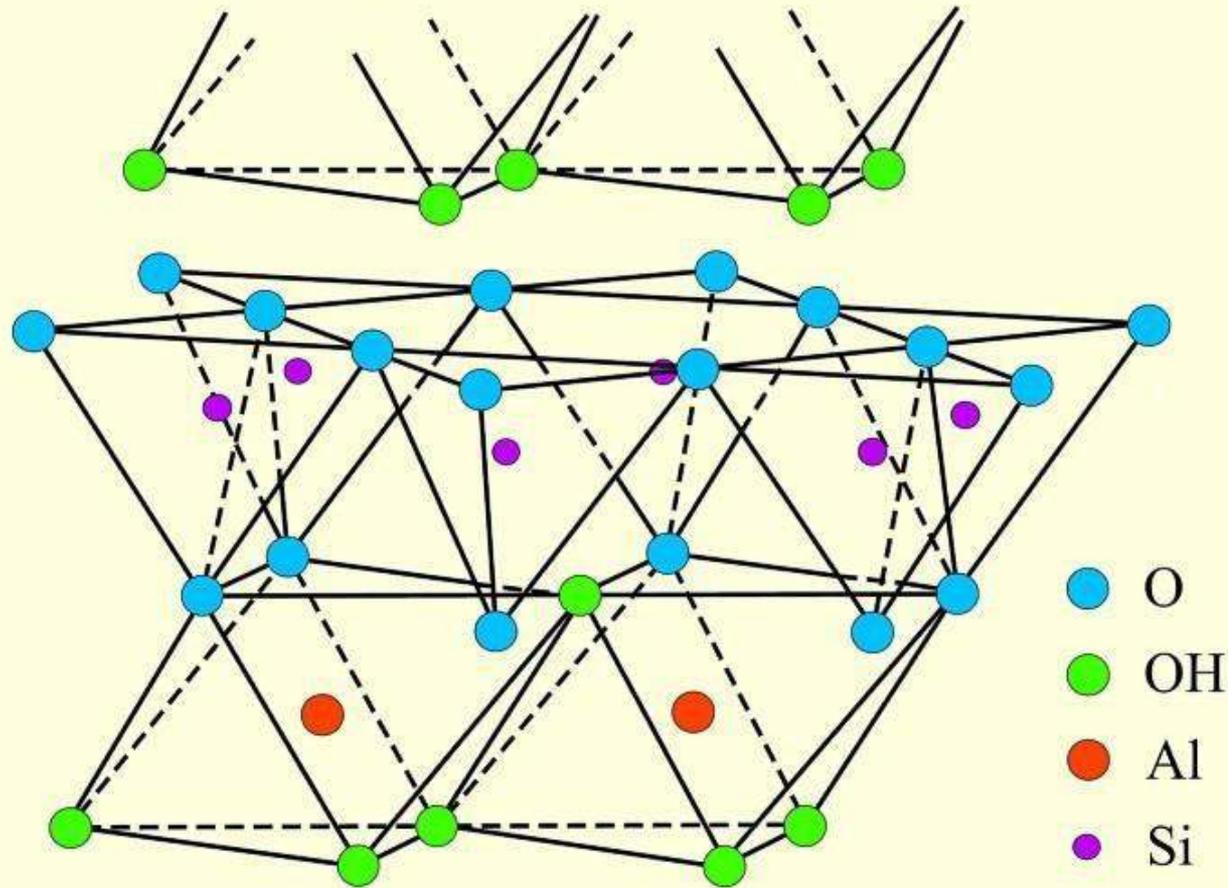
Tipe 1:1, contohnya:
Kaolinit,
Halloysit

Kaolinit



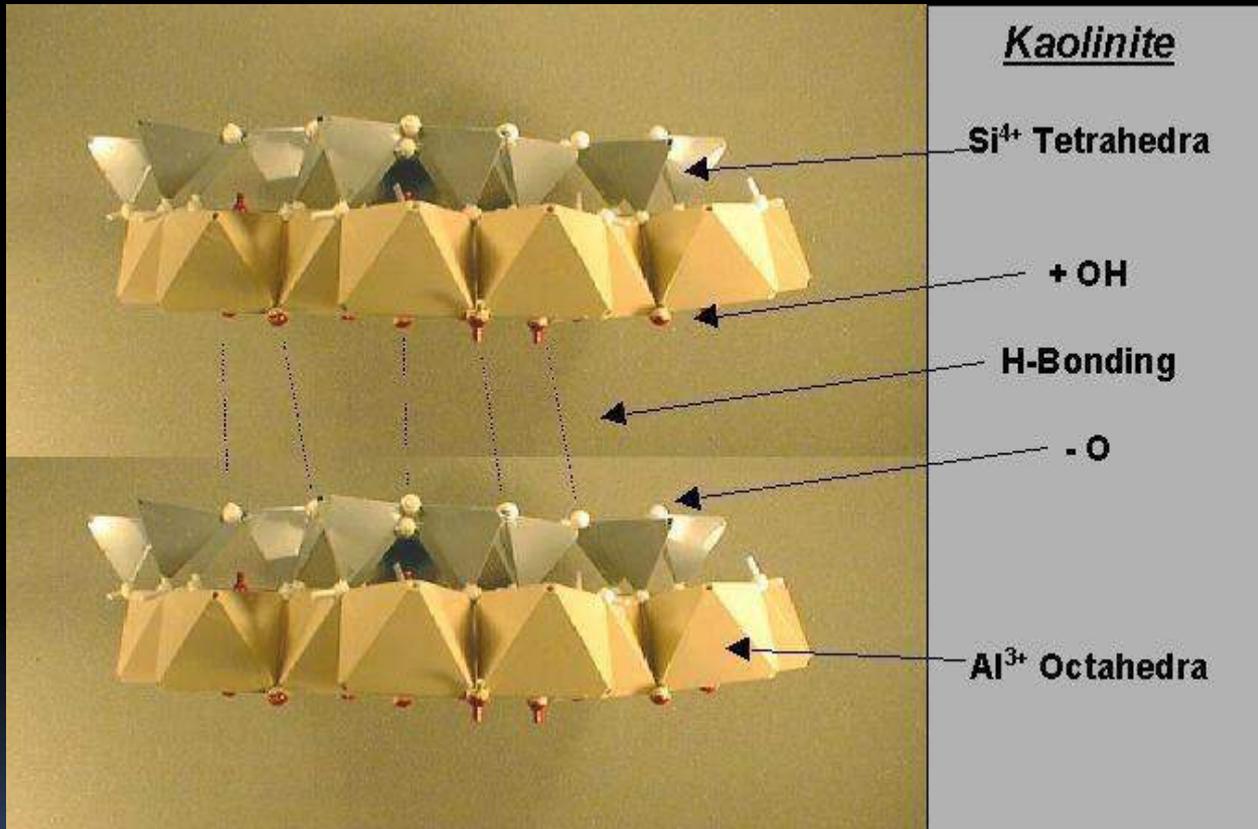


STRUCTURE OF A KAOLINITE LAYER



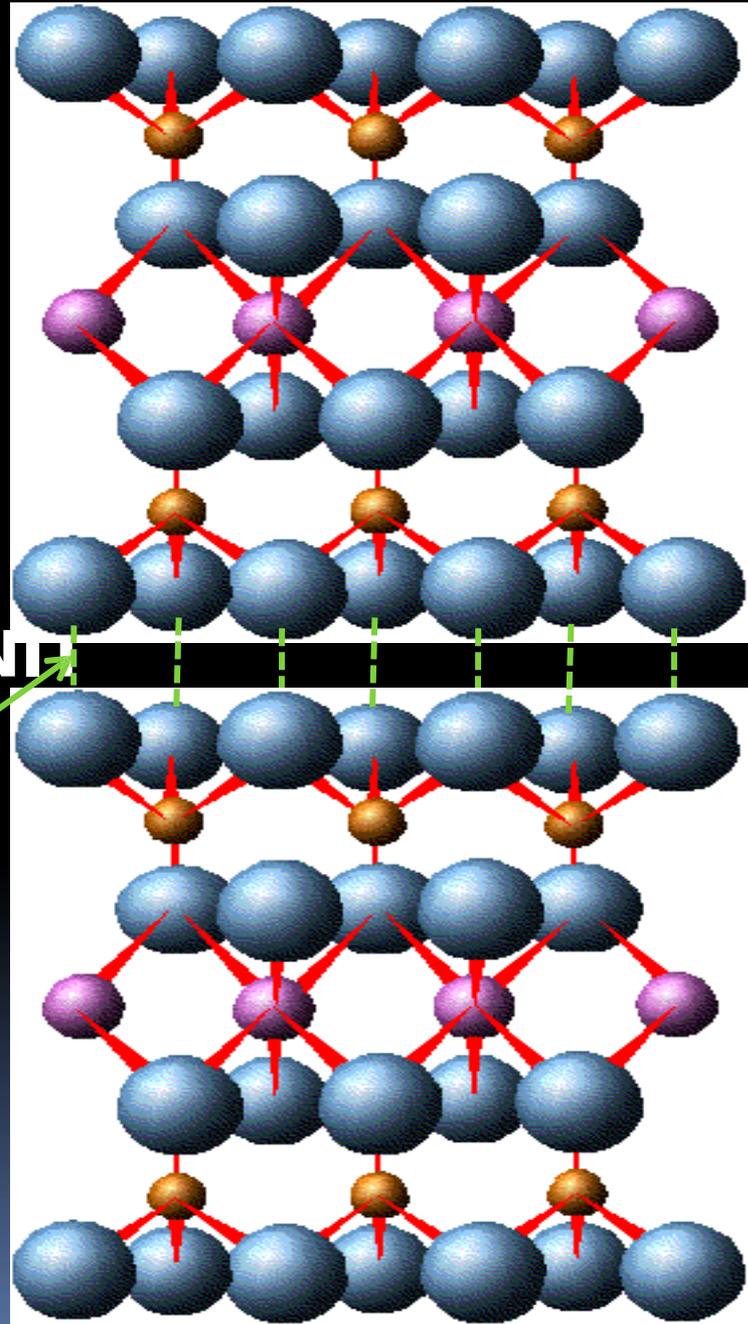
MODIFIED FROM GRIM (1962)

KARAKTERISTIK KOLOID LIAT

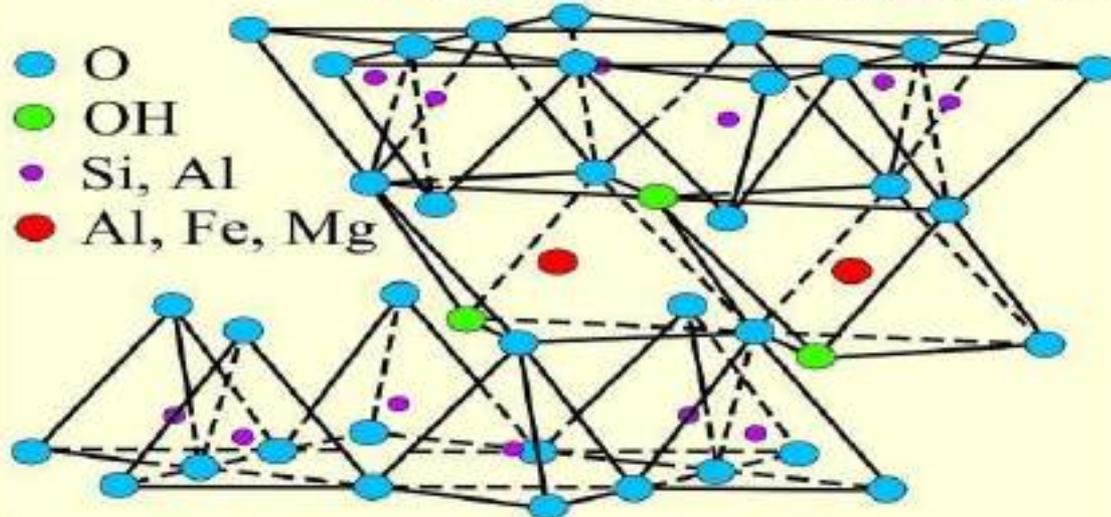


Tipe Liat 2:1
Contoh MONTMORILONI

Ikatan Oksigen

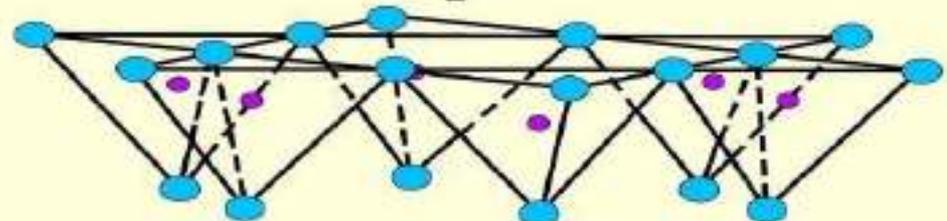


STRUCTURE OF MONTMORILLONITE

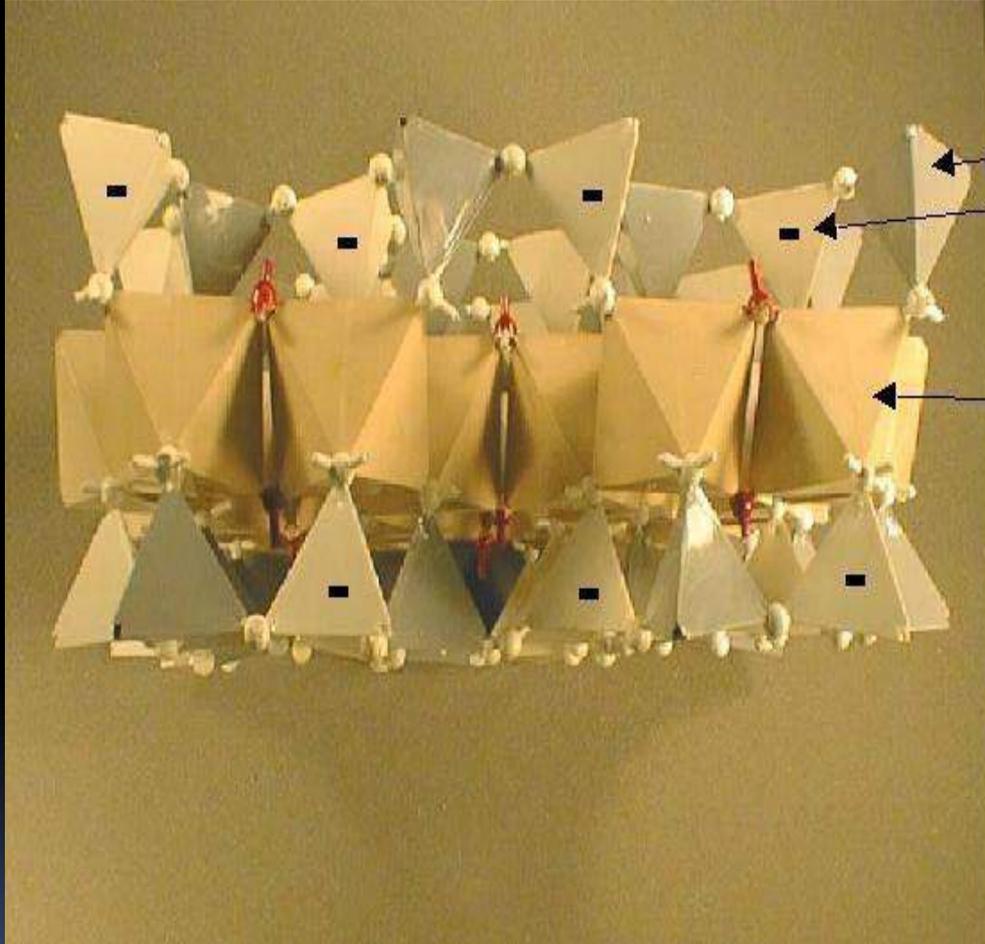


- O
- OH
- Si, Al
- Al, Fe, Mg

EXCHANGEABLE CATIONS
 $n \text{H}_2\text{O}$



MODIFIED FROM GRIM (1962)

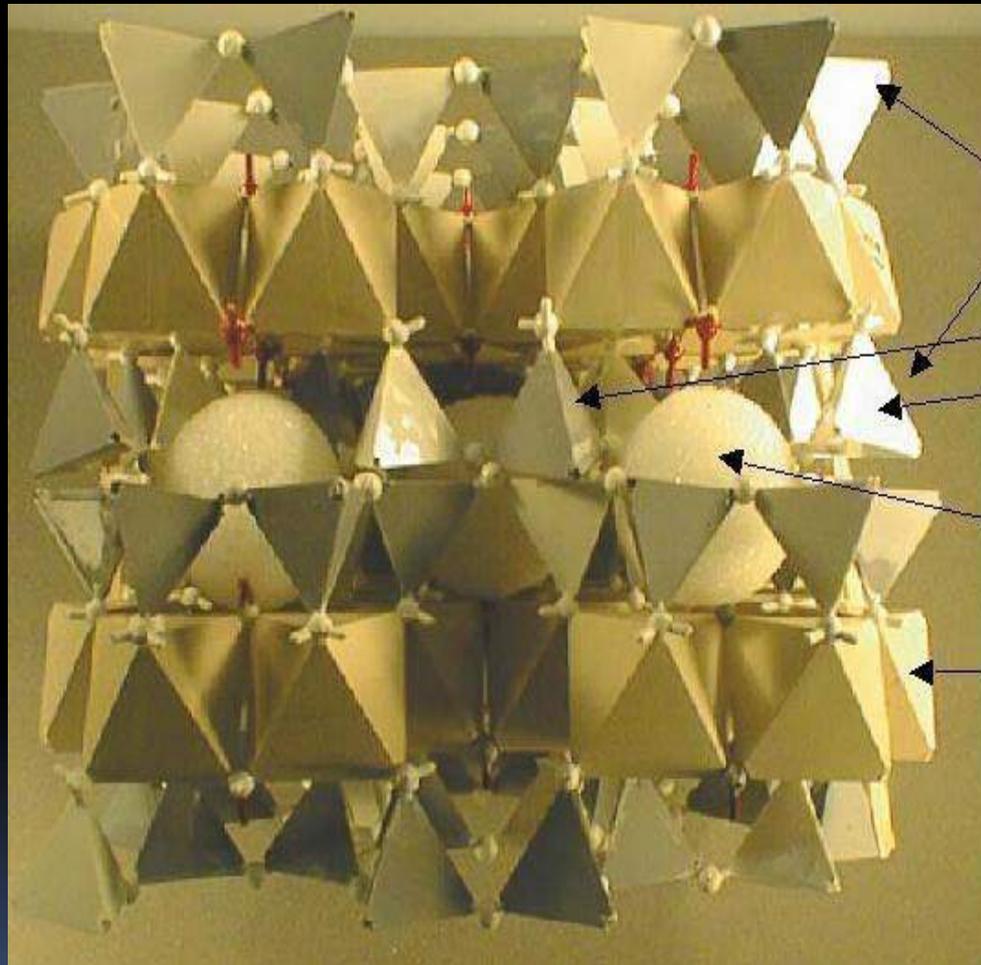


Vermiculite

Si⁴⁺ Tetrahedra

Al³⁺ Tetrahedra

Al³⁺ Octahedra



Illite

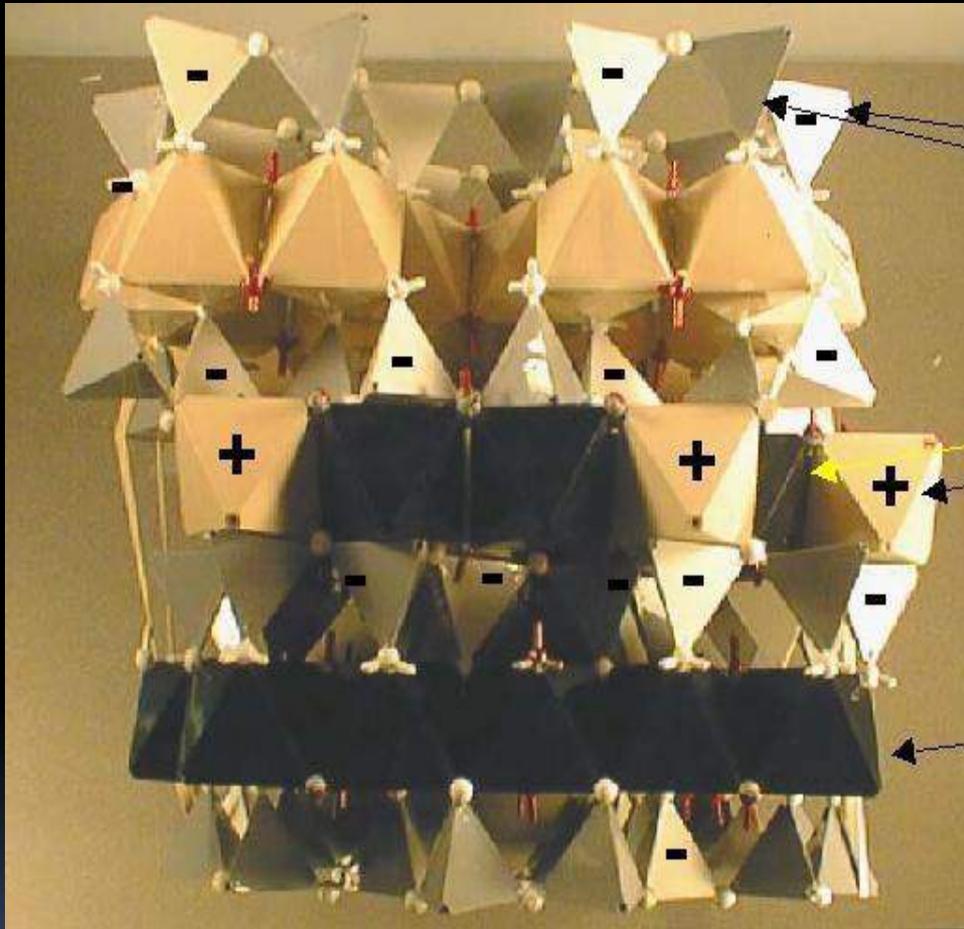
2:1 Layer

Si tetrahedra

Al tetrahedra

K⁺ Interlayer

Al Octahedra



Chlorite

Si⁴⁺ Tetrahedra
Al³⁺ Tetrahedra

Al³⁺ dioctahedral
sheet

Interlayer

Mg²⁺ Octahedra
Al³⁺ Octahedra

Mg²⁺ trioctahedral
sheet

Table 2.2. Specific Surface of Common Clay minerals in cm^2/g

Montmorillonite	$600 - 800 \times 10^4$
Vermiculite	$400 - 800 \times 10^4$
Illite (mica)	$60 - 200 \times 10^4$
Kaolinite	$10 - 50 \times 10^4$

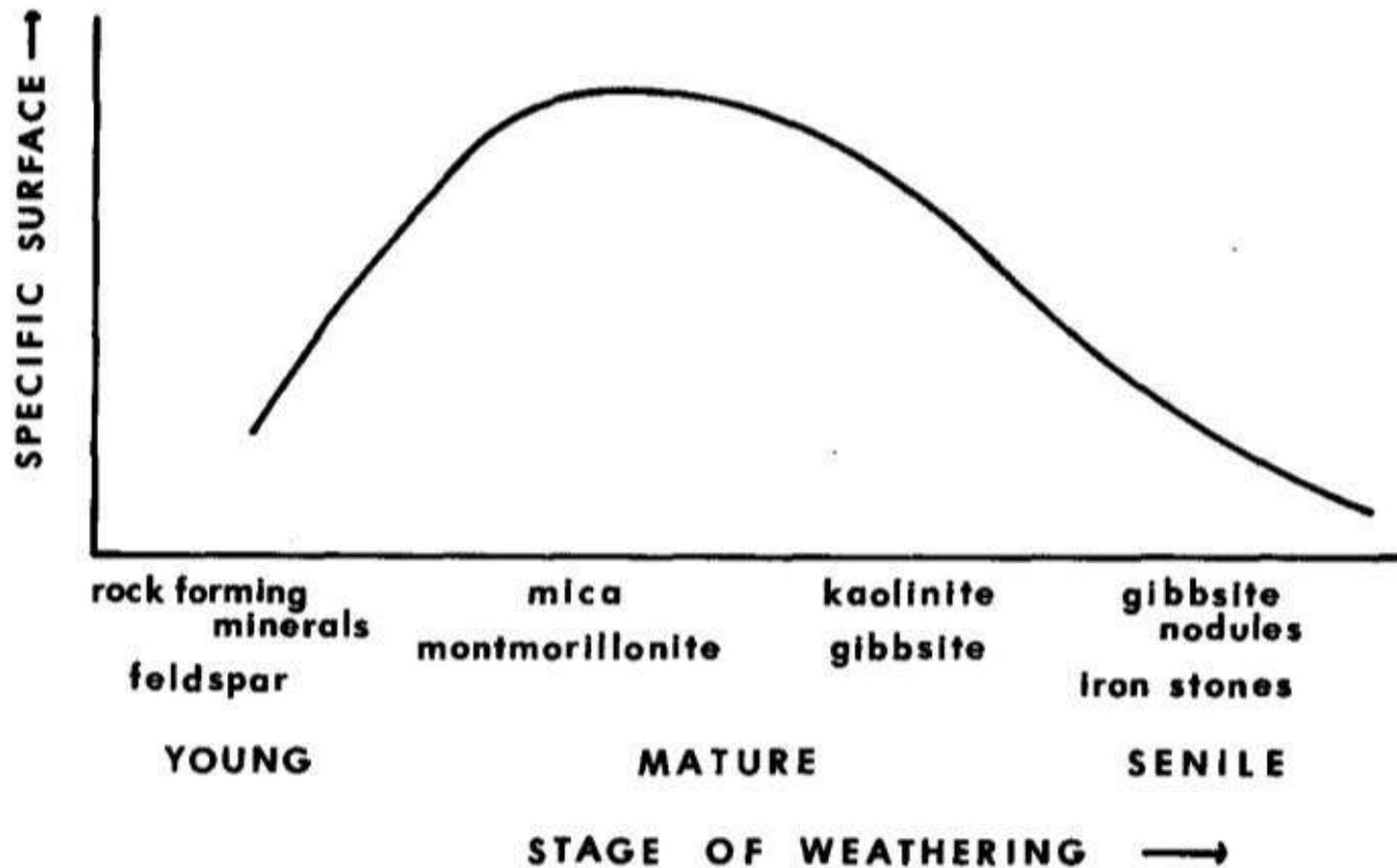


Figure 2.2. Relationship between specific surface of mineral and the stage of soil weathering.



KIMIA PERMUKAAN LIAT TANAH

- 1. Koloid tanah bahan paling aktif dalam tanah, mengapa?**
- 2. Kimia permukaan (surface chemistry) koloid tanah penting dipahami, karena disitulah tempat berlangsung berbagai reaksi fisik maupun kimia**
- 3. Sifat fisik tanah yang terkait dengan kemampuan memegang air, pembentukan agregat, dll terkait dengan kimia permukaan koloid**
- 4. Sifat kimia tanah yang terkait dengan KTK, KTA, dll terkait dengan kimia permukaan koloid**



KIMIA PERMUKAAN LIAT TANAH

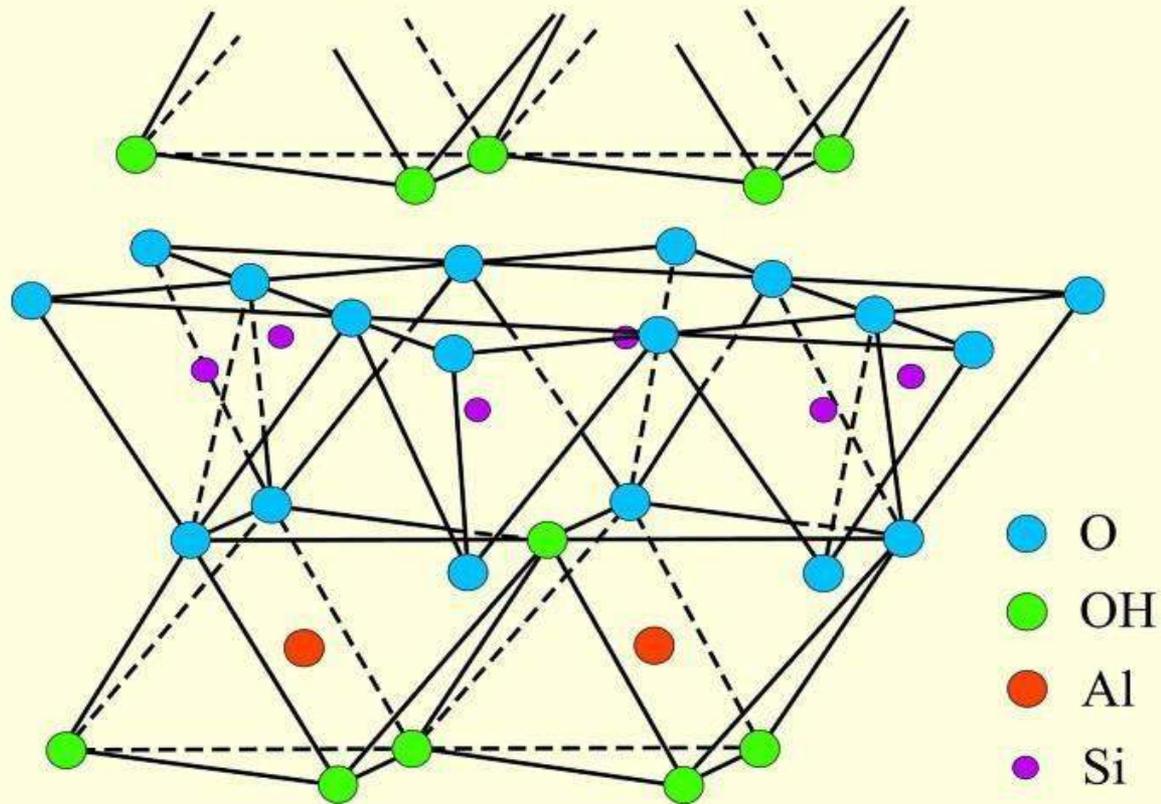
2. Permukaan liat:

- a. Permukaan yg tbtk oleh rangkaian **Si-O-Si** dr tetrahedron silika (ikatan siloksan / permukaan siloksana). Permukaan pada liat tipe 2:1, dg muatan tbtk mll substitusi isomorfik.
- b. Permukaan yg tbtk oleh rangkaian **O-Al-OH** dr oktahedron Alumina. Permukaan liat ini memiliki gugus OH terbuka, tdp pd Oksida-hidroksida Al, Fe, dll, liat kaolinit (1:1). Gugus Oh tsb mrp sbr muatan negatif.
- c. Permukaan yg tbtk oleh rangkaian **-Si-OH** atau **-Al-OH**



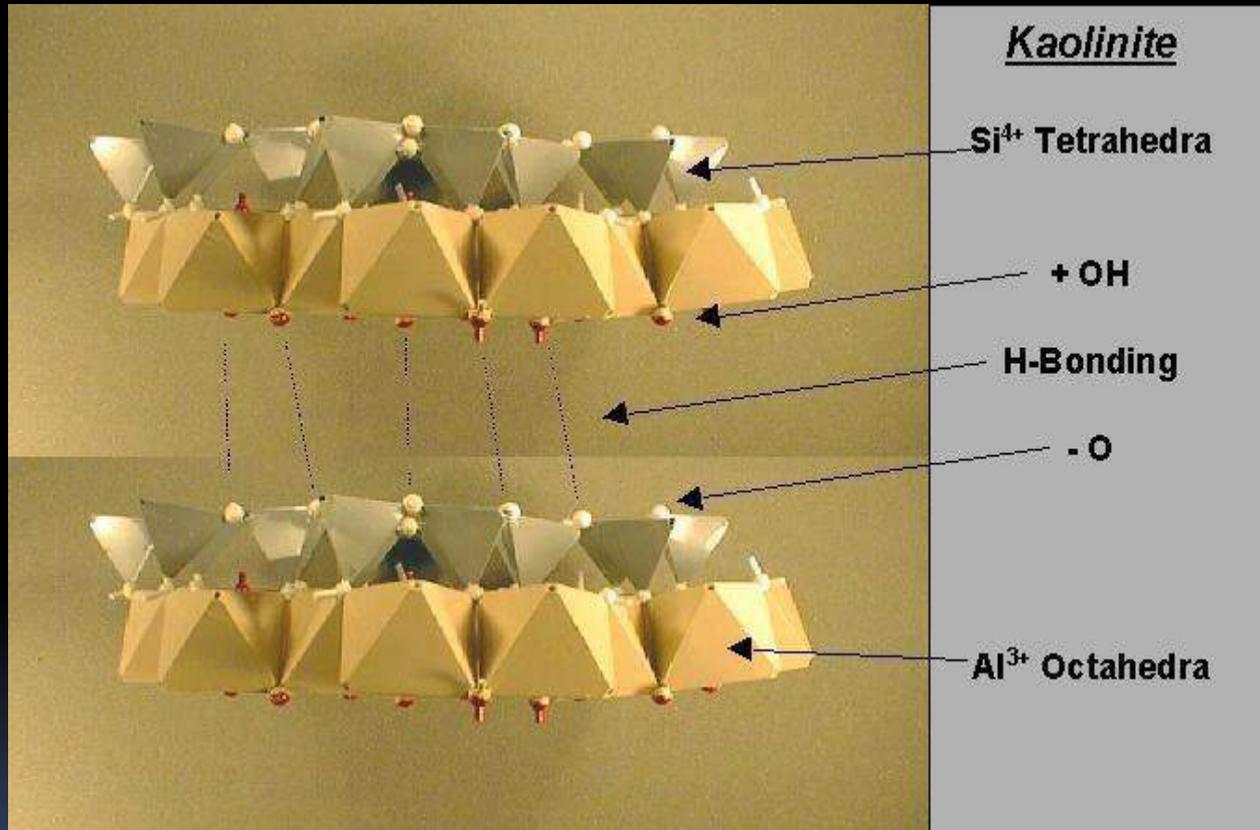
KIMIA PERMUKAAN LIAT TANAH

STRUCTURE OF A KAOLINITE LAYER

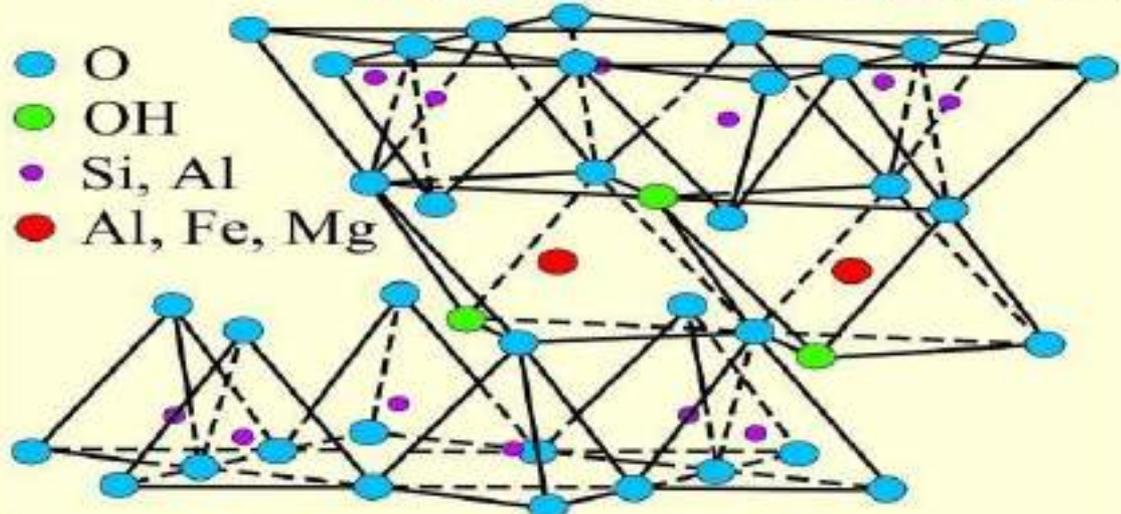


MODIFIED FROM GRIM (1962)

KARAKTERISTIK KOLOID LIAT

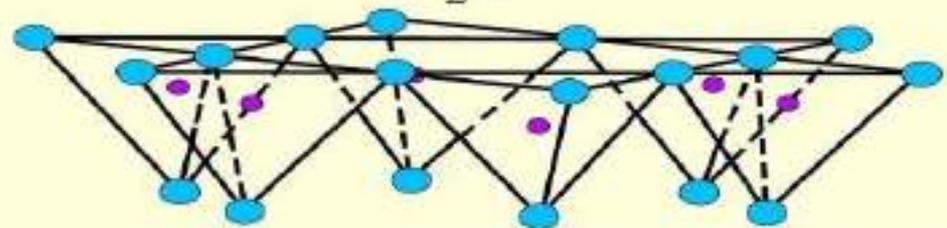


STRUCTURE OF MONTMORILLONITE



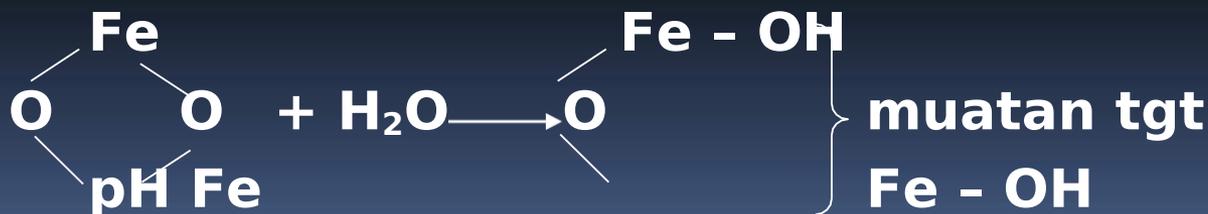
- O
- OH
- Si, Al
- Al, Fe, Mg

EXCHANGEABLE CATIONS
 $n \text{H}_2\text{O}$



MODIFIED FROM GRIM (1962)

- Permuk **-Si-OH** disebut Silanol, e.g. Gel silika
- Permuk **-Al-OH** disebut Aluminol, e.g. Alofan Kedua permukaan tsb mempunyai luas permukaan besar dan semua gugus OH mudah dicapai.
- Permuk **-Fe-OH** disebut Ferrol, e.g. Fe oksida
- Permukaan Al atau Fe oksida dapat mengikat Air (terhidrasi) shg tbtk permk Aluminol atau Ferrol, e.g.





4. Luas Permukaan

- **Penting utk interpretasi kuantitatif sifat² permukaan dlm hubungannya dg sifat tanah dan liat.**
- **Laju jerapan dan pertukaran kation proporsional dengan luas permukaan.**
- **Luas permukaan meningkat dg ukuran partikel yg semakin kecil.**
- **Luas permukaan diukur dg beberapa metode: perhitungan, analisis jerapan, dll.**
- **Pengukuran luas permukaan dg metode Perhitungan:**

a. Permukaan Total

Wadah kubus dg sisi L, terisi partikel dg diameter d, jumlah partikel N, dengan luas permukaan total semua partikel A, maka $N = (L/d)^3$. Karena luas permukaan 1 partikel = πd^2 maka

$$A = N \pi d^2 \text{ atau } A = (L/d)^3 \pi d^2 = \pi L^3/d$$

b. Luas Permukaan Spesifik

adalah luas permk per satuan volume atau satuan massa partikel.

- Jika luas permukaan partikel = πd^2 dan volumenya $v = 1/6 \pi d^3$
maka $S = \pi d^2 / 1/6 \pi d^3$ atau $S = 6/d$
- Jika kita anggap partikel liat adalah sphere (bola) dg $d = 0,002$ mm, maka luas permukaan spesifik $S = 6/0,002 = 3000$ mm²/mm³. Bgm dg liat koloidal misal 1 mikron, brp luas permukaan spesifiknya?

5. Asal muatan negatif

- a. Substitusi isomorfik (muatan permanen)
- b. Disosiasi gugus hidroksil tersembul (muatan variabel)

ad.a. Umum terjadi pd liat tipe 2:1. Bagian Si dr lembar tetrahedra

diganti oleh ion berukuran mirip biasanya Al^{3+}

juga Al dr lembar oktahedra diganti Mg^{2+} tanpa gangguan pada struktur kristal.

- **Substitusi Isomorfik tgt pd ukuran dan valensi ion yg terlibat. Perbedaan diameter tdk lebih dr 15%. valensi tdk beda lbh dr 1 unit.**

ad.b.

Gugus OH pd tepi kristal dpt memunculkan muatan negatif, khususnya pd pH tinggi



- **Muatan negatif yg tbtk tgt pH, shg disebut muatan tgt pH. Besarnya tgt pH dan tipe koloid.**
- **Muatan tgt pH penting utk liat 1:1, oksida Al, Fe, dll, dan koloid organik.**
- **Karena muatan tgt pH maka dikenal mineral dg **ZPC** apa itu ZPC?**

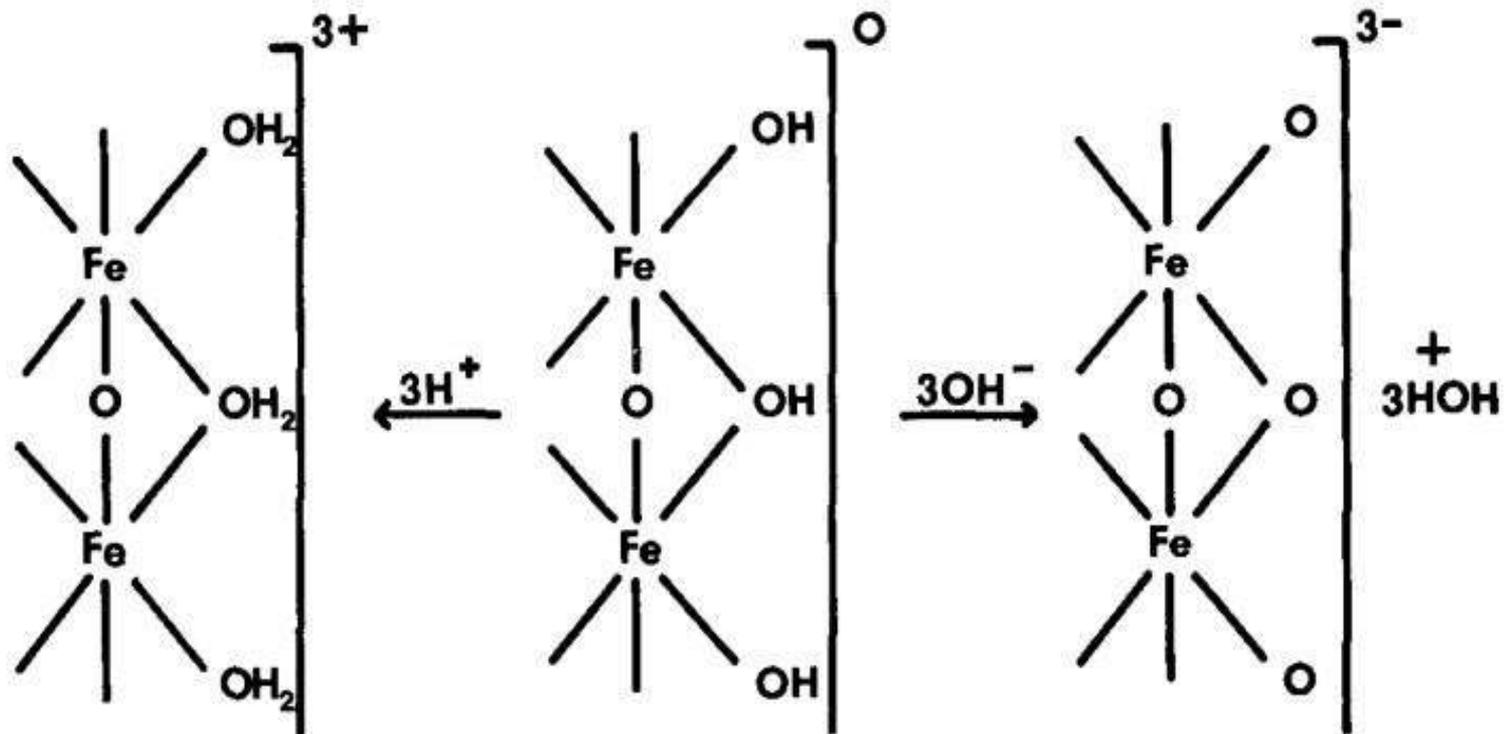


Figure 3.1. Charging of a hydroxylated surface by protonation and deprotonation.

Table 4.2 Ideal Formula and Unit Negative Charge of Common Clay Minerals

Mineral	Ideal formula	Charge per unit formula	Fixed interlayer component	Net negative charge (cmol kg ⁻¹)
1:1 Layer silicates				
Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0	None	2-5
Antigorite	$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0	None	
2:1 Layer silicates				
Pyrophyllite	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0	None	
Talc	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0	None	
Muscovite (Mica)	$\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})^{-1}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-1.0	K ⁺ 1.0	
Illite	$\text{Al}_2(\text{Si}_{3.2}\text{Al}_{0.8})^{-0.8}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.8	K ⁺ 0.7	15-40
Vermiculite	$(\text{Al}_{1.7}\text{Mg}_{0.3})^{-0.3}(\text{Si}_{3.6}\text{Al}_{0.4})^{-0.4}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.7	XH ₂ O	100-180
or	$(\text{Mg}_{2.7}\text{Fe}^{3+}_{0.3})^{+0.3}(\text{Si}_3\text{Al})^{-1.0}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.7	XH ₂ O	
Smectites				
Montmorillonite	$(\text{Al}_{1.7}\text{Mg}_{0.3})^{-0.3}(\text{Si}_{3.9}\text{Al}_{0.1})^{-0.1}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.4	None	80-120
Beidellite	$(\text{Al}_2)(\text{Si}_{3.6}\text{Al}_{0.4})^{-0.4}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.4	None	80-120
Nontronite	$(\text{Fe}^{3+}_2)(\text{Si}_{3.6}\text{Al}_{0.4})^{-0.4}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	-0.4	None	80-120
2:1:1 Layer silicates				
Chlorite	$(\text{Mg}_{2.6}\text{Fe}^{3+}_{0.4})^{+0.4}(\text{Si}_{2.5}\text{Al}/\text{Fe}_{1.5})^{-1.5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2^a$		$\text{Mg}_2\text{Al}(\text{OH})_6^+$ 1	15-40

6. Muatan Positif dan Muatan Titik Nol (ZPC)

- **ZPC adalah pH dimana muatan koloid sama dg nol**
- **Koloid liat dapat bermuatan positif, negatif dan nol.**
- **Jika pH tanah $>$ ZPC maka koloid bermuatan negatif**
- **Jika pH tanah $<$ ZPC maka koloid bermuatan positif.**

7. Penggunaan ΔpH untuk penetapan muatan

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$$

- Jika ΔpH positif muatan koloid negatif
- Jika ΔpH negatif muatan koloid positif
- Jika ΔpH nol muatan koloid nol.

8. Potensial Permukaan

Adanya muatan yg berlawanan pd permk koloid dan dlm fase cair, maka muncul potensial listrik yg disebut Potensial permukaan.

9. Lapisan Rangkap Listrik (Electric Double Layer)

adalah muatan negatif pd permukaan liat beserta kumpulan ion lawan yg bermuatan positif.

- **EDL, krn menyebar spt atmosfer, mk disebut Diffuse double layer (DDL).**
- **Ada bbrp teori ttg EDL, al: teori Helmholtz, Gouy-Chapman, dan Stern (lihat kimia tanah).**

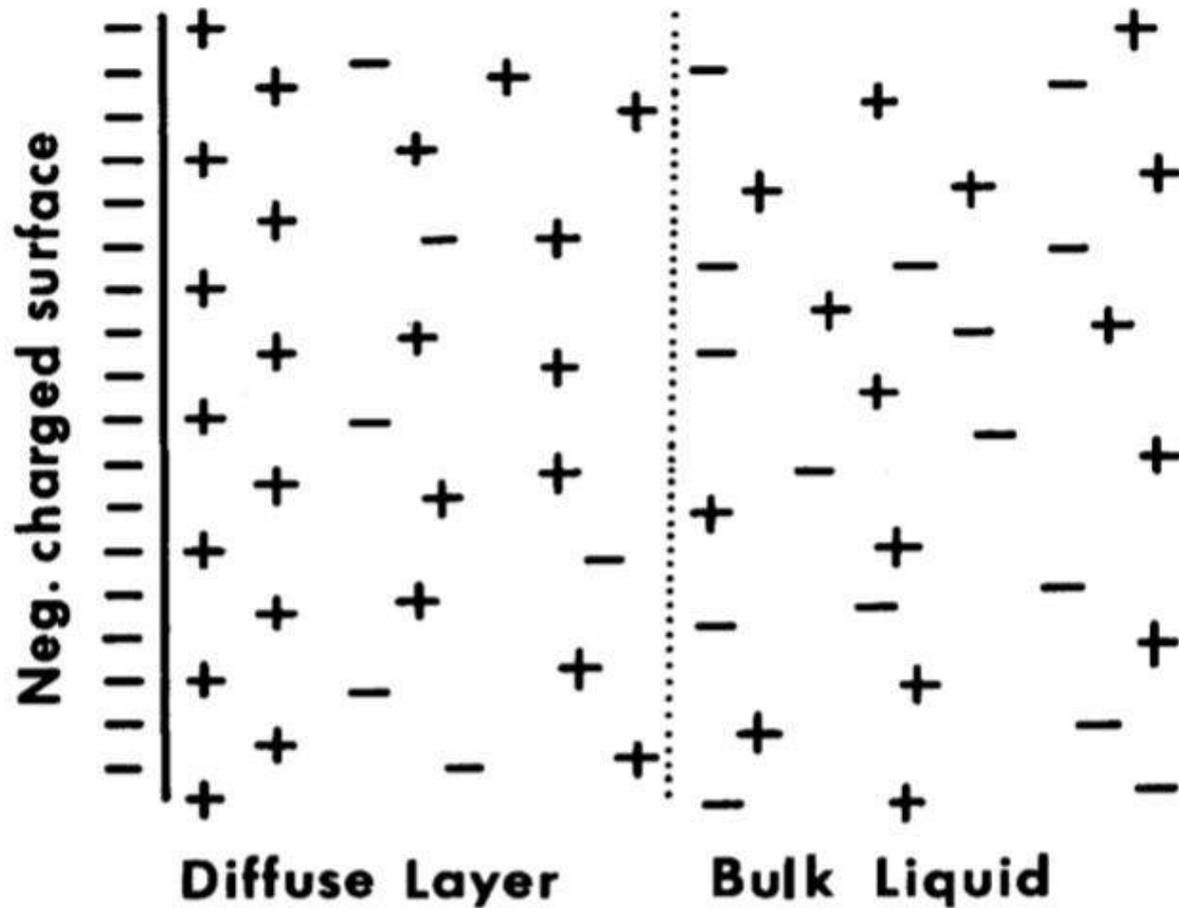


Figure 3.2. Distribution of electric charges in Double Layer according to Gouy-Chapman theory.

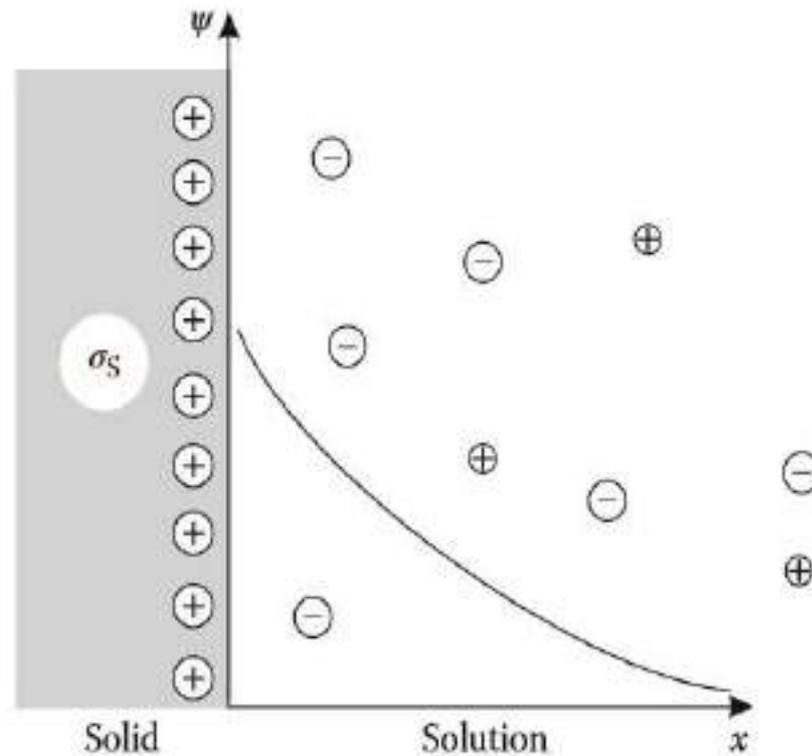


FIGURE 3.3 Schematic drawing of the Gouy–Chapman model of the interface. A plane surface bearing a surface charge σ_s (which in turn determines a surface potential ψ_0) is in contact with an electrolyte solution, where a diffuse layer is present.

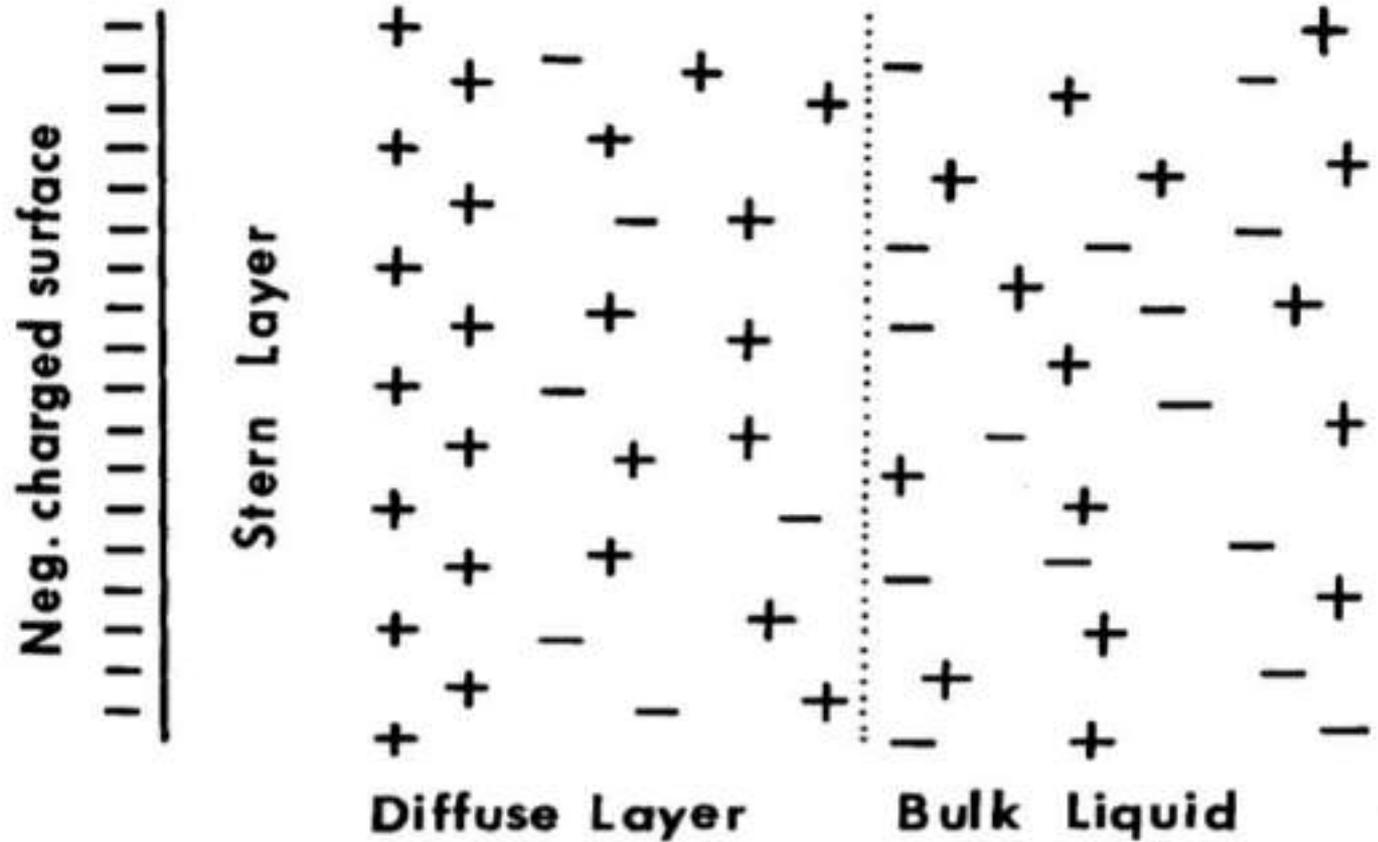


Figure 3.4. Distribution of electric charges in Double Layer according to Stern theory.

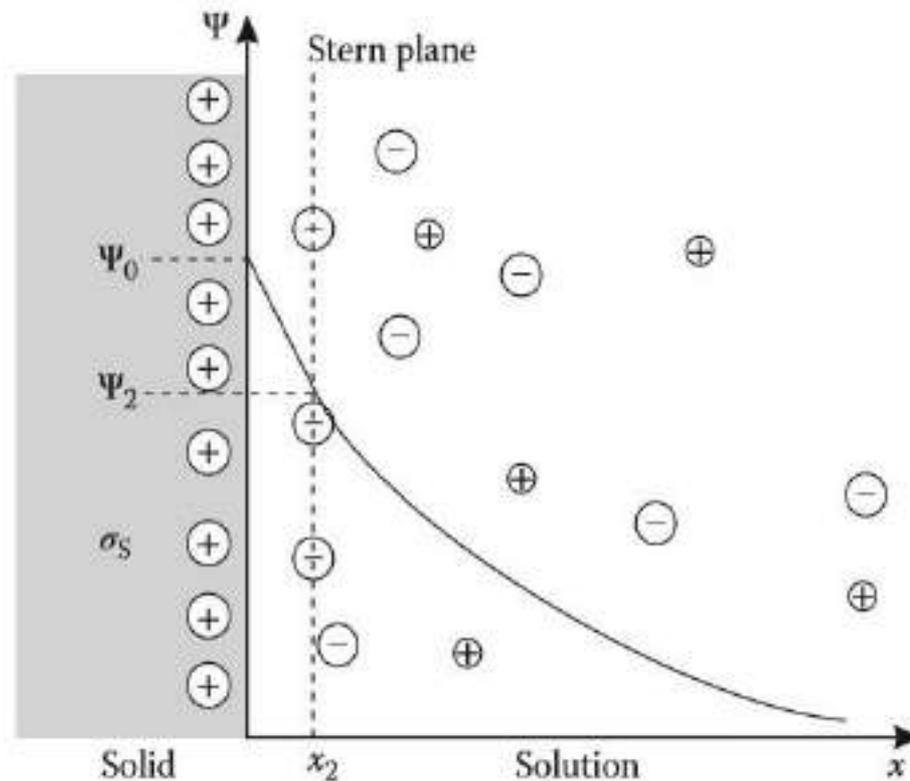


FIGURE 3.11 Schematic representation of the Gouy–Chapman–Stern theory. Compare with Figure 3.3: an additional plane, the Stern plane, is defined as the distance of closest ionic approach to the surface. The region between the Stern plane and the surface behaves as a dielectric.

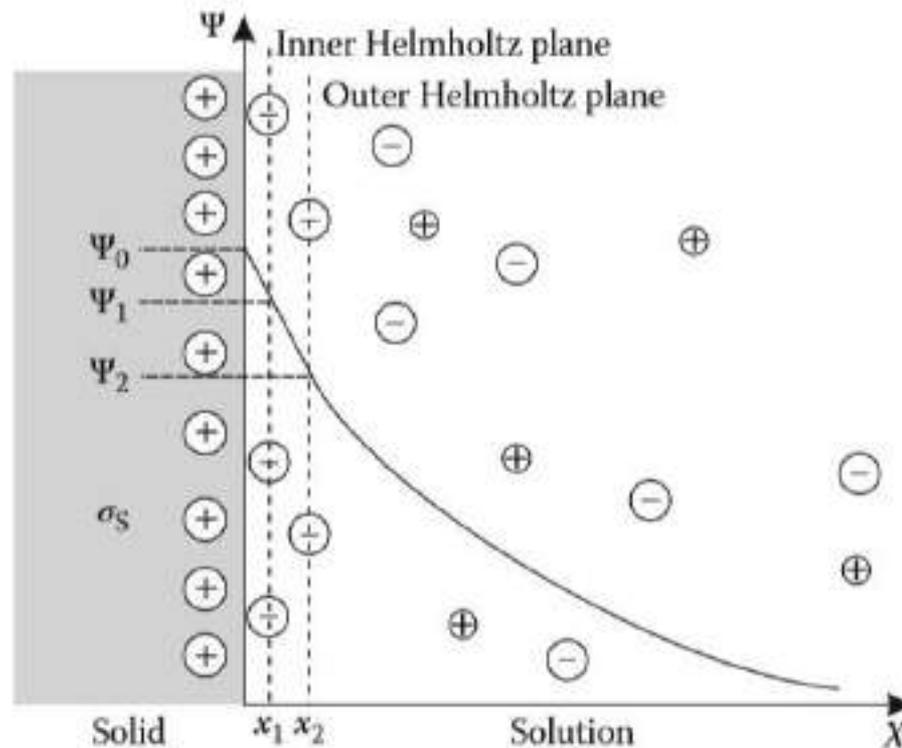


FIGURE 3.13 Schematic representation of the Gouy–Chapman–Stern–Grahame theory. Compare with Figure 3.11: Two planes of closest approach are defined, the outer Helmholtz plane, where ions that retain their hydration layer are adsorbed (nonspecific adsorption) and the inner Helmholtz plane, is defined as the distance where ions losing the hydration layer (specifically adsorbed) to the surface.

9. Lapisan Rangkap Listrik (Electric Double Layer)

Dua faktor utama yg mempengaruhi ketebalan EDL:

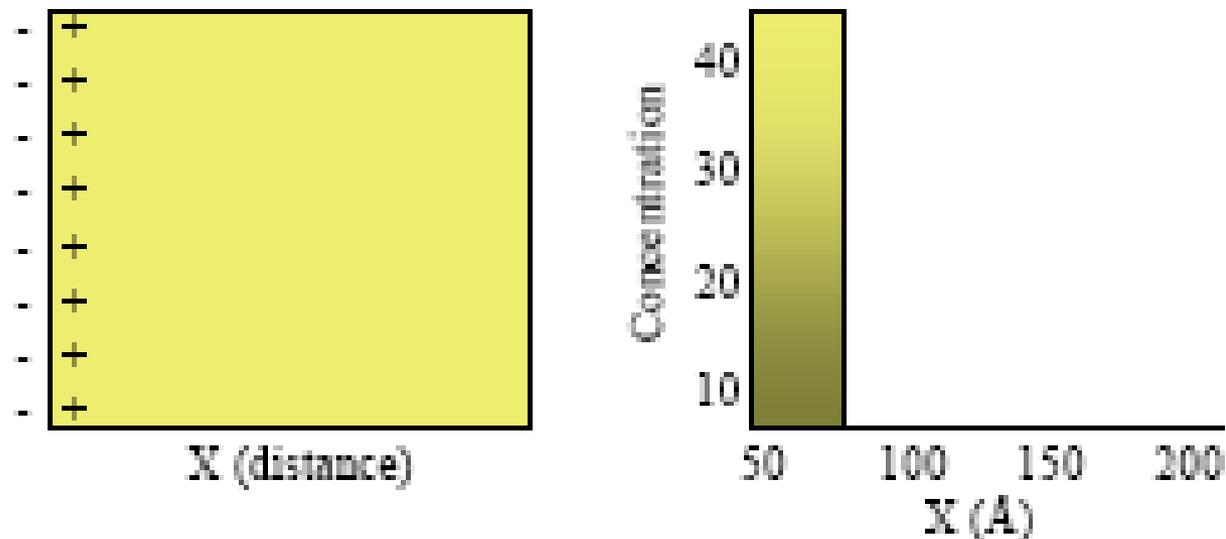
- a. Konsentrasi elektrolit**
- b. Valensi kation**

- **Semakin tinggi konsentrasi elektrolit maka EDL makin tipis.**
- **Semakin tinggi valensi kation, EDL makin tipis.**
- **Ketebalan EDL berpengaruh terhadap flokulasi atau dispersi liat. Apa itu?**

Electric Double Layer

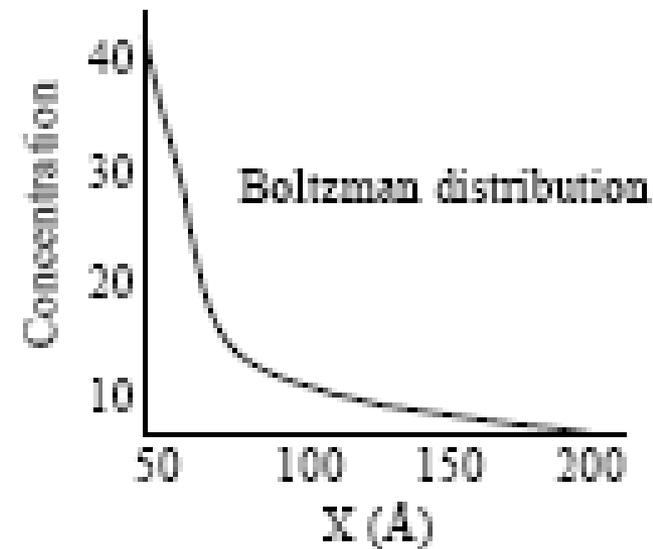
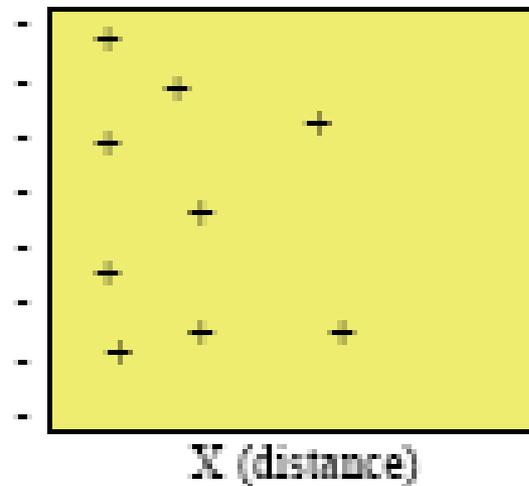
- Electrical double-layer model used to describe counter ion distribution at charge surfaces
 - Double layer - charged surface and associated counter and coions
 - Electric - modifying term due to electroneutrality requirement
 - Diffuse double layer - mobile solution charges attaining equilibrium between thermal and electrostatic forces

Counter Ion Distribution in the DDL (neg charged surface)



The charged surface attracts counterions like a plate condenser.
Thus there are adsorption tendencies that strive towards minimum energy

Counter Ion Distribution in the DDL (neg charged surface)

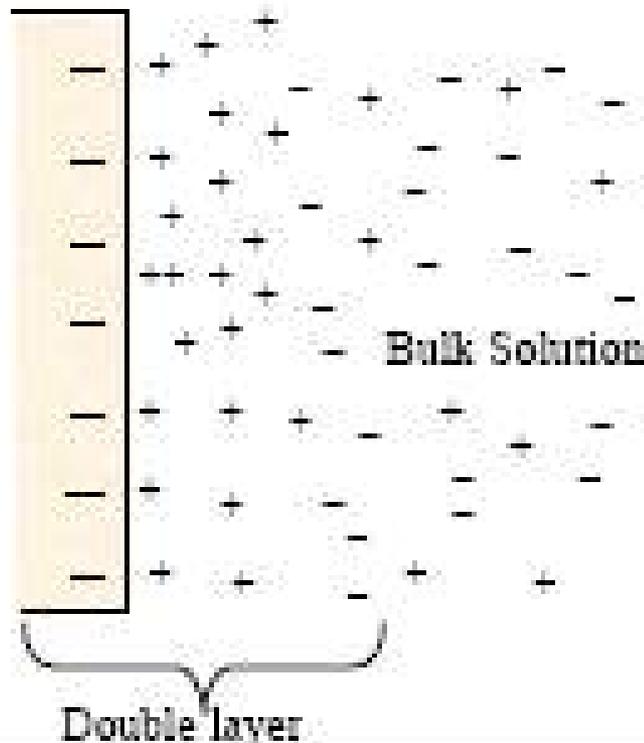


Thus in reality the entire system attains minimum free energy

Diffuse Electrical double layer

Particle surface

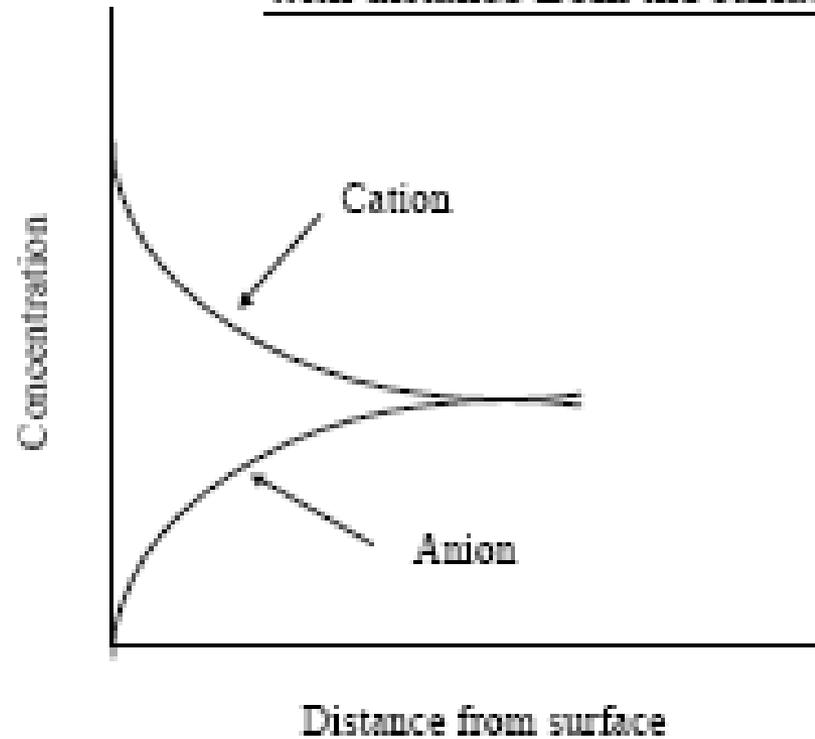
Solution



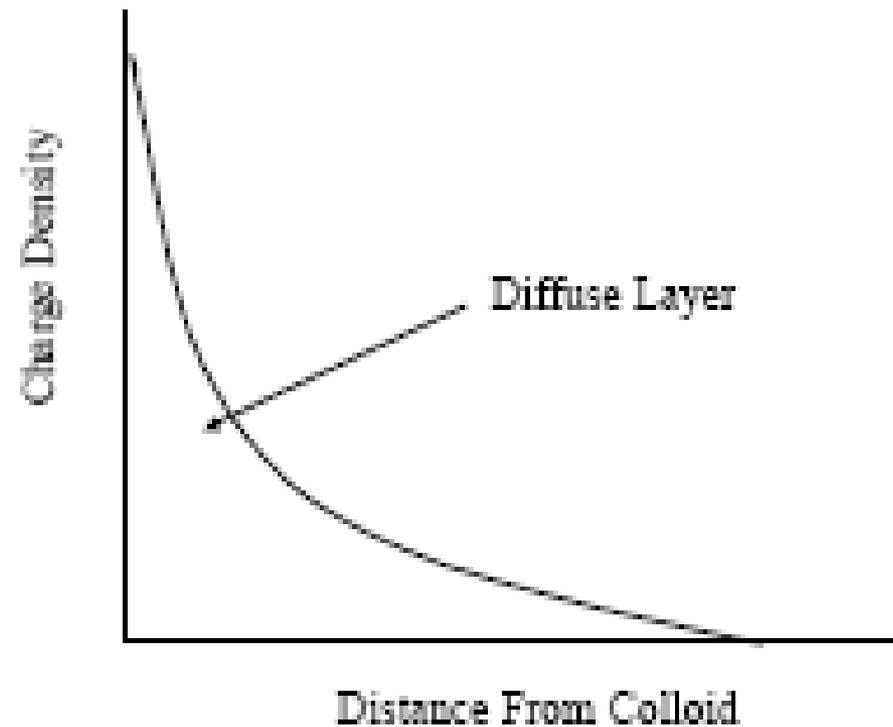
Negative charge of colloid neutralized by a swarm of positive charges in solution.

DDL thickness - distance over which soln conc. affected by colloid charge

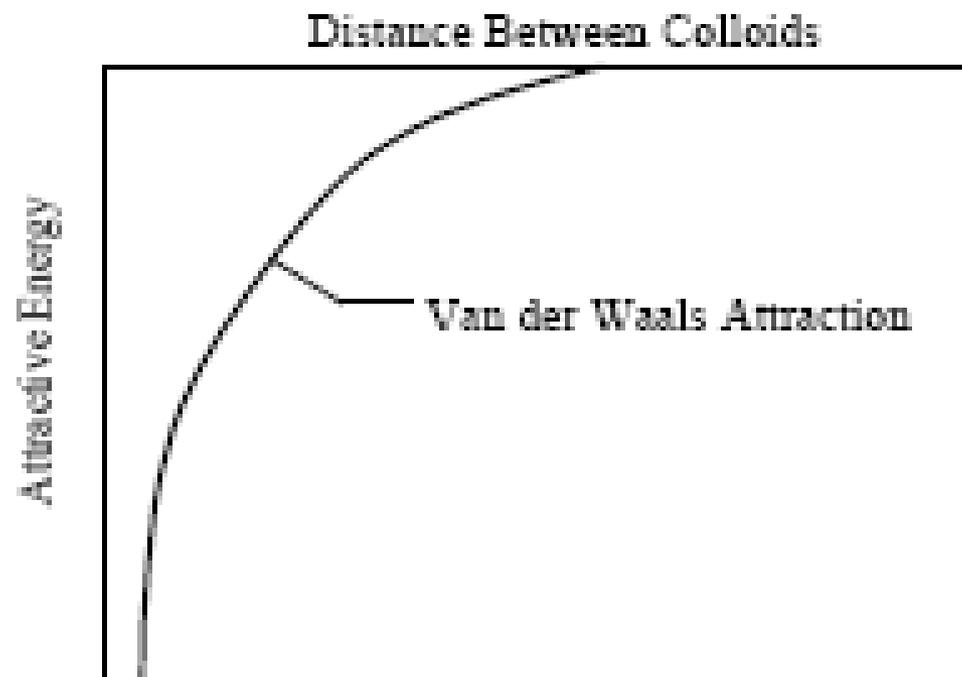
Variation of cation and anion concentration
with distance from the surface



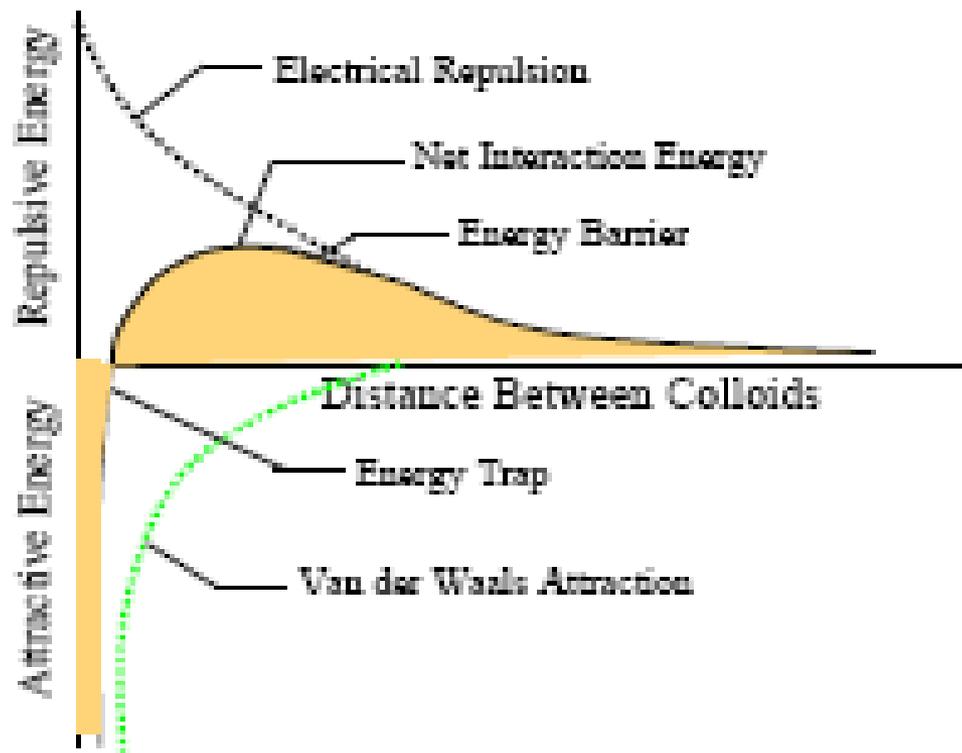
Net Effect - Charge Density (Diff in positive and negative charge density)



Van der Waals Attraction



Interaction



Double layer Thickness

Bulk Soln Conc (moles(c)/l)	Thickness (nm)	
	monovalent cations	divalent cations
10^{-5}	10	5
10^{-3}	1	0.5
10^{-1}	0.1	0.05

10. EDL dan Stabilitas Liat

Liat dg EDLnya, jika saling mendekat pd jarak ttt akan ditolak namun jika jaraknya semakin dekat akan terjadi gaya van der waals dan liat tertarik. Jika saling tolak liat akan terdispersi, sedang jika saring terikat disebut terflokulasi.

- **Jarak kritis 20 \AA , jika $< 20 \text{ \AA}$ maka gaya van der waals dominan shg liat terflokulasi. Jika jarak $> 20 \text{ \AA}$ gaya tolak dominan, mk liat terdispersi atau suspensi liat stabil.**

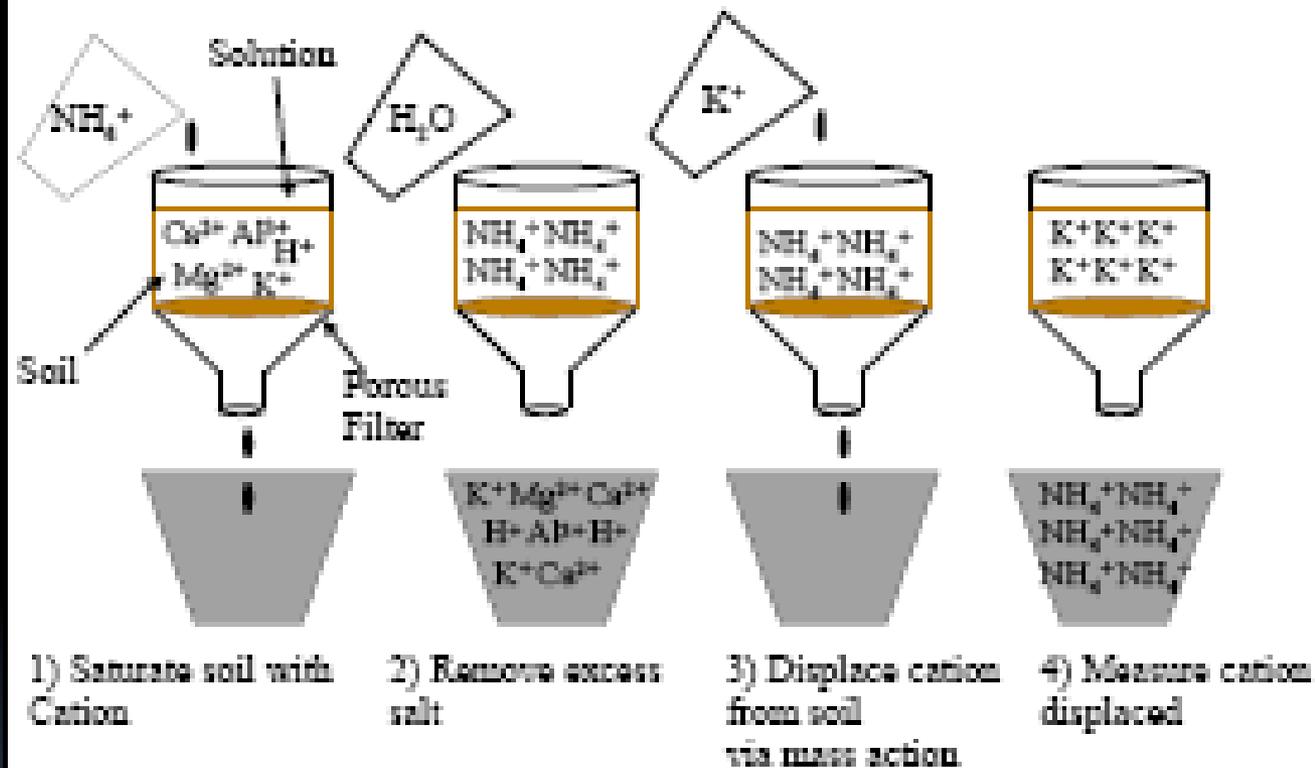
11. Hubungan EDL dg stabilitas liat dan Pembentukan agregat

- **Pada EDL yang tipis, maka liat terflokulasi. Liat terflokulasi merupakan salah satu syarat terbentuknya agregat. Syarat lain harus terjadi sementasi.**
- **Jadi bagaimana hubungan valensi dan konsentrasi elektrolit terhadap pembentukan agregat?**

Cation Exchange Capacity

- CEC - quantity of cations reversibly adsorbed expressed as moles of positive charge per unit weight of solid
 - meq/100g
 - $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$
- Importance
 - somewhat resistant to leaching
 - available to plants

CEC DETERMINATION (Double Wash Method)



Cation Exchange Capacity

- Origin of CEC
 - both organic/inorganic, clay fraction dominates
- Permanent Charge (Isomorphic subst)
 - Al^{3+} subst for Si^{4+} in tetrahedral layer
 - Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} for Al^{3+} in octahedral layer
- pH dependent charge

Permanent Charge

- Kaolinite ($\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$)
- Based on this formula would you expect CEC?
- Debate in soil chemistry concerning CEC
 - Impurities or actual?
 - 1.5 - 15 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$
 - 1 in 400 Si substituted by Al CEC 3 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$

Permanent Charge

- Montmorillonite
- $X_{0.8}(\text{Al}_{0.3}\text{Si}_{7.7})(\text{Al}_{2.6}\text{Fe}_{0.9}^{3+}\text{Mg}_{0.5})\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- CEC range 80 - 150 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$
- Most IS is in octahedral layer
 - swelling clays

Permanent Charge

- Vermiculite
- $X_{1.1}(Al_{2.3}Si_{5.7})(Al_{0.5}Fe_{0.7}^{3+}Mg_{4.8})O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$
- Much of neg charge may be satisfied by K^+
- CEC 10 -200 $cmol_{(+) } kg^{-1}$
- Charge mainly from IS in tetra
 - majority of soil verm diocta

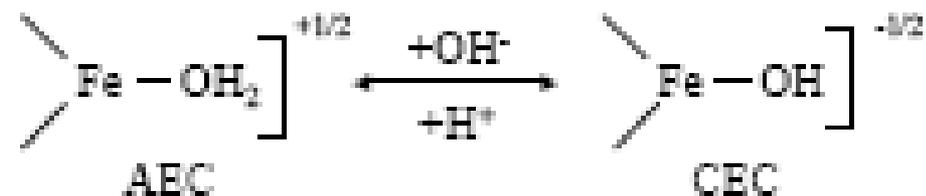
Permanent Charge

- Chlorite (2:1:1)
- $\text{Al}_1\text{Mg}_5(\text{OH})_{12}(\text{Al}_2\text{Si}_6)(\text{Al}_1\text{Mg}_5)\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}_1\text{Mg}_5(\text{OH})_{12}^+$ positively charged interlayer hydroxide sheet
- CEC
 - 10 - 40 $\text{cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$

pH Dependent Charge

- Point of Zero Charge (PZC)

- amphoteric nature of surfaces



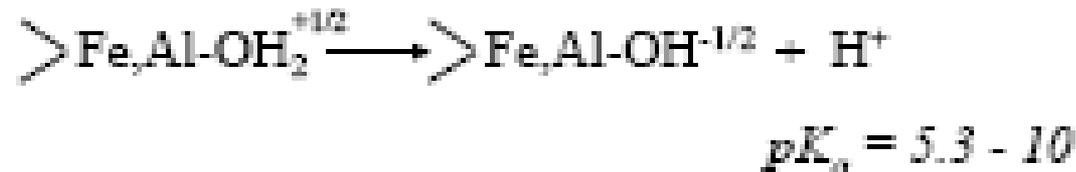
- PZC where surface neg charge (CEC) equals surface pos charge (AEC)
- maximum flocculation of particles

pH Dependent Charge

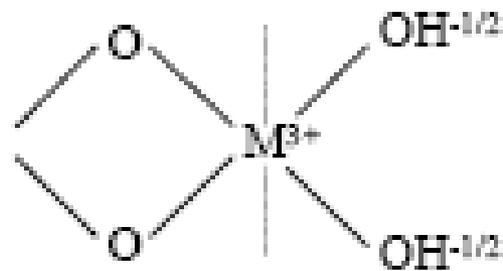
- Origin in soils
 - Layer silicates
 - Layer silicate/sesquioxide complexes
 - Crystalline inorganic soil components
 - Non-crystalline/semicrystalline inorganic comp
 - Organic matter

pH Dependent Charge

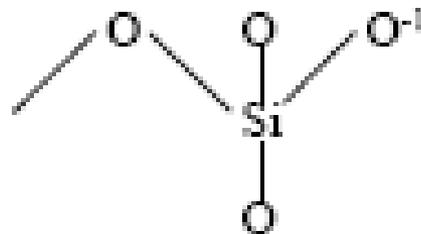
- Edge Charge - Layer Silicates
 - Edges where neither Al/Si are fully coordinated with oxygen



pH Dependent Charge



*Edge pH dependent
terminal OH*



*Edge pH dependent
terminal O*

pH Dependent Charge

- Goethite - $pK_1 = 6.5$, $pK_2 = 9$ (PZC ≈ 9.0)
- Gibbsite - $pK_1 = 5.0 - 7.5$, $pK_2 = 8-10$, (PZC ≈ 8.0)
 - minerals contribute little to CEC of most soils

pH Dependent Charge

- Mn oxides
 - 2 common oxides are lithiophorite and birnessite
 - ZPCs range from 2 to 5
 - develop significant CEC in many soils
 - most soils only contain a few ppm

pH Dependent Charge

- Organic matter

- Carboxyl group



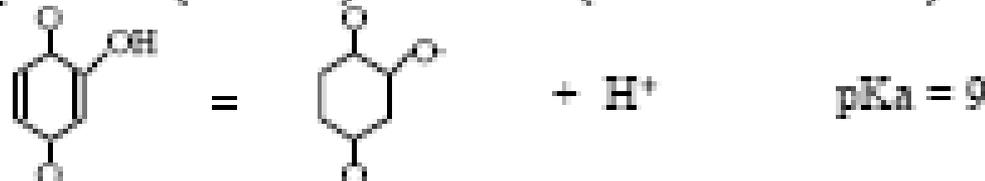
- Phenolic Group



- Linear/aromatic alcoholic groups



- Quinone (Ar-OH) and enol (R-CH=CH-OH)

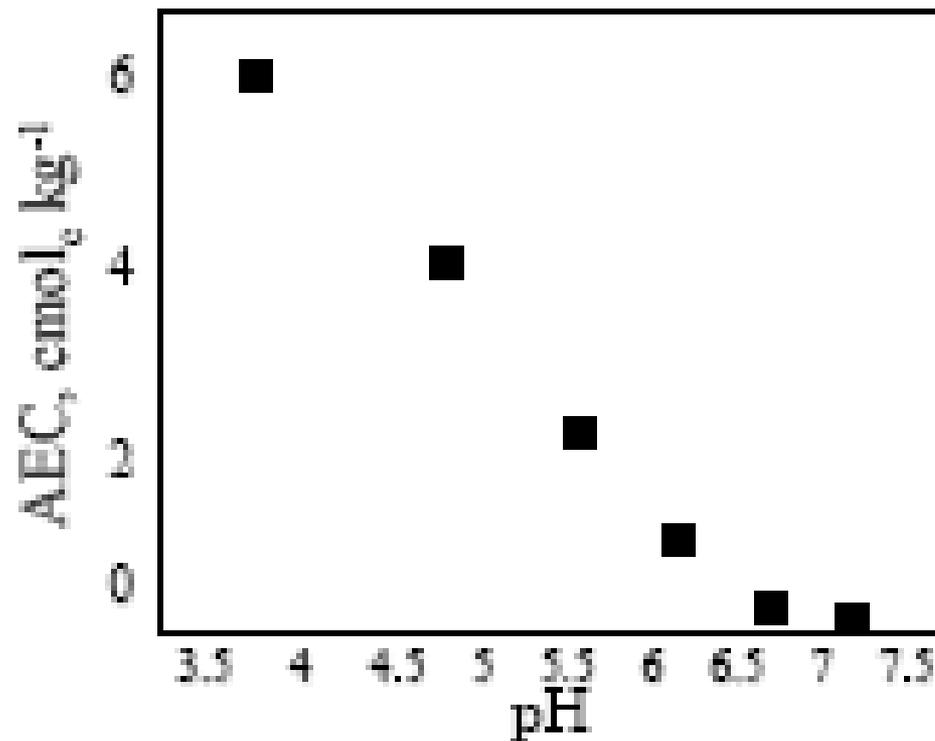


Anion Exchange Capacity

- Similar to CEC
 - Reversible
 - Stoichiometric
 - diffusion controlled
- Anions involved
 - Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{B}(\text{OH})_4^-$
- 1 to 5% of CEC

Anion Exchange Capacity

Kaolinite



Anion Exchange Capacity

- Soil components

- Kaolinite



$$pK_1 = ? (4-5)$$

$$ZPC = 4$$

- Oxides of Fe/Al

$$pK_1 (Fe) = 6.5 \quad pK_1 (Al) = 5-7.5$$

$$Fe \text{ ZPC} = 8-9 \quad Al \text{ ZPC} = 8-9$$

Anion Exchange Capacity

- Organic matter
 - contributes little to AEC
 - Protonation of NH_2 and OH^- groups $\text{pH} < 4$

P ADSORPTION

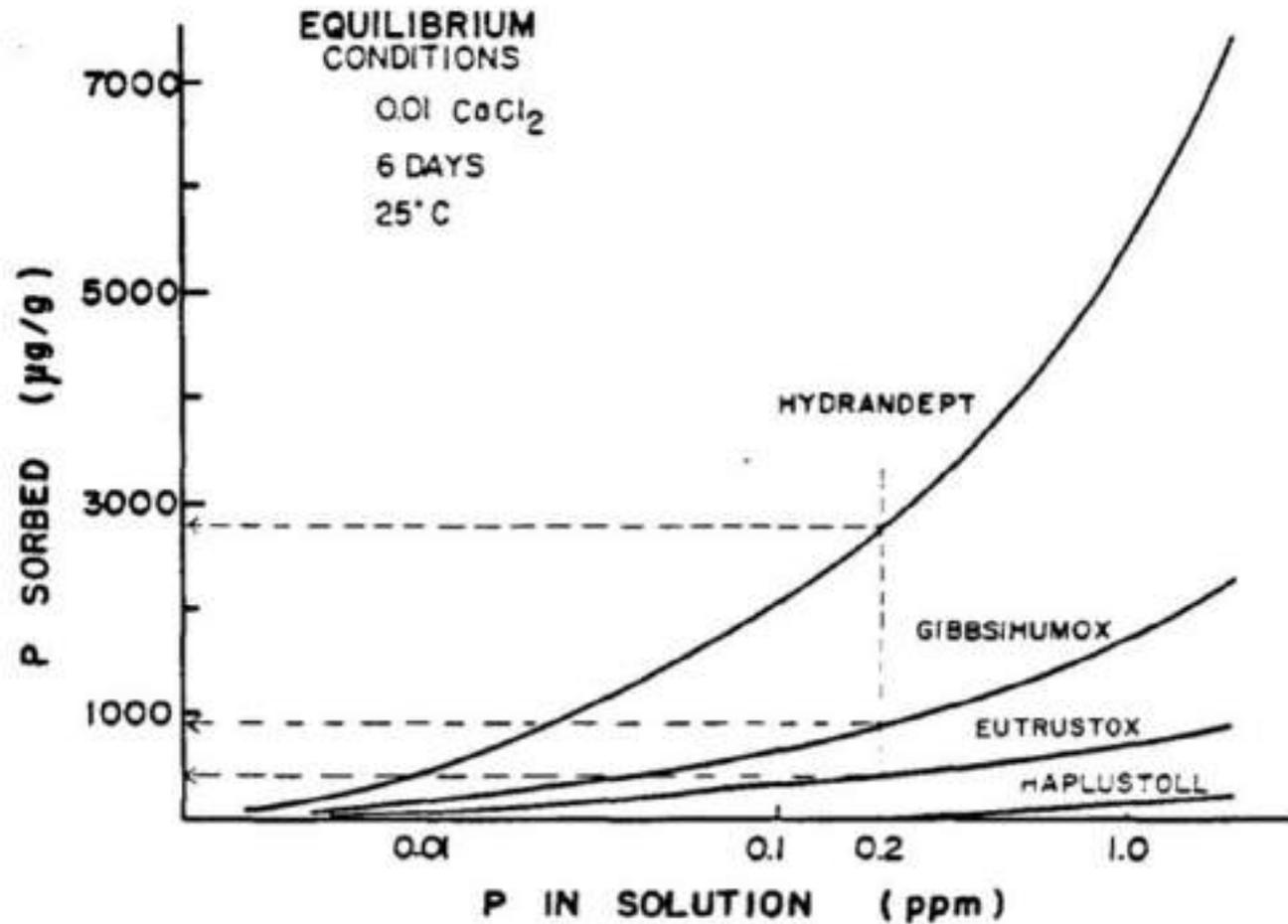


Figure 3.18. Phosphorus sorption curves for four clayey soils with different clay mineralogies (Fox, 1978).

EFFECT OM ON P ADSORPTION

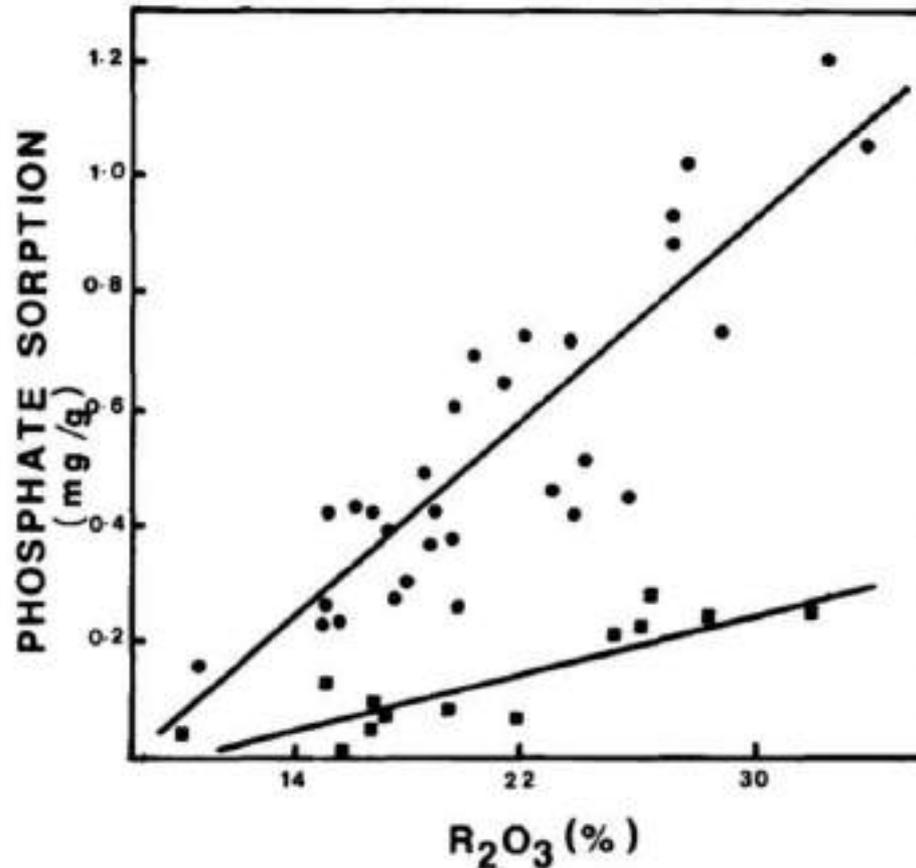


Figure 3.20. Effect of organic matter content in reducing phosphorus sorption on high sesquioxide (R_2O_3) soils. The lower and upper curves represent surface and subsurface horizons (Gillman, 1970).

EFFECT pH ON P ADSORPTION

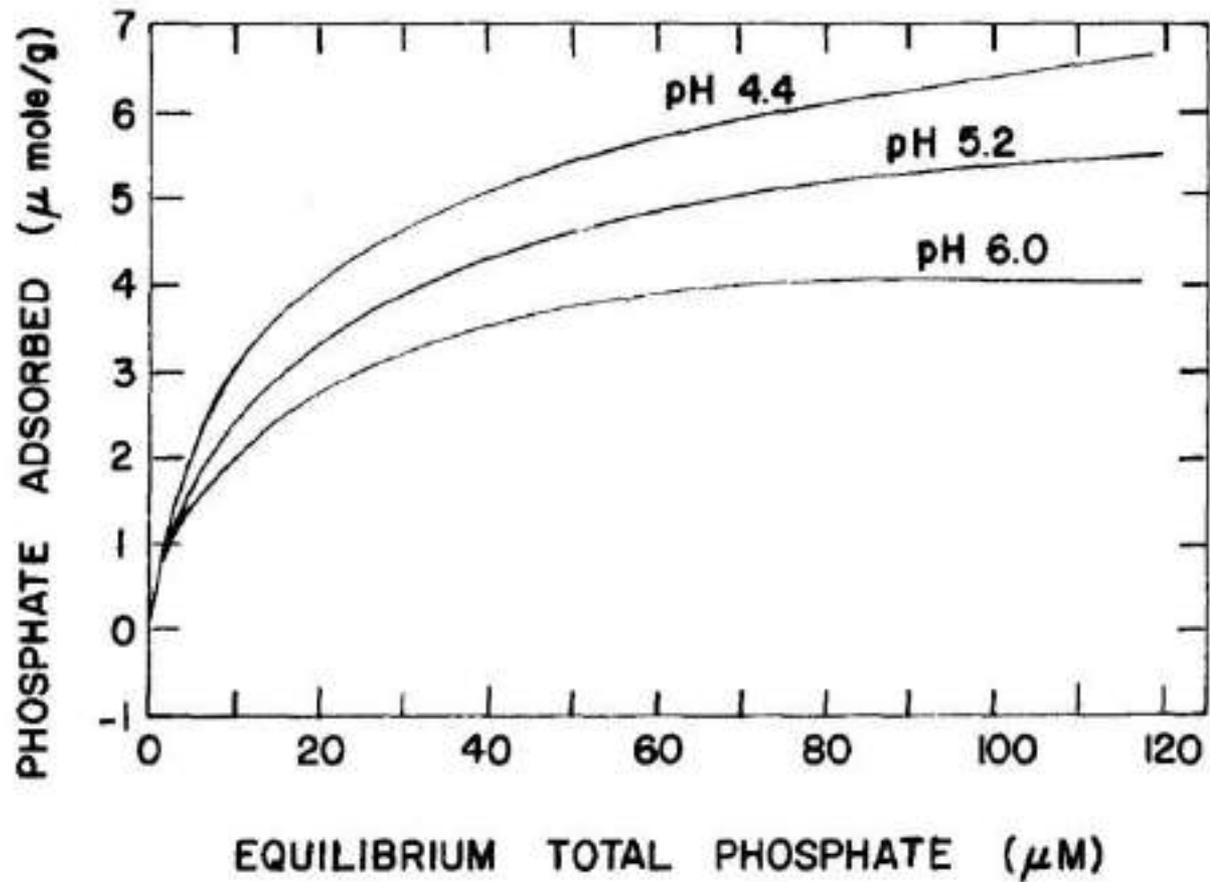


Figure 3.21. Phosphate sorption on kaolinite as a function of pH (Chen et al. 1973).

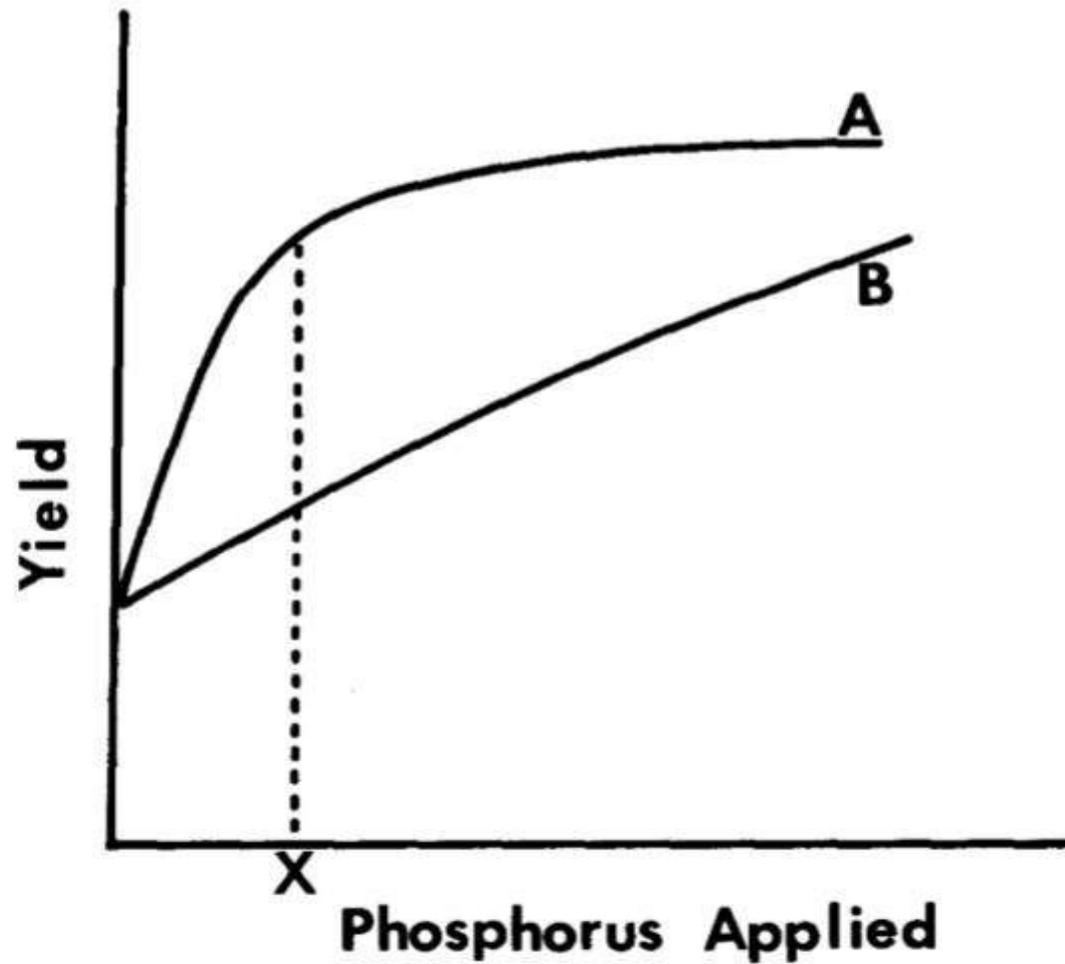


Figure 3.17. Relationship between crop yield and phosphorus applied for a low P-fixing soil (A) and a high P-fixing soil (B).

Effect Anion P&Si on Ca

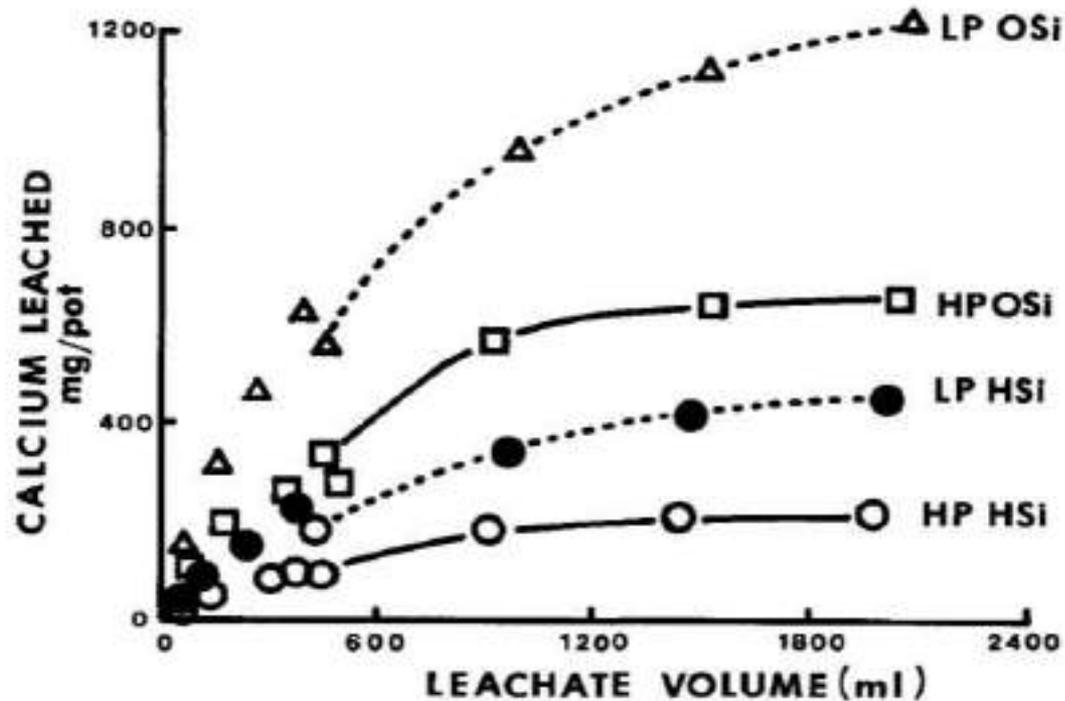


Figure 4.5. Cumulative Ca leached from a Gibbsumox as a function of Leachate volume and P and Si application rate. (LP = 100 ppm P, HP = 750 ppm P, OSi = zero Si, HSi = 968 ppm Si). (Syed-Fadzil, 1972)



Effect Anion P & Si on Mg Leached

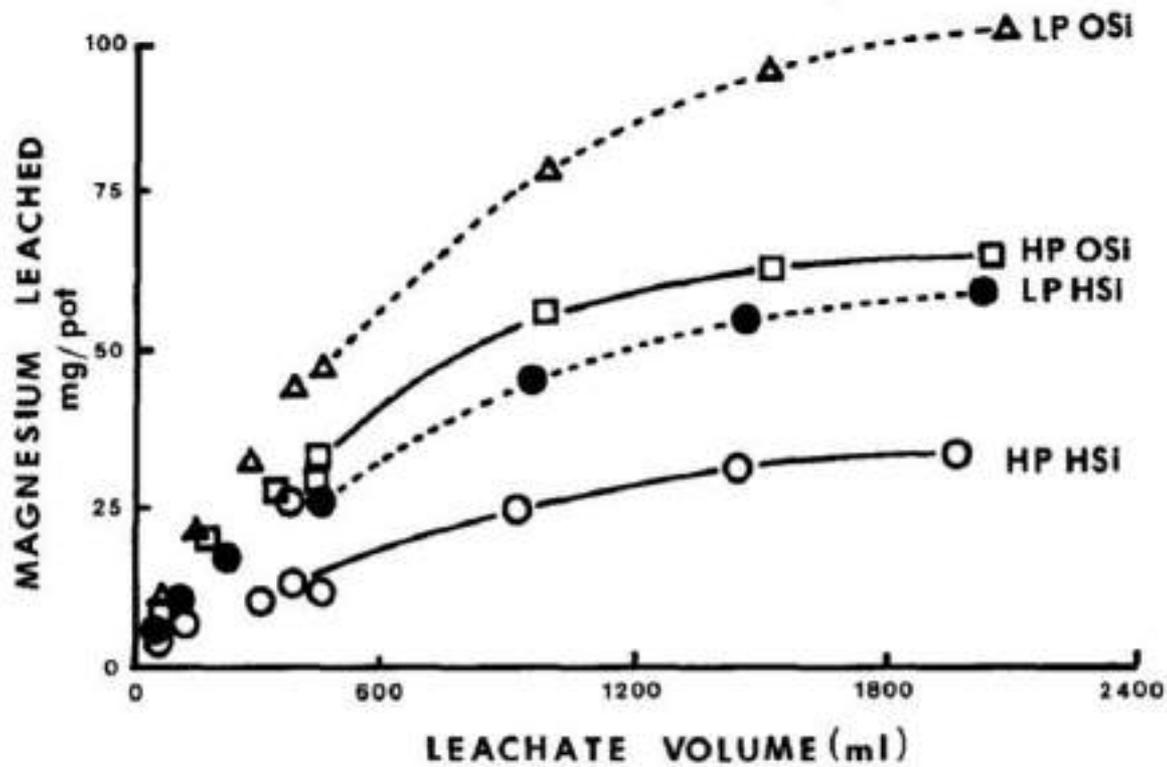


Figure 4.6. Cumulative Mg leached from a Gibbsiumox as a function of leachate volume and P and Si application rate. (LP = 100 ppm P, HP = 750 ppm P, OSi = zero Si, HSi = 968 ppm Si). (Syed-Fadzil, 1972)

Effect Anion P & Si on K Leached

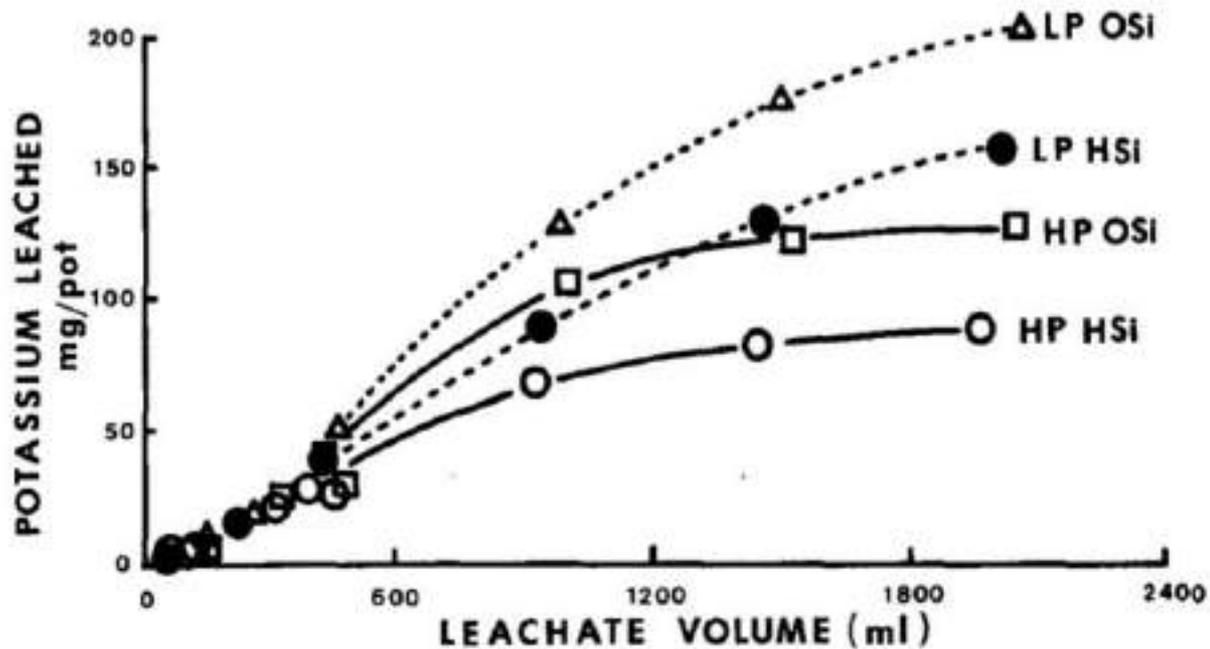


Figure 4.7. Cumulative K leached from a Gibbsihumox as a function of leachate volume and P and Si application rate. (LP = 100 ppm P, HP = 750 ppm P, OSi = zero Si, HSi = 968 ppm Si.) (Syed-Fadzil, 1972)

Table 4.5 Effect of P level on CEC and extractable bases in an Oxisol.

P source	P applied (ppm)	Cation exchange capacity NH ₄ OAc, pH 7	Extractable bases (meq/100 g)			
			Ca	Mg	Na	K
(NH ₄) ₂ HPO ₄	0	10.80	3.53	1.48	0.10	0.11
(NH ₄) ₂ HPO ₄	100	10.96	3.49	1.42	0.10	0.10
(NH ₄) ₂ HPO ₄	500	12.05	3.26	1.39	0.08	0.11
(NH ₄) ₂ HPO ₄	1,500	14.63	2.80	1.35	0.10	0.10

Source: Wann and Uehara, 1978a

TUGAS

- Setelah mempelajari karakteristik koloid tanah:
 1. Bagaimana pengaruh pemberian kapur atau abu terhadap tanah dan tanaman?
 2. Bagaimana pengaruh pemberian bahan organik terhadap tanah dan tanaman?

PERTEMUAN 7

Reaksi Tanah, Pertukaran Ion Dan Kejenuhan Basah Reaksi Tanah

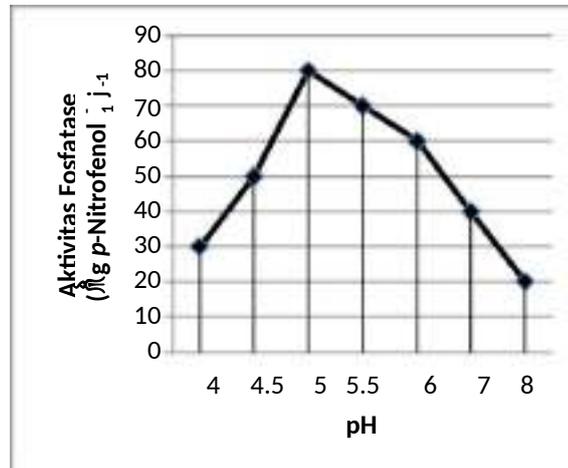
Satu di antara dua parameter lingkungan yang terpenting adalah reaksi tanah (pH). Reaksi tanah sangat berpengaruh pada berbagai sifat dan reaksi kimia yang terjadi di dalam tanah. Beberapa di antara sifat tanah yang terpengaruh oleh pH tanah adalah KTK, ketersediaan unsur hara, populasi dan aktivitas mikroorganisme, dan aktivitas enzim tanah. Berbagai reaksi kimia juga diatur oleh pH tanah. Di antara reaksi-reaksi kimia tersebut adalah pelapukan tanah, pertukaran kation dan pertukaran anion, perombakan P-organik menjadi P nir-organik.

Secara umum, KTK tanah di wilayah tropika dengan muatan yang bersumber dari Mineral Liat Tipe 1:1, Mineral Liat Nir-Silikat, dan bahan organik/humus meningkat dengan meningkatnya pH tanah (Salam, 1999; 2001; Bang dan Hesterberg, 2004; Adams dkk., 2004; Quaghebeur dkk., 2005; He dkk., 2006; Brown dkk., 2009). Berbarengan dengan itu, ketersediaan unsur-unsur basa dan P secara umum meningkat dengan peningkatan pH. Sebaliknya, ketersediaan unsur-unsur logam menurun karena sebagian darinya terikat kuat oleh koloid tanah yang bermuatan negatif atau mengendap dalam bentuk mineral sekunder.

Beberapa jenis mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan tanah. Misalnya, jamur akan bertumbuh dan berkembang dengan baik pada pH relatif asam sedangkan bakteri pada pH relatif tinggi. Karenanya, aktivitas enzim yang diproduksi juga berubah terkait dengan pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Secara kimia, pH tanah berpengaruh langsung terhadap aktivitas

Abdul Kadir Salam - 2020

enzim. Misalnya, aktivitas fosfatase meningkat pada rentang pH tertentu sampai pH maksimum, dan kemudian menurun dengan meningkatnya pH di atas pH maksimum (**Gambar 5.10**).



Gambar 5.10. Pengaruh pH terhadap perubahan aktivitas fosfatase dalam tanah.

Reaksi tanah juga sangat memengaruhi proses pelapukan tanah. Pelapukan mineral Albit seperti diutarakan sebelumnya (**Reaksi 1.1**) sangat tergantung pada kehadiran ion H⁺; semakin tinggi konsentrasi ion H⁺ di dalam tanah, yang artinya semakin rendah pH tanah, semakin cepat pelapukan mineral Albit menghasilkan berbagai mineral sekunder. Perombakan bahan organik yang mengandung P untuk menghasilkan P nir-organik (ortofosfat) juga sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Perombakan akan berlangsung lebih cepat pada pH optimum saat aktivitas enzim fosfatase relatif tinggi.

Pertukaran kation dan anion di tanah tropika sangat dipengaruhi oleh pH tanah karena muatan tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Pada pH tinggi, saat muatan koloid tanah negatif, lebih banyak kation yang terjerap. Oleh karenanya, pada pH tinggi pertukaran kation lebih dominan daripada pertukaran anion.

ILMU TANAH

Sebaliknya, pada pH rendah, saat koloid tanah bermuatan positif, yang lebih dominan adalah proses pertukaran anion karena lebih banyak anion yang terjerap oleh muatan positif koloid tanah.

a. Pengertian pH

Reaksi atau dilambangkan dengan pH menunjukkan derajat keasaman suatu media. Nilai pH di bawah 7 dikategorikan asam sedangkan nilai di atas 7

dikategorikan alkalin atau basa, dan nilai 7 dikategorikan netral. Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dalam mol per liter atau Molar. Untuk menghitung pH dipergunakan formula sebagai berikut:

$$pH = -\log [H^+] \dots\dots \text{Pers. 5.1}$$

Dengan menggunakan formula ini, kita dapat menghitung nilai pH bila konsentrasi ion H^+ diketahui. Misalnya, sebuah larutan dengan konsentrasi ion $H^+ = 0.001M$ memiliki $pH = -\log (0.001)$ atau $pH = 3$. Nilai pH berhubungan dengan nilai pOH dengan formula sebagai berikut:

$$pH + pOH = 14 \dots\dots \text{Pers. 5.2}$$

Dengan menggunakan formula ini, kita dapat menghitung nilai pOH larutan dengan konsentrasi ion $H^+ = 0.001 M$ di atas. Karena $pH = 3$, maka $pOH = 14 - pH$ atau $pOH = 11$.

b. Reaksi (pH) Tanah

Reaksi tanah menunjukkan pH tanah. Untuk mendapatkan nilai pH dan pOH tanah juga digunakan formula yang sama (**Pers. 5.1 dan 5.2**). Klasifikasi kriteria pH tanah disajikan pada **Tabel 5.7**. Tanaman pada umumnya hidup pada tanah dengan pH alami 5.5 – 8.3 dan yang umum untuk pertumbuhan tanaman produksi adalah 6.5 – 7.8, tergantung pada jenis tanamannya. Pada pH yang rendah tanaman tidak dapat bertumbuh dan berkembang dengan baik karena beberapa permasalahan,

Abdul Kadir Salam – 2020

baik yang secara langsung terkait dengan konsentrasi ion H^+ maupun yang secara tidak langsung akibat berbagai perubahan kimia tanah yang ditimbulkan olehnya. Demikian juga pada pH terlalu tinggi, tanaman akan sulit bertumbuh dan berkembang karena pekatnya konsentrasi ion OH^- atau berbagai perubahan kimia tanah yang ditimbulkannya.

Tabel 5.7. Klasifikasi rentang pH tanah*.

Klasifikasi	Rentang pH
Netral	6.5 - 7.5
Sangat Bagus	6.5 - 7.8
Bagus untuk Tanaman Pertanian	5.5 - 8.3

*Diadaptasi dari Harpstead dkk. (1988)

Di laboratorium, pH tanah biasa ditetapkan dengan menggunakan pH-meter dilengkapi dengan elektrode yang sensitif terhadap ion H^+ (*H^+ ion selective electrode*). Penetapan pH dapat dilakukan dalam berbagai larutan dengan berbagai perbandingan padatan/cairan. Larutan yang paling banyak digunakan adalah air dan 1 M KCl. Pengukuran dengan 1 M KCl secara umum akan menghasilkan nilai pH lebih rendah daripada pengukuran dengan menggunakan air, khususnya pada tanah dengan koloid bermuatan negatif. Semakin tinggi muatan negatif koloid tanah akan semakin tinggi pula pH yang ditimbulkannya. Dalam hal ini, ion K^+ dari larutan KCl akan 'mengusir' sebagian H^+ pada koloid tanah sehingga konsentrasi ion H^+ di dalam air tanah meningkat dan dengan sendirinya pH yang terukur lebih rendah. Secara khusus pH H_2O menunjukkan keasaman aktual dan pH KCl menunjukkan keasaman potensial.

Nisbah padatan dan larutan pengekstrak sangat berpengaruh terhadap hasil pengukuran pH. Semakin tinggi volume larutan pengekstrak akan menyebabkan menurunnya konsentrasi ion H^+ di dalam larutan tanah, sehingga akan menyebabkan hasil penetapan pH yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pada saat kita mengungkapkan hasil pengukuran pH, jenis larutan pengekstrak dan nisbah padatan/larutan harus dituliskan. Misalnya, pH H_2O 1:1 = 5.73 atau pH KCl 1:2 =

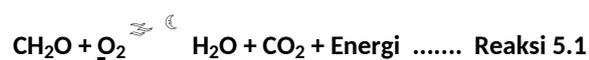
4.68. Dengan cara penulisan demikian akan lebih mudah bagi pengguna untuk menginterpretasi dan membandingkannya dengan nilai pH yang lainnya yang ditentukan dengan cara yang sama.

Penetapan pH tanah di lapang dapat juga dilakukan dengan menggunakan pH-meter yang memang dirancang untuk pengukuran lapang. Penetapan pH di lapang juga harus memperhatikan kaidah-kaidah penetapan pH di laboratorium. Dalam keadaan tertentu, misalnya dalam survey tanah, sering sekali kita menetapkan pH tanah dengan menggunakan kertas lakmus. Dalam penetapan ini, contoh tanah lapang diaduk dengan menggunakan air dengan nisbah padatan/air kira-kira 1:1. Setelah campuran dianggap rata, kertas lakmus direndam dalam adukan tersebut dan kemudian dibiarkan beberapa saat. Kombinasi warna yang terjadi akibat perendaman di dalam adukan lalu dibandingkan dengan daftar warna standar untuk menetapkan nilai pH tanah. Nilai pH yang diperoleh seperti ini tidak akurat, hanya merupakan perkiraan, yang kemudian perlu diulang dengan teknik pengukuran baku di laboratorium.

Reaksi tanah sangat dinamis, selalu berubah dengan waktu di bawah pengaruh berbagai faktor lingkungan. Pada saat hujan turun dan air hujan memenuhi pori tanah, konsentrasi ion H^+ di dalam pori tanah mengencer, sehingga mengakibatkan peningkatan pH. Sebaliknya, pada musim kering saat kadar air di dalam pori-pori tanah minimum, pH tanah akan menurun karena konsentrasi ion H^+ meningkat. Dalam jangka lebih panjang, tingginya kadar air tanah pada saat hujan akan mengakibatkan tercucinya unsur-unsur basa. Proses pencucian ini akan mengakibatkan penurunan kejenuhan basa dan pH tanah.

Dengan demikian keberadaan air di dalam sistem tanah sangat memengaruhi dinamika pH tanah. Karena pH tanah merupakan faktor pengatur utama, perubahan ini juga akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat kimia tanah lainnya seperti ketersediaan unsur hara dan KTK.

Reaksi tanah juga akan berfluktuasi karena kegiatan biologi tanah dan akar tanaman. Dalam aktivitasnya, biologi tanah dan akar tanaman akan memperoleh energi dengan mengoksidasi hidrokarbon dalam proses respirasi. Proses ini kira-kira akan berjalan sebagai berikut:



Selain energi, dalam reaksi ini juga dihasilkan CO_2 , yang di dalam tanah akan bereaksi dengan air membentuk ion H^+ (**Reaksi 2.1**). Terbentuknya ion H^+ dari proses ini akan meningkatkan konsentrasi ion H^+ di dalam sistem tanah dan dengan sendirinya menurunkan pH tanah.

Selain menurunkan pH tanah melalui proses di atas, akar tanaman juga akan mengekskresikan ion H^+ pada saat menyerap kation. Pelepasan ion H^+ ini merupakan proses alami untuk mempertahankan kesetimbangan massa dan muatan di sekitar akar tanaman. Bila akar tanaman menyerap sebuah kation Ca^{2+} maka akar tanaman akan mengeluarkan dua buah ion H^+ . Dengan cara demikian akar tanaman dapat 'menjaga' kesetimbangan massa dan elektrostatis di sekitar perakaran tanaman. Namun demikian, peningkatan konsentrasi ion H^+ di sekitar perakaran tanaman menurunkan pH tanah.

Selain sumber-sumber alami seperti itu, terdapat banyak sekali sumber keasaman tanah, di antaranya: (a) hidrolisis ion Al^{3+} (**Reaksi 5.9**), (2) hujan asam, (3) pemupukan Urea dan proses nitrifikasi (**Reaksi 2.3**, **Reaksi 6.4** dan **Reaksi 6.6**). Penurunan pH tanah akibat pemberian Urea dengan berbagai sistem olah tanah jangka panjang disajikan pada **Tabel 5.8**. Menurut Boulman dkk. (1995), penurunan pH akibat penerapan Urea diakibatkan oleh dua hal: (a) produksi ion H^+ dari hidrolisis Urea dan (b) menurunnya Ca-dd dan Mg-dd akibat pertukaran kation tersebut dengan ion NH_4^+ . Penurunan pH akibat penerapan Urea jangka panjang juga dilaporkan meningkatkan Al-dd dan Kejenuhan Al serta menurunkan Ca-dd dan Mg-dd (Schroder dkk., 2011). Karena Al^{3+} merupakan sumber keasaman, maka fakta ini memperburuk kondisi pH tanah. Boulman dkk. (1995) melaporkan bahwa pengaruh penurunan pH oleh penambahan Urea masih lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan amoniak (NH_3).

c. Peranan pH Tanah

Reaksi tanah sangat berpengaruh terhadap berbagai sifat kimia dan biologi tanah serta berbagai reaksi kimia yang terjadi di dalam tanah. Ketersediaan unsur hara di dalam tanah umumnya sangat terpengaruh oleh perubahan pH tanah. Secara umum, ketersediaan unsur hara makro seperti Ca, Mg, K, dan P meningkat dengan meningkatnya pH tanah; sebaliknya ketersediaan unsur hara mikro kelompok logam seperti Fe, Mn, Zn, dan Cu menurun dengan meningkatnya pH tanah (**Gambar 5.11**). Ketersediaan unsur hara mikro nir-logam seperti Mo meningkat dengan meningkatnya pH tanah (**Gambar 5.12**). Hubungan ketersediaan Mo dengan pH tanah mirip dengan hubungan ketersediaan P dengan pH tanah. Ini terjadi karena ada kemiripan kimia antara kedua unsur tersebut, walau pun peranannya untuk tanaman berbeda.

ILMU TANAH

Tabel 5.8. Penurunan pH tanah akibat penerapan Urea jangka panjang*.

Olah Tanah	N Urea ($kg\ ha^{-1}$)		
	0	100	200
Olah Tanah Intensif	5.03	4.83	4.44
Olah Tanah Minimum	5.18	4.96	4.78

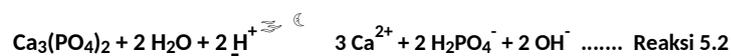
Tanpa Olah Tanah	5.06	4.89	4.75
Rataan	5.09	4.89	4.66

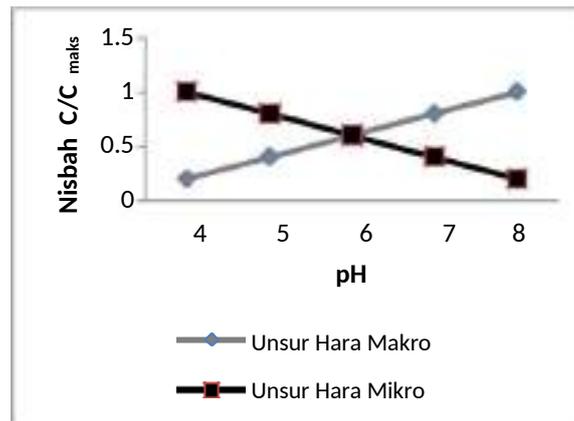
*Diadaptasi dari Salam dkk. (1998)

Pelapukan tanah, yang merupakan proses pelepasan unsur hara struktural dari mineral tanah, juga meningkat dengan menurunnya pH tanah (**Gambar 3.4**). Pelepasan unsur hara struktural lebih dahsyat terjadi pada pH rendah, karena ion H^+ yang banyak terdapat di dalam sistem tanah akan berperan sebagai *Attacking Agent* yang mampu menghancurkan struktur mineral sehingga dapat membebaskan unsur hara ke dalam air tanah.

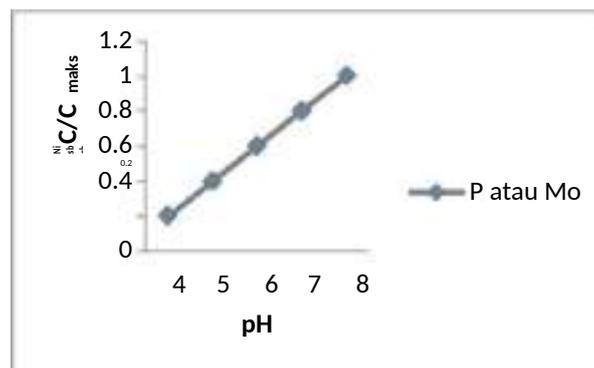
Selain pada pH, derajat pelepasan unsur hara juga sangat tergantung pada jenis tanah. Tanah subur yang masih banyak mengandung mineral primer (misalnya Mollisols) membebaskan unsur hara yang lebih banyak daripada tanah tua (misalnya Ultisols) yang mineraloginya didominasi oleh mineral liat silikat (**Tabel 1.1** dan **Tabel 3.8**), kecuali dalam pelepasan Al, yang lebih tinggi pada tanah Ultisols karena tanah ini didominasi oleh mineral liat silikat.

Dengan demikian, pelarutan mineral-mineral tertentu yang diperlakukan sebagai pupuk atau pembenah tanah seperti batuan fosfat juga akan terjadi lebih dahsyat pada tanah dengan pH rendah. Misalnya, pelapukan batuan fosfat dalam tanah lembab dengan pH rendah akan berjalan sebagai berikut:





Gambar 5.11. Hubungan perubahan ketersediaan unsur hara makro dan unsur hara mikro dengan pH (C = konsentrasi, C_{maks} = konsentrasi maksimum).



Gambar 5.12. Hubungan antara ketersediaan P dan Mo dengan pH tanah (C = konsentrasi, C_{maks} = konsentrasi maksimum).

Namun demikian, kecepatan pelarutannya akan melambat dengan berjalannya waktu karena pelapukan batuan fosfat secara perlahan akhirnya akan meningkatkan pH tanah seperti layaknya bahan kapur. Dalam pelapukan batuan fosfat dihasilkan ion Ca^{2+} dan OH^- yang dapat meningkatkan pH tanah. Dalam hal ini peningkatan pH tanah akan menurunkan proses pelapukan batuan fosfat.

Reaksi tanah juga akan berpengaruh terhadap biologi dan reaksi biokimia tanah. Seperti telah diungkapkan, sebagian mikroorganisme seperti jamur akan bertumbuh dan berkembang baik pada pH relatif rendah; sebaliknya, sebagian bakteri akan lebih cocok bertumbuh dan berkembang pada pH alkalin. Oleh karena itu, pH tanah juga berpengaruh terhadap populasi dan aktivitas mikroorganisme, termasuk dalam menghasilkan enzim tanah. Enzim tanah adalah senyawa biokimia

yang berperan menjadi katalisator reaksi kimia, yang bertugas mempercepat reaksi dekomposisi bahan organik dengan komposisi tertentu.

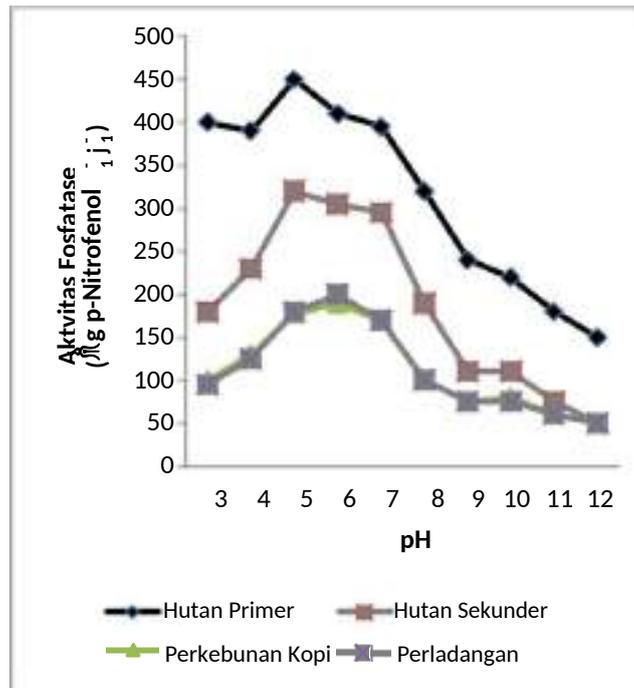
Aktivitas enzim tertentu seperti fosfatase dilaporkan sangat dipengaruhi oleh perubahan pH tanah. Enzim yang berperan dalam perombakan P-organik menjadi P-nir-organik ini aktivitasnya meningkat dengan meningkatnya pH tanah sampai pH Optimum, dan menurun dengan meningkatnya pH di atas pH Optimum. Reaksi tanah (pH) Optimum adalah nilai pH saat aktivitas enzim tersebut maksimum. Nilai ini berbeda antara satu jenis tanah dengan tanah yang lainnya (**Gambar 5.13**). Tanah dari Hutan Primer, Hutan Sekunder, Perkebunan Kopi, dan Perladangan di Bukit Ringgis, Lampung Barat, memiliki pH Optimum masing-masing 5.0, 5.5, 6.3, dan 6.0 (Salam dkk., 1998d). Nilai pH Optimum bergeser ke pH yang lebih alkalin berkaitan dengan degradasi lahan dari Hutan Primer ke Hutan Sekunder ke Perkebunan Kopi dan Perladangan.

Menurut sebuah laporan, tanah Gedong Meneng (Bandar Lampung) dan Banjar Agung (Lampung Timur) didominasi oleh Fosfatase Asam, yang berubah dengan perubahan pH tanah. Penambahan 4 ton CaCO_3 per hektare menurunkan aktivitas Fosfatase Asam (Salam dkk., 1999h). Ini menunjukkan bahwa rentang pH percobaan lebih tinggi daripada posisi pH Optimum, sehingga peningkatan pH akibat pengapuran menyebabkan penurunan aktivitas enzim fosfatase.

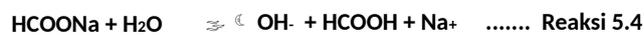
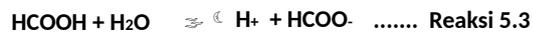
d. Kapasitas Sangga Tanah

Dalam ilmu asam dan basa, terdapat larutan *buffer* atau **larutan penyangga**. Larutan penyangga dapat menahan perubahan pH sampai derajat tertentu akibat pengenceran/pengentalan atau penambahan sedikit asam atau sedikit basa. Hal ini

terjadi karena di dalam larutan penyangga terdapat kombinasi antara asam lemah dengan garamnya dengan konsentrasi sedemikian rupa sehingga memiliki pH tertentu yang tidak mudah berubah akibat pengenceran/pengentalan atau penambahan sedikit asam atau basa. Misalnya, sebuah larutan penyangga yang tersusun dari 0.400 M asam formik dan 1.00 M natrium formik memiliki pH 4.15. Nilai pH ini dijaga oleh reaksi kesetimbangan sebagai berikut:

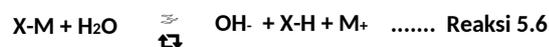
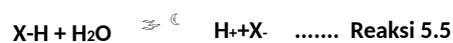


Gambar 5.13. Hubungan aktivitas fosfatase dengan pH beberapa jenis tanah di Lampung Barat (Diadaptasi dari Salam dkk., 1998d).



Ion H^+ dari asam yang ditambahkan akan dinetralisasi oleh ion $HCOO^-$ dengan membentuk molekul air dan asam $HCOOH$; sedangkan penambahan basa akan dinetralisasi dengan membentuk molekul air dan garam $CHCOONa$. Dengan demikian, penambahan tersebut tidak mengubah pH larutan (Skoog dan West, 1982).

Dalam beberapa hal, tanah merupakan sistem penyangga yang dapat menahan perubahan pH akibat pengenceran/pengentalan atau penambahan sedikit asam maupun basa (Thomas dan Hargrove, 1984). Dalam kaitannya dengan sistem penyangga ini, tanah adalah sebuah asam lemah (X-H, dengan X- adalah koloid tanah) yang berkesetimbangan dengan ion H^+ dalam larutan tanah. Sebagian koloid tanah berikatan dengan kation membentuk garam (X-M, dengan M adalah kation dapat dipertukarkan). Asam dan basa tanah akan berkesetimbangan dengan ion H^+ dan OH^- di dalam larutan tanah sebagai berikut:

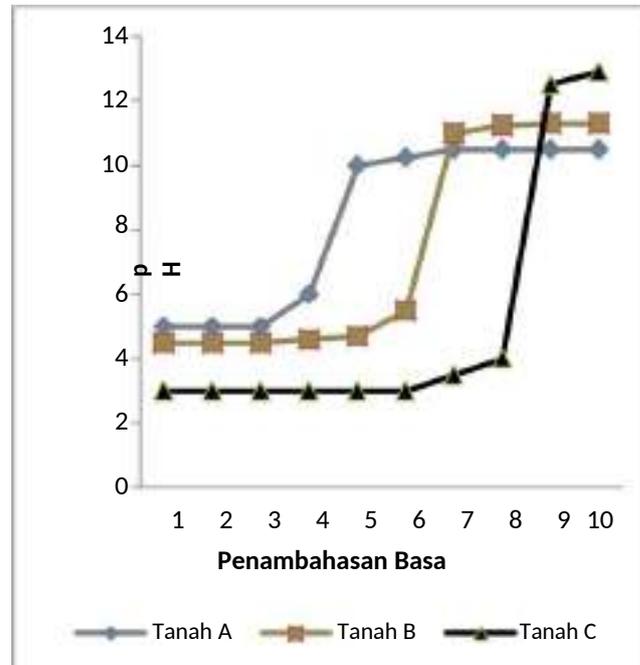


Kombinasi di atas merupakan sebuah sistem penyangga pH, yang dapat menahan perubahan pH tanah akibat pengenceran/pengentalan serta penambahan asam atau basa dalam jumlah terbatas. Ion H^+ dari asam yang ditambahkan akan dinetralisasi dengan membentuk asam X-H; sedangkan penambahan basa akan dinetralisasi dengan membentuk molekul air dan garam X-M. Dengan demikian, penambahan tersebut tidak mengubah pH tanah.

Kemampuan tanah untuk menahan perubahan pH atau **Kapasitas Sangga** tanah berbeda-beda. Sebagian tanah memiliki kapasitas sangga relatif tinggi, sehingga walaupun ditambah asam atau basa dalam jumlah tinggi, perubahan pH yang diakibatkannya minimum. Namun demikian ada juga tanah dengan kapasitas sangga rendah, sehingga pH-nya mudah berubah dengan penambahan sedikit asam atau basa. Contohnya adalah tanah dengan kadar Al-dd rendah. Tanah dengan kadar Al-dd rendah akan lebih mudah dinaikkan pH-nya dibandingkan tanah dengan kadar Al-dd tinggi.

Kapasitas Sangga tanah akan terlihat dengan jelas pada saat dilakukan pengapuran. Peningkatan pH tanah ber-Kapasitas Sangga rendah akan lebih cepat terjadi dibandingkan dengan tanah berkapasitas sangga tinggi (**Gambar 5.14**). Kapasitas Sangga Tanah A lebih rendah daripada Kapasitas Sangga Tanah B, sehingga penambahan basa atau kapur dengan jumlah yang sama (misalnya penambahan 5 unit basa pada **Gambar 5.14**) telah meningkatkan pH Tanah A

secara signifikan, sedangkan pH Tanah B belum mengalami peningkatan yang cukup berarti. Demikian juga Tanah C, yang memiliki kapasitas sangga yang tertinggi di antara ketiga tanah tersebut.

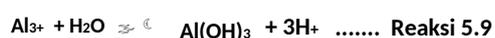
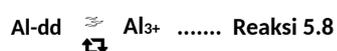


Gambar 5.14. Perubahan pH tanah dengan kapasitas sangga yang berbeda.

Tanah dengan kapasitas sangga rendah biasanya memiliki KTK rendah sehingga juga memiliki H-dd dan Al-dd yang rendah. H-dd dan Al-dd merupakan sumber kemasaman potensial yang menentukan kapasitas sangga tanah (Rendig dan Taylor, 1989). Pada saat tanah dikapur, bahan kapur pada awalnya akan menetralkan ion H⁺ larut. Bila ion H⁺ larut menurun karena telah dinetralkan oleh

ILMU TANAH

ion OH⁻ akibat pengapuran, maka secara perlahan H-dd dan Al-dd akan terbebaskan dan meningkatkan konsentrasi ion H⁺ dalam larutan tanah dengan proses sebagai berikut:



Proses ini menahan peningkatan pH sampai H-dd dan Al-dd terkuras. Dengan demikian, H-dd dan Al-dd sangat menentukan jumlah kapur yang diperlukan. Semakin tinggi H-dd dan Al-dd semakin tinggi pula kapur yang diperlukan untuk menetralkannya.

Karena pH tanah merupakan peubah utama yang sangat memengaruhi berbagai sifat dan proses-proses di dalam sistem tanah, maka pH tanah memang harus dipertahankan pada pH tertentu. Oleh karena itu sistem penyanggaan pH tanah harus digunakan dalam pengelolaan tanah.

e. Tanah Asam dan Tanah Alkalin

Reaksi tanah berkisar antara sangat rendah sekitar pH 2 sampai dengan sangat tinggi sekitar pH 11. Tanah dengan pH di bawah 7 biasanya disebut **Tanah Asam**, dan yang pH-nya di atas 7 disebut **Tanah Alkalin**. Namun demikian, biasanya pH sekitar 6-8 tidak dikelompokkan ke dalam keduanya. Tanah asam biasanya ber-pH

6 dan tanah alkalin ber-pH > 8. Tanah dengan pH 6.5 - 7.8 dianggap sangat bagus dan umumnya pH 5.5-8.3 bagus untuk tanaman pertanian. Pengelompokan ini bersifat sangat subyektif dan tergantung pada keperluannya.

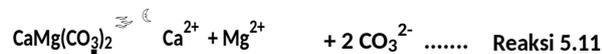
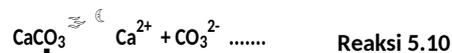
Namun demikian, ada beberapa kesepakatan umum terkait dengan tanah asam dan tanah alkalin. Tanah asam umumnya ber-pH rendah, yang biasanya merupakan tanah tua yang telah terlapuk lanjut, umumnya terdapat di daerah tropika dengan temperatur yang tinggi dan curah hujan yang tinggi. Tanah asam biasanya tidak subur dengan ketersediaan unsur hara relatif rendah, mineralogi didominasi oleh mineral liat silikat atau liat nir-silikat seperti oksida, hidroksida, dan hidroksioksida. Dengan demikian, nilai KTK tanah asam rendah dibarengi dengan

KB yang rendah dan KAl yang tinggi. KAl tinggi akan menurunkan ketersediaan P, karena sebagian P akan berikatan dengan ion-ion Al^{3+} .

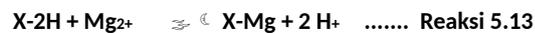
Tanah asam berkembang di wilayah basah dengan curah hujan tinggi, sehingga pencucian oleh air hujan mengakibatkan translokasi ion basa dari lapisan atas ke lapisan bawah dan akhirnya kembali ke laut melalui air bawah tanah. Menurunnya KB akan menyebabkan menurunnya pH tanah. Beberapa praktik pertanian, seperti pertanaman dan penambahan bahan organik atau pupuk urea, juga meningkatkan terjadinya proses pengasaman tanah. Proses ini dapat dinetralisasi dengan penambahan bahan kapur.

Pengelolaan tanah asam harus dilakukan dengan memperhatikan sifat-sifat di atas. Karena pH tanah asam rendah, maka usaha yang dilakukan adalah menaikkan nilai pH sampai dengan nilai yang dapat menjamin perbaikan sifat-sifat tanah lain. Salah satunya adalah dengan pengapuran. Meningkatnya pH tanah akibat pengapuran akan menyebabkan meningkatnya KTK tanah karena sebagian besar muatan tanah sangat tergantung pada pH tanah. Meningkatnya KTK tanah juga akan dibarengi dengan meningkatnya KB dan menurunnya KAl. Menurunnya KAl juga akan menurunkan pengikatan P oleh Al sehingga meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah. Namun demikian, karena mineral penyusun tanah asam didominasi oleh mineral tua, maka pemupukan untuk menambah ketersediaan unsur hara juga diperlukan.

Banyak bahan kapur yang dapat digunakan untuk meningkatkan pH tanah asam, di antaranya yang banyak digunakan adalah **Kalsit** ($CaCO_3$) dan **Dolomit** ($CaMg(CO_3)_2$). Kelebihan Dolomit adalah, selain mengandung Ca, juga mengandung Mg, yang juga merupakan unsur hara makro bagi tanaman. Dolomit dapat diterapkan di lahan dengan tanah yang miskin Mg. Kedua bahan kapur ini di dalam tanah akan mengalami reaksi kimia sebagai berikut:

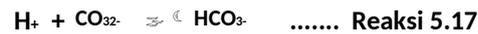
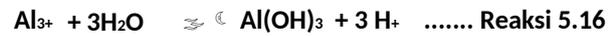


Ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} akan mengusir H^+ dan Al^{3+} dari permukaan koloid tanah dan menetralkannya menjadi HCO_3^- dan $Al(OH)_3$ melalui proses pertukaran kation dan pengendapan sebagai berikut:





dengan X adalah koloid tanah bermuatan negatif. Ion Al^{3+} akan segera terhidrolisis dan ion H^+ akan dinetralisasi oleh ion CO_3^{2-} membentuk ion-ion bikarbonat (HCO_3^-) sebagai berikut:



Dengan rentetan reaksi seperti ini, Kalsit atau Dolomit pada akhirnya akan dapat meningkatkan pH tanah. Dengan reaksi kimia tersebut maka sumber keasaman aktif (ion H^+ dalam larutan tanah) dan sumber kemasaman potensial (H^+ dan Al^{3+}) dapat dinetralisasi, ketersediaan Ca dan Mg ditingkatkan, dan pH tanah meningkat sampai ke tingkat yang diinginkan.

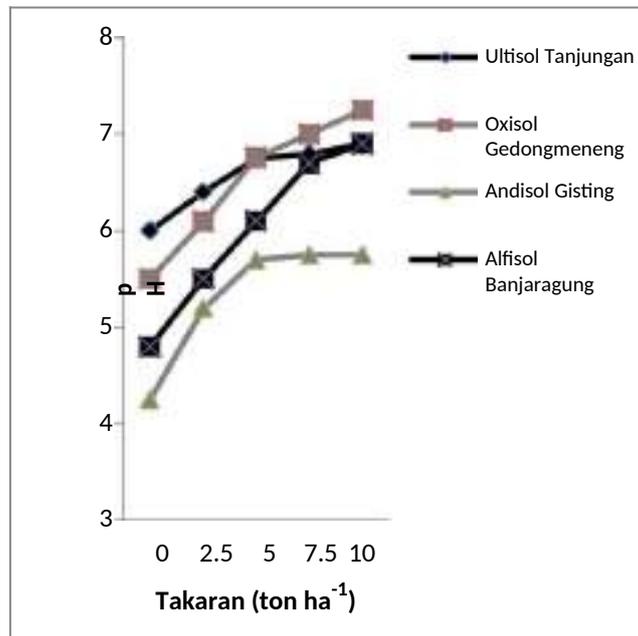
Peningkatan pH tanah akibat penambahan kapur berbeda tergantung pada sifat tanah, di antaranya adalah kapasitas sangga dan faktor-faktor yang berkaitan dengannya seperti tekstur tanah. Tanah berliat umumnya memiliki kapasitas sangga tinggi terhadap peningkatan pH tanah dan, karena itu, memerlukan jumlah kapur yang lebih banyak untuk meningkatkan pH-nya dibandingkan dengan tanah pasir atau berpasir. Misalnya, untuk meningkatkan pH tanah sebesar 1 satuan dari 4.5 ke 5.5 diperlukan kapur sebanyak 1 ton ha^{-1} untuk tanah bertekstur pasir dan diperlukan 3 ton ha^{-1} untuk tanah lempung berpasir. Tanah organik memerlukan jumlah kapur yang lebih tinggi untuk meningkatkan pH-nya sebesar 1 satuan dari 4.5 menjadi 5.8 (**Tabel 5.9**).

Salah satu cara paling akurat dalam menentukan kebutuhan kapur tanah adalah dengan melakukan **Titration Langsung** dengan menggunakan kapur yang akan digunakan untuk mengapur. Contoh tanah diperlakukan dengan beberapa takaran kapur dan diinkubasikan sampai rentang waktu tertentu dan pH-nya kemudian ditetapkan. Kebutuhan kapur dapat ditetapkan berdasarkan kurva yang terbentuk dengan menggunakan pH sebagai Sumbu X dan penambahan kapur sebagai Sumbu Y atau sebaliknya (**Gambar 15**). Kebutuhan kapur kemudian dapat ditentukan secara langsung dengan menggunakan kurva atau dihitung berdasarkan persamaan kurva yang tersusun. Salah satu pengembangan metode ini telah dilaporkan (Salam,2000; Liu dkk., 2004).

Tabel 5.9. Perkiraan kebutuhan kapur untuk meningkatkan pH tanah dengan tekstur berbeda.

Tekstur Tanah	Kapur (ton ha ⁻¹)
Pasir	1
Lempung Berpasir	2
Lempung Liat	4
Tanah Organik (<i>Peat</i>)	8

*Singer dan Munns (1987), **Untuk meningkatkan pH dari 4.5 ke 5.5



Gambar 5.15. Titrasi langsung beberapa tanah dari Lampung dengan CaCO₃ (Salam, 2000).

ILMU TANAH

Dalam beberapa hal, pelapukan Apatit dan berbagai pupuk turunannya (TSP, SP 36, KH₂PO₄) yang diterapkan ke dalam tanah juga dapat meningkatkan pH tanah (**Reaksi 5.2**, **Gambar 5.16**) (Salam, 1997b). Oleh karena itu, penerapan apatit di lahan pertanian, selain dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara Ca dan P, juga meningkatkan pH tanah. Meningkatnya pH tanah memiliki dampak lain terhadap sifat-sifat tanah.

Tanah alkalin memiliki sifat-sifat yang secara umum kebalikan dari tanah asam. Tanah ini berkembang di daerah arid dan semiarid. Ion yang dihasilkan melalui proses pelapukan mineral umumnya bersifat basa dan curah hujan yang terjadi tidak cukup untuk mencuci unsur ini dari tanah. Selain itu, proses penguapan akan mengakibatkan perkolasi negatif dalam pengertian air bergerak secara kapiler ke atas di dalam tubuh tanah. Proses ini akhirnya mengakibatkan terjadinya akumulasi basa di permukaan tanah.

Karena pH tanah alkalin relatif tinggi, maka sebagian sifat tanah juga bergeser. KTK tanah yang mengandung mineral liat Tipe 1:1 dan bahan organik lebih tinggi karena terjadinya dehidrogenasi gugus fungsional (**Gambar 3.7** dan **Gambar 3.9**). Keberadaan muatan negatif pada koloid tanah ini memungkinkan kation-kation logam berat terikat kuat sehingga menurunkan kelarutannya di dalam tanah dan menurunkan ketersediaannya pada tanaman (**Gambar 5.2**). Karena kehadiran ligan, sebagian kation juga membentuk kompleks dan mengendap. Misalnya kehadiran HCO₃⁻ dalam jumlah tinggi pada tanah alkalin mengakibatkan ion-ion Cu²⁺

membentuk kompleks dan sebagian mengendap dalam bentuk $\text{CuCO}_{3(s)}$ sehingga mengurangi ketersediaannya pada tanaman. Selain ketersediaannya menurun oleh proses pengendapan, Cu juga diikat lebih kuat oleh koloid tanah.

Ketersediaan unsur-unsur basa seperti Ca, Mg, dan K pada pH tinggi meningkat. Ketersediaan P menurun karena diikat oleh ion-ion Ca^{2+} sebagai berikut:



Ion Al^{3+} yang pada pH rendah berikatan dengan ortofosfat membentuk Varisit, pada pH tinggi mengendap dalam bentuk hidroksida $(\text{Al}(\text{OH})_{3(s)})$, sehingga bahaya keracunan Al pada pH tinggi ternetralisasi (**Gambar 5.16**). Demikian juga Fe^{3+} yang pada pH rendah mengikat P dalam bentuk endapan Strengit, pada pH tinggi ternetralisasi dan membebaskan ion fosfat. Namun pada pH tinggi, ion fosfat diikat oleh ion Ca^{2+} membentuk endapan Kalsium Fosfat (**Reaksi 5.18**).

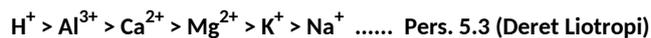
Pertukaran Kation

Seperti diungkapkan di atas, kehadiran muatan negatif memiliki konsekuensi terjerapnya kation karena memiliki muatan yang berlawanan. Karena bersifat

elektrostatik, setiap kation akan terjerap di permukaan koloid negatif dengan cara yang sama. Namun demikian, penjerapan ini bersifat sementara. Kation yang terjerap pada saatnya dapat dibebaskan dari koloid tanah dan tempatnya semula akan digantikan oleh kation lain. Dengan berjalannya waktu, kation yang telah dibebaskan dapat juga terjerap kembali. Dengan demikian, kation yang terjerap di permukaan koloid tanah bersifat dapat dipertukarkan. Oleh karena itu, kation yang terjerap disebut **Kation Dapat Dipertukarkan** (Kation-dd) (Thomas, 1982). Bila kation tersebut adalah Ca^{2+} , maka disebut Ca-dd, bila Mg^{2+} maka disebut Mg-dd, bila Cu^{2+} yang dijerap maka disebut Cu-dd, dan seterusnya. Proses pertukaran kation diperlihatkan pada **Gambar 5.21**.

Proses pertukaran kation pertama kali dilaporkan oleh Thomson dan Way dalam sebuah percobaan dengan menggunakan kolom tanah. Ke dalam kolom tanah dimasukkan larutan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Setelah proses berjalan, cairan yang keluar di ujung bawah kolom dianalisis, dan yang ditemukan adalah CaSO_4 . Dari percobaan tersebut disimpulkan bahwa NH_4^+ yang dimasukkan ke dalam kolom tanah bertukar dengan ion Ca-dd di dalam tanah, sehingga ion Ca^{2+} meninggalkan posisinya yang digantikan oleh ion NH_4^+ , sehingga yang keluar di ujung kolom berganti menjadi CaSO_4 . NH_4^+ sebenarnya memiliki preferensi yang lebih rendah, namun karena konsentrasi yang dimasukkan ke dalam kolom tanah relatif tinggi akibatnya ion Ca^{2+} terusir dari posisinya. Secara matematika, proses pertukaran kation dapat diperlihatkan dengan **Gambar 5.22**, sedangkan pertukaran anion pada **Gambar 5.23**.

Kation dijerap oleh koloid tanah dengan derajat kekuatan yang berbeda. Beberapa jenis kation diikat lebih kuat dibandingkan dengan kation lain. Kecenderungan ini disebut **Selektivitas Kation**. Selektivitas kation untuk beberapa jenis kation dapat diperlihatkan dalam sebuah deret, yang disebut **Deret Liotropi (Persamaan 5.3)**. Ion H^+ diikat oleh koloid tanah lebih kuat dibandingkan ion Al^{3+} ; ion Ca^{2+} diikat lebih kuat daripada ion Mg^{2+} ; ion Mg^{2+} diikat lebih kuat daripada ion K^+ , dan seterusnya. Selektivitas koloid tanah terhadap kation sudah tentu sangat berpengaruh terhadap proses pertukaran kation. Misalnya, ion Ca^{2+} akan mendominasi koloid tanah dibandingkan dengan ion K^+ .



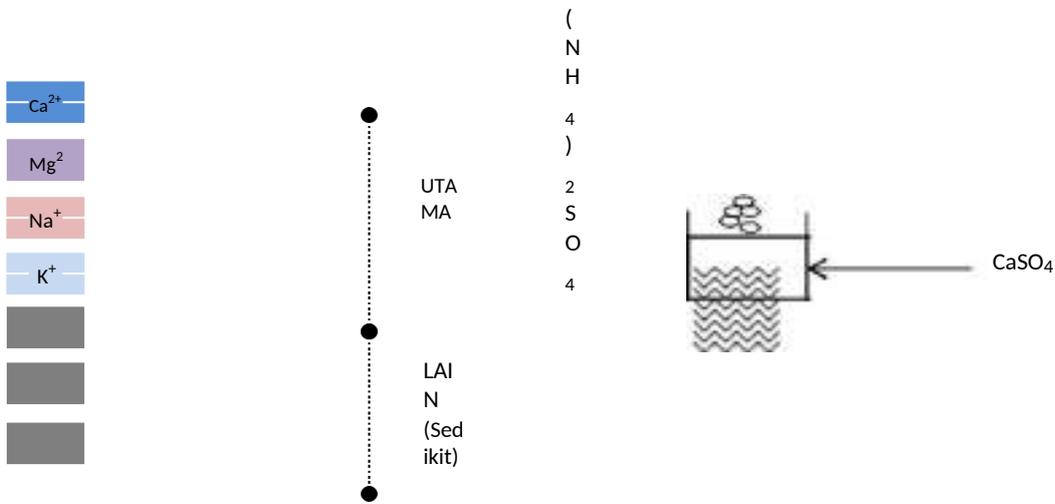
Selektivitas kation dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor yang pertama adalah kapasitas jerap koloid tanah, yang menunjukkan jumlah muatan negatif dan diekspresikan sebagai jumlah kation yang dijerap per satuan massa tanah. Kapasitas tanah dalam menjerap kation disebut **Kapasitas Tukar Kation**. Semakin

ILMU TANAH

tinggi nilai KTK tanah semakin kuat juga ikatan antara koloid tanah dengan sebuah kation. Faktor yang kedua adalah muatan kation. Secara umum, derajat kekuatan ikatan antara koloid tanah lebih tinggi bila muatan kation yang terikat pada koloid tanah lebih tinggi. Kekuatan ikatan tentunya akan semakin kuat bila kation dengan valensi tinggi terikat pada koloid tanah dengan KTK tinggi.



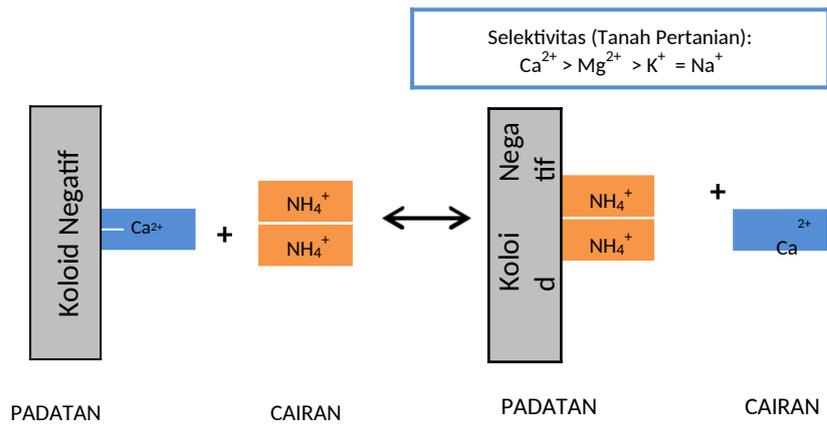
PERTUKARAN KATION
(Thomson dan Way)



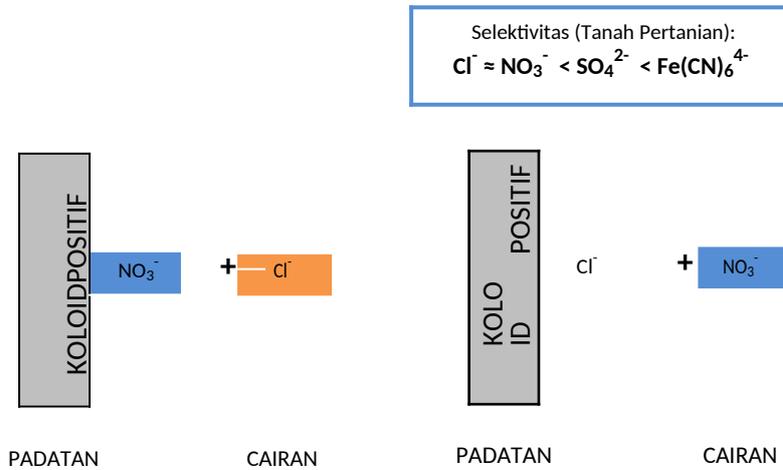
Gambar 5.21. Pertukaran kation di dalam sistem tanah.

Selain itu, kekuatan ikatan antara koloid tanah dengan sebuah kation juga tergantung pada jarak antara koloid tanah dengan inti atom ion tersebut. Semakin pendek jaraknya, akan semakin kuat juga ikatannya. Misalnya, ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} memiliki muatan yang sama, namun keterikatannya pada koloid tanah lebih besar Ca^{2+} dibandingkan dengan Mg^{2+} . Perbedaan ini disebabkan radius terhidrasi ion Ca^{2+} lebih kecil dibandingkan dengan ion Mg^{2+} . Demikian juga antara ion K^{+} dan Na^{+} . Ion K^{+} lebih kuat diikat karena ion K^{+} memiliki radius terhidrasi lebih kecil.

Abdul Kadir Salam - 2020



Gambar 5.22. Pertukaran (adsorpsi - desorpsi) kation di dalam sistem tanah.



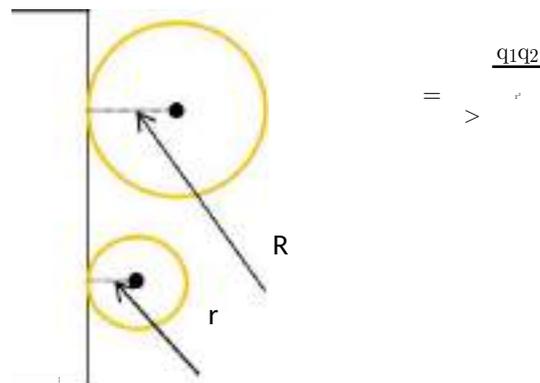
Gambar 5.23. Pertukaran (adsorpsi - desorpsi) anion di dalam sistem tanah.

ILMU TANAH

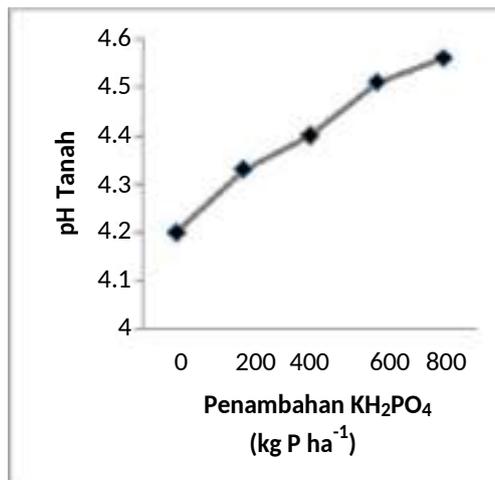
Fenomena selektivitas pengikatan kation demikian dapat digambarkan secara matematika dalam bentuk Hukum Coloumb sebagai berikut (**Pers. 5.4**):

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{..... Pers. 5.4}$$

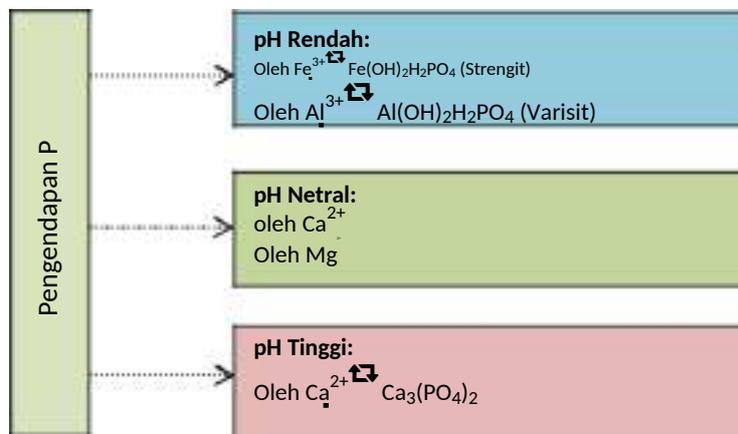
Notasi F menunjukkan gaya ikatan antara koloid tanah dengan sebuah kation. Notasi q_1 menunjukkan muatan negatif koloid tanah, semakin tinggi akan semakin besar daya ikatnya, sehingga menghasilkan nilai F lebih tinggi. Misalnya, tanah organik memiliki daya ikat lebih tinggi daripada tanah liat silikat bertipe 1:1, karena KTK tanah organik lebih tinggi. Tanah organik memiliki KTK sekitar 200 cmol_c per kg, sedangkan tanah dengan liat silikat tipe 1:1 memiliki KTK 10 cmol_c per kg. Notasi q_2 menunjukkan muatan positif kation, semakin tinggi akan semakin kuat diikat oleh koloid tanah karena menghasilkan nilai F lebih besar. Misalnya, ion Al^{3+} diikat lebih kuat daripada ion K^+ . Notasi r menunjukkan jarak antara koloid tanah dengan kation atau radius kation. Daya ikat koloid tanah berbanding terbalik dengan radius kation, sehingga semakin besar radius kation menyebabkan nilai F lebih rendah (**Gambar 5.24**). Oleh karena itu, ion K^+ lebih kuat diikat daripada ion Na^+ karena radius terhidrasi ion K^+ lebih kecil.



Gambar 5.24. Pengaruh radius ion terhadap kekuatan ikatan.



Gambar 5.16. Pengaruh penerapan pupuk P terhadap pH tanah (Diadaptasi dari Salam, 1997b).



Gambar 5.17. Pengendapan fosfor di dalam tanah.

Abdul Kadir Salam - 2020

Tanah yang terlalu alkali dengan pH terlalu tinggi perlu dikelola dengan menurunkan pH tanah sehingga pH tanah dapat diatur pada pH yang lebih ideal, misalnya pH antara 6-7. Terdapat beberapa bahan pengasam yang sering digunakan, salah satunya adalah penggunaan belerang (S). Serbuk belerang di dalam tanah akan mengalami oksidasi dan menghasilkan asam yang dapat menurunkan pH tanah.

Berbeda dengan kapur, S relatif mahal. Akibatnya, usaha untuk menurunkan pH tanah dengan bahan ini sangat mahal. Cara yang terbaik adalah menerapkan S dengan perlakuan lokal hanya pada tempat terbatas. Belerang akan mengasamkan tanah dan meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam radius kecil dari tanaman. Dengan cara demikian, S hanya diperlukan sedikit saja.

Pengasaman tidak hanya dilakukan pada tanah alkali, tetapi juga pada tanah asam, misalnya di perkebunan komersial *Great Giant Pineapple* di Terbanggi Besar Lampung. Penurunan pH tanah sangat biasa dilakukan untuk mengelola penyakit yang dapat menyerang tanaman nenas. Proses pengasaman yang berjalan bertahun-tahun mengakibatkan penurunan pH. Semakin lama tanah digunakan untuk pertanaman nenas, semakin rendah pH yang terukur.

Sebagian tanah alkalin adalah tanah salin dan tanah sodik. Dalam sebaran terbatas, kedua jenis tanah ini merupakan masalah pertanian termasuk di Indonesia. **Tanah salin** (*White Alkali*) adalah tanah dengan garam terlarut dalam jumlah yang berpengaruh buruk terhadap tanaman. Selain dicirikan oleh pH yang cukup tinggi, **Tanah Sodik** (*Black Alkali*) juga dicirikan oleh kandungan Na yang cukup tinggi. Kehadiran Na menyebabkan agregasi partikel-partikel tanah tidak terjadi. Akibatnya partikel-partikel tanah tercerai berai (**Dispersi**) dan mengganggu pertumbuhan dan produksi tanaman.

Tanah salin dapat berkembang bila laju evaporasi lebih tinggi daripada curah hujan, sehingga merangsang penguapan air tanah. Penguapan air tanah akan meninggalkan garam terlarut di lapisan atas tanah. Namun demikian, tanah ini juga dapat berkembang oleh pengaruh air irigasi yang mengandung garam, termasuk Na. Mengatasi tanah salin dapat dilakukan dengan pencucian tanah dengan air yang berkualitas baik. Air akan membawa garam terlarut ke lapisan bawah di bawah daerah perakaran tanaman.

Salah satu cara untuk mengatasi masalah tanah sodik adalah dengan menurunkan kandungan Na di dalam tanah dan meningkatkan kandungan Ca, sehingga agregasi partikel-partikel tanah lebih baik. Usaha ini dapat dilakukan dengan penambahan senyawa berkalsium, misalnya gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Kalsium akan menggantikan Na, yang kemudian bersenyawa dengan SO_4^{2-} . Pencucian dengan air berkualitas baik kemudian akan mencuci Na_2SO_4 keluar dari daerah

Kejenuhan Basa dan Kejenuhan Aluminium

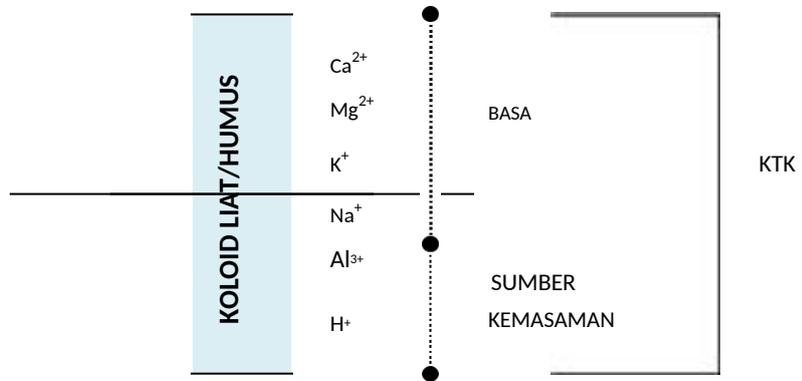
Kation utama tanah yang terjerap di permukaan koloid tanah terbagi menjadi dua kelompok, yaitu **Kation Basa**, yang mencakup Ca-dd, Mg-dd, K-dd, dan Na-dd, dan **Kation Asam**, yang mencakup Al-dd dan H-dd (**Gambar 5.25**). Kation basa menyebabkan tanah bereaksi basa dan memiliki pH lebih tinggi, sedangkan kation asam menyebabkan tanah bersifat masam karena meningkatkan konsentrasi ion H^+ . Ion Al^{3+} merupakan kation asam karena merupakan sumber kemasaman. Bila ion ini terhidrolisis, ion ini akan menghasilkan ion H^+ (**Reaksi 5.16**).

Untuk menggambarkan kuantitas kedua kelompok kation tersebut, maka digunakan dua buah parameter, yaitu Kejenuhan Basa (KB) untuk menunjukkan kuantitas kation-kation basa yang terikat pada koloid tanah, dan Kejenuhan Aluminium (KAl) untuk menunjukkan kuantitas sumber kemasaman potensial. KB dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$= \frac{- + - + - + -}{\dots} \% \dots \text{Pers. 5.6}$$

Sedangkan KAl dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$= \frac{\dots}{\dots} \% \dots \text{Pers. 5.7}$$



Gambar 5.25. Muatan negatif koloid tanah dan pengikatan kation.



UJIAN TENGAH SEMESTER GANJIL 2022/2023
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UINSU

Program Studi	: Biologi
Jenjang Pendidikan	: S-1
Semester	: Tujuh
Mata Kuliah	: Ilmu Tanah
Hari Tanggal	: 24 November 2024
Waktu	: 60 Menit
Sifat Ujian	: Tutup Buku
Dosen Penguji	: Dr.,Ir.,M.Idris,M.P

Soal

1. A. Apa yang dimaksud dengan tanah?
B. Jelaskan Pendekatan Ilmu tanah dari pedologi dan edapologi
2. Jelaskan Faktor-fkator pembentukan tanah?
3. Apa yang dimaksud dengan tekstur dan struktur tanah ?
4. A. Bagaimana hubungan antara air tanah dengan pertumbuhan tanaman.
B. Bagaimana Peranan jasad hidup terhadap kesuburan tanah
5. A. Apa yang anda ketahui tentang koloid liat dan koloit organik.
B. Apa yang anda ketahui tentang pH tanah dikaitkan dengan kesuburan tanah

= Selamat Bekerja =

PERTEMUAN 9

Hub. Hara Tanah dan Tanaman

A. Dasar –dasar Pengharaan

1. Peranan Tnh sbg Faktor Tumbuh
2. Prinsip Faktor Pembatas
3. Peranan Unsur Hara
4. Prinsip Serapan Hara

I. PENGERTIAN TANAH

Tanah sebagai
Alat Produksi



Media tumbuh alam bagi
tanaman di permukaan bumi

GURUN BUKAN TANAH ?

Tanah adalah laboratorium kimia dari alam
dimana terjadi penguraian kimia dan reaksi
sintesis secara tersembunyi *JJ Berzelius (1803) – ahli kimia*

Tanah dianggap tabung reaksi dimana
seseorang dapat mengetahui jumlah dan jenis
hara tanaman *Julius Von Liebig (1840)*

Tanah sebagai bahan yang lepas dan merupakan akumulasi dan campuran berbagai bahan terutama unsur Si, Al, Ca, Mg, Fe dan unsur lainnya

AD Thaer (1909) – ahli fisika bumi

Tanah sebagai hasil pelapukan oleh waktu yang mengikis batuan keras dan lambat laun akan terjadi dekomposisi menjadi masa tanah yang kompak

Friedrich Fallou (1855) – ahli geologi

Tanah adalah lapisan hitam tipis yang menutupi bahan padat bumi yang merupakan partikel kecil yang mudah remah, sisa vegetasi dan hewan, dimana tumbuhan bertempat kedudukan, berakar, tumbuh dan berbuah

Wegner (1918)

Tanah adalah bahan yang gembur dan lepas dimana tumbuhan dapat memperoleh tempat hidup berkat adanya zat hara serta syarat lain untuk tumbuh

EW Hilgard (1906)

Tanah sebagai campuran bahan padat berbentuk tepung, air dan udara, yang karena mengandung zat hara dapat menumbuhkan tumbu-tumbuhan

Alfred Mitscherlich (1920) – ahli fisiologi

Pengertian tanah dihubungkan dengan iklim dan lingkungan tumbuh-tumbuhan dan dapat digambarkan sebagai zone geografi yang luas dalam skala peta dunia

VV Dokuchaev (1900)

Tanah adalah bangunan alam tersusun atas horizon-horizon yang terdiri atas bahan yang berbeda-beda dan dapat dibedakan dari bahan-bahan di bawahnya dalam hal morfologi, sifat dan susunan fisik, kimia dan biologinya

→ Unsur fisika, kimia, biologi dan morfologi dilibatkan dalam pengertian ini

Jacop S Joffe (1949)

Jadi

Pengertian Tanah adalah suatu benda alami yang terdapat di permukaan kulit bumi, yang tersusun dari bahan mineral sebagai hasil pelapukan bebatuan dan bahan organik sebagai hasil pelapukan sisa-sisa tanaman dan hewan, yang mampu menumbuhkan tanaman dan memiliki sifat tertentu sebagai akibat pengaruh iklim, jasad hidup yang bertindak terhadap bahan induk dalam keadaan wilayah tertentu selama jangka waktu tertentu

Tanah dari sudut pertanian → alat produksi produk tanaman

→ peranan tanah sebagai alat produksi :

- 1. Melayani tanaman sebagai tempat berpegang dan bertumpu**
- 2. Menyediakan unsur-unsur mineral (unsur hara)**
- 3. Memberikan air dan melayani persediaan air**
- 4. Menyediakan tata udara tanah yang baik**

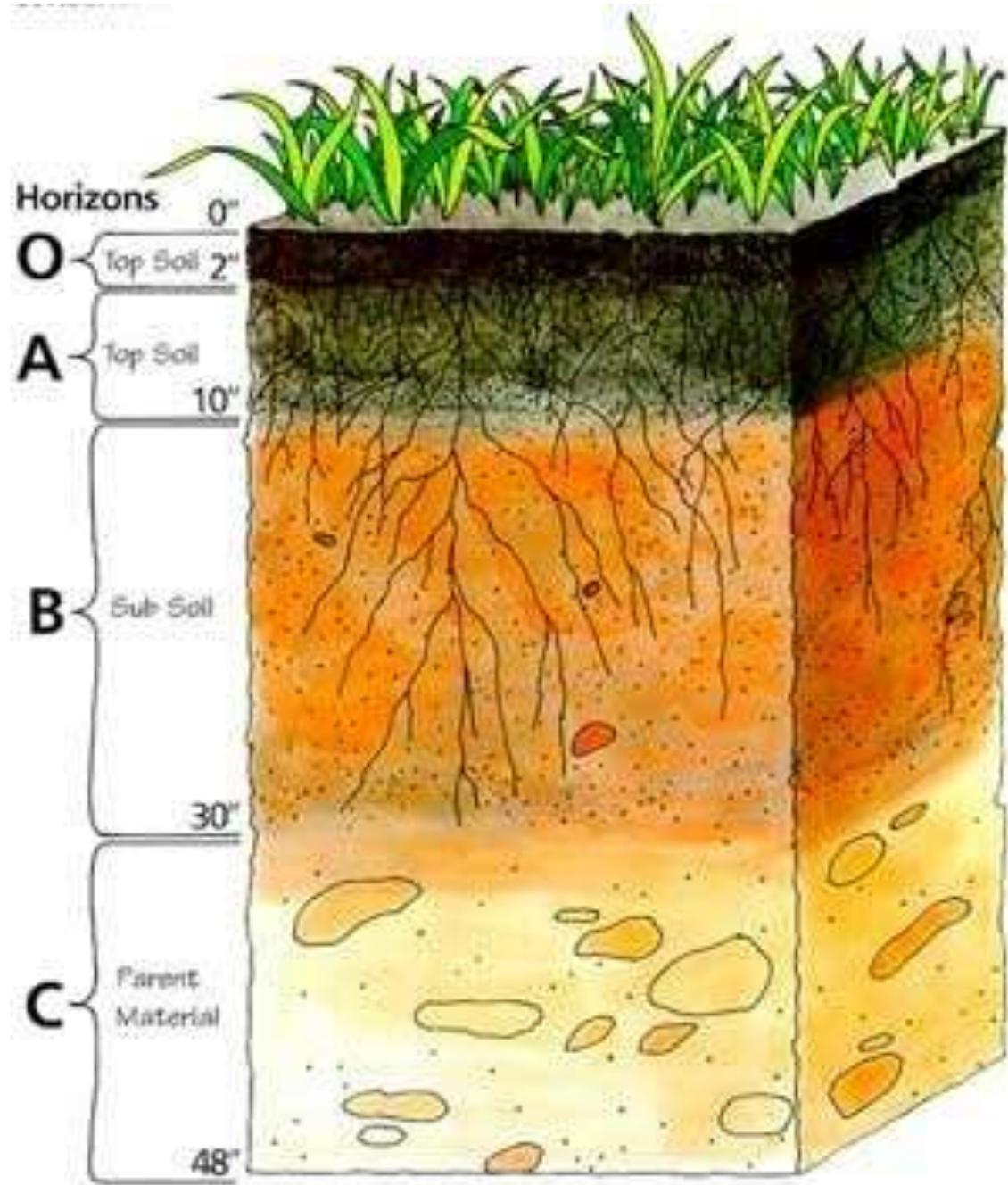
Gambaran Vertikal Tanah dan Lapisan-lapisan Tanah

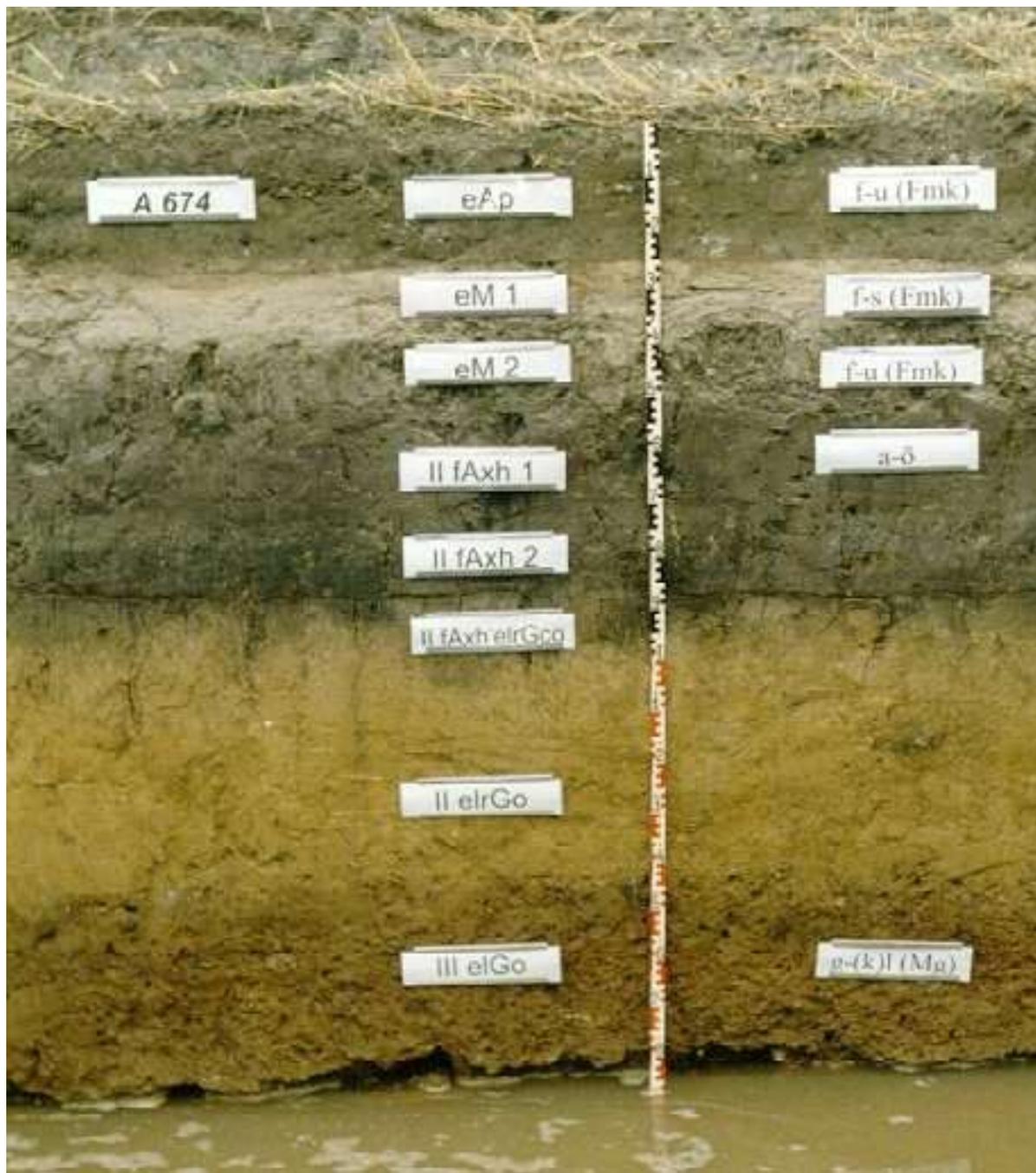
- Profil tanah → penampang vertikal tanah yang menunjukkan susunan horizon tanah yang terdiri dari solum tanah dan bahan induk tanah**
- Horison tanah → lapisan-lapisan tanah yang berbeda dalam susunan fisika dan kimia yang kurang lebih sejajar dengan permukaan tanah sebagai akibat dari proses perkembangan tanah**
- Pedon → satuan individu terkecil dalam tiga dimensi dari suatu tanah**

- Regolit → bahan-bahan lepas (termasuk tanah) di atas batuan keras**
- Solum tanah → horizon tanah di atas batuan induk yang terdiri dari horison O, horizon A dan horizon B**
- Kedalaman efektif tanah → kedalaman tanah yang masih dapat ditembus dengan akar tanaman**
- Top soil → lapisan tanah yang paling atas yang biasanya mengandung bahan organik dan berwarna gelap dan subur dengan tebal sampai dengan 25 cm yang sering disebut lapisan olah tanah**
- Sub soil → lapisan bawah permukaan dengan sedikit bahan organik (kurang subur) dan lebih tebal dari top soil**

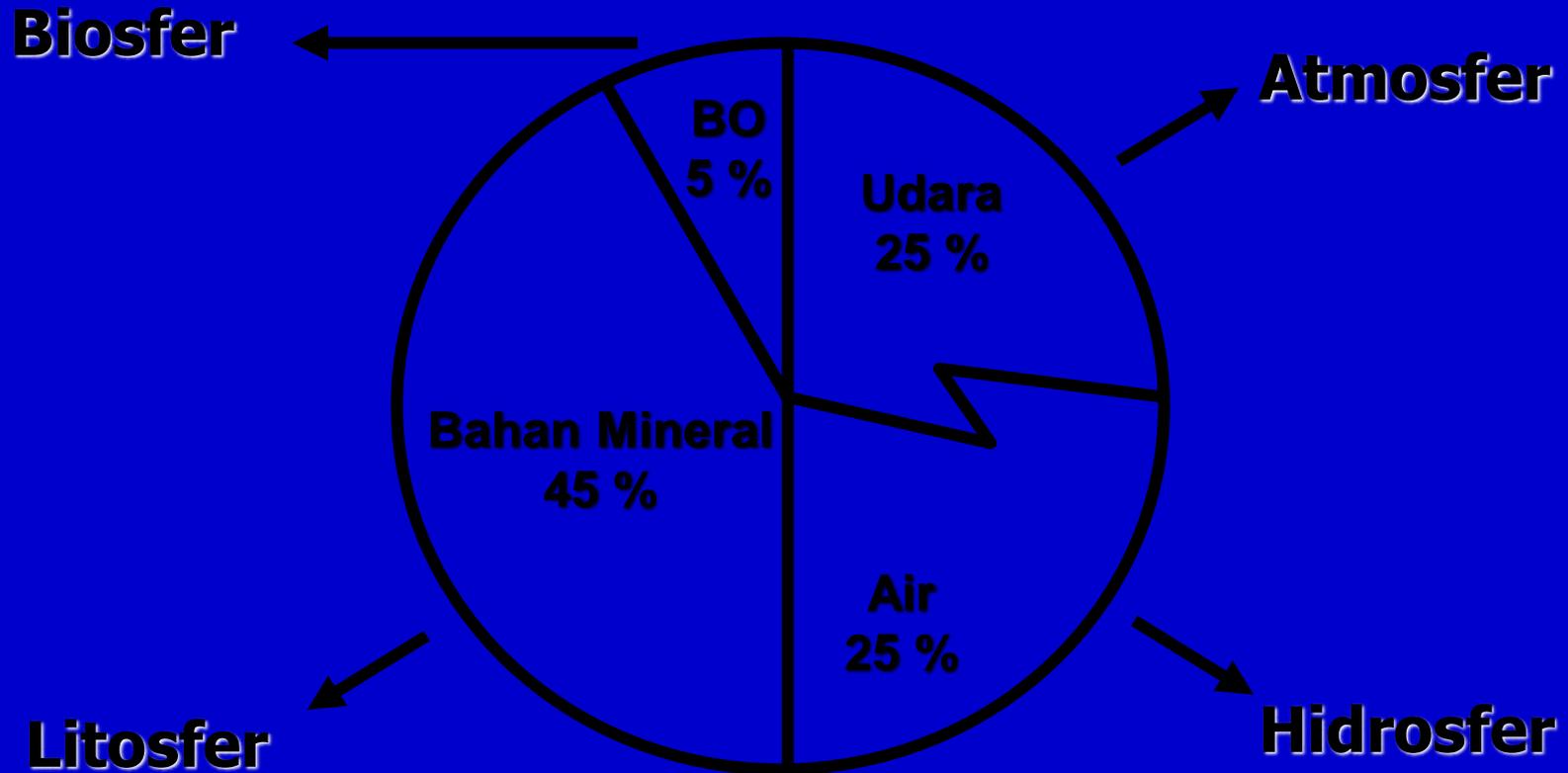
Nama Horison

Nama Lama	Nama Baru	Keterangan
O	O	Horison Organik (Kadar BO > 20%)
O1	Oi, Oe	Tingkat dekomposisi kasar (i = fibrik, e = hemik)
O2	Oe, Oa	Tingkat dekomposisi halus (e = hemik, a = saprik)
A1	A	Horison mineral permukaan campuran dng BO
A2	E	Horison eluviasi (pencucian) maksimum
A3	AB	Peralihan A1 (A) ke B (lebih menyerupai A1 (A))
	EB	Peralihan A2 (E) ke B (lebih menyerupai A2 (E))
B1	BA	Peralihan A1 (A) ke B (lebih menyerupai B)
	BE	Peralihan A2 (E) ke B (lebih menyerupai B)
B2	B	Horison iluviasi (penimbunan) maksimum
B3	BC	Peralihan dari B ke C, lebih menyerupai B
	CB	Peralihan dari B ke C, lebih menyerupai C
C	C	Bahan induk tanah , lunak (belum ada proses perkembangan)
R	R	Batuan induk (keras)





II. BAGIAN-BAGIAN PENYUSUN TANAH, TANAH MINERAL DAN TANAH ORGANIK



Tanah → Sistem kompleks dan dinamis

Udara tanah menempati ruang pori makro untuk pernafasan akar tanaman dan mikrobia

Air tanah mengandung senyawa asam dan basa yang dapat menguraikan dan melarutkan mineral tanah

Lempung dan humus sebagai gudang penyimpanan dan pelepasan unsur hara tanaman

Tanah Mineral dan Tanah Organik

Tanah organik/Histosol/Gambut/Organosol

- ➔ Tanah dengan kandungan bahan organiknya lebih dari 20 %
- ➔ Terbentuk karena proses penguraian LEBIH LAMBAT dibanding penimbunan
- ➔ Terjadi di daerah dengan DRAINASE BURUK yang selalu tergenang air sehingga hanya mikrobial anaerob yang menguraikan bahan organik
Misal di daerah rawa pasang surut
- ➔ Bersifat pH rendah, unsur hara rendah, sulit pengelolaannya

Tanah mineral → tanah yang kandungan bahan organiknya kurang dari 20 % atau kandungan mineralnya lebih dari 80 %

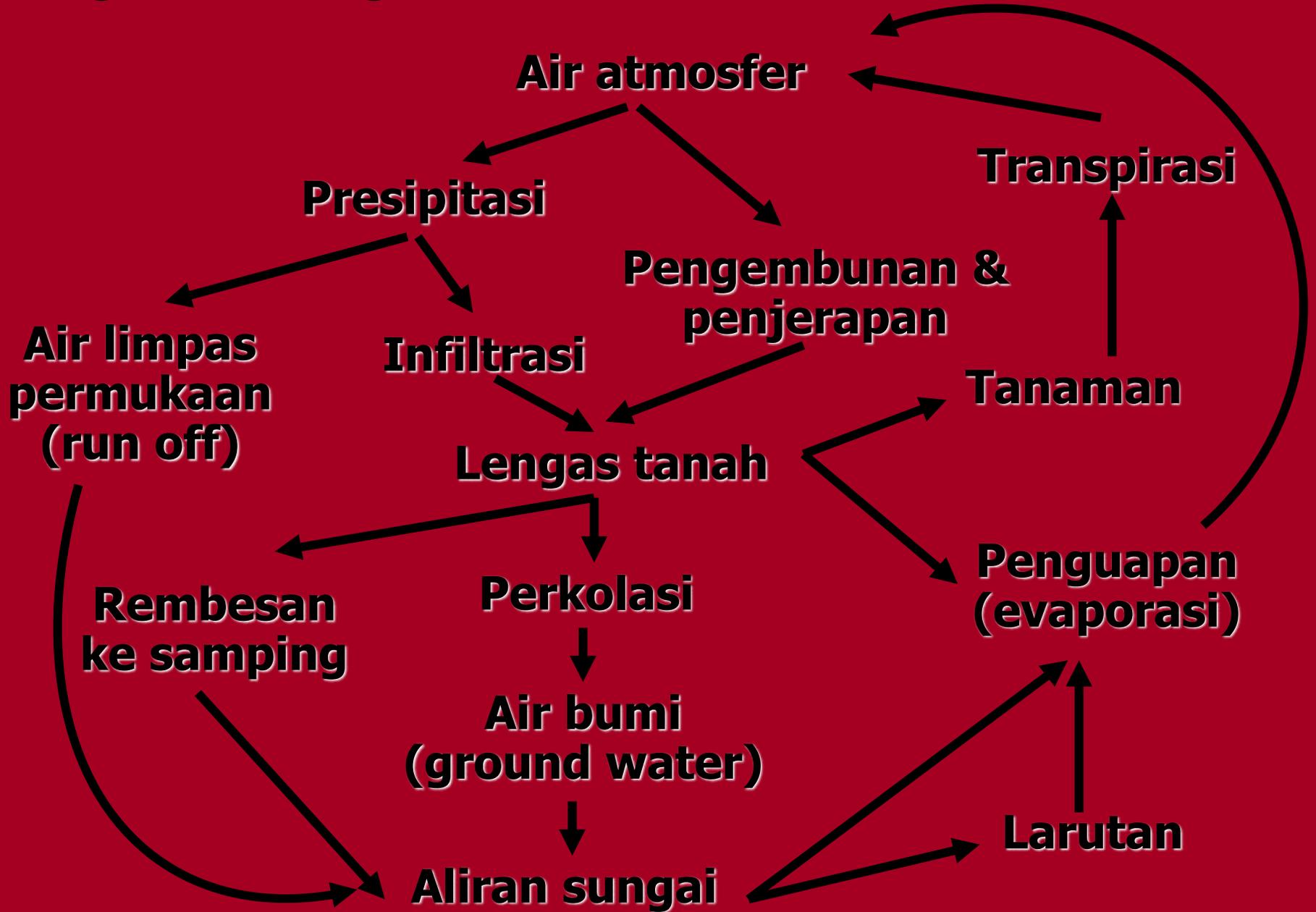
G. TATA AIR DAN UDARA TANAH

→ Erat hubungannya dengan penyebaran pori dalam tanah

Berdasarkan ukuran :

- Pori tak berguna ($\emptyset < 0.2 \mu$) → air tidak tersedia
- Pori berguna ($\emptyset > 0.2 \mu \rightarrow 0.2 - 8.6 \mu$) → air tersedia
- $8.6 - 30 \mu$ pori drainase lambat (air tersedia)
- $> 30 \mu \rightarrow$ pori drainase cepat (air tidak tersedia)/terisi udara

Lingkaran Pergerakan Air



Kekuatan pengikatan air oleh tanah dinyatakan dalam :

1. Atmosfer (atm)

2. Tinggi kolom air (cm)

$$1 \text{ atm} = 1033.6 \text{ cm air}$$

3. pF (*free energy*) = log tinggi kolom air

Nilai pF 0 – 7

pF 0 → tanah jenuh air

pF → tanah kering mutlak

Air yang tersedia bagi tanaman :

→ pF 2.54 – 4.2 atau 1/3 – 15 atm

Keadaan Air Tanah

1. Air Adhesi

Air adhesi ini merupakan selaput tipis (film air) yg menyelimuti butir tanah tapi bukan merupakan cairan, jumlahnya paling sedikit dan tidak tersedia bagi tanaman. Nilai pF nya hampir 7,0

2. Air Higroskopis

- **Air ini juga bukan berupa cairan, merupakan selaput tipis (film air) yang menyelimuti agregat tanah, tebalnya kira-kira 15 – 20 molekul air, tidak tersedia bagi tanaman. Nilai pF - nya 4,5 – 7,0**

3. Air Kapiler

- **Air kapiler ini dibagi ke dalam dua keadaan yaitu :**
 - 1. Kapasitas Lapangan (KL)**
 - 2. Keadaan Titik Layu Permanen (TLP)**

Kapasitas Lapangan

- Keadaan air pada kapasitas lapangan adalah air dalam tanah sesudah air gravitasi turun sama sekali.

Dicapai pada saat tanah yang jenuh air karena hujan lebat atau irigasi kemudian dibiarkan selama 48 jam sehingga air gravitasi sudah turun sama sekali.

Keadaan ini air dalam tanah tersedia bagi tanamannm dlm keadaan paling banyak, pori makro terisi udara pori mikro (kapiler) terisi air.

Kekuatan yg menahannya sebesar $\frac{1}{3}$ atm atau pF nya 2,54.

Nilai Kapasitas Lapangan tergantung :

- Tekstur**
- Struktur**
- Bahan organik**
- Jenis koloid**
- Macam kation pada koloid**

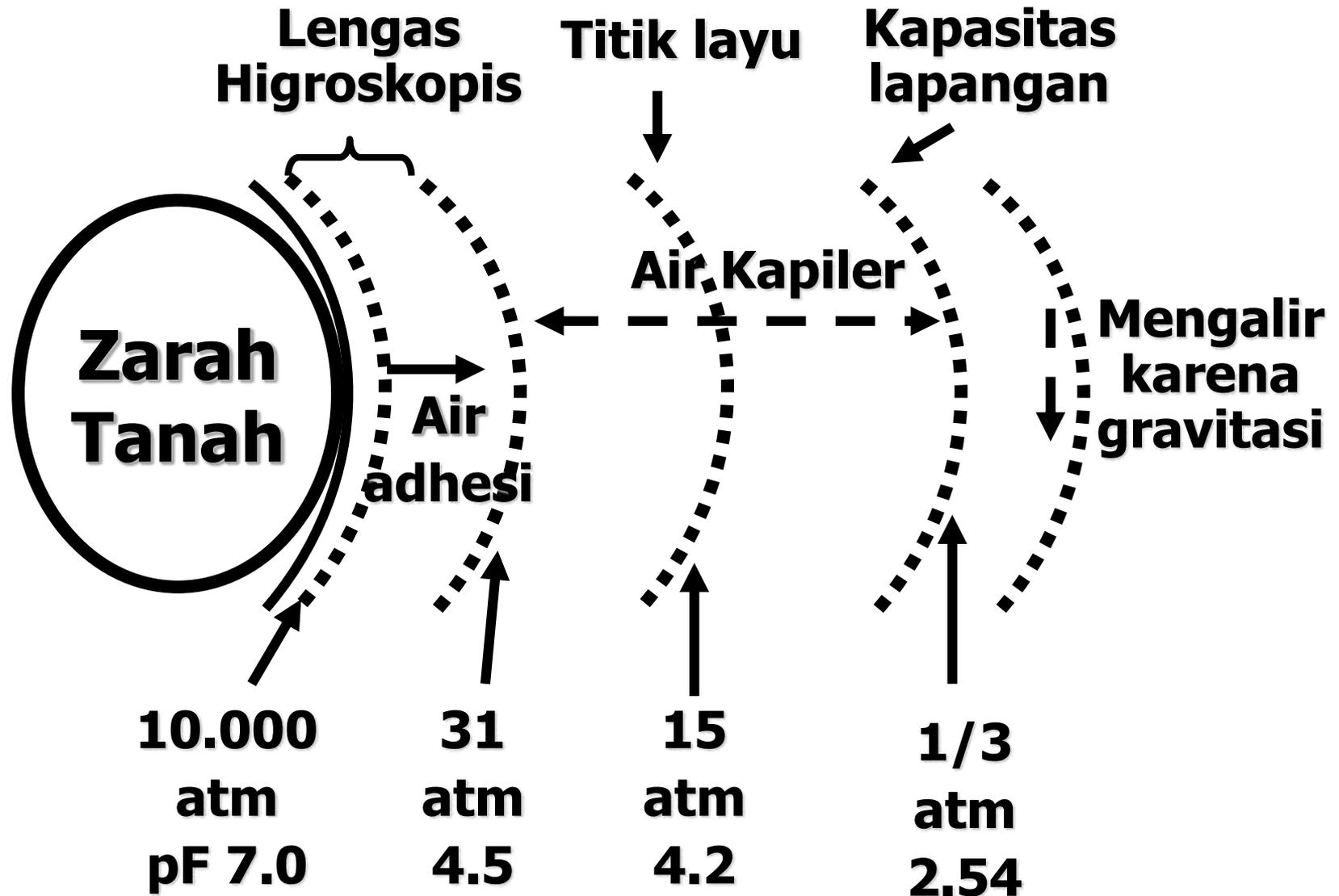


Titik layu permanen

- **Disebut juga Koefisien Layu, merupakan kandungan air tanah yang paling sedikit, akar tanaman tidak mampu menyerapnya sehingga tanaman mulai layu kemudian mati. Air ini ditahan oleh tanah dengan kekuatan 15 atm atau pF 4,2.**

Klasifikasi lengas tanah	pF
Air penyusun dan air antar lapis	> 7.0
Air higroskopis	7.0 – 4.5
Air kapiler	4.5 – 2.5
Air gravitasi	2.5 – 0.0
Air bumi (ground water)	bebas tegangan

Keadaan Air Tanah



Tinggi satuan kolom ari	Log tinggi kolom air (pF)	atm	
10	1	0.01	
100	2	0.10	
346	2.53	1/3	} Air tersedia
1.000	3	1	
10.000	4	10	
15.849	4.18	15	
31.623	4.5	31	
100.000	5	100	
1.000.000	6	1.000	
10.000.000	7	10.000	

(Brady, 1974)

Permeabilitas

→ Laju pergerakan suatu zat cair melalui media berpori (konduktivitas hidrolika)

Aliran jenuh air : sebagian besar pori-pori diisi oleh air, ini terjadi di dalam zona air bumi atau kadangkala setelah hujan lebat atau selama irigasi

Air dalam kondisi ini bebas tegangan

Laju aliran jenuh :

pasir > geluh > lempung

Aliran tidak jenuh : pori-pori hanya sebagian saja berisi air, air dipengaruhi tegangan

pasir < geluh < lempung

Kelas Permeabilitas tanah

Keterangan	Laju Permeabilitas cm/jam	Simbol angka
Sangat Lambat	$< 0,13$	1
Lambat	$0,13 - 0,51$	2
Agak Lambat	$0,51 - 2,00$	3
Sedang	$2,00 - 6,35$	4
Agak Cepat	$6,35 - 12,70$	5
Cepat	$12,70 - 25,40$	6
Sangat Cepat	$> 25,40$	7

E. UDARA TANAH

Udara tanah menempati pori-pori makro antara agregat-agregat sekunder tanah

Udara tanah penting bagi pernafasan akar tanaman dan kegiatan jasad hidup tanah

Udara tanah berbeda dengan udara atmosfer dalam hal :

- Udara tanah mengandung uap air >**
- $O_2 <$; $CO_2 >$**
- Udara tanah tidak selalu menempati pori makro tapi silih berganti dengan lengas tanah dan berasal dari atmosfer, proses kimia atau dari kegiatan biologi tanah**

Komposisi Udara Tanah

→ Tergantung dari proses biologi serta sukar mudahnya tukar menukar dengan udara atmosfer

Contoh udara tanah sawah yang bebas air

Gas-gas di lapis olah	Kadar terhadap % volume udara tanah
N₂	75 – 11
O₂	2.8 – 0
CO₂	2 – 20
CH₄	17 – 73
H₂	0 – 2.2

Faktor-faktor yang mempengaruhi komposisi udara tanah :

- Iklim**
- Sifat tanah seperti tekstur, struktur, tinggi permukaan air tanah**
- Sifat tanaman**

Keterdapatn tanaman mengurangi kadar O_2 dan menambah CO_2 , bo dan kegiatan jasad renik $CO_2 >$ (jika aerob), $CH_4 >$ (jika anaerob)

PENYUSUN TANAH YANG BERPERAN AKTIF DALAM REAKSI KIMIA TANAH ADALAH ORGANIK DAN CLAY (LEMPUNG) YANG MEMPUNYAI DIAMETER < 1 MIKRON.

BAHAN TERSEBUT DINAMAKAN KOLOID TANAH.

- MEMPUNYAI BIDANG PERMUKAAN TANAH YANG LUAS UNTUK PERUNIT MASSA
- TERSUSPENSIF DALAM AIR
- BERMUATAN NEGATIF

KOLOID TANAH :

AN ORGANIK	<ol style="list-style-type: none">1. KOLOID SILIKAT ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) HIDROFIL, BERMUATAN NEGATIF2. HIDROKSIDA BESI [$\text{Fe}(\text{OH})_3$] MENIMBULKAN WARNA MERAH, KUNING, COKLAT ATAU CAMPURANNYA.3. HIDROKSIDA ALUMINIUM [$\text{Al}(\text{OH})_3$]
ORGANIK	KOLOID HUMUS

MINERAL

KOMBINASI 2 ATAU LEBIH UNSUR YANG TERDAPAT DALAM KULIT BUMI MEMBENTUK CAMPURAN DISEBUT MINERAL.

MINERAL-MINERAL BERCAMPUR MEMBENTUK BATUAN.

MINERAL LEMPUNG

BERDASARKAN KEJADIANNYA DIBEDAKAN :

1. MINERAL PRIMER

MINERAL YANG TERJADI LANGSUNG DARI MAGMA DAN MENYUSUN DIRI MEMBENTUK BATUAN-BATUAN TERTENTU SEBAGAI KERAK BUMI

2. MINERAL SEKUNDER

MINERAL YANG TERJADI DARI MINERAL PRIMER YANG TELAH MENGALAMI PELAPUKAN, BERKOMBINASI SATU DENGAN YANG LAIN MEMBENTUK MINERAL LAIN

MISAL : MINERAL LEMPUNG

MINERAL LEMPUNG

1. MINERAL LEMPUNG SILIKAT

2. MINERAL LEMPUNG BUKAN SILIKAT : MERUPAKAN KELOMPOK SENYAWA HIDROKSIDA BESI DAN ALUMINIUM

MISAL :

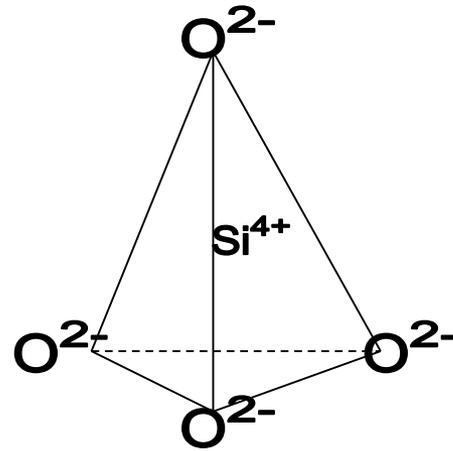
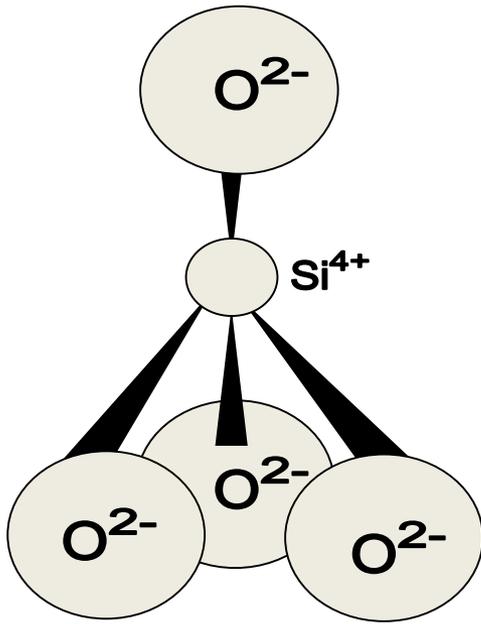
GIBSIT ($\text{AlO}_3\text{H}_2\text{O}$)

GOETIT ($\text{FeO}_3\text{H}_2\text{O}$)

LIMONIT ($\text{FeO}_3\text{nH}_2\text{O}$)

MINERAL LEMPUNG :

- ✓ BERPERAN DALAM KESUBURAN TANAH
- ✓ BERPENGARUH TERHADAP SIFAT DAN CIRI TANAH
- ✓ BERBENTUK KRISTAL
- ✓ DASAR STRUKTURNYA TERDIRI DARI :
 - SILIKAT-TETRAHEDRAL
 - ALUMINA-OKTAHEDRAL

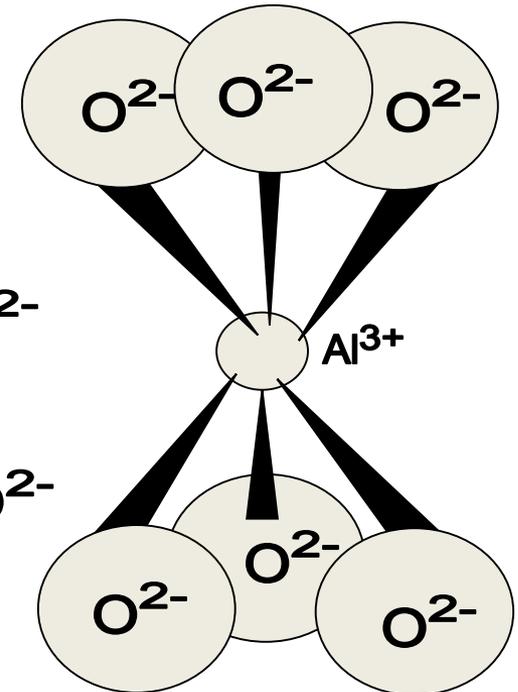
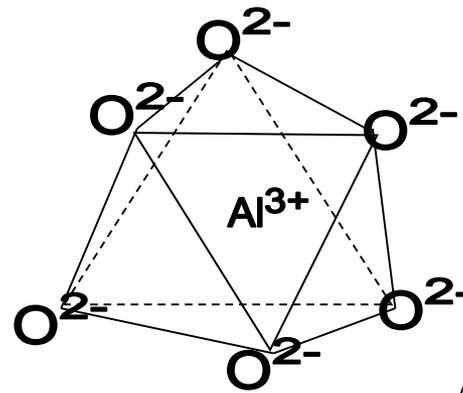


SILIKAT-TETRAHEDRAL

TERDIRI 1 ATOM Si
DIKELILINGI 4 ATOM O

ALUMINIUM-OKTAHEDRAL

TERDIRI 1 ATOM Al
DIKELILINGI 6 ATOM O ATAU
HIDROKSIL



MINERAL LEMPUNG DIBAGI 4 GOLONGAN :

1. TIPE 1:1 = KAOLINIT

HAMPIR TIDAK TERJADI SUBSTITUSI ISOMORFIK

2a. TIPE 2:1 = MONTMORILONIT

TERJADI SUBSTITUSI ISOMORFIK Al^{3+} OLEH Mg^{3+} , Si^{4+}
OLEH Al^{3+}

2b. TIPE 2:1 = VERMIKULIT

TERJADI SUBSTITUSI ISOMORFIK. KAPASITAS JERAPAN
KATION MELEBIHI YANG LAIN.

2c. TIPE 2:1 = ILLIT

15%Si DIGANTIKAN OLEH Al, KELEBIHAN NEGATIF
DIJANUHI K.

3. TIPE 2:2 = KLORIT

2 LEMBAR OKTAHEDRAL $Mg(OH)_2$ DIAPIT 2 LEMBAR
TETRAHEDRAL SILIKA.

4. TIPE 2:1:1 = PALIGORSKIT;SEPIOLIT

MINERAL LEMPUNG ALOFAN :

- ✓ AMORF TIDAK KRISTALIN
- ✓ PADA TANAH ABU VULKAN
- ✓ KOMPOSISI KIMIANYA DICIRIKAN RASIO Al:Si = 1:1 ATAU 1:2
- ✓ RUMUS KIMIA : $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$

TIPE LEMPUNG LAIN DALAM KELOMPOK INI ADALAH IMOGOLIT.

- ✓ TERDAPAT DALAM ABU VOLKANIK ATAU BANTALAN BATU APUNG
- ✓ RUMUS KIMIA : $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$

TIPE MINERAL 1:1

- TERDIRI DARI 1 LEMPENG SILIKA TETRAHEDRAL DAN 1 LEMPENG ALUMINA OKTAHEDRAL
- KEDUA LAPISAN TIAP UNIT KRISTAL DIKAT OLEH ATOM OKSIGEN YANG DIPEGANG BERSAMAAN OLEH ATOM SI DAN AL DARI MASING-MASING KISI, AKIBATNYA KISI MANTAP DAN TIDAK TERJADI PENGEMBANGAN ANTARUNIT BILA BASAH (DAYA MENGEMBANG-MENGERUT SERTA PLASTISITASNYA RENDAH)
- SUBSTITUSI ISOMORFIK HANYA SEDIKIT
- AKIBAT ADANYA GUGUS HIDROKSIL YANG TERBUKA, TIPE INI MEMPUNYAI MUATAN NEGATIF YANG BERUBAH-UBAH TERGANTUNG pH
- KAPASITAS TUKAR KATIONNYA RENDAH (1-10 me/100g)
- KAPASITAS JERAPANNYA KECIL KARENA LUAS PERMUKAAN SPESIFIKNYA KECIL (7-30 m²/g)
- KELOMPOK TERDIRI : KAOLINIT; HALOYSIT; ANAUKSIT DAN DIKIT
- KAOLINIT DITEMUKAN DALAM TANAH ULTISOL, OXISOL, ALFISOL.

TIPE MINERAL 2:1 (MENGEMBANG)

- DICIRIKAN LEMPENG ALUMINA OKTAHEDRAL DIJEPIT OLEH DUA LEMPENG SILIKA TETRAHEDRAL
- ANGGOTA : MONTMORILONIT; BEIDELIT; NONTRONIT; SAPONIT; DAN VERMIKULIT
- IKATAN ANTAR KRISTAL LEMAH SEHINGGA MUDAH MENGEMBANG BILA BASAH DAN MENERUT BILA KERING (PLASTISITAS DAN KOHESI TINGGI) DAN DAPAT MENYEMAT ION LOGAM DAN SENYAWA ORGANIK
- DIAMETER 0.01-1 MIKRON, LUAS PERMUKAAN SPESIFIK 700-800 M²/g
- KTK 70 me/100g
- SEDIKIT TERJADI SUBSTITUSI ISOMORFIK
- SUBSTITUSI ISOMORFIK OLEH Mg MENYEBABKAN MEMPUNYAI MUATAN NEGATIF YANG TINGGI
- MONTMORILONIT MEMPUNYAI Mg DAN Fe DALAM POSISI OKTAHEDRAL. BEIDELIT TIDAK PUNYA Mg DAN Fe TAPI Al TINGGI
- MUATAN BERUBAH-UBAH HANYA SEDIKIT, SEBAB SEMUA GUGUS HIROKSIL TERLETAK DALAM BIDANG PERMUKAAN YANG TERTUTUP JARINGAN ATOM OKSIGEN
- MONTMORILONIT SEBAGAI PENYUSUN TANAH-TANAH : VERTISOL, MOLLISOL, ALFISOL, DAN ENTISOL
- JARAK LAPIS : 12.4-14A⁰

TIPE MINERAL 2:1 (TIDAK MENGEMBANG)=HIDRUSMIKA

- ✓ ANGGOTA TERPENTING ADALAH ILLIT
- ✓ MENGANDUNG KALIUM PADA ANTARLAPISANNYA
- ✓ SIFAT-SIFAT SEPERTI HIDRASI, MENJERAP KATION, MEMUAI DAN MENERUT, PLASTISITAS SERTA DISPERSI TIDAK SEINTENSIF MONTMORILONIT, TETAPI LEBIH JIKA DIBANDING KAOLINIT
- ✓ KTK 30 me/100g
- ✓ JARAK LAPIS 10Å⁰
- ✓ DITEMUKAN DALAM TANAH : ENTISOL, INCEPTISOL, ARIDISOL, MOLLISOL, ALFISOL, SPODOSOL

TIPE MINERAL 2:2

- ✓ ANGGOTA TERPENTING ADALAH KLORIT
- ✓ TERDIRI DARI 2 LEMBAR TETRAHEDRAL SILIKA DAN 2 LEMBAR OKTAHEDRAL MAGNESIUM
- ✓ LEMPENG MAGNESIUM DISEBUT BRUSIT [Mg(OH)₂]
- ✓ SUBSTITUSI ISOMORFIK TERJADI DALAM LAPISAN TETRAHEDRAL MAUPUN OKTAHEDRAL
- ✓ DITEMUKAN DALAM TANAH : ARIDISOL, MOLLISOL, ULTISOL

ASAL MUATAN NEGATIF PADA LEMPUNG :

1. SUBSTITUSI ISOMORFIK

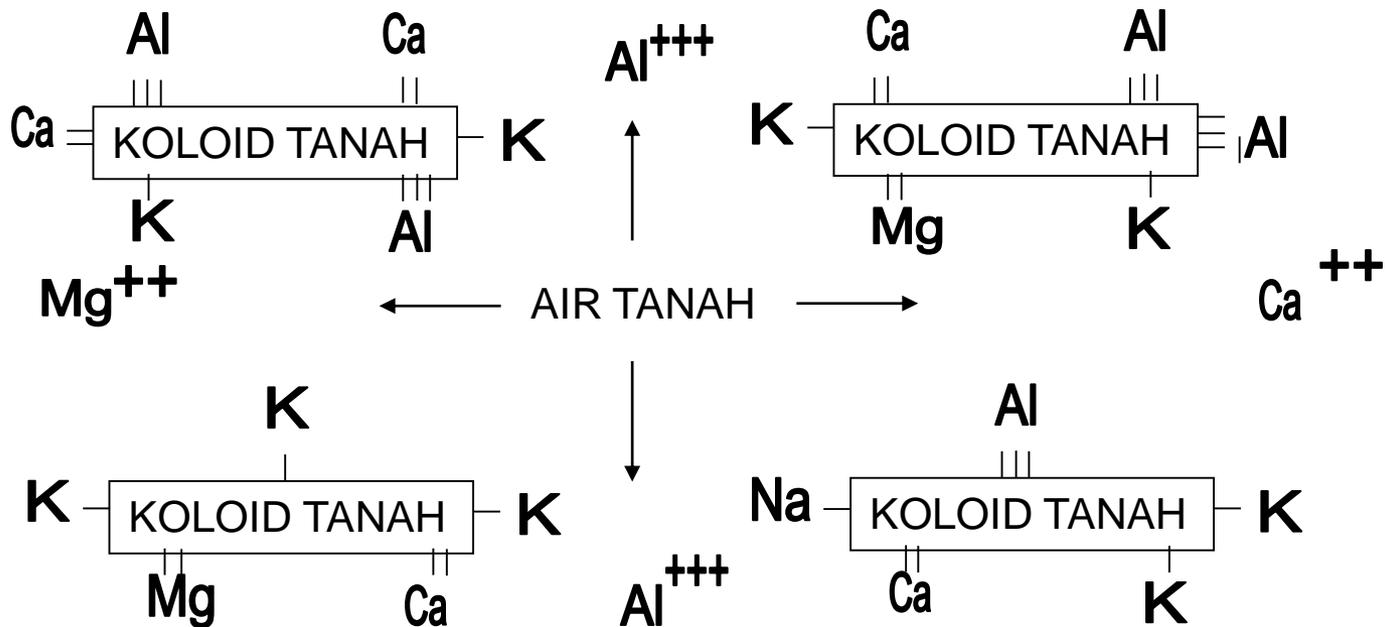
ADALAH PERISTIWA DIMANA Si DALAM TETRAHEDRAL ATAU Al DALAM OKTAHEDRAL SERING DIGANTIKAN OLEH ION LAIN YANG BERUKURAN SAMA

2. DISOSIASI DARI GUGUS HIDROKSIL YANG TERBUKA

KEBERADAAN GUGUS OH PADA TEPI KRISTAL ATAU PADA BIDANG YANG TERBUKA, PADA pH TINGGI, HIDROGEN DARI HIDROKSIL TERURAI, SEHINGGA PERMUKAAN LEMPUNG MENJADI BERMUATAN NEGATIF (MUATAN BERUBAH-UBAH ATAU MUATAN TERGANTUNG pH)

PERTUKARAN KATION

KOLOID TANAH BERMUATAN NEGATIF AKAN MENARIK ION-ION BERMUATAN POSITIF YANG DISEBUT KATION.

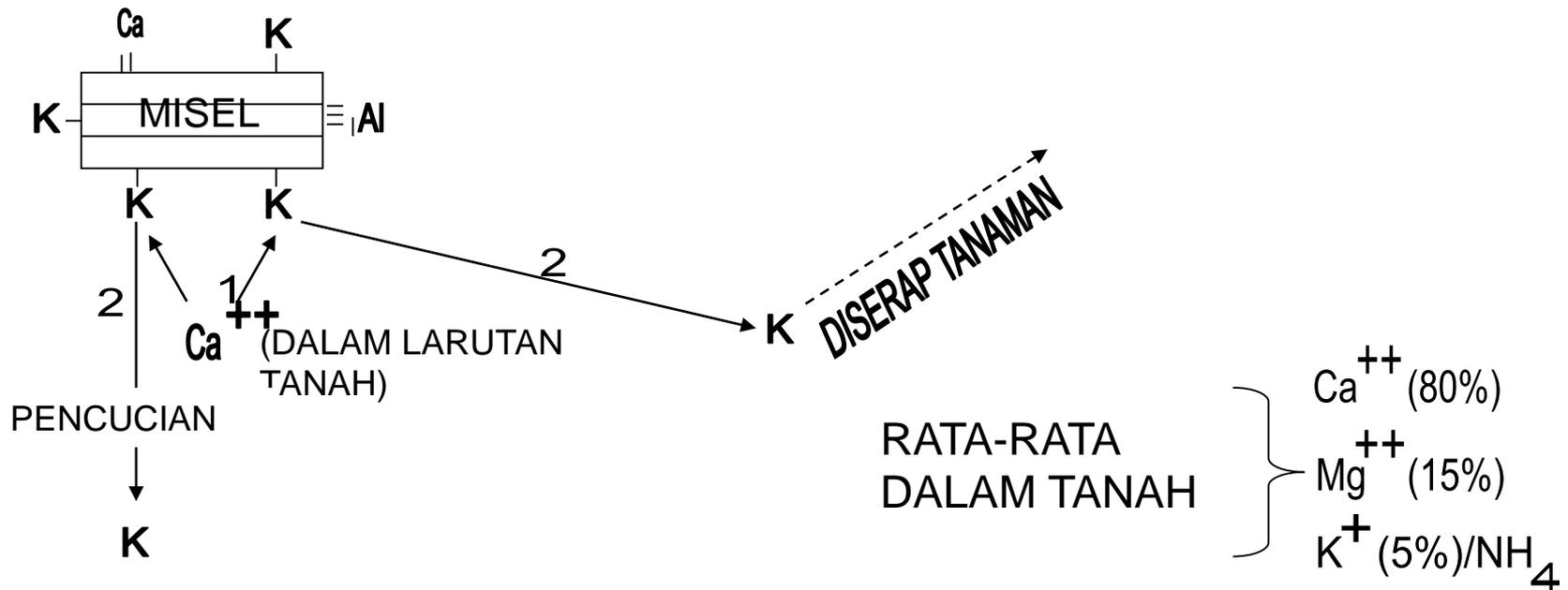


4 KOLOID DENGAN SELAPUT AIR SEPERTI FILM MERUPAKAN LARUTAN TANAH

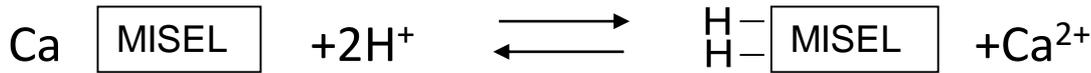
KATION-KATION BERASAL DARI :

- ✓ PEMUPUKAN
- ✓ PELAPUKAN MINERAL TANAH DAN BAHAN ORGANIK
- ✓ PELAPUKAN/PATAHAN MINERAL LEMPUNG (Al^{+++})
- ✓ AIR (H^+)

PERTUKARAN KATION TERJADI BILA :

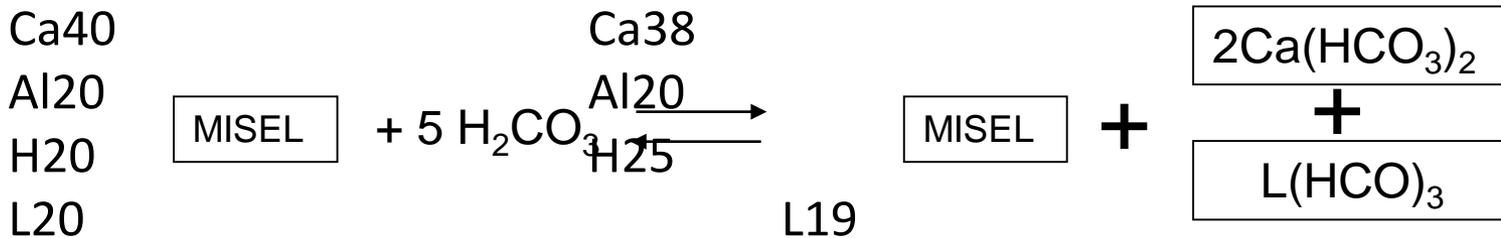


Contoh pertukaran kation :



Pertukaran kation di alam

Kita umpamakan : (L=ion logam bervalensi 1)



Pertukaran kation terjadi atas dasar jumlah ekuivalen.

Muatan negatif pada bidang adsorpsi koloid dinetralkan oleh kation-kation :
Ca, K, Mg, Na, NH₄, Al, Fe, H, dan lain-lain.

Pengikatan ion-ion pada bidang adsorpsi berbeda-beda, tergantung :

1. Konsentrasi atau jumlah ion-ion
2. Jumlah muatan pada ion
3. Kecepatan bergerak (aktivitas) tergantung :
 - a. Ukurannya
 - b. Tebalnya selubung air hidrat

Kation bervalensi 1 diikat dengan kekuatan kecil dibanding dengan yang bervalensi 3 yang terbesar.

Kation yang berselubung air hidrat tebal lebih mudah ditukar.

Mudah tidaknya ditukar, diberikan dalam **DERET LYOTROPH** :

$\text{Li} > \text{Na} > \text{K} > \text{NH}_4 > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{Ba} > \text{H}$

Kation di sebelah kiri lebih mudah dilepaskan daripada ion-ion yang terletak disebelah kanannya.

Definisi KTK :

Banyaknya kation yang dapat dijerap oleh tanah persatuan berat tanah (biasanya per 100g), dan yang dapat dipertukarkan.

Dinyatakan dalam satuan me/100g tanah kering oven.

1 me = 1 miligram hidrogen atau sejumlah ion lain

Faktor yang mempengaruhi KTK :

1. Tekstur tanah (+jumlah lempung)

Kasar —————→ KTK rendah

Halus —————→ KTK tinggi

2. Jenis lempung

Tipe 1:1 —————→ KTK rendah

Tipe 2:1 —————→ KTK tinggi

Illit 37 me/100g

Montmorilonit 100 me/100g

Kaolinit 5 me/100g

3. Jumlah kandungan bahan organik

Setiap 1% BO KTK bertambah 2 me/100g tanah

Humus —————→ KTK 200me/100g tanah

4. Reaksi tanah/pH

Secara umum :

pH rendah —————→ KTK rendah

pH tinggi —————→ KTK tinggi

5. Pengapuran dan pemupukan

(Berhubungan dengan pH)

Persentase Kejenuhan Basa

KTK
Kejenuhan basa tanah } Indikasi kesuburan

Kation-kation yang terdapat dalam jerapan koloid dapat dibedakan
Kation basa dan kation asam

Kation basa : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ ; Kation asam : H^+ , Al^{+++}

Persentase kejenuhan basa menunjukkan perbandingan antara jumlah kation basa dengan jumlah semua kation (basa+asam) yang terdapat dalam kompleks jerapan tanah

$$\text{Kejenuhan Basa} = \frac{\text{jumlah kation basa}}{\text{KTK}} \times 100\%$$

%KB=40, artinya 40% bagian KTK diduduki basa dan 60% bagian didudki H^+ dan Al^{+++} .

KB tanah pH tinggi > tanah pH rendah

UNSUR HARA

Jaringan tanaman segar tersusun atas C,H dan O sebesar 94-99.6%

0.5-6% berasal dari unsur hara dalam tanah

PERAN UNSUR HARA

1. Sebagai penyusun molekul organik yang kompleks (terutama unsur mikro)
2. Membantu peranan enzim
3. Mempertahankan keseimbangan ion, yaitu antara kation bervalensi satu dan dua
4. Berperan dalam sistem oksidasi-reduksi karena sifat valensinya yang dapat berubah

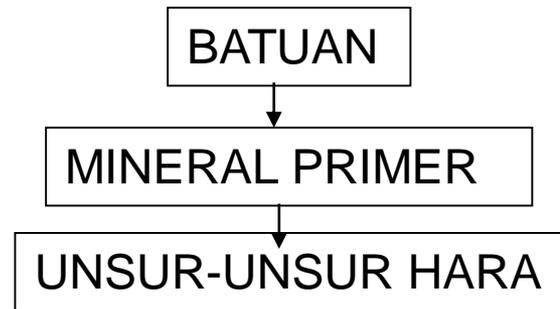
Tanaman mengabsorpsi unsur hara dalam bentuk ion yang terdapat disekitar perakaran.

Berdasarkan kebutuhan tanaman, dibagi 2 kelompok :

- ✓ Unsur hara makro
- ✓ Unsur hara mikro

Unsur hara dalam tanah berasal dari :

- ✓ Bahan organik
- ✓ Udara
- ✓ Air hujan
- ✓ Batuan/mineral



Si, Al	→	mineral lempung
K, Na	→	bahan pendispersi
Mn, Fe	→	proses oksidasi reduksi pembentukan agregat
Ca, Mg	→	bahan penjonjot

UNSUR HARA :

1. Membentuk senyawa baru yang sukar larut
2. Tersdsorbsi pada permukaan koloid tanah
3. Tercuci ke lapisan bawah ke laut
4. Diserap tanaman/jasad renik

Kekurangan unsur-unsur hara esensial akan menimbulkan gejala pada tanaman, seperti diserang penyakit, hal ini disebut penyakit fisiologis

Unsur hara dapat dipakai untuk indikasi kesuburan tanah

Unsur hara yang dibutuhkan tanaman (esensial)

Kriterianya (Arnon):

1. Kekurangan unsur tersebut menghambat pertumbuhan
2. Gejala kekurangan unsur tersebut dapat dihilangkan hanya dengan penambahan unsur tersebut
3. Unsur tersebut harus secara langsung terikat dalam gizi makanan tanaman

Unsur hara makro (dibutuhkan dalam jumlah banyak)

C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S

Unsur hara mikro (dibutuhkan dalam jumlah sedikit)

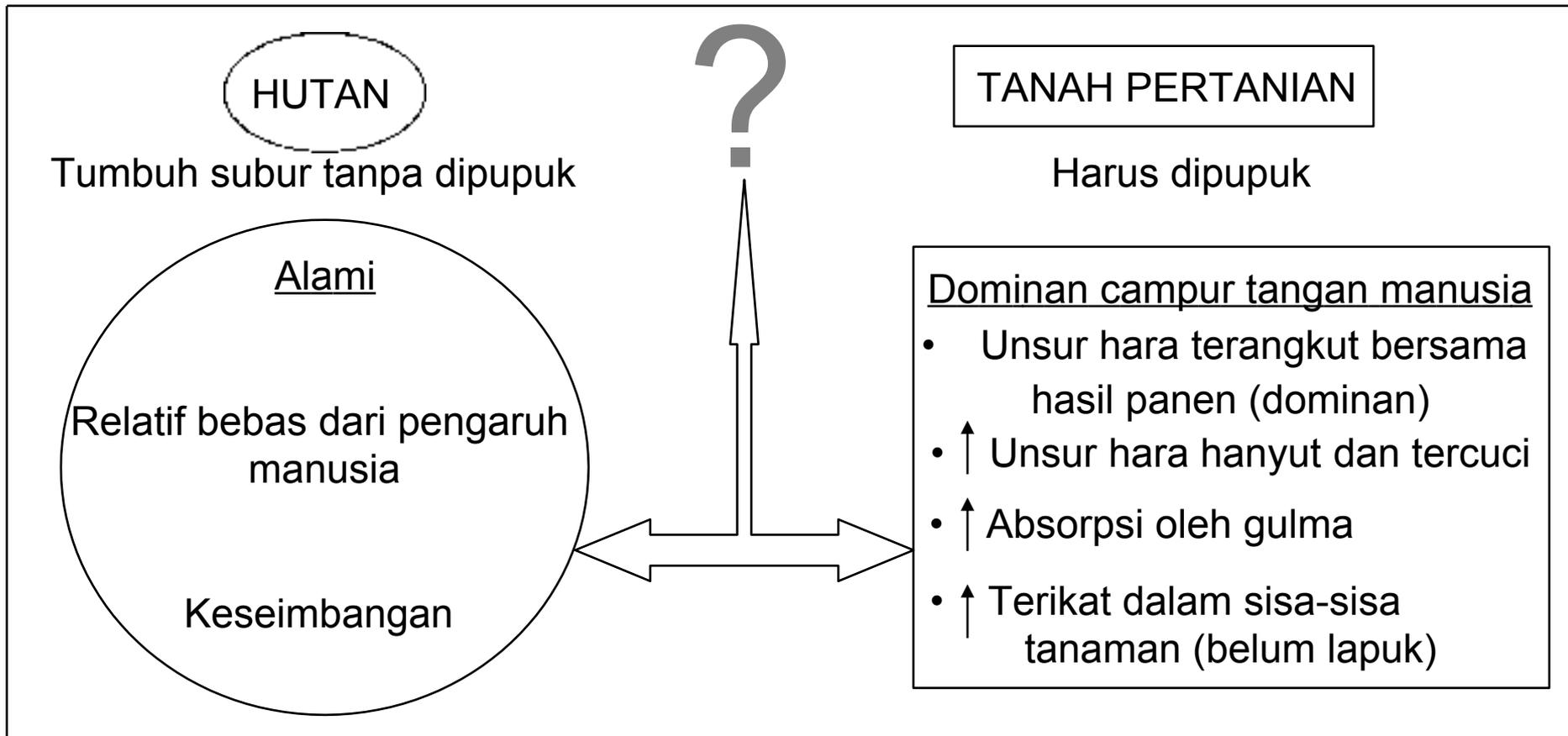
Fe, Mn, Mo, Cu, B, Zn, Cl, Na, Va, Si

PERTEMUAN 10

PUPUK DAN PEMUPUKAN

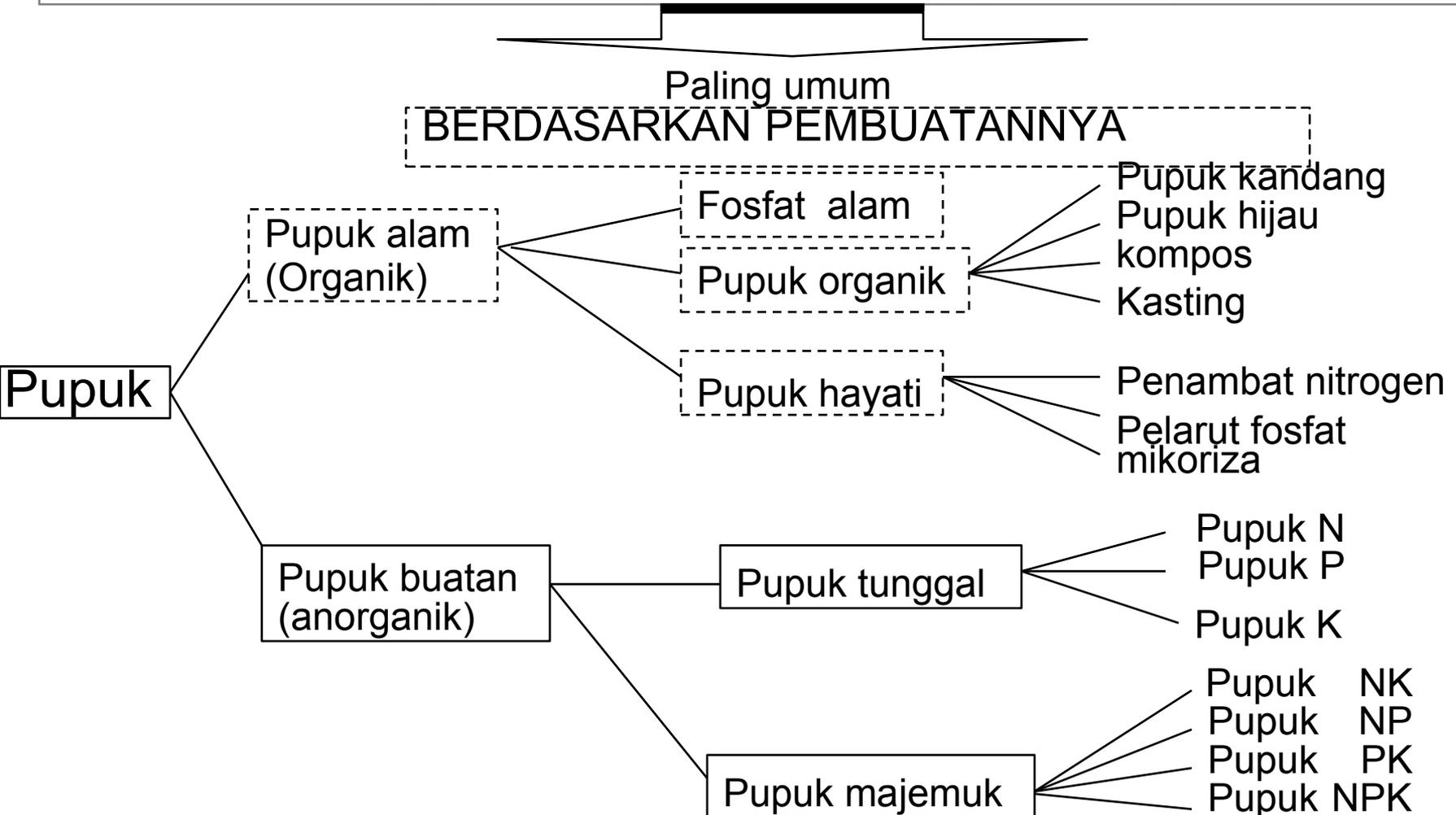
I. PENDAHULUAN

- Pengertian
 - pupuk
 - pemupukan
- Mengapa harus memupuk



II. KLASIFIKASI PUPUK

- Berdasarkan kandungan unsur haranya (Pupuk tunggal, majemuk)
- Berdasarkan kadar unsur haranya (pupuk berkadar hara tinggi, sedang, dan rendah)
- Berdasarkan reaksi kimianya (Pupuk masam, netral, dan basa)
- Berdasarkan kelarutannya (Pupuk yang larut dalam air, asam sitrat, dan asam keras)
- Berdasarkan pembuatannya (Pupuk alam, pupuk buatan)



1. PUPUK ALAM

↔ Pupuk yang langsung didapat dari alam

Jumlah dan jenis unsur hara di dalamnya terdapat secara alami

↔ JENIS-JENIS PUPUK ALAM

1.1 Pupuk Fosfat alam (Rock Phosphate)

- ② Pembuatan : Bahan batuan fosfat alam $\xrightarrow{\text{digiling}}$ serbuk halus berwarna kecoklat-coklatan muda
- ② Bahan utama : trikalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)
- ② Kadar P_2O_5 : 27 – 41 %
- ② Penentu kualitasnya :
 - kandungan P_2O_5
 - kehalusan butir-butirnya
- ② Sangat cocok untuk :
 - lahan yang reaksi tanahnya sangat asam
 - tanah-tanah organik
- ② Akan sangat berguna bila :
 - fosfat dalam pupuk ini dibutuhkan oleh tanaman saat pertumbuhan kemudian
 - digunakan untuk tanaman-tanaman tahunan
- ② Sifat-sifat :
 - ⊗ Hanya larut dalam asam keras
 - ⊗ Tidak higroskopis
 - ⊗ Reaksi fisiologisnya alkalisReaksi dlm suasana asam :
$$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{CO}_3 \longrightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaCO}_3$$
- ② Contoh : fosfat Cirebon, Agrophos, Christmas Island Rock Phosphate (CIRP)

Tabel 1. Pupuk fosfat alam

Jenis pupuk	Contoh pupuk	Kadar unsur hara
Fosfat alam	1. Agrophos	P_2O_5 : 25 %
	2. Fosfat Cirebon	P_2O_5 : 25-28 %
	3. Christmas Island Rock Phosphate	P_2O_5 : 36 %

1.2 Pupuk organik

🌴 Pupuk yang berasal dari sisa-sisa tanaman, hewan dan manusia

🌴 Fungsi :

- Memperbaiki sifat fisik tanah : Struktur tanah, poroitas tanah, daya mengikat air, tata udara tanah, ketahanan terhadap erosi dan lain-lain
- Memperbaiki sifat biologi tanah : kehidupan mikroorganisme tanah
- Memperbaiki sifat kimia tanah : menambah unsur hara

🌴 Tanah yang banyak memerlukan pupuk organik

Tanah yang sangat miskin, Tanah pasir, Tanah yang banyak mengalami erosi 🌴 Keuntungan dan kerugian penggunaan pupuk organik

🌴 Jenis-jenis pupuk organik : Pupuk kandang, Pupuk hijau, Kompos, Kascing

1.2.1 Pupuk kandang : Pupuk yang berupa kotoran padat dan cair yang dihasilkan oleh hewan

Umumnya terdiri dari campuran 0,5% N, 0,25% P_2O_5 dan 0,5% K_2O

🌴 Jenis-jenis pupuk kandang

- o Berdasarkan kondisinya : pupuk segar, pupuk matang
- o Berdasarkan proses penguraian : pupuk panas, pupuk dingin

o Berdasarkan jenis hewan yang menghasilkan :

Pupuk sapi dan kerbau } pupuk
Pupuk babi } dingin

Pupuk kuda
Pupuk kambing dan biri-biri } pupuk panas
Pupuk ayam

Perkiraan produksi pupuk kandang

Tabel 2. Perkiraan produksi pupuk kandang

Jenis hewan	Umur/berat badan (kg)	Hasil pupuk segar (ton/tahun)	Hasil pupuk matang (ton/tahun)
1. Sapi	Dewasa	7,5	5
2. Kerbau	Dewasa	10	6,5
3. Babi	100	1,8 – 2,1	1,4 – 1,7
4. Kuda	500	7,5 – 10	6,5 – 8,0
5. Kambing dan biri-biri	45	0,8 – 1,1	0,6 – 0,9

Kandungan unsur hara pada pupuk kandang dipengaruhi oleh :

1. Jenis hewan yang menghasilkan
2. Umur hewan
3. Kualitas makanan hewan
4. Jumlah dan jenis alas kandang
5. Cara menyimpan

Sifat-sifat pupuk kandang :

- kotoran kambing mengandung N dan K masing-masing 2x lebih besar dp kotoran sapi
- Kotoran babi mengandung P 2x lebih banyak dp kotoran sapi
- Dalam semua pupuk kandang, P dan unsur mikro selalu terdapat dalam kotoran padat sedangkan sebagian besar N dan K tdp dalam kotoran cair (urine)
- Kandungan K dan N dalam urine masing-masing 5x dan 2-3 x lebih banyak dp kotoran padat.

1.2.2 Pupuk hijau : tanaman atau bagian tanaman yang masih muda yang ditanam ke dalam tanah dengan maksud untuk menambah bahan organik dan unsur-unsur hara tanaman.

☛ **Kegunaan pupuk hijau** :

1. Memperkaya N dalam tanah
2. Memperbaiki kehidupan mikroorganisme
3. Memperkaya tanah dengan humus
4. Dapat mengembalikan unsur-unsur hara yang tercuci
5. Menekan pertumbuhan gulma
6. Melindungi lahan dari terik matahari, jatuhnya hujan yang deras yg dpt merusak struktur tanah dan terjadinya erosi.

☛ **Jenis-jenis pupuk hijau** :

a. Penutup tanah : berbatang lembek, tumbuh menjalar

Contoh : *Calopogonium* sp, *Centrosema* sp, *Vigna husei* dan lain-lain

b. Tumbuh perdu : tumbuh cepat, berdaun lebat, tahan pangkasan, tidak merambat

Contoh : *Crotalaria* sp, *Theprosia* sp, *Flemingia congesta*
Desmodium gyroides

c. Tumbuh tinggi : pertumbuhan cepat dan bertajuk rindang, perakaran dalam, batang dan cabang-cabangnya keras, tahan terhadap pangkasan

Contoh : *Leucaena* sp, *Albizia* sp, *Erythrina* sp, *Gliricidia maculata*,
Accasia decurens

1.2.3 Kompos : bahan organik yang dibusukkan atau dilapukkan pada suatu tempat yang terlindung dari matahari dan hujan, serta diatur kelembabannya sehingga menjadi matang dan mempunyai rasio C/N yang rendah (mendekati rasio C/N tanah) .

🕒 **Ciri-ciri kompos yang baik** : berwarna coklat, berstruktur remah, berkonsistensi gembur, berbau daun yang lapuk

☉ Bahan pembuatan kompos:

- jerami padi (C/N 50-70)
- batang jagung (C/N 100)
- kulit buah kopi (C/N 15-20)
- kotoran ternak dan sisa-sisa makanan ternak
- daun-daunan segar (C/N 10-20)
- sampah pasar / kota (organik)

Tabel 3. Pupuk organik

Jenis pupuk	Contoh pupuk	H ₂ O (%)	Kadar unsur hara (Hardjowigeno, 1995)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		%.....		
Pupuk kandang	1. Pupuk sapi	86	0,29	0,17	0,35
	2. Pupuk domba	69	0,55	0,31	0,15
	3. Pupuk kuda	78	0,44	0,17	0,35
	4. Pupuk babi	87	0,60	0,41	0,13
	5. Pupuk ayam	55	1,70	1,90	1,50

1.2.4 Pupuk kascing : pupuk organik yang dibuat dengan melibatkan cacing tanah. Kascing merupakan kotoran cacing tanah yang bercampur dengan tanah atau bahan lainnya yang merupakan media cacing tanah, yang telah siap untuk diserap oleh tanaman.

☉ Jenis cacing tanah yang banyak digunakan : *Lumbricus rubellus*

☉ Bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan kascing :

- daun-daunan
- limbah pertanian
- limbah rumah tangga
- kotoran ternak dan sisa-sisa makanan ternak maupun manusia
- berbagai limbah industri asalkan terhindar dari bahan-bahan yang berbahaya

✂Pembuatan kascing

- a. pembuatan medium
- b. persiapan benih dan penebarannya
- c. Pemeliharaan
- d. Panen..... Kascing dan cacing (Metode piramida)

✂Kelebihan kascing :

- Waktu penguraian bahan organik menjadi lebih cepat karena tidak hanya diuraikan oleh kumpulan mikroorganisme tetapi juga dibantu oleh cacing
- Mengandung unsur hara yang dapat tersedia langsung bagi tanaman

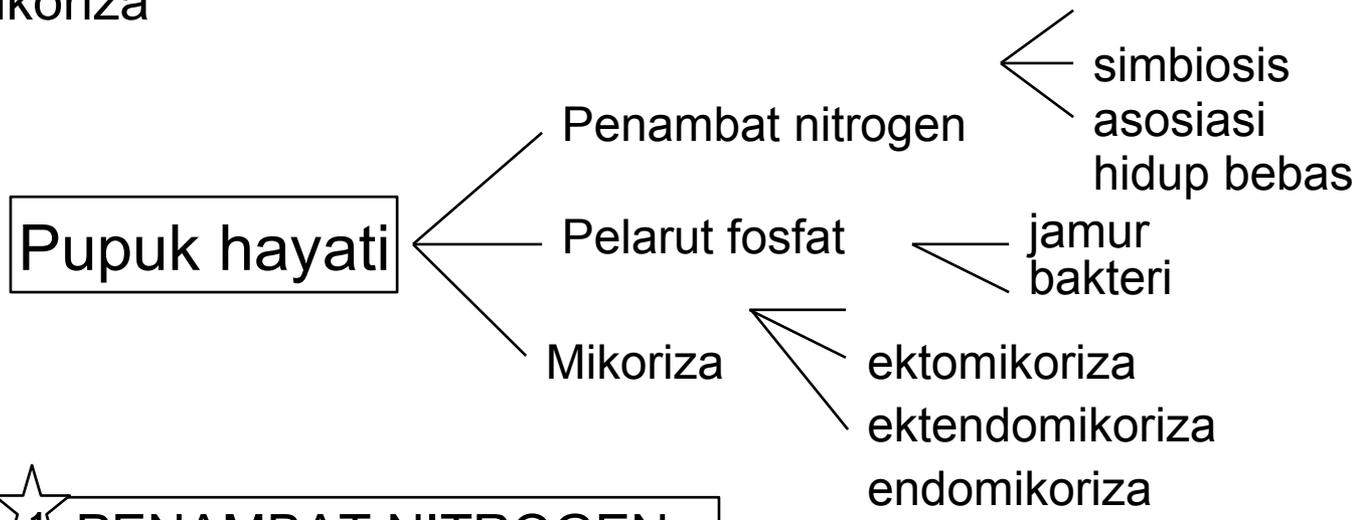
Tabel 4. Analisis kimia pupuk kascing (bahan dasar limbah rumah tangga dan pasar)

	Variabel	Nilai
1.	pH	7,1
	2 C-organik (%)	12,8
3	N-total (%)	1,7
4	P-Bray	(%)
5	P-	
71,0	total (HCl 25 %) (ppm)	621,0
6	Susunan kation (me/100 g tanah)	
	Ca	29,2
	Mg	40,9
	K	18,1
	Na	1,0

7	KTK (me/100 g tanah)	61,3
8	Kejenuhan basa (%)	74,0

1.3 Pupuk Hayati : mikroorganismenya hidup yang ditambahkan ke dalam tanah dalam bentuk inokulan dan berfungsi untuk memfasilitasi atau menyediakan hara tertentu bagi tanaman.

JENIS-JENIS PUPUK HAYATI : Penambat nitrogen, Pelarut fosfat, Mikoriza



★ 1 PENAMBAT NITROGEN

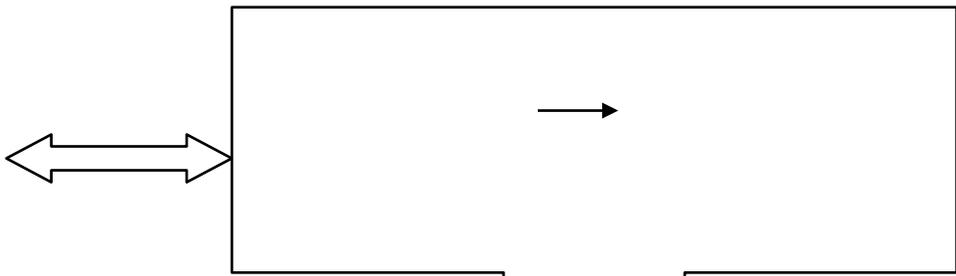
PRODUKSI PUPUK NITROGEN

- reduksi : $N_2 \longrightarrow NH_3$ (dominan)
- oksidasi : $N_2 \longrightarrow NO_3$

(Peoples and Craswell, 1992)

Biologi (BNF) :

- ☉ $N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2NH_3$
- ☉ Tanpa suhu & tekanan tinggi
- ☉ Tidak Perlu energi tinggi



Input thd nitrogen dunia : $139-170 \times 10^6$ ton N/th
 $\longrightarrow \pm 2,1 - 2,6$ kali fiksasi secara kimia

baik kimia maupun biologi

]

Kimia :

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ Suhu
& tekanan tinggi

Perlu energi tinggi

Input thd nitrogen dunia : 65×10^6 ton N/th

Merupakan suatu bentuk hubungan simbiosis mutualisme antara cendawan (mykes) dengan perakaran (rhiza) tumbuhan tinggi.

- Berdasarkan struktur tubuh dan cara infeksi terhadap tanaman inang, mikoriza dikelompokkan menjadi :

1. Ektomikoriza :
 - Terbentuk tubuh buah
 - Akar yang terinfeksi mengalami perubahan bentuk
2. Endomikoriza (vesikula-arbuskula mikoriza / VAM)
 - Tidak membentuk tubuh buah
 - Akar yang terinfeksi tidak berubah bentuk
3. Ektendomikoriza

Suatu bentuk intermediet antara ekto dan endomikoriza.

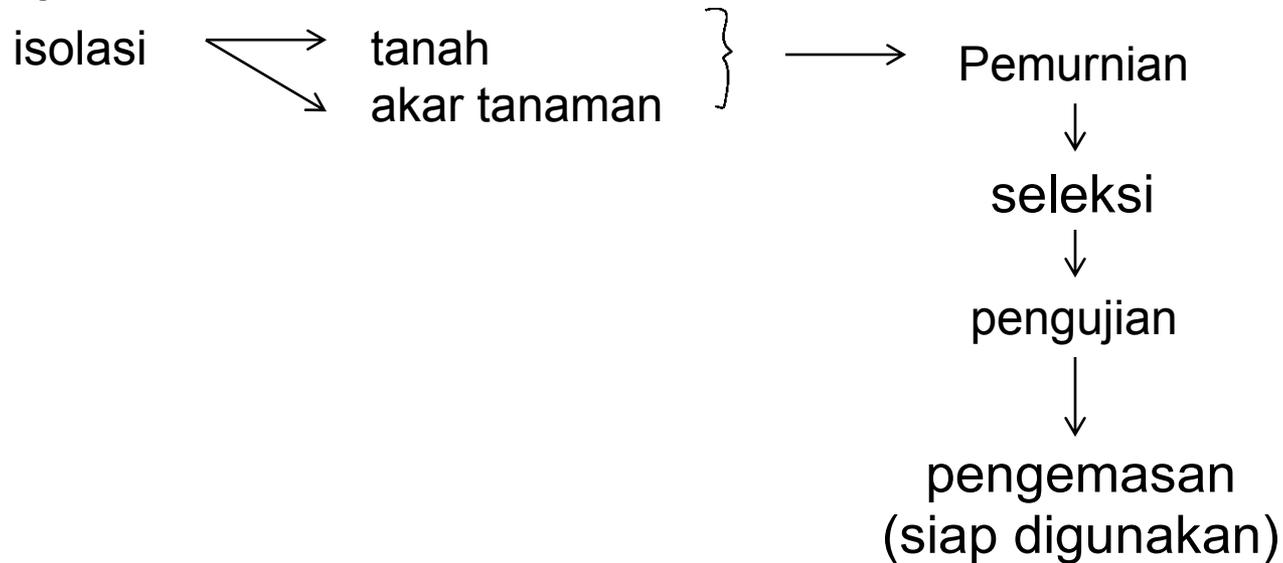
Pengetahuan dari jenis-jenis ini masih sangat terbatas.

- Manfaat :

- ↑ penyerapan unsur hara
- ↑ ketahanan tanaman terhadap kekeringan
- ↑ ketahanan tanaman terhadap serangan patogen akar
- memproduksi hormon dan zat pengatur tumbuh

MENDAPATKAN PUPUK HAYATI

1. Dengan cara isolasi



2. Pupuk hayati yang siap digunakan, saat ini sudah banyak beredar misalnya :

1. Legin
2. Rhizo-plus
3. Biofer 2000-K
4. Biofer 2000-N
5. EM-4
6. E-2001
7. Pupuk hayati rajawali
8. Biota
9. Biomikro
10. Emas

2. PUPUK BUATAN

✂ Pupuk yang dibuat di pabrik dengan jenis dan kadar unsur haranya sengaja ditambahkan dalam pupuk tersebut dalam jumlah tertentu

✂ Sifat-sifat umum :

1. Kadar unsur hara : umumnya makin tinggi makin baik
dalam pupuk N, P, K \longrightarrow % N, P_2O_5 , dan K_2O
2. Higroskopisitas : mudah tidaknya pupuk menyerap uap air yang ada di udara
3. Kelarutan : menunjukkan mudah tidaknya pupuk larut dalam air
4. Kemasaman

Reaksi fisiologis pupuk : masam, netral, alkalis.

masam \longrightarrow \downarrow pH \longrightarrow nilai *ekivalen kemasaman*

jumlah $CaCO_3$ (kg) yang diperlukan untuk meniadakan kemasaman yang disebabkan oleh penggunaan 100 kg suatu jenis pupuk.

contoh : ZA dg ekivalen kemasaman 110

alkalis \longrightarrow \uparrow pH \longrightarrow nilai *ekivalen kebasaan*

jumlah $CaCO_3$ (kg) yang dapat menyamai kemampuan 100 kg suatu jenis pupuk dalam mengurangi kemasaman tanah

Dalam pemupukan :

🗑 Tanah masam : pupuk dg ekivalen kemasaman rendah atau bersifat alkalis

🗑 Tanah basa : pupuk dg ekivalen kemasaman tinggi

5. Bekerjanya : cepat, sedang dan lambat

6. Salt index (SI) / indeks garam

↔ Pemupukan → ↑ konsentrasi garam dlm larutan tanah

↔ Pengukuran SI : kenaikan tekanan osmotik dalam larutan tanah

$$SI = \frac{\text{kenaikan tekanan osmotik karena penambahan 100 g pupuk}}{\text{kenaikan tekanan osmotik karena penambahan 100 g NaNO}_3}$$

Tabel 5. Salt index (SI) Pupuk N, P, dan K

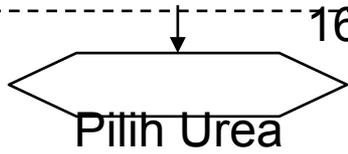
Pupuk	Kadar hara (%)	SI pupuk
Nitrogen		
NH ₃ anhydrous	82,2	47,02
NH ³ NO ₃	35,0	104,65
(NH ₄) ₂ SO ₄	21,2	68,96
NH ₄ H ₂ PO ₄ (MAP)	12,2	29,93
(NH ₄) ₂ HPO ₄ (DAP)	21,2	34,21
KNO ₃	13,8	73,64
NaNO ₃	16,5	100,00
Urea	46,6	75,4
Fosfor		
TSP	48,0	10,08
MAP	51,7	29,93
DAP	53,8	34,21
Kalium		
KCl	60,0	116,16
KNO ₃	46,6	73,63
K ₂ NO ₄	54,0	46,06
KMgSO ₄	21,9	43,16

Dalam pemilihan pupuk, perlu diperhatikan :

:SI Kandungan hara]	Contoh : dosis pupuk 50 kg N/ha		
	pilihan pupuk urea	SI : 75,4	N ; 46,6 %
	(NH ₄) ₂ SO ₄	SI : 68,96	N ; 21,2 %



Pupuk per ha : urea	= 100/46,6 x 50 kg = 107 kg
(NH ₄) ₂ SO ₄	= 100/21,2 x 50 kg = 236 kg
SI urea	= 107/100 x 75,4 =
(NH ₄) ₂ SO ₄	80,7 = 236/100 x 68,96 =
	162,7



⌘ Kebaikan dan keburukan pupuk buatan

- kebaikan :
- Dapat diberikan dalam jumlah dan komposisi unsur hara yang sesuai - Mudah larut dalam air sehingga mudah tersedia bagi tanaman
 - Dapat diberikan pada saat yang tepat sesuai dengan tingkat pertumbuhan tanaman
 - Praktis dalam pengangkutan dan pemakaian

- keburukan :
- Umumnya sedikit sekali bahkan tidak mengandung unsur mikro
 - Pemakaian yang berlebihan selain tidak ekonomis, dapat pula membahayakan pertumbuhan tanaman
 - Kalau tidak hati-hati dalam penggunaannya dapat membahayakan manusia

⌘ Jenis-jenis pupuk buatan :

- ⊙ Pupuk tunggal : pupuk yang mengandung satu jenis unsur hara primer diberi nama menurut jenis unsur hara primer yang dikandungnya

🌐 Pupuk majemuk

Tabel 6. Pupuk Tunggal

Jenis pupuk	Contoh pupuk	Rumus kimia	Kadar unsur hara	Sifat-sifat
Pupuk N	1. Amonium sulfat (ZA)	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	N : 20,5-21%	Bentuk : kristal Warna: putih (kebanyakan) abu-abu, kebiru-biruan dan kuning Tidak higroskopis (RH 80%) Reaksi fisiologis masam Mudah larut dalam air dan bekerjanya cepat
	2. Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	N : 45%	Bentuk : kristal warna putih atau butir2 bulat Higroskopis (RH 70%) R. fisiologis agak masam
	3. Amonium Sulfat Nitrat	$2\text{NH}_4\text{NO}_3$ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	N : 26% NH ₄ : 19,5% NO ₃ : 6,5%	Bentuk : kristal Warna: kuning sampai kuning kemerah-merahan Higroskopis Reaksi fisiologis antara urea dan ZA Mudah larut dalam air dan bekerjanya cepat
	4. Amonium Chlorida	NH_4Cl	N : 25%	Bentuk : butir-butir putih Reaksi fisiologis masam (lebih masam dari ZA) Bekerjanya cepat

Tabel 6. (lanjutan)

Jenis pupuk	Contoh pupuk	Rumus kimia	Kadar unsur hara	Sifat-sifat
Pupuk P	1. Triple Superfosfat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	P_2O_5 : 46-48 %	Bentuk : butir-butir kecil Warna: abu-abu Larut dalam air dan dapat segera diserap tanaman Bekerja perlahan-lahan Reaksi fisiologis netral
	2. Double Superfosfat	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	P_2O_5 : 36-38 %	Bentuk : bubuk kasar warna: putih kotor, abu-abu atau coklat muda Larut dalam air Bekerja perlahan-lahan
	3. Super fosfat 36 (SP_{36})		P_2O_5 : 36 %	Bentuk : butir-butir kecil

Tabel 7. Pupuk majemuk

Jenis pupuk	Contoh pupuk	Rumus kimia	Kadar unsur hara	Keterangan
Pupuk NP	1. Ammo-Phos	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (mono amonium fosfat)	Ammo-Phos A N : 11% P ₂ O ₅ : 48% Ammo-Phos B N : 16,5% P ₂ O ₅ : 20%	Bentuk : butir (granula) Warna: abu-abu muda Tidak higroskopis Larut dalam air
	2. Superstikfos (SS atau SSF)	idem	idem	Sama dg Ammo-Phos hanya berlainan nama dagang
Pupuk NK	Kalium nitrat	KNO_3	N : 13 % K ₂ O : 44%	Jarang digunakan
Pupuk PK	1. Kalium metafosfat		P ₂ O ₅ : 60% K ₂ O : 40%	Jarang digunakan
	2. Kalium fosfat		P ₂ O ₅ : 52% K ₂ O : 34%	Jarang digunakan
Pupuk NPK	1. Rustica yellow	$\text{NH}_4\text{NO}_3 - \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 - \text{KCl}$	N : 15 % P ₂ O ₅ : 15% K ₂ O : 15% Mg : 0,5% B, Cu, Zn	Bentuk : butiran Warna : kekuning-kuningan Sangat higroskopis Bekerjanya sedang Reaksi fisiologis sedang – agak masam
	2. Rustica complete blue		12 – 12 – 20	
	2. Rustica complete red		13 – 13 – 21	

Tabel 8. Pupuk unsur mikro

Jenis pupuk	Contoh pupuk	Rumus kimia	Kadar unsur hara	Keterangan
Unsur Boron (B)	1. Borax		B : 10,6%	Warna: putih Larut dalam air
	2. Gelas borosilikat		B : 6%	Unsur mikro disenyawakan dg gelas kmd dsb <i>frits</i> .
	3. Asam borat	$H_3B^O_3$	B : 17%	Cairan
	4. Solubor		B : 20 %	Dpt dilarutkan di air
Unsur tembaga (Cu)	Terusi	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Cu : 25,5% S : 12,8%	Mudah larut dalam air Melalui daun atau tanah
Unsur besi (Fe)	1. Ferosulfat	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	Fe : 19 %	Daun yang khlorosis Larutan 4-6% Ferosulfat
	2. Fe-Khelat	NaFe EDTA	Fe : 5-14%	Jarang digunakan
Unsur Mangan (Mn)	1. Mangano sulfat	$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	Mn:26-28% S : 15 %	
	2. Mn-Khelat	Mn EDTA	Mn : 12 %	
Unsur Molibdenum (Mo)	NH_4^- molibdat Na – molibdat			
Unsur Zink (Zn)	1. Zink sulfat	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	Zn : 36 %	
	2. Zn-Khelat	Na_2Zn EDTA	Zn : 14 %	

III. APLIKASI PUPUK

Pupuk buatan

A. DOSIS PUPUK

- ☉ Pemberian pupuk dalam jumlah yang tepat sehingga diperoleh hasil pemupukan yang optimal \longrightarrow >>> keracunan
<<< tidak tampak pengaruhnya
- ☉ kg N + kg P₂O₅ + kg K₂O per ha
- ☉ Dosis \longleftarrow data hasil analisa dan percobaan-percobaan (evaluasi kesuburan tanah)
rekomendasi dari balai-balai penelitian atau instansi yang berwenang

B. PERHITUNGAN KEPERLUAN PUPUK

- ☒ Tergantung pada :
 - jumlah unsur hara yang dibutuhkan (dosis)
 - kandungan unsur hara dalam pupuk yang bersangkutan

☒ Perhitungan :

1. Untuk 1 hektar

$$\text{Keperluan pupuk} = \frac{D}{K} \times 100$$

2. Luas tanah tertentu

$$\text{Keperluan pupuk} = \frac{L}{10.000} \times \frac{D}{K} \times 100$$

3. Berat tanah tertentu

$$\text{Keperluan pupuk} = \frac{B}{2.000.000} \times \frac{D}{K} \times 100$$

Ket. : D = dosis pemupukan (kg/ha)
K = Kadar pupuk (%)

L = luas tanah tertentu (m²)
B = berat tanah tertentu (BKM) (kg)

C. WAKTU PEMUPUKAN

 Tergantung pada :

1. Kebutuhan dan respons tanaman

- Kurang subur → Lebih cepat dan lebih banyak
- Pertumbuhan tanaman vegetatif → banyak memerlukan unsur N
generatif → banyak memerlukan unsur P
- Tanaman umur pendek → jangan sampai terlambat

2. Tingkat kelarutan (solubility) pupuk

- Sukar larut (bekerjanya lambat) → sebelum tanam atau paling lambat pada saat tanam dan sekaligus.
contoh : pupuk fosfat
pupuk Kalium

untuk tanaman tahunan : diberikan setiap akan mulai kegiatan mak. pert.

- Cepat larut (bekerjanya cepat) → pada saat tanam sebagai pupuk dasar (*basic dressing*) atau setelah tanam sebagai pupuk susulan (*Top dressing*)
sebaiknya 2 – 3 kali pemupukan

contoh : urea, ZA, ASN, NH_4Cl

- kelarutan/bekerjanya sedang → sebelum atau sesudah tanam
contoh : SS, rustica Yellow

3. Keadaan iklim

a. curah hujan → kaitannya dg pencucian

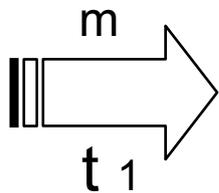
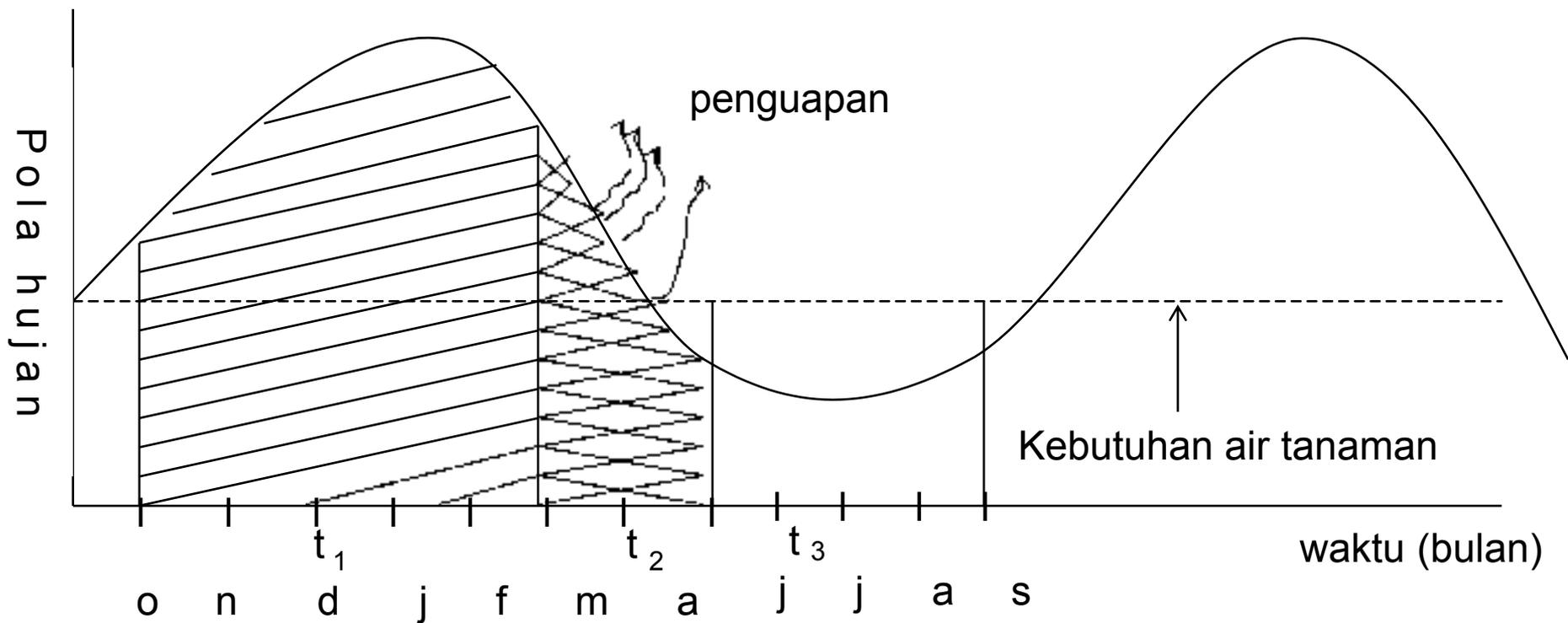
b. radiasi matahari

c. suhu

d. angin

e. kelembaban

} kaitannya dg volatilisasi



• bila dilakukan pemupukan, tiba-tiba terjadi hujan maka akan terjadi leaching terutama pupuk N, P, S

terjadi run off aliran permukaan tanah → rugi

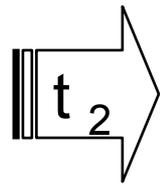
Masuk sungai

Meracuni perairan

• Bila terpaksa harus dilakukan, maka :

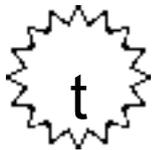
- hindari penggunaan metode broadcast (penyebaran)
- metode yang baik : larikan, in hole (lubang)

Tanah dalam keadaan lembab (air tidak kurang juga tidak berlebihan)



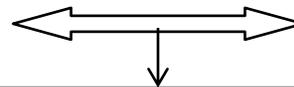
Pelarutan unsur hara memerlukan air yang cukup

Waktu yang paling tepat melakukan pemupukan



3

Pupuk mengikat agregat tanah



Tanah menjadi kompak

Pemupukan apapun tidak baik dilakukan
Kecuali dilakukan penyiraman

Catatan : Pemupukan sebaiknya dilakukan pada pagi hari :

- Perbedaan temperatur tidak terlalu jauh
- Evapotranspirasi belum banyak

Permulaan musim hujan : $\frac{1}{2}$ dosis N + 1 dosis P
Akhir musim hujan : $\frac{1}{2}$ dosis N + 1 dosis K

D. CARA / METODE PEMUPUKAN

⌘ Pentingnya cara penempatan pupuk :

1. Agar dapat diambil oleh akar tanaman secara lebih efisien

Penggunaan pupuk secara efisien dari munculnya tanaman hingga dewasa merupakan hal penting untuk mencapai potensial hasil yang diharapkan dan keuntungan maksimal

2. Agar tidak merusak biji yang ditanam atau akar tanaman

Pupuk sebagian besar merupakan garam-garam kimia, yang bila ditempatkan terlalu dekat dg tanaman atau akar akan menyebabkan bagian tanaman atau akar terbakar.

3. Pemupukan yang tepat, penting dilihat dari segi ekonomis (tenaga dan waktu)

8 Dikenal beberapa cara/metode pemupukan :

A. Pemupukan melalui tanah

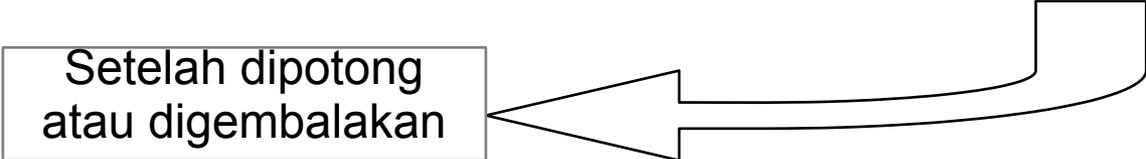
1. Menyebar (broadcast) —————> untuk jenis tanaman yang mempunyai sistem perakaran relatif dangkal

- sebelum tanam : pupuk disebar secara merata di atas permukaan tanah, dilanjutkan dengan pembajakan atau pengolahan dan penanaman

baik dipakai pada usaha memulai (“establishment”) pastura

- Setelah tanam —————> *Topdressing*
Pupuk disebar di atas tanaman yang sudah tumbuh
umum dilakukan : aplikasii N pada tanaman biji-bijian kecil dan pastura.

Setelah dipotong
atau digembalakan



Kelebihan : cepat

Kekurangan :

- run off (aliran permukaan)
- volatilisasi (penguapan)
- tanaman bukan sasaran
ikut dipupuk misalnya gulma
- terjadi kesulitan dalam
menyebarkan unsur mikro

2. Di samping tanaman (Sideband) : pupuk ditempatkan pada salah satu atau kedua sisi tanaman.

Sangat berguna pada : - tanah yang kurang subur
- tanah yang bersifat memfiksasi unsur hara.

3. Dalam barisan

Pupuk alam

Pupuk kandang → musim hujan : di permukaan tanah
musim kemarau : harus dibenamkan atau dicampur dengan tanah

Pupuk kandang, hijau dan kompos
tua (matang) : 1 – 2 minggu sebelum tanam
baru : 2 – 4 minggu sebelum tanam

Pemberian pupuk kandang

Cara pemberian :

Pupuk dimasukkan ke dalam lubang yang dibuat di sekeliling tanaman

Pupuk dicampur dengan tanah yang telah diolah saat menghaluskan/meratakan tanah yang akan ditanami

Pupuk dimasukkan ke dalam lubang yang akan ditanami benih

Pupuk disebar di sekitar tanaman

Waktu pemberian :

-Pupuk kandang yang belum matang yang masih tercampur jerami dan sisa makanan yang masih segar → dibenamkan atau dicampur dengan tanah ± 2 – 4 mg sebelum tanam

-Pupuk kandang yang sudah matang atau kompos → diberikan 1 – 2 mg sebelum tanam

Teknik aplikasi

1. Teknik inokulum tanah (1:4 – 1: 10)
2. Anakan bermikoriza
Anakan yang terinfeksi mikoriza ditanam di sekitar anakan yang baru tumbuh
3. Akar yang bermikoriza
Inokulum berupa potongan-potongan akar yang terinfeksi mikoriza → skala kecil
4. Biakan murni miselia
5. Suspensi spora
6. Kapsul mikoriza
7. Tablet mikoriza

Pertemuan 11 dan 12

KONSERVASI TANAH DAN AIR

PENDAHULUAN

Telah lama diketahui bahwa usaha peningkatan produksi bahan makanan dunia selalu tidak dapat mengejar kecepatan pertumbuhan penduduk dunia. Hal ini antara lain karena kondisi tanah dan air sebagai sumber daya alam pada umumnya sudah mengalami degradasi sedemikian rupa sehingga memerlukan usaha-usaha konservasi yang sungguh-sungguh.

Pengawetan tanah dan air, yang lebih tepatnya disebut konservasi tanah dan air adalah usaha-usaha untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas tanah, kuantitas dan kualitas air. Apabila tingkat produktivitas tanah menurun terutama karena erosi, maka kualitas air, terutama air sungai untuk irigasi dan keperluan manusia lain menjadi tercemar, sehingga jumlah air bersih semakin berkurang.

Populasi penduduk di atas permukaan bumi ini selalu bertambah dari waktu ke waktu, padahal luas lahan yang tersedia dan diperuntukkan bagi kehidupan manusia selalu tetap dari waktu ke waktu. Luas seluruh lahan daratan di atas permukaan planet bumi ini adalah sekitar 148 juta km² atau seluas 14.800 juta hektar. Luas lahan daratan ini adalah sekitar 29 persen dari luas permukaan planet bumi kita ini, jadi sekitar 71 persen adalah luas permukaan air yang terdiri dari sungai-sungai, danau-danau dan sebagian terbesar lautan (Buringh, 1979).

Seluas 13.400 juta hektar merupakan lahan daratan yang langsung berguna bagi hajat hidup manusia dan binatang darat, sebab 1.400 juta hektar tertutup oleh es abadi. Menurut pengamatan FAO (1975), sekitar 25 persen dari luas lahan tersebut atau kira-kira 3.400 juta hektar dapat dipergunakan untuk tujuan pertanian (bercocok tanam).

Perincian penggunaan lahan tersebut terdapat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Penggunaan lahan daratan secara umum di seluruh dunia

Penggunaan	Luas lahan (juta ha)	% dari luas seluruh lahan
Bercocok tanam	1.507	11,3
Rerumputan	3.044	22,7
Vegetasi Hutan	4.053	30,3
Penggunaan Lain-lain	4.788	35,7

Sumber: FAO; Production Yearbook (1975)

Pada penggunaan lain-lain termasuk di dalamnya lahan-lahan tundra di wilayah kutub, lahan kering di wilayah gurun-gurun pasir dan gunung-gunung batu, selain daripada itu perkiraan seluas 400 juta hektar diperuntukkan bagi lahan permukiman, perindustrian, perkotaan, jalan-jalan raya, dan lain-lain.

Sebagai cadangan lahan yang belum dibuka kebanyakan terdapat di benua Afrika dan Amerika Selatan. Kalau luas lahan yang ada ini dibandingkan dengan perkembangan populasi penduduk dunia, maka akan dapat diketahui perkiraan rata-rata pemilikan lahan untuk setiap orang. Jumlah penduduk dunia pada tahun 1984 adalah sebanyak 4,8 milyar orang, pada tahun 2000 nanti diperkirakan sebanyak 6,2 milyar orang, sedang pada tahun 2050 nanti diperkirakan sebanyak 10 milyar orang.

Perkiraan perbandingan luas lahan rata-rata untuk setiap penduduk (orang) di seluruh dunia, terdapat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Perkiraan perbandingan luas lahan rata-rata untuk setiap orang

Penggunaan	Luas lahan (juta ha)	Perbandingan luas lahan (ha) setiap orang		
		1984	2000	2050
Bercocok tanam	1.507	0,32	0,24	0,15
Rerumputan	3.044	0,63	0,49	0,31
Vegetasi hutan	4.053	0,84	0,66	0,40
Penggunaan lain-lain	1.788	1,00	0,77	0,48
Jumlah seluruh	13.392	2,79	2,16	1,34

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa pada tahun ini perbandingan luas lahan untuk bercocok tanam setiap orang rata-rata hanya 0,32 hektar, pada tahun 2000 nanti menurun menjadi rata-rata 0,24 hektar dan pada tahun 2050 menurun lagi menjadi rata-rata 0,15 hektar.

Perbandingan luas lahan untuk kebutuhan manusia pada tahun ini setiap orangnya rata-rata 2,79 hektar, pada tahun 2000 nanti rata-rata 2,16 hektar dan pada tahun 2050 nanti diperkirakan rata-rata menjadi 1,34 hektar saja.

Perbandingan luas lahan rata-rata untuk setiap orang cenderung semakin menurun, kalau juga tingkat produktivitas tanahnya ada kecenderungan menurun (degrasi), maka umat manusia tidak mustahil akan menemui kesulitan besar dalam memenuhi kebutuhan akan bahan makanan termasuk tempat tinggal. Untuk menghindari hal itu maka satu-satunya jalan yang masih mungkin bisa diusahakan adalah menjaga dan meningkatkan produktivitas tanah semaksimal mungkin (agradasi).

Kekhawatiran akan semakin beralasan dengan keadaan iklim yang tidak menentu, dimana sewaktu-waktu terjadinya kekeringan karena kemarau panjang dan sewaktu-waktu terjadi penggenangan air atau banjir akibat curah hujan yang tinggi. Selama belum dapat mengelola air dengan baik maka selama itu pula masalah-masalah

kekeringan dan banjir akan selalu terulang yang dapat menurunkan tingkat produktivitas tanah dan kualitas air.

Air di alam ini terdapat dalam tiga fase, yaitu dalam fase cair, padat dan gas, yang seluruhnya beredar dalam siklus hidrologi dengan jumlah yang relatif tetap. Dalam hal ini FAO (Milos Holy, 1971) telah menduga banyaknya air yang berada di dalam ini sebagai berikut:

Air di seluruh samudera	=	1.300.000.000 km ³
Air berupa es di kutub	=	3.500.000 -,-
Air yang terdapat di danau-danau dan lautan di seluruh benua	=	250.000 -,-
Air tanah bebas (ground water)	=	250.000 -,-
Air di seluruh sungai-sungai	=	50.000 -,-
Air di atmosfer (uap air)	=	12.000 -,-
Air yang terdapat di rawa-rawa dan paya	=	6000 -,-
Air berupa salju di atas seluruh benua	=	250 -,-

Jumlah keseluruhan = 1.304.068.550 km³

Pengamat lain mengenai jumlah air di muka bumi kita ini adalah Buringh (1979) yang menduga sebanyak 1.386 juta km³ air, di mana 96,5 persen terdapat di samudera atau lautan, 2,53 persen berupa air tawar di daratan dan sisanya dalam bentuk lain (gas/uap). Jumlah air tawar tersebut terdiri dari 69 persen berupa es dan salju, sebesar 30 persen berupa air tanah dan sekitar 1 persen terdapat dalam sungai, danau dan rawa-rawa. Jumlah air lepasan setiap tahun dan semua sungai diperkirakan sebanyak 44.500 km³. Sebagian dan jumlah air ini dipakai untuk mengairi daerah irigasi di seluruh dunia seluas 210 juta hektar, diharapkan luas lahan ini dapat diperluas kemudian hari sampai kira-kira 450 juta hektar, dimana diperkirakan 300 juta hektar diantaranya terdapat di benua Asia. Di wilayah tropika kebanyakan lahan irigasi ini berupa pertanaman padi sawah.

Seperti halnya perbandingan luas lahan rata-rata untuk setiap penduduk (orang) yang semakin menurun dan waktu ke waktu, begitu pula jumlah air yang diperlukan untuk seluruh keperluan setiap orang akan semakin menurun sebagai akibat kenaikan jumlah pendudukan dunia.

Sebagian besar air tawar diperlukan untuk irigasi lahan-lahan pertanian, khususnya tanaman pangan yang memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaannya. Teknologi pertanian belum dapat mengurangi kenyataan bahwa diperlukan air sebanyak 400 sampai 500 liter air untuk menghasilkan satu kilogram bahan organik kering. Selain tanaman maka binatang khususnya manusia juga memerlukan air dengan kualitas yang baik.

Setiap orang rata-rata secara wajar memerlukan sebanyak 60 liter air bersih setiap harinya untuk seluruh keperluan, sehingga di seluruh dunia dengan penduduk 4,8 milyar tahun ini memerlukan air bersih sebanyak 2050 memerlukan 600 km³ setiap harinya.

Menurut penelitian diketahui bahwa bayi berumur 3 hari berat badannya

mengandung 97 persen air, delapan bulan kemudian berat badannya mengandung 81 persen air dan orang dewasa berat badannya mengandung 65-75 persen air. Menurut kesehatan setiap orang memerlukan air minum sebanyak 2,5-3 liter setiap hari termasuk air yang berada dalam makanan. Manusia masih bisa mempertahankan hidupnya sampai 2-3 minggu tanpa makan, tapi hanya 3-4 hari saja tanpa air minum.

Dari uraian di atas jelas bahwa tanah dan air sebagai sumber daya alam yang merupakan faktor pembatas bagi kehidupan manusia dan ternyata kini sudah dalam kondisi yang memerlukan perhatian sungguh-sungguh untuk dilakukan usaha-usaha konservasi.

Usaha konservasi tanah dan air ini penting karena telah langsung proses-proses yang dapat menurunkan tingkat produktivitas tanah dan kualitas air, terutama adalah erosi dan sedimentasi. Akibat erosi ini maka semakin luas lahan-lahan pertanian menurun tingkat produktivitasnya.

I. PROSES TERJADINYA EROSI DAN SEDIMENTASI

1.1. Erosi dan Sedimentasi

Lahan-Lahan pertanian yang terus-menerus ditanami tanpa cara pengelolaan tanaman, tanah dan air yang baik dan tepat, terutama di daerah-daerah pertanian dengan curah hujan yang melebihi 1500 mm per tahun akan mengalami penurunan produktivitas tanahnya. Penurunan produktivitas ini secara lambat atau cepat dapat disebabkan oleh menurunnya kesuburan tanah dan terjadinya gejala erosi.

Lahan pertanian yang sudah ada perlu ditingkatkan produktivitasnya secara maksimal. Untuk ini pemerintah telah melakukan berbagai usaha, yaitu dengan jalan intensifikasi, diversifikasi dan yang tidak kurang pentingnya adalah rehabilitasi. Usaha rehabilitasi adalah kegiatan perbaikan atau pemulihan kemampuan produktivitas sumberdaya alam sekurang-kurangnya pada keadaan semula pada waktu lahan tersebut dibuka untuk pertanian. Penurunan produktivitas tanah ini terutama disebabkan oleh terjadinya gejala erosi, yang dianggap merupakan salah satu masalah utama yang sedang dihadapi Indonesia.

Bahaya erosi ini banyak terjadi di daerah-daerah lahan kering terutama yang memiliki kemiringan lereng sekitar 15 persen atau lebih. Keadaan ini sebagai akibat dari pengelolaan tanah dan air yang keliru dan akibat pola pertanian yang berpindah-pindah setiap tahunnya (shifting cultivation). Sebagai contoh terdapat di beberapa daerah di Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Triana Jaya.

Lahan yang masih dapat dibuka sebagai lahan perhatian baru masih cukup luas dan terutama berada di empat pulau besar tersebut di atas (luar Jawa). Luasnya diperkirakan ada 40 juta hektar, yang terdiri dari 35 juta hektar lahan kering dengan kemiringan kurang dari 15 persen dan 5 juta hektar adalah lahan basah (Satari, 1979).

Tanah kering yang mudah tererosi terutama adalah tanah Podsolik Merah Kuning yang menempati areal terluas di Indonesia, kemudian disusul oleh tanah Latosol yang dengan kemiringan lereng agak curam sampai curam, terutama tanah-tanah yang tidak

tertutup tanaman. Tanah Podsolik dibentuk dari bahan bantuan yang bersifat asam, sifat fisiknya jelek sampai agak jelek, miskin akan unsur hara tanaman, dan peka terhadap bahaya erosi, terutama dalam keadaan tanpa vegetasi di atasnya. Tanah Tatosol dibentuk dari bahan batuan yang bersifat netral, dengan sifat fisiknya baik dan sifat kimianya jelek atau miskin unsur hara tetapi peka terhadap erosi terutama kalau dibuka tanpa vegetasi. Tanah-tanah ini memiliki kestabilan agregat yang rendah sekali. Sebagai akibat dari keadaan tersebut maka tanah-tanah ini sangat mudah terkikis oleh aliran air terutama air hujan. Hal ini dapat dibuktikan dengan banyaknya tanah-tanah yang tererosi terutama erosi parit yang dalam di daerah-daerah yang tidak tertutup oleh vegetasi (Mulvadi, 1976).

Pencegahan erosi dengan jalan pembuatan teras-teras dan penanaman pohon-pohonan atau penghijauan yang memerlukan biaya yang cukup mahal, ternyata tidak selalu berhasil dan tidak sesuai dengan jenis tanahnya. Selain dan itu sering juga terjadi pengurangan produksi tanaman yang diusahakan.

Sebagaimana akan diterangkan kemudian, tetesan butir-butir air hujan merupakan salah satu faktor utama terjadinya erosi tanah. Tetesan-tetesan tersebut dapat berukuran besar maupun kecil, akibatnya mempunyai kecepatan jatuh yang bervariasi dan dengan intensitas yang rendah sampai tinggi. Terutama pada tanah Podsolik Merah Kuning juga pada tanah Latosol sering terlihat gejala-gejala erosi terutama pada kemiringan lereng sekitar 15 persen atau lebih. Hal ini menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik tanah Podsolik Merah Kuning dan Latosol mudah sekali dipengaruhi oleh tetesan air hujan, sebagai akibatnya maka porositas tanah menurun karena pori-pori sebagian tertentu oleh butir-butir tanah yang halus.

Tetesan air hujan dapat menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras (crust formation) pada lapisan permukaan, akibatnya maka air infiltrasi berkurang sedangkan air yang mengalir di permukaan (run-off) sebagai faktor utama terjadinya erosi akan bertambah banyak. Dengan tertutupnya pori-pori tanah, maka air infiltrasi sangat berkurang, sedangkan aliran air di permukaan yang dapat mengikis dan mengangkut

butir-butir tanah terus-menerus. Proses pengangkutan butir-butir tanah ini akan berhenti baik untuk sementara atau tetap, sebagai pengendapan atau sedimentasi.

Proses pengendapan sementara terjadi pada lereng yang bergelombang, yaitu bagian lereng yang cekung akan menampung endapan partikel yang hanyut untuk sementara dan pada hujan berikutnya endapan ini akan terangkut kembali menuju dataran rendah atau sungai. Pengendapan akhir atau sedimentasi terjadi pada kaki bukit yang relatif datar, sungai dan waduk. Pada daerah aliran sungai partikel dan unsur hara yang larut dalam aliran permukaan akan mengalir ke sungai dan waduk sehingga terjadi pendangkalan pada tempat tersebut. Keadaan ini menurut Otto Soemarwoto (1978) akan mengakibatkan daya tampung sungai dan waduk menjadi turun sehingga timbul bahaya banjir dan penyuburan air secara berlebihan atau eutrofikasi,

Erosi tanah adalah suatu proses atau peristiwa hilangnya lapisan permukaan tanah atas, baik disebabkan oleh pergerakan air maupun angin. Proses erosi ini dapat menyebabkan merosotnya produktivitas tanah, daya dukung tanah untuk produksi pertanian dan kualitas lingkungan hidup. Di daerah-daerah tropis yang lembab seperti di Indonesia dengan rata-rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun maka air merupakan penyebab utama terjadinya erosi, sedangkan di daerah-daerah panas yang kering (arid) maka angin merupakan faktor penyebab utamanya.

Proses erosi tanah yang disebabkan oleh air meliputi tiga tahap yang terjadi dalam keadaan normal di lapangan, yaitu tahap pertama pemecahan bongkah-bongkah atau agregat tanah ke dalam bentuk butir-butir kecil atau partikel tanah, tahap kedua memindahkan atau pengangkutan butir-butir yang kecil sampai sangat halus tersebut, dan tahap ketiga pengendapan partikel-partikel tersebut di tempat yang lebih rendah atau di dasar sungai atau waduk.

Ada dua penyebab utama pada tahap pertama dan kedua dari proses terjadinya erosi itu, ialah butir-butir air hujan dan aliran air di permukaan. Tetesan-tetesan butir

hujan yang jatuh ke atas tanah mengakibatkan pecahnya agregat-agregat tanah tersebut, sebab tetesan butir hujan tersebut memiliki energi kinetik (K.E.) yang cukup besar. Intensitas hujan yang lebih besar lagi dan mengakibatkan aliran air di permukaan lebih banyak.

Secara keseluruhan terdapat lima faktor yang menyebabkan dan mempengaruhi besarnya laju erosi yaitu: iklim, tanah, topografi atau bentuk wilayah, vegetasi penutup tanah dan kegiatan manusia. Faktor iklim yang paling menentukan dalam hal ini adalah hujan yang dinyatakan dalam “nilai indeks erosivitas hujan”. Besar kecilnya laju erosi banyak tergantung juga kepada sifat-sifat tanah itu sendiri yang dinyatakan sebagai faktor erodibilitas tanah”, yaitu kepekaan tanah terhadap erosi atau memperhitungkan kedua faktor ini saja, sedangkan faktor lainnya dianggap satu, disebut erosi potensial.

Dari uraian di atas maka Gabriel (1974), menyimpulkan sebagai berikut:

$$E (\text{tanah yang hilang / erosi}) = f(\text{erosivitas} \times \text{erodibilitas})$$

Erosi tanah yang terpecik (splash erosion) sebagai akibat dari kekuatan tumbukan atau tetesan butir hujan ke tanah dengan nilai indeks erosivitas tertentu, adalah merupakan suatu ukuran dari tanah yang terlepas (soil detachability), sedangkan jumlah aliran permukaan (run-off) dan tanah yang hilang dianggap sebagai kriteria untuk erodibilitas tanah.

Bentuk wilayah atau topografi berperan dalam menentukan kecepatan aliran air di permukaan yang membawa partikel-partikel tanah tersebut. Sedang peranan vegetasi penutup tanah adalah melindungi tanah dari pukulan langsung tetesan air hujan dan memperbaiki struktur tanah melalui penyebaran akar-akarnya. Faktor kegiatan manusia manusia memegang peranan yang sangat penting terutama dalam usaha-usaha pencegahan erosi, sebab manusia dapat memperlakukan faktor-faktor penyebab erosi lainnya, kecuali factor iklim yang masih sulit untuk diatasi.

Kelima faktor tersebut di atas merupakan factor-faktor yang diperhitungkan oleh Soil Conservation Service, USDA, dalam menentukan metode pendugaan besarnya

erosi tanah dengan rumus yang disebut “Universal Soil Loss Equation”, yang dikemukakan oleh Wischmeier Dan Smith, 1960, yang akan dibahas kemudian.

Menurut Russel, 1973, air hanya akan mengalir di permukaan tanah apabila laju atau jumlah air hujan lebih besar dari kemampuan tanah untuk menginfiltrasikan air ke lapisan yang lebih dalam. Dalam hal ini setiap faktor yang dapat mengurangi permeabilitas tanah akan naik sesuai dengan naiknya jumlah air yang mengalir di permukaan. Aliran air di permukaan lebih banyak menghanyutkan tanah yang terangkut banjir dan dilanjutkan terus ke sungai dan akhirnya ke muara atau laut.

Menurut Baver *et al.*, 1972, terjadinya erosi tanah tergantung kepada beberapa faktor yang prinsipnya sama dengan uraian di atas, yaitu (1) sifat-sifat hujan, (2) kemiringan lereng dari jaringan aliran air, (3) tanaman penutup tanah dan (4) kemampuan dari tanah untuk menahan dispersi dan untuk mengisap kemudian merembeskan air ke lapisan yang lebih dalam. Dalam hal ini Baver tidak menganggap faktor manusia, umpamanya dalam pengolahan tanah, pembuatan teras dan lain-lain, sebagai faktor yang turut menentukan besarnya erosi. Padahal faktor kegiatan manusia ini cukup penting, yaitu bisa bersifat positif yang berarti pengurangan erosi yang lebih besar.

Menurut Frevent *et al.*, 1950, erosi tanah diartikan sebagai proses hilangnya lapisan tanah yang jauh lebih cepat dari proses kehilangan tanah pada peristiwa erosi geologi (geological erosion). Hal ini oleh karena adanya perubahan pada tanah atau karena adanya perubahan pada tanaman penutup tanah tersebut. Erosi dibedakan menjadi dua macam berdasarkan bentuk asal dari sebidang tanah yang terkena kikisan air. Yang pertama adalah erosi permukaan (sheet erosion), yang kedua adalah erosi parit (rill erosion) yang berkembang menjadi *gully erosion*.

Erosi permukaan sangatlah sulit untuk dilihat, terutama apabila terjadi pada tanah dengan sudut kemiringan yang kecil. Tetapi meskipun demikian pengaruhnya tetap nyata karena dapat dibedakan dengan adanya penurunan derajat kesuburan tanah, sehingga lama-kelamaan tanah akan semakin miskin karena air hujan yang jatuh dan

mengalir di atas permukaan tanah tersebut akan melarutkan dan kemudian menghayutkan butir-butir tanah yang mengandung unsur-unsur hara tanaman secara berangsur-angsur. Foster dan Meyer (1977) berpendapat bahwa erosi dan sedimentasi yang disebabkan oleh air terutama meliputi proses-proses pelepasan (detachment), penghayutan (transportation) dan pengendapan (deposition) daripada partikel-partikel tanah yang terjadi akibat tumbukan tetesan air hujan dan aliran air. Erosi dan sedimentasi merupakan penyebab utama yang mengurangi produktivitas lahan-lahan pertanian, menurunkan kualitas air, membawa bahan-bahan kimia pencemaran dan mengurangi kapasitas struktur saluran air. Sistem erosi dan sedimentasi terdiri dari komponen-komponen lahan daratan dan saluran-saluran.

Lahan-lahan darat keadaannya tidak banyak dipengaruhi oleh saluran-saluran, tetapi keadaan saluran-saluran akan langsung dipengaruhi oleh bahan-bahan yang diangkut dari lahan-lahan darat tersebut. Iklim, tanah, topografi, waktu dan penggunaan tanah merupakan faktor-faktor utama yang mempengaruhi erosi dan sedimentasi.

Dengan mengalikan banyaknya partikel-partikel tanah yang terlepas oleh setiap tetes butir hujan dengan jumlah tetes butir-butir hujan pada satu kali hujan besar (yaitu beberapa juta tetes/m²) akan menjelaskan bahwa tumbukan air hujan tersebut merupakan penghasil utama partikel-partikel tanah yang terlepas (Ellison, 1947 : Ekern, 1950 : Foster dan Meyer, 1977).

Menurut Highfill Kimberlin (1977), erosi dan sedimentasi merupakan faktor-faktor penting untuk diperhatikan dalam mengelola sumber-sumber lahan dan air. Pengendalian erosi adalah penting untuk mempertahankan produktivitas lahan-lahan pertanian dan kehutanan, dan untuk membantu dalam pengendalian pencemaran lingkungan hidup. Perkembangan teknologi dewasa ini sangat memungkinkan untuk mengatasi bahaya erosi dan sedimentasi yang banyak terjadi di beberapa tempat. Penelitian-penelitian perlu dilakukan untuk mencari cara-cara pengendalian erosi dan sedimentasi yang lebih baik dan lebih murah.

1.2. Besarnya Erosi yang Masih Dapat Dibiarkan

Tidaklah mungkin atau sangat sulit untuk mencegah atau menghilangkan erosi sampai pada tingkat tidak terjadi erosi sama sekali atau nol pada tanah-tanah yang diusahakan untuk pertanian. Oleh sebab itu perlu adanya penelitian mengenai besarnya erosi tanah maksimum yang dapat dibiarkan (soil loss tolerance), yaitu besarnya erosi yang selalu di bawah laju pembentukan tanah. Pada lahan-lahan pertanian tujuannya adalah untuk membantasi tanah yang hilang sampai pada tingkat mengganggu produktivitas pertanian yang harus dipertahankan dari waktu ke waktu. Untuk tiap jenis tanah sebaiknya dinilai dan ditentukan besarnya tanah yang hilang yang masih bisa dibiarkan sebagai dasar untuk intensitas tataguna tanah dan perlakuan lahan.

Tindakan pengawetan tanah perlu dilakukan apabila laju erosi yang terjadi melebihi besarnya laju pembentukan tanah, agar tidak menyebabkan kemerosotan produktivitas tanah. Menurut Kimberlin *et al.*, 1977, tidak hanya jumlah partikel tanah yang tererosi yang masih dapat dibiarkan, tetapi juga daerah penampungan endapan yang harus dipertimbangkan dalam menilai apakah proses erosi dan pengendapan ini dapat menimbulkan masalah atau tidak. Di suatu tempat mungkin menguntungkan daerah-daerah penampungan endapan, tapi di lain tempat mungkin besarnya erosi yang masih bisa dibiarkan itu harus bisa diperkecil lagi agar produksi pertanian yang telah dicapai tetap dapat dipertahankan terus.

Penentuan kecepatan pembentukan tanah secara tepat sangat sulit, sehingga penentuan besarnya batas erosi maksimal yang masih dapat dibiarkan (soil tolerance) juga sulit sekali. Tetapi menurut Hudson (1976), besarnya erosi maksimal yang masih dapat dibiarkan ini sekitar 2.5-12.5 ton/ha/tahun, terutama untuk tanah-tanah di Amerika Serikat.

Menurut Bennet (1939) dan Hudson (1976), perkiraan yang paling baik menurut para ahli tanah pembentukan lapisan tanah atas setebal 2,5 cm atau kira-kira 375 ton/ha, di bawah kondisi alami selama jangka waktu 300 tahun. Tetapi waktu pembentukan tanah ini dapat dipercepat hanya sampai kira-kira 30 tahun saja, apabila dilakukan

pengelolaan tanah sehingga tata air dan tata udara diperbaiki dan penambahan bahan organik. Sedang di Afrika Tengah angka besarnya erosi maksimal yang masih bisa dibiarkan untuk tanah-tanah liat sebesar 4 ton/acre/tahun atau 10 ton/ha/tahun dan untuk tanah liat sebesar 5 ton/acre/tahun atau 12.5 ton /ha/tahun.

Suatu pembentukan tanah setebal 25 mm selama 30 tahun, kira-kira akan sama dengan 12.5 ton/ha/tahun. Sehingga secara umum dapat dianggap apabila erosi kurang dari 12.5 ton/ha/tahun untuk daerah-daerah pertanian, maka erosi tersebut masih dapat dibiarkan, asal pengolahan tanah dan penambahan bahan organik terus dilakukan.

Pengaruh baik dari pengolahan tanah dan terutama dibarengi dengan penambahan bahan organik yang cukup, jelas, tidak dapat diragukan lagi. Salah satu sumbangan tersebar dari tanaman-tanaman tingkat tinggi adalah dapat memberikan penambahan bahan organik atau serasah pada permukaan tanah. Jumlah penambahan keseluruhan sangat bervariasi tergantung kepada kelompok tanamannya dan lain-lain. Kelompok tanaman tingkat tinggi di daerah tropis dapat memberikan sebanyak kurang dari 25 ton/ha/tahun, rerumputan tinggi dapat memberikan kurang lebih 5.0 ton/ha/tahun, dan hutan kurang lebih 2.5 ton /ha/tahun bahan organik. Mengenai susunan banyaknya bahan organik dari permukaan tanah terus ke lapisan-lapisan tanah yang lebih bawah dari sisa-sisa kelompok-kelompok tanaman tersebut adalah sebaliknya (Fitz Patrick, 1974).

Data lain menunjukkan bahwa rerumputan (rendah) dapat menambah lebih dari 2.5 ton/ha bahan organik kering ke dalam tanah setiap tahunnya, yaitu berupa akar-akar dalam tanah. Dan tanah yang tertutup rerumputan secara alami bisa mengandung lebih dari 12 ton akar-akar rerumputan per hektar per tahun sedangkan bagian rerumputan di atas permukaan tanah hanya memberikan bahan organik 2-5 ton/ha/tahun, (Russel, 1973). Kemudian Weaver, Hougen dan Welden (Russel, 1973) menyajikan data mengenai banyak bahan organik dari akar-akar suatu padang rumput Nebraska, sebagai berikut:

Tabel 3. Bahan organik dari akar-akar di suatu padang rumput

Kedalaman	0-15	15-30	30-60	60-90	90-120
	Ton per hektar				
Berat akar-akar	6.5	1.80	1.57	0.75	0.10
Berat dari bahan organik	77.4	65.0	65.0	20.2	10,0

Angka ini berikut raizoma dari rerumputan yang terdapat di bagian atas 15 cm

Tanah dengan penutup rerumputan agak berbeda dengan tanah dengan penutup tanaman hutan, yaitu tanah-tanah padang rumput mengandung 50 persen lebih banyak bahan organik daripada tanah dengan tanaman hutan. Bahan organik dari akar-akar rerumputan ini tersebar sampai dalam sekali. Pada tabel 4 di bawah ini adalah besarnya erosi tanah yang masih dapat dibiarkan (soil loss tolerance) yang dikeluarkan oleh Soil Conservation Service, USDA.

Tabel 4. Besarnya Erosi maksimal yang masih dapat dibiarkan sesuai dengan keadaan tanah (Thompson, 1957, Suwardjo, et al, 1975)

No.	Sifat tanah dan Substrata	Tanah yang tererosi ton/ha/tahun
1.	Tanah dangkal di atas bantuan	1.12
2.	Tanah dalam di atas bantuan	2.24
3.	Tanah lapisan dalam padat di atas batuan lunak	4.48
4.	Tanah dengan permeabilitas lambat di atas batuan lunak	11.21
5.	Tanah yang permeable di atas batuan lunak	13.41

II . PERANAN PUPUK KANDANG BAGI KONSERVASI TANAH

Pemberian pupuk kandang sebaiknya dibenamkan ke dalam tanah untuk menghindarkan penguapan unsur hara, terutama NH_3 sebagai hasil perombakan pupuk kandang oleh jasad-jasad tanah. Dalamnya pembenaman pupuk kandang ke dalam tanah jangan terlalu dalam atau jangan terlalu dangkal, keadaan ini tergantung pada jenis tanahnya. Pada tanah-tanah berat yang aerasinya jelek, harus dibenamkan jangan terlalu dalam (dangkal) supaya pupuk kandang ini mudah terurai oleh jasad-jasad tanah. Sedangkan pada tanah-tanah ringan harus agak lebih dalam dibandingkan dengan pada tanah-tanah berat, tetapi pembenaman ini juga jangan terlalu dalam untuk mencegah kehilangan unsur hara akibat pencucian.

Dosis pupuk kandang yang biasa digunakan adalah 13.0 ton/ha atau bisa juga dipakai dosis yang agak tinggi sampai tinggi, yaitu berkisar antara 15 ton/ha-25 ton/ha. Pupuk kandang berpengaruh terhadap keadaan kimia, fisik dan biologis tanah. Pupuk kandang mempunyai daya untuk meningkatkan kesuburan tanah, karena dapat menambah zat makanan tanaman, mempertinggi kadar humus, memperbaiki struktur tanah dan mendorong kehidupan jasad renik. Pupuk kandang juga penting sebagai sumber unsur mikro yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga keseimbangan unsur hara di dalam tanah menjadi lebih baik.

Pelapukan dan perompakan pupuk kandang akan mengakibatkan persenyawaan nitrogen yang terdapat dalam bahan organik seperti polipeptida dan asam amino menjadi amonia, sulfat, fosfat, asam arang dan air. Keadaan pH di dalam tanah tidak mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses amonifikasi ini. Antara pH 3-pH 9 proses ini masih terus dapat berlangsung walaupun jalannya reaksi pada keadaan asam tidak begitu cepat bila dibandingkan dengan keadaan netral. Pada keadaan yang sangat asam, yang menjalankan perombakan persenyawaan-persenyawaan nitrogen adalah berbagai jenis fungi, termasuk jenis *Aspergillus*. Meningkatnya atau naiknya derajat asam, maka kegiatan bakteri lambat laun akan bertambah, sedangkan kegiatan fungi

mulai menurun. Dalam keadaan aerob, amonium yang terbentuk akan dioksidasi oleh jasad renik tertentu (bakteri Nitrosomonas dan Nitrosococcus) menjadi nitrit, kemudian oleh bakteri Nitrobacter diubah menjadi nitrat (NO_3^-). Proses nitrifikasi ini akan berlangsung lebih baik pada keadaan suhu, tanah dan kelembaban ideal, sehingga jasad-jasad renik dapat mensuplai nitrit cukup untuk keperluan tanaman.

Pelapukan dan perombakan bahan organik akan menghasilkan humus yang mempunyai peranan penting dalam pembentukan tanah remah. Hal ini karena humus mempunyai sifat koloid hidrofil yang dapat digumpalkan dan dijadikan gel kembali, sedangkan warnanya adalah coklat tua sampai hitam. Buckman dan Brady (1964) berpendapat bahwa humus mempunyai sifat dapat mengikat air empat sampai enam kali beratnya sendiri, sehingga dapat mempertinggi daya tanah untuk menahan air. Persediaan air ini penting untuk melarutkan unsur hara, sehingga tersedia bagi tanaman untuk pertumbuhannya. Dengan terikatnya air oleh humus berarti dapat mengurangi air perkolasi, sehingga pencucian unsur hara oleh air dapat berkurang. Selain itu humus adalah koloid yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengabsorpsi kation pada permukaan humus tersebut. Hal tersebut dapat mengurangi peristiwa pencucian unsur hara di dalam tanah.

Perbaikan sifat fisik dan kimia tanah akan memperbesar jumlah jasad renik yang mempengaruhi peristiwa humifikasi dan mineralisasi. Jasad renik seperti algae, fungi dan bakteri berfungsi dalam menguraikan bahan organik, sehingga diperoleh ikatan-ikatan kimia yang secara langsung dapat diserap oleh tanaman.

Jasad-jasad renik di dalam tanah mempunyai peranan penting dalam menentukan mudah atau sukarnya penyerapan fosfat oleh tanaman, karena jasad renik tidak hanya berguna karena dapat merombak persenyawaan fosfat organik menjadi persenyawaan fosfat anorganik, akan tetapi juga dapat melepaskan berbagai asam, terutama di daerah rhizosfer yang dapat melarutkan persenyawaan fosfat anorganik yang sukar larut menjadi persenyawaan fosfat yang mudah diserap oleh tanaman.

Tetapi dalam perompakan bahan organik oleh jasad-jasad renik banyak dibebaskan ion-ion hidrogen yang mempengaruhi penurunan pH tanah, sehingga terbentuk persenyawaan ferro dan mangan yang sukar larut.

III. PERANAN PENGOLAHAN TANAH, PENANAMAN RERUMPUTAN DAN SISA-SISA TANAMAN SEBAGAI MULSA DALAM USAHA PENGAWETAN TANAH

3.1. Pengaruh Pengolahan Tanah Terhadap Pengawetan Tanah

Usaha pertanian tanaman pangan dan tanaman semusim pada tanah kering berupa ladang dan tegalan telah merupakan salah satu sumber utama kerusakan-kerusakan tanah di Indonesia. Usaha tani tanaman semusim telah dimewariskan tanah kritis yang luas berupa tanah tandus dan padang alang-alang. Penggunaan teknologi yang rendah dan pelanggaran kaidah-kaidah konservasi tanah merupakan penyebabnya.

Ciri khusus usaha tani tanaman semusim pada tanah kering adalah seringnya tanah terbuka karena tindakan pengolahan tanah dan penyiangan. Jatuhnya butir hujan yang langsung mengenai permukaan tanah dan aliran permukaan akan mempercepat terjadinya proses dispersi dan erosi. Proses ini juga menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori udara tanah yang berakibat turunnya aerasi dan infiltrasi tanah.

Pengolahan tanah adalah setiap manipulasi mekanik terhadap tanah, menciptakan keadaan tanah yang baik bagi pertumbuhan tanaman. Pengolahan tanah masih dianggap suatu kegiatan rutin yang harus dilakukan setiap akan bertanam tanpa mempunyai dasar yang jelas dan tidak selalu meningkatkan produksi. Peranan pengolahan tanah dalam pengawetan tanah adalah sedikit sekali bahkan dapat merugikan. Dengan pengolahan tanah menjadi lebih gembur, tetapi pengaruhnya bersifat sementara. Tanah yang telah diolah sehingga menjadi gembur dan terbuka lebih mudah tererosi. Untuk mencegah terjadinya erosi sebaiknya tanah diolah seperlunya saja. Dalam keadaan struktur dan porositas tanah masih baik maka pengolahan belum diperlukan. Sedangkan pengolahan

tanah memang diperlukan bila tanah sudah cukup padat. Ini dapat dilihat dari pori udara tanah atau dari kepadatan tanah. Menurut Wiszeling dan Wijk (Swardjo, 1978), difusi udara dalam tanah akan berhenti jika pori aerasi kurang dari 10%; pada keadaan demikian pertumbuhan tanaman buruk sekali.

Sebagai penghambat pertumbuhan akar adalah adanya lapisan dengan aerasi buruk atau lapisan yang memadat. Kekayaan banyak tanah tidak menjadi padat bila tanah dibiarkan tidak diolah, aerasi alami pada beberapa tanah telah cukup baik untuk perakaran sampai ke dalam 30 cm atau lebih. Pada keadaan demikian sebenarnya tidak begitu perlu dilakukan pengolahan tanah, meskipun pengolahan tanah tersebut hanya bertujuan memberantas rerumputan pengganggu (gulma) saja. Pemberantasan gulma ini dapat dilakukan lebih baik dengan penyemprotan bahan kimia (Herbisida). Lain halnya pengolahan tanah yang termasuk cara mekanik dalam pengawetan tanah yang berfungsi (1) memperlambat aliran permukaan dan (2) menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak merusak.

Termasuk dalam cara mekanik adalah: (1) Pengolahan tanah (tillage), (2) Pengolahan tanah menurut kontur (contour cultivation), (3) Galengan dan saluran menurut kontur (contour ridges and furrows), (4) Teras, (5) Perbaikan drainase dan pembangunan irigasi, dan (6) Waduk dan penghambat (check dam), rorak tanggul dan sebagainya.

3.2. Peranan Rerumputan Dalam Usaha Pengawetan Tanah dan Air

Usaha pengawetan tanah melalui “penghijauan” dimaksudkan bukan hanya penanaman tanaman tahunan di lahan-lahan bukan hutan negara yang sudah terbuka (hampir gundul), tetapi juga usaha-usaha penanaman berbagai jenis tanaman yang dapat berfungsi mencegah bahaya erosi pada lahan-lahan tersebut. Berbagai jenis tanaman ini termasuk jenis-jenis rerumputan yang pada dasarnya dapat berfungsi ganda, yaitu selain manfaatnya dapat mencegah bahaya erosi juga dapat dipakai sebagai makanan ternak.

Penanaman berbagai jenis rerumputan ini rupanya merupakan usaha tahap pertama yang paling tepat dalam usaha memperbaiki dan meningkatkan produktivitas lahan-lahan kritis yang tersebar luas di Indonesia. Apabila penghijauan dengan rerumputan, terutama rerumputan makanan ternak, mampu berperan sebagai usaha pengawetan tanah air pada tingkat minimum atau taraf permulaan, maka lahan-lahan kritis ini setelah dikelola dengan baik akan dapat dipergunakan paling tidak untuk usaha peternakan. Menurut Sitanala Arsyad (1976), padang rumput yang tebal atau hutan yang lebat dapat meniadakan pengaruh hujan dan topografi terhadap erosi.

Pelestarian hutan dan reboisasi akan memerlukan waktu puluhan tahun atau lebih, sedangkan dengan penanaman rerumputan sampai dapat menutupi tanah memerlukan waktu yang relatif singkat saja. Tanaman rerumputan sebagai vegetasi yang tumbuh di atas permukaan tanah, daun-daunnya berfungsi mematahkan atau menahan pukulan butir-butir air hujan maupun arus air pada permukaan tanah. Oleh sebab itu dapatlah dianjurkan penanaman dua jenis rumput, yaitu yang tumbuhnya vertikal dan rumput-rumput yang tubuhnya horizontal dengan stolonnya yang merambat. Fungsi lain dari tanaman ini menurut Sitanala Arsyad (1976) adalah bahwa akar-akarnya dapat menyebabkan agregat tanah menjadi stabil secara mekanik dan kimia. Akar-akar serabutnya mengikat partikel-partikel tanah, sedangkan sekresi dari bagian-bagian tanaman tertentu dapat memberikan zat-zat kimia yang kemudian berfungsi sebagai penutup agregat tanah.

Berdasarkan penelitian-penelitian Hewitt di Trinidad, maka Whyte, *et al.*, (1959), menyatakan bahwa pada tanah dengan kadar pasir dan debu tinggi, rumput gajah (*pennisetum purpureum*) menyebabkan pembentukan agregat yang maksimum selama delapan tahun. Tapi pengolahan tanah pada waktu-waktu tertentu akan merusaknya dalam waktu empat tahun.

Menurut Subadio Susetyo, dkk. (1977), beberapa sifat yang perlu dimiliki oleh setiap komponen rumput dalam pertanaman ganda, baik sekedar sebagai pencegah erosi maupun sebagai makanan ternak, adalah sebagai berikut:

1. Kompatabel: artinya dengan pengelolaan yang sama menghasilkan reaksi yang tidak jauh berbeda.
2. Agresif: dalam waktu pendek mampu menutup tanah seluas mungkin.
3. Berumur panjang : mampu bertumbuh sendiri dari biji yang dihasilkannya ataupun dengan cara lain.
4. Bagi tanaman bahwa yang tumbuh horizontal sebaiknya mempunyai sifat tahan terhadap keadaan terlindung.
5. Disukai ternak dan mempunyai nilai gizi yang tinggi dan mampu mempertahankannya dalam waktu lama.
6. mampu berproduksi tinggi.

Sifat-sifat (5) dan (6) adalah merupakan sifat-sifat yang sangat penting dari segi peternakan. Dengan demikian maka usaha pencegahan erosi dengan penanaman rumput atau hijauan makanan ternak lainnya dengan memiliki sifat-sifat di atas akan mempunyai manfaat yang berlipat ganda, karena hasilnya lebih dapat dirasakan manusia melalui pemanfaatannya oleh ternak.

Yang menjadi persoalan sekarang adalah dalam hal pemilihan jenis rumput yang tepat, dengan pengertian secara teknik dapat dilaksanakan dan secara ekonomis dapat menguntungkan. Dalam hal ini dikemukakan suatu gambaran oleh Achmad Saubari (1971), yang menyatakan bahwa proyek irigasi Jatiluhur pada tahun 1971/1972 memerlukan biaya sebesar Rp. 34 juta, yaitu untuk penanaman lempengan rumput yang akar-akarnya kurang kuat. Tetapi dengan penanaman rumput Bahia (*Paspalum Notatum*) ternyata biayanya hanya Rp. 7,4 juta saja, padahal akar-akar rumput Bahia lebih dalam dan kuat-kuat.

Dalam hal pemilihan jenis rumput yang tepat ini, yaitu yang mudah dan murah, maka perlu kiranya dilakukan penelitian-penelitian dan pengembangan cara-cara penerapannya di lapangan yang sesuai dengan jenis tanah tertentu, ketinggian tempat

dan iklim.

Persyaratan (1), (2) dan (3) terutama lebih penting artinya bagi pencegahan erosi walaupun dikehendaki juga sesuai dengan makanan ternak. Menurut Susetyo dkk. (1975), Kurdi (1975) dan Subadio Susetyo (1977), beberapa penelitian yang dilakukan di Bogor menunjukkan bahwa rumput impor mempunyai kemampuan berproduksi lebih tinggi dibanding dengan rumput asli. Khususnya *Brachjarda ruzizensia* bahkan mampu mempertahankan nilai gizi (kadar protein) dalam waktu lebih lama (Tuhelele, 1975). Rumput-rumput yang diteliti tersebut adalah *Pennisetium purpuraum*, *Penicum maximum*, *Setaria sphecelata*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria ruzizensis* dan *Digitaria decumbens*

Persyaratan (4) perlu dipertimbangkan bila akan dibina pertanaman ganda dengan rumput yang berlainan sifat tumbuhnya maupun dengan tanaman lain yang membentuk tajuk tinggi. Beberapa catatan memberi contoh bahwa *Brachiaria decumbens* maupun berkembang di bawah pertanaman kelapa, baik di Sulawesi Utara maupun di Pulau Bali.

Menurut Susetyo (1969), Whiteman, (1976), dan Subadio Susetyo (1977), walaupun pertanaman ganda antara rumput dengan kacang-kacangan menunjukkan hasil yang lebih baik dilihat dari kenaikan berat badan ternak yang memakannya sebagai parameter, tetapi pengaruhnya terhadap erosi di Indonesia masih memerlukan penelitian. Minimal kacang-kacangan dapat membantu penutupan tanah secara vertikal dan pembentukan mulsa dari daun-daun yang gugur di samping membantu menyuburkan tanah karena kemampuannya mengikat nitrogen dari udara. Bagi ternak kebaikan kacang-kacangan adalah kemampuannya meninggikan palatabilitas (rasa enak) rumput dalam pertanaman ganda, maupun kadar protein, Ca, dan P yang lebih tinggi daripada rumput, (Subadio Sesetyo,1977).

Sofijah Abujamin (1978), telah mengadakan suatu studi kasus tanah Latosol di Darmaga, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penanaman rumput, baik sebagai tanaman monokultur atau strip terhadap erosi. Selain daripada itu untuk mengetahui lamanya waktu yang diperlukan oleh tanaman rumput sehingga dapat menekan erosi

sampai mendekati titik nol.

Tanah tempat percobaan semula merupakan semak-semak yang terutama ditumbuhi mimosa dan alang-alang, terdapat diperkebunan karet IPB, di Darmaga, Bogor. Kemiringan lereng antara 15-22%. Ukuran petak percobaan: panjang 22 meter, lebar 2 meter.

Digunakan Rancangan Acak Kelompok dengan empat ulangan. Pada MH 1974-1975 dicobakan enam perlakuan, dan pada MH 1975-1976 serta selanjutnya tujuh perlakuan. Diantara perlakuan tersebut terdapat monokultur dan strip rumput. Tanah terbuka dicangkul tiap dua minggu (To), dianggap sebagai perlakuan standar.

Sampai dengan akhir percobaan MH 1974-1975 terlihat bahwa pertanaman monokultur rumput *Brachiaria decumbens* menimbulkan erosi 45.640 ton per hektar, sedangkan perlakuan teras tanah terbuka hanya menimbulkan erosi 6.113 ton/ha. Meskipun perbedaan antara pertanaman monokultur rumput dan perlakuan standar secara statistik sangat nyata, namun jumlah erosi yang ditimbulkannya masih jauh di atas batas erosi yang masih dapat diabaikan.

Arsyad (1976), telah menduga secara kuantitatif besarnya erosi yang masih dapat diabaikan berdasarkan penggolongan sifat-sifat tanah dan substratnya. Dinyatakan, tanah dengan lapisan tidak terkonsolidasi mempunyai batas erosi yang masih dapat diabaikan sebesar 11.21 ton/ha/tahun. Tanah Darmaga termasuk ke dalam kategori tersebut di atas.

Pada MH 1975-1976 perlakuan monokultur rumput *Brachiaria decumbens* masih dilanjutkan; dengan demikian pada awal percobaan tanaman rumput telah berumur sepuluh bulan. Perlakuan teras masih dilanjutkan, dengan ditanami kacang tanah dua kali. Ternyata bahwa monokultur rumput hanya menimbulkan erosi sebesar 0.246 ton/ha. Angka ini sangat kecil bila dibandingkan dengan keperluan teras yang ditanami kacang tanah dua kali, yang mengakibatkan erosi 0.978 ton/ha, sedangkan perlakuan standar menimbulkan erosi sebesar 107.683 ton/ha. Pertanaman monokultur rumput *Brachiaria decumbens* pada tahun kedua ternyata dapat menahan erosi sangat baik,

hingga erosi yang terjadi telah mendekati nol. Pada MH 1975-1976 juga dicobakan perlakuan strip rumput *Brachiaria decumbens* pada tanaman padi gogo dan sariwangi, namun hasilnya tidak dibahas sebab tidak dapat diperbandingkan.

Sejak MH 1976-1977 perlakuan monokultur rumput *Brachiaria decumbens* ditiadakan, namun masih ingin diteliti pengaruh selanjutnya. Petak bekas pertanaman rumput (T₅) dijadikan petak pertanaman pagi gogo-kedele dengan tanaman ubi kayu dalam strip. Lebar strip 0.5 m, merupakan bekas pertanaman rumput *Brachiaria decumbens* (sisa-sisa akar masih tertinggal di dalamnya, dan tumbuh bercampur dengan rumput jenis lain), strip baru secukupnya menjelang tanam ubi kayu, yakni setelah padi gogo berumur dua bulan. Ternyata bahwa pada akhir percobaan MH 1976-1977 perlakuan T₅ menimbulkan erosi 16.051 ton/ha, sedangkan perlakuan standar 305.750 ton/ha, erosi yang masih dapat diabaikan sebesar 11.21 ton/ha. Tanah Darmaga termasuk ke dalam katagori tersebut di atas.

Pada MH 1977-1978 juga dicobakan penanaman rumput Bahia (*Paspalum Notatum*) sebagai strip pada tanaman serai wangi. Lebar strip satu meter. Sebagian dari hasil percobaan dikemukakan pada Tabel 5. Dari Tabel 5 ini terlihat bahwa rumput Bahia mulai efektif dalam menahan erosi lima bulan setelah ditanam. Tampak pula bahwa aliran permukaan yang ditimbulkan masih lebih besar dari perlakuan standar.

Tabel 5. Besar Erosi dan Aliran Permukaan Pada Percobaan Darmaga, MH 1977-

1978

No.	Perlakuan	Erosi rata-rata (non/ha)			Aliran perm. Rata-rata		
		Pada periode waktu (bulan)					
		3-4	4-5	5-6	3-4	4-5	5-6
1.	Tanah terbuka di 197.038 cangkul tiap dua minggu		42.287	93.740	40.748	290.23	854.75
2.	Serai wangi (tanam: Sept. '76) Strip rumput Bahia (tanam: Sep.'77)	13.428	1.273	0.852	498.66	928.10	692.477
3.	Serai wangi (tanam: Sep.'79).	12.047	10.667	10.159	460.04	987.70	740.312

3.3.Peranan Sisa-sisa Tanaman Sebagai Mulsa dalam Pengawetan Tanah dan Air

Penggunaan sisa-sisa tanaman sebagai mulsa penutup tanah benar-benar akan mencegah terjadinya erosi dengan menghindarkan pengaruh-pengaruh langsung dari curah hujan terhadap tanah. Selain itu dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori makro di dalam tanah. Sisa-sisa tanaman penutup tanah akan menghambat kecepatan aliran permukaan (run-off), oleh karena dapat mengurangi tekanan gesekan dan kapasitas pengaliran air di permukaan tanah. Kandungan lumpur dalam aliran air di permukaan tanah yang terdapat mulsanya ternyata jauh sedikit daripada aliran air di permukaan tanah yang diolah secara biasa tanpa mulsa.

Kohnke, (1968) menyatakan bahwa penggunaan mulsa merupakan salah satu cara dalam usaha memperbaiki tata udara tanah. Peningkatan jumlah pori-pori makro

sebagai akibat kegiatan jasad hidup dalam tanah akan meningkatkan tersedianya air bagi akar tanaman. Mulsa dapat menghindari fluktuasi suhu dan kadar air permukaan tanah (Baver *et al.*, 1976). Dengan mulsa bahan organik lebih dapat dipelihara, bahkan dalam jangka panjang dapat ditingkatkan.

Menurunnya bahan organik pada tanah kering akan menurunkan kestabilan agregat tanah yang berakibat rusaknya struktur tanah dan menurunnya pori penyedia air dan aerasi tanah. Biasanya tanah dengan kadar bahan organik kurang dari 0.5% akan punya problema dalam peningkatan produksi, antara lain dalam masalah air, respons terhadap pupuk dan lain-lain. Keuntungan lain dari penggunaan mulsa adalah konservasi air, karena di samping meningkatkan jumlah pori penyedia air adanya mulsa juga mengurangi evaporasi dan mengatur suhu.

Fungsi Tanah

Fungsi tanah dalam peningkatan produksi adalah:

- (1) Sebagai sumber unsur-unsur hara bagi tumbuh-tumbuhan
- (2) Sebagai matriks tempat akar tanaman berjangkar dan air tanah tersimpan dan tempat unsur-unsur hara dan air ditambahkan.

Kedua fungsi tanah tersebut dapat habis. Hilangnya fungsi kedua oleh erosi menyebabkan hilangnya tempat berjangkar yang baik bagi tumbuhan dan tempat tersimpannya air. Kehilangan fungsi kedua ini tidak mudah diperbaiki (Suwardjo, 1978). Fungsi tanah sebagai tempat akar tanaman berjangkar dan air tanah tersimpan harus baik untuk perkembangan akar.

Faktor pengelolaan sisa-sisa tanaman dan cara serta waktu pengolahan tanah termasuk faktor C dari rumus persamaan erosi umum USDA merupakan rasio kehilangan tanah dari tanah yang diusahakan menurut sistem pengolahan C dengan kehilangan tanah dari tanah yang diusahakan tanpa tanaman pada jenis tanah dan lereng yang sama.

Menurut Wischmeier (1976), faktor mulsa adalah sebagai rasio antara erosi pada

tanah yang ditutup mulsa dengan erosi pada tanah tanpa mulsa. Faktor ini merupakan fungsi penutupan permukaan tanah oleh mulsa. Faktor mulsa ini dapat dipergunakan untuk prediksi erosi pada persamaan erosi.

Menurut Lal (1976), pengolahan tanah sepenuhnya tanpa pemakaian mulsa dan herbisida adalah suatu kesalahan dan penggunaan mulsa tanpa disertai pengolahan seperlunya dan penggunaan herbisida adalah tidak efisien. Suwardjo (1978) telah mengadakan penelitian pendahuluan mengenai penggunaan sisa-sisa tanaman untuk konservasi tanah. Penelitiannya itu dimulai pada musim hujan (1977/1978) dengan harapan dapat memberi landasan ke arah penelitian-penelitian selanjutnya yang lebih terarah lagi.

Berikut ini merupakan hasil yang masih berupa pengamatan erosi dan produksi dari percobaan pada tanah Latosol di Citayam dan Mediteran di Pacitan dan Putat. Pada pertanaman pertama tanah diolah seluruhnya dan kemudian ditanami kedele. Mulsa yang digunakan adalah jerami padi dan batang kacang tanah. Tiap macam mulsa digunakan sebanyak 6 ton dan 4 ton.

Dari hasil tersebut pengaruh mulsa sangat nyata menurunkan erosi. Sisa-sisa tanaman sebagai mulsa pada permukaan tanah telah menghambat kecepatan aliran-aliran permukaan. Mulsa sisa tanaman dapat mencegah erosi dengan menghindarkan pengaruh langsung curah hujan terhadap tanah. Tetapi ternyata jumlah erosi dari aliran permukaan pada tempat berlereng 15% seperti Citayam masih jauh lebih besar dibanding hasil percobaan di Nigeria. Menurut Lal (1976), dengan menggunakan mulsa sebanyak 4 ton sudah cukup menahan erosi.

Tetapi di Citayam, meskipun tanahnya tidak peka erosi (dengan $K = 0.02$), ternyata erosinya masih agak besar. Hal ini disebabkan oleh keadaan curah hujan di Citayam yang jauh lebih besar dari di Ibadan (Nigeria). Curah hujan di Nigeria hanya 1100 mm/tahun, sedangkan curah hujan di Citayam mencapai 3000 mm/tahun. Meskipun mulsa 6 ton telah dapat menekan erosi cukup besar, tetapi dilihat pengaruhnya pada satu musim tanam menunjukkan jumlah erosi yang masih di atas

batas yang boleh dibiarkan. Lebih-lebih dengan bahan 4 ton mulsa ini belum mampu menekan sampai sekecil mungkin.

Erosi pada perlakuan mulsa kacang tanah ternyata lebih besar dibanding pada jerami padi. Hal ini karena bahan mulsa kacang tanah (leguminosa) ternyata sangat cepat melapuk sehingga dalam waktu satu bulan bahan mulsa tersebut daunnya telah habis, sedang batang-batangnya dalam waktu dua bulan. Jerami padi sampai pertanaman berikutnya masih cukup banyak dan masih dapat berfungsi menahan erosi. Untuk usaha konservasi dengan sisa tanaman yang tidak mudah lapuk, seperti jerami, adalah lebih baik dari sisa-sisa tanaman leguminosa yang lebih lekas melapuk. Fungsi melindungi dengan bahan yang lekas melapuk akan menimbulkan erosi yang lebih besar.

Tetapi agaknya penggunaan mulsa bahan batang kacang tanah ada kecenderungan meningkatkan produksi, meskipun hal ini perlu diuji lebih mendalam. Penggunaan mulsa di Putat dan Punung tidak menunjukkan perbedaan produksi, tetapi pengurangan erosi lebih jelas dipercobaan Punung. Bahan jerami di Punung yang telah lebih lapuk dibanding di Putat agaknya merupakan penyebabnya.

Pengaruh tanpa pengolahan saja belum dapat menunjukkan erosi cukup besar, sedangkan kombinasi tanpa pengolahan dan penggunaan mulsa cukup baik. Mengingat curah hujan di daerah ini yang cukup besar maka dianjurkan pemakaian bahan mulsa penutup tanah lebih banyak dari 6 ton.

IV.PENGARUH SIFAT FISIK TANAH TERHADAP BESARNYA EROSI

4.1.Tekstur Tanah

Tekstur tanah perbandingan relatif dari berbagai golongan besar partikel tanah dalam suatu massa tanah, terutama perbandingan antara fraksi-fraksi liat, debu dan pasir. Tekstur tanah turut menentukan tata air dalam tanah, yaitu berupa kecepatan infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikatan air oleh tanah.

Untuk menentukan apakah akan terjadi aliran permukaan atau tidak, tergantung kepada dua sifat yang dipunyai oleh tanah tersebut, yaitu:

- a. Kapasitas infiltrasi, yaitu kemampuan tanah untuk meresapkan air, diukur dalam mm setiap satuan waktu.
- b. Permeabilitas dari lapisan tanah yang berlainan, yaitu kemampuan tanah untuk melakukan air atau udara ke lapisan bawah profil tanah.

Bilamana kapasitas infiltrasi dan permeabilitas besar seperti pada tanah berpasir yang mempunyai kedalaman lapisan kedap yang dalam, walaupun dengan curah hujan yang lebat kemungkinan untuk terjadi aliran permukaan kecil sekali. Sedangkan tanah-tanah bertekstur halus akan menyerap air sangat lambat, sehingga curah hujan yang cukup rendah akan menimbulkan aliran permukaan.

Stalling (1957) menyatakan bahwa kemantapan agregat-agregat tanah merupakan faktor yang terpenting dalam kesuburan dan pengawetan tanah. Kemantapan agregat tanah ini dimungkinkan dengan adanya bahan perekat seperti liat, CaCO_3 , Fe-hidroksida, bahan organik dan zat-zat lendir yang dihasilkan oleh micro-organisme, sehingga butir-butir tanah tersebut terikat kuat satu sama lain oleh bahan-bahan perekat.

Menurut Bennet (1939), tekstur kasar yang terpisah satu sama lain atau tidak

membentuk agregat menunjukkan permeabilitas yang lebih tinggi daripada tekstur halus, yang dapat mengurangi terjadinya aliran permukaan. Tetapi hal tersebut pada tanah-tanah yang cepat jenuh oleh air, bahaya erosi kemungkinannya besar.

Kepekaan tanah terhadap erosi ditentukan oleh mudah tidaknya butir-butir tanah atau agregat-agregat tanah didispersikan dan disuspensikan oleh air, daya infiltrasi dan ukuran butir-butir tanah yang akan menentukan mudah atau tidaknya terangkut oleh air. Karena itu tanah dengan agregat yang mudah didispersikan oleh air dan daya infiltrasinya kecil serta dengan ukuran butir-butir tanah halus, peka terhadap erosi atau erodibilitasnya besar (Baver, 1956).

4.2. Struktur Tanah

Struktur tanah adalah susunan agregat-agregat primer tanah secara alami menjadi bentuk tertentu atau menjadi agregat-agregat yang lebih besar yang dibatasi oleh bidang-bidang tertentu. Struktur tanah memegang peranan penting terhadap pertumbuhan tanaman, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh yang langsung yaitu terhadap pertumbuhan akar tanaman. Bila tanah padat, akar akan sukar menembus tanah tersebut, tetapi bila struktur tanah remah, maka akar akan tumbuh dengan baik. Pengaruh yang tidak langsung yaitu terhadap tata air, tata udara dan temperatur tanah. Pengaruh struktur tanah terhadap tata air dan tata udara tanah, terutama terhadap permeabilitas atau kemampuan tanah untuk mengalirkan air dan udara dalam tanah.

Tanah-tanah yang mempunyai struktur mantap terhadap pengaruh air, memiliki permeabilitas dan drainase yang sempurna serta tidak mudah didispersikan oleh air hujan. Permeabilitas tanah dapat menghilangkan daya air untuk mengerosi permukaan tanah, sedangkan drainase mempengaruhi baik buruknya pertukaran udara dan selanjutnya akan mempengaruhi kegiatan mikro-organisms dalam tanah, juga perakaran tanaman.

Umumnya struktur tanah yang dikehendaki dalam bidang pertanian adalah struktur remah, yang perbandingannya antara bahan padat dengan ruang pori-pori relatif

seimbang. Keimbangan perbandingan volume tersebut menyebabkan kandungan air dan udara mencukupi bagi pertumbuhan, dan bahan padatnya menyebabkan akar dapat cukup kuat untuk bertahan.

Menurut beberapa penyelidikan, tanah yang berstruktur remah mempunyai pori-pori di antara agregat yang lebih banyak daripada yang berstruktur gumpal, sehingga perembesan airnya lebih cepat. Karena itu terjadinya aliran permukaan diperkecil. Tanah dengan pori-pori yang besar dan struktur yang baik akan memiliki kecepatan infiltrasi yang besar. Tetapi menurut Bennet (1939), bila air hujan yang jatuh mendispersikan butir-butir tanah yang halus dan tanah yang terdispersi ini terbawa oleh air, lalu menutupi pori-pori tanah sehingga padat, maka kecepatan infiltrasi menjadi kecil dan aliran permukaan menjadi lebih besar. Bila kecepatan mengalir dua kali, maka kapasitas mengangkut menjadi lebih besar dan bahkan kapasitas mengangkut dapat menjadi delapan kali lebih besar, tergantung dari keadaan lereng yang ditempuh aliran tersebut.

4.3. Pengaruh Tekstur dan Struktur Tanah Terhadap Infiltrasi, Aliran Permukaan dan Penghancuran Tanah

Sifat-sifat tanah yang menentukan dan membatasi besarnya kapasitas infiltrasi tanah adalah struktur tanah yang sebagian besar ditentukan oleh tekstur tanah, pemadatan tanah dan sekelet tanah.

Partikel-partikel tanah pada umumnya terdiri atas fraksi pasir, debu dan fraksi liat. Adanya perbedaan komposisi dari ketiga fraksi tersebut menyebabkan daya infiltrasi yang berbeda pula. Di samping itu dalam masalah infiltrasi ini faktor struktur tanah yang turut menentukan adalah jumlah, ukuran pori dan kemantapan porinya.

Menurut Bermanakusumah (1978), jumlah dan ukuran pori yang menentukan adalah jumlah pori-pori yang berukuran besar. Makin banyak pori-pori besar maka kapasitas infiltrasi makin besar pula, dan besarnya ukuran pori tersebut dapat dilihat pada

Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Ukuran Pori Tanah

Jenis	Diameter (u)
Pori besar	> 10
Pori sedang	0,2-0,02
Pori halus	≤ 0,02

Sumber 1 Schoeder (1969), *Bodenkunde in Stichworten* cit Bemamakusumah (1976)

Atas dasar ukuran pori tersebut di atas ternyata liat kaya akan pori halus dan miskin akan pori besar. Sebaliknya fraksi pasir banyak mengandung pori besar dan sedikit pori halus. Dengan demikian kapasitas infiltrasi pada tanah-tanah pasir jauh lebih besar daripada tanah liat, dan pengaruh perbedaan daripada tekstur tanah terhadap proses infiltrasi terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengaruh tekstur tanah terhadap proses infiltrasi

Macam tanah	Kapasitas Infiltrasi mm/jam
Pasir bergeluh loamy sand	25-50
Geluh/ loam	12.5-25
Geluh berdebu /silt loam	7.5-15
Geluh berliat/clay loam	0.5-2.5
Liat/clay	0.5-

Sumber: Sitanawl Arsyad (1976), *pengawetan Tanah dan Air*, IPB Bogor

Di samping hal tersebut di atas proses pemadatan tanah baik oleh tumbukan air hujan, penggembalaan ternak dan pengolahan tanah dengan mesin berat, menyebabkan berkurangnya pori-pori tanah sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi. Sedangkan sekelet tanah secara langsung berpengaruh terhadap ukuran pori yang terbentuk, yaitu makin banyak sekelet tanah makin besar pula kapasitas infiltrasinya.

Dari uraian di atas dapat pula disimpulkan bahwa tanah-tanah yang tekstur tanah yang kasar menciptakan struktur tanah yang ringan, sebaliknya tanah-tanah yang terbentuk atau tersusun dari tekstur tanah halus menyebabkan terbentuknya atau tersusun dari tekstur tanah yang halus menyebabkan terbentuknya tanah-tanah yang berstruktur berat. Adanya perbedaan struktur tanah yang terbentuk, secara tidak langsung mempengaruhi pori-pori tanah yang terbentuk, baik yang menyangkut ukuran maupun yang menyangkut jumlah porinya.

Tanah-tanah dengan struktur tanah yang berat mempunyai jumlah pori halus yang banyak, dan miskin akan pori-pori besar. Sebaliknya tanah-tanah yang berstruktur ringan mengandung banyak pori besar dan sedikit pori halus. Dengan demikian kapasitas infiltrasinya pun dari kedua jenis tanah tersebut akan berbeda pula, yaitu tanah yang berstruktur ringan kapasitas infiltrasinya akan lebih besar dibandingkan dengan tanah-tanah dengan struktur berat.

Atas dasar kapasitas infiltrasinya dapatlah dikatakan bahwa kemungkinan aliran permukaan pada tanah-tanah yang berat akan lebih besar dibanding pada tanah yang berstruktur ringan. Hal ini sesuai dengan pendapat Bermanakusumah (1978), bahwa kapasitas infiltrasi tanah ikut menentukan banyaknya air yang mengalir di atas permukaan tanah, sebagai aliran permukaan. Jadi, makin besar kapasitas infiltrasi, maka aliran permukaan yang terjadi akan semakin kecil.

Proses terjadinya erosi dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut dapat bekerja sendiri-sendiri atau bekerja sama dengan faktor lainnya. Hudson mengklasifikasikan faktor yang mempengaruhi erosi ke dalam dua komponen utama,

yaitu erosi dan erodibilitas. Pengertian erosi dalam kemampuan air hujan untuk menghancurkan dan menghanyutkan air hujan. Karena itu bila dikatakan erodibilitas suatu jenis tanah tinggi, berarti tanah tersebut peka atau mudah tererosi; sebaiknya bagi tanah-tanah dengan erodibilitas tanah yang rendah, berarti tanah tersebut resisten atau tahan terhadap erosi.

Metoda Bounyoucos adalah salah satu cara untuk mengukur erodibilitas tanah yang disebut juga metode *clay ratio*. Dengan demikian besarnya erodibilitas suatu jenis tanah menurut metoda ini dinyatakan oleh persamaan di bawah ini:

Dimana persamaan tersebut terlihat bahwa peranan masing-masing fraksi menentukan terhadap besar-kecilnya erodibilitas tanah yang bersangkutan. Selanjutnya menurut Kuron dan Jung (1957) dan Ramdhon Bermanakusumah (1978) penentuan besarnya nilai erodibilitas suatu jenis tanah dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$E = B/St$$

$$B = \text{transfortabilitas}$$

$$St = \text{stabilitas}$$

Lebih lanjut lagi dia menyebutkan bahwa transfortabilitas suatu jenis tanah ditentukan oleh tekstur tanah, sedangkan stabilitas ditentukan oleh tekstur dan bahan organik tanah.

Untuk menentukan nilai transfortabilitas (B) dan nilai stabilitas (St), Ramdhon bermanakusumah (1978) mengemukakan rumus di bawah ini:

$$B = 1/k (U+ES)$$

K = parameter untuk kandungan batu

U = % debu

H = % humus

Fs = % pasir halus

Gs = % pasir kasar

T = % liat

As = stabilitas agregat

Berdasarkan rumus-rumus di atas maka stabilitas suatu jenis tanah dapat ditentukan. Sebagai contoh besarnya erodibilitas beberapa jenis tanah terlihat pada Tabel 8 di bawah ini:

Tabel 8 . Besarnya Nilai Erodibilitas dari Beberapa Macam Tanah

Macam tanah	Transfortabilitas	Stabilitas	Erodibilitas
	(B)	(St)	(E)
Tanah loes	51.50	105.34	0.49
Tanah pasir	35.30	103.78	0.34
Tanah kapur	31.80	114.43	0.28
Tanah liat	20.10	110.32	0.18

Sumber : Ramdhon Bermanakusumah, 1976

Dari tabel diatas dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa tanah-tanah yang banyak mengandung debu paling mudah tererosi. Hal ini disebabkan karena debu dengan ukuran 0.002-0.05 mm sangat mudah dihanyutkan air, cepat penurunan kapasitas infiltrasinya, dan rendah kamantapan sturkturnya. Sedangkan tanah pasir akan lebih tahan tererosi, karena tanah pasir kaya akan pori yang besar. Tapi tanah pasir mempunyai kemantapan struktur yang rendah. Di antara ketiga jenis tanah yang paling tahan terhadap erosi adalah tanah-tanah liat. Hal ini disebabkan tanah liat mempunyai kemantapan struktur yang tinggi, dan kapasitas penampungan air yang tinggi pula.

4.4. Kandungan Bahan Organik Tanah

Lapisan tanah atas atau top soil memegang peranan penting dalam pertanian, terutama bagi pertumbuhan tanaman. Tanaman mengambil dan mengumpulkan unsur-unsur hara baru dari lapisan tanah yang lebih dalam dengan perantaraan akar yang kemudian terkumpul bagi di atas permukaan tanah melalui daun yang jatuh dan sisa tanaman. Peristiwa ini akan memperkaya lapisan tanah dengan unsur hara dan bahan

organik. Kandungan bahan organik lapisan tanah atas yang lebih tinggi akan membuat struktur tanah peredaran udara, pergerakan air, aktivitas jasa hidup dan pertumbuhan akar yang lebih baik dibandingkan dengan lapisan tanah di bawahnya.

Menurut Bennet (1955), fungsi bahan organik pencegahan terjadinya erosi antara lain dapat memperbaiki aerasi tanah dan mempertinggi kapasitas air tanah serta memperbaiki daerah perakaran. Sedangkan Kang Biauwan Tjwan (1968) menyatakan bahwa peranan bahan organik tanah terhadap sifat fisik tanah adalah menaikkan kemantapan agregat tanah, memperbaiki struktur tanah dan menaikkan daya tahan air tanah. Selanjutnya Isa Darmawidjaya (1961) menyatakan bahwa peranan bahan organik dalam pengendalian tata air tanah antara lain:

- a. Memperbaiki peresapan air ke dalam tanah
- b. Mengurangi run-off
- c. Mengurangi perbedaan kandungan air dalam tanah dari sungai antara musim kemarau.

Daya pemadatan sebagai akibat jatuhnya butir-butir hujan pada tanah yang tidak terlindung, merupakan faktor utama penyebab erosi. Tetapi selama ada penutup tanah atau vegetasi, maka daya pemadatan dan daya perusak butir-butir hujan ini akan sangat dikurangi. Jadi penutup tanah atau vegetasi tersebut sangat penting untuk mencegah pukulan langsung dari butir-butir hujan pada tanah.

Tanaman penutup tanah selain melindungi tanah dari pukulan hujan, merupakan sumber bahan organik bagi kebutuhan micro-organisme. Bahan organik yang berasal dari guguran vegetasi adalah sumber makanan yang merangsang kegiatan micro-organisme dalam menciptakan struktur tanah yang baik dan terciptanya suatu lapisan khusus pada permukaan tanah (Stallings, 1957).

Persediaan organik akan berlimpah-limpah karena terjadinya pembusukan dari akar tumbuhan-tumbuhan terutama jenis rumput-rumputan dan leguminosa, yang sangat berharga dalam pengikatan partikel-partikel tanah. Di samping itu juga dapat perbesar daya absorpsi tanah akan air hujan. Tanah yang banyak mengandung bahan

organik mempunyai lapisan humus yang tebal. Tanah seperti ini mempunyai sifat fisik yang baik, yaitu mempunyai kemampuan mengisap air sampai beberapa kali berat keringnya, dan juga memiliki porositas yang tinggi.

Hutan-hutan yang ditebang secara liar, tanahnya akan langsung kena cahaya matahari, dan waktu turub hujan lebat menderita pukulan air hujan. Keadaan ini akan merusak struktur tanah sebagai akibat daya perusak air dan ditambah lagi dengan hanyutnya organik tanah. Akibat dari hal tersebut maka kesuburan tanah dalam waktu yang singkat akan merosot dengan cepat, sehingga terdapatlah tanah tandus. Untuk memperbaiki tanah yang telah rusak ini diperlukan waktu yang lama, biaya yang besar dan tenaga yang berpengalaman.

Menurut Kang Biau Tjwan (1968), ada beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk mempertahankan atau menaikkan kandungan bahan organik tanah, yaitu dengan jalan:

- a. Menggunakan pupuk kandang, kompos atau pupuk hijau.
- b. Mengusahakan dikembalikannya sisa-sisa tanaman ke dalam tanah.
- c. Melakukan pertama secara tumpang sari, sehingga tanah akan tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Hal ini untuk menghindari penguraian (oksidasi) bahan organik yang berlebihan bila tanah langsung disinari matahari.

4.5. Topografi

Derajat kemiringan dan panjang lereng merupakan dua sifat yang utama dari topografi yang mempengaruhi erosi (Baver, 1956). Menurut Kang Biau Tjwan (1968), dengan makin curam dan makin panjangnya lereng maka makin besar pula kecepatan aliran air permukaan dan bahaya erosi. Bila kita hubungkan kenyataan ini dengan lereng yang gundul, maka inilah yang termudah untuk terjadinya erosi ditinjau dari sudut topografi, karena kecepatan daripada aliran air permukaan dapat dengan mudah mengikis lapisan tanah atas.

Pada tanah yang datar kecepatan pengaliran air lebih kecil dibandingkan dengan tanah yang miring. Topografi miring mempergiat berbagai erosi air, sehingga

membatasi dalamnya solum. Sebaliknya jika air tergenang di suatu dataran dalam waktu yang lama atau sepanjang tahun, maka pengaruh iklim relatif tidak begitu nampak di dalam perkembangan tanah yang teratur.

Pada topografi yang datar, kebanyakan air hujan meresap ke dalam tanah dan menyelenggarakan hidrolisa dan pencucian. Jika bahan induknya tidak dapat atau sukar dirembesi air, maka tanah yang terdapat di atasnya untuk jangka waktu tertentu akan tetap lembab atau basah, asalkan mempunyai curah hujan yang lebih besar daripada penguapan air dari tanah.

Menurut penyelidikan Ellison yang dikutip oleh Baver (1956), banyaknya tanah yang terlempar tiap satu tetesan air hujan yang memercik berbanding lurus dengan besarnya tetesan, kecepatan tetesan, dan intensitas hujan. Jumlah tanah maksimal dalam percikan air kira-kira pada waktu 2-3 menit setelah hujan mulai turun, yaitu setelah permukaan tanah tertutup oleh selapis air. Di samping itu suatu lereng dengan kemiringan 10% akan menyebabkan kira-kira tiga perempatnya dari jumlah tanah yang terpecik akan jatuh kembali ke sebelah bawah dari tempat asalnya. Akibat hal tersebut, maka terjadi pemindahan tanah erosi sebelum terjadi "run-off". Butir-butir tanah yang halus ini sebagai terbawa dalam aliran air dan sebagian lagi mengendap dan menutupi pori-pori tanah.

Akibat air hujan yang tidak meresap ke dalam tanah dan mengalir di permukaan tanah sebagai run-off, maka tanah yang tadinya subur menjadi kurang subur dan akan memberikan hasil yang menurun dibandingkan dengan keadaan sebelum terjadinya erosi.

V.PENGARUH EROSI TERHADAP KESUBURAN TANAH

5.1. Pengaruh Terhadap Kesuburan Fisik Tanah

Seperti telah diuraikan terdahulu, erosi dan sedimentasi yang diakibatkan oleh pergerakan air (daerah dengan curah hujan tinggi) meliputi beberapa proses. Terutama meliputi proses pelepasan (detachment), penghanyutan (transportation) dan pengendapan (deposition) daripada partikel-partikel tanah yang terjadi akibat tumbukan tetes air hujan dan aliran permukaan (Foster dan Meyer, 1977). Tetesan air hujan ini dapat berukuran besar maupun kecil; akibatnya memiliki kecepatan jatuh yang berbeda-beda dan dengan intensitas yang rendah sampai tinggi. Terutama pada Podsolik Merah Kuning, juga pada tanah Latosol, sering terlihat gejala-gejala erosi terutama pada kemiringan lereng sekitar 15% atau lebih. Hal ini menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik tanah Podsolik Merah Kuning dan tanah Latosol mudah sekali dipengaruhi oleh tetesan air hujan. Sebagai akibatnya maka porositas menurun karena pori-pori tanah sebagian tertutup oleh butir-butir tanah yang halus. Tetesan butir hujan yang jatuh ke atas tanah mengakibatkan pecahnya agregat-agregat tanah tersebut, sebab memiliki energi kinetik (K.E) yang cukup besar. Tetesan hujan kemudian diikuti dengan aliran di permukaan yang dapat mengikis tanah dan menghanyutkan partikel-partikel tanah.

Menurut Russel (1973), air hanya akan mengalir di permukaan tanah apabila jumlah air hujan lebih besar daripada kemampuan tanah untuk menginfiltrasikan air ke lapisan yang lebih dalam. Dengan menurunnya porositas tanah, karena sebagian pori-pori tertutup oleh partikel tanah yang halus, maka laju infiltrasi akan semakin berkurang; akibatnya aliran air di permukaan akan makin bertambah banyak. Aliran air di permukaan mempunyai akibat yang penting. Lebih banyak air yang mengalir di permukaan tanah maka lebih banyak tanah yang terkikis dan terangkut banjir yang dilanjutkan terus ke sungai untuk akhirnya diendapkannya.

Lebih lanjut tetesan air hujan ini dapat menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras (crust formation) pada lapisan permukaan. Akibatnya dapat menyetop sama sekali

laju infiltrasi sehingga aliran permukaan semakin berlimpah.

Dari uraian ini jelas bahwa pengaruh erosi ini dapat menimbulkan kemerosotan kesuburan fisik dari tanah itu. Akibat langsung dari erosi ini adalah hilangnya lapisan atas atau lapisan olah tanah, sedikit demi sedikit, sehingga sampai pada lapisan bawah (sub-soil), yang umumnya memiliki sifat fisik yang lebih jelek lagi.

5.2. Pengaruh Erosi Terhadap Kesuburan Kimia Tanah

Tanah yang subur atau yang produktivitasnya tinggi, yaitu tanah yang dapat menyediakan unsur hara yang sesuai dengan tuntutan tanaman, sehingga produksinya optimum. Unsur hara tanaman di dalam tanah paling banyak terdapat pada lapisan atas atau lapisan olah tanah yang diserap oleh partikel-partikel liat dan humus tanah dengan kandungan kompleks liat dan humusnya tinggi yang masih belum tererosi adalah tanah yang masih subur.

Berkurangnya unsur hara dalam tanah adalah karena terangkut pada waktu panen, pencucian dan terangkut pada waktu peristiwa erosi. Apabila berjalan terus-menerus mengikis lapisan permukaan tanah, maka dengan sendirinya akan terangkut kompleks liat dan humus dan partikel tanah lainnya yang kaya akan unsur hara tanaman.

Di beberapa daerah berkurangnya unsur hara akibat erosi bisa lebih besar dari akibat panen dan pencucian. Pada Tabel 8 di bawah ini adalah perbandingan jumlah kehilangan unsur hara (kg/ha) akibat erosi dan akibat panen.

Hasil penelitian ini mungkin hanya berlaku untuk daerah tertentu saja, akan tetapi dari sini dapat diambil kesimpulan bahwa kehilangan tanah karena erosi (dalam hal ini kehilangan unsur hara) dapat melebihi kehilangan akibat panen. Penelitian ini dilakukan pada kemiringan lereng hanya 4%.

Mengenai banyaknya lapisan olah tanah yang terkikis dan dihanyutkan setiap tahunnya di beberapa tempat di Indonesia, adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 9 dibawah ini

Tabel 8. Jumlah Kehilangan Unsur hara (kg/ha) karena erosi dan panen, selama rata-rata dua tahun, yang diperoleh dari percobaan di Missouri (Goeswono Soepardi, 1974)

Keadaan	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
1. Kehilangan karena erosi, jagung terus-menerus	66	41	729	309	145	42
2. Rotasi: jagung, gandum, vlover.	26	18	258	120	48	15
3. Terangkut tanaman (panen) rata-rata untuk rotasi standar	75	30	60	35	25	25

Tabel 9. Tebalnya dan banyaknya lapisan olah tanah yang tererosi setiap tahun di Indonesia

NO.	Daerah Aliran Sungai	Erosi	
		Tebal (mm)	Ton /ha (BD ± 1.5)
1.	Ciliwung	0.15	2.25
2.	Brantas	0.60	9.00
3.	Cimanuk	0.80	12.00
4.	Banyu Putih	0.40	6.00
5.	Cilamaya	1.40	21.00
6.	Jragung	2.50	37.50
7.	Serayu	1.80	27.00
8.	Lusi	1.40	21.00
9.	Pengaron	5.00	75.0

Di Pulau Jawa kurang lebih 200 juta ton lapisan atas tanah yang subur, setiap tahunnya dihanyutkan ke laut melalui sungai-sungai pada saat terjadinya erosi. Tanah yang subur ini diperkirakan mengandung 150 ribu ton asam fosfat, yaitu kira-kira sama dengan 350 ribu ton pupuk fosfat.

Wadleigh (Rauschkolb, 1971) telah menduga mengenai banyaknya tanah yang tererosi di seluruh Amerika Serikat adalah 4000 juta ton setiap tahunnya dan terus diangkut ke sungai. Diduga ada 75% dari tanah yang tererosi itu berasal dari lahan-lahan pertanian dan hutan. Apabila hasil analisa tanah rata-rata mengandung 0.1% nitrogen, 0.15% P_2O_5 , dan 0.5% K_2O , maka berarti bahwa lebih dari 50 juta ton dari tiga unsur hara utama tadi hilang dari lahan-lahan pertanian dan kehutanan setiap tahunnya.

Di Tiongkok pada tahun 1934 sebagai akibat erosi, maka Sungai Kuning menghanyutkan kira-kira 1.3 juta m^3 tanah lempung. Jumlah ini sama dengan 450.000 hektar tanah sawah yang tebal lapisan olahannya 20 cm (Benet, 1939).

Dari uraian ini jelas bahwa erosi yang berlasung terus akan mengakibatkan merosotnya kesuburan tanah dengan cepat.

5.3. Pengaruh Erosi Terhadap Kesuburan Biologi Tanah

Erosi tidak hanya berpengaruh langsung terhadap kesuburan fisik dan kimia tanah, akan tetapi juga berpengaruh terhadap merosotnya kesuburan biologi tanah.

Pada saat lapisan tanah tererosi dan terangkut ke sungai-sungai maka bersamaan dengan itu pula telah terangkut sejumlah besar jasad hidup tanah dan bahan organik sebagai sumber persediaan makanan bagi mikro-organisme tersebut. Keadaan ini juga akan mengakibatkan perubahan pada faktor-faktor lingkungan hidup daripada mikro-organisme tersebut. Perubahan ini bisa meliputi penurunan pH tanah, kelembaban tanah, kandungan bahan organik, daya pegang tanah terhadap air, perubahan temperatur tanah, dan struktur tanah.

Pada tanah masam (pH yang rendah) dengan kelembaban rendah dan sedikit mengandung bahan organik, maka algae dan bakteri-bakteri nitrifikasi akan berkurang jumlahnya (Waksman, 1963).

Sabagai akibat dari terjadinya erosi tanah maka menjadi tidak terlindung dari sinar matahari yang terik, sehingga jasad hidup mikro tidak dapat berkembang dengan baik karena temperatur tanah yang tinggi.

Erosi akibat air secara langsung akan menghanyutkan jasad hidup mikro di dalam tanah, sehingga penguraian sisa-sisa bahan organik menjadi terhambat karenanya.

5.4. Pengaruh Erosi Terhadap Produktivitas Sumber Daya Alam

Dalam kehidupan manusia, selain sinar matahari, flora dan fauna, maka tanah dan air adalah merupakan sumberdaya alam yang paling penting yang kita miliki.

Besarnya daya dukung dan kelestarian produktivitas sumber daya alam tanah dan air sangat ditentukan oleh interaksi antara cara manusia mengelola sumberdaya alam itu sendiri dengan factor lingkungan biofisik.

Apabila penggunaan sumberdaya tanah melampaui batas kemampuan tanah yang bersangkutan tanpa ada usaha-usaha teknologi tertentu sebagai masukan (input), maka akan terj adi tanah-tanah gersang yang tidak produktif sama sekali. Hal yang demikian itu tentunya akan lebih mengkhawatirkan lagi dan berbahaya jika terjadi di daerah-daerah aliran sungai.

Hal ini telah terbukti dengan terjadinya apa yang disebut dengan “daerah mati” di daerah aliran sungai Cilutung, Jawa Barat. Keadaan ini diperkuat oleh hasil penyelidikan Ditjen Pengairan Departemen P.U. (1977), dan Emil Salim (1960), bahwa kadar lumpur dalam aliran sungai-sungai khususnya di Jawa Barat, berkisar antara 939-5520 mg/liter atau kira-kira 0.1-0.55%, sedangkan sungai-sungai di luar Jawa berkisar antara 67-2790 mg/liter atau antara 0.007-0.28%. Banyaknya lumpur yang dihanyutkan oleh sungai-sungai di Jawa antara 9.33 120 ton/ha/tahun, jauh di atas besarnya yang dapat dibiarkan Lumpur yang dihanyutkan oleh sungai-sungai di luar Jawa “hanya” berkisar antara 0.33-11.3 ton/ha/tahun, dan dinilai masih dibawa besarnya erosi yang masih dapat dibiarkan. Untuk jelasnya maka Tabel 10 di bawah ini menggambarkan tingkat erosi beberapa sungai-sungai di Jawa Barat.

Dari gambaran tersebut dan dari beberapa data yang dapat dikumpulkan terlihat dahulu bahwa pada akhir-akhir ini sudah tersebar tanah-tanah kritis yang menyebabkan lahan-lahan tidak produktif lagi dengan luas yang cenderung meningkat.

Informasi tersebut merupakan suatu indikasi bahwa masyarakat belum menghayati bahaya yang dapat ditimbulkan oleh erosi dan pelumpuran sungai dengan segala dampak sosial ekonomisnya yang buruk.

Tabel 10. Keadaan Tingkat Pelumpuran di Beberapa Sungai di Jawa Barat

Daerah aliran sungai	Kadar (mg/l)	Lumpur maksimum	Angkutan (jt.Ton/tahun)	Lumpur (ton/km/tahun)	Intensitas erosi (mm/thn)
Cimanuk:	2850	8840	25.0	7820	6.0
Cipelas			2.0	4880	3.8
Cilutung	5520	20360	7.2	12000	9.2
Cikeruh&Cihanggam			2.8	11200	8.6
Cibaduy:	2190	4610	9.49	3740	2.9
Cimuntur			1.75	3030	2.3
Cikawang			0.73	1910	1.5
Ciseel			0.23	1470	1.1

Citarum			3.79	933	0.70
Ciliwung					0.10
Cisanggarung					8.0
Range rendah hati Sungan di Jawa	939-	1510-	0.28	933-	0.1-23
	5520	20300	25.0	12000	
Range rendah tinggi Sungai di luar jawa	67-	152	0.17-	33-	0.003-0.87
	2790	9610	1.40	1133	

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan Departemen P.U., "Tingkat Erosi Beberapa Wilayah Sungai di Indonesia" (1977), Emil Salim (1980)

Dengan teknologi tepat guna, antara lain melalui penggunaan bahan pemantap tanah serta beberapa kultur teknik lainnya, dapat dijaga keseimbangan antara kemampuan sumberdaya alam ini dengan penggunaannya, sehingga proses penurunan produktivitas tanah yang menjerus ke arah terjadinya tanah-tanah gersang dapat dihindarkan. Dengan demikian juga menurunnya tingkat kesuburan tanah secara fisik, kimia maupun biologi dapat dihindari atau sekurang-kurangnya dapat dikurangi.

VI. BEBERAPA CARA DALAM USAHA PENCEGAHAN DAN MENGENDALIKAN EROSI

Dalam usaha pencegahan dan pengendalian erosi ini perlu diperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi. Faktor-faktor ini terutama adalah iklim, tanah topografi atau bentuk wilayah terutama panjang dan kemiringan lereng, vegetasi penutup tanah, dan kegiatan manusia. Berdasarkan pengendalian faktor-faktor yang dapat diatasi manusia, maka prinsip pengawetan tanah ini meliputi 1 cara vegetasi, cara teknis mekanis dan cara pemakaian bahan-bahan pemantap tanah (soil conditioner).

6.1. Cara-Cara Pencegahan dan Pengendalian Erosi

6.1.1 Cara Vegetasi

Sumberdaya alam berupa vegetasi dengan tipe-tipenya, yaitu yang berupa hutan, perkebunan, kebun campuran dengan pola usaha tani terpadu dan lain-lain harus diperhatikan dan dikembangkan sesuai dengan peranannya, yaitu sebagai pelindung tanah. Di antara tipe-tipe penutup tanah tersebut, maka hutan alami atau hutan buatan memiliki peranan sebagai pelindung tanah yang paling baik, asal dalam keadaan ekosistem yang utuh. Dalam hal ini pengaruhnya terhadap erosi tergantung pula pada pengelolaannya.

Dengan pola pertanian yang baik yang biasanya memberikan hasil yang tinggi, umumnya bahaya erosi dapat dikurangi sampai seminimal mungkin. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 11 di bawah ini, yaitu percobaan dengan tanaman jagung di Afrika Tengah, dengan curah hujan 1130 mm/tahun.

Sudarto Handoyono, dkk. (1979), telah melakukan penelitian mengenai permasalahan Vegetasi Daerah Aliran Sungai Waduk Jatiluhur. Sebagai kesimpulannya diterangkan bahwa vegetasi alami dan buatan merupakan suatu unit ekosistem yang sangat menentukan. Peranan vegetasi dalam pengelolaan DAS Waduk dan Sub Das Waduk mempunyai kemampuan untuk mengendalikan keadaan tanah, mengatur tata air dan meningkatkan produksi. Fungsi hutan, baik sebagai hutan negara atau hutan rakyat, dalam pengelolaan Sub Das Waduk merupakan vegetasi yang ideal untuk mencegah

diperbesarnya erosi tanah. Oleh sebab itu diperlukan suatu kegiatan yang meliputi bidang perencanaan, pembinaan dan mengantar pemungutan hasil

Tanaman penutup tanah ini selain untuk mencegah atau mengendalikan bahaya erosi, juga dapat berfungsi memperbaiki struktur tanah, menambah bahan organik tanah, mencegah proses pencucian unsur hara, mengurangi fluktuasi temperatur tanah, dan yang jelas dapat menambah bahan organik tanah.

Adanya vegetasi ini dapat mengurangi pengaruh energi kinetik yang disebabkan oleh tetesan air hujan dan aliran permukaan. Makin banyak vegetasi penutup tanah, maka akan semakin berkurang bahaya erosi tersebut.

Usaha pengawetan tanah dengan cara vegetasi ini disebut juga sebagai cara pengendalian erosi secara biologi (biological erosion control). Dengan membangun sistem teras pada lahan-lahan pertanian, maka akan mengurangi bahaya erosi kira-kira setengahnya, tetapi dengan jalan mengubah cara-cara bercocok tanam yang baik maka akan mengurangi bahaya erosi kira-kira sepersepuluhnya atau bahkan seperdua puluhnya dari jumlah erosi yang mungkin terjadi (Norma Hudson, 1976).

Tabel 11. Besarnya erosi dan run-off sebagai pengaruh tingkat produksi jagung (Normal Hudson, 1976, Constantinesco, 1976)

No.	Keterangan	Plot A dengan Produksi sedang	Plot B dengan produksi tinggi
1.	Jumlah tanaman	2500 tanaman/ha	3700 tanaman/ha
2.	Pemupukan	20 kg N + 50 kg P ₂ O ₅ per ha	100 kg N dan 80 kg P ₂ O ₅ per ha
3.	Sisa tanaman	dibuang	Dibenam ke dalam tanah 10 ton/ha
4.	Hasil Panen	5 ton/ha	20 mm
5.	Run-off	250 mm	0,7 ton/ha
6.	Besarnya erosi	12,3 ton/ha	

Beberapa cara vegetasi atau pengendalian erosi secara biologi ini adalah sebagai berikut:

- Penghijauan dengan menanam tanaman tahunan, menghutankan kembali tanah-tanah gunung yang gundul (reboisasi). Melaksanakan strip cropping atau penanaman menurut kontour.
- Mengadakan rotasi atau pergiliran tanaman.
- Memelihara tanaman rerumputan atau tanaman leguminosa.
- Menutup tanah dengan mulsa, baik dari sisa-sisa tanaman ataupun dari bahan yang lain, dan lain-lain.

Pada Tabel 12 di bawah ini adalah hasil penelitian , dimana tanah yang dilakukan di Stasiun Penelitian Erosi di Citaman, jenis tanah Latosol, kemiringan lereng rata-rata 15%, dan ketinggian jg 600 m dpl., sedangkan rata-rata curah hujan setahun adalah 1921 mm. Di sini terlihat bahwa beberapa jenis tanaman dengan sistem penanaman tertentu dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap pengendalian bahaya erosi.

Tabel 12. Besarnya erosi tanah (ton/ha) sebagai pengaruh beberapa perlakuan. (Soil Research Institute Bogor, 1977)

No.	Perlakuan-perlakuan	Besarnya erosi (ton/ha)
1.	Tanpa perlakuan	56.32
2.	Tanaman Citronella	51.00
3.	Jagung dan ubi jalar	36.50
4.	Kacang tanah (<i>Arachis</i>) dan singkong (<i>Cassava</i>)	35.80
5.	Padi lading dan diberakan	20.1
6.	Citronella + strip-strip clotalaria + bitumen	17.98

7.	Citronella + strip clotalaria	
8.	Sistem teras bangku + jagung dan singkong + pemantapan tanah bitumen	7.45 6
9.	Sistem teras bangku + jagung dan singkong	11

Beberapa cara usaha konservasi tanah dan air secara vegetasi antara lain:

a. Sisa-sisa tumbuhan sebagai penutup tanah

Pembenaman sisa-sisa tumbuhan ke dalam tanah akan meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air dan memelihara keseimbangan unsur hara tanah.

Selain ditanamkan ke dalam tanah sisa-sisa tumbuhan dapat pula diletakkan di atas tanah sebagai serasah (mulsa) yang dapat mempertahankan kelembaban tanah.

Dengan mulsa maka penguapan air tanah dapat diperkecil sehingga tumbuhan yang terdapat pada tanah dapat tetap hidup.

b. Penanaman tumbuhan penutup tanah

Tumbuh-tumbuhan yang dapat berfungsi sebagai penutup tanah dapat digolongkan ke dalam tiga jenis:

- Tumbuhan penutup tanah tinggi atau tanaman pelindung, seperti *Albizia falcata* Backer dan *Leucaena leucocephala* (lamtoro gung).
- Tumbuhan penutup tanah sedang, berupa semak seperti beberapa tumbuhan leguminosa (kacang-kacangan), yaitu *Crotalaria anagyroides*, *C juncea* L, dan *C. Striata*
- Tumbuhan penutup tanah rendah, seperti *Colopogonium muconoides* Desy, *Cetrosema pubescens* Benth, *Ageratum conizoides* L (babadotan), dan beberapa

jenis rumput-rumputan, misalnya akar wangi, rumput gajah, dan rumput benggala.

Beberapa rumput makanan ternak dapat ditanam pada lahan kering untuk konservasi tanah dan air. Bila lahan kering tersebut datar, rumput dapat ditanam tersendiri atau sebagai sisipan diantara tanaman lainnya. Untuk tanah miring yang terteras, rumput tersebut bisa ditanam pada bagian tepi teras atau pada sampingan teras.

Contoh rumput makanan ternak yang baik ditanam antara lain rumput gajah, rumput benggala, rumput signal (*Brachiaria decumbens* Staph) dan rumput sataria (*Setaria sphacelata*).

c. *Pergiliran tumbuhan*

Pergiliran tumbuhan ialah sistem penanaman berbagai tumbuhan secara bergilir dalam urutan waktu tertentu pada sebidang tanah.

Pada lahan kering yang berlereng atau tanahnya miring, pergiliran yang efektif untuk pencegahan erosi adalah antara tumbuhan penghasil bahan pangan dengan tumbuhan penutup tanah atau pupuk hijau.

Selain mencegah erosi, keuntungan lain dari pergiliran tumbuhan adalah:

- Memberantas hama dan penyakit tumbuhan melalui pemutusan siklus hidupnya,
- Memberantas tumbuhan pengganggu atau hama,
- Mempertahankan sifat-sifat fisik tanah dengan cara mengembalikan sisa-sisa tumbuhan ke dalam tanah.

d. Penanaman tumbuhan dalam jalur

Penanaman dalam jalur (strip cropping) adalah suatu sistem bercocok tanam dengan cara beberapa jenis tumbuhan ditanam dalam jalur-jalur yang berselang-seling pada sebidang tanah, dan disusun memotong lereng atau menurut kontur.

Biasanya tumbuhan yang dipergunakan adalah tumbuhan pangan atau tumbuhan semusim yang biasa ditanam berbaris diselingi dengan jalur-jalur tumbuhan yang tumbuh rapat berupa tumbuhan pupuk hijau atau tumbuhan penutup tanah.

Dalam sistem ini semua pekerjaan pengolahan tanah dilakukan searah dengan jalur, melaksanakan pergiliran tumbuhan dan penggunaan sisa-sisa tumbuhan.

e. Penanaman tumbuh-tumbuhan penguat teras

Tumbuhan penguat teras dapat dipilih jenisnya sesuai dengan keinginan para petani. Bentuk tumbuhan penguat teras ini dapat berupa pohon-pohon atau rumput-rumputan.

Tumbuh-tumbuhan yang memenuhi syarat sebagai penguat teras dan adalah sebagai berikut:

- Mempunyai perakaran intensif sehingga mampu mengikat tanah.
- Tahan pangkas, supaya tidak menaungi tanaman utama,
- Bermanfaat dalam menyuburkan tanah maupun sebagai penghasil makanan ternak.

Contoh tumbuhan penguat teras yang dianjurkan ditanam antara lain lamtoro gung, kaliandra, gamal, akasia, rumput gajah, rumput benggala, dan rumput setaria.

6.1.2 Cara Teknis-Mekanis

Pengendalian erosi secara teknis-mekanis adalah usaha-usaha pengawetan tanah untuk mengurangi banyaknya tanah yang hilang di daerah lahan pertanian dengan cara-cara mekanis tertentu. Cara ini meliputi:

- Pembuatan sengkedan atau terasering pada tanah-tanah miring
- Pembuatan jalur-jalur aliran air atau water wayas pada tempat-tempat tertentu.
- Pembuatan selokan-selokan (rorak-rorak) dan lubang-lubang pada tempat-tempat tertentu.
- Mengadakan pengolahan tanah yang tepat, yaitu menurut arah contour atau memotong arah kemiringan lereng. Usaha pengendalian erosi secara mekanis ini

pada pokoknya adalah untuk mengurangi atau menghalangi aliran air di permukaan (run-off), sebelum aliran air ini disalurkan dengan baik dan kecepatannya di kurangi sampai tidak menyebabkan erosi.

Menurut Jescke, *et al.*, (1977) sistem pembuatan teras adalah yang terbaik dalam mengatur aliran air di daerah-daerah lahan pertanian yang miring.

Pada usaha konservasi dengan cara teknis mekanis, yang perlu dibuat adalah teras dan saluran pembuangan air. Fungsi bangunan tersebut ialah :

1. mengurangi kecepatan aliran permukaan dan
2. menampung lalu menyalurkan air permukaan tersebut dengan kekuatan yang tidak merusak.

Pembuatan teras dimaksudkan untuk mengubah permukaan tanah miring menj adi bertingkat-tingkat. Gunanya untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan dan menahan serta menampung agar lebih banyak air yang meresap ke dalam tanah.

Saluran pembuangan air merupakan bagian yang harus ada bila teras guludan atau teras bangku dibuat pada tanah miring. Pembuatannya dengan arah memotong garis kontur. Bila keadaan memungkinkan, saluran pembuangan air ini ditempatkan pada saluran alam yang ada.

Pada saluran pembuangan air biasanya dibuatkan bangunan terjunan secara bertingkat, mulai dari bangunan atas sampai kebagian terbawah dengan permukaan yang datar. Deretan bangunan terjunan ini berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan dan mencegah terbentuknya jurang-jurang yang dalam pada saluran pembuangan. Bangunan terjunan dapat dibuat dari batu kali.

Sistem pembuatan teras dapat dibedakan ke dalam beberapa macam, yaitu:

1.Sistem Pembuatan Teras Datar.

Teras datar biasanya dibuat pada tempat-tempat dengan curah hujan yang rendah, kemiringan tanahnya paling besar 3% dan mudah menyerap air.

2.Sistem Pembuatan Teras Kridit

Teras kridit umumnya diterapkan pada tempat-tempat tanahnya sulit menyerap

air, dengan kemiringan 3-10% dan curah hujannya tinggi.

3.Sistem Pembuatan Teras Guludan

Teras guludan dibuat pada tempat-tempat dengan kemiringan tanah 15%, dilengkapi dengan saluran pembuangan air disepanjang bagian atas guludan.

4.Sistem Perawatan Teras Bangku

Bentuk teras bangku ini menyerupai bangku, mirip dengan petakan sawah yang bertingkat-tingkat. Bedanya hanya terletak pada bidang olahnya yang agak miring ke dalam karena tidak memerlukan genangan air.

Teras bangku dibuat pada tanah-tanah dengan kemiringan 15-50%. Teras bangku memiliki bidang olah yang dibuat miring $\pm 0,1\%$ ke arah dalam yang juga dilengkapi dengan saluran pembuang air.

Teras bangku terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu bidang olah, tampingan, guludan, dan saluran teras.

Teras bangku dengan bidang olahnya yang landai sangat memungkinkan untuk menerapkan teknik-teknik usaha tani secara aman di daerah miring tanpa menimbulkan kerusakan tanah akibat aliran permukaan. Bidang olah pada bangku merupakan bagian permukaan teras yang dapat ditanami dengan tumbuhan semusim seperti jagung, padi, kacang-kacangan, dan lain-lain. Setelah pekerjaan menggali, mengurug, memadatkan, dan meratakan tanah selesai, lapisan atas setebal 20 cm yang semula dikeruk dan dipisahkan harus dikembalikan lagi ke bagian atas secara merata. Lebar bidang olah berkisar antara 1 - 5 meter tergantung pada kemiringan lapangan, dan dibuat miring 0,1% ke arah dalam.

Tampingan merupakan bagian yang berbentuk bidang tegak teras bangku dengan perbandingan 1 : 2 Tinggi tampingan berkisar antara $\frac{1}{4}$ - $1 \frac{1}{2}$ meter.

Guludan merupakan bagian sebelah luar teras bangku yang dibuat lebih tinggi ± 20 cm dari bidang olah dengan lebar ± 25 cm. Guludan yang berbentuk pematang ini dibuat dengan maksud untuk mencegah agar air tidak mengalir ke arah tampingan.

Saluran teras merupakan bagian tepi sebelah dalam teras bangku, berbentuk parit selebar ± 25 cm dengan dalam ± 10 cm dan berada di bawah tampingan. Saluran ini dibuat dengan kemiringan 0,1% dan berfungsi untuk menampung kelebihan air pada bidang olah serta mengalirkannya secara perlahan ke saluran pembuang.

Saluran pembuangan merupakan bagian tepi sebelah dalam teras bangku, berbentuk parit selebar ± 25 cm dengan dalam ± 10 cm dan berada di bawah tampingan. Saluran ini dibuat dengan kemiringan 0,1% dan berfungsi untuk menampung kelebihan air pada bidang olah serta mengalirkannya secara perlahan ke saluran pembuang.

Saluran pembuangan merupakan pelengkap teras bangku yang berfungsi untuk menampung air yang berasal dari saluran-saluran teras. Saluran pembuangan dibuat sebesar 60-100 cm dengan kemiringan sisinya 1 : 2 dan diperkuat dengan tanaman rumput untuk mencegah longsor. Jarak antara saluran pembuangan yang satu dengan yang lain paling jauh 100 meter, dan biasanya dibuat dengan arah memotong garis kontur. Bila mungkin, sebaiknya saluran pembuangan ini ditempatkan pada saluran air yang ada.

Pada saluran pembuangan harus dibuatkan bangunan terjunan secara bertingkat mulai dari bagian atas sampai ke bagian terbawah dengan permukaan yang datar. Deretan bangunan terjunan ini berfungsi untuk mencegah terbentuknya jurang-jurang dalam pada saluran pembuang. Bangunan terjunan dapat dibuat dari bambu atau pasangan batu kali.

VII.METODE PENDUGAAN BESARNYA EROSI TANAH

Hasil-hasil penelitian dalam pengawetan tanah dan air telah memungkinkan untuk menggambarkan hubungan erosi dengan faktor-faktor penyebabnya, yaitu dari cara kualitatif menjadi cara kuantitatif. Dengan cara itu besarnya erosi tanah yang terjadi dapat diduga dengan mengendalikan faktor-faktor tadi.

Untuk menduga besarnya erosi tanah secara kuantitatif atau untuk menentukan tindakan pengelolaan tanah sehingga besarnya erosi yang terjadi mencapai batas tertentu yang masih dapat dibiarkan, maka dapat dipergunakan suatu rumus. Rumus pendugaan besarnya erosi ini dikembangkan dan dipakai secara rutin sampai sekarang oleh Dinas Konservasi Tanah, Departemen Pertanian Amerika Serikat (Wischmeier dan Smith, 1960; Hudson, 1976).

Rumus pendugaan erosi ini (Wischmeier & Smith, 1960) terkenal dengan nama “Universal Soil Loss Equation (USLE)”. Juga telah dipakai dan dipelajari kemungkinan pemakaiannya di beberapa negara lain seperti Indonesia (Greenland & Lal, 1975 ; Soleh Sukamana dan Suwardjo, 1976).

Rumus pendugaan besarnya erosi menurut Wischmeier & Smith adalah sebagai berikut:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

A = Besarnya erosi tanah dalam ton/ha/tahun

R = Nilai Indeks Erosivitas Hujan

K = Faktor erodibilitas tanah, yang merupakan jumlah erosi (ton/ha) pada tanah kosong diberakan dan secara periodik diolah tanahnya, kemiringan lereng adalah 9% dan panjang lereng 22 m “(keadaan baku).

L = Panjang lereng dalam meter

S = Kemiringan lereng dalam persen (%)

C = Faktor tanman

P = Faktor tindakan manusia dalam pengawetan tanah/pengolahan.

Nilai Indeks Erosivitas Hujan

Nilai indeks erosivitas hujan ini adalah untuk menilai kemampuan potensial hujan untuk mengerosikan tanah. Dalam hal ini Wischmeir dan Smith (1960) menerangkan bahwa dari hasil analisa ternyata besarnya erosi pada tanah tanpa tanaman berkorelasi tinggi dengan hasil kali dua macam sifat hujan, yaitu total energikinetik (E) dan intensitas maksimum selama 30 menit (I_{30}). Oleh karena itu maka hasil kali dari dua sifat tadi diambil sebagai penilaian terhadap erosivitas hujan, yang kemudian disebut indeks erosivitas hujan (EI_{30}).

Menurut Lal (1976), intensitas hujan di daerah temperit (seperti di Eropah) jarang melebihi 50 mm/jam, sedangkan di daerah tropis sering dijumpai intensitas yang lebih besar lagi. Dengan demikian pemakaian nilai EI_{30} untuk daerah tropis menurutnya perlu diteliti lebih lanjut lagi. Sebagai gantinya ia mengajukan suatu indeks erosivitas lain yang disebut dengan Indeks AI_m , yaitu sebagai hasil perkalian dari total hujan (A) dengan intensitas maksimum (I_m). Adapun kelemahannya dari indeks EI_{30} ini ialah tidak memperhitungkan intensitas hujan maksimum yang merupakan faktor penting pada hujan di daerah tropis, sedangkan indeks AI_m memperhitungkannya. Selain dari itu indeks AI_m tersebut lebih mudah dalam perhitungannya.

Dari hasil penelitiannya yang dilakukan di Afrika, Hudson (1976), menentukan bahwa terdapat intensitas hujan tertentu yang dapat mengakibatkan erosi. Menurutny curah hujan yang dapat menimbulkan erosi adalah 1 inci/jam, kira-kira sama dengan 25 mm/jam.

Berdasarkan penelitian ini maka dianjurkan pendugaan indeks erosivitas yang disebut $KE > 1$ dan hanya berlaku dalam perhitungan untuk intensitas-intensitas hujan yang lebih dari 25 mm/jam saja. $KE > 1$ ini berarti besarnya kinetik energi dari lebih dari 1 inci dan dihitung dengan rumus:

$$KE = E = 210.3 + 89 \log I \text{ dalam joule/m}^2 \text{ atau ton m/ha, dan } I = \text{intensitas.}$$

Adapun nilai indeks EI_{30} ini diperoleh dari pias hujan dengan cara menggunakan rumus
Dalam rumus ini

$E = KE =$ kinetik energi;

$I =$ intensitas hujan

$I_{30} =$ intensitas hujan maksimum selama 30 menit, dalam cm/jam.

Untuk mendapatkan angka curah hujan maka di perlukan penakar hujan yang mencatat sendiri (automatic recording rain gauge).

Dari hasil penelitiannya yang dilakukan di Indonesia, Bols (1978) mengajukan suatu rumus untuk pendugaan nilai EI_{30} dengan menggunakan data hujan yang diukur dengan penakar hujan biasa, yaitu observatorium, dan memakai parameter-parameter curah hujan bulanan dalam cm (R), jumlah hari hujan bulanan (D) dan curah hujan maksimum dalam cm selama 24 jam pada bulan tersebut (M), yang dapat diperoleh dari laporan hujan yang diterbitkan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan.

Rumusny adalah: $EI_{30} = 6.119 R^{1.21} \times D^{-0.47} \times M^{0.53}$

Ternyata hasilnya tidak banyak berbeda dengan EI_{30} , rumus dari Wischmeier & Smith, sehingga rumus Bols ini dapat dianggap sebagai perbaikan untuk daerah tropis seperti Indonesia.

Nilai Faktor Erodibilitas Tanah

Nilai faktor erodibilitas tanah, dengan perkataan lain factor kepekaan erosi tanah, diartikan sebagai mudah-tidaknya tanah tersebut tererosi. Beberapa penelitian telah mendapatkan beberapa metoda untuk menghitung besarnya nilai kepekaan erosi tanah, baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, yaitu berdasarkan sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, bahan organik dan permeabilitas.

Menurut Hudson (1974), kepekaan tanah terhadap erosi merupakan fungsi dari sifat-sifat fisik tanah dan pengelolaannya. Sedangkan menurut Sitanala Arsyad (1976), kepekaan tanah terhadap erosi adalah fungsi beberapa interaksi sifat-sifat dan kimia

tanah.

Wischmeier (1959) telah mendapatkan metoda kuantitatif untuk menghitung besarnya kepekaan tanah terhadap erosi atau faktor erodibilitas tanah (K), yaitu rata-rata erosi tahunan dalam satuan berat per luas tanah per indeks erosivitas hujan pada suatu tanah bera dan diolah dengan menanggapi faktor C dan P masing-masing adalah satu, sedangkan panjang lerengnya adalah 22 meter (72.5 kaki) dan kemiringan 9%. (Keadaan ini dianggap baku dengan $LS = 1$).

Karena untuk mendapatkan nilai K dengan cara pengukuran erosi dan hujan di lapangan diperlukan tenaga dan biaya mahal, maka Wisemeier, *et al.*, (1969), mendapatkan suatu cara pendugaan nilai faktor K kini dengan memakai lima parameter, yaitu:

1. Kandungan debu (%) + kandungan pasir sangat halus (%) 50-100 μ .
2. Kandungan pasir, persen pasir (ukuran 100-2000 μ)
3. Kandungan tanah organik dalam persen.
4. Struktur tanah, dan
5. Permeabilitas.

Dengan menggunakan nomograf berdasarkan data diatas maka dapat diketahui nilai faktor erodibilitasnya. Hasil bisa dibandingkan dengan keadaan baku, maka faktor panjang dan kemiringan lereng harus dikembalikan kepada keadaan baku yaitu, panjangnya 72.5 kaki atau 22 m dan kemiringan 9 persen, yaitu dengan memakai rumus berikut:

$$LS = L (0.00138 S^2 + 0.00965 S + 0.0138)$$

LS yaitu faktor tanaman atau faktor C itu adalah nisbah atau perbandingan antara besarnya erosi ~~atau tanah~~ yang hilang dari lahan yang ditanami dengan tanaman tertentu, dengan besarnya erosi tanah yang terjadi pada lahan yang sama tapi tanpa tanaman (bera) dan dengan panjang dan kemiringan lereng yang sama. Sebenarnya faktor tanaman ini merupakan pengaruh gabungan dari jenis tanaman, tingkat

kesuburan, pengelolaan sisa-sisa tanaman, dan waktu serta cara pengelolaan tanah.

Apabila factor-faktor lainnya, seperti faktor, A, K, R, dan LS sudah diketahui, maka nilai faktor tanaman (C) dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 13. Nilai Faktor Erodibilitas tanah (K) hasil pengamatan di lapangan dan hasil pendugaan dengan rumus USLE (Wischmeier, *et al* 1969; Sukma & Kurnia, 1978).

Tanah	K (satuan As) Pengamatan	K (metric) Pendugaan (USLE)
Tanah Indonesia:		
1. Latosol, Darmaga	0.02	0.04
2. Mediteran, Citaman	0.10	0.13
3. Mediteran, Ciputat	0.25	0.22
4. Mediteran, Punung	0.25	0.22
5. Grumusol, Jegu	0.24	0.25
Tanah Amerika Serikat:		
1. Austin c. temple; Tex	0.29	0.28
2. Cerebou gl, Presque Is, Maine	0.28	0.27
3. Cecil s1, Statesville, K.C.	0.28	0.28
4. Fayette sil, Zanesville, Ohio	0.38	0.42
5. Keene sil, Zanesville, Ohio	0.48	0.46
6. Lexington Sil. Holy Springs Miss	0.45	0.45
7. Loring sil. Holy Springs, Miss	0.51	0.49
8. Mansie c1. Hays, Kans	0.32	0.55
9. Marshall siel. Claridda, Iowa	0.33	0.32
10. Mexico sil, Mc Vcredie, Mo	0.32	0.33
11. Shelby 1, Bethany, Mo	0.41	0.39
12. Tifton 1s, Tifton, Ga	0.10	0.

13. Zeneis 1s. Gunthrie, Okla	0.22	0.26
-------------------------------	------	------

Tabel 14. Nilai Faktor C untuk Beberapa jenis tanaman penutup tanah

Jenis Tanaman	Nilai faktor
1. Tanpa tanaman (bara)	1.000
2. Hutan Rapat ¹⁾	0.001
3. Padang rumput (stepa) dan savana ¹⁾	0.01
4. Kacang tanah ¹⁾	0.04-0.8
5. Kapas, tembakau ¹⁾	0.500
6. Kacang tanah ²⁾	0.44
7. Tembakau ²⁾	0.58
8. Padi dan Jagung ²⁾	0.46
9. Rumput Brachiaria ³⁾	0.002

Sumber: 1) = Roose (1977) di Afrika Barat

2) = Sukmana dan Suwarjo (1978) di Bandung

3) = Sofijah, A. (1978) di Bogor.

Nilai Faktor Tindakan Pengawetan Tanah (P)

Nilai faktor kegiatan manusia dalam pengawetan tanah (P) adalah nisbah atau perbandingan antara besarnya erosi atau tanah yang hilang pada lahan dengan tindakan pengawetan tertentu terhadap besarnya erosi tanah tanpa tindakan pengawetan tanah sama sekali, pada kadaan panjang dan kemiringan yang sama.

Nilai faktor tindakan manusia dalam pengawetan tanah (P) adalah nisbah antara besarnya tanah yang hilang. Kalau semua faktor erosi lainnya sudah diketahui maka factor P ini dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

Apabila faktor erosi lainnya belum diketahui maka perlu dilakukan penelitian-penelitian untuk mendapatkan nilai P di lapangan. Pada Tabel 15 di bawah ini disajikan beberapa nilai factor P hasil penelitian di Afrika dan Indonesia.

Tabel 15. Nilai Faktor C untuk Beberapa jenis tanaman penutup tanah

Macam tindakan pengawetan tanah	Nilai faktor P	
1. Tanpa tindakan pengawetan tanah	1.000	
2. Contour System ¹⁾	0.10-0.20	
3. Sistem strip (2-4 meter lebar) ¹⁾	0.10-0.30	
4. Pemakaian mulsa jerami (6 ton/ha) ¹⁾	0.01	
5. Pemantap tanah Curasol (60 g/l/m ²) ¹⁾	0.50-0.20	
6. Pada rumput (sementara) ¹⁾	0.10-0.50	
7. Strip dengan Clotalaria (lebar 1 m, jarak antara strip 4.5 m) ²⁾	0.64	
8.	9.	10.

Sistem strip (lebar 2-4m)

Sumber:	Pemakaian mulsa jerami (4-6 ton/ha) ³	0.06-0.20
	Pemakaian mulsa kadang tanah (4-6 ton/ha) ³	0.20-0.40

1) = Roose (1977) di Afrika Barat

2) = Sukmana dan Suwardjo (1978) di Bandung

3) = Sofijah, A. (1978) di Bogor.

PERTEMUAN 13

EVALUASI LAHAN

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk → Kebutuhan lahan semakin meningkat

- Persaingan penggunaan lahan pertanian dan non pertanian

Perencanaan secara menyeluruh diperlukan informasi fisik lingkungan yang meliputi sifat dan potensi lahan.

Manfaat evaluasi lahan :

Fungsi → Memberi pengertian tentang hubungan antara kondisi lahan dan penggunaannya serta memberi kepada perencana berbagai alternatif

Manfaat → Menilai kesesuaian lahan bagi penggunaan tertentu serta memprediksi konsekuensi dari perubahan penggunaan lahan

Kegunaan

Daerah kurang maju → perubahan penggunaan lahan berhubungan dengan pengembangan dengan tahapan; inventarisasi, kelayakan proyek dan perencanaan usahatani.

Daerah maju evaluasi lahan berguna dalam bidang perencanaan penataan dan pengelolaan lahan

Kegunaan dari lahan dianalisa dalam 3 aspek;

- Kesesuaian
- Kemampuan
- Nilai lahan

Informasi sumber daya lahan untuk evaluasi lahan meliputi : Tanah, iklim, topografi/ formasi geologi, vegetasi dan sosial ekonomi.

Informasi fisik diidentifikasi melalui kegiatan survey dan pemetaan sumber daya lahan diperlukan untuk perencanaan pembangunan dan pengembangan bidang pertanian.

Evaluasi lahan merupakan pendekatan atau cara menilai potensi sumber daya alam, hasilnya memberi arahan penggunaan lahan yang diperlukan.

Salah satu sistem evaluasi lahan adalah *sistem matching* atau mencocokkan antara kualitas dan sifat-sifat lahan.

II. EVALUASI LAHAN

2.1. Pengertian Dasar

Dalam melaksanakan evaluasi lahan perlu terlebih dahulu memahami istilah-istilah yang digunakan, baik yang menyangkut keadaan sumber daya lahan, maupun yang berkaitan dengan kebutuhan atau persyaratan tumbuh suatu tanaman. Berikut diuraikan secara ringkas mengenai: pengertian lahan, penggunaan lahan, karakteristik lahan, kualitas lahan, dan persyaratan penggunaan lahan.

2.1.1. Lahan

Lahan merupakan bagian dari bentang alam (landscape) yang mencakup pengertian lingkungan fisik termasuk iklim, topografi/relief, tanah, hidrologi, dan bahkan keadaan vegetasi alami (natural vegetation) yang semuanya secara potensial akan berpengaruh terhadap penggunaan lahan (FAO, 1976). Penggunaan yang optimal memerlukan keterkaitan dengan karakteristik dan kualitas lahannya. Hal tersebut disebabkan adanya keterbatasan dalam penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik dan kualitas lahannya, bila dihubungkan dengan pemanfaatan lahan secara lestari dan berkesinambungan.

Pada peta tanah atau peta sumber daya lahan, hal tersebut dinyatakan dalam satuan peta yang dibedakan berdasarkan perbedaan sifat-sifatnya terdiri atas: iklim, landform (termasuk litologi, topografi/relief), tanah dan/atau hidrologi. Pemisahan satuan lahan/tanah sangat penting untuk keperluan analisis dan interpretasi potensi atau kesesuaian lahan bagi suatu tipe penggunaan lahan (Land Utilization Types = LUTs).

Evaluasi lahan memerlukan sifat-sifat fisik lingkungan suatu wilayah yang dirinci ke dalam kualitas lahan (land qualities), dan setiap kualitas lahan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (land characteristics). Beberapa karakteristik lahan umumnya mempunyai

hubungan satu sama lainnya di dalam pengertian kualitas lahan dan akan berpengaruh terhadap jenis penggunaan dan/atau pertumbuhan tanaman dan komoditas lainnya yang berbasis lahan (peternakan, perikanan, kehutanan).

2.1.2. Penggunaan lahan

Penggunaan lahan untuk pertanian secara umum dapat dibedakan atas: penggunaan lahan semusim, tahunan, dan permanen. Penggunaan lahan tanaman semusim diutamakan untuk tanaman musiman yang dalam polanya dapat dengan rotasi atau tumpang sari dan panen dilakukan setiap musim dengan periode biasanya kurang dari setahun. Sifat-sifat penggunaan lahan mencakup data dan/atau asumsi yang berkaitan dengan aspek hasil, orientasi pasar, intensitas modal, buruh, sumber tenaga, pengetahuan teknologi penggunaan lahan, kebutuhan infrastruktur, ukuran dan bentuk penguasaan lahan, pemilikan lahan dan tingkat pendapatan per unit produksi atau unit areal. Tipe penggunaan lahan menurut sistem dan modelnya dibedakan atas dua macam yaitu multiple dan compound.

Multiple: Tipe penggunaan lahan yang tergolong multiple terdiri lebih dari satu jenis penggunaan (komoditas) yang diusahakan secara serentak pada suatu areal yang sama dari sebidang lahan

Compound: Tipe penggunaan lahan yang tergolong compound terdiri lebih dari satu jenis penggunaan (komoditas) yang diusahakan pada areal-areal dari sebidang lahan yang untuk tujuan evaluasi diberlakukan sebagai unit tunggal. Perbedaan jenis penggunaan bisa terjadi pada suatu sekuen atau urutan waktu, dalam hal ini ditanam secara rotasi atau secara serentak, tetapi pada areal yang berbeda pada sebidang lahan yang dikelola dalam unit organisasi yang sama. Sebagai contoh suatu perkebunan besar sebagian areal secara terpisah (satu blok/petak) digunakan untuk tanaman karet, dan blok/petak lainnya untuk kelapa sawit. Kedua komoditas ini dikelola oleh suatu perusahaan yang sama.

2.1.3 Karakteristik lahan

Karakteristik lahan adalah sifat lahan yang dapat diukur atau diestimasi. Dari beberapa pustaka menunjukkan bahwa penggunaan karakteristik lahan untuk keperluan evaluasi lahan bervariasi. Sebagai gambaran Tabel 1 menunjukkan variasi dari karakteristik lahan yang

digunakan sebagai parameter dalam evaluasi kesesuaian lahan oleh beberapa sumber (Staf PPT, 1983; Bunting, 1981; Sys et al., 1993; CSR/FAO, 1983; dan Driessen, 1971).

Tabel 1. Karakteristik lahan yang digunakan sebagai parameter dalam evaluasi lahan.

Staf PPT (1983)	Bunting (1981)	Sys et al. (1993)	CSR/FAO (1983)	Driessen (1971)
Tipe hujan (Oldeman et al.)	Periode pertumbuhan tanaman	Temperatur rerata (°C) atau elevasi	Temperatur rerata (°C) atau elevasi	Lereng
Kelas drainase	Temperatur rerata pada periode pertumbuhan	Curah hujan (mm)	Curah hujan (mm)	Mikrorelief
Sebaran besar butir (lapisan atas)	Curah hujan tahunan	Lamanya masa kering (bulan)	Lamanya masa kering (bulan)	Keadaan batu
Kedalaman efektif	Kelas drainase	Kelembaban udara	Kelembaban udara	Kelas drainase
Ketebalan gambut	Tekstur tanah	Kelas Drainase	Kelas drainase	Regim kelembaban
Dekomposisi gambut/jenis gambut	Kedalaman perakaran	Tekstur/Struktur	Tekstur	Salinitas/alkalinitas
KTK	Reaksi tanah (pH)	Bahan kasar	Bahan kasar	Kejenuhan basa
Kejenuhan basa	Salinitas/ DHL	Kedalaman tanah	Kedalaman tanah	Reaksi tanah (pH)
Reaksi tanah (pH)	Pengambilan hara (N, P, K) oleh tanaman	KTK liat	Ketebalan gambut	Kadar pirit
C-organik	Pengurusan hara (N, P, K) dari tanah	Kejenuhan basa	Kematangan gambut	Kadar bahan organik
P-tersedia		Reaksi tanah (pH)	KTK liat	Tebal bahan organik
Salinitas/DHL		C-organik	Kejenuhan basa	Tekstur
Kedalaman pirit		Aluminium	Reaksi tanah (pH)	Struktur, porositas, dan tingkatan

Lereng (%) / mikrorelief		Salinitas/DHL	C-organik	Macam liat
Erosi		Alkalinitas	Aluminium	Bahan induk / cadangan mineral
Kerusakan karena banjir		Lereng	Salinitas/DHL	Kedalaman efektif
Batu dan kerikil, penghambat pengolahan tanah		Genangan	Alkalinitas	
Pori air tersedia		Batuan di permukaan	Kadar pirit	
Penghambat pertumbuhan karena kekurangan air		CaCO ₃	Lereng	
Kesuburan tanah		Gypsum	Bahaya erosi	
Permeabilitas lapisan atas		Jumlah basa total	Genangan	
			Batuan di permukaan	
			Singkapan batuan	

Karakteristik lahan yang digunakan pada Juknis ini adalah: temperatur udara, curah hujan, lamanya masa kering, kelembaban udara, drainase, tekstur, bahan kasar, kedalaman tanah, ketebalan gambut, kematangan gambut, kapasitas tukar kation liat, kejenuhan basa, pH H₂O, C-organik, salinitas, alkalinitas, kedalaman bahan sulfidik, lereng, bahaya erosi, genangan, batuan di permukaan, dan singkapan batuan.

- temperatur udara :	merupakan temperatur udara tahunan dan dinyatakan dalam °C
- curah hujan :	merupakan curah hujan rerata tahunan dan dinyatakan dalam mm
- lamanya masa kering :	merupakan jumlah bulan kering berturut-turut dalam setahun dengan jumlah curah hujan kurang dari 60 mm
- kelembaban udara :	merupakan kelembaban udara rerata tahunan dan dinyatakan dalam %
- drainase :	merupakan pengaruh laju perkolasi air ke dalam tanah terhadap aerasi udara dalam tanah
- tekstur :	menyatakan istilah dalam distribusi partikel tanah halus dengan ukuran <2 mm

- bahan kasar :	menyatakan volume dalam % dan adanya bahan kasar dengan ukuran >2 mm
- kedalaman tanah :	menyatakan dalamnya lapisan tanah dalam cm yang dapat dipakai untuk perkembangan perakaran dari tanaman yang dievaluasi
- ketebalan gambut :	digunakan pada tanah gambut dan menyatakan tebalnya lapisan gambut dalam cm dari permukaan
- kematangan gambut :	digunakan pada tanah gambut dan menyatakan tingkat kandungan seratnya dalam bahan saprik, hemik atau fibrik, makin banyak seratnya menunjukkan belum matang/mentah (fibrik)
- KTK liat :	menyatakan kapasitas tukar kation dari fraksi liat
- kejenuhan basa :	jumlah basa-basa (NH ₄ OAc) yang ada dalam 100 g contoh tanah.
- reaksi tanah (pH) :	nilai pH tanah di lapangan. Pada lahan kering dinyatakan dengan data laboratorium atau pengukuran lapangan, sedang pada tanah basah diukur di lapangan
- C-organik :	kandungan karbon organik tanah.
- salinitas :	kandungan garam terlarut pada tanah yang dicerminkan oleh daya hantar listrik.
- alkalinitas :	kandungan natrium dapat ditukar
- kedalaman bahan sulfidik :	dalamnya bahan sulfidik diukur dari permukaan tanah sampai batas atas lapisan sulfidik.
- lereng :	menyatakan kemiringan lahan diukur dalam %
- bahaya erosi :	bahaya erosi diprediksi dengan memperhatikan adanya erosi lembar permukaan (sheet erosion), erosi alur (reel erosion), dan erosi parit (gully erosion), atau dengan memperhatikan permukaan tanah yang hilang (rata-rata) per tahun
- genangan :	jumlah lamanya genangan dalam bulan selama satu tahun
- batuan di permukaan :	volume batuan (dalam %) yang ada di permukaan tanah/lapisan olah
- singkapan batuan :	volume batuan (dalam %) yang ada dalam solum tanah
- sumber air tawar :	tersedianya air tawar untuk keperluan tambak guna mempertahankan pH dan salinitas air tertentu
- amplitudo pasang-surut :	perbedaan permukaan air pada waktu pasang dan surut (dalam meter)
- oksigen :	ketersediaan oksigen dalam tanah untuk keperluan pertumbuhan tanaman/ikan

Setiap satuan peta lahan/tanah yang dihasilkan dari kegiatan survei dan/atau pemetaan sumber daya lahan, karakteristik lahan dapat dirinci dan diuraikan yang mencakup keadaan fisik

lingkungan dan tanahnya. Data tersebut digunakan untuk keperluan interpretasi dan evaluasi lahan bagi komoditas tertentu.

Setiap karakteristik lahan yang digunakan secara langsung dalam evaluasi ada yang sifatnya tunggal dan ada yang sifatnya lebih dari satu karena mempunyai interaksi satu sama lainnya. Karenanya dalam interpretasi perlu mempertimbangkan atau memperbandingkan lahan dengan penggunaannya dalam pengertian kualitas lahan. Sebagai contoh ketersediaan air sebagai kualitas lahan ditentukan dari bulan kering dan curah hujan rata-rata tahunan, tetapi air yang dapat diserap tanaman tentu tergantung pula pada kualitas lahan lainnya, seperti kondisi atau media perakaran, antara lain tekstur tanah dan kedalaman zone perakaran tanaman yang bersangkutan.

2.1.4. Kualitas lahan

Kualitas lahan adalah sifat-sifat pengenal atau attribute yang bersifat kompleks dari sebidang lahan. Setiap kualitas lahan mempunyai keragaan (performance) yang berpengaruh terhadap kesesuaiannya bagi penggunaan tertentu dan biasanya terdiri atas satu atau lebih karakteristik lahan (land characteristics). Kualitas lahan ada yang bisa diestimasi atau diukur secara langsung di lapangan, tetapi pada umumnya ditetapkan dari pengertian karakteristik lahan (FAO, 1976).

Dalam evaluasi lahan sering kualitas lahan tidak digunakan tetapi langsung menggunakan karakteristik lahan (Driessen, 1971; Staf PPT, 1983), karena keduanya dianggap sama nilainya dalam evaluasi. Metode evaluasi yang menggunakan kualitas lahan antara lain dikemukakan pada CSR/FAO (1983), FAO (1983), Sys et al. (1993) (lihat Tabel2).

Tabel 2. Kualitas lahan yang dipakai pada metode evaluasi lahan menurut CSR/FAO (1983), FAO (1983), dan Sys et al. (1993).

CSR/FAO, 1983	FAO, 1983	Sys et.al., 1993
Temperatur	Kelembaban	Sifat iklim
Ketersediaan air	Ketersediaan hara	Topografi
Ketersediaan oksigen	Ketersediaan oksigen	Kelembaban
Media perakaran	Media untuk perkembangan akar	Sifat fisik tanah
Retensi hara	Kondisi untuk pertumbuhan	Sifat kesuburan tanah
Toksisitas	Kemudahan diolah	Salinitas/alkalinitas
Sodisitas	Salinitas dan alkalinitas/ toksisitas	
Bahaya sulfidik	Retensi terhadap erosi	
Bahaya erosi	Bahaya banjir	
Penyiapan lahan	Temperatur	
	Energi radiasi dan fotoperiode	
	Bahaya unsur iklim (angin, kekeringan)	
	Kelembaban udara Periode kering untuk pemasakan (ripening) tanaman	

Kualitas lahan dapat berperan positif atau negatif terhadap penggunaan lahan tergantung dari sifat-sifatnya. Kualitas lahan yang berperan positif sifatnya menguntungkan bagi suatu penggunaan. Sebaliknya kualitas lahan yang bersifat negatif akan merugikan (merupakan kendala) terhadap penggunaan tertentu, sehingga merupakan faktor penghambat atau pembatas. Setiap kualitas lahan dapat berpengaruh terhadap satu atau lebih dari jenis penggunaannya. Demikian pula satu jenis penggunaan lahan tertentu akan dipengaruhi oleh berbagai kualitas lahan.

Sebagai contoh bahaya erosi dipengaruhi oleh: keadaan sifat tanah, terrain (lereng) dan iklim (curah hujan). Ketersediaan air bagi kebutuhan tanaman dipengaruhi antara lain oleh: faktor iklim, topografi, drainase, tekstur, struktur, dan konsistensi tanah, zone perakaran, dan bahan kasar (batu, kerikil) di dalam penampang tanah.

Kualitas lahan yang menentukan dan berpengaruh terhadap manajemen dan masukan yang diperlukan adalah:

- **Terrain** berpengaruh terhadap mekanisasi dan/atau pengelolaan lahan secara praktis (teras, tanaman sela/alley cropping, dan sebagainya), konstruksi dan pemeliharaan jalan penghubung.
- **Ukuran** dari unit potensial manajemen atau blok area/lahan pertanian.
- **Lokasi** dalam hubungannya untuk penyediaan sarana produksi (input), dan pemasaran hasil (aspek ekonomi).

Dalam Juknis ini kualitas lahan yang dipilih sebagai berikut: temperatur, ketersediaan air, ketersediaan oksigen, media perakaran, bahan kasar, gambut, retensi hara, toksisitas, salinitas, bahaya sulfidik, bahaya erosi, bahaya banjir, dan penyiapan lahan.

- temperatur: ditentukan oleh keadaan temperatur rerata
- ketersediaan air : ditentukan oleh keadaan curah hujan, kelembaban, lama masa kering, sumber air tawar, atau amplitudo pasang-surut, tergantung jenis komoditasnya
- ketersediaan oksigen : ditentukan oleh keadaan drainase atau oksigen tergantung jenis komoditasnya
- media perakaran : ditentukan oleh keadaan tekstur, bahan kasar dan kedalaman tanah
- gambut: ditentukan oleh kedalaman dan kematangan gambut
- retensi hara : ditentukan oleh KTK-liat, kejenuhan basa, pH-H₂O, dan C-organik
- bahaya keracunan : ditentukan oleh salinitas, alkalinitas, dan kedalaman sulfidik atau pirit (FeS₂)
- bahaya erosi : ditentukan oleh lereng dan bahaya erosi
- bahaya banjir : ditentukan oleh genangan
- penyiapan lahan : ditentukan oleh batuan di permukaan dan singkapan batuan

Fasilitas yang berkaitan dengan aspek ekonomi merupakan penentu kesesuaian lahan secara ekonomi atau *economy land suitability class* (Rossiter, 1995). Hal ini dengan pertimbangan bagaimanapun potensialnya secara fisik suatu wilayah, tanpa ditunjang oleh sarana ekonomi yang memadai, tidak akan banyak memberikan kontribusi terhadap pengembangan wilayah tersebut. Evaluasi Lahan dari aspek ekonomi tidak dibahas dalam Juknis ini.

2.1.5. Persyaratan penggunaan lahan

Persyaratan karakteristik lahan untuk masing-masing komoditas pertanian umumnya berbeda, tetapi ada sebagian yang sama sesuai dengan persyaratan tumbuh komoditas pertanian tersebut.

Kualitas lahan yang optimum bagi kebutuhan tanaman atau penggunaan lahan merupakan batasan bagi kelas kesesuaian lahan yang paling sesuai (S1). Sedangkan kualitas lahan yang di bawah optimum merupakan batasan kelas kesesuaian lahan antara kelas yang cukup sesuai (S2), dan/atau sesuai marginal (S3). Di luar batasan tersebut merupakan lahan-lahan yang secara fisik tergolong tidak sesuai (N).

2.2 Klasifikasi Kesesuaian Lahan

2.2.1 Umum

- Kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu. Kesesuaian lahan dapat dinilai kondisi saat ini (*Present*) atau setelah dilakukan perbaikan (*Improvement*)
- Kemampuan lahan, menekankan kepada kapasitas berbagai penggunaan lahan secara umum, semakin banyak tanaman yang bisa diusahakan semakin tinggi kemampuan lahannya.

2.2.2 Struktur Klasifikasi Kesesuaian Lahan (FAO, 1976)

Ordo	Klas	Sub Klas	Unit
S (<i>Suitable</i>)	S1 (sangat sesuai = <i>Highly Suitable</i>)	-	-
	S2 (cukup sesuai = <i>Moderately Suitable</i>)	S _{2e} ; S _{2ne}	S _{2e} -1
	S3 (hampir sesuai = <i>Marginally Suitable</i>)	S _{3r} ; S _{3w}	
N (<i>Not Suitable</i>)	N1 (tidak sesuai saat ini = <i>Currently Suitable</i>)		
	N2 (tidak sesuai selamanya)		

Keterangan :

Ordo → Kesesuaian lahan secara global

Ordo S (*Suitable*) Lahan dapat digunakan secara berkelanjutan untuk tujuan yang telah dipertimbangkan

Ordo N (*Not Suitable*) → Lahan bila dilola mempunyai kesulitan sedemikian rupa

Klas

1 (sangat sesuai) tidak mempunyai pembatas serius

2 (cukup sesuai) mempunyai pembatas agak serius yang dapat mengurangi produksi

3 lahan mempunyai pembatas yang serius

N1 lahan mempunyai pembatas lebih serius tapi masih mungkin diatasi dengan tingkat pengelolaan modal normal dan mencegah penggunaan berkelanjutan.

N2 Mencegah segala kemungkinan

Sub Klas → Mencerminkan jenis dari pembatas.

- Pembatas kekurangan air tersedia (w)
- Kerusakan lahan karena erosi (e)
- Contoh S_{2w} ; S_{2e} dan S_{3we}

Unit → Membedakan unit satu dengan yang lain dalam tingkat pengelolaan dan merupakan perbedaan detail dari pembatas

- Contoh : S_{3rc-1} (kedalaman efektif 50-70 cm)

S_{3rc-2} (kedalaman efektif < 50 cm)

2.2.3 Macam Kesesuaian Lahan (Kerangka FAO, 1976)

- Kesesuaian lahan kualitatif → dinyatakan dalam kualitatif didasarkan pada potensi fisik lahan
- Kesesuaian lahan kuantitatif → dinyatakan dalam kualitatif didasarkan pada potensi fisik lahan juga aspek ekonomi (input dan output)
- Kesesuaian lahan aktual → Kesesuaian lahan pada saat ini
- Kesesuaian lahan potensial → Kesesuaian lahan saat ini setelah dilakukan perbaikan

III. Prosedur Evaluasi Lahan

Evaluasi lahan umumnya merupakan kegiatan lanjutan dari survey tanah dan pemetaan tanah / sumber daya lahan lainnya, melalui pendekatan *interpretasi* data tanah serta fisik lingkungan untuk tujuan penggunaan lahan tertentu.

Pendekatan / hampiran :

- Dua (2) tahap
- Satu (1) tahap atau paralel

Prosedur EL (FAO, 1976)

1. konsultasi pendahuluan (data, skala tujuan)
2. penjabaran (deskripsi) penggunaan lahan yang sedang dipertimbangkan dan persyaratan yang diperlukan
3. deskripsi satuan peta, lahan, dan kualitas lahan dan pembatas-pembatasnya
4. membandingkan jenis penggunaan lahan dengan tipe-tipe lahan tipe sosial, ekonomi)
5. hasil dari butir 4 klasifikasi keseluruhan lahan
6. penyajian dan hasil evaluasi

Struktur Klasifikasi Kesesuaian kerangka memuat FAO, 1976 1.

1. ordo kesesuaian lahan : menunjukkan jenis / macam kesesuaian atau kesesuaian secara umum
2. kelas kesesuaian lahan : tingkat kesesuaian dalam ordo
3. sub klasifikasi kesesuaian lahan: jenis pembatas dan perbaikan
4. satu kesesuaian lahan : menunjukkan perbedaan-perbedaan kecil yang diperlukan dalam pengelolaan di dalam sub kelas

Kesesuaian Lahan Pada Tingkat Order

Order S : sesuai (*suitable*)

Kelas S1 : sangat sesuai (*highly suitable*)

Kelas S2 : cukup sesuai (*moderately suitable*)

Kelas S3 : sesuai marginal

Ordo N

Klasifikasi N1 : tidak sesuai pada saat ini (*currently not suit*)

Klasifikasi N2 : tidak sesuai permanen (*permanently not suitable*)

Evaluasi lahan tingkat tinjauan dibutuhkan 15 ciri lahan yang dikelompokkan ke dalam 7 kualitas dalam (CSR/FAO Staf, 1983)

Kualitas Lahan	Ciri-ciri lahan / karakteristik
1. Regim Temp (t)	1. Temperatur rata-rata tahunan (°C)
2. Ketersediaan air (w)	1. BI Kering (< 75 mm) 2. CH tahunan rata-rata (mm)
3. Kondisi Perakaran (r)	1. Kelas drainase tanah 2. Tekstur tanah bagian permukaan 3. Kedalaman perakaran (cm)
4 Daya menahan unsur hara (n)	1 KTK me /100 gr tanah (subsoil) 2. PH (lapisan permukaan)
5. Ketersediaan unsur hara (n)	1. N Total 2. P2C>5 tersedia 3. K2O tersedia
6. Keracunan (x)	1. salinitas mmhos (lap bawah)
7. Medan (s)	1. Kemiringan lereng (%) 2. Batuan di permukaan 3. Batuan yang muncul dipermukaan (rock out crop)

Penilaian satuan peta untuk penggunaan lahan kering

No	Parameter yang dinilai	Sifat Fisik	
1	Kedalaman efektif	80cm	SI
2	Tekstur tanah atas	lemp halus	SI
3	Pori air tersedia	tinggi	SI
4	batuan di permukaan	0%	SI
5	kesuburan	rendah	S3
6	PH Tanah	5,5	S2
7	Toxitas (Kejenuhan)	45%	S3
8	kemiringan lereng	5%	S3
9	Erodibilitas	rendah	S2
10	zona iklim	B1	S2
11	drainase	baik	SI
12	banjir	tanpa	SI
	kelas kesesuaian		S3
	Sub klasifikasi		S3 - 1, n,s

IV. CONTOH EVALUASI LAHAN

4.1. Penilaian Kesesuaian Lahan

Pada bab ini diberikan contoh penilaian kesesuaian lahan menurut tingkat pemetaannya, yaitu untuk evaluasi lahan pada tingkat semi detil.

Berikut ini adalah data tanah dan lingkungan fisik hasil dari identifikasi dan karakterisasi tingkat semi detil skala 1:50.000 di daerah Lombok (Puslittanak, 1990).

No Satuan Peta Tanah : 30

Satuan tanah : Asosiasi seri Santong

Karakteristik Lahan	Seri Santong
Tem. Udara rata-rata tahunan	22°C
Bulan Kering (<100mm / bulan)	6-9 bulan
Curah Hujan Tahunan	1550 mm / thn
Drainase Tanah	Sedang
Tekstur Tanah	Lempung berpasir
Kedalaman Efektif	Sedang (50 cm)
Gambut - Kematangan	Bukan gambut
- Ketebalan	-
KTK Tanah	12 me / 100 gram
PH	6,0
N Total	0,21 %
P2O5 Tersedia	49 ppm
K2O Tersedia	70 ppm
Periode Banjir	Tidak pernah
Frekuensi	-
Salinitas	-
Kejenuhan AL	24%
Kedalaman Pirit	-
Struktur	Tanpa
Konsistensi	Tidak lekat
Kemiringan Lahan	8 – 15%
Batu di Permukaan	0%
Singkapan Batuan (Rock out Crops)	0%
Total Bahaya Erosi	Sedang

Hasil evaluasi lahan dinyatakan dalam kondisi aktual (kesesuaian lahan aktual) dan kondisi potensial (kesesuaian lahan potensial), seperti disajikan pada Tabel 6.

lahan/karakteristik lahan	Nilai data	Kelas kes. lahan aktual	Usaha perbaikan	Kelas kes. lahan potensi
1 emperatut (tc)		S 1		S 1
Temperatur rerata (°C)	22	S1		S 1
Ketersediaan air (wa)		S 2		S 2
Curah hujan tahunan (mm)	1.550	S2		S 2
Kelembaban (%)	80	S1		S 1
Ketersediaan oksigen (0,1)		S 2		S 2
Drainase	sedang	S 2		S 2
Media perakaran (re)		S 3		
Tekstur	Lempung berpasir	S 3		S 3
Bahan kasar (%)	<5	S 1		S 1
Kedalaman tanah (cm)	55	S 2		S 2
Gambut:		S 1		S 1
Ketebalan (cm)	0	S 1		S 1
Ketebalan (cm), jika ada sisipan bahan mineral/ pengkayaan				
Kematangan				
Retensihara (nr)		S 2		S 1
KTK liat (cmol M/kg)	12	S 2		S 1
Kejenuhan basa (%)	45	S 2		S 1
PH H2O	6,0	S 1		S 1
C-organik (%)	0,8	S 1		S 1
Toksistas (xc)				
Salinitas (dS/m)				
Sodisitas (xn)				
Alkalinitas/ESP (%)				
Bahaya sulfidik (xs)				
Kedalaman sulfidik (cm)				
Bahaya erosi (eh)		S 2		S 2
Lereng (%)	8-15	S 2		S 2
Bahaya erosi	sedang	S 2		S 2
Bahaya banjir (fh)		S 1		S 1
Genangan	Tidak pernah	S 1		S 1

Penyiapan lahan (Ip)		S 1		S 1
Batuan di permukaan (%)	0	S 1		S 1
Singkapan batuan (%)	0	S 1		S 1
Kelas kesesuaian lahan	Aktual	S 3	Potensial (P)	S 3

Keterangan: *Usaha perbaikan dapat dilakukan, kelas kesesuaian lahan naik satu tingkat

Dari contoh pada Tabel 6, terlihat bahwa usaha perbaikan untuk menaikkan kelas kesesuaian lahan tidak dapat dilakukan karena faktor pembatas paling minimum adalah tekstur (lempungberpasir). Hasil evaluasi lahan akhir adalah sebagai berikut:

- Kesesuaian lahan aktual termasuk kelas **S3rc**
- Usaha perbaikan yang dapat dilakukan adalah retensihara/ kesuburan tanah dari S2 menjadi S1, tetapi tekstur tanah tidak dapat diperbaiki tetap S3, sehingga kesesuaian lahan potensial tetap menjadi kelas **S3rc**.

4.2. Interpretasi Hasil Evaluasi Kesesuaian Lahan

Dengan melakukan evaluasi lahan mengikuti prosedur tersebut di atas, maka akan diperoleh hasil penilaian yang berupa kelas kesesuaian lahan aktual dan kelas kesesuaian lahan potensial. Dalam penilaian potensi suatu lahan yang perlu diperhatikan adalah asumsi-asumsi yang akan digunakan mencakup tingkat pengelolaan dan teknologi yang akan diterapkan.

Kelas kesesuaian lahan pada kondisi aktual menyatakan kesesuaian lahan berdasarkan data dari hasil survei tanah atau sumber daya lahan belum mempertimbangkan masukan-masukan yang diperlukan untuk mengatasi kendala atau faktor pembatas yang berupa sifat fisik lingkungan termasuk sifat-sifat tanah dalam hubungannya dengan persyaratan tumbuh tanaman yang dievaluasi. Lahan tersebut dapat berupa areal yang belum dibuka atau belum diusahakan, atau sudah berupa lahan pertanian, namun belum dikelola secara optimal atau intensif. Dengan memperhatikan kendala yang ada sebenarnya lahan tersebut potensinya masih dapat ditingkatkan.

Kesesuaian lahan potensial menyatakan keadaan lahan yang akan dicapai apabila dilakukan usaha-usaha perbaikan (*improvement*). Usaha perbaikan yang dilakukan harus memperhatikan aspek ekonominya. Apabila lahan tersebut diatasi kendala-

kendalanya apakah secara ekonomis akan dapat memberikan keuntungan, artinya antara modal atau investasi dan teknologi yang diberikan dibandingkan dengan nilai produksi yang akan dihasilkan masih mampu memberikan keuntungan.

Kesesuaian lahan potensial merupakan kondisi lahan yang diharapkan dalam rangka pengembangan wilayah pertanian. Adanya hasil evaluasi lahan dapat dijadikan dasar untuk memilih komoditas pertanian alternatif yang akan dikembangkan. Dalam memilih komoditas tersebut tentu tidak hanya berdasarkan kelas kesesuaian lahannya saja, tetapi harus memperhatikan.

Evaluasi kemampuan lahan

Evaluasi potensi lahan bagi penggunaan berbagai sistem pertanian secara luas

Tiga kategori = kelas, sub klasifikasi dan unit

Kategori kelas I - VIII

Kategori sub kelas didasarkan pada faktor penghambat yang dibedakan menjadi 4 yaitu:

1. Bahaya erosi tanah (e)
2. Genangan air (w)
3. Penghambat terhadap-perakaran (s)
4. Iklim (c)

Kelas merupakan tingka tertinggi dan bersifat luas (I – VIII)

Sub Klas; menunjukkan jenis faktor penghambat yang terdapat dalam Klas (w,e, s, e)

Satuan Pengelolaan; Pengelompokkan tanah yang mempunyai respon yang sama terhadap pengelolaan tertentu

Struktur klasifikasi kemampuan lahan

Kelas kemampuan	Sub klasifikasi kemampuan	Sistem pengelolaan	Satuan peta tanah
II dapat digarap	II c Iklim		
	II e Erosi	II e-1	Seri x
III dapat digarap	II w Kelembaban Tanah	II e-2	Seri y
IV dapat digarap	II s	II e-3	Seri z
	II w	dst	

V tidak dapat digarap	II s		
VI tidak dapat digarap	II es		
VII tidak dapat digarap	dll		
VIII tidak dapat digarap	dll		

Pertemuan 14 dan 15

TANAH DAN LINGKUNGAN

Tanah Sebagai Ujud

Tanah adalah gejala alam permukaan daratan, membentuk suatu mintakat (*zone*) yang disebut pedosfer, tersusun atas massa galir (*loose*) berupa pecahan dan lapukan batuan (*rock*) bercampur dengan bahan organik. Berlainan dengan mineral, tumbuhan dan hewan, tanah bukan suatu ujud tedas (*distinct*). Di dalam pedosfer terjadi tumpang-tindih (*everlap*) dan salingtindak (*interaction*) antar litosfer, atmosfer, hidrosfer dan biosfer. Maka tanah dapat disebut gejala lintas-batas antar berbagai gejala alam permukaan bumi.

Ditinjau dari segi asal-usul, tanah merupakan hasil alihrupa (*transformation*) dan alihtempat (*translocation*) zat-zat mineral dan organik yang berlangsung di permukaan daratan di bawah pengaruh faktor-faktor lingkungan yang bekerja selama waktu sangat panjang, dan berbentuk tubuh dengan organisasi dan morfologi tertentu (Schroeder, 1984). Pengertian tubuh menandakan bahwa tanah merupakan bangunan bermatra tiga, dua matra berkaitan dengan luas bentangan dan satu matra berkaitan dengan tebal. Sifat-sifat tanah muncul dan berkembang secara berangsur menurut perjalanan waktu yang sangat panjang. Maka waktu menjadi matra keempat tanah. Dengan demikian tanah disebut bangunan bermatra empat, atau sistem ruang-waktu. Ini berarti hakekat tanah hanya terungkap secara baik kalau setiap gejala tanah didudukkan menurut ruang dan waktu.

Sifat tanah beragam ke arah samping (*lateral*) dan ke arah cacak (*vertical*) menurut keragaman faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pembentukan tanah. Tampilan tanah yang berkaitan dengan pola agihan cacak sifat-sifat tanah (*vertical distribution pattern of soil properties*) disebut morfologi tanah. Bidang irisan tegak sepanjang tubuh tanah, yang menampakkan morfologi tanah, disebut profil tanah. Profil tanah dipergunakan mengklasifikasikan tanah. Pola agihan menyamping sifat-sifat tanah dipergunakan memilahkan daerah bentangan kelas-kelas tanah dalam pemetaan tanah.

Setiap tubuh tanah menempati suatu bagian bentanglahan (*lanscape*) dan menjadi salah satu tampilan alamiah (*natural feature*) bentanglahan bersama dengan sungai, rawa, gunung, hutan, dsb. Keseluruhan tampilan tanah dalam suatu wilayah membentuk

¹ Kursus AMDAL PPLH UGM. 1991

bentangtanah (*soilscape*) yang menjadi salah satu ciri bentanglahan di wilayah bersangkutan.

Ada lima faktor pokok yang mempengaruhi pembentukan tanah dan menentukan rona bentangtanah, yaitu bahan induk, iklim, organisme hidup, timbulan, dan waktu. Dengan peningkatan intensitas penggunaan tanah, khusus dalam bidang pertanian, manusia dapat dimasukkan sebagai faktor pembentuk tanah. Dengan tindakannya mengolah tanah, mengirigasi, memupuk, mengubah bentuk muka tanah (meratakan, menteras) dan mereklamasi, manusia dapat mengubah atau mengganti proses tanah yang semula dikendalikan oleh faktor-faktor alam.

Faktor pembentuk tanah ialah keadaan atau kawas (*force*) lingkungan yang berdaya menggerakkan proses pembentukan tanah atau memungkinkan proses pembentukan tanah berjalan. Proses pembentukan tanah berlangsung dengan berbagai reaksi fisik, kimia dan biologi. Reaksi menghasilkan sifat-sifat tanah dan karena memiliki sifat maka tanah dapat menjalankan fungsi-fungsi tertentu. Proses pembentukan tanah berlangsung dengan tiga tahapan : (1) mengubah bahan mentah menjadi bahan induk tanah, (2) mengubah bahan induk tanah menjadi bahan penyusun tanah, dan (3) menata bahan penyusun tanah menjadi tubuh tanah. Faktor-faktor pembentuk tanah adalah sebagai berikut.

Bahan induk

Bahan induk tanah dapat berasal dari batuan atau longgokan biomassa mati sebagai bahan mentah. Yang berasal dari batuan akan menghasilkan tanah mineral, sedang yang berasal dari longgokan biomassa mati akan menghasilkan tanah organik. Bahan penyusun tanah organik dirajai oleh bahan organik dengan campuran bahan mineral berupa endapan aluvial.

Sifat bahan mentah dan bahan induk berpengaruh atas laju dan jalan pembentukan tanah, seberapa jauh pembentukan tanah dapat maju, dan seberapa luas faktor-faktor lain dapat berpengaruh. Sifat-sifat tersebut ialah susunan kimia, sifat fisik dan sifat permukaan. Dalam hal bahan mentah dan bahan induk mineral sifat-sifat yang berpengaruh termasuk pula susunan mineral, dan dalam hal bahan mentah dan bahan induk organik sifat-sifat yang berpengaruh termasuk pula susunan jaringan. Sifat fisik berkenaan dengan struktur dan granularitas. Sifat permukaan berkenaan dengan kemudahan kelangsungan reaksi antarmuka (*interface*).

Iklm

Iklm berpengaruh langsung atas suhu tanah dan keairan tanah serta berdaya pengaruh tidak langsung pula lewat vegetasi. Hujan dan angin dapat menimbulkan degradasi tanah karena pelindian (hujan) dan erosi (hujan dan angin). Energi pancar matahari menentukan suhu badan pembentuk tanah dan tanah dan dengan demikian menentukan laju pelapukan bahan mineral dan dekomposisi serta humifikasi bahan organik. Semua proses fisik, kimia dan biologi bergantung pada suhu. Air merupakan pelaku proses utama di alam, menjalankan proses alihragam (*transformation*) dan alihtempat (*translocation*) dalam tubuh tanah, pengayaan (*enrichment*) tubuh tanah dengan sedimentasi, dan penyingkiran bahan dari tubuh tanah dengan erosi, perkolasi dan pelindian.

Curah hujan merupakan sumber air utama yang memasok air ke dalam tanah. Suhu dan kelembaban nisbi udara menentukan laju evapotranspirasi dari tanah. Maka imbangan antara curah hujan dan evapotranspirasi menentukan neraca keairan tanah, dan ini pada gilirannya mengendalikan semua proses yang melibatkan air. Neraca keairan tanah berkaitan dengan musim. Dalam musim yang curah hujan (CH) melampaui evapotranspirasi (ET), air dalam tubuh tanah bergerak ke bawah, menghasilkan perkolasi yang mengimbas alihtempat zat ke bagian bawah tubuh tanah dan pelindian zat ke luar tubuh tanah. Dalam musim yang CH lebih rendah daripada ET, gerakan air dalam tubuh tanah berbalik ke atas, yang mengimbas alihtempat zat ke bagian atas tubuh tanah dan pengayaan tubuh tanah dengan zat dari luar tubuh tanah.

Iklm juga berpengaruh dengan menggerakkan proses berulang pembasahan dan pembekuan. Pengaruh tidak langsung lewat vegetasi menentukan seberapa besar pengaruh yang dapat dijalankan oleh faktor organisme.

Organisme Hidup

Faktor ini terbagi dua, yaitu yang hidup di dalam tanah dan yang hidup di atas tanah. Yang hidup di dalam tanah mencakup bakteri, jamur, akar tumbuhan, cacing tanah, rayap, semut, dsb. Bersama dengan makhluk-makhluk tersebut, tanah membentuk suatu ekosistem. Jasad-jasad penghuni tanah mengaduk tanah, mempercepat pelapukan zarah-zarah batuan, menjalankan perombakan bahan organik, mencampur bahan organik dengan bahan mineral, membuat lorong-lorong dalam tubuh tanah yang memperlancar gerakan air

dan udara, dan mengalihtempatkan bahan tanah dari satu bagian ke bagian lain tubuh tanah.

Vegetasi adalah sumber utama bahan organik tanah. Bahan induk organik yang dikenal dengan sebutan gambut, berasal dari vegetasi. Berlainan dengan batuan induk dan iklim yang merupakan faktor mandiri (*independent*), vegetasi bergantung pada hasil interaksi antara batuan, iklim dan tanah. Nasabah vegetasi dengan tanah bersifat timbal-balik. Ragam vegetasi dalam kawasan luas terutama ditentukan oleh keadaan iklim. Maka ragam pokok vegetasi berkaitan dengan mintakat pokok iklim. Namun demikian vegetasi tetap berdaya pengaruh khusus atas pembentukan tanah, yaitu (1) menyediakan bahan induk organik, (2) menambahkan bahan organik kepada tanah mineral, (3) ragam vegetasi menentukan ragam humus yang terbentuk, (4) menciptakan iklim meso dan mikro yang lebih lunak dengan mengurangi rentangan suhu dan kelembaban ekstrem, (5) melindungi permukaan tanah terhadap erosi, pengelupasan, pemampatan dan penggerakan, (6) memperlancar infiltrasi dan perkolasi air, (7) memelihara ekosistem tanah, dan (8) melawan pelindian hara dengan cara menyerap hara yang terdapat di bagian bawah tubuh tanah dengan sistem perakarannya dan mengangkat hara ke permukaan tanah dalam bentuk serasah (konversi daur hara).

Timbulan

Timbulan (*relief*) atau bentuk lahan (*landform*) menampilkan tampilan lahan berupa tinggi tempat, kelerengan, dan kiblat lereng. Timbulan merupakan faktor pensusar (*conditioning factor*) yang mengendalikan pengaruh faktor iklim dan organisme hidup, dan selanjutnya mengendalikan laju dan arah proses pembentukan tanah.

Dalam kawasan curah hujan yang sama, timbulan menciptakan keairan tapak yang dapat berbeda-beda. Di tapak yang berkedudukan lebih tinggi dan berlereng-lereng, terjadi suasana yang lebih kering karena letak air tanah lebih dalam dan air lebih banyak lari sebagai aliran perkolasi dan aliran limpas (*runoff*). Sebaliknya, di tapak yang berkedudukan lebih rendah dan datar atau cekung, terjadi suasana yang lebih basah karena letak air tanah dangkal, yang membatasi laju perkolasi, dan air cenderung mengumpul, bahkan memperoleh aliran masuk dari tapak sekitar yang berkedudukan lebih tinggi (*runon*). Tanah di lahan atasan terbentuk dalam keadaan pengatusan (*drainage*) lebih baik, maka biasanya berwarna cerah kemerahan dan sifatnya lebih beragam. Tanah di lahan bawahan terbentuk dalam keadaan pengatusan lebih buruk, maka biasanya berwarna

kelam di bagian atas dan bercak-bercak karat di bagian bawah, dan keragaman sifat tanah lebih terbatas.

Tanah berlereng-lereng lebih rentan erosi dan longsor. Tanah datar atau cekung justru menjadi tempat menampung bahan yang tererosi dari tanah sekitar yang terletak lebih tinggi. Kaitan timbulan dengan erosi angin berbalikan dengan kaitannya dengan erosi air. Tanah datar yang luas dan terbuka tanpa halangan bukit-bukit sangat rentan terhadap erosi angin.

Masukan energi pancar matahari beragam menurut landaian dan kiblat lereng, yang mempengaruhi suhu, ET dan sering juga agihan CH. Jadi, daya pengaruh iklim makro dan vegetasi atas pembentukan tanah berubah karena timbulan. Pengaruh kiblat lereng atas suhu di jalur sepanjang katulistiwa dapat diabaikan, karena rentangan jarak dan lama waktu matahari berada di sebelah utara dan selatan katulistiwa, dan lama waktu matahari berada di sebelah timur dan barat zenit, sama sepanjang tahun. Di Indonesia yang hujan bersifat orografis dan musim barat lebih banyak membawa hujan, lereng yang berkiblat barat-baratlaut bersifat lebih basah daripada yang berkiblat timur-tenggara. Di kawasan belahan bumi utara yang jauh dari katulistiwa, keadaan lereng yang berkiblat selatan lebih panas dan lebih kering daripada yang berkiblat utara. Lereng berkiblat barat pada umumnya lebih lembab daripada yang berkiblat timur. Maka pada umumnya proses pembentukan tanah sering intensif di lereng-lereng berkiblat barat laut.

Waktu

Waktu bukan faktor penentu sebenarnya. Waktu dimasukkan faktor karena semua proses maju sejalan dengan waktu. Tidak ada proses yang mulai dan selesai secara seketika. Tahap evolusi yang dicapai tanah tidak selalu bergantung pada lama kerja berbagai faktor, karena intensitas faktor dan interaksinya mungkin berubah-ubah sepanjang perjalanan waktu. Dapat terjadi tanah yang belum lama terbentuk akan tetapi sudah memperlihatkan perkembangan profil yang jauh. Sebaliknya, ada tanah yang sudah lama menjalani proses pembentukan akan tetapi perkembangan profilnya masih terbatas.

Tanah yang berhenti berubah sepanjang perjalanan waktu menandakan bahwa tanah tersebut telah mencapai keseimbangan dengan lingkungannya dan disebut telah mencapai klimaks. Kalau keadaan lingkungan berubah, proses-proses tanah akan bekerja kembali menuju ke pencapaian keseimbangan baru. Sementara itu ciri-ciri klimaks terdahulu masih tertahan karena untuk menghilangkannya diperlukan waktu sangat

panjang. Tanah semacam ini disebut tanah tinggalan (*relict soil*). Apabila tanah hasil bentukan lingkungan purba terkubur oleh bahan endapan baru, perkembangannya akan terawetkan. Tanah yang berasal dari suatu lingkungan purba dinamakan paleosol. Paleosol yang terawetkan disebut tanah fosil.

Tanah-tanah yang ada di kebanyakan lahan berumur lebih muda daripada 200.000 tahun meskipun proses pembentukan tanah telah berlangsung jauh lebih lama. Salah satu sebab ialah erosi yang secara berangsur mengikis tanah sehingga tanah tetap mengalami pemudaan dan penipisan (menyingkirkan lapisan tanah atasan yang lebih tua). Sebab lain ialah banyak medan yang permukaannya dari waktu ke waktu tertutup bahan endapan baru berupa abu vulkan, loess, apungan glasial (*glacial drifts*), atau aluvium (Harpstead & Hole, 1980). Sebagai bandingan dapat dikemukakan bahwa bumi terbentuk pada 4,5 milyar tahun sebelum kini, batuan tertua berumur 4 milyar tahun, manusia pertama muncul pada 2,5 juta tahun sebelum kini (kala plistosen) , dan manusia mulai merajai bumi pada 10.000 tahun sebelum kini (kala holosen).

Tanah Sebagai Reaktor

Tanah adalah suatu campuran beragam dari (1) komponen mineral berupa sibir (*fragment*) batuan induk, mineral primer dan sekunder, serta zat amorf, (2) komponen organik berupa fauna dan flora, akar tumbuhan, sisa tumbuhan utuh dan lapuk, serta zat humik bentukan baru (humus), (3) air, dan (4) udara. Dalam tanah mineral, komponen mineral membentuk kerangka dasar dan komponen organik menjadi pengisi. Dalam tanah organik komponen organik membentuk kerangka dasar dan komponen mineral menjadi pengisi. Air dan udara berada dalam pori massa tanah. Sebagian air terjerap pada permukaan zarah mineral dan organik. Air yang terdapat dalam pori tanah disebut air kapiler.

Tanah merupakan suatu sistem terbuka. Maka antara tanah dan lingkungannya berlangsung proses pertukaran energi dan bahan secara tetap. Proses pertukaran ini memelihara interaksi antar keempat penyusun tanah yang berlangsung secara tetap pula. Mineral sekunder dan zat amorf memegang peranan utama dalam reaksi dakhil tanah mineral. Peran mereka tetap penting dalam tanah organik. Humus memegang peran utama dalam reaksi dakhil tanah organik. Perannya tetap penting dalam tanah mineral.

Lewat permukaannya tanah melakukan pertukaran air dengan atmosfer secara langsung (hujan-evaporasi) dan secara tidak langsung dengan perantara vegetasi (hujan-

transpirasi). Tanah juga melakukan pertukaran energi pancar matahari dengan atmosfer, baik secara langsung dengan emisi dan refleksi maupun secara tidak langsung dengan perantara kegiatan jasad (fotosintesis-dekomposisi). Pertukaran bahang (*heat*) antara tanah dan udara atmosfer berlangsung lewat konveksi dan konduksi. Tanah memperoleh bahang magma (*magmatic/juvenile heat*) dan batuan induk dari bumi, dan kehilangan bahan ke bumi berupa air lewat perkolasi dan zat terlarut atau tersuspensi lewat pelindian. Dengan vegetasi, tanah mempertukarkan zat mineral lewat pendauran bahan secara hayati. Hara tanah diserap akar, terlibat dalam metabolisme dalam tubuh tumbuhan, dan dikembalikan ke tanah berupa bahan organik (serasah, sisa jaringan). Bahan organik ini mengalami proses mineralisasi dan humifikasi oleh flora dan fauna tanah. Tanah menerima bahan dengan jalan pengendapan dan kehilangan bahan karena erosi.

Bersama dengan vegetasi penutupnya, tanah merupakan pengubah energi, penerima dan penyalur energi pancar matahari dan energi yang datang dari dalam bumi. Energi yang diperoleh tanah dari pertukaran dengan lingkungannya digunakan untuk proses transformasi dan translokasi dalam tubuh tanah. Sumber dan penampung (*sink*) energi dalam tubuh tanah ialah perubahan mineral dan bahan organik, kegiatan hayati, gesekan, pembasahan-pengeringan, dan pembekuan-pencairan. Pengalihan energi dalam tubuh tanah berlangsung dengan konduksi, konveksi, kondensasi, evaporasi, perkolasi, dan aliran-tak jenuh. Transformasi energi dalam tanah tercapai lewat pembasahan-pengeringan, pemanasan-pendinginan, evapotranspirasi, pelapukan, erosi dan pelindian-pengendapan. Bahang dan cahaya diubah lewat evapotranspirasi, fotosintesis, dan dekomposisi. Dalam pelapukan reaksi eksoterm merajai, sedang dalam pertumbuhan organisme reaksi endoterm merajai. Ada alih energi dari proses pelapukan ke proses pertumbuhan jasad, pelapukan menjadi sumber energi dan pertumbuhan jasad menjadi penampung energi. Organisme dan mineral saling bersaing dalam mendapatkan bahan-bahan mobil, yaitu gas, lindi dalam larutan dan dalam suspensi, dan zat alir (*fluids*) hayati.

Tanah merupakan pabrik lempung alami, baik lempung dalam arti mineral aluminosilikat sekunder maupun semua zarah yang berdiameter di bawah 2 mikron. Pembentukan kompleks organomineral juga merupakan peristiwa khas yang berkaitan dengan pembentukan tanah. Pembentukan kompleks ini dilancarkan oleh cacing tanah. Kehadiran zarah-zarah lempung, dan juga humus, sangat menentukan reaktivitas tanah. Reaksi yang berlangsung dalam tanah adalah reaksi antarmuka (*interface*), sehingga makin besar permukaan jenis bahan penyusun tanah, makin besar muatan listrik total bahan

penyusun tanah, makin besar kadar bahan-bahan tersebut dalam tanah, tanah makin reaktif. Reaksi antarmuka terpenting ialah pelarutan, hidrolisis (termasuk asidolisis), kompleksolisis, dan sorbi-desorpsi. Asidolisis ialah hidrolisis yang air mengandung larutan asam, sehingga daya lisisnya lebih kuat karena kadar ion H lebih tinggi. Asam utama yang terlarut ialah asam karbonat. Dalam tanah yang mengandung bahan organik juga terlarut asam organik.

Kompleksolisis atau pembentukan senyawa majemuk, ialah pembongkaran mineral primer dan juga mineral lempung tertentu berupa asam organik dan senyawa fenolik. Atom logam dalam struktur kristal diekstrak dan dimobilkan oleh proses kelasi (*chelation*). Disamping penting dalam pelapukan, kelasi juga penting dalam migrasi unsur logam. Dalam bentuk kelat unsur logam kurang terpengaruh oleh lingkungan pengendap.

Sorpsi-desorpsi menyangkut pertukaran ion, tegangan lengas tanah, agregasi-dispersi zarah tanah, dan hidratisi-dehidratisi. Pertukaran ion bersama dengan pelarutan menentukan ketersediaan unsur hara bagi tumbuhan dan flora tanah serta kerentanannya terhadap eluviasi dan pelindian. Tegangan lengas tanah menentukan ketersediaan air dalam tanah bagi tumbuhan. Agregasi-dispersi bekerja dalam pembentukan struktur tanah. Bersama dengan tegangan lengas tanah, hidratisi-dehidratisi bekerja dalam penyediaan konsistensi tanah.

Lempung dan humus mempunyai permukaan jenis dan kapasitas sorpsi-desorpsi besar, jauh lebih besar daripada bahan penyusun tanah yang lain. Maka segala kegiatan tanah berpusat pada lempung dan humus. Permukaan jenis lempung berentangan antara 20-40 m^2g^{-1} (kaolinit) sampai dengan 700-800 m^2g^{-1} (montmorilonit). Kapasitas tukar kation (KTK) kaolinit 5-15 cmol (+) kg^{-1} dan montmorilonit 80-120 cmol (+) kg^{-1} . Kapasitas tukar anion (KTA) masing-masing ialah 13 dan 23 cmol . Mineral lempung amorf alofan yang merajai tanah muda asal abu volkan berpermukaan jenis 200-500 m^2g^{-1} dan KTK sampai 100 cmol (+) kg^{-1} . Humus berpermukaan jenis sekitar 700 m^2g^{-1} dan KTK 200-500 cmol (+) kg^{-1} , Humus juga mempunyai KTA. KTK dan KTA humus bergantung pada pH. Bagian besar KTK lempung bersifat tetap, bagian kecil bergantung pada pH. KTA lempung bergantung pada pH. Nasabah KTK dan KTA dengan pH berbalikan. KTK naik sejalan dengan kenaikan pH, akan tetapi KTA naik sejalan dengan penurunan pH.

Untuk perbandingan, permukaan jenis zarah debu (diameter 2-20 mikron), pasir halus (diameter 20-200 mikron), dan pasir kasar (diameter 200-2000 mikron) berturut-turut

kira-kira $0,2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, $0,02 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, dan $0,002 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$. Jelas bahwa peran zarah-zarah ini dalam proses antarmuka dapat diabaikan.

Lempung dan humus juga menjadi pelaku utama konversi air menjadi lengas tanah yang digunakan tumbuhan. Tanah lempung (kadar lempung 40 % atau lebih) dalam keadaan jenuh mengandung lengas tanah rerata 53 mm dm^{-1} lapisan tanah. Kandungan lengas tersediaan (kapasitas lapangan-titik layu tetap) rerata 23 mm dm^{-1} lapisan tanah. Angka-angka untuk tanah (kadar lempung 10 % atau kurang) hanya rerata 38 dan 8 mm dm^{-1} lapisan tanah (Anon, 1989).

Tanah merupakan tempat perombakan senyawa aseli dan sekaligus tempat pembentukan senyawa baru. Senyawa aseli berupa mineral berasal dari litosfer dan yang berupa bahan organik berasal dari biosfer. Dengan air hidrosfer dan udara dari atmosfer, senyawa-senyawa tadi dirombak dan disintesis kembali menjadi senyawa-senyawa baru. Tanah merupakan mintakat (*zone*) pertemuan dan interaksi litosfer, biosfer, hidrosfer dan atmosfer.

Bahan mineral dirombak secara fisik (disintegrasi), kimiawi (dekomposisi : pelarutan, hidrolisis, asidolisis, oksidasi, reduksi), dan biologi (biokimiawi : kompleksolisis, pelarutan, asidolisis). Bahan rombakan disusun kembali menjadi senyawa baru (*neoformation*) berupa lempung aluminosilikat (kaolinit, montmorilonit, alofan, dsb.), oksida Si (kuarsa sekunder, opal amorf), oksida dan hidroksida Al, Fe dan Mn, dan karbonat Ca, Mg dan Na sekunder. Bahan organik dirombak secara fisik, biokimiawi (hidrolisis, oksidasi), dan mikrobiologi (enzimatik, oksidasi, mineralisasi) berupa berbagai zat humus (fulvat, humat, humin). Humifikasi dapat berlangsung secara kimiawi, yang peranan jasad tanah hanya terbatas pada tahap awal. Yang dapat terbentuk secara ini ialah fulvat. Reaksi kimia menonjol dalam tanah masam, miskin hara mineral, dan gambut yang kegiatan mikrobia rendah. Humifikasi dapat berlangsung dengan metabolisme dan otolisis hayati. Yang biasa terbentuk secara ini ialah humat dan humin. Proses ini terutama terjadi dalam saluran pencernaan fauna tanah. Humifikasi hayati terjadi dalam tanah masam lemah sampai netral, kaya hara, dan dengan kegiatan biologi tinggi.

Tanah Sebagai Ekosistem

Tanah bukan semata-mata benda mati. Tanah mengandung suatu bentuk kehidupan khas berupa flora dan fauna, sehingga tanah memiliki ciri-ciri tertentu sebagai benda hidup. Oleh karena tanah tersusun atas komponen abiotik dan biotik maka tanah pada

asasnya merupakan suatu ekosistem. Keseluruhan masyarakat hidup tanah dinamakan edafon. Edafon merupakan bagian dari bahan organik tanah. Penyusun bahan organik tanah yang lain ialah akar tumbuhan hidup dan mati, sisa akar dan bagian tumbuhan lain yang telah terombak dan terubah sebagian, dan zat-zat organik baru hasil sintesia, baik berasal bahan nabati maupun dari bahan hewani. Bahan organik hasil sintesis ini diberi nama umum humus. Menurut pengertian konvensional, bahan tumbuhan kasar, misalnya akar dengan diameter di atas 2 cm, mikrofauna, dan hewan vertebrata tidak termasuk bahan organik tanah (Schroeder, 1984).

Humus merupakan bagian terbesar bahan organik tanah mineral. Akar berada di urutan kedua dan edafon merupakan bagian terkecil. Meskipun jumlahnya sedikit namun peranan edafon dalam proses-proses tanah sangat besar, khususnya dalam pelapukan mineral dan dekomposisi bahan organik. Jumlah dan ragam humus bergantung pada keadaan lingkungan pembentukannya berkenaan dengan suhu, lengas, aerasi, panjang hari, ketersediaan hara, sifat fisik, kimia dan biologi tanah, serta timbulan, dan bergantung pada macam vegetasi sebagai sumbernya. Dalam tanah hutan kadar humus dalam bahan organik kerap kali kurang daripada 50 % berat bahan kering. Dalam tanah perumputan kadarnya dapat mencapai 85 %. Kadar edafon dalam bahan organik tanah berentangan 1-10 % (maksimum) berat bahan kering. Dalam tanah perumputan kadarnya sekitar 5 %.

Bagian terbesar edafon berupa flora tanah, yaitu fungi, algae, bakteri dan aktinomisetes. Sumbangan populasi flora tanah kepada massa edafon ialah 60 – 90 % bobot kering, dengan massa fungi dan algae seimbang dengan massa bakteri dan aktinomisetes. Di kalangan fauna tanah, cacing tanah terdapat paling banyak, yang dalam tanah perumputan dapat mencapai 12 % berat bahan kering edafon.

Tanah menyediakan kebutuhan hidup edafon berupa bahan organik sebagai sumber energi dan hara, bahan mineral sebagai sumber hara, air, oksigen, CO₂ sebagai sumber C dan energi bagi bakteri ototrof, dan bahang (suhu). Tanah juga berfungsi melindungi hidup edafon dengan jalan membatasi koncahan (fluctuation) suhu dan kelembaban. Edafon biasa hidup berasosiasi dengan tumbuhan secara sinergistik. Banyak fungi yang hidup bersimbiosis dengan akar tumbuhan (mikorisa). Maka edafon lebih banyak ditemukan dalam risosfer, khususnya bakteri dan fungi. Risosfer ialah volum tanah beserta air dan udara yang dikandungnya dan bersama dengan organisme yang berasosiasi, yang menyelimuti langsung perakaran tumbuhan.

Akar mengeluarkan CO_2 , O_2 dan eksudat berupa zat-zat organik sederhana. CO_2 membuat larutan tanah menjadi agak masam yang melancarkan pelarutan hara dari rombakan batuan, yang berguna untuk tumbuhan sendiri dan flora tanah. CO_2 juga diperlukan oleh bakteri ototrof sebagai sumber C dan energi. O_2 diperlukan oleh flora tanah aerobik dan fauna tanah. Eksudat akar berguna bagi flora tanah heterotrof sebagai sumber C, N dan energi yang mudah dirombak. Kebanyakan bakteri dan aktinomisetes tanah bersifat aerob. Hasil mineralisasi yang dikerjakan oleh flora heterotrof-saprofitik berguna untuk bekal hara tumbuhan. Dengan asosiasi tumbuhan dengan flora saprofitik daur hara dapat berlangsung. Jasad renik juga melakukan langkah-langkah penting dalam fase-fase padat, cair dan gas dari sistem tanah-tumbuhan-atmosfer-hidrosfer. Tanpa proses-proses organik tersebut berbagai daur bahan dan energi (O_2 , CO_2 , N_2 , S, P, air, bahang) akan terhenti dan semua makhluk hidup, termasuk manusia, akan kehilangan penopang kehidupan.

Ada kaedah biologi bahwa semakin kecil ukuran suatu makhluk, semakin besar jumlah dan pengaruhnya. Maka tindakan jasad renik dalam tanah jauh lebih luas dan jauh lebih menentukan daripada tindakan insekta dan hewan vertebrata penghuni tanah. Peningkatan kegiatan sehubungan dengan kehalusan ukuran jasad dapat juga dijelaskan dari sudut perluasan permukaan jenis jasad. Pada dasarnya reaksi jasad renik dengan lingkungannya juga berlangsung lewat antarmuka (jerapan, serapan, difusi, eksudasi). Bahan hara (ion, molekul makro, koloid) cenderung memekat pada antarmuka padatan-cairan. Maka ketersediaan permukaan yang dapat dihuni memainkan peranan utama dalam menentukan pertumbuhan dan agihan jasad renik dalam habitat semacam itu. Keadaan ini ditemukan dalam tanah. Jasad renik menduduki permukaan zarah-zarah tanah lewat proses adesi dan jerapan. Sehubungan dengan peristiwa ini bakteri dapat disebut koloid hidup.

Edafon juga berperan penting sekali karena menghasilkan humus dari bahan organik. Akar tumbuhan mengalihkan banyak bahan organik ke tanah berupa bahan sayatan akar sewaktu akar tumbuh menembus tanah dan lendir akar yaitu bahan granuler dan serabut halus serupa agar-agar yang menutupi permukaan akar dan rambut akar. Selama masa tumbuh tumbuhan semusim kira-kira 50 % C-organik yang dialihtempatkan dari trubus (top,shoot) ke akar dilepaskan ke tanah dalam bentuk C-organik, dan 20 % dilepaskan ke dalam tanah dalam bentuk CO_2 lewat pernafasan akar. Selebihnya yang 30 % sampai pada akhir masa pertumbuhan tumbuhan tetap berupa akar utuh. Bahan-bahan organik ini siap dirombak oleh mikroorganisme risosfer yang a.l. menghasilkan humus.

Risosfer merupakan suatu ekosistem khas dan berbeda jelas dengan ekosistem di luar risosfer.

Reaksi-reaksi biologi dalam tanah yang penting sekali berkenaan dengan tanah sebagai ekosistem ialah :

1. Penyematan N_2 udara yang dikerjakan oleh bakteri (Rhizobium) dan aktinomisetes yang bersimbiosis dengan akar tumbuhan tingkat tinggi, oleh bakteri yang hidup bebas dalam tanah (Azotobacter, Beijerinckia, dll.), dan oleh algae Nostoc, Anabaena.
2. Proteolisis (pelepasan N amino dari bahan organik) dan amonifikasi (reduksi N amino menjadi NH_3), yang dikerjakan oleh bagian besar mikroorganisme tanah.
3. Nitrifikasi yang berlangsung lewat dua tahap, yaitu nitritasi (oksidasi amonia menjadi nitrit) oleh Nitrosomonas dan Nitrosolobus, dan nitratasi (oksidasi nitrit menjadi nitrat) oleh Nitrobacter.
4. Denitrifikasi (reduksi nitrit atau nitrat menjadi gas N (NO , N_2O , N_2)) yang dapat dikerjakan oleh banyak spesies bakteri tanah.
5. Daur belerang. Mineralisasi fraksi S organik dalam keadaan tumpat air (waterlogged) menghasilkan H_2S . Dengan ketersediaan Fe sebagian H_2S membentuk FeS atau FeS_2 (pirit). Dalam lingkungan aerob sulfida anorganik mengalami oksidasi menjadi sulfat. Dalam lingkungan anaerob H_2S dioksidasi S unsur oleh bakteri S fotosintetik dan kemotrofik. Dalam keadaan aerob S unsur dioksidasi menjadi sulfat oleh bakteri S kemotrofik (Beggiatoa, Thiobacillus). Sulfat adalah bentuk S yang dapat diserap tumbuhan. Dalam keadaan anaerob sulfat kembali direduksi menjadi H_2S oleh bakteri Desulfovibrio.

Tanah merupakan suatu ekosistem terbuka dan dinamis, tempat berlangsung fluks energi dan bahan secara terus-menerus (bahang, air, gas, hara, bahan mineral dan organik, organisme). Proses-proses hidup memegang peranan penting dalam pembekalan hara bagi kehidupan berikut. Lebih daripada 98 % N, 60-95 % S dan 25-60 % P dalam tanah berada dalam bentuk senyawa organik (Schroeder, 1984).

Tanah Sebagai Komponen Lahan

Lahan adalah sutau wilayah daratan bumi yang ciri-cirinya merangkum semua tanda pengenal biosfer, atmosfer, tanah, geologi, timbulan, hidrologi, populasi tumbuhan

dan hewan, serta hasil kegiatan manusia masa lalu dan masa kini, yang boleh dibilang bersifat mantap atau dapat diramalkan bersifat mendaur, sejauh tanda-tanda pengenal tersebut berpengaruh murad (significant) atas penggunaan lahan oleh manusia pada masa sekarang dan pada masa mendatang. Berdasarkan pengertian ini maka tanah merupakan salah satu tampilan lahan. Sebagai komponen lahan, tanah merupakan suatu hamparan yang dinamakan pedosfer. Komponen lahan yang lain ialah atmosfer, hidrosfer (bagian yang berada di darat), biosfer, dan litosfer.

Kemajuan (existence) lahan ditentukan oleh interaksi malar (continuous) antar komponennya. Interaksi tersebut melangsungkan daur energi dan bahan. Antara atmosfer dan pedosfer berlangsung daur energi yang bermula dari pancaran energi matahari yang kemudian dikembalikan ke atmosfer oleh pedosfer lewat pemantulan cahaya dan emisi pancaran bahang, dan daur air yang bermula dari curah hujan yang kemudian dikembalikan ke atmosfer oleh pedosfer lewat evaporasi dan transpirasi (kerjasama antara tanah dan vegetasi). Daur energi dan air semacam ini juga terjadi antara atmosfer dan hidrosfer. Perbedaannya ialah emisi pancaran bahang dari tubuh air ke atmosfer lebih kecil karena bahang air lebih besar daripada tanah, sebaliknya pengembalian ke atmosfer lewat pantulan lebih besar karena albedo tubuh air bebas lebih besar daripada tanah. Evaporasi dari permukaan air bebas lebih besar daripada dari air yang tertambat dalam tanah oleh kakas jerapan dan kapiler karena tegangan air (pF) dalam keadaan bebas adalah nol, sedang dalam bentuk lengas tanah pF air bebas lebih besar daripada nol.

Dengan edafon dan akar tumbuhan, tanah melakukan pertukaran gas dengan atmosfer. Oksigen masuk ke dalam tanah untuk respirasi dan dilepaskan kembali ke atmosfer lewat proses fotosintesis oleh ganggang foto-ototrof (Cyanophyta). CO₂ masuk ke dalam tanah yang dikonsumsi oleh jasad foto-ototrof dan dikembalikan ke atmosfer lewat proses perombakan bahan organik. N₂ yang masuk ke dalam tanah ditambat oleh jasad renik penambat nitrogen bebas dan dijadikan berbagai senyawa nitrogen (amonium, senyawa amino, protein). Oleh bakteri pengurai bahan organik senyawa nitrogen diubah menjadi NH₃ dan selanjutnya oleh bakteri nitrit NH₃ diubah menjadi nitrit dan oleh bakteri nitrat nitrit diubah menjadi nitrat. Oleh bakteri denitrifikasi nitrat direduksi menjadi N₂ bebas yang kembali ke atmosfer. Pertukaran CO₂ dan O₂ juga berlangsung antara atmosfer dan biosfer yang berada di atas tanah (vegetasi).

Antara tanah dan vegetasi berlangsung pertukaran unsur kimia. Vegetasi menyerap unsur kimia, khususnya unsur hara dari tanah dan dikembalikan ke tanah berupa bahan

organik (serasah, trubus (shoot) mati, akar mati). Oleh edafon pengurai bahan organik unsur-unsur kimia terbebaskan kembali. Antara tanah dan hidrosfer berlangsung pertukaran air dan zat-zat yang terlarut atau tersuspensi di dalam air. Di daerah estuarin terjadi pertukaran antara tanah dan laut. Di daerah sepanjang sungai terjadi pertukaran antara tanah dan sungai. Pertukaran antara tanah dan danau terjadi di jalur tepian danau. Pertukaran terjadi di daerah rawa dan di daerah air tanah dangkal. Gambut adalah sisa hasil pertukaran antara tanah-vegetasi-hidrosfer. Hidrosfer yang berupa rembesan air sungai, air tanah dan/atau air laut ke permukaan tanah menghasilkan gambut topogen. Hidrosfer yang berupa genangan air atmosfer di permukaan tanah menghasilkan gambut ombrogen.

Gambut topogen mengandung lebih banyak hara daripada gambut ombrogen karena air laut, air sungai atau air tanah lebih banyak mengandung zat-zat terlarut atau tersuspensi daripada kandungan zat-zat terlarut air hujan. Gambut topogen bersifat mesotrofik sampai eutrofik, sedang gambut ombrogen bersifat oligotrofik atau distrofik. Tanah yang terbentuk dari endapan sungai atau secara berkala terkena banjir sungai juga lebih subur daripada tanah yang sekitarnya yang terletak lebih tinggi sehingga tidak terpengaruh oleh air sungai. Tanah yang mempunyai air tanah dangkal juga mengandung hara lebih banyak daripada tanah yang berair tanah dalam. Air tanah dalam tidak dapat memberikan bekal hara kepada tanah dan justru mendorong pelindian hara tanah oleh perkolasi air hujan yang tidak tertahan oleh air tanah.

Keadaan tanah, termasuk kesuburannya dan degradasinya, ditentukan oleh sifat nasabah antara tanah dan komponen lahan yang lain. Maka dalam pengelolaan tanah, perbaikan, pembenahan atau pengaturan nasabah tanah dengan komponen lahan yang lain menjadi asas pokok. Tindakan tersebut bertujuan di satu pihak memperkuat ketahanan tanah menghadapi usikan komponen lahan yang lain yang merugikan atau membahayakan, dan di pihak lain melancarkan daya tanggap tanah terhadap pengaruh komponen lahan yang lain yang menguntungkan.

Degradasi tanah dapat terjadi karena dampak langsung atas tanah, seperti pengelolaan tanah berlebihan, pemampatan tanah karena penggunaan alat dan mesin pertanian berat, pemupukan bertakaran tinggi, pencemaran, dsb. Dapat juga karena dampak tidak langsung karena gangguan atas nasabah tanah dengan komponen lahan yang lain, seperti penghilangan vegetasi penutup sehingga tanah tidak terlindung dari daya hujan mengerosi atau merusak struktur tanah, pengatusan tanah rawa gambut yang menimbulkan

amblesan (subsidence) dan perubahan bentuk muka tanah serta sifat hidrofobik gambut, dsb.

Dampak yang menguntungkan tanah misalnya penterasan lereng yang menurunkan kerentanan tanah terhadap erosi air (mengubah timbulan untuk membenahi nasabah tanah dengan timbulan), pengaturan tata air (mengubah hidrologi untuk membenahi nasabah tanah dengan hidrosfer), mengganti vegetasi alang-alang dengan tumbuhan penutup legum (membenahi nasabah tanah dengan biosfer), dsb.

Tanah dapat menerima dampak secara impor dari yang diekspor oleh tanah tetangga yang berasosiasi. Misalnya, tanah atas mengeksport bahan erosi yang diimpor oleh tanah bawahannya menjadi bahan endapan. Tanah atas juga mengeksport air limpasan yang diimpor tanah bawahannya menjadi air genangan atau pengisi lengas tanah atau pengisi air tanah. Ekspor-impor bahan tanah dan air berarti juga ekspor-impor zat hara. Ekspor zat hara secara berangsur akan memiskinkan tanah atas dan impor zat hara secara berangsur mengayakan tanah bawahannya. Proses alihtempat bahan ke samping berlangsung secara alami berkenaan dengan tanah sebagai komponen lahan.

Nasabah tanah dengan komponen lahan yang lain dapat bersifat kompensatif atau antikompensatif. Nasabah tanah bertekstur pasir dengan iklim basah atau tanah bertekstur lempungan dengan iklim kering bersifat kompensatif dilihat dari segi bekalan (supply) lengas tanah untuk tumbuhan. Kekurang-mampuan tanah pasir menyimpan air dikompensasi oleh iklim basah yang mampu memberikan air banyak sepanjang tahun. Sebaliknya, kekurangan-mampuan iklim kering memberikan air cukup sepanjang tahun dikompensasi oleh tanah lempungan yang mampu menyimpan air banyak. Tanah dengan lereng bernasabah antikompensatif dilihat dari segi erosi tanah. Makin besar lereng, tanah makin rentan terhadap erosi tanah. Nasabah antikompensatif ini dapat dikurangi dengan mengubah keadaan salah satu atau kedua rekan nasabah, atau menyisipkan faktor ketiga di antara kedua rekan nasabah.

Pengurangan nasabah antikompensatif dapat dikerjakan dengan memperbesar laju infiltrasi dan perkolasi air ke dalam tanah, berarti membenahi tanah untuk menurunkan massa aliran limpas (menurunkan kakas kinetik). Dapat dikerjakan dengan menteras lereng, berarti membenahi lereng untuk menurunkan laju aliran limpas (menurunkan kakas kinetik), atau membenahi baik tanah maupun lereng. Dapat juga nasabah antikompensatif dikurangi dengan jalan menanam tanah dengan vegetasi penutup yang bermaksud

“melarai” nasabah antikompensatif antara tanah dan lereng. Ketiga cara dapat juga diterapkan bersama-sama.

Pandangan tanah sebagai komponen lahan menumbuhkan pengertian tanah sebagai tampakan (feature) bentanglahan (landscape). Dengan demikian hampiran (approach) holistik, dinamik dan geogarfi menjadi asas kajian tanah. Dipandang dari sudut kehidupan manusia, tanah menjadi bagian dari lingkungan hidup.

Tanah Sebagai Sumberdaya

Faktor pembentuk tanah merupakan suatu keadaan atau kawas lingkungan yang membangkitkan proses pembentukan tanah. Proses yang bekerja dengan berbagai reaksi menghasilkan sifat-sifat tanah. Karena memiliki sifat maka tanah berperilaku dan dengan perilakunya tanah dapat menjalankan fungsi-fungsi tertentu. Suatu ujud yang dapat berfungsi dalam kehidupan manusia dinamakan sumberdaya. Tanah merupakan sumberdaya.

Menurut perilakunya, sumberdaya terpilahkan menjadi yang terbarukan dan yang tidak terbarukan. Sumberdaya terbarukan ialah sumberdaya yang tidak habis tergunakan pada penggunaan yang wajar. Sumberdaya semacam ini memiliki suatu mekanisme hakiki yang dapat mempertahankan kemaujudannya. Tanah termasuk sumberdaya ini. Sumberdaya tidak terbarukan akan habis tergunakan sekalipun pada penggunaan yang wajar, karena tidak memiliki mekanisme hakiki yang dapat mempertahankan kemaujudannya. Minyak bumi termasuk sumberdaya ini.

Menurut fungsinya, sumberdaya terpilahkan menjadi yang berfungsi sebagai masukan proses produksi dan yang berfungsi sebagai masukan proses konsumsi. Tanah termasuk macam sumberdaya yang pertama. Udara termasuk macam sumberdaya kedua. Sumberdaya yang menjadi masukan ke proses produksi mempunyai nilai karena menghasilkan sesuatu yang berguna bagi kehidupan manusia. Jadi, nilai sumberdaya semacam ini terkait pada nilai hasil keluaran. Makin besar kegunaan hasil keluaran, makin tinggi nilai sumberdayanya. Secara tersendiri sumberdaya tersebut tidak bernilai. Lain halnya dengan sumberdaya yang menjadi masukan langsung ke proses konsumsi, yang secara tersendiri sudah bernilai.

Sebagai sumberdaya yang menjadi masukan ke proses produksi, tanah terutama digunakan dalam proses produksi hayati untuk menghasilkan biomassa berguna bagi kehidupan manusia. Biomassa berguna berupa bahan pangan, sandang, bangunan/rekayasa,

pakan, dan agroindustri. Disamping menghasilkan biomassa untuk memenuhi kebutuhan kebendaan tersebut tadi, tanah juga digunakan menghasilkan biomassa untuk memenuhi kebutuhan niskala (immaterial) dalam bentuk taman, jalur hijau atau hutan wisata untuk penyejuk atau penyehat lingkungan, penenang suasana atau pengasri pemandangan. Untuk maksud-maksud itu tanah diperlukan sebagai medium tumbuh tanaman. Nilai tanah

bergantung pada nilai biomassa yang dihasilkan menurut ukuran kegunaan bagi memenuhi kebutuhan manusia. Kebutuhan bergantung pada tempat dan waktu, sehingga kebutuhan kebendaan tidak selalu lebih penting daripada kebutuhan niskala. Di kawasan kota berpenduduk padat, misalnya, tanah yang sesuai untuk memapankan taman yang rindang bernilai lebih tinggi daripada tanah yang sesuai untuk dipersawahkan.

Tanah dapat juga digunakan sebagai sumber bahan mentah industri atau kerajinan tembikar. Untuk ini tanah ditambang sehingga berperilaku seperti sumberdaya tidak terbarukan. Untuk produksi biomassa, tanah diekstrak oleh akar tanaman untuk mendapatkan hara, air dan udara. Cadangan hara dalam tanah diisi kembali dari bahan induk tanah. Sebagian hara yang diekstrak oleh tanaman dikembalikan ke tanah berupa serasah dan biomassa tegakan yang tidak dipungut (sisa tanaman). Cadangan air dalam tanah diisi kembali oleh hujan, aliran kapiler air tanah kalau letak air tanah tidak terlalu dalam, dan/atau rembesan air dari samping. Cadangan udara dalam tanah diisi kembali dengan difusi udara dari atmosfer. Dalam penggunaan untuk produksi biomassa, tanah berperilaku sebagai sumberdaya terbarukan. Tanah dapat juga digunakan sebagai ruang untuk menampung kegiatan hidup manusia dan sebagai alas tumpu untuk menempatkan hasil rekayasa manusia (rumah, gedung, pabrik, jalan, waduk, dsb.). Dalam hal ini nilai tanah tersangkut pada luas bentangan, bentuk permukaan, dan daya menumpu beban.

Nilai tanah sebagai sumberdaya bergantung pada waktu. Waktu dapat menggeser atau mengubah kebutuhan dan keinginan manusia serta dapat menghadirkan ilmu pengetahuan dan teknologi baru yang lebih maju atau lebih sepadan. Pergeseran atau perubahan kebutuhan atau keinginan manusia dapat menyebabkan penggunaan tanah dialihkan dari suatu bentuk penggunaan ke bentuk penggunaan lain, atau penyusunan ulang urutan prioritas peruntukan tanah. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi meningkatkan kesanggupan manusia mengelola tanah. Tanah yang tadinya dinyatakan piasan (marginal) tidak lagi dinilai demikian karena kendala-kendala yang terkandung sudah dapat disingkirkan dengan teknologi baru yang dapat dibenarkan secara ekonomi, sosial, lingkungan dan konservasi. Kesemuanya ini akan mengubah pandangan manusia

terhadap sumberdaya tanah, fungsi yang diharapkan dijalankan oleh tanah, dan kriteria keadaan tanah yang dipersyaratkan untuk menetapkan kesesuaiannya.

Ketersangkutan nilai sumberdaya tanah pada cerapan (perception) masyarakat manusia mengenai hidup dan kehidupannya memunculkan empat matra (dimensions) pada nilai sumberdaya tanah, yaitu kuantitas (jumlah luas), kualitas (kegunaan), ruang (agihan geografi) dan waktu. Kuantitas dan ruang sudah demikian (given), tidak dapat diapa-apakan. Kualitas dapat ditangani namun terbatas, tidak dapat ditingkatkan semauanya. Waktu menandai perspektif. Mengingat kesemuanya ini program pengelolaan dan tataguna sumberdaya tanah harus berdasarkan perencanaan antisipatif dengan hampiran inisiatif. Jangan menggunakan hampiran “problem solving” yang semata-mata bermaksud menyelesaikan persoalan yang muncul di suatu tempat dan pada suatu waktu tertentu secara terpisah-pisah. Hampiran semacam ini yang menghasilkan perencanaan reaktif pada dasarnya tidak memiliki jangkauan jauh. Pragmatisme yang menjadikan rujukannya menggunakan pola pikir menyesuaikan persoalan segera setiap kali ada yang muncul. Pragmatisme tidak bekerja berdasarkan suatu jejaring konsep (conceptual network), berarti tidak diarahkan mencapai suatu tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

Berbeda samasekali dengan perencanaan atau tindakan reaktif, perencanaan atau tindakan antisipatif bergerak secara panggah (consistent) ke arah tujuan masa depan. Persoalan yang muncul dijadikan sebagai keadaan awal yang ada (existing initial condition) untuk mengatur gerak secara holistik, terpadu dan serbacakup (comprehensive) menuju tujuan akhir yang dicita-citakan. Tindakan antisipatif bertujuan mencapai cita-cita, sedang tindakan reaktif bertujuan menyelesaikan persoalan yang muncul. Hampiran “problem solving” biasanya tidak memperhitungkan konsekuensi yang dapat timbul di kemudian hari dari cara penyelesaian yang dianggap baik menurut keadaan waktu ini. Sumberdaya tanah yang nilainya bermatra waktu jelas tidak mungkin diselesaikan persoalannya secara pragmatik. Geser-menggeser lahan antar berbagai kepentingan yang sampai sekarang terjadi tanpa henti adalah perencanaan reaktif. Jumlah luas dan agihan geografi yang “apa adanya” dan adanya matra kualitas yang untuk mempertahankan atau meningkatkan memerlukan investasi modal, baik berupa uang, sumberdaya manusia, maupun kelembagaan, memperkuat alasan mengharuskan berencana dan bertindak antisipatif dalam tataguna tanah/lahan. Tataguna tanah/lahan yang berefisiensi rendah atau bersifat eksploitatif yang berakibat tanah berperilaku sebagai sumberdaya tidak terbarukan.

Upaya memegang kuasa atau hak penggunaan tanah/lahan biasanya melibatkan pergumulan kekuatan (power struggle) sengit. Hampiran “problem solving” hanya akan menunda persoalan. Penundaan berulang justru akan menggawatkan persoalan karena akan makin menjauhkan orang dari jalur pemecahan asasi yang mantap.

Tanah Dalam Lingkungan Hidup Manusia

Proses hidup dan kegiatan kehidupan selalu menghasilkan limbah dan sampah serta meninggalkan sisa yang dibuang ke lingkungan. Limbah, sampah dan sisa harus disingkirkan dari lingkungan agar tidak mengganggu atau membahayakan proses hidup dan kegiatan kehidupan selanjutnya. Hal ini tidak berbeda dengan perilaku makhluk. Limbah yang merupakan sisa metabolisme harus dibuang dari tubuh agar tidak mengganggu atau membahayakan fungsi organ tubuh. Tanah dengan sifat-sifat yang dimiliki dapat berfungsi saniter atas lingkungan hidup.

Istilah limbah, sampah dan sisa perlu dibedakan pengertiannya. Limbah (waste) adalah sisa proses pengolahan atau pembuatan yang dikeluarkan sistem pengolah/pembuat bersama dengan hasil berguna yang dibuat. Limbah adalah keluaran yang tidak berguna. Sampah (refuse) adalah barang/bahan yang dibuang sehabis digunakan. Sisa dapat bermakna macam-macam. Sisa dapat berarti ceceran bahan/zat masukan ke dalam proses pengolahan/pembuatan. Dapat juga diartikan bagian bahan/zat masukan yang karena satu dan lain sebab tidak terikut dalam proses atau reaksi pembuatan hasil berguna. Sisa dapat pula berarti bagian hasil proses pembuatan yang tidak berguna menurut maksud pembuatan, artinya bagian hasil pembuatan yang tidak digunakan. Menurut pengertian terakhir, sisa bersifat nisbi. Misal, dalam hal penghasilan biomassa tanaman legum yang dimaksudkan untuk memperoleh biji, batang dan daun merupakan sisa. Akan tetapi dalam hal penghasilan pupuk hijau, batang dan daun tadi merupakan hasil pokok dan biji merupakan sisa. Sisa dalam kasus ini boleh disebut hasil samping kalau digunakan untuk memperoleh manfaat tambahan.

Limbah yang kemudian diketahui dapat dimanfaatkan, boleh disebut hasil samping. Misal, tetes hasil pabrik gula bukan lagi limbah akan tetapi hasil samping karena sudah luas digunakan membuat spiritus. Kotoran hewan adalah limbah dilihat dari segi hewannya, akan tetapi merupakan hasil samping dilihat dari segi usaha peternakan karena dapat dimanfaatkan sebagai pupuk.

Untuk meringkas uraian, limbah, sampah dan sisa disebut “buangan”. Buangan dapat berbentuk padatan, cairan atau gas. Buangan padatan dan cairan menyebar dengan

perantaraan aliran air, sedang yang berbentuk padatan halus (debu), gas dan uap menyebar dengan perantaraan angin. Kegawatan daya pengaruh buangan atas lingkungan dapat dipilahkan menjadi dua tingkatan, yaitu pengotoran (contamination) dan pencemaran (pollution). Pengotoran menyebabkan lingkungan tidak memenuhi syarat kepatutan hidup, akan tetapi belum sampai membahayakan hidup. Ukuran kepatutan berkenaan dengan kebersihan, kesegaran, keasrian, dsb. Pencemaran menyebabkan lingkungan berada pada keadaan yang membahayakan hidup atau orang tidak betah tinggal berkenaan dengan kesehatan, keserasian, keselamatan, dsb.

Buangan dapat mengotori atau mencemari lingkungan karena mengandung zat beracun bagi tumbuhan, hewan dan/atau manusia, menjadi sumber hama dan/atau penyakit bagi tumbuhan, hewan dan/atau manusia, menimbulkan bau tidak sedap, menyebabkan eutrofikasi perairan, dan/atau mengkahatkan perairan akan oksigen terlarut yang mengganggu atau membahayakan kehidupan dalam air. Tanah dapat berfungsi melawan bahaya racun, hama dan penyakit serta menekan timbulnya bau busuk dari buangan padat dan cair. Secara tidak langsung tanah juga dapat mencegah atau mengurangi eutrofikasi dan pengahatan oksigen terlarut di perairan. Fungsi penting melindungi kehidupan dijalankan oleh tanah sebagai sistem penyaring, penyangga kimia (buffer), pengendap, pengalihragaman (transformer), dan pengendali biologi (Lynch, 1983; Schroeder, 1984). Fungsi menyaring dijalankan tanah dengan tubuhnya yang berbentuk jaringan (berstruktur). Bahan buangan padat yang mengandung zat beracun berupa debu yang mengendap dari udara (endapan eolin), sedimen aluvial dan bahan tersuspensi, ditahan oleh tanah atasan (topsoil) sehingga tidak terbawa air perkolasi. Dengan demikian tanah bawahan (subsoil) dan air tanah terhindar dari kemasukan zat beracun.

Fungsi penyanggaan kimia dijalankan tanah dengan menjerap zat beracun yang terlarut. Daya menyangga besar berkaitan dengan kadar lempung, terutama montmorilonit dan bahan organik tinggi. Fungsi pengendapan secara kimiawi berkaitan dengan pH dan potensial redoks. Dengan jalan ini air limpas (runoff) dan air perkolasi terbersihkan dari zat beracun, oksida-oksida N dan S, sisa pupuk dan pestisida yang terlarut. Pencekalan senyawa-senyawa amonium, nitrat dan fosfat yang terlarut dalam air limpas dan dalam air perkolasi sebelum masuk ke air tanah dapat menghindarkan eutrofikasi perairan. Zat-zat

yang sangat beracun biasanya terdapat dalam buangan industri dan pertambangan. Zat-zat tersebut mengandung unsur-unsur F, Hg, Cd, Cr, Pb, Ni, Zn dan Cu.

Fungsi pengalihragaman dikerjakan oleh edafon, khususnya flora renik, atas senyawa pencemar organik seperti yang terdapat dalam kencing, tinja, kotoran hewan, rembesan "silage" (hijauan ternak yang diperam dalam "silo"), sari kering limbah (sludge),

dan pestisida organik. Senyawa-senyawa tersebut dirombak dan diubah dengan proses mineralisasi dan humifikasi menjadi zat-zat yang tidak berbahaya. Penguraian bahan organik juga dapat menanggulangi pemasukan bahan organik yang mudah teroksidasi ke perairan. Pemasukan bahan organik semacam ini dalam jumlah banyak oksigen terlarut. Maka penguraian bahan organik sekaligus berguna melawan pengahatann oksigen terlarut dalam perairan. Pengahatan oksigen terlarut berakibat buruk atas kehidupan perairan (a.l. ikan). Eutrofikasi mendorong pertumbuhan tumbuhan air (terutama algae) lewat batas kewajaran, yang disamping meningkatkan produksi bahan organik yang mudah dioksidasikan, berarti memacu pengahatan oksigen terlarut, juga mengganggu pelayaran di jalan air (enceng gondok).

Fungsi pengendali biologi berguna menekan serangan penyakit yang bersumber tanah (soil-borne). Beberapa fakta yang ditemukan menunjukkan bahwa montmorilonit, koloid humus dan beberapa jenis bakteri tanah berdaya menekan serangan jamur patogen. Lempung montmorilonit memperbesar daya saing bakteri melawan jamur karena montmorilonit terjerap pada miselium jamur dan tidak terjerap pada sel bakteri. Dengan demikian lempung montmorilonit memperkuat daya tindih (suppressive) bakteri atas jamur patogen. Koloid humus berperilaku mirip dengan lempung montmorilonit. Maka tanah-tanah yang banyak mengandung lempung montmorilonit atau koloid humus berkesanggupan besar menjalankan fungsi pengendali biologi. Misalnya, montmorilonit dapat membatasi penyakit-penyakit layu oleh *Fusarium* pada pisang. Tanah dara yang sehat secara ekologi mengandung bakteri antagonis terhadap *Phytophthora palmivora*, sehingga inokulum tanah dapat digunakan memberantas penyakit busuk akar pada pepaya yang disebabkan oleh jamur tersebut. Kebanyakan jamur patogen terhadap manusia hanya ditemukan dalam tanah yang tidak mengandung lempung montmorilonit (Lynch, 1983).

Vertisol (tanah yang berkadar lempung montmorilonit tinggi) dan tanah yang kaya koloid humus berperan penting dalam pengendalian biologi. Ekosistem tanah yang sehat, berarti berkenaan adafon baik, menyebabkan tanah berkesanggupan besar sebagai pengendali biologi. Maka penyehatan ekosistem tanah dan ketersediaan vertisol serta tanah-tanah yang kaya bahan organik perlu diperhatikan dalam upaya sanitasi lingkungan.

Rujukan

- Anon. 1989. Agricultural compendium. For rural development in the tropics and subtropics. Elsevier. Amsterdam. xxxviii + 740 h.
- Harpstead, M.I., & F.D. Hole. 1980. Soil science simplified. Iowa State University Press./Iowa. viii +121h.
- Lynch, J.M. 1983. Soil biotechnology. Microbiological factors in crop productivity. Blackwell Scientific Publications. Oxford. x + 191 h.
- Schroeder, D. 1984. Soils. Facts and concepts. Int. Potash Inst. Bern. 140 h.

«»

UJIAN AKHIR SEMESTER GANJIL 2024/2025
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN Sumatera Utara

Program Studi	: Biologi
Jenjang Pendidikan	: S-1
Semester	: Tujuh
Mata Kuliah	: Dasar-dasar Ilmu Tanah
Hari Tanggal	: 21 Januari 2025
Waktu	: 24 jam
Sifat Ujian	: Buka Buku
Dosen Penguji	: Prof. Dr. Ir. M.Idris, M.P

Soal

1. A. Apa yang dimaksud dengan unsur hara makro dan mikro
B. Jelaskan Kriteria dari unsur-unsur hara makro dan mikro yang jumlahnya ada 16 unsur termasuk kelebihan dan kekurangannya yang terlihat di tanaman
2. A. Apa yang dimaksud dengan Pupuk dan Pemupukan serta tujuan Pemupukan
B. Jelaskan klasifikasi pupuk berdasarkan kandungan unsur haranya, kadar unsur haranya. reaksi kimianya, berdasarkan pembuatannya serta berikan contoh pupuknya
3. A. Jelaskan bagaimana pengaruh pupuk an-organik bila diberika ke dalam tanah terhadap sifat fisika, kimia, dan biologi tanah
B. Jelaskan bagaimana pengaruh pupuk organik bila diberika ke dalam tanah terhadap sifat fisika, kimia, dan biologi tanah
4. A. Berikan penjelasan tentang konservasi tanah dan air serta perlunya kegiatan tersebut dan dampak dari erosi di tempat asal dan tujuan akhirnya
B. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi erosi $E = RKLSCP$

5. A. Jelaskan pengertian lahan, penggunaan lahan, karakteristik lahan, kualitas lahan, dan persyaratan penggunaan lahan

B. Kesesuaian Lahan Pada Tingkat Order dan kelas meliputi :

Order S : sesuai (*suitable*)

Kelas S1 : sangat sesuai (*highly suitable*)

Kelas S2 : cukup sesuai (*moderately suitable*)

Kelas S3 : sesuai marginal

Ordo N : tidak sesuai (*not-suitable*)

Klasifikasi N1 : tidak sesuai pada saat ini (*currently not suit*)

Klasifikasi N2 : tidak sesuai permanen (*permanently not suitable*)

Jelaskan pengertian order dan kelas. Serta berikan contoh tanaman yan sesuai.

= Selamat Bekerja =