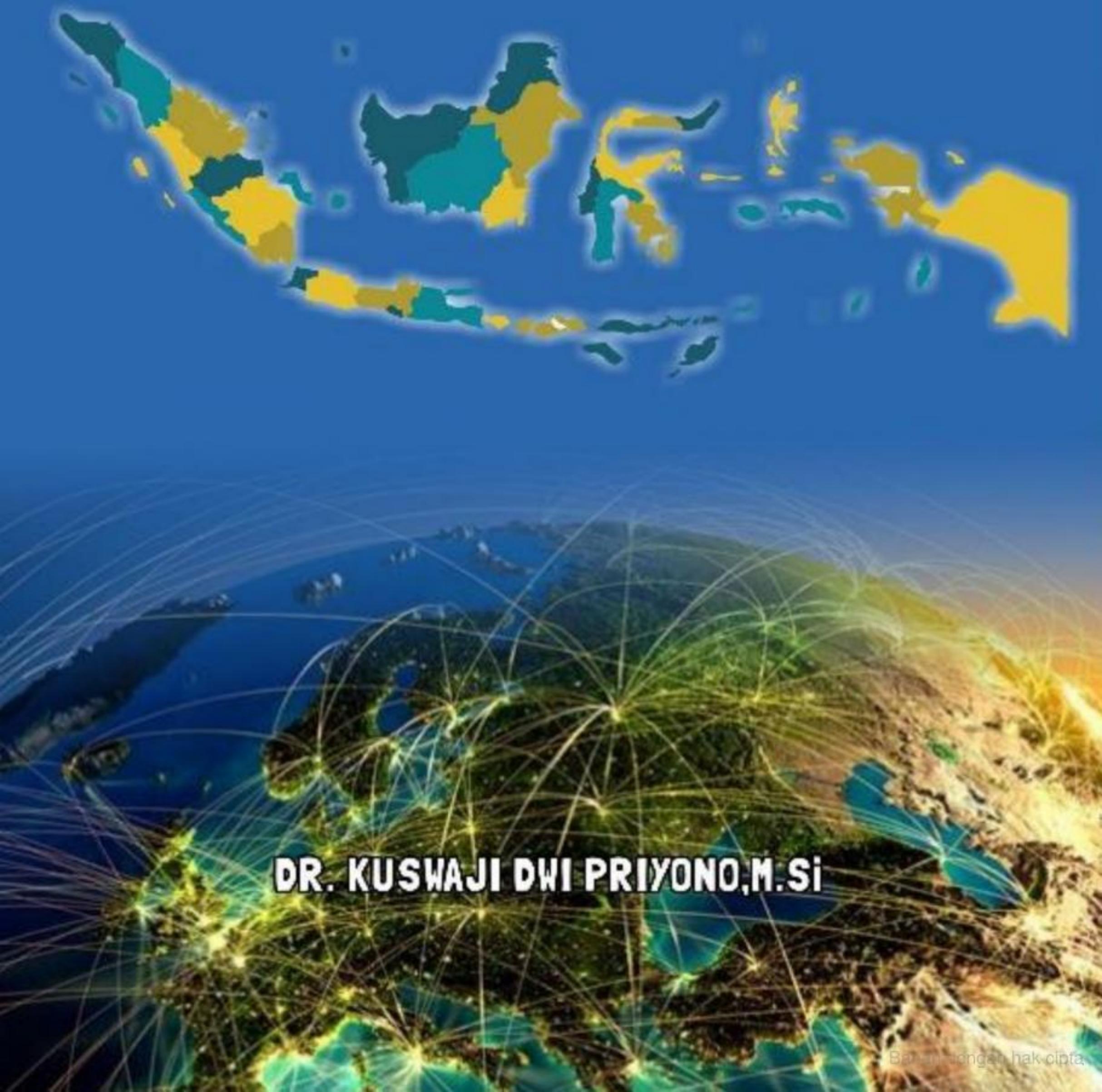


KAJIAN TANAH DALAM PERSPEKTIF GEOGRAFI



DR. KUSWAJI DWI PRIYONO, M.Si

Kajian Tanah dalam Perspektif Geografi

ix + 573 hlm.; 15,5 x 23 cm

ISBN : 978-623-5770-05-5

Penulis : Kuswaji Dwi Priyono

Tata Letak : Fidya Arie Pratama

Desain Sampul : Farhan Saefullah

Cetakan 1 : Desember 2021

Copyright © 2021 by Penerbit Insania
All rights reserved

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang No 19 Tahun 2002.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektris maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Penerbit Insania

Grup Publikasi Yayasan Insan shodiqin Gunung Jati
Anggota IKAPI

Jl. Evakuasi, Gg. Langgar, No. 11, Kalikebat Karyamulya, Kesambi,
Cirebon Telp. 085724676697

e-mail: penerbit.insania@gmail.com

Web : <http://insaniapublishing.com>

PERTEMUAN MINGGU KE-1

PENDAHULUAN

Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur (QS Al A'raaf: 58).

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat memahami pengertian tanah, susunan utama tubuh tanah, tanah sebagai sumberdaya alam, dan sejarah perkembangan ilmu tanah.

Tujuan Khusus Pembelajaran

Setelah mahasiswa mempelajari bab ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- 1) menjelaskan berbagai pengertian/konsep tanah,
- 2) menjelaskan susunan utama tubuh tanah,
- 3) memahami dan menjelaskan bahwa tanah sebagai sumberdaya alam, serta sejarah perkembangan ilmu tanah.

Manusia hidup di permukaan Bumi amat tergantung kepada tanah, suatu tanah pertanian yang baik ditentukan oleh seberapa jauh manusia itu cukup terampil mengelolanya. Kenyataan seiring jumlah penduduk yang semakin meningkat, justru terjadi kebalikannya yakni kesalahan dalam pengelolaannya, sehingga terjadi kerusakan-kerusakan tanah dan peristiwa kebencanaan yang menimpa tanah pertanian di berbagai wilayah di Dunia ini.

Hal itulah yang mengharuskan kita sebagai seorang calon Geograf untuk memahami tanah. Tanah terdistribusi secara spasial dengan karakteristik yang berbeda-beda, tentu dibutuhkan cara pengelolaan yang berbeda pula. Upaya untuk pelestarian terhadap peran tanah sebagai medium pertumbuhan tanaman dalam menyediakan bahan makanan bagi manusia harus terus dilakukan.

Kajian geografi tanah mengantarkan pemahaman akan distribusi spasial tanah-tanah di permukaan Bumi tersebut untuk kepentingan yang terus menerus bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan dan kesejahteraannya. Tanah yang merupakan tubuh alam dapat dimanfaatkan oleh tumbuh-tumbuhan untuk pertumbuhannya. Tumbuh-tumbuhan ini sangat dibutuhkan manusia untuk keperluan penyediaan bahan makannya, pakaian, dan lain-lain. Demikian pula hewan juga tergantung hidupnya kepada tumbuh-tumbuhan ini, seperti produksi susu, protein, daging, dan wool dari hewan ini dapat pula dimanfaatkan manusia. Standar hidup manusia di permukaan Bumi acapkali ditentukan sampai dimana manusia itu dapat secara terus menerus mempertahankan kualitas tanahnya, agar supaya baik tumbuh-tumbuhan maupun hewan dapat berproduksi dengan baik dan lestari.

A. Tanah Dalam Perspektif Geografi

Berbagai batasan (definisi) yang berbeda telah dibuat para Ahli Tanah tentang tanah, adakalanya definisi itu singkat saja, namun ada pula yang cukup panjang. Jooffe dan Marbut, dua ahli ilmu tanah yang kenamaan dari Amerika Serikat mendefinisikan tanah itu adalah tubuh alam (*natural body*) yang terbentuk dan berkembang sebagai akibat bekerjanya gaya-gaya alam (*natural forces*) terhadap bahan-

bahan alam (*natural material*) di permukaan Bumi. Tanah sebagai tubuh alam ini dapat berdifferensiasi membentuk horizon-horizon mineral maupun organik yang kedalamannya beragam dan berbeda-beda sifat-sifatnya dengan bahan induk yang terletak di bawahnya dalam hal morfologi, komposisi kimia, sifat-sifat fisis maupun kehidupan biologisnya. Dari definisi tersebut secara deskriptif (penyifatan) yang dapat dipahami bahwa ada tiga hal yang perlu dicatat terkait tanah, bahwa :

- 1) tanah itu terbentuk dan berkembang diri proses-proses alami,
- 2) adanya differensiasi profil tanah membentuk horizon-horizon, dan
- 3) terdapat perbedaan yang menyolok antara sifat-sifat bahan induk dengan horizon-horizon tanah yang terbentuk, terutama dalam hal morfologi, kimiawi, fisis dan biologi.

Tanah yang merupakan medium alam untuk pertumbuhan tanaman, menyediakan unsur-unsur hara sebagai makanan (*nutrient*) tanaman untuk pertumbuhannya. Selanjutnya unsur hara diserap oleh akar tanaman dan melalui daun dirubah menjadi persenyawaan organik seperti karbohidrat, protein, lemak dan lain-lain yang amat berguna bagi kehidupan manusia dan hewan. Definisi yang tidak jauh berbeda dari definisi sebelumnya adalah definisi yang diajukan oleh Schoeder (1972), menyatakan bahwa tanah itu sebagai suatu sistem tiga fase yang mengandung air, udara, bahan-bahan mineral dan organik serta jasad-jasad hidup. Akibat adanya pengaruh berbagai faktor lingkungan terhadap permukaan Bumi dalam kurun waktu yang panjang telah membentuk berbagai hasil perubahan tanah yang memiliki ciri-ciri morfologi yang

khas, sehingga berperan sebagai tempat tumbuh bermacam-macam tanaman.

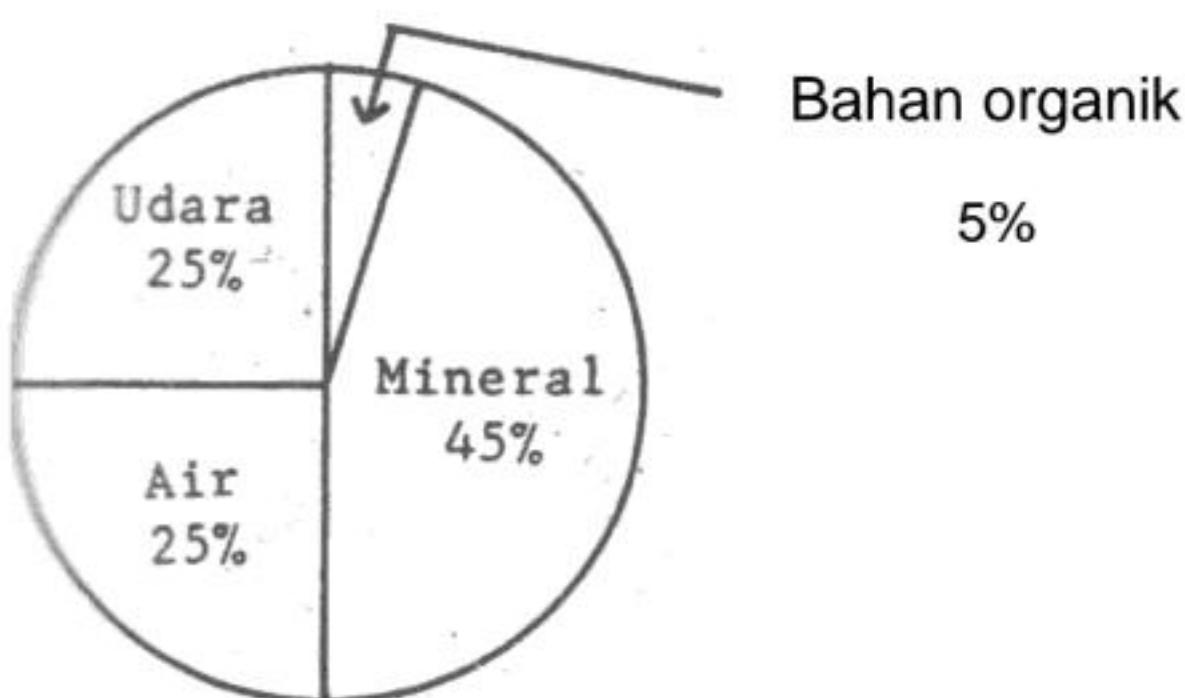
Tanah terbentuk dari bahan-bahan yang berupa bahan mineral, bahan organik, air, serta udara tersusun di dalam ruangan yang membentuk tubuh tanah. Akibat berlangsungnya proses pembentukan tanah itu, maka terjadilah perbedaan morfologi, kimia, fisis dan biologi dari tanah yang berbeda-beda pula. Satuan terkecil dari suatu tubuh tanah disebut *pedon*, yang merupakan suatu bagian dari pedosfer sebagai penyusun geosfera yang menjadi kajian mendasar bagi Geograf. Nah, sebagai calon Geograf yang lulus dari Perguruan Tinggi Muhammadiyah kita juga memahami bahwa pembahasan sebaran tanah di suatu wilayah itu telah tersirat pada QS Surat Al-A'raaf ayat 58 (QS 7:58).

B. Susunan Utama Tanah

Tanah terdiri dari empat komponen utama ialah bahan mineral, bahan organik, udara, dan air tanah dengan komposisi yang berbeda-beda dari berbagai jenis tanah yang berbeda pula. Pada Gambar 1.1. diperlihatkan susunan utama tanah berdasarkan volume dari suatu jenis tanah dengan tekstur lempung berdebu dengan perbandingan bahan padat dan ruang pori (rongga) udara tanah 1:1.

Berdasarkan Gambar 1.1 akan terlihat bahwa tanah mengandung 50% ruang pori (*pore space*) yang terdiri dari udara dan air. Volume fase padat menempati lebih kurang 45% bahan mineral tanah dan 5% bahan organik. Pada kandungan air yang optimal untuk pertumbuhan tanaman, maka *percent* ruang pori-pori yang disebutkan atas (50%) biasanya terbagi menjadi 25% dari ruang itu diisi oleh air dan 25% lainnya diisi oleh udara sesuai kondisi iklim suatu

wilayah. Pada kodisi alami oleh keadaan cuaca dan faktor lainnya, akan terjadi perbandingan udara dan air yang selalu berubah-ubah. Bahan penyusun tanah yang berupa bahan-bahan mineral, bahan organik, udara, dan air tersebut saling bercampur dalam tanah yang sukar dipisahkan satu dengan yang lainnya membentuk suatu tubuh tanah alami.



Gambar 1.1. Susunan utama tanah atas dasar volume

Mineral anorganik di dalam tanah yang berasal dari pelapukan batuan induknya merupakan sumber hara potensial yang dapat menyediakan hampir semua unsur, hara kecuali nitrogen. Ukuran mineral-mineral anorganik ini amat bervariasi dari yang berukuran kecil seperti lempung/liat (*clay*), hingga berukuran besar seperti pasir (*sand*). Pada tanah yang telah berkembang lanjut terdapat ukuran partikel yang lebih kecil lagi dikenal sebagai kolloid liat/lempung, ukuran yang demikian kecil hanya dapat dilihat dengan mempergunakan mikroskop elektron. Selanjutnya jenis dan sifat-sifat kolloid liat/lempung tersebut hanya dapat diselidiki dengan sinar-X (*X-Ray Diffraction*) dan metoda lainnya. Mineral-mineral tanah ada yang mudah lapuk, ada pula yang sukar lapuk seperti pasir kwarsa. Bahan

organik baik yang belum atau sudah melapuk merupakan sumber unsur N yang utama di dalam tanah. Hasil pelapukan bahan organik antara lain adalah humus yang bersama-sama dengan koloid liat/lempung merupakan bahan aktif dalam tanah, berfungsi sebagai gudang penyimpanan atau pelepasan unsur hara tanah yang berguna bagi pertumbuhan tanaman.

C. Tanah Sebagai Sumberdaya Alam

Perkembangan kemajuan pertanian dari masa ke masa telah menyebabkan perubahan-perubahan pada cara penggunaan tanah serta intensitasnya. Pada zaman dulu, diwaktu manusia masih belum lagi mengenal bercocok tanam, maka untuk memenuhi kebutuhannya sehari-hari, manusia mengumpulkan makanan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan berburu binatang di hutan-hutan, dan menangkap ikan. Masyarakat di benua Asia bagian barat lebih kurang 10.000 tahun yang lalu, telah mengenal bercocok tanam dan memelihara binatang di tanah-tanah yang subur dikelilingi perbukitan berhutan. Perubahan pola kehidupan dari masyarakat pengumpul makanan menjadi masyarakat penghasil makanan pada mulanya hanya bertujuan untuk memproduksi makanan untuk kebutuhan sendiri. Kira-kira 4.000 tahun sebelum Masehi dimulailah penggunaan jaringan-jaringan irigasi pada dataran banjir (*flood-plain*) di selatan Mesopotamia, demikian subur tanah ini sehingga kota-kota muncul di sekitarnya.

Pada daerah tropik dewasa ini masih banyak dijumpai petani-petani yang masih bertani dengan cara tradisional dengan sistem berpindah-pindah (*shifting cultivation*). Teknik bercocok tanam yang baik masih belum diterapkan, diperkirakan seorang petani memerlukan areal yang luas

untuk dapat memenuhi kebutuhannya. Pada sistem ini setelah hutan ditebang lantas dilakukan pembakaran dan seterusnya ditanami untuk jangka waktu yang pendek dan setelah panen tanah ini ditinggalkan dan dicari areal-areal baru yang masih subur.

Tanah yang ditinggalkan ini akan diusahakan lagi setelah periode waktu 10 hingga 20 tahun lagi. Penerapan teknologi maju, seperti pemupukan, pemberantasan hama penyakit, penggunaan irigasi dan pengolahan tanah yang baik belum lagi dikenal. Dewasa ini dibanyak negara yang telah mengenal industri, maka penerapan teknologi maju dibidang pertanian telah diterapkan dalam rangka peningkatan hasil pertaniannya. Penerapan inovasi-inovasi baru terus dilakukan untuk menggantikan cara-cara lama yang kurang menguntungkan. Para petani dewasa ini sudah banyak yang mengetahui untuk memilih tanaman apa yang cocok untuk suatu tanah serta iklim yang serasi dalam kehidupan tanaman itu.

Demikian pula petani maju telah mengenal pupuk, bahwa tanah yang secara terus-menerus ditanami tanpa diimbangi dengan pemupukan atau penambahan hara kedalam tanah akan mengakibatkan kemerosotan kesuburan tanahnya, sekaligus menurunkan produksi. Di Florida, Amerika Serikat misalnya tanaman *Citrus* ditanam pada tanah-tanah berpasir yang tidak subur secara alami, namun dengan introduksi teknologi maju dalam pengelolaannya, akhirnya tanaman citrus dapat tumbuh dengan subur dan berproduksi tinggi. Sedangkan tanah-tanah organik untuk daerah ini digunakan untuk menanam sayur-sayuran. Penggunaan rumah kaca dalam memproduksi kebutuhan manusia akan makanan telah pula berhasil di beberapa negara yang beriklim dingin.

Dengan demikian manusia telah berhasil merubah sifat-sifat tanah sesuai dengan kehendaknya dalam rangka menghasilkan kebutuhan hidupnya seperti makanan, obat-obatan dan sandang. Tanah sebagai sumber daya alam telah dimanfaatkan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan manusia. Penekanan yang diberikan Ilmu Tanah Modern pada hakekatnya adalah bagaimana usaha-usaha itu dijalankan agar sifat-sifat tanah itu dapat dirobah atau diatur, sehingga serasi untuk pertumbuhan dan produksi tanaman. Pertanyaan yang selalu timbul adalah "berapa banyakkah masukan (input) mesti digunakan pada tanah di suatu wilayah tertentu untuk mampu memproduksikan hasil pertanian yang besar keuntungannya?"

Banyak bukti dilaporkan, bahwa dengan penerapan teknologi masa kini itu, jatah makanan seseorang itu dapat dihasilkan oleh suatu areal tanah yang justru lebih kecil luasnya ketimbang luas rumah plus pekarangan. Namun, suatu hal yang penting dicatat, ialah tidak sedikit orang-orang mulai cemas akan pengaruh teknologi maju itu terhadap merosotnya kualitas lingkungan, sehingga terjadi fenomena degradasi lahan pertanian dan peristiwa kebencanaan.

D. Sejarah Perkembangan Ilmu Tanah

Sejarah dimulainya perkembangan ilmu tanah masih belum diketahui dengan jelas. Ahli sejarah bahasa Yunani Xenophon (234 - 149 B.C.) dianggap merupakan orang yang pertama kali melaporkan hasil catatannya tentang pengaruh pemberanaman sisa-sisa tanaman kacang-kacangan kedalam tanah. Ia melaporkan bahwa "... jika rumput-rumput (yang terdiri dari jenis kacangan) itu dibenamkan ke dalam tanah,

maka mereka akan menyuburkan tanah, sama seperti pemakaian kotoran binatang juga".

Cato (234 - 149 B.C.) menulis dalam buku penuntun praktek pentingnya sistem penggiliran tanaman, penanaman *Leguminosa* untuk perbaikan kesuburan tanah, penggunaan pupuk kandang dalam pertanian. Cato pulalah orang yang dianggap pertama kali mengklasifikasikan lahan menurut tanaman yang cocok untuk suatu tanaman. Klasifikasi lahan yang dilaporkannya, antara lain lahan untuk: (1) tanaman anggur, (2) kebun (*Land for garden*), (3) tanaman *Willow*, (4) tanaman *Olive*, (5) tanaman *Meadow*, (6) tanaman jagung, (7) tanaman-pinus, (8) tanaman *small trees*, dan (9) tanaman oak.

Daya guna *turnip* untuk peningkatan produktifitas tanah telah dilaporkan oleh *Columella* lebih kurang Tahun 45. *Columella* memberikan pupuk kandang yang sedang sesuai banyaknya kepada tanaman *turnip*, seterusnya sisa-sisa tanaman *turnip* dibenam ke dalam tanah ketika dilakukan pengolahan tanah, setelah itu baru ditanam jagung. *Columella* pulalah yang pertama kali melaporkan pentingnya drainase tanah, penggunaan abu tanaman, peranan pupuk hijau *clover* dan *lucerne* dalam peningkatan produktifitas tanaman.

Sejarah seterusnya mencatat, bahwa setelah bangsa Romawi hampir semua peneliti pertanian ditangkap dan dipenjarakan. Aktivitas penelitian dimulai kembali menjelang penutupan abad ke 16, seperti sebuah percobaan klassik telah dijalankan oleh Van Helmont (1577 - 1644) di negeri Belanda. Beliau menanam *Willow* seberat 5 pound ke dalam suatu tanah seberat 200 pound (atas dasar berat kering oven). Tanaman ini hanya diberi air saja selama 5 tahun. Menjelang akhir percobaan beliau menimbang contoh tanah dan ternyata kehilangan sebesar 2 ons saja, akan tetapi berat pohon *Willow* sendiri adalah 169 pound - 3 ons. Van Helmont

berpikir, kalau selama ini beliau hanya memberikan air melulu kepada tanaman *Willow*, tentulah pertambahan berat pohon *Willow* itu disebabkan oleh air.

Mestipun percobaan Van Helmont saat itu terpandang maju, pendapatnya itu akhirnya dibuktikan salah, dapat diterangkan dalam dua hal berikut.

- (1) Kehilangan berat tanah sebanyak 2 ons yang diabaikan oleh Van Helmont, sebenarnya terdiri dari kalsium, kalium, posfor, dan lain-lain yang diserap oleh akar willow. Jika Van Helmont membakar seluruh *Willow* pada akhir percobaan, maka ia akan memperoleh di dalam abu unsur-unsur hara yang disebutkan tadi.
- (2) Pohon *Willow* terdiri atas karbon yang berasal dari karbon dioksida dan dengan demikian pola oksigen yang berasal dari atmosfir. Van Helmont pada saat itu belum mengetahui bahwa tanaman mensintesakan persenyawaan-persenyaawan organik dalam daun yang berasal dari karbon dioksida.

Dalam tahun 1931 Jethro Tull dari Oxford - Inggris, menyimpulkan bahwa air, udara, nitrat dan sifat-sifat tanah semuanya menentukan pertumbuhan tanaman. Justus Von Liebig, seorang ahli kimia berbangsa Jerman (1803 - 1873) percaya bahwa dengan menganalisa bagian-bagian tanaman ia dapat memformulasikan unsur-unsur hara didalam pupuk yang dapat ditambahkan ke dalam tanah pada periode tanam berikutnya. Ia juga mengembangkan "Hukum Minimum" (*Law of the Minimum*), yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman itu dibatasi oleh unsur hara essensial yang berada pada tingkat konsentrasi terendah. Dapat dihasilkan oleh suatu areal tanah yang justru lebih kecil luasnya ketimbang luas rumah plus pekarangan. Namun, suatu hal yang penting

dicatat, ialah tidak sedikit orang-orang mulai cemas akan pengaruh teknologi maju itu terhadap merosotnya kualitas lingkungan.

E. Ringkasan

Telah dibahas dalam bab ini hal-hal yang menyangkut pengertian tanah, susunan utamanya, tanah sebagai sumber alam dan sedikit terkait sejarah perkembangan Ilmu Tanah. Tanah didefinisikan sebagai tubuh alam yang memiliki sistem tiga fase yang mengandung air, udara, bahan-bahan mineral dan bahan organik berserta jasad-jasad hidup, yang karena pengaruh berbagai faktor lingkungan terhadap permukaan bumi dalam kurun waktu membentuk berbagai hasil perubahan yang memiliki ciri-ciri yang khas, sehingga berperan sebagai tempat tumbuh bermacam-macam tanaman.

Tanah tersusun dari air, udara dan bagian padat yang terdiri dari bahan-bahan mineral dan organik yang berperanan dalam pertumbuhan tanaman. Dalam kondisi alam, perbandingan udara dan air selalu berubah-ubah, tergantung pada iklim dan faktor lainnya. Tanah merupakan sumberdaya alam yang dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia. Tanah dapat digunakan untuk medium tumbuh tanam-tanaman yang mampu menghasilkan makanan, sandang, obat-obatan serta keperluan lainnya. Hewan juga tergantung hidupnya pada tanaman yang tumbuh pada tanah dan dapat memproduksi susu daging dan pakaian untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dalam mempelajari sejarah perkembangan Ilmu Tanah, perlu dicatat nama-nama seperti Cato, van Helmont, Tull, Liebig, Dokuchaev dan Willny.

F. Daftar Bacaan

Foth, H.D dan L.M.Turk, 1972, *Fundamentals of Soil Science*, John Wiley & Sonns, Inc.

Giacomo Certini & Riccardo Scalenghe, 2006, *Soil: Basic Concepts and Future Challenges*, New York: Cambridge University Press.

Nico Van Breemen & Peter Buurno, 2006, *Soil Formation*, New York: Kluwer Academic Publishers.

Randall Schaetzl and Sharon Anderson, 2016, *Soil: Genesis and Geomorphology*, New York: Cambridge.

G. Contoh Latihan

1. Sebutkan batasan tanah menurut Joffe dan Marbut!
2. Apakah ada hubungan antara tanah dengan standard kehidupan manusia? jelaskan hubungan itu jika ada.
3. Uraikan susunan utama tanah. Apakah sifat-sifat tanah itu tidak berubah, jika perbandingan persentase air dan udara berubah?
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan "tanah sebagai sumber daya alam"?
5. Kenapa Justus Von Liebig termasuk orang yang sering disebut-sebut di dalam membicarakan sejarah Ilmu Tanah ?

PERTEMUAN MINGGU KE-2

PEMBENTUKAN TANAH

Dialah yang meniupkan angin (sebagai) pembawa kabar gembira dekat sebelum kedatangan rahmat-nya (hujan); dan Kami turunkan dari langit air yang amat bersih, agar Kami menghidupkan dengan air itu negeri (tanah) yang mati, dan agar Kami memberi minum dengan air itu sebagian besar dari makhluk Kami, binatang-binatang ternak dan manusia yang banyak (QS Al Furqaan: 48-49).

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat memahami proses pembentukan tanah, sifat batuan induk tanah, proses pelapukan dan perkembangan tanah, dan sebaran tanah di Indonesia.

Tujuan Khusus Pembelajaran

Setelah mahasiswa mempelajari bab ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- 1) menjelaskan berbagai sifat batuan induk tanah,
- 2) menjelaskan proses pelapukan dan perkembangan tanah,
- 3) memahami dan menjelaskan sebaran tanah di Indonesia berdasarkan bahan induk tanah.

A. Asal Bahan Tanah

Tanah yang terbentuk di permukaan bumi secara langsung ataupun tidak, berkembang dari bahan mineral batu-batuhan. Melalui proses pelapukan, baik secara fisis maupun kimia dibantu oleh pengaruh atmosfer, maka batu-batuhan terdisintegrasi (pecah-pecah) menghasilkan bahan

induk lepas, dan selanjutnya di bawah pengaruh proses-proses pedogenik berkembang menjadi tanah. Dari batu-batuan dan mineral-mineral berubah kedalam bentuk bahan induk tanah disebut proses pelapukan, selanjutnya dari bahan induk hingga terbentuknya profil tanah disebut proses genesa tanah.

Proses pembentukan tanah dibawah kondisi tropis dimana suhu tinggi dan curah hujan besar, berlangsung cepat dan berbeda dengan pembentukan tanah di daerah temperate. Studi batu-batuan dan mineral dalam hubungannya dengan komposisi dan pelapukannya merupakan aspek studi yang menarik untuk kondisi di wilayah tropis, seperti di Indonesia. Fase padat tanah merupakan sumber hara potensial untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan unsur-unsur dalam lithosfer yang penting dalam pertanian dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kadar Beberapa Unsur dalam Litosfer

No.Atom	Unsur	Jumlah ppm	No.Atom	Unsur	Jumlah ppm
1	H	-	23	V	150
5	B	10	25	Mn	1.000
6	C	320	26	Fe	50.000
7	N	-	27	Co	40
8	O	446.000	29	Cu	70
11	Na	28.000	30	Zn	80
12	Mg	20.900	33	As	5
13	Al	81.300	34	Se	0,09
14	Si	277.200	35	Br	2,5
15	P	1.200	37	Rb	280
16	S	520	38	Sn	150
17	Cl	480	42	Mo	2,3
19	Cl	480	42	Mo	2,3

No.Atom	Unsur	Jumlah ppm	No.Atom	Unsur	Jumlah ppm
20	Ca	25.900	53	J	0,3
21	Sc	5	56	Be	430

Konsentrasi unsur-unsur itu menunjukkan cadangan maksimum dari unsur hara untuk tanaman, diluar yang bersumber dari atmosfer, dan hidrosfer yakni unsur-unsur: H, O, N dan C, dan dalam jumlah terbatas unsur S. Unsur-unsur itu terdapat dalam bentuk-bentuk senyawa mineral primer, mineral sekunder, oksida-oksida bebas, garam-garam serta bahan-bahan organik. Oksida-oksida itu dapat berupa mineral primer ataupun sekunder, sedang karbonat selalu dijumpai dalam bentuk sekunder. Mineral primer yaitu mineral yang terdapat dalam magma yang mempunyai susunan kimia asli (belum berubah). Mineral primer itu biasanya dijumpai dalam fraksi tanah kasar lebih besar dari 2 mikron. Mineral sekunder mempunyai susunan kimia yang sudah mengalami perubahan akibat pengaruh lingkungan luar terhadap mineral primer.

Susunan kimia dari beberapa mineral primer utama tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2. Berdasarkan tabel ini jelas terlihat bahwa unsur-unsur hara Ca, Mg, K dan Fe banyak terdapat di dalam mineral primer, tetapi P ditemukan dalam jumlah yang sedikit. Sementara itu yang menarik adalah tidak ditemukannya unsur-unsur N dan S.

Tabel 2.2
Susunan Kimia dari Berbagai Mineral Primer Utama Tanah

Mineral	SiO ₄	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Kwarsa	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ortoklas	62-66	18-20	-	-	-	0-3	-	9-15	9-4	-
Albit	61-70	19-26	-	-	-	0-9	-	0-4	6-11	-
Anortit	40-45	28-37	-	-	-	10-20	-	0-2	0-5	-
Muskovit	44-46	34-37	0-2	0-4	-	-	0-3	8-11	0-5	-
Biotit	33-36	13-30	3-17	5-17	-	0-2	2-20	6-9	-	-
Norblende	38-59	0-19	0-6	0-22	-	0-15	2-26	0-2	1-3	-
Augit	45-55	3-10	0-6	1-14	-	16-26	6-20	-	-	-
Olivin	35-43	-	0-3	5-34	+	-	27-51	-	-	-
Epidot	35-40	30-37	0-30	-	-	20-25	-	-	-	-
Apatit	-	-	-	-	-	54-55	-	-	-	-
Magnetit	-	-	69	31	-	-	-	-	-	40-42
Tourmalin	35-40	30-37	0-10	0-10	-	0-6	0-12	-	0-6	-
Rutil	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
Limonit	-	-	0-10	50	-	-	-	-	-	-

1. Golongan Batuan dan Contoh

Mineral adalah zat yang terbentuk di alam dengan sifat-sifat kimia, fisika yang berbeda-beda, seperti kwarsa (Si O₂), Orthoclase (KA₁Si₃O₈), dan Calcite (CaCO₃). Batu-batuan adalah campuran mineral-mineral, sehingga sitat-sifat kimia dan fisika mineral-mineral di dalam batu-batuan bervariasi. Dengan dasar genesa dan struktur, batu-batuan itu umumnya dikelompokkan ke dalam tiga klas, yaitu beku, endapan dan metamorf.

a. Batuan beku (*igneous rock*)

Batu beku (*igneous rock*) dibentuk oleh proses solidifikasi magma cair yang berasal dari dalam bumi. Mereka disebut *plutonic*, jika magma itu membeku jauh di bawah tanah; *intrusif*, jika solidifikasi berlangsung sedang; *extrusif*, jika solidifikasi pada permukaan bumi. Contoh : granit, syenit, basalt, andesit, diabase dan gabro.

b. Batu endapan

Batu endapan terbentuk dari konsolidasi endapan-endapan yang berakumulasi melalui kerja angin atau air pada permukaan bumi. Jika batu-batuan itu terbentuk dari sedimen mekanis disebut clastic, yang lain terbentuk melalui reaksi kimia, terbentuk endapan dari larutan. Contoh yang penting adalah batuan kapur, batuan pasir, batuan debu, shale, conglomerate dan batuan pasir berkapur.

c. Batu metamorf

Batuan metamorf, dihasilkan dari transformasi batuan beku atau endapan dibawah pengaruh suhu, tekanan, cairan ataupun gas yang aktif. Contoh yang penting adalah gneiss dari granit, slate dari shale, marmer dari batuan kapur, schiat dari shale, dan quartzite dari batuan pasir.

Batu-batuan dapat diklasifikasikan juga atas dasar kandungan silika, seperti berikut.

- 1) Batu-batuan asam, mengandung 65 - 75% silika, misalnya: granit, rhyolit, batuan pasir dan gneiss,
- 2) Batu-batuan intermedier, dengan 55 - 65% silika misalnya: syenit, diorit dan andesit.
- 3) Batu-batuan basa, memiliki 40 - 45% silika; misalnya: gabro, basalt, batuan kapur dan diabase. Batu-batuan ini kaya Ca, Mg, Na dan Fe.

Batu-batuan yang mempunyai komposisi mineral yang kompleks melapuk lebih mudah, sedangkan batu-batuan asam melapuk lambat dibandingkan dengan batu-batuan basa. Daikhura menyusun batu-batuan sehubungan dengan kemudahan melapuk: basalt, gneiss, granit, hornblende andosit. Umumnya batu-batuan beku asam menghasilkan tanah dengan kondisi fisik yang bagus, sedangkan batu-batuan basa menghasilkan tanah dengan kondisi kimiawi

yang baik. Contohnya tanah basalt adalah kaya akan P, Ca dibandingkan dengan tanah-tanah dari granit.

Batu-batuan endapan umumnya tidak melapuk secepat batuan beku maupun metamorf. Batuan pasir lebih resisten dibandingkan dengan batuan kapur. Tanah-tanah yang berkembang dari batuan induk basa melapuk lebih cepat. Kebanyakan dari batu-batuan yang disebutkan di atas umumnya terdapat di daerah Asia tropis. Batuan basalt banyak dijumpai di Asia tropic, debu vulkan muda banyak dijumpai di Indonesia.

1. Proses Pelapukan dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya

Pelapukan adalah proses alami dalam mana berlangsung pemecahan dan transformasi batu-batuan dan mineral-mineral menjadi bahan-bahan lepas (disebut *regolith*) yang terletak di permukaan bumi dengan kedalaman yang berbeda-beda. Proses pelapukan dicirikan oleh dua tipe, yakni fisika dan kimia. Proses-proses ini sudah ada sebelum jasad hidup muncul di permukaan bumi. Jasad hidup mempercepat proses pelapukan secara kimia dengan memproduksikan CO₂ sebagai hasil pernafasan, dan oleh sekresi asam-asam berasal dari akar. Tanaman tinggi membantu mengambil hara-hara jauh dari dalam tanah, kemudian mengembalikannya ke permukaan tanah melalui daun-daun. Bermacam-macam tipe mikro-organisma misalnya jasad *autotroph* menyebabkan dekomposisi batu-batuan dan mineral.

Proses pelapukan sangat dipengaruhi iklim dan tipe batu-batuan. Joffe (dalam Tamhane dan Donamue, 1967) mengemukakan bahwa pada daerah tropis basah, pelapukan fisis merupakan sub-ordinat pelapukan secara kimia.

Intensitas pelapukan biasanya turun jika salah satu faktor kurang aktif.

a) Pelapukan secara fisis

Pelapukan secara fisis adalah proses mekanik, dimana batu-batuan yang massif (tidak lepas) pecah menjadi fragmen-fragmen berukuran kecil, tanpa adanya perubahan sifat kimia fragmen. Di bawah kondisi suhu yang rendah atau tinggi, seperti di kutub atau padang pasir, pelapukan secara kimia ini sangat dominan. Suhu dan air adalah dua *agent* yang penting dalam pembekuan fisik. Batu-batuan berisi mineral yang beraneka ragam dan memiliki sifat-sifat yang berbeda ditinjau dari sifat fisika dan kimianya. Jika suhu berubah dengan tiba-tiba, maka mineral-mineral dalam batu-batu berkontraksi dan berekspansi, sehingga memungkinkan pecahnya batu-batuan.

Air menyebabkan pelapukan fisis pada batuan dengan beberapa cara. Misalnya, jika air memasuki celah-celah batu dan membeku didalamnya, volume bertambah yang memberikan tekanan kepada batu sehingga pecah. Hal ini merupakan *hydrothermal-process* dalam mana pembekuan proses pencairan silih berganti dan sering terjadi di daerah beriklim dingin. Butir-butir hujan ataupun hujan es dapat merusak permukaan batu-batuan. Air yang bergerak di permukaan tanah juga mengangkat partikel-partikel tanah, demikian pula bagian-bagian batu-batuan yang sudah lapuk dikikis dan diangkat ke bagian bawah. Secara fisis akar tumbuhan dapat pula memecah gerakan binatang dan aktifitas manusia.

b) Pelapukan Secara Kimia

Disintegrated secara fisis dibarengi dengan *dekomposisi* kimia akan menyebabkan timbulnya perubahan dalam ciri dan komposisi batuan dan mineral. Pelapukan kimia biasanya terjadi pada permukaan batuan, yang mengakibatkan hilangnya sebagian mineral pada permukaannya dan terjadi terbentuknya produk sekunder. Hal ini disebut transformasi secara kimia.

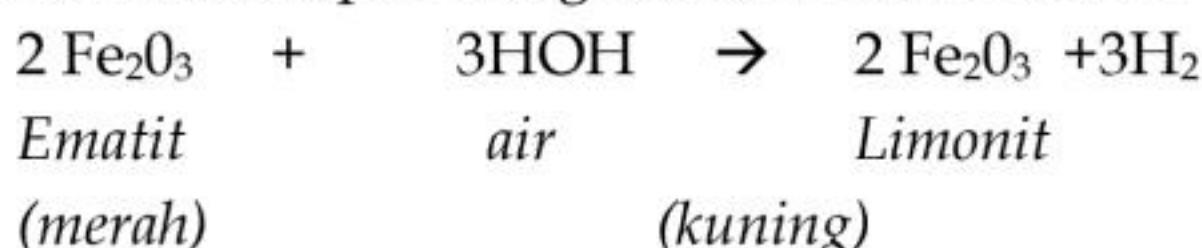
Proses yang terjadi oleh pelapukan secara kimia adalah sebagai berikut.

1) Larutan

Air merupakan pelarut alam. Daya melarutkan akan bertambah besar jika kedalamnya dilarutkan CO₂, asam-asam organik maupun organik. Kebanyakan mineral dipengaruhi oleh pelarut air ini, mineral yang dapat larut seperti halit (NaCl) dapat larut

2) Hidrasi

Hidrasi berarti kombinasi kimia dari molekul-molekul air dengan mineral tertentu. Mineral-mineral pembentuk tanah yang terdapat dalam batuan tidak mengandung air. Kebanyakan mineral, terutama felspar, amphibol, mica dan pyroxens akan dapat mengikat molekul. Contoh:

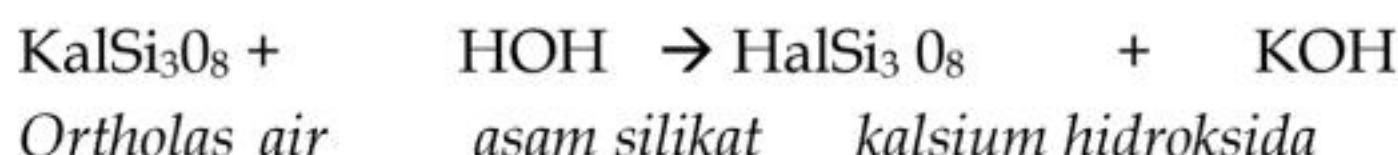


Hidrasi biasanya selalu diikuti dengan peningkatan volume. Mineral yang berhidrasi biasanya lunak dan mudah lapuk.

3) Hidrolisis

Hidrolisis merupakan proses yang terpenting dalam pelapukan kimia. Hidrolisis tergantung dari dissosiasi parsial dari air menjadi ion H dan ion OH. Air murni

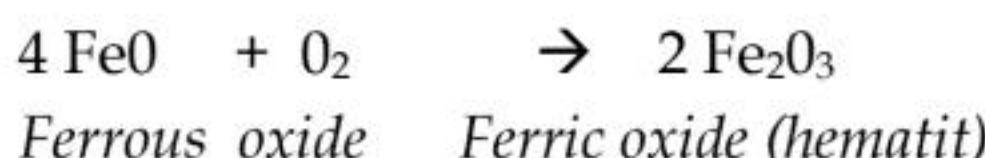
memiliki dissosiasi yang sangat rendah, tetapi dengan hadirnya C0₂ dan asam-asam organik, maka daya hidrolisa, air bertambah. Hidrolisa merupakan proses dekomposisi dalam rangka membentuk ikatan hidroksida atau lainnya. Air bertindak sebagai asam lemah pada mineral silikat:



Hasil hidrolisa sebagainnya atau seluruhnya biasanya tercuci oleh air perkolasasi, tergantung pada kondisi iklim. Hidrolisis dianggap awal pembentukan liat.

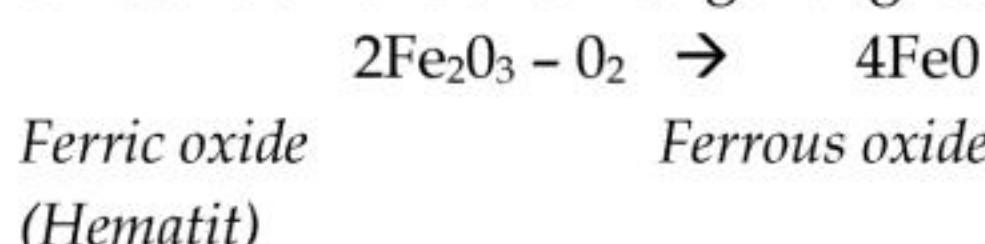
4) Oksidasi

Oksidasi adalah penambahan oksigen kedalam mineral. Contoh:



5) Reduksi

Reduksi berarti pemindahan oksigen. Terjadi pada Redoks Potensial rendah air tergenang. Contoh:



B. Penggolongan Bahan Induk

Bahan induk dari mana tanah itu berasal dan berkembang dapat digolongkan kedalam bahan induk residual dan angkutan. Bahan induk residual adalah bahan induk yang asalnya bukan dari tempat lain, tetapi tetap berada di tempat dan tidak berpindah, seterusnya mengalami

perkembangan membentuk tanah. Bahan induk angkutan adalah fragmen batu-batuan dan mineral yang terangkat keluar dari tempat asalnya oleh air, angin, es ataupun gaya grafiasi. Selain dari pada itu ada pula yang disebut *cumulose* yakni bahan gambut atau *peat* atau *muck* yang telah terbentuk di suatu tempat yang berasal dari sisa-sisa tanaman dan sering berada dalam genangan air. Di bawah ini dikemukakan outline bahan induk yang penting, sebagai berikut.

- 1) Bahan Induk Residual (*Sedentary*)
 - a. Igneous (beku) - granit, basalt dan andasit
 - b. Sediment (endapan) - batu kapur, batu pasir dan shale
 - c. Metamorphic (metamorf) - marmer, gneis dan quartzite
- 2) Bahan induk angkutan (transportasi material)
 - a. Air
 - (1) alluvial - air mengalir
 - (2) lacustrine - danau
 - (3) marine - lautan
 - b. Angin
 - (1) loess
 - (2) aeolian
 - c. Es
 - (1) *moraine*
 - (2) *till plain*
 - (3) *outwash plain*
 - d. gaya grafiasi - *colluvial*
- 3) Bahan *cumulose* (organik) - gambut (*peat*) dan *muck*.

Bahan Induk Residual

Jika tanah-tanah terbentuk dan berkembang ditempat (*in place*) dari batu-batuan beku, endapan atau metamorf yang terletak di bawahnya, maka tanah-tanah itu dikatakan dari bahan residual. Kebanyakan tanah-tanah lithosol, tanah-tanah kuning yang berasal dari kompleks granit, gneiss dan schist di Orissa (India), tanah Andosol di Indonesia dan Philipina, dan tanah Grumosol di Jawa berasal dari bahan induk residual ini).

Bahan Induk Angkutan

Telah dikemukakan terdahulu bahwa bahan induk angkutan termasuk di dalamnya bahan induk angkutan oleh air, angin, es dan gravitasi. Yang terpenting dari keempat bahan angkutan ini adalah bahan angkutan oleh air, meskipun pada tempat-tempat tertentu faktor lain yang menjadi dominan.

a) Bahan induk angkutan oleh air

Bahan-bahan yang diangkut oleh air digolongkan tedalam alluvial, *lacustrine* atau marine. Bahan-bahan alluvial adalah bahan sedimen yang diendapkan oleh air sengalir, misalnya air sungai yang besar ataupun kecil. Jika bahan itu diendapkan di sepanjang pinggir sungai dan secara periodik selalu dilanda banjir, maka hasil endapan itu dinamakan dataran banjir (*Flood plain*).

Endapan-endapan tua yang telah dibentuk lama oleh ngai, tetapi tidak lagi kena pengaruh banjir itu dinamakan *terrace*. Jika kebanyakan sedimen halus yang dibawa aliran itu diendapkan di muara sungai, maka endapan itu dinamakan *delta*. Tanah alluvial dan delta banyak dijumpai di sekitar ataupun di muara sungai-sungai besar di Sumatra dan Kalimantan.

Bahan-bahan *lacustrine* diendapkan didalam tanau-danau. Adanya kejadian depresi dan selanjutnya akibat tepresi ini akan terjadi pengisian oleh air, yang lambat laun akan diisi pula oleh endapan-mineral. Beberapa bahan *lacustrine* yang terdapat di daerah tropis Asia termasuk danau-danau di Sumatera dan Kamboja. Bahan-bahan marin terbentuk akibat bahan-bahan yang diangkut sungai-sungai besar dan diendapkan di muaranya. Semakin lama endapan ini semakin tebal dan muncul tepermukaan air dan terjadi pembentukan tanah setelah endapan itu mengalami pelapukan.

b) Bahan induk angkutan oleh angin

Bukit-bukit pasir dan timbunan debu akibat deposit *Aeolian*. Peristiwa ini banyak terjadi di padang-padang pasir atau daerah tandus lainnya, seperti dipadang pasir Thar di perbatasan India dan Pakistan. Bahan-bahan tanah yang diendapkan menyusul periode akhir glacial disebut loes. Endapan yang tebal dijumpai di Pathar Plateu-Pakistan.

c) Bahan induk angkutan oleh es

Di daerah-daerah kutub, secara kontinu salju itu berakumulasi, tekanan beratnya merubah salju-salju menjadi es. Setelah berabad-abad berlangsungnya akumulasi ini, maka oleh tekanan yang cukup besar, bukit-bukit es ini dapat bergerak keluar dan posisinya dan sambil mengikis dan mengangkut sejumlah batu-batuan, pasir debu dan liat dalam jumlah yang cukup besar sehingga bicampur dengan es. Pada saat temperatur cukup tinggi es mencair, partikel-partikel tanah berukuran kecil ikut terangkut bersama air, sedangkan batu-batuan tinggal ditempai.

d) Bahan induk angkutan oleh grafitasi

Hasil runtuhan tanah di kaki-kaki bukit yang miring runtuh akibat bekerjanya gaya grafitasi, dinamakan bahan *colluvial*. Bahan *colluvial* ini umumnya terdapat pada dasar lereng-lereng bukit dan gunung yang curam. Bahan-bahan *cumulose* adalah bahan organik yang menumpuk pada suatu-derah rendah yang tergenang air selama berabad-abad membentuk tanah organosol. Berasal dari bahan organik berasal dari tanaman mati, istilah *peat* digunakan untuk gambut yang sisa-sisa tanamannya masih dapat dikenal, sedangkan jika gambut sebagian besar telah lapuk dinamakan *much*. Tanah organosol merupakan tanah yang luas di Indonesia.

2. Penyebaran Tanah Utama dan Bahan Induk di Indonesia

Dudal dan Supraptoharjo (1957) melaporkan sebelas tanah (*great soil group*) yang penting di Indonesia. Ke sebelas jenis tanah itu serta lokasinya di Indonesia diringkaskan sebagai berikut.

- | | | |
|---------------------------------|---|---|
| (1) Tanah gambut
(Organosol) | = | Kalimantan,
Sumatera, dan Papua
Barat |
| (2) Tanah-Tanah Alluvial | = | Hampir disetiap
pulau penting di
Indonesia |
| (3) Regosol | = | Jawa, Sumatera, dan
Halmahera |
| (4) Redzina | = | Maluku |
| (5) Andasol | = | Jawa dan Sulawesi |
| (6) Tanah-tanah Mediteran | = | Jawa dan Sulawesi |
| (7) Latosol | = | Terdapat hampir di
semua pulau utama
kecuali Maluku |

(8) Padsolik Kuning	Merah = Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua Barat dan Halmahera
(9) Padsoik Coklat Kelabu	= Papua Barat, Halmahera, Maluku, Sumatera dan Sulawesi
(10) Podsol	= Kalimantan
(11) Grumosol	= Jawa Tengah

Dari ke sebelas jenis tanah yang disebut di atas tanah podzolik merah kuning merupakan yang terluas penyebarannya, kira-kira 30% (Driesen dan Supraptoharjo, 1974) dari luas daratan Indonesia. Luas penyebaran jenis tanah ini (dari luas masing-masing pulau), Sumatera (43.5%), Kalimantan (29.9%), Sulawesi (10.3%) dan Papua (23.0%). Jenis tanah ini dapat terbentuk dari bahan induk yang berbeda-beda, umumnya berasal dari bahan tertier muda. Tanah ini tercuci sangat kuat, sehingga horizon B berstruktur berat karena mengandung liat yang tinggi dengan struktur *bloky*. Permeabilitas rendah, kandungan bahan organik dan pH serta % jenuh basa adalah rendah. Umumnya baik kondisi fisis maupun kimia perlu perbaikan-perbaikan pengelolaan agar supaya produktifitas dapat ditingkatkan.

Jenis tanah lain yang luas adalah tanah organosol, yang di Indonesia luasnya kira-kira 27 juta ha (Driessen dan Supraptoharjo, 1974). Jenis ini terutama terdapat di Kalimantan, Sumatera dan Papua dan tersebar di sepanjang pantai di Sumatera bagian timur dan penelitian yang lebih luas, karena usaha mereklamasi tanah ini tidaklah mudah, banyaknya hambatan atau faktor pembatas seperti rendahnya pH, masalah pengaliran air, kualitas gambut serta kedalamannya.

Jenis tanah lain yang berpotensi adalah latosol, alluvial, andosol dan mediteran merah kuning, disamping jenis tanah lainnya yang telah disebutkan terdahulu. Jenis-jenis bahan induk di Indonesia bermacam-macam, antara lain granit, basalt, andesit, batu kapur, gneiss dan alluvial. Di perkebunan-perkebunan besar di Sumatera Utara untuk tanaman karet dan kelapa sawit bahan induk *tuff liparit*, *tuff dacit* dan *tuff andesit* tua (klasifikasi Bahan Induk untuk tanaman perkebunan di Deli oleh Druif dikuti dari Mohr, 1972) banyak tersebar. Podsolik merah kuning mempunyai bahan induk yang bermacam-macam, antara lain granit, gneiss, basalt dan lain-lain. Batuan kapur dikenal merupakan bahan induk tanah redzina dan meditarian merah kuning. Sebagian besar bahan induk tanah-tanah di Indonesia berasal dari bahan induk residual yang kebanyakan terdiri dari batuan beku dan endapan, disamping bahan alluvial dan gambut.

C. Faktor-Faktor Pembentukan Tanah

Studi perihal tanah di setiap lokasi di permukaan bumi memperlihatkan lima faktor utama yang aktif mengendalikan pembentukan tanah. Kelima faktor itu adalah: (1) iklim, (2) jasad hidup, (3) bahan induk, (4) topografi, dan (5) waktu. Kelima faktor ini tidak sama pengaruhnya terhadap pembentukan tanah, meskipun beberapa faktor, diantaranya amat berpengaruh dalam menentukan perkembangan tanah di bawah kondisi tertentu, semua faktor faktor tersebut berhubungan erat satu sama lainnya. Hubungan antara faktor-faktor itu dengan sifat-sifat tanah diekspresikan oleh Jenny menurut persamaan berikut:

$$S = f (cl, b, r, p, t, \dots)$$

Dimana, S = Sifat-sifat tanah, misalnya kandungan liat,
f = Fungsi atau ketergantungan kepada...
cl = *Climate* (iklim)
b = Biosfer (jasad hidup, vegetasi, organisme, manusia)
r = Relief (topografi)
p = *Parent material* (bahan induk)
t = *Time* (waktu)

Jadi, setiap sifat tanah itu merupakan fungsi dari pengaruh kolektif semua faktor-faktor pembentuk tanah. Joffe membagi faktor-faktor pembentuk tanah itu dalam dua kelompok, yaitu :

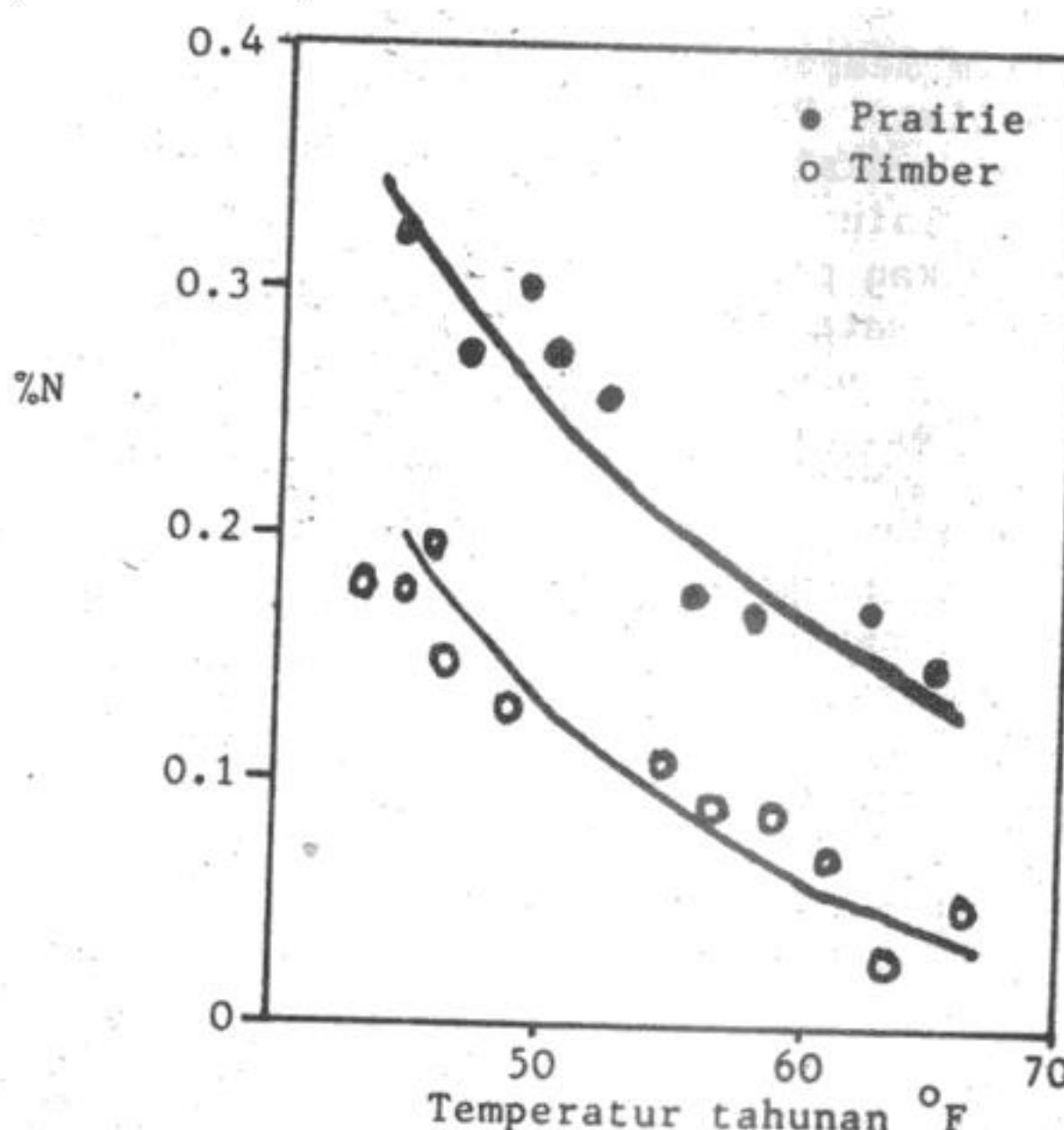
- 1) Faktor-faktor pasif, meliputi sumber massa pembentuk tanah dan kondisi-kondisi yang mempengaruhinya. Kelompok ini termasuk bahan induk, relief dan waktu.
- 2) Faktor-faktor aktif, meliputi agent-agent yang menyediakan energi yang bekerja diatas massa untuk menyelenggarakan proses-proses pembentukan tanah. Kelompok ini termasuk iklim dan jasad hidup.

1. Iklim

Perkembangan profil tanah sangat dipengaruhi iklim, terutama curah hujan dan temperatur. Kedua faktor ini menentukan reaksi-reaksi kimia dan sifat fisis di dalam tanah. Sebagai akibatnya iklim acapkali merupakan faktor yang mendominasi pembentukan tanah. Iklim memiliki hubungan dengan kandungan bahan organik. Seperti kita

ketahui jumlah bahan organik di dalam tanah mewakili keseimbangan yang terjadi antara penambahan bahan itu dengan jumlah yang didekomposisikan. Sehubungan dengan itu, faktor iklim yang mempengaruhi jumlah bahan organik di dalam tanah dan aktifitas jasad hidup akan menentukan jumlah bahan organik yang terakumulasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika temperatur rata-rata tahunan meningkat, sedangkan kelembaban tanah dan lain-lain tetap konstan, maka jumlah bahan-bahan organik di dalam tanah-tanah yang memiliki sifat-sifat yang sama akan menurun dan ditutupi oleh tipe vegetasi yang sama (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Hubungan % N dengan temperatur pada prairie beriklim basah (kurva atas) dan tanah hutan timber basah (kurva bawah) untuk tanah lempung berpasir

Penurunan itu lebih besar pada tanah-tanah dengan tanaman rumput dibandingkan dengan tanah-tanah hutan.

Sebaliknya, peningkatan suplai air dengan temperatur tetap konstan, menunjukkan peningkatann kandungan bahan organik dalam tanah-tanah yang sama sifat-sifatnya dan vegetasi penutupnya. Perubahan lebih jelas kelihatan pada *grassland* (padang rumput), dibandingkan dengan tanah-tanah dengan penutup *timber* (kayu).

Secara tidak langsung curah hujan mempengaruhi reaksi tanah. Curah hujan yang tinggi terutama di daerah tropis dapat mencuci kation-kation basa dari lapisan permukaan tanah (*top soil*) ke lapisan tanah yang lebih dalam, akibatnya *top-soil* lebih banyak didominasi oleh ion-ion Al dan H. Sebagai akibatnya pH tanah akan turun pada *top-soil* sampai mencapai nilai 4.5 atau lebih kecil. Dalam suasana pH demikian masam, dekomposisi mikrobiologis bahan organik tanah akan terbatas. Sisa-sisa tanaman yang ditambahkan kedalam tanah sangat lambat lapuk.

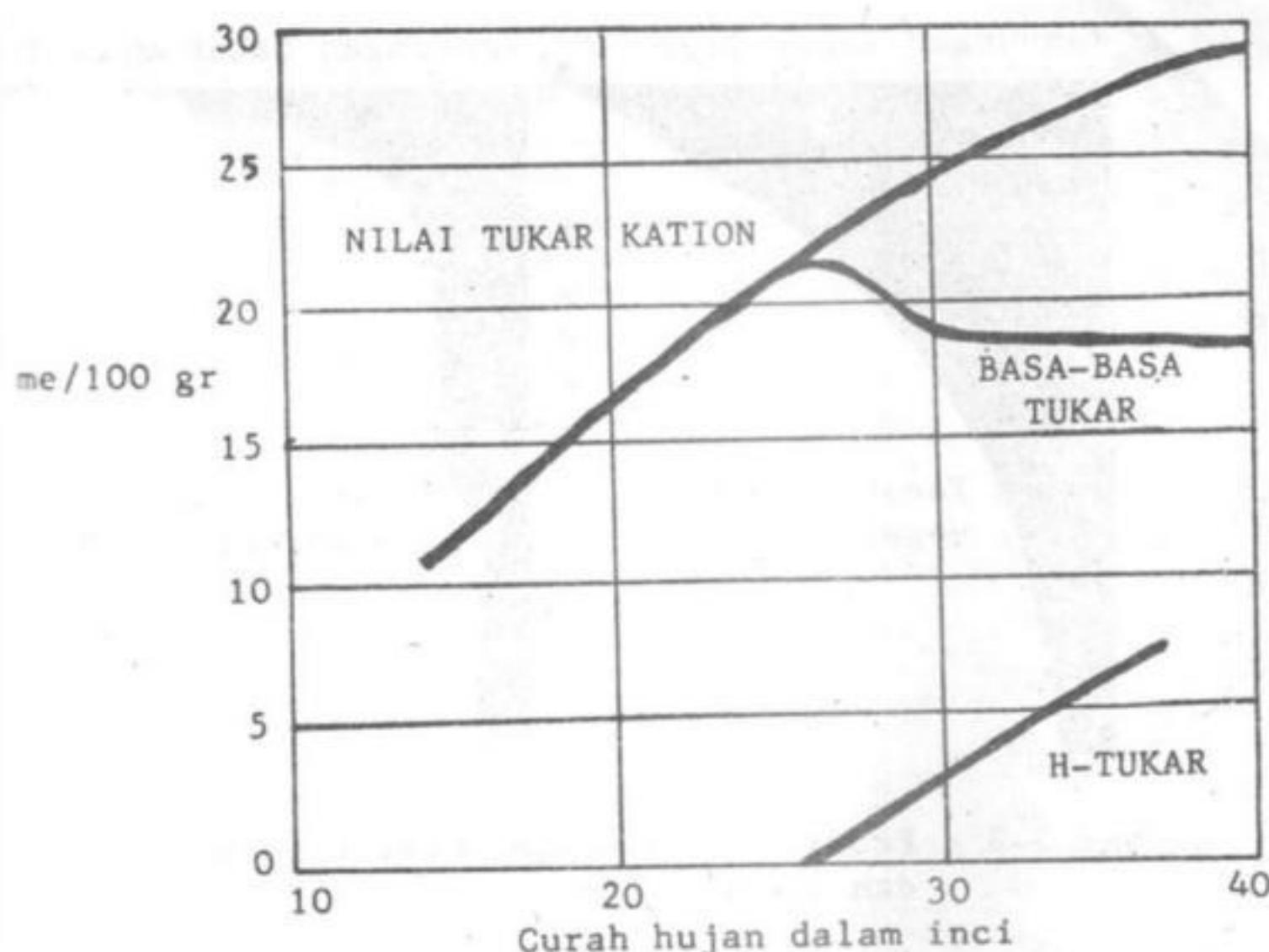
Iklim mempengaruhi pula pelapukan dan proses pembentukan liat. Pelapukan mineral-mineral tanah biasanya melalui reaksi-reaksi kimia maupun fisis. Jika faktor-faktor lain sama, maka peningkatan temperatur akan menyebabkan peningkatan pelapukan dan formasi liat. Temperatur rata-rata yang tinggi dan curah hujan yang banyak cenderung menambah kecepatan pelapukan dan pembentukan liat. Kondisi lingkungan yang mengakibatkan lambatnya pelapukan adalah iklim dingin dan lembab, dingin dan kering serta agak panas (*warm*) tetapi kering.

Iklim berpengaruh pula terhadap sifat-sifat kimia, bahwa peningkatan curah hujan umumnya meningkatkan bahan organik-organik maupun kandungan liat. Oleh karena itu nilai tukar kation secara langsung berhubungan dengan jumlah kedua fraksi ini, maka nilai tukar kation juga akan meningkat. Di daerah-daerah tropis beriklim basah, gerakan-

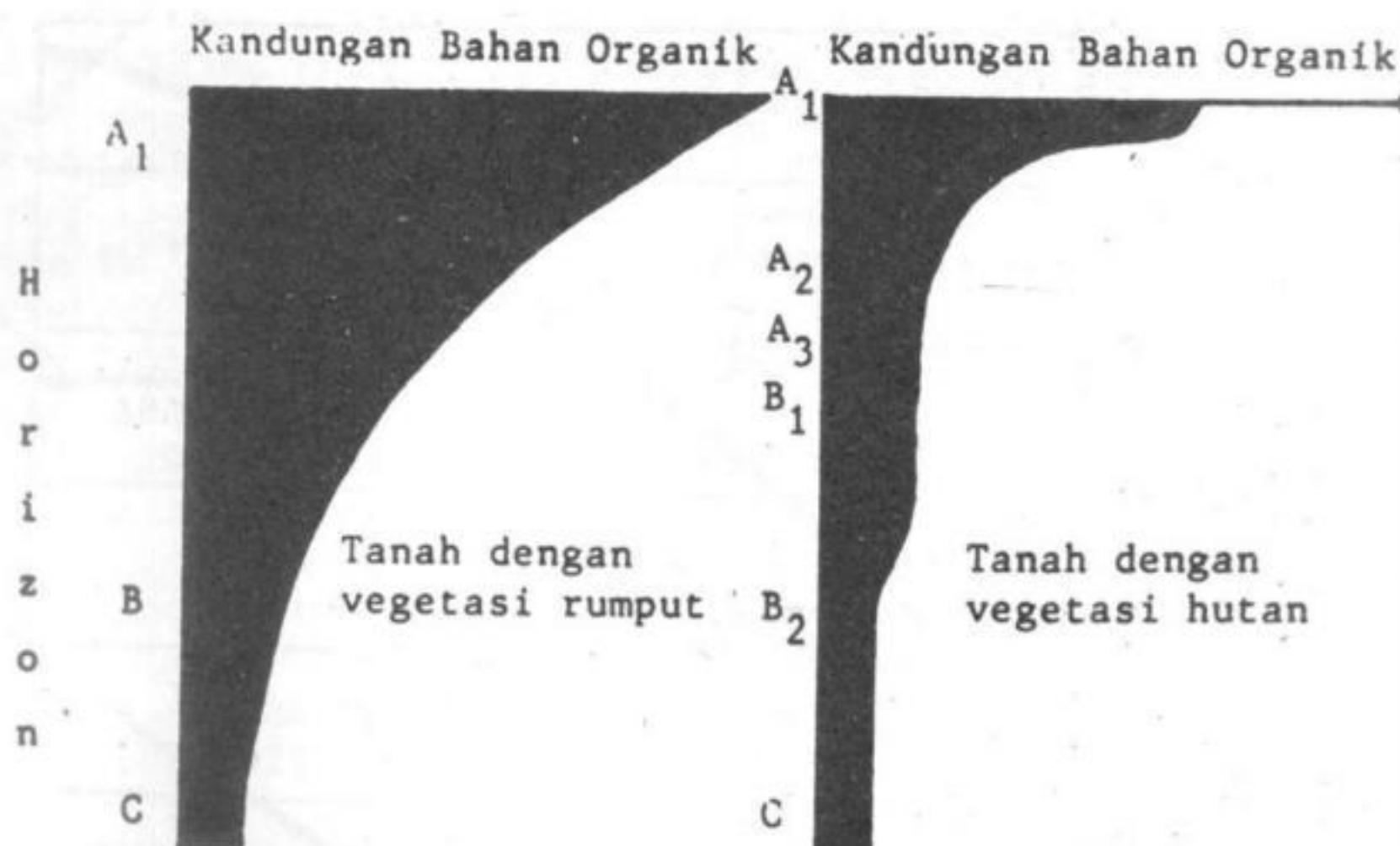
gerakan air ke bawah tanah turut membasuh sejumlah kation yang dapat dipertukarkan. Kation-kation basa ini digantikan oleh H- dan peristiwa ini akan menyebabkan merosotnya persen jenuh basah tanah. Hubungan antara curah hujan tahunan dan NTK, bisa-bisa dapat dipertukarkan dan hidrogen-tukar diperlihatkan pada Gambar 2.2. Iklim mempengaruhi juga tipe-tipe mineral liat, mineral liat koalinit dan oksida-oksida besi dan aluminium merupakan mineral-mineral yang umum terdapat di daerah tropis dan bagian selatan Amerika Serikat. Pada daerah tropis yang basah, pelapukan yang intensif dapat menghilangkan ikatan-ikatan silika yang besar dari *top-soil*, dan akhirnya fraksi liat yang mendominir adalah oksida-oksida besi dan aluminium.

2. Jasad Hidup

Salah satu jasad hidup yang memegang peranan besar dalam pembentukan tanah adalah vegetasi. Berikut ini akan dikemukakan perbedaan tanah yang terbentuk akibat berlainannya jenis vegetasi yang tumbuh. Dalam hal ini akan dibahas pengaruh vegetasi hutan dan vegetasi rumput terhadap pembentukan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di bawah kondisi lingkungan yang berbeda, ternyata profil tanah padang rumput mengandung lebih banyak bahan organik terdistribusi yang lebih *uniform* di dalam tanah (menurut kedalaman), dibandingkan dengan profil tanah hutan seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Hubungan antara curah-hujan tahunan dengan Nilai Tukar Kation, basa - basa tukar dan H - tukar



Gambar 2-3 : Profil tanah dengan vegetasi rumput dan vegetasi hutan.

Jenis vegetasi mempengaruhi pula siklus hara, seperti diketahui akar tanaman meng-absorbsi unsur-unsur hara

dari larutan dan mentransportasikannya ke daun, batang maupun pucuk tanaman. Jika bagian atas (*top*) tanaman mati dan jatuh ke permukaan tanah, maka dekomposisi bahan organik akan membebaskan unsur-unsur itu ke dalam larutan tanah. Kation-kation basa yang dibebaskan akan menghambat turunnya pH tanah, selanjutnya kation-kation ini menggantikan kation-kation basa yang hilang.

Perbedaan yang menyolok terjadi dalam ion-ion dan komposisi kimia dari sisa-sisa tanaman yang berasal dari tanaman yang berbeda-beda. Bahkan di antara species pohon-pohonan sendiri terdapat perbedaan menyolok, sehingga perbedaan-perbedaan ini menimbulkan perkembangan tanah yang berbeda pula. Tanaman yang banyak mengabsorpsi sejumlah besar dari kation-kation alkali akan dapat mengendalikan turunnya pH tanah. Data pada Tabel 2.3 menunjukkan bahwa pohonan berkayu keras (*hardwool*) selalu menjaga penurunan pH dan % jenuh basa, dibandingkan dengan tanaman cemara (*spruce*) jika ditanam pada tanah berbahan induk dan komposisi mineral yang sama.

Tabel 2.3

Pengaruh Species Tanaman Terhadap pH dan % Jenuh Basa

Jenis Tanaman	Horizon	pH	% Jenuh Basa
Spruce	0 ₂	3.45	13
	A ₁	4.60	20
	B ₁	4.75	27
	B ₂	4.95	27
	C ₁	5.05	23
Hardwood	0 ₂	5.56	72
	A ₁	5.06	47
	B ₁	5.24	34
	B ₂	5.24	34
	C ₁	5.32	34

Vegetasi juga mempengaruhi tingkat eluviasi dan pencucian. Dibawah kondisi yang sama, dimana vegetasi hutan dan rumput terletak berdampingan dan memiliki tanah induk serta kemiringan (*slope*) yang berbeda, maka tanah-tanah hutan akan menunjukkan bukti-bukti besarnya eluviasi dan pencucian. Tiga penyebab yang mungkin memberikan perbedaan ini, adalah:

- 1) Vegetasi hutan akan mengembalikan kation-kation alkali kepermukaan tanah,
- 2) Air kuat sekali ditranspirasikan tanaman, sehingga tanah banyak kehilangan air, akibatnya jika turun hujan proses pencucian selalu efektif,
- 3) Air yang memasuki tanah akan lebih masam. Ion-ion hidrogen yang terlarut dari asam-asam organik di dalam horizon 0, yang sering terjadi di bawah pohon-pohonan, menyebabkan pertukaran basa-basa dan tercuci ke bagian bawah tanah.

Hubungan yang dekat dengan pencucian basa-basa itu ialah translokasi liat dari tanah bagian atas ke lapisan tanah bagian bawah. Partikel-partikel liat tereluviasi ke bagian tanah yang dibuktikan dengan tertumpuknya liat-liat pada horizon B dan terjadinya peristiwa pembentukan mantel liat (*clay coating*) pada *ped* di horizon B. Gerakan-gerakan aktif liat pada tanah hutan didasarkan pada tingginya kandungan liat pada horizon B dan rendahnya kandungan liat pada horizon A dari tanah hutan, dibandingkan dengan tanah dengan vegetasi rumput. Jadi permeabilitas dan sifat-sifat fisis sub-soil juga menunjukkan tingkat perbedaan.

Dua hal yang penting dapat ditarik untuk membedakan tanah-tanah vegetasi hutan dan rumput, bahwa tanah dengan vegetasi hutan mempunyai kira-kira

separuh dari kandungan bahan organik tanah dengan vegetasi rumput dan terdistribusi tidak merata. Tanah hutan memiliki tingkat perkembangan profil tanah lebih sempurna. Horizon-horizon pada solum lebih asam dan % jenuh basa yang rendah, akan lebih banyak liat yang dipindahkan dari horizon A ke horizon B.

3. Bahan Induk

Pada saat yang bersamaan, bahan-bahan induk yang bersifat mobil di lapisan tanah atas akan tercuci ke bawah dan sebagian bahan itu akan tertumpuk dan melahirkan horizon B. Setelah mengalami periode waktu yang panjang, maka terbentuklah dengan lengkap horizon-horizon A dan B yang keduanya memiliki sifat-sifat yang kontras. Erosi permukaan dapat memindahkan bagian atas *top-soil* dan sementara itu horizon A dan B terus berkembang dan memperdalam solum. Akhirnya tanah akan berseimbang dengan lingkungannya hingga terbentuk *mature soil*.

Di bawah horizon B terletak bahan induk yang dikenal sebagai horizon C. Dalam kondisi iklim tropis dimana dekomposisi batu-batuan itu cukup kuat, maka pelapukan itu sampai jauh ke dalam tanah, sehingga sukar menemukan batas-batas horizon C. Perkembangan suatu tanah akan tergantung pula pada jenis bahan induk yang menentukan sifat-sifat dan kimia dari tanah yang dihasilkan. Pengaruh bahan induk itu amat kentara pada stadia awal dari pembentukan tanah. Dengan terjadinya pencucian yang kuat serta perkembangan lebih mantap dari profil tanah, maka lambat laun pengaruh bahan induk itu terhadap sifat-sifat tanah semakin mengecil.

Batu-batuan beku yang bersifat asam, *quartzose* dan *stand stone* biasanya melapuk sangat lambat. Pelapukannya

menghasilkan tanah-tanah berpasir kasar dengan status basa yang rendah, liat didominir oleh kaolinit dan tanahnya tidak subur. Sebaliknya, batuan beku yang bereaksi basa dan batuan sedimen umumnya mudah melapuk dan menghasilkan tekstur lebih halus dengan status basa tinggi, liat didominasi oleh *monmorillonit* dan tanahnya umumnya subur. Bahan induk batuan kapur murni (*pure limestone*) yang keras biasanya menghasilkan tanah yang berpasir dangkal (*Terra Rossa*). Sebaliknya, batuan kapur lembut yang tidak murni (*impure soft limestones*) menghasilkan solum yang agak dalam dan bertekstur yang lebih halus. Di beberapa negara Asia bagian tropis, andosol (tanah pegunungan tinggi) kadang-kadang dijumpai di atas abu vulkan (*vulcanic ash*) di bawah kondisi kelembaban yang tinggi. Di Asia bagian tropis dimana pelapukan yang intensif sering terjadi bahwa tanah-tanah umumnya berkembang dari granit, gneis, basal, batuan pasir, batuan kapur, vulkan, endapan alluvial dan lain-lain.

Tamhane dari India telah memperlihatkan bahwa tanah hitam (*black soil*) di India dapat berkembang dari batuan induk yang berlainan seperti basal, batuan kapur granit *gneis* dan *claystone* di bawah kondisi iklim yang sama. Tanah yang dihasilkan batu-batuan induk ini tidak jauh perbedaannya dalam hal sifat-sifat fisis dan kimia. Dahulu bahan induk dipakai sebagai dasar utama dalam klasifikasi tanah dan masih merupakan faktor yang dominan dalam menentukan sifat-sifat tanah yang masih muda. Meskipun demikian, bahan induk masih juga dipakai dalam batas-batas tertentu dalam klasifikasi tanah seperti tanah alluvial, basaltic soils, dan limestone soils.

4. Topografi

Topografi mempengaruhi perkembangan pembentukan tanah atas tiga hal berikut.

- a) Topografi mempengaruhi jumlah curah hujan terabsorpsi dan penyimpanannya di dalam tanah.
- b) Topografi mempengaruhi tingkat perpindahan tanah atas oleh erosi.
- c) Topografi mempengaruhi arah gerakan-gerakan bahan-bahan dalam suspensi atau larutan dari satu tempat ke tempat yang lain.

Air esensial untuk menyelenggarakan proses-proses kimia dan biologis dalam tanah. Jika air ini berkurang didalam tanah, maka proses-proses itu pun terhambat, sekaligus proses-proses pelapukan berjalan terlambat. Hal yang sama dapat terjadi jika tanah kelebihan air mineralnya tanah yang tergenang. Pada skope yang lebih besar (erosi) tanah secara kontinue, sehingga akan muncul sub-soil ke permukaan tanah dan peristiwa ini akan memodifikasi profil. Konsekuensinya tanah-tanah pada kemiringan besar memiliki solum yang tipis, kandungan bahan organik yang rendah, dibandingkan dengan tanah-tanah bergelombang dan datar.

Topografi amat mempengaruhi kondisi drainase dan permukaan air tanah (*ground water level*). Akumulasi bahan organik biasanya terjadi jika kandungan drainase tanah jelek, sehingga tanah yang kekurangan O_2 pada kondisi ini akan mengawetkan bahan organik terutama jika air tergenang. Warna bahan tanah pada daerah-daerah rendah akan berubah dari kuning merah dan coklat (menunjukkan aerasi tanah yang baik dengan kondisi oksidasi) menjadi berwarna kelabu jika kondisi tanah berubah menjadi berdrainase jelek dengan ditemukannya sejumlah karatan-karatan (*mottles*)

berwarna kuning. Warna kelabu ini umumnya sebagai akibat reduksi besi *ferri* menjadi besi *ferro*.

Horizon eluviasi biasanya berubah, demikian pula gerakan air ke bawah tanah jauh berkurang. Horizon B akan berubah warnanya menjadi kelabu kebiruan yang dikenal sebagai horizon Bg atau *gley*. Sebagai hasil dari perbedaan topografi atau drainase atau keduanya, maka profil-profil tanah yang berkembang dengan bahan induk yang sama, demikian pula umur, kemudian pada daerah zonal yang sama, akan terbentuk pula tanah yang berbeda-beda. Group-group tanah yang berkembang di bawah kondisi tersebut dan memperlihatkan adanya variasi sifat-sifat profil tanah, disebut *catena* atau *toposequence*. Secara lokal topografi mungkin merupakan faktor yang penting pula dalam hal timbulnya perbedaan-perbedaan sifat-sifat tanah. Bahan induk dan vegetasi juga mempengaruhi perbedaan-perbedaan tanah pada suatu lokasi.

5. Waktu

Lama waktu yang dibutuhkan tanah untuk pembentukan horizon-horizon tergantung kepada faktor-faktor lain yang berhubungan erat, seperti iklim, sifat bahan induk, binatang-binatang dalam tanah dan topografi. Horizon-horizon akan lebih cepat berkembang dibawah kondisi udara sejuk (*cool*) humid dan tanahnya ditumbuhi vegetasi hutan. Bahan induk diubah ke dalam fase tanah belum matang (*immature*) dalam jangka waktu yang relatif singkat, jika kondisi-kondisi lainnya cukup baik. Fase ini dicirikan oleh akumulasi bahan induk pada permukaan tanah dengan sedikit pelapukan, pencucian, atau translokasi koloid-koloid dan sifat-sifat tanah kebanyakan masih mirip dengan sifat-sifat bahan induk.

Fase pematangan (*mature*) akan tercapai jika horizon telah berkembang. Lambat laun, jika waktu telah cukup, maka tanah yang matang dapat memiliki differensiasi profil yang mantap, sehingga perbedaan-perbedaan yang menyolok terjadi antara horizon-horizon yang terdapat di sepanjang profil. Keadaan ini disebut *old age stage*. Kebanyakan tanah-tanah yang memiliki *clay-pan* mencirikan tanah itu, sudah termasuk tanah yang telah tua dan umumnya kesuburan serta produktifitasnya rendah.

Mohr dan Van Baren telah mengenal ada lima fase yang terlibat dalam perkembangan tanah-tanah tropis berikut.

- | | |
|-----------------|--|
| a) Fase Pemula | - Bahan induk belum dilapuki |
| b) Fase Juvenil | - pelapukan mulai terjadi, namun sebagian besar bahan aslinya belum dilapuki |
| c) Fase Viril | - Kebanyakan mineral-mineral yang mulai pecah, kandungan liat meningkat pelapukan masih berjalan lambat. |
| d) Fase Senil | - Dekomposisi tiba pada fase akhir, hanya mineral-mineral yang tahan lapuk yang masih bertahan. |
| e) Fase Akhir | - Perkembangan tanah telah sempurna dan telah melapuk menurut kondisi itu. |

Pernyataan yang cukup menarik adalah "berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk membentuk satu inchi tanah atau untuk tanah agar dapat berkembang?". Untuk perkembangan tanah dari batuan keras, waktu yang

dibutuhkan tentulah amat besar. Disamping itu, perkembangan tanah tentu saja lebih cepat pada kondisi iklim yang basah dan hangat (*warm*), serta berbahan induk lepas. Pertumbuhan tanaman dapat pula terjadi di atas bahan induk segar yang terkespos kesinar matahari.

Jawaban dari pertanyaan tadi terletak sebagian pengetahuan kita tentang sifat bahan induk dari mana tanah itu berkembang. Dari bahan-bahan glacial, vulkan, tanah regosol (*entisol*) dapat berkembang dalam jangka waktu kecil dari seribu tahun. Tanah spodosol matang (*podzol*) yang umurnya kira-kira 1000 tahun telah diketemukan di Alaska. Iklim kering, erosi-tanah pada permukaan tanah yang miring dapat memperlambat atau menghambat perkembangan tanah. Dengan demikian jelaslah bahwa tingkat perkembangan tanah itu bervariasi dari satu tanah dengan tanah lainnya. Dalam periode waktu tertentu misalnya akan dapat merubah satu tanah, akan tetapi tidak demikian halnya dengan tanah yang lain.

Dengan alasan ini kematangan suatu tanah ditetapkan dengan tingkat horizon ketimbang umur. Kondisi-kondisi yang dapat mempercepat tingkat perkembangan tanah adalah: suhu yang hangat, iklim yang lembab, vegetasi hutan, tanah permeabel, berbahan lepas yang rendah kandungan kapurnya, topografi datar dengan drainase yang baik. Sedangkan faktor-faktor yang menghambat perkembangan tanah adalah udara dingin, iklim kering, vegetasi rumput, tanah impermeabel, berbahan tidak lepas (*unconsolidated*) dengan kandungan kapur yang tinggi dan bertopografi yang miring, bahan induk tanah lapuk seperti granit, permukaan air tanah tinggi dan curah hujan yang rendah.

D. Perkembangan Profil Tanah

Dalam rangka penelitian tanah, kadang-kadang diperlukan deskripsi (penyifatan) profil tanah. Dari pengamatan sifat-sifat tanah di lapangan serta disokong oleh hasil analisa contoh tanah di laboratorium yang diambil dari tiap horizon di dalam profil, maka dapat ditentukan jenis tanahnya. Tiap jenis dan tipe tanah memiliki ciri yang khas dipandang dari sifat-sifat fisis maupun kimianya. Pelajaran kita pada bagian ini adalah menyangkut tanah-tanah yang memiliki horizon-horizon sebagai akibat berlangsungnya evolusi genetis di dalam tanah.

Profil tanah ialah penampang vertikal tanah dimulai dari permukaan tanah sampai lapisan bahan induk di bawah tanah. Solum tanah adalah penampang tanah dimulai dari horizon A hingga horizon B. Terdapatnya horizon-horizon pada tanah-tanah yang memiliki perkembangan genetis memberi indikasi bahwa beberapa proses tertentu, umum terdapat dalam perkembangan pembentukan profil tanah. Berikut ini kita akan pelajari dulu horizon-horizon yang biasanya terdapat di dalam tanah dan selanjutnya akan didiskusikan proses-proses yang bertanggung jawab dalam differensiasi horizon-horizon itu.

1. *Tata Nama Horizon dan Sifatnya*

Umumnya hampir semua profil-profil tanah telah memiliki dua atau lebih horizon utama. Sifat-sifat horizon itu diterangkan sebagai berikut :

O - *Horizon-horizon organik* tanah-tanah mineral. Horizon-horizon :

- (1) terbentuk di atas tanah mineral,
- (2) didominasi oleh bahan organik yang segar atau sebagian telah dilapuki, dan

- (3) mengandung lebih dari 30% bahan organik
50% liat jika fraksi mineral mengandung
bahan lebih dari organik jika fraksi atau lebih
dari 20% liat.

A- *Horizon-horizon mineral* terdiri dari:

- (1) horizon-horizon dimana bahan organik diakumulasikan atau terbentuk dekat permukaan tanah,
- (2) horizon-horizon yang kehilangan liat, besi atau aluminium dengan hasil resultantnya, dan
- (3) Horizon-horizon ini didominasi oleh (1) atau (2) di atas, tetapi dapat pula berupa transisi ke horizon B atau C di bawahnya.

B- *Horizon yang memiliki satu atau lebih sifat-sifat* di bawah ini:

- (1) merupakan horizon illuvial, dalam mana terakumulasi liat silikat, besi, aluminium atau humus, secara sendiri-sendiri atau kombinasinya, bahan-bahan ini umumnya berasal dari horizon A,
- (2) konsentrasi sisa dari *sesquioksida* atau liat-liat silikat (secara tersendiri atau tercampur) yang terbentuk dengan keluarnya dari horizon ini garam-garam karbonat atau garam-garam terlarut lainnya,
- (3) mantel (*coating*) mineral-mineral *sesquioksida* telah cukup memberikan warna gelap, kuat atau warna kemerahan dibandingkan dengan warna horizon di bawahnya ataupun yang di atasnya,

- (4) alterasi dari bahan-bahan asalnya yang berupa struktur batuan misalnya, sehingga akibat alterasi itu terbentuklah liat-lat silikat, pembebasan oksida-oksida atau keduanya, dan diikuti dengan pembentukan struktur granular, gumpal atau prisma.
- C- *horizon atau lapisan mineral*, kecuali *bed-rock* dari mana solum tanah itu berkembang, hanya sedikit dipengaruhi proses-proses pedogenesis, tidak memiliki (sedikit sekali) sifat-sifat horizon diagnostik A dan B.
- D- *Batu-batuan di bawah tanah* seperti batuan granit, batuan pasir atau batuan kapur, kesemuanya termasuk ke dalam *consolidated bedrock*.

Subdivisi horizon utama

Horizon utama biasanya terdiri dari satu atau lebih subdivisi yang ditunjukkan oleh angka. Contohnya 0₁ menunjukkan sisa-sisa tanaman yang belum lapuk. Horizon 0₂ merupakan horizon bahan organik yang hanya sebagian terdekomposisi (lihat Gambar 2.4). Satuan lapisan dimana partikel-partikel mineral mendominasi dan berwarna gelap akibat sisa-sisa bahan organik, diberi tanda horizon A₁. Sebaliknya, Lapisan A₂ berwarna terang dan memperlihatkan pengaruh maksimum dari proses pencucian (*leaching*) atau eluviasi (terbasuh keluar).

Horizon akumulasi atau illuvial (terbasuh ke dalam *washing in*) akan menunjukkan horizon B. Horizon B ini dapat dibagi menjadi horizon B₁, B₂ dan B₃ tergantung dari tingkat akumulasi (lihat Gambar 2.4). Perhatikanlah horizon-horizon A dan B bersama-sama membentuk solum. Seperti telah dijelaskan terdahulu, semua horizon-horizon

tidak terdapat pada setiap tanah. Kadang-kadang pada suatu tanah tidak memiliki A₂, atau B₁, bahkan ada pula jenis tanah yang hanya memiliki horizon-horizon A dan C.

Tambahan lainnya mengenai horizon-horizon ini ialah bahwa kadang-kadang kita menggunakan huruf kecil. Misalnya pada tanah-tanah pertanian yang sering diolah, sering horizon-horizon 0, A₁ ataupun A₂ itu bercampur merata dan membentuk lapisan olah. Lapisan ini dinamakan lapisan Ap untuk menunjukkan pengrusakan horizon-horizon oleh pengolahan tanah.

2. *Ciri Khas Profil Tanah*

Adakalanya terjadi penumpukan liat atau oksida besi pada horizon B. Jika pada horizon B itu terdapat banyak partikel-partikel liat, maka yang disebut B_{2t}, tanah menunjukkan liat illuvial. Tanah spodosol (*podzol*) umumnya memiliki horizon B yang menunjukkan horizon itu banyak mengandung besi. Jika humus dan besi bersama, terakumulasi pada tanah spodosol, disebut horizon B_{ir}. Humus illuvial ditunjukkan oleh simbol h. Sifat-sifat yang lain ditunjukkan sebagai berikut.

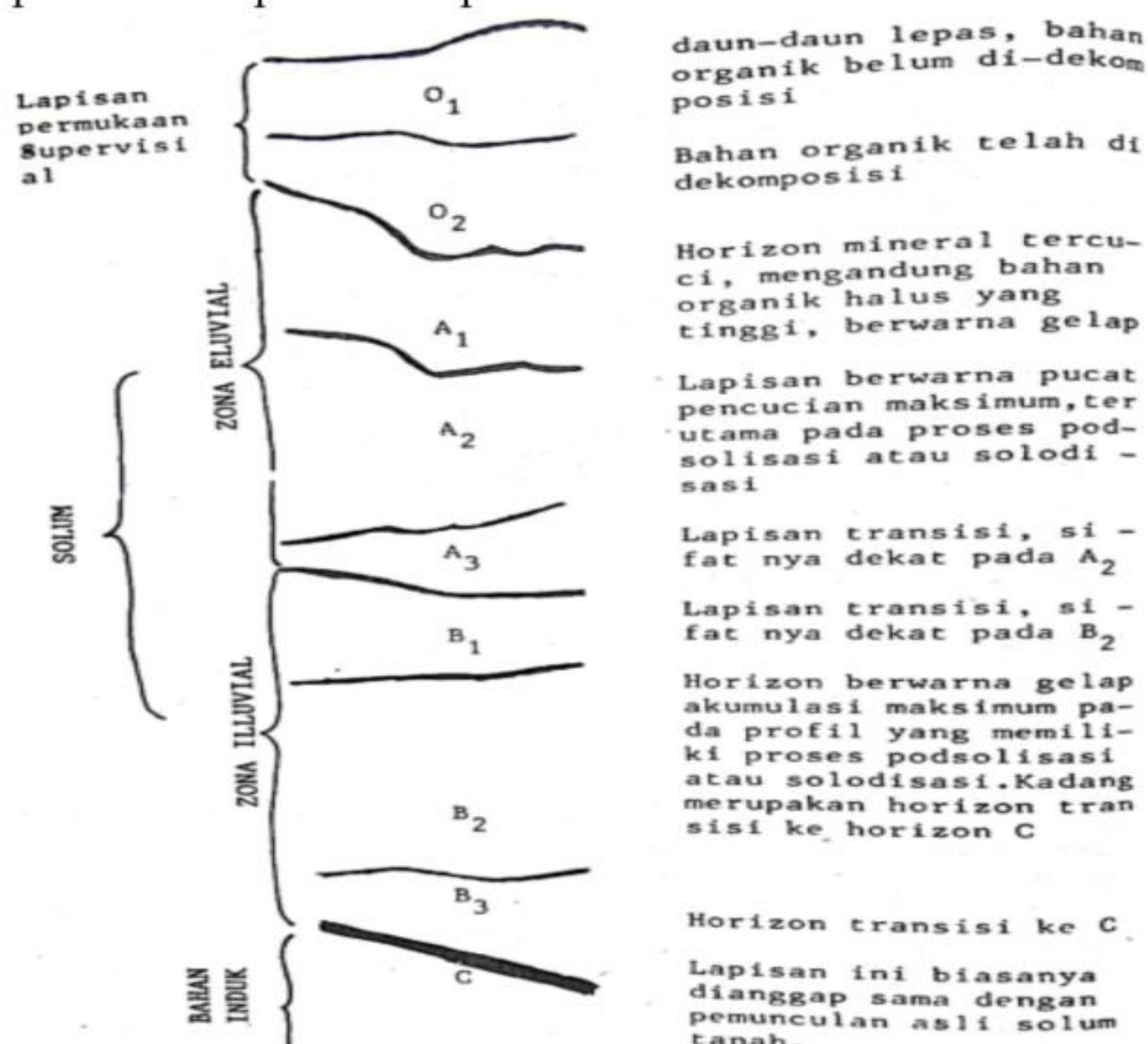
- b - Horizon tanah terkubur
- Ca - Akumulasi karbonat-karbonat dari bahan-bahan al kalin, biasanya calcium
- cs - Akumulasi calcium sulfat

Proses differensiasi horizon

Genesa tanah atau differensiasi horizon, kedalamannya termasuk proses-proses yang berkaitan dengan penambahan (*addition*), kehilangan (*losses*), transformasi atau translokasi. Tanaman ataupun binatang mendapatkan habitatnya pada semua tanah menjadi sebagian dari fraksi

organik. Carbon di dalam bahan organik akan hilang dari dalam tanah sebagai CO_2 yang merupakan hasil perombakan mikrobiologis. Nitrogen dirubah bentuknya dari senyawa organik menjadi senyawa inorganik. Selanjutnya, bahan organik dapat pula berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya sebagai akibat aktifitas air dan binatang.

Unsur-unsur mineral tanah akan mengalami perubahan-perubahan pula yang semuanya harus diperhitungkan. Pada semua tanah, mineral-mineral sekunder dan senyawa-senyawa lainnya dengan sifat kelarutan yang berbeda-beda, yang akhirnya dapat pula bergerak dari satu horizon ke horizon lainnya. Ringkasan proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Profil yang umum terdapat pada tanah hutan, beriklim basah dan bersuhu sedang

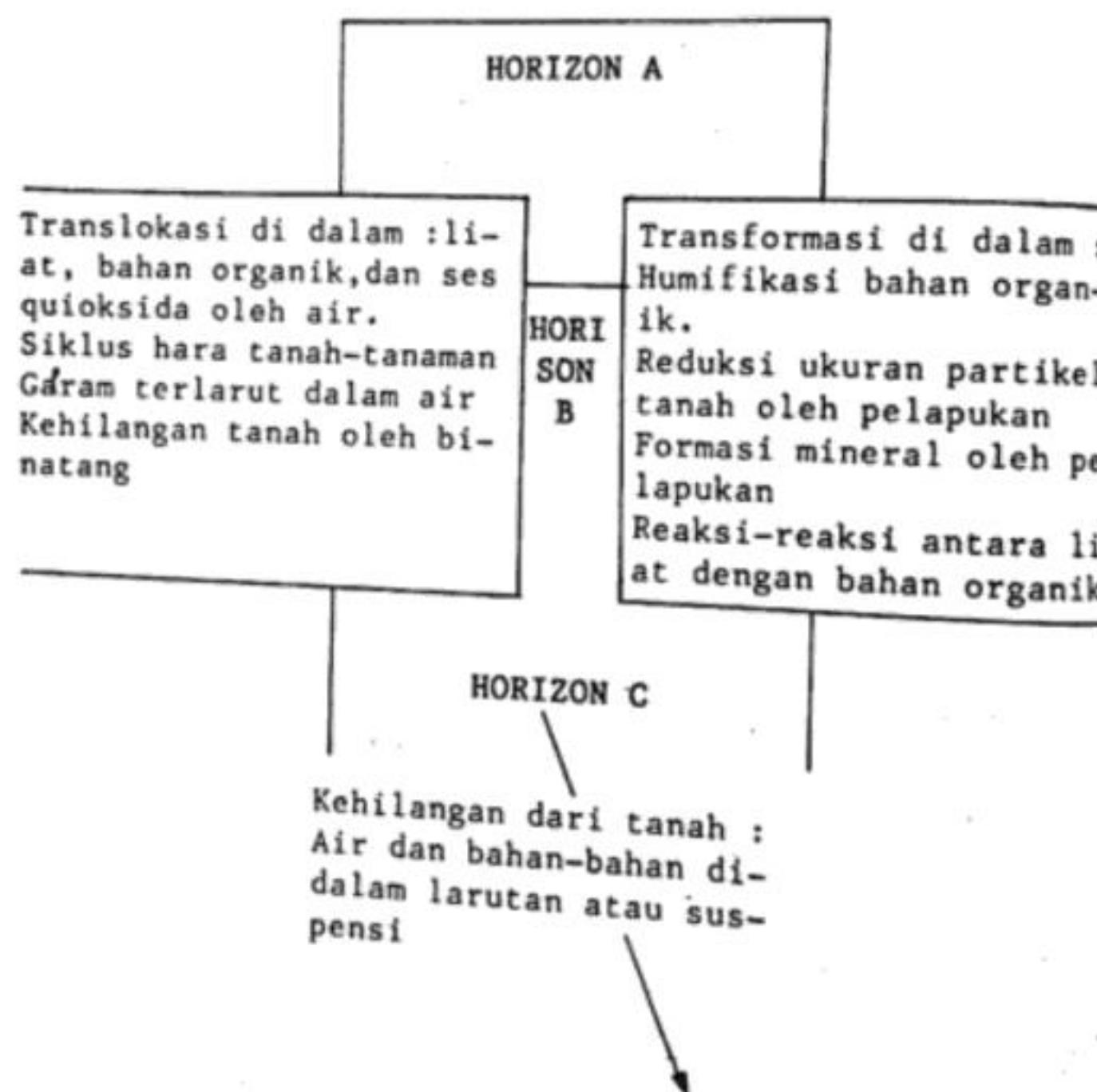
cn	-	Akumulasi konkresi
f	-	Tanah membeku
g	-	Lapisan <i>Gley</i> yang kuat
m	-	Sementasi yang kuat
sa	-	Akumulasi garam yang daya larutnya lebih besar dari calcium sulfat
si	-	Sementasi oleh bahan silika, larut dalam, alkalin
x	-	Ciri fragipan (lapisan teguh di bawah tanah) Horizon 0 ₁ di tanah hutan selalu disebut lapisan L, berasal dari <i>Litter</i> (sisa-sisa tanaman), sedangkan horizon 0 ₂ kadang-kadang disebut pula lapisan F, jika bahan organik adalah amorf.

**Penambahan
Ke dalam tanah**

Air dari curah hujan, kondensasi. O₂ dan CO dari atmosfer N, Cl dan 2S dari atmosfer dan curah hujan. Bahan organik dari aktifitas biologis. Bahan-bahan sebagai sediment, energi dari matahari

**Kehilangan
Dari dalam tanah**

Air dengan cara evapotran-spirasi, N oleh dinitrififikasi sebagai CO₂ dari oksida bahan organik. Kehilangan tanah oleh erosi, energi oleh radiasi

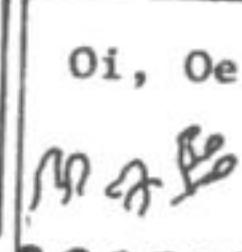
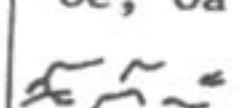


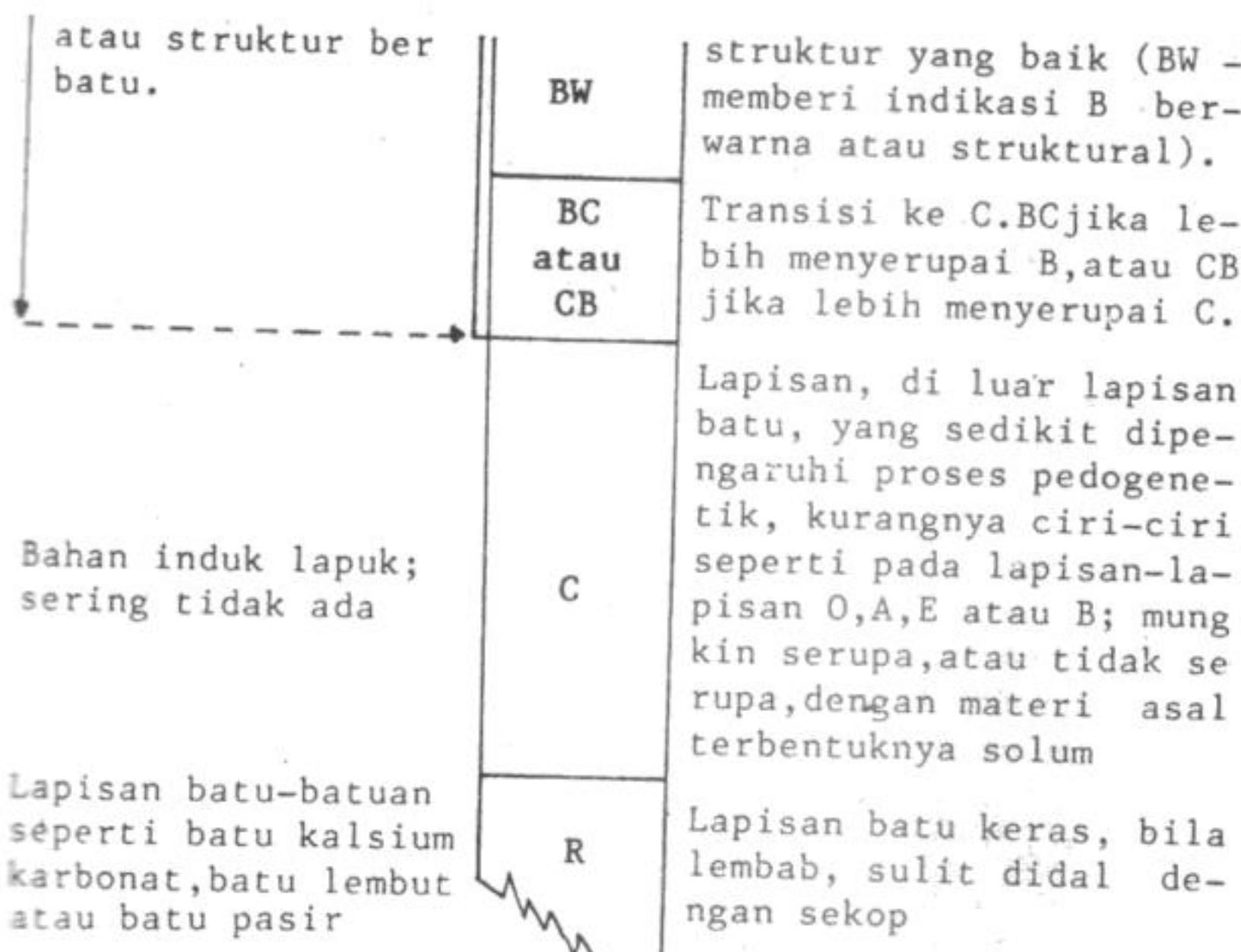
Gambar 2.5 Diagram memperlihatkan penambahan, kehilangan, translokasi dan transformasi yang terlibat di dalam differensiasi horizon.

E. Ringkasan

Melalui proses pelapukan, baik secara fisis maupun kimia dan dibantu pula oleh pengaruh atmosfer, maka batu-batuhan berdisintegrasi dan terdekomposisi menghasilkan bahan induk lepas, dan selanjutnya, dibawah pengaruh proses-proses pedogenesis berkembang menjadi tanah. Terdapat tiga kelompok penting batu-batuhan, ialah batuan beku, batuan endapan dan batuan metamorf. Pembagian ini berdasarkan genesis dan struktur. Dari segi kemasaman terdapat kelompok batu-batuhan asam, intermidiate dan basa. Batuan yang mempunyai komposisi yang kompleks melapuk lebih mudah, sedangkan batuan asam melapuk lebih lambat.

Bahan induk dapat digolongkan ke dalam bahan induk residu dan angkutan. Bahan induk residu adalah bahan induk yang tidak berpindah/tetap di tempat, sedangkan profil mineral tanah yang menggambarkan semua lapisan Induk.

Sampah organik yang dibuang di atas tanah	Oi, Oe 	Daun-daun runtuh dan sampah organik, pembusukan krcil (Oi) sampai sebagian (Oe). Sering tidak ada
Batas Pengukuran 0 →	Oe, Oa 	Sampah organik busuk, sebagian (Oe) sampai busuk sebagian besar (Oa). Sering tidak ada
S O L u M	A	Lapisan mineral berwarna gelap yang mengandung bahan organik (sedang sampai banyak), menunjukkan ciri-ciri yang berasal dari penggalian atau gangguan lain.
Lapisan yang dipengaruhi aktivitas biologis dan evaluasi (hilangnya materi yang larut atau terbawa air)	E	Lapisan berwarna muda, ditandai adanya evaluasi evaluasi tanah liat, besi atau alumina meninggal - kan konsentrasi quarts atau mineral tak lebur lainnya
	AB atau EB	Transisi ke B,AB jika lebih cenderung seperti A, atau EB jika lebih cenderung ke E. Biasanya tidak ada.
	BA atau BE	Transisi ke A atau E, tetapi lebih menyerupai B daripada A atau E. Sering tidak ada
Lapisan iluviasi (akumulasi materi dari E) atau lapisan akumulasi liat maksimum;	B atau	Terbentuk dibawah lapisan A,E atau O; struktur batu lebur; akumulasi iluvial tanah silika atau materi lainnya;biasanya lebih dalam berwarna, dan umumnya pengembangan



Ketebalan lapisan bervariasi, dalam diagram ini menunjukkan infomasi yang dikehendaki. Bahan induk angkutan adalah fragmen batu-batuan dan mineral yang terangkut ke luar dari tempat asalnya oleh angin, air, es atau gaya gravitasi.

Bahan induk yang penting di Indonesia adalah bahan induk residual dari batu-batuan beku (granit, gneiss, basal, andesit) dan endapan (batu kapur, batu pasir). Tanah-tanah di Indonesia didominasi oleh tanah podzolik merah kuning, tanah gambut (organosol, histosol), latosol, aluvial dan lain-lain. Kedua, tanah yang cukup luas di Indonesia podzolik merah kuning atau organosol mempunyai masalah-masalah untuk mereklamasikannya. Bahan induk yang umum terdapat di Indonesia adalah basal, granit, andesit, gneiss, batu kapur dan lainnya. Terdapat lima faktor utama yang

aktif mengendalikan pembentukan tanah, ialah iklim, jasad hidup bahan induk, topografi dan waktu.

Iklim sangat mempengaruhi pembentukan tubuh tanah karena air yang berasal dari hujan serta suhu amat berperan dalam mempengaruhi reaksi-reaksi kimia, kondisi kondisi fisik tanah dan aktivitas jasad-jasad hidup. Suhu dan curah hujan di daerah tropis cenderung menurunkan pH tanah, karena intensipnya pencucian basa kelapisan tanah bagian bawah. Disamping Itu, iklim juga mempengaruhi pelapukan serta proses pembentukan liat. Jenis vegetasi mempengaruhi siklus hara, tingkat evaluasi dan pencucian, semuanya dapat menghasilkan perkembangan tanah yang berbeda-beda. Tanah yang terdiri dari vegetasi hutan memiliki tingkat perkembangan profil yang lebih sempurna dibandingkan dengan vegetasi rumput.

Perkembangan suatu tanah akan tergantung pula Pada bahan induknya yang menentukan sifat-sifat fisis dan kimia dari tanah yang dihasilkan. Disamping ke tiga faktor di atas, tidak kalah pula pentingnya peranan yang dimainkan oleh topografi dan waktu. Kesemua faktor-faktor itu berkaitan satu sama lainnya dalam menghasilkan suatu tanah sebagai resultantnya. Profil tanah ialah penampang vertikal tanah dimulai dari permukaan tanah sampai lapisan bahan induk di bawahnya. Beberapa proses pedogenesis bertanggung jawab dalam pernbentukan profil tanah. Pada umumnya hampir semua profil tanah memiliki dua atau lebih horizon. Dalam topik ini telah dikemukakan tata nama horizon dan sifat-sifatnya. Horizon B dicirikan dengan kandungan liatnya yang sangat tinggi. Telah dijelaskan pula diagram memperlihatkan penambahan, translokasi dan transformasi yang terlibat dalam differensiasi horizon ke arah pembentukan profil tanah.

F. Daftar Bacaan

Giacomo Certini & Riccardo Scalenghe, 2006. *Soil: Basic Concept and Future Challenges*. Cambridge University Press.

Nico Van Breemen & Peter Buurno, 2006, Soil Formation, New York: Kluwer Academic Publishers.

Randall Schaetzl and Sharon Anderson, 2016, *Soil: Genesis and Geomorphology*, New York: Cambridge.

G. Contoh Latihan

1. Apakah perbedaan pelapukan dengan genesa tanah?
2. Sebutkan penggolongan batu-batuan dengan contohnya!
3. Apakah perbedaan disintegrasi dengan dekomposisi?
4. Jelaskan istilah-istilah: hidrolisa, reduksi, dalam kaitannya dengan proses pelapukan tanah!
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan bahan induk residual dan angkutan!
6. Tanah podzolik merah kuning dan organosol memiliki masalah-masalah tersendiri untuk diolah. Kenapa?
7. Terangkan peranan suhu dan curah hujan dalam pembentukan tanah.
8. Mengapa tanah-tanah di daerah tropik yang suhu dan curah hujannya tinggi, kemasaman tanahnya cenderung tinggi?
9. Jelaskan diagram yang menunjukkan terjadinya penambahan dan kehilangan bahan, translokasi dan translokasi yang terlibat didalam differensiasi horizon
10. Gambarkan penampang profil tanah yang umum terdapat pada tanah hutan.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

Tabel 3.1 Klasifikasi Separate Tanah

Separate – Tanah	Diameter ^{A)}	Diameter ^{B)}	Jumlah partikel/gr	Luas permuka-an untuk 1gr tanah (cm ²)
Pasir sangat kasar	2.00-1.00	-	90	22
	1.00-0.50	2.00-0.20	720	23
Pasir kasar	0.50-0.25	-	5700	45
Pasir sedang	0.25-0.10	0.20-0.02	46000	91
Pasir halus	0.10-0.05	-	722000	227
Pasir sangat halus	0.05-0.002	-0.02-	5776000	454
Debu	<0.002	0.002	90260853000	8000000
Liat		<0.002		

A) *United State Departement of Agriculture (USDA)*

B) *Internasional Soil Science Society*

Telah diketahui bahwa pasir dan debu terutama berasal dari pecahnya butir-butir mineral tanah yang ukurannya berbeda-beda dari satu jenis tanah dengan jenis tanah yang lain. Luas permukaan debu jauh lebih besar dari luas permukaan pasir per gram (lihat Tabel 3.1), tingkat pelapukan debu dan pembebasan unsur-unsur hara untuk diserap akar lebih besar dari pasir. Partikel-partikel debu terasa licin sebagai tepung (*powder*) dan kurang melekat. Tanah-tanah yang memiliki kemampuan besar dalam memegang air adalah fraksi liat, sedangkan tanah-tanah yang mengandung debu yang tinggi dapat memegang air tersedia untuk tanaman. Fraksi liat pada kebanyakan tanah terdiri dari mineral-mineral yang berbeda-beda komposisi kimianya dan sifat-sifat lainnya dibandingkan dengan pasir dan debu.

Data fraksi liat dalam Tabel 3.1 memperlihatkan luas permukaan yang besar. Di dalam tanah molekul-molekul air mengelilingi partikel-partikel liat berbentuk selaput tipis, sehingga jumlah liat akan menentukan kapasitas memegang air dalam tanah. Disamping itu permukaan liat dapat mengadsorpsi sejumlah unsur-unsur hara dalam tanah.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

Biasanya setelah kita mempunyai banyak pengalaman, dengan cara ini dapatlah kita menentukan kelas tekstur tanah.

3. Ciri Tektur Profil

Tekstur tiap horizon dalam suatu profil tanah biasanya berbeda-beda, maka tanah disebut memiliki tekstur profil yang sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah pada tiap horizon, sehingga perkembangan tekstur profil harus diberikan perhatian. Partikel-partikel liat bersama air perkolasasi bergerak dari horizon A dan ditumpukkan (*deposit*) di zona horizon B, sehingga kandungan liat ini pada horizon B ini adalah tinggi.

Mayoritas tanah di dunia memiliki horizon B yang kaya akan partikel liat. Horizon yang kaya akan liat ini umumnya diberi simbol Bt, simbol t berasal dari istilah Jerman *ton* artinya *liat*. Jika horizon Bt mempunyai 20% liat atau lebih dari horizon atasnya, maka horizon ini dikualifikasikan sebagai horizon *argillik*. Contoh tekstur profil adalah tanah lempung di Miami USA, pada tanah ini persentase liat yang sama terdapat pada horizon A1 dan A2. Kandungan liat pada horizon Bt lebih kurang dua kali kandungan liat pada horizon A. Terdapatnya kulit-kulit liat (*clay skin*) atau *cutan* atau mantel pada permukaan aggregat tanah dan pada ruang pori-pori horizon Bt yang membuktikan translokasi liat itu memegang peranan penting dalam perkembangan tekstur profil tanah.

Terdapatnya tekstur profil kadang-kadang dapat memberi keuntungan, tetapi kadang-kadang dapat pula menimbulkan kerugian, tergantung kepada tingkatan perkembangan tanah itu sampai batas-batas tertentu. Terjadinya peningkatan sejumlah liat di dalam *subsoil* adalah

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

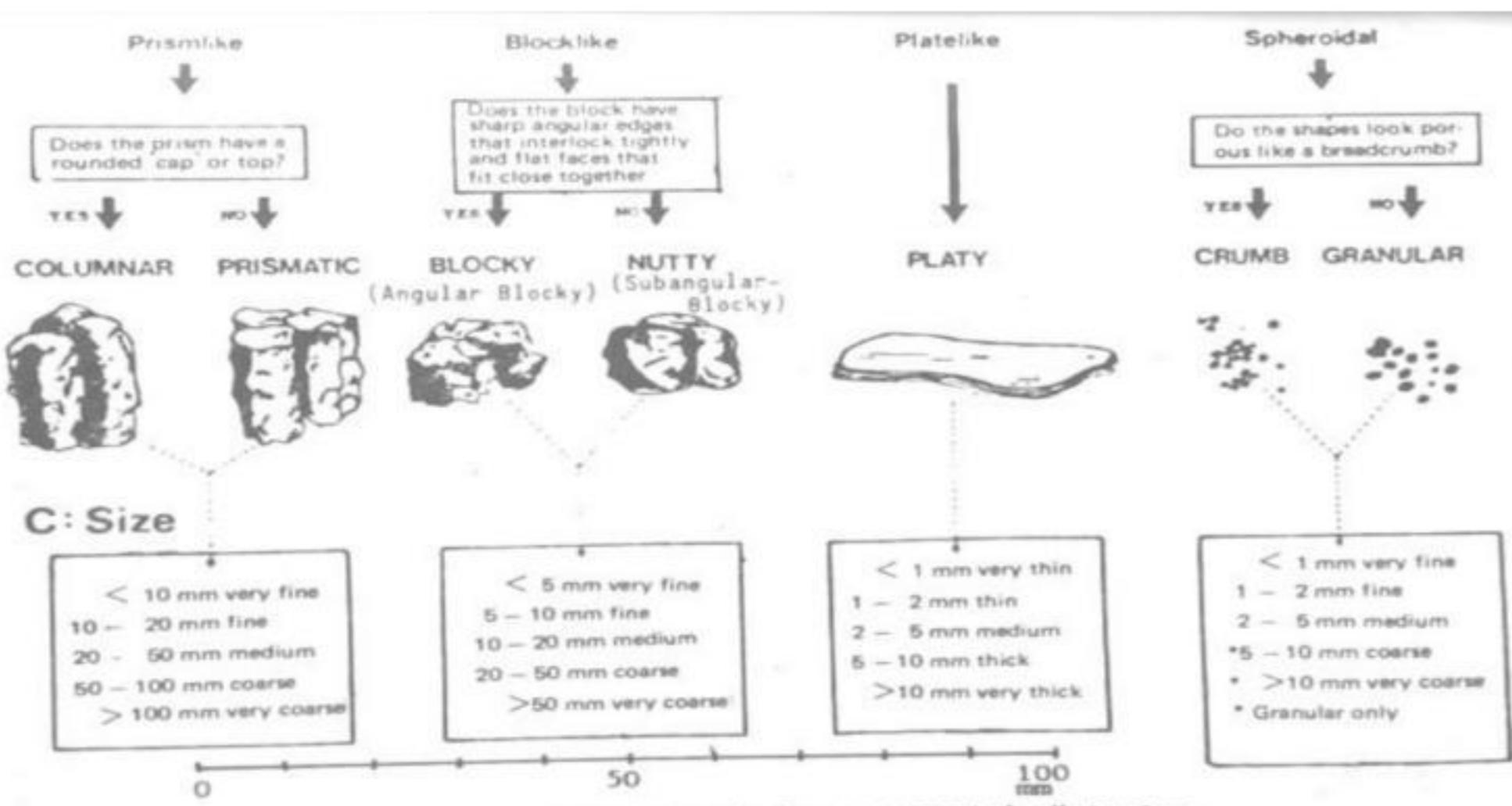
- c. Bentuk gumpal : perkembangan ketiga dimensi lebih kurang sama dan ped-ped terbentuk serupa kubus dengan muka datar atau bulat. Jika mukanya datar dan pinggirannya bersudut tajam, maka strukturnya dinamakan gumpal bersudut (*angular bloocky*).
- d. Bentuk speroidal : Berbentuk bulat atau speroidal dan semua sumbu kurang sama panjangnya dengan muka tidak beraturan (*irregular*). Biasanya ukuran strukturnya kecil, agregat-agregat dari group ini dinamakan granular. Relatif kurang porous, jika susunan granular sangat porous dinamakan remah (*crumb*).

Keempat bentuk utama tersebut di atas akhirnya menghasilkan tujuh tipe struktur tanah seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Secara geografis, dalam gambar ini diringkaskan penyifatan serta kemungkinan di lokasi mana struktur itu biasa terdapat. Ukuran makroskopik kebanyakan ped-ped memberikan kemungkinan ruang udara antara ped itu lebar dibandingkan dengan ruang udara antar pasir-debu dan partikel-partikel liat. Peristiwa inilah yang merupakan pengaruh utama struktur terhadap hubungan-hubungannya dengan ruang pori-pori. Gerakan udara dan air akan berlangsung dengan baik jika struktur tanah itu adalah remah, misalnya ruang antar ped juga berlaku sebagai koridor untuk penetrasi akar-akar tanaman.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*



*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

menjaga kemantapan agregasi tanah akan memberikan hasil yang tinggi bagi produksi pertanian.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa jika jagung di tanam berselang-seling dengan kacang-kacangan maka tidak diragukan bahwa kacang-kacangan membantu hasil jagung yang tinggi, karena terjadinya peningkatan N tersedia di dalam tanah. Walaupun demikian, fakta menunjukkan bahwa penggunaan pupuk terhadap plot-plot yang beraggregat rendah menghasilkan produksi lebih kurang 30 bushel, sedangkan produksi dari tanah beraggregasi baik, plot-plot tidak dipupuk menghasilkan lebih kurang 70 bushel; ini menunjukkan bahwa kondisi fisis tanah-tanah dari plot beraggregasi rendah membatasi hasil jagung.

Gambar 3.6 memperlihatkan bahwa jika sistem jagung - *oat* hingga sistem jagung - *oat* - kacang, maka akan terlihat peningkatan yang nyata dari aggregasi tanah. Aggregasi yang menyolok terjadi di mana teknik penanaman agak jarang dan dimana tanah ditutup *canopy* tanaman. Dalam hal ini *canopy* dapat menjadi payung yang menghalangi pukulan butir-butir hujan ke tanah, sehingga kerusakan aggregat-aggregat tanah dapat dihindari.

C. Konsistensi

1. Batasan

Konsistensi tanah ialah istilah yang berkaitan sangat erat dengan kandungan air, yang menunjukkan manifestasi gaya-gaya fisika yakni kohesi dan adhesi yang bekerja didalam tanah pada kandungan air yang berbeda-beda. Setiap materi tanah mempunyai konsistensi yaitu baik bila massa tanah itu besar atau kecil (sedikit), dalam keadaan alamiah ataupun sangat terganggu, berbentuk aggregat atau tanpa struktur, maupun dalam keadaan lembab atau kering.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

ruang pori-pori ini. Jadi, penyediaan air dan S₂ untuk pertumbuhan tanaman dan jumlah air yang bergerak melalui tanah berkaitan sangat erat dengan jumlah dan ukuran pori-pori tanah ini. Oleh karena berat tanah berhubungan dengan jumlah ruang pori-pori, maka hubungan-hubungan ruang pori-pori dan berat tanah akan didiskusikan bersama-sama. Berat dan ruang pori-pori tanah bervariasi dari satu horizon ke horizon yang lain, sama halnya dengan sifat-sifat tanah lainnya dan kedua variabel ini dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah.

1. Kerapatan Isi, Kerapatan Zarah dan Ruang Pori-Pori Total

Kerapatan isi adalah berat persatuan volume tanah kering oven, biasanya ditetapkan sebagai gr/cm³. Contoh tanah yang digunakan untuk menetapkan berat jenis palsu harus diambil secara hati-hati dari dalam tanah. Pengambilan contoh tanah tidak boleh merusak struktur asli tanah. Terganggunya struktur tanah dapat mempengaruhi jumlah pori-pori tanah, demikian pula berat persatuan volume. Empat atau lebih bongkah (gumpal) tanah biasanya diambil dari tiap horizon untuk memperoleh nilai rata-rata. Gumpal-gumpal tanah yang diambil dari lapangan untuk penetapan kerapatan isi itu dibawa ke laboratorium untuk dikering-ovenkan dan ditimbang. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\text{kerapatan isi} = \frac{\text{Berat Tanah Kering Oven (gr)}}{\text{Volume Tanah (Cm}^3\text{)}}$$

Kerapatan volume dapat pula ditetapkan dengan satuan lain, misalnya *pound/ft*. Jika ditetapkan dalam gr/cm

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

Sebaliknya, pada top-soil bertekstur halus, memiliki lebih banyak ruang pori total yang sebagian besar terdiri pori-pori kecil. Hasilnya adalah tanah dengan kapasitas memegang air yang besar.

Pada tanah lembab, berdrainase baik ruang pori-pori yang besar biasanya diisi oleh udara dan sebagai akibatnya mereka disebut pori-pori aerasi (*aeration pores*) atau pori-pori makro (*macro pores*). Pori-pori yang lebih kecil biasanya cenderung diisi oleh air dan disebut kapiler atau pori-pori mikro (*micro pores*). Distribusi ruang pori di dalam tanah matang (telah berkembang sempurna) dapat dilihat pada Tabel 3.4. Adanya perkembangan struktur granular pada horizon A1 memberikan hasil porositas total yang tinggi, meningkatkan jumlah ruang pori mikro dan makro.

Seperti telah dijelaskan pada bagian terdahulu, deposisi liat di dalam pori-pori horizon Bt dapat menyebabkan merosotnya porositas tanah. Horizon Bt tanah ini mengandung sedikit kedua tipe ruang pori tersebut di atas dibandingkan dengan horizon A1. Air di dalam tabung kapiler tidak akan bergerak atau didrain keluar. Hal ini disebabkan oleh karena adanya attraksi air dengan gelas yang memberikan tahanan yang besar, sehingga air inipun tidak dapat bergerak ke bawah oleh gaya gravitasi. Sebagai hasilnya adalah suatu zat (*substance*) dapat menjadi sangat porous dan perlahan-perlahan permeable terhadap air. Dalam tabung atau pipa yang berukuran besar (ukuran non kapiler), gerakan air bervareasi menurut pangkat empat dari radius. Jadi, apabila diameter pipa dilipat dua kali, maka jumlah air yang mengalir akan meningkat 16 kali (24).

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

F. Suhu Tanah

1. Pengaruh Suhu Tanah Terhadap Tanah dan Tanaman

Jika temperatur tanah turun secara drastis, maka kehidupan jasad hidup di dalam tanah turun aktivitasnya sehingga akhirnya proses kehidupan jasad-jasad itu terhenti. Hal yang sama juga terjadi pada tanaman-tanaman yang tumbuh pada tanah itu. Proses pertumbuhan kebanyakan tanam-tanaman pertanian yang penting akan sangat lambat jika temperatur tanah 40°F dan giat kembali jika temperatur antara 70 sampai 90°F .

Proses-proses kimiawi dan aktivitas jasad-jasad renik yang dapat merombak hara-hara tanaman menjadi bentuk tersedia, juga sangat ditentukan oleh temperatur tanah. Dengan demikian pertumbuhan tanaman itu disamping dipengaruhi oleh sistem aerasi tanah yang baik, juga ditentukan oleh temperatur. Keseimbangan panas tanah terdiri dari peristiwa berganti-ganti dari peningkatan dan penurunan energi panas. Radiasi sinar matahari yang diterima oleh permukaan tanah sebagiannya akan direfleksikan kembali ke udara (atmosfer) dan sebagian lainnya diabsorbsi tanah. Tanah-tanah berwarna gelap dan tanah-tanah mengandung kwarsa yang banyak dan berwarna terang akan mengabsorbsi berturut-turut kira-kira 80 dan 30 % radiasi matahari yang masuk.

Dari jumlah total radiasi matahari yang tersedia untuk bumi, maka kira-kira 30% akan direfleksikan kembali ke ruang angkasa, 19% diabsorbsi atmosfer dan 47% diabsorbsi oleh bumi. Panas yang diabsorbsi tanah akan hilang kembali melalui :

- a) penguapan,
- b) re-radiasi ke dalam atmosfer sebagai radiasi gelombang panjang,

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

oksida semakin merah warna tanah. Terdapat bermacam-macam mineral seperti *goethite* yang memberikan warna kuning pada tanah dan *hematite* yang memberikan warna merah.

3. Pengenalan dan Pencatatan Warna Menurut Sistem Munsell

Warna tanah dengan akurat dapat diukur dengan tiga sifat-sifat prinsip warnanya, yaitu HUE, VALUE, dan CHROMA. HUE adalah panjang gelombang dominan atau warna dari cahaya. VALUE, kadang-kadang disebut kekerasan cahaya atau *brilliance*, adalah jumlah total cahaya. Warna berkisar antara gelap sampai agak terang (light colour). CHROMA adalah kemurnian relatif (*relative purity*) dari panjang gelombang cahaya yang dominan. Warna ini meningkat dengan menurunnya proporsi sinar putih.

Notasi warna menurut *Munsell* merupakan angka numerik yang sistematis dan terdapat huruf-huruf yang menunjukkan tiap variabel sifat warna. Hubungan-hubungan antara satu warna dengan yang lainnya ditunjukkan dengan menggunakan tabung kubus padat, dalam mana HUE, VALUE dan CHROMA diletakkan sepanjang ketiga sumbu. Tiap warna yang mungkin mewakili titik di dalam kubus ini selengkapnya akan memiliki tiga koordinat dari titik tersebut, dalam hal ini adalah notasi *Munsell*. Ketiga sifat-sifat selalu memberikan urutan-urutan HUE, VALUE, dan CHROMA. Misalnya, dalam notasi *Munsell* 10 YR 6/4, 10 YR adalah HUE, 6 adalah VALUE , dan 4 adalah CHROMA. Notasi *Munsell* untuk contoh tanah secepatnya dapat ditetapkan dengan membandingkan warna contoh tanah dengan warna tanah

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

5. Cobalah sebutkan tipe struktur tanah yang saudara ketahui serta deskriptif masing-masing aggregat serta gambarnya!
6. Terangkan faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan aggregat tanah!
7. Terangkan kepentingan konsistensi tanah!
8. Bagaimana hubungan porositas tanah dengan pertumbuhan tanaman?
9. Bagaimana perbedaan komposisi gas di dalam tanah dengan atmosfer?
10. Bagaimana effeknya jika lalu-lintas udara di dalam tanah terganggu?
11. Terangkan mass flow dan diffusi dalam tanah!
12. Terangkan faktor-faktor yang mempengaruhi warna tanah.
13. Jelaskan fungsi mulch dalam hubungannya dengan suhu tanah.
14. Apakah gunanya warna tanah itu kita ketahui?
15. Terangkan faktor-faktor yang mempengaruhi warna tanah!

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

arah bawah. Gaya matrik (*adhesi*) dan *osmotik* umumnya menurunkan tingkat energi air tanah, sehingga potensial matrik dan osmotik adalah negatif. Gaya gravitasi umumnya meningkatkan energi air dalam profil tanah jika titik acuan berada di bawahnya.

2. Hisapan dan Tegangan

Potensial matrik dan osmotik adalah negatif. Kedua gaya pengikatan molekul air dalam tanah tersebut menurunkan energi air tanah, yang mengakibatkan adanya hisapan atau tegangan yang dialami oleh air tanah. Pengertian ini menunjukkan adanya tenaga yang bertanggung jawab terhadap pengikatan air dalam tanah atau sebaliknya, tenaga harus dikeluarkan untuk mengambil air tanah. Istilah hisapan lebih menguntungkan karena dapat dinyatakan dalam satuan positif.

3. Cara Menyatakan Tingkat Energi Air Tanah

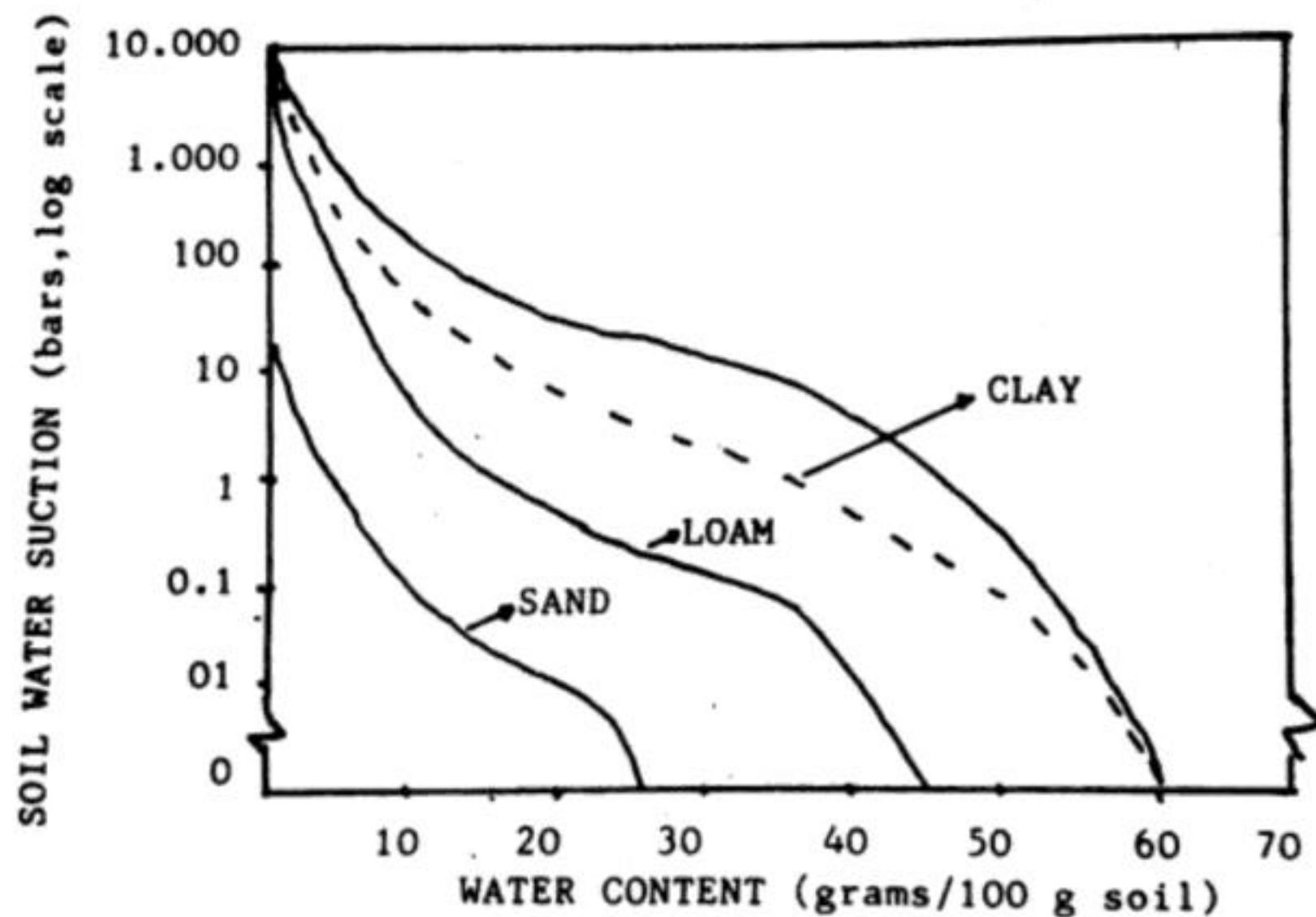
Karena tingkat energi air tanah dipengaruhi oleh potensial matrik dan osmotik, yang dalam pengertian lain dapat dinyatakan dalam daya hisap atau tegangan air maka tingkat energi air tanah dapat dinyatakan dalam satuan daya hisap atau tegangan. Salah satu cara menyatakan daya hisap atau tegangan/tekanan yang dialami oleh air adalah dalam bentuk cm - kolom - air, dimana tinggi kolom air sama dengan daya hisap atau tegangan/tekanan yang dialami oleh air. Makin tinggi kolom air makin tinggi tegangannya. Kita dapat menyatakan tingkat energi air tanah dengan tinggi kolom air atau dalam logaritma dari tinggi kolom air tersebut, yang dikenal dengan istilah pF.

Cara lain yang umum dipakai adalah dengan menyatakan dalam bar atau *atmosfir standar*; tekanan udara

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*



Gambar 4.1. Kurva Tegangan - Kadar Air Tanah untuk tiga macam tanah yang berbeda teksturnya

Kurva tegangan-kadar air tanah tersebut menunjukkan perubahan graduil antara dua titik ekstrim. Jadi, sebenarnya tidak mungkin membuat pemisahan yang jelas klasifikasi air tanah atas dasar unit energi (tegangan). Dalam kurva tegangan - kadar air tanah, tegangan hanya menyatakan tegangan pada batas cairan udara, yaitu bagian terluar dari lapisan air. Jadi, lapisan yang tipis mempunyai tegangan negatif yang besar dan sebaliknya lapisan air yang tebal menunjukkan tegangan negatif yang lebih kecil, sehingga lebih bebas. Dari kurva pada Gambar 4.1 dapat ditelaah bentuk kurva berbeda-beda diantara tekstur tanah. Tanah bertekstur halus menahan air lebih banyak pada seluruh selang energi dibandingkan dengan tanah bertekstur kasar. Hal ini dimungkinkan karena tanah bertekstur halus mempunyai bahan koloidal, ruang pori dan permukaan adsorptif yang lebih banyak.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

air tanah ke atas melalui pori mikro, maka pergerakan tidak jenuh ini merupakan gejala kapileritas yang prinsipnya serupa dengan kenaikan air kapiler dalam tabung seperti dikemukakan dimuka. Adhesi dan kohesi secara aktif berlangsung. Berlawanan dengan penyesuaian kapiler dalam tabung gelas, pergerakan tidak jenuh dalam tanah berlangsung tidak teratur, dan permukaan air yang menaik berbentuk tak menentu. Membengkaknya tanah dan adanya udara yang terjebak antara butir-butir tanah menghalangi kecepatan gerakan dan pori-pori yang besar tekali tidak dapat dijembatani.

Hasil kapilaritas umumnya lebih tinggi untuk tanah berstekstur halus, bila diberikan cukup waktu dan pori tidak terlalu kecil. Hal ini dapat dijelaskan atas dasar ukuran kapiler dan kontinyuitas pori. Pada tanah berpasir, penyesuaian kapiler sangat cepat, tetapi banyak pori bersifat non-kapiler, sehingga kenaikan kapiler tidak begitu tinggi. Kenaikan kapiler juga tergantung dari struktur tanah, pemedatan dan pembengkakan liat dapat menghalangi kecepatan pergerakan kapiler. Dengan demikian, granulasi pada tanah bertekstur halus sangat membantu mempercepat penyesuaian kapiler dan meningkatkan kenaikan kapiler.

3. Pergerakan Air Tidak Jenuh yang Biasa Terjadi Dalam Tanah

Apabila sejumlah air diterima di permukaan tanah, penyesuaian tegangan yang dibantu oleh gaya gravitasi yang menarik air ke bawah melalui pori besar, memungkinkan pembasahan tanah di seluruh profil. Tetapi bila jumlah air terbatas, penyesuaian ke bawah segera bersifat kapiler. Kecepatan gerakan menjadi sangat terbatas, terutama pada

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

1. Klasifikasi Fisik dan Biologi Air Tanah

Dalam klasifikasikan air tanah dipergunakan batas-batas arbiter, karena memang tidak ada batas yang jelas membedakan bentuk-bentuk air tanah tersebut. Atas dasar tingkatan tegangan, air tanah dapat digolongkan ke dalam tiga bagian: air bebas (air gravitasi), air kapiler, dan air hidroskopik.

Air Bebas (Drainase, gravitasi)

Mengisi ruang pori makro pada tanah dalam keadaan lebih basah dari kapasitas lapang. Air ini ditahan pada tegangan kurang dari $1/3$ atm, mudah bergerak karena pengaruh gravitasi, cepat hilang sambil mencuci unsur hara.

Air Kapiler

Menempati ruang pori mikro dan dinding-dinding pori makro, yang ditahan tanah pada tegangan lapisan air berkisar antara $1/3$ - 31 atm, pada kelembaban tanah antara kapasitas lapang dan koefisien hidroskopik. Bergerak lambat melalui penyesuaian tebal lapisan air. Berfungsi sebagai larutan tanah dan sebagian tersedia bagi tumbuhan.

Air Hidroskopik

Menempati ruang pori sangat kecil dan menyelimuti partikel padat tanah yang ditahan tanah pada tegangan sekitar 31 - 10.000 atm, pada keadaan tanah lebih kering dari koefisien hidroskopik. Sebagian besar bersifat non cairan, bergerak dalam bentuk uap dan tidak tersedia bagi tumbuhan. Berdasarkan tingkatan ketersediaan air bagi tumbuhan, terdapat pembagian tentatif air tanah sebagai berikut : air berlebihan, air tersedia yang diinginkan, dan air tidak tersedia.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

dalam penyediaan air bagi tumbuhan. Karena akar mengabsorbsikan cara air, maka gerakan kapiler begaimanpun lambatnya, adalah penting dalam penyediaan air bagi tumbuhan harus tetap hidup.

Perpanjangan akar

Selama periode pertumbuhan tertentu, akar sering memang begitu cepat sehingga kontak baru dengan partikel tanah selalu tercipta, walaupun suplai air cepat menurun dan tanpa bantuan air kapiler. Perpanjangan akar begitu cepat, sehingga secara praktis dapat memenuhi kebutuhan air bagi tumbuhan yang tumbuh pada keadaan air optimum. Meskipun jumlah akar dan luas permukaannya sangat menakjubkan, ternyata akar hanya bersen-tuhan dengan 1 hingga 2 % dari tanah; sehingga dalam keadaan akar tidak tumbuh, air harus bergerak ke arah akar bila tumbuhan harus tetap hidup.

Transpirasi dan absorpsi air oleh tanaman

Jumlah air yang ditranspirasikan oleh tumbuhan untuk memproduksi sejumlah bahan kering telah dipelajari secara intensif oleh Biiggs dan Shantz. Ternyata setiap mentranspirasikan paling sedikit tidak sebanyak 500 pounds air untuk setiap 1 pound bahan kering, berbeda untuk setiap jenis tumbuhan. Karena transpirasi adalah proses evaporasi air dari permukaan tumbuhan, maka faktor-faktor iklim yang mempengaruhi evaporasi secara umum juga berpengaruh terhadap transpirasi. Kenyataan di lapangan kedua proses, evaporasi dari permukaan tanah dan transpirasi dari tumbuhan sulit dipisahkan, sehingga keduanya disebut evapotranspirasi.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

diinfiltrasikan dan jumlah *runoff*. Jadi, laju infiltrasi yang tinggi tidak hanya meningkatkan jumlah air yang tersimpan dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman, tetapi juga mengurangi besarnya banjir dan erosi yang diaktifkan oleh *runoff*. Pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah yang terbuka menghancurkan dan mendispersikan aggregat tanah yang mengakibatkan penyumbatan pori tanah di permukaan. Hal ini akan menurunkan laju infiltrasi yang juga dapat terjadi karena *overgrazing*, *deforestation* dan pemadatan tanah akibat penggunaan alat-alat berat.

Permukaan yang tertutup oleh vegetasi dapat menyerap energi tumbuk hujan dan karenanya mampu mempertahankan laju infiltrasi yang tinggi. Pengembalian sisa-sisa tanaman dan penambahan bahan organik lainnya sebagai mulsa di permukaan tanah juga mampu meningkatkan laju infiltrasi sebaik pengaruh vegetasi hidup. Banyak petani melakukan modifikasi terhadap permukaan tanah dengan pengolahan menurut kontur, pembuatan gulusan dan teras yang dimaksudkan agar air tinggal agak lama di permukaan tanah, sehingga memungkinkan infiltrasi yang lebih tinggi.

Perbaikan sifat-sifat fisik tanah internal

Air infiltrasi terus bergerak ke arah bawah, pergerakan air ke bawah ini sangat ditentukan oleh sifat pori, stabilitas aggregat, tekstur, kedalaman lapisan impermeable, serta adatidaknya liat yang mengembang. Misalnya tanah Grumusol yang kaya liat tipe 2 : 1 pada musim kemarau membentuk retakan (*crack*) lebar yang memungkinkan infiltrasi lebih tinggi, tetapi setelah tanah jenuh air liat mengembang dan menyumbat pori, sehingga mengakibatkan infiltrasi menurun mendekati nol. Pada tanah dengan horizon argilik,

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

itu dipakai lagi pada musim hujan. Tanah sesekali diolah sebelum gulma menghebat atau sewaktu-waktu gulma diberantas dengan herbisida. Dengan cara ini kehilangan air karena penguapan dapat dibatasi hanya pada tanah lapisan atas saja. Cara ini merupakan cara khusus, yang hanya sesuai untuk daerah kering, sedangkan pada daerah humid pemberaan pada musim kering justeru merugikan.

Pengendalian penguapan air di daerah beririgasi

Kehilangan air melalui penguapan di daerah beririgasi jauh lebih gawat dari pada penguapan di daerah lahan kering, karena keadaan yang menunjang terjadinya evaporasi sangat ideal. Hal ini karena tanah umumnya lebih lembab, bila iklim kering, penyinaran matahari sangat intensif, dan angin kencang, maka diharapkan penguapan air akan besar. Pengendalian penguapan praktis di daerah demikian adalah mengatur cara dan waktu pemberian air irigasi yang tepat. Permukaan tanah dipertahankan tetap lembab sesuai dengan yang diperlukan untuk mencapai produksi tanaman yang baik serta perkembangan akar yang dalam harus diusahakan. Dengan cara dan waktu pemberian air irigasi yang baik dapat juga dikurangi bahaya akumulasi garam di permukaan tanah pada daerah-daerah irigasi yang salin dan basa.

G. Drainase

Pembuatan fasilitas drainase mutlak diperlukan di daerah-daerah dimana muka air dekat dengan permukaan tanah atau bahkan menggenang, yang dimaksudkan untuk membuang air berlebihan dari profil tanah, terutama pada tanah lapisan atas sehingga aerasi tanah yang baik tetap dipertahankan. Secara praktis, drainase tidak hanya penting

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

bahan porous untuk menjamin pemasukan air atau agar tidak tersumbat. Gonggorong kemudian ditutup dengan tanah. Air berlebihan masuk ke dalam gonggorong melalui celah sambungan.

Pada dasarnya pemasangan gonggorong tidak lain adalah usaha menstimulir perkolasasi. Cara ini sangat efektif bila pori makro tanah banyak dan kontinyu, sehingga pergerakan air ke bawah untuk memasuki gonggorong dapat berlangsung cepat. Sistem pemasangan gonggorong disesuaikan dengan keadaan wilayah. Pada wilayah yang mempunyai drainase alamiah, maka gonggorong hanya dipasang di daerah depresi (cekungan). Ini disebut sistem drainase alamiah, dimana gonggorong membantu mempercepat hilangnya air dari tempat-tempat akumulasi secara alamiah. Tetapi pada wilayah dataran atau bergelombang diperlukan sistem drainase yang lebih seragam, yaitu sistem drainase kegutek. Ini dapat menggunakan pola tulang ikan atau *gridion*, atau modifikasi dari keduanya. Bila suatu wilayah dijumpai banyak mata air atau rembesan, sistem drainase intersepti perlu dipasang.

Kemiringan yang diperlukan agar sistem drainase gonggorong dapat berfungsi baik bervariasi, umumnya berkisar antara 5 hingga 50 cm setiap 30 m. Kemiringan dari drain utama dapat kecil, terutama bila cabang-cabang dapat menyalurkan air dengan kecepatan tinggi. Kedalaman gonggorong dari permukaan tanah dan jarak antara cabang bervariasi mengikuti sifat tanah, yaitu berkisar antara 75 cm (tanah dengan permeabilitas lambat) hingga 120 cm (pada tanah berpasir). Interval antara pemasangan gonggorong diperpendek dengan mamberatnya tanah (lihat Tabel 4.2). Hal ini diperlukan agar penurunan muka air tanah dapat mencapai kedalaman yang dikehendaki.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

secara otomatis. Irigasi curah memungkinkan pengubahan total lingkungan pertumbuhan melalui pembasahan tanah dan tajuk tanaman. Hal ini mengakibatkan turunnya temperatur dan naiknya kelembaban nisbi di sekitar tanaman sehingga tegangan air (*water stress*) di dalam jaringan tanaman turun. Irigasi curah juga efektif mencegah terjadinya *frost*. Merupakan cara pemberian air dengan jalan meneteskannya melalui pipa-pipa secara setempat disekitar tanaman atau sepanjang larikan tanaman.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

$$\text{SAR} = \sqrt{\frac{\text{Na}}{\left(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}\right)}} \times 2$$

Dimana konsentrasi ion dalam me/l

Air agak asin (DHL = C2) tidak dapat dipergunakan pada tanah dimana kecepatan *leaching* sedang sampai rendah. Hanya tanaman yang toleran mampu tumbuh dengan baik pada kondisi salinitas tersebut, lainnya memerlukan tindakan pengelolaan salinitas yang khusus. Air asin sampai sangat asin (DHL = C3 dan C4) penggunaanya sangat terbatas. Tanah harus benar-benar *permeable*, dipergunakan tanaman yang toleran, serta perlu kontrol salinitas yang intensif.

Faktor SAR

Dasar SAR ini dipakai dalam hubungannya dengan pengaruh Na-tukar terhadap sifat fisik tanah, yaitu efek *flokulasi*. Tetapi beberapa tanaman yang peka terhadap kejemuhan Na, dapat juga menderita akibat adanya Na tukar yang tinggi. SAR kelas S1 umumnya baik untuk semua jenis tanah tanaman, kecuali tanaman buah-buahan seperti *avocado*. SAR kelas S2 tidak baik untuk tanah-tanah bertekstur halus, kecuali bila gypsum terdapat dalam, tanah SAR kelas S3 umumnya jelek untuk semua jenis tanah hingga memerlukan pengelolaan yang khusus, seperti drainase yang baik, *leaching* yang baik, dan tambahan bahan organik. SAR kelas S4 tidak dapat dipergunakan irigasi.

Pengaruh Boron

Boron adalah unsur essensial untuk tanaman, tetapi jumlah yang diperlukan sedikit (unsur mikro). Boron sangat berguna bagi tanaman tertentu. Batas yang masih

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

serta kehilangan air ke atmosfera merupakan fenomena energi. Cara menyatakan tingkat energi air tanah antara lain dengan tinggi kolom air atau logaritma tinggi kolom air (pF), bar atau atmosfir standard. Hubungan antara energi air tanah dan kandungan airnya dapat dinyatakan dalam koefisien air tanah sebagai berikut. Jenuh air atau retensi maksium (tegangan permukaan = 0 atm), Kapasitas lapang (tegangan permukaan air = $1/3$ atm), Koefisien layu (tegangan = 15 atm), dan Koefisien hidroskopis (tegangan = 31 atm). Kurva energi kadar air tanah sering disebut kurva pF . Terdapat beberapa cara menetapkan kadar air tanah, antara lain, cara gravimetrik, tegangan dan hisapan, hambatan listrik (blok tahanan), dan cara pembauran neutron (*neutron scattering*). Cara menyatakan kadar air antara lain dengan persen berat atau persen volume.

Pergerakan air dalam tanah terjadi dalam tiga bentuk pergerakan air tidak jenuh, pergerakan air jenuh pergerakan uap air. Pergerakan air tidak jenuh merupakan fenomena kapiler, baik yang terjadi dari muka tanah dangkal ke permukaan tanah maupun dari air atau air irigasi di permukaan tanah yang bergerak ke lapisan bawah yang lebih kering. Pergerakan air tidak jenuh sangat penting dalam mempertahankan kelembaban tanah di daerah perakaran. Pergerakan air jenuh dalam tanah ditentukan oleh daya air yang bergerak dan hantaran hidrolik, terjadi secara vertikal maupun horizontal.

Sifat-sifat lapisan tanah sangat menentukan kecepatan pergerakan air jenuh. Pergerakan uap air eksternal di permukaan (evaporasi) dan pergerakan uap air internal terjadi dalam pori tanah. Pergerakan uap air tanah terjadi karena perbedaan tekanan uap air, dari tempat bertekanan uap tinggi ke tempat bertekanan uap rendah. Secara fisik air

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

PERTEMUAN MINGGU KE- 5 SIFAT DAN CIRI BIOLOGI TANAH

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; Sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan
(QS Al-Baqarah/2: 164)

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat memahami tentang sifat, ciri biologi tanah, dan peranannya dalam pertumbuhan tanaman.

Tujuan Khusus Pembelajaran

Setelah mahasiswa mempelajari bab ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- 1) menjelaskan berbagai konsep jasad hidup tanah dan perannya,
- 2) menjelaskan peredaran dan pelapukan senayawa carbon, dan
- 3) memahami dan menjelaskan humus dan pembentukannya, serta faktor yang mempengaruhi bahan organik.

Pada bagian terdahulu telah kita bicarakan bahwa bagian organik dari tanah mineral hanya sekitar 5%, namun peranannya dalam tanah sangat besar. Bahan organik tanah

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

Dasar parameter tersebut adalah karena aktivitas metabolismik berkaitan sangat erat dengan biomassa jasad hidup tersebut.

Tabel 5.3. Jumlah dan Biomassa Relatif dari Flora dan Fauna
Tanah yang Umum di dalam Tanah

Organisme	Nilai umum dalam lapisan atas tanah		
	Jumlah tiap meter bujur ^a	Jumlah tiap gram	Biomassa ^b (kg/HLB)
Mikroflora			
Bakteri	$10^{13} - 10^{14}$	$10^8 -$	450 – 4 500
Aktinomsetes	$10^{12} - 10^{13}$	10^9	450 – 4 500
Fungi	$10^{10} - 10^{11}$	$10^7 -$ 10^8 $10^4 -$ 10^5	56 – 560
Mikrofauna			
Protozoa	$10^9 - 10_{10}$	$10^4 -$	17 – 170
Nematoda	$10^6 - 10_7$	10^5	11 – 110
Fauna lainnya	$10^3 - 10_5$	$10 - 10^2$	17 – 170
Cacing tanah	30 – 300		110 – 1 100

^a kedalaman biasanya dianggap sama dengan 15 cm, tetapi untuk beberapa kasus (umpamanya cacing tanah) digunakan kedalaman yang lebih dalam.

^b Nilai biomassa adalah untuk bobot hidup. Bobot kering kurang lebih 20-25% dari nilai-nilai tersebut.

Aktivitas organisme tanah dicirikan oleh parameter seperti: (1) jumlahnya dalam tanah, (2) bobot tiap unit isi atau luas tanah (biomassa), dan (3) aktivitas metabolismiknya. Aktivitas metabolismik biasanya berkaitan erat dengan biomassa organisme tersebut. Seperti disebutkan pada awal, bahwa sebagian besar dari organisme ini adalah jasad mikro baik flora maupun fauna. Begitu banyaknya mikro flora, sehingga mendominasi biomassa meskipun ukuran masing-masing organisme adalah kecil. Keragaman-keragaman biomassa

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

Kehidupan cacing itu sendiri juga sangat dipengaruhi oleh kemasaman dan kesuburan tanah, tanah yang kaya kapur dan kaya bahan organik akan mengandung cacing lebih banyak. Vegetasi juga mempengaruhi jumlah cacing dalam tanah, jumlah cacing yang terdapat di bawah padang rumput jauh lebih banyak daripada di bawah hutan, atau tanah-tanah pertanian. Biomassa cacing setiap hektar diperkirakan sekitar 15 kg hingga 1.1 ton, sedangkan jumlahnya berkisar dari 60 hingga 235.000 ekor.

Binatang mikrotanah

Diantara sekian banyak binatang mikrotanah yang berperanan penting antara lain adalah *nematoda*, *protozoa* dan *rotifera*. *Nematoda* adalah binatang bulat juga seperti cacing, tetapi ukurannya sangat kecil dan hanya bisa dilihat dengan mikroskop. Mereka terdiri atas golongan yang hidup dari bahan organik yang sedang membusuk, golongan sebagai predator, dan kelompok parasit. Golongan parasit ini sangat berbahaya bagi tanaman, karena ia bisa hidup di dalam akar tanaman. Metoda ini sangat merugikan petani dan sampai sekarang masih dicarikan cara pemberantasannya yang baik. *Protozoa* merupakan binatang yang paling sederhana dan dapat dikelompokkan menjadi *amoeba*, *silata* dan *flagelata*. *Flagelata* merupakan golongan yang terbanyak dalam tanah terutama di lapisan atas, secara tidak langsung protozoa dapat mempercepat tersedianya unsur hara bagi tanaman. *Rotifera* ditemukan pada tanah rawa yang mengalami pelapukan tingkat akhir. Mereka berperan dalam peredaran bahan organik, terutama di daerah rawa.

*image
not
available*

*image
not
available*

*image
not
available*

nitrifikasi, oksidasi bakteri dan fiksasi nitrogen. Bila proses ini terganggu maka seluruh kehidupan tumbuhan akan terganggu. Peranan bakteri ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, oksigen (aerasi), suhu, bahan organik, pH, dan kalsium dapat ditukar.

Pengaruh buruk jasad mikro terhadap tumbuhan

Fauna tertentu dapat merusak tanaman dengan jalan memakan atau mengerat dan menghancurkan tanaman tersebut, fauna ini tergolong pada rodent (tikus, tupai), moluska, keong, bakicot, serangga, nematoda, dan protozoa. Demikian pula jenis flora tertentu dapat menimbulkan penyakit pada tanaman, tergolong bakteri, fungi, dan aktinomiseta yang dapat menimbulkan penyakit layu bibit, akar busuk, akar buruk, lanas, dan lain-lain. Persaingan hara dan oksigen dengan tanaman juga merupakan pengaruh buruk dari organisme tanah.

Pengendalian pengaruh buruk ini dapat dilakukan dengan berbagai cara. Diantaranya adalah dengan pergiliran tanaman, sehingga tanaman inangnya sebagai hostnya terputus. Penyakit yang disebabkan oleh aktinomiseta dapat dicegah dengan menurunkan pH tanah menjadi 5.3 - 5.5, sedangkan busuk akar akibat fungi dapat dihindari dengan menaikkan pH hingga 7.0. Disamping itu penggunaan uap panas di kamar kaca dapat pula dilakukan, dalam hal ini menciptakan tanaman yang toleran atau resisten terhadap penyakit adalah cara yang baik.

Persaingan antara jasad mikro

Disamping persaingan antara jasad mikro dengan tanaman juga terdapat persaingan diantara sesama mereka. Di bawah pengaruh bahan organik segar, jasad *heterotropik*

(bakteri, fungsi, aktinomisetes) lebih banyak dari jasad *ototropik*, sebagai akibat persaingan makanan. Sejumlah jasad mikro tertentu dapat mengeluarkan sejenis bahan kimia yang dapat membunuh jasad mikro lainnya, dan sekarang dikenal sebagai antibiotika. Diantaranya adalah *penesilin*, *streptomisin*, dan *areomisin*. Sejak penemuan antibiotika tersebut cara-cara pengobatan manusia telah herubah secara drastik.

B. Bahan Organik Tanah

Bahan organik merupakan bahan penting dalam menciptakan kesuburan tanah, baik secara fisika, kimia maupun dari segi biologi tanah. Bahan organik adalah bahan pemantap agregat tanah yang tiada taranya. Sekitar setengah dari Kapasitas Tukar Kation (KTK) berasal dari bahan organik yang merupakan sumber hara tanaman. Disamping itu bahan organik adalah sumber energi dari sebagian besar organisme tanah. Dalam memainkan peranan tersebut bahan organik sangat ditentukan oleh sumber dan susunannya oleh karena kelancaran dekomposisinya, serta hasil dekomposisi itu sendiri. Faktor-faktor mana akan ditinjau lebih lanjut.

1. Sumber Bahan Organik Tanah

Sumber primer bahan organik adalah jaringan tanaman berupa akar, batang, ranting, daun, bunga, dan buah. Jaringan tanaman ini akan mengalami dekomposisi dan akan terangkut ke lapisan bawah serta di inkorporasikan dengan tanah. Tumbuhan tidak saja sumber bahan organik tanah, tetapi sumber bahan organik dari seluruh makhluk hidup. Sumber sekunder bahan organik adalah binatang. Fauna atau binatang terlebih dahulu harus menggunakan bahan organik

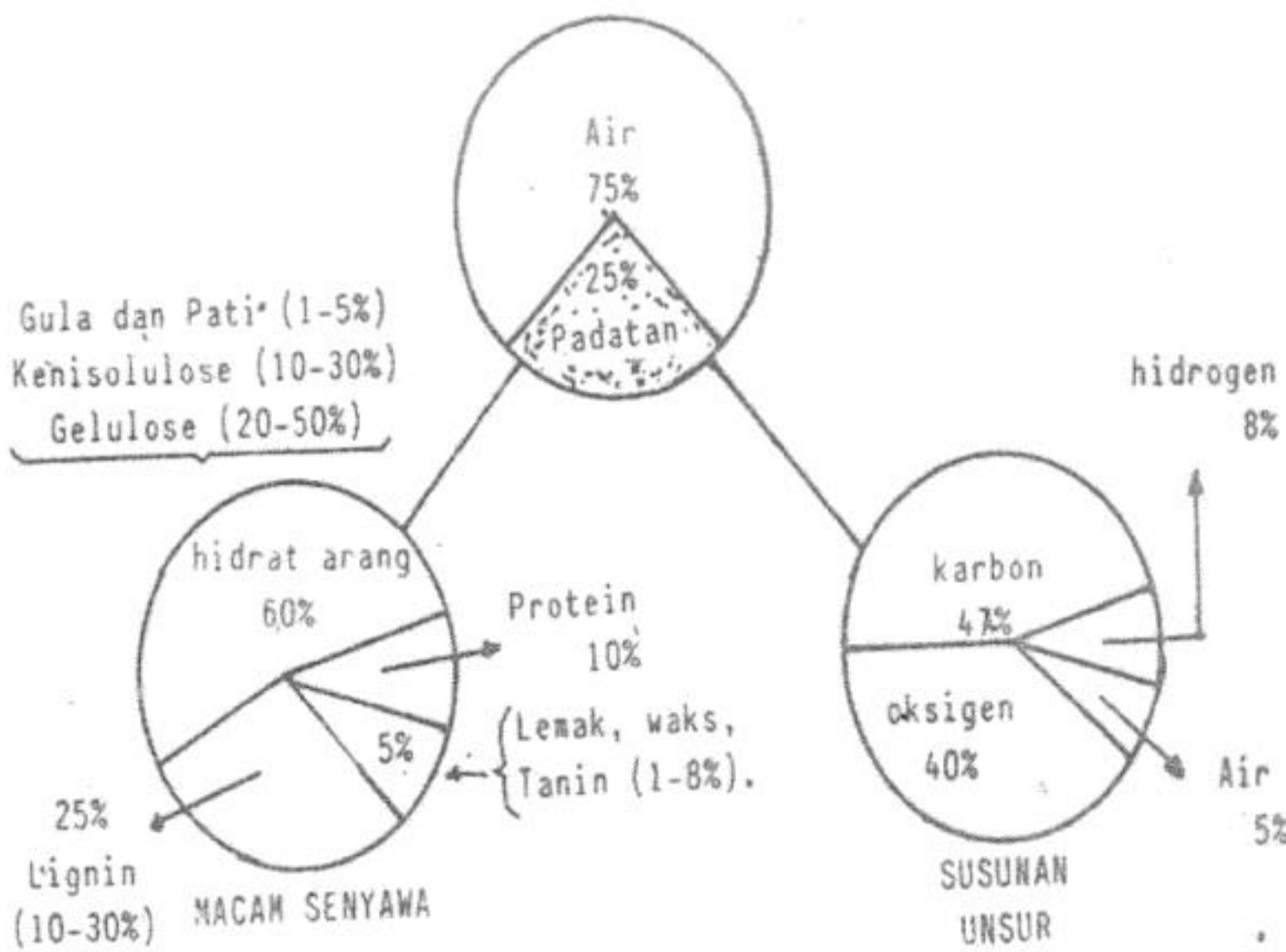
tanaman, setelah itu barulah binatang menyumbangkan pula bahan organiknya.

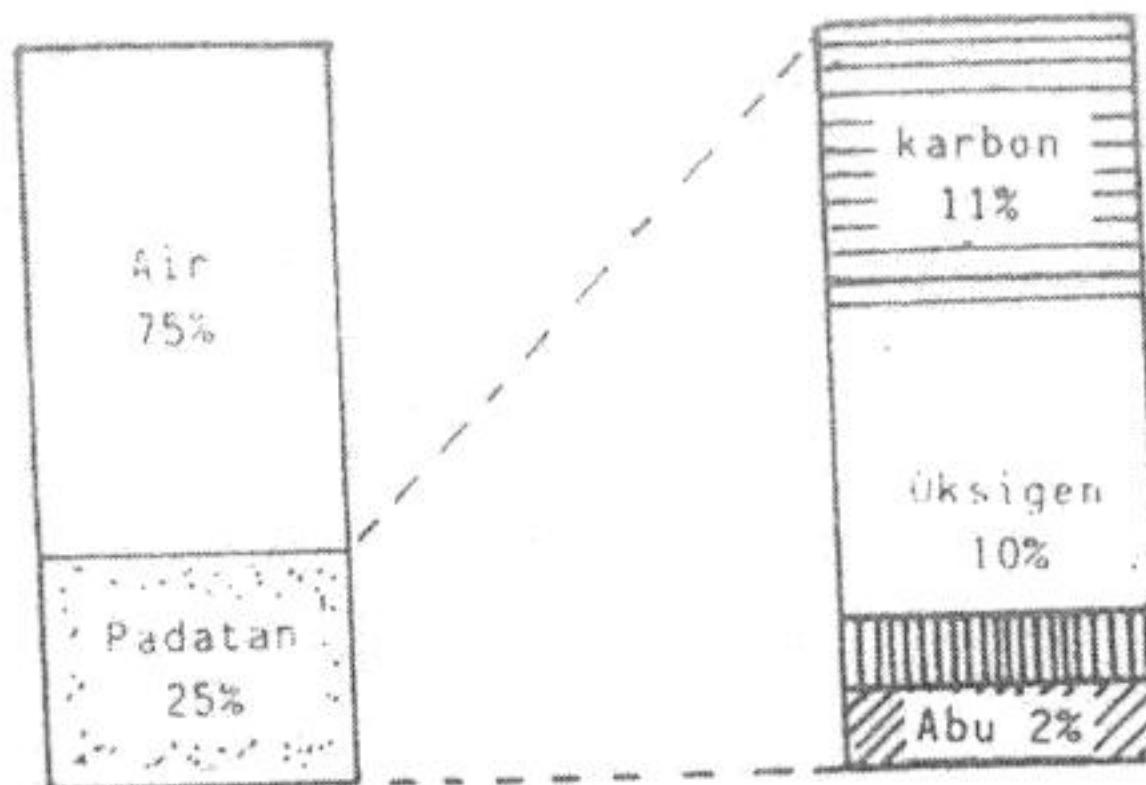
Berbeda sumber bahan organik tanah tersebut akan berbeda pula pengaruh yang disumbangkannya ke dalam tanah. Hal itu berkaitan erat dengan komposisi atau susunan dari bahan organik tersebut. Komposisi atau susunan jaringan tumbuhan akan jauh berbeda dengan jaringan binatang. Pada umumnya jaringan binatang lebih cepat hancur daripada jaringan tumbuhan. Jaringan tumbuhan sebagian besar tersusun dari air yang beragam dari 60 - 90% dan rata-rata sekitar 75%. Bagian padatan sekitar 25% dari hidrat arang (60%), protein (10%), lignin (10 - 30%), dan lemak (1 - 8%). Ditinjau dari susunan unsur, karbon merupakan bagian yang terbesar (44%), disusul oleh oksigen (40%), hidrogen dan abu masing-masing sekitar 8%. Susunan abu itu sendiri terdiri dari seluruh unsur hara yang diserap dan diperlukan tanaman, kecuali C, H, dan O. Untuk jelasnya perhatikan Gambar 5.2 dan 5.3.

Walaupun kadar abu yang terdiri dari berbagai unsur itu hanya sekitar 8%, tetapi mereka memainkan peranan yang amat penting. Unsur-unsur C, H dan O yang mendominasi bahan kering tanaman tidak dapat bereaksi tanpa adanya unsur N, P, K, Ca, Mg dan unsur-unsur mikro lainnya, karena itu pengaruh mereka harus mendapat perhatian. Karbohidrat tersusun dari C, H, dan O mulai dari bentuk gula sederhana sampai selulosa. Lemak merupakan gliserida dan asam lemak seperti *butirat*, *stearat*, *oleat* dan lain-lain. Lignin yang ditemukan dalam jaringan tua juga tersusun dari C, H, dan O dalam bentuk struktur lingkaran. Protein merupakan senyawa paling kompleks yang tersusun dari C, H, O, N, P, S, Fe dan beberapa unsur lainnya.

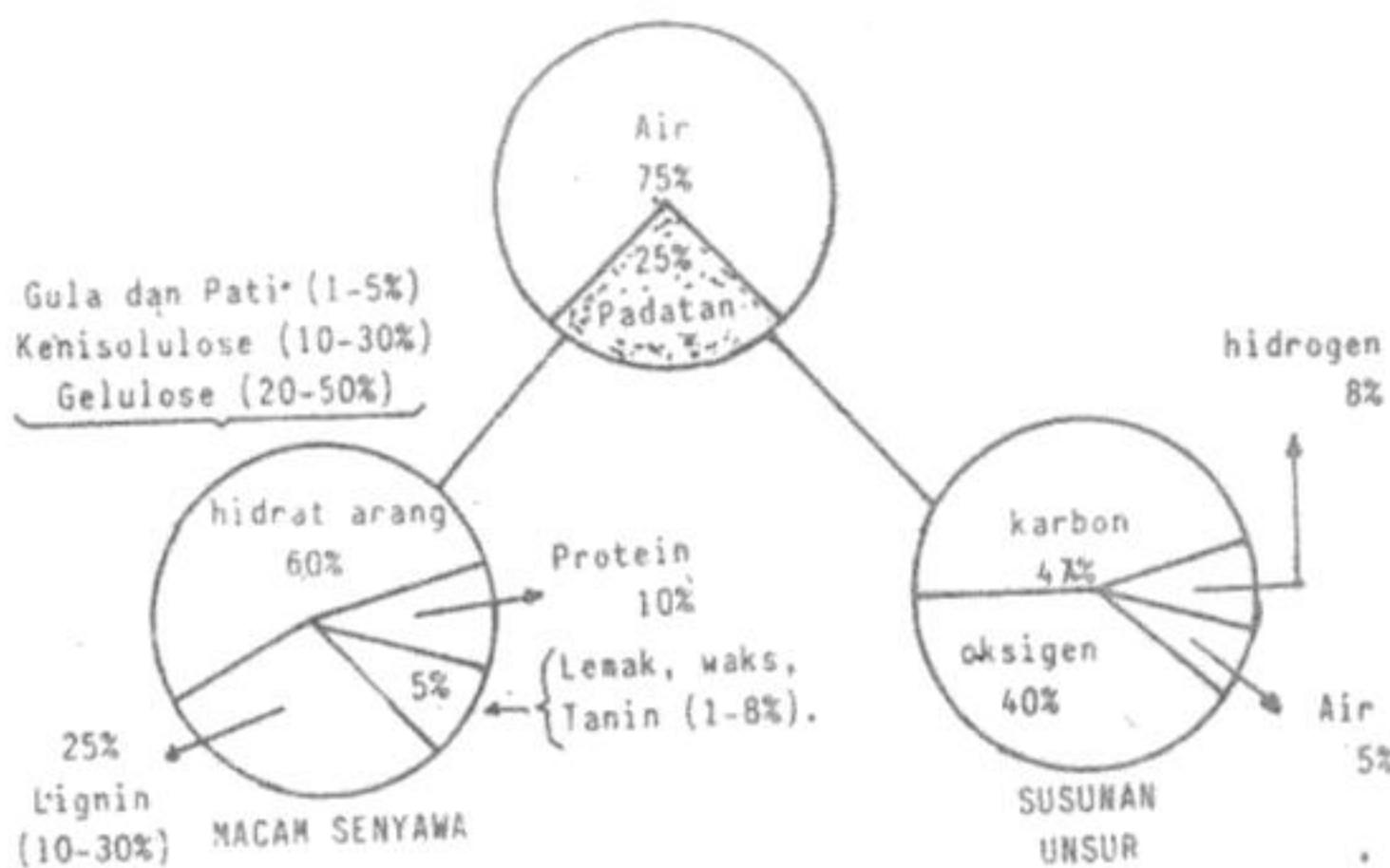
2. Pelapukan Bahan Organik dan Hasilnya

Sumber dan komposisi bahan organik yang telah dikemukakan sangat menentukan kecepatan dekomposisi dan senyawa yang dihasilkannya. Kaitan tersebut disajikan dalam Tabel 5.6. Berdasarkan kecepatan reaksi dekomposisi, bahan organik dapat dikelompokkan menjadi senyawa yang cepat dan yang lambat sekali didekomposisikan. *Hemi selulosa* merupakan senyawa yang berada di antara cepat dan lambat didekomposisikan. Bahan organik cepat didekomposisikan adalah: (a) gula, zat pati, dan protein sederhana, (b) protein kasar, dan (c) hemi selulosa. Bahan organik lambat sekali didekomposisikan adalah: (a) Hemi selulosa, (b) Selulosa, dan (c) Lignin, lemak, waks, dan lain-lain.





Gambar 5.2. Susunan dari jaringan tumbuhan hijau.
Jaringan tanaman yang padat sebagian besar terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen, nitrogen dimasukan dalam abu.



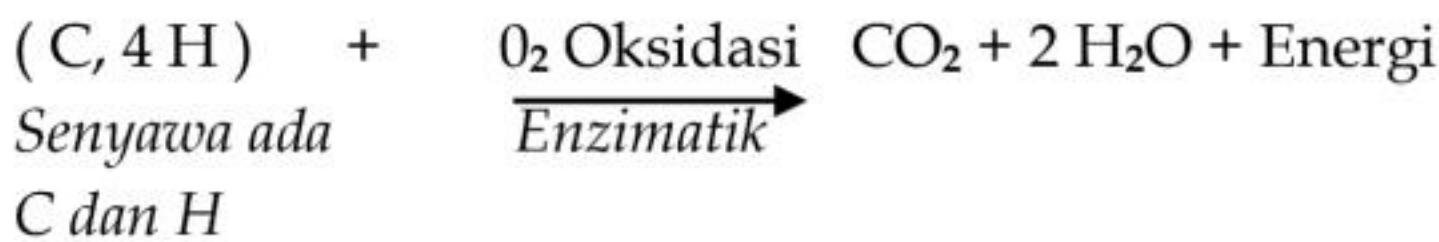
Gambar 5.3. Susunan dari bahan tumbuhan hijau yang ditambahkan pada tanah. Semua unsur inorganik, termasuk nitrogen, diwakili oleh abu Kisaran prosentase yang umum diberikan di antara tanda kurang (Waksman, S.A. 1948).

Tabel 5.6 Perubahan yang Terjadi Pada Bahan Organik Segar yang Diberikan Dalam Tanah

Kelompok pertama merupakan sumber energi yang mudah diperoleh, sedangkan lignin merupakan senyawa yang paling resisten terhadap hancuran, meskipun akhirnya juga merupakan sumber energi. Reaksi umum bahan organik dalam tanah adalah :

- Oksidasi enzimatik dengan CO₂ dan air, panas sebagai hasil utama.
- Reaksi spesifik pembebasan dan/atau inmobilisasi unsur esensial seperti N, P, S, dan lain-lain.
- Sintesa dari bahan resisten hancuran menjadi bentuk senyawa baru.

Proses Pembakaran, proses ini dikenal sebagai proses oksidasi, bahwa seluruh bahan organik yang dirombak mengalami proses pembakaran dan melibatkan kerja sama jasad mikro. Reaksi sederhananya adalah sebagai berikut:



Reaksi intermedier selalu menyertai reaksi tersebut, demikian pula reaksi-reaksi sampingan akan terjadi simultan. Dekomposisi protein selain menghasilkan CO₂ dan air juga menghasilkan amida, asam amino, ammonium dan nitrat, Sebagian N ini digunakan sebagai pembentuk tubuh jasad mikro, dalam hal ini bakteri dan fungsi dan aktinomisetes. Sebagian lagi dari N bereaksi dengan lignin dan senyawa resisten lainnya membentuk humus tanah. Penambahan bahan organik ke dalam tanah akan

meningkatkan jumlah dan aktivitas jasad mikro tanah dan kembali seperti semula sejalan dengan berkurangnya bahan organik tersebut. Hasil akhir dari reaksi enzimatik adalah: (a) energi yang dibebaskan oleh mikroba, (b) hasil akhir sederhana, dan (c) humus. Bahan Organik mempunyai sejumlah energi dan sebagian besar dapat diubah menjadi energi laten atau dibebaskan sebagai pemanas. Sisa tanaman di atas muka tanah mengandung 4-5 kcal/g bahan kering. Penambahan pupuk kandang sebanyak 10 ton, di mana sekitar 2,5 ton merupakan bahan kering, berarti penambahan sejumlah 9-11 juta kcal energi laten. Tanah yang mengandung 4% bahan organik mempunyai 170-200 juta kcal energi potensial tiap hektar lapisan olah, jumlah itu sama dengan 20 - 25 ton batubara.

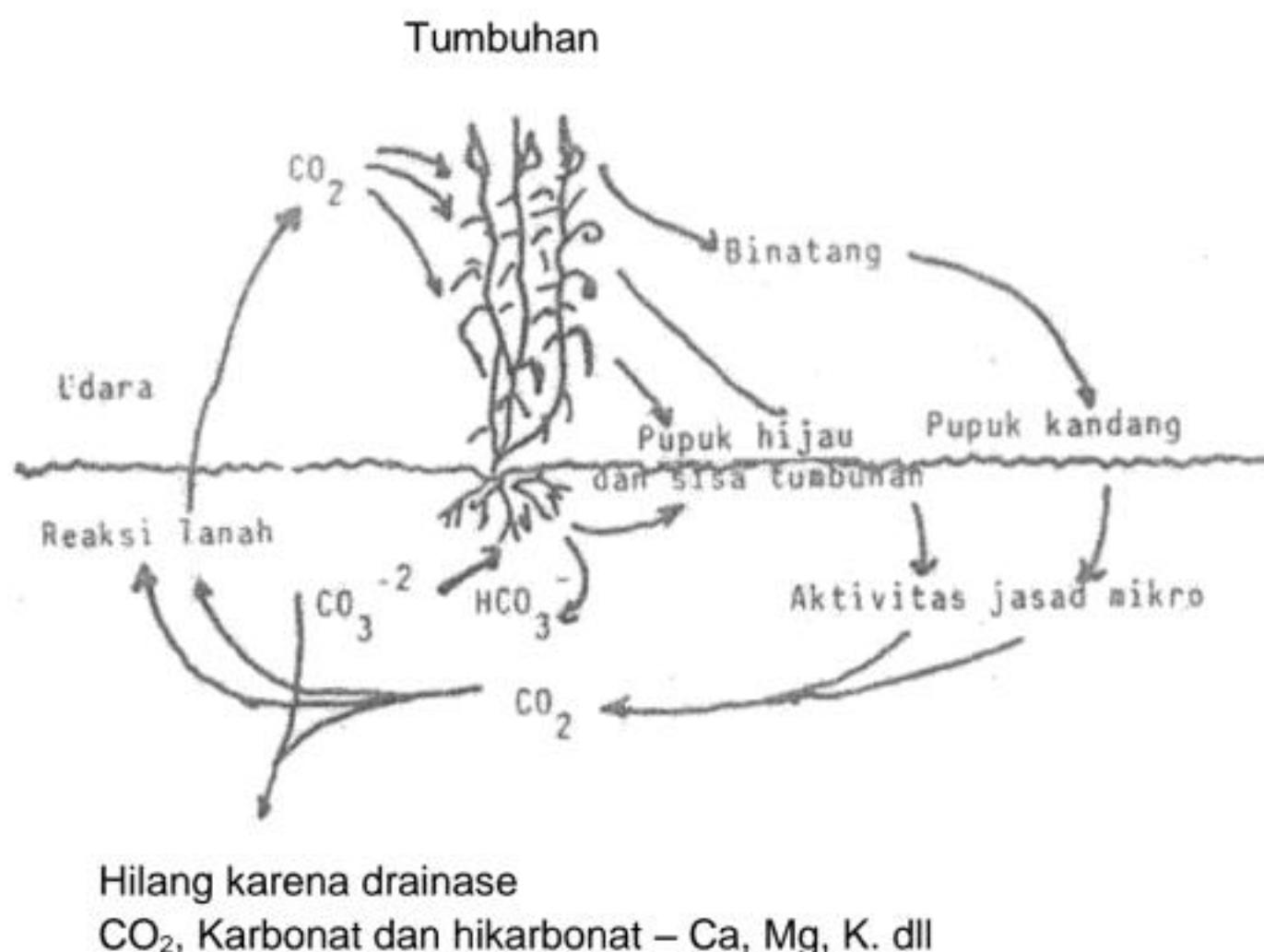
Dari jumlah energi tersebut hanya sebagian saja yang digunakan mikroba tanah. Sisanya tetap tersimpan dalam sisa bahan organik atau dibebaskan sebagai panas. Juga telah diketahui bahwa tanah sangat cepat kehilangan panas. Dekomposisi Bahan Organik secara sederhana adalah adanya air dan CO₂ yang merupakan senyawa sederhana yang mudah dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik. Senyawa yang terbentuk bila tidak digunakan oleh tumbuhan atau jasad tanah maka ia akan hilang. Hasil dekomposisi oleh jasad mikro adalah:

- a) Karbon : CO₂ CO₃²⁻, HCO₃⁻, CH₄, C
- b) Nitrogen : NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻,
- c) Belerang : S, H₂S, SO₃²⁻, SO₄²⁻, CS₂
- d) Fosfor : H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻
- e) Lainnya : K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H₂O, O₂, H₂H⁺, OH⁻
dan lain-lain

Peredaran dan pelapukan senyawa karbon

Karbon merupakan bahan organik yang utama, ditangkap tanaman berasal dari CO₂ udara. Kemudian bahan organik didekomposisikan kembali dan membebaskan sejumlah karbon. Peredaran karbon tersebut dilukiskan pada Gambar 5.4. Perubahan karbon di dalam, di atas atau di luar tanah disebut peredaran karbon. Dari Gambar 5.4 jelaslah bahwa dekomposisi bahan organik membebaskan sejumlah CO₂, demikian pula akar tanaman juga melepaskan CO₂. Sejumlah kecil CO₂ bereaksi dalam tanah membentuk asam karbohat, Ca, Mg, K karbonat, atau bikarbonat.

Garam-garam ini mudah larut dan hilang atau diserap ke dalam tanaman. Sebagian besar CO₂ yang dihasilkan tanah kembali lagi ke udara. Kemudian diambil lagi oleh tanaman melalui fotosintesa, selanjutnya tanaman dimakan oleh binatang dan manusia. Sampah tanaman bersama-sama sampah binatang dan manusia, menjadi bahan organik, dan didekomposisikan kembali. Dengan demikian dapat dipahami bahwa peredaran karbon adalah peredaran energi yang sangat kompleks, dan lebih tepat bila disebut peredaran hidup. Bila peredaran itu gagal maka terjadilah malapetaka bagi penghuni bumi ini.

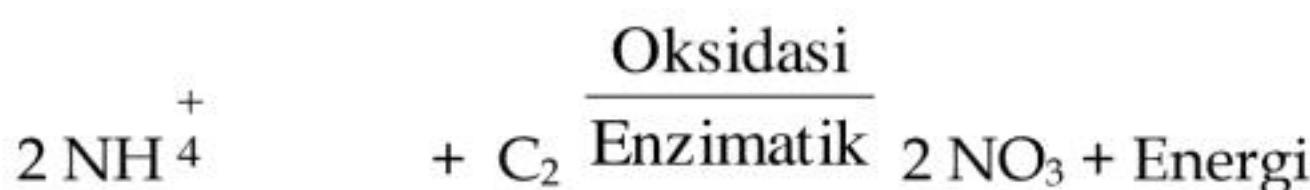
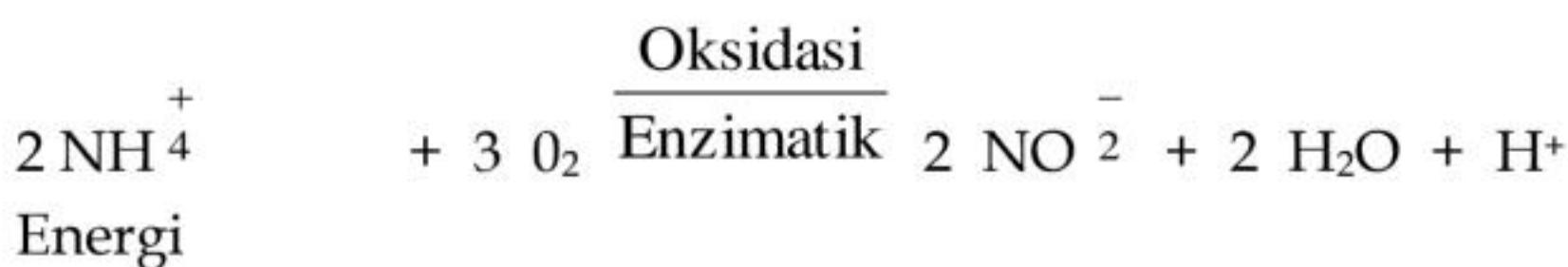


Gambar 5.4 Bagan Peredaran Karbon Dalam dan di Luar Tanah. Perhatikan tekanan pada CO_2 dengan dan tanpa tanah (Waksman, S.A. 1948, dalam Nurhayati, dkk., 1986)

Pelapukan Senyawa Nitrogen

Senyawa yang mengandung nitrogen sebagai basik dekomposisi bahan organik adalah: (a) amonium, (b) nitrit, (c) nitrat, dan (d) gas nitrogen. Amonium merupakan bentuk N pertama yang diperoleh dari penguraian protein melalui proses enzimatik yang dibantu oleh jasad heterotropik seperti bakteri fungi dan aktinomisetes. Amonium akan digunakan oleh jasad mikro selanjutnya oleh tanaman diubah menjadi nitrat. Nitrit merupakan hasil antara dalam perubahan amonium menjadi nitrat, sedangkan nitrat merupakan hasil akhir dari dekomposisi senyawa nitrogen. Perubahan amonium menjadi nitrit dan nitrat ini disebut nitrifikasi. Nitrifikasi merupakan reaksi oksidasi enzimatik yang dipengaruhi oleh kelembaban, suhu, aerasi, adanya Ca,

dan tersedianya amonium. Bakteri yang berperan dalam hal ini adalah kelompok ototropik, reaksinya adalah sebagai berikut:

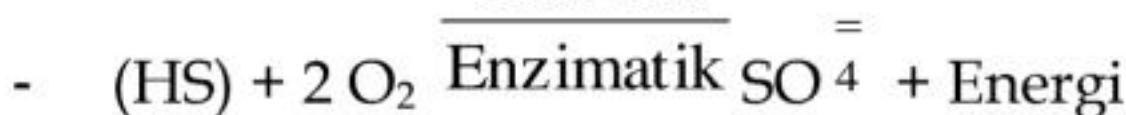


Dari reaksi itu dapat dilihat bahwa dalam pembentukan nitrit, ion H disumbangkan, sehingga menimbulkan suasana masam. Senyawa NO_3^- yang terbentuk akan digunakan oleh tanaman, jasad mikro, atau hilang tercuci. Dalam keadaan tertentu reduksi nitrit dan nitrat mungkin terjadi, sehingga membebaskan nitrogen atau nitrogen oksida yang mudah menguap ke udara. Diduga oleh para ahli bahwa sebagian besar kehilangan nitrogen melalui proses tersebut.

Pelapukan Senyawa Belerang

Senyawa organik, terutama yang mengandung N biasanya juga mengandung belerang (S), merupakan senyawa sederhana yang dibentuk oleh jasad heterotropik. Selanjutnya senyawa sederhana belerang ini dioksidasikan oleh jasad ototropik membentuk sulfat, bentuk ini dapat dimanfaatkan oleh tanaman atau hilang melalui air pengairan. Secara sederhana reaksinya oksidasi senyawa belerang adalah :

Oksidasi



Pelapukan Senyawa Fospor

Melalui proses pelapukan fospor organik dapat diubah menjadi fospor inorganik, seperti H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} yang dapat diserap oleh tanaman. Pemberian pupuk P ke dalam tanah sering diubah oleh jasad mikro menjadi tubuhnya, dengan kata lain fospor dalam tanah dapat terikat dalam bentuk organik. Sebagian besar sumber P adalah fospor organik, selanjutnya P organik itu diubah lagi oleh jasad mikro lainnya menjadi P yang tersedia bagi tanaman. Disamping itu perlu pula diingat bahwa CO_2 yang dihasilkan akan membentuk H_2CO_3 dengan air, selanjutnya asam lemah ini menyumbangkan sejumlah ion H^+ yang memasamkan tanah atau melarutkan sejumlah basa-basa lainnya. Kapasitas tukar kation bahan organik demikian besar, dengan demikian ia dapat menahan sejumlah Ca, Mg, K sebagai penyumbang hara tanaman.

Humus dan Pembentukannya

Pengertian humus

Humus adalah senyawa kompleks yang agak resisten pelapukan, berwarna coklat, amorfus, bersifat koloidal, dan berasal dari jaringan tumbuhan atau binatang yang telah dimodifikasi atau disintesikan oleh berbagai jasad mikro.

Komposisi Humus

Komposisi humus adalah sebagai berikut: (a) Lignin berikatan dengan N, (b) Minyak, lemak dan resin, (c) Uronida dan karbon uronida, (d) Polisakarida berikatan N (amino-

polisakarida), dan (e) Protein dan liat. Kompoisi tersebut menunjukkan bahwa humus itu adalah senyawa kompleks, disini tampak N dilindungi yaitu bersenyawa dengan bahan tahan lapuk seperti lignin, lemak, polisakarida, dan liat. Pada pembicaraan terdahulu telah dijelaskan bahwa lignin, lemak dan polisakarida adalah senyawa organik yang lambat sekali didekomposisikan dan bahkan resisten. Bahan-bahan itu rupanya kemudian menjadi satu sebagai humus yang amat penting artinya bagi kesuburan tanah.

Sifat dan ciri humus

Sifat humus sebetulnya juga cukup kompleks sesuai dengan bahan penyusunnya. Namun, secara umum sifat dan ciri humus adlaah sebagai berikut:

- a) Bersifat koloidal seperti liat, tetapi amorfus
- b) Luas permukaan dan Jaya jerap jauh melebihi liat
- c) Kapasitas tukar kation (KTK) 150 - 300 me/100 g, liat hanya 8 - 100 me/100 g
- d) Daya jerap air 80 - 90% dari bobotnya, liat hanya 15-20%
- e) Daya kohesi dan plastisitasnya rendah, sehingga mengurangi sifat lekat dart liat dan membantu granulasi aggregat tanah.
- f) Misel humus tersusun dart lignin, poliuronida dan protein liat yang didampingi oleh CHONSP dan unsur lainnya
- g) Muatan negatif berasal dart gugus -COON dan OH yang aersebul di pinggiran di mana ion H dapat digantikan oleh kation lain
- h) Mempunyai kemampuan meningkatkan unsur hara tersedia seperti Ca, Mg, dan K
- i) Merupakan sumber energi jasad mikro

- j) Memberikan warna gelap pada tanah.

3. Peranan Bahan Organik

Peranan bahan organik ada yang bersifat langsung terhadap tanaman, tetapi sebagian besar mempengaruhi tanaman melalui perubahan sifat dan ciri tanah.

Pengaruh langsung bahan organik pada tumbuhan

Pengaruh langsung senyawa organik sebetulnya dapat diabaikan sekiranya kemudian tidak ditemukan bahwa beberapa zat tumbuh dan vitamin dapat diserap langsung dan dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Dulu dianggap orang bahwa hanya asam amino, alanin dan glisin yang diserap tanaman, serapan senyawa N tersebut ternyata relatif rendah daripada bentuk N lainnya. Sehubungan dengan hasil-hasil dekomposisi bahan organik dan sifat-sifat humus yang telah dikemukakan, maka dapat dikatakan bahwa bahan organik akan sangat mempengaruhi sifat dan ciri tanah. Secara ringkas pengaruh itu berikut ini.

Pengaruh bahan organik pada ciri fisika tanah

- a) Kemampuan menahan air meningkat
- b) Warna tanah menjadi coklat hingga hitam
Merangsang granulasi agregat dan memantapkannya
- c) Menurunkan plastisitas, kohesi dan sifat buruk
- d) lainnya dari liat.

Pengaruh bahan organik pada kimia tanah

- a) Meningkatkan daya jerap dan kapasitas tukar kation
- b) Kation yang mudah dipertukarkan meningkat
- c) Unsur N, P, S diikat dalam bentuk organik atau dalam tubuh mikro organisme, sehingga terhindar dari pencucian, kemudian tersedia kembali

- d) Pelarutan sejumlah unsur hara dari mineral oleh asam humus.

Pengaruh bahan organik pada biologi tanah

- a) Jumlah dan aktivitas metabolismik organisme tanah meningkat
- b) Kegiatan jasad mikro dalam membantu dekomposisi bahan meningkat dan organik juga meningkat.

4. Nisbah Karbon-Nitrogen

Telah disebutkan sebelumnya, bahwa ada kaitan yang erat antara karbon dan nitrogen dalam tanah. Jaringan tanaman sebagian besar tersusun dari karbon, sedangkan nitrogen jauh lebih sedikit. Oleh karena itu ia juga mempengaruhi jumlah CO₂ dan N yang dihasilkan pada proses dekomposisi, nisbah C-N dalam tanah berkisar antara 8/1 hingga 15/1 atau rata-rata 10/1 sampai 12/1. Perubahan itu berkorelasi dengan iklim seperti curah hujan dan suhu, di samping itu juga dipengaruhi oleh C/N dalam tanaman dan jasad mikro itu sendiri. Nilai C/N daerah kering lebih besar daerah basah, demikian pula di wilayah panas C/N lebih tinggi wilayah dingin. Hal itu berkaitan dengan aktivitas organisme tanah yang telah dibicarakan.

Nilai C/N tumbuhan berkisar antara 20/1 hingga 30/1 pupuk hijau dan pupuk kandang dapat mencapai 90/1, sedangkan dalam tubuh organisme nilai C/N adalah 4/1 hingga 9/1. Tampaknya nilai C/N tanah berada antara C/N tumbuhan segar dan jasad mikro. Nilai C/N bahan organik segar menentukan reaksi dalam tanah, apabila C/N bahan organik tinggi maka akan terjadi persaingan N antara tanaman dan mikroba, dalam hal ini N diimmobilisasi. Apabila nitrifikasi baik, maka C/N akan rendah, dengan

demikian bahan organik bisa cepat habis, untuk mempertahankan bahan organik dalam tanah harus disediakan N yang cukup. Suatu dekomposisi bahan organik yang lanjut dicirikan oleh C/N yang rendah, sedangkan C/N yang tinggi menunjukkan dekomposisi belum lanjut atau baru mulai. Nitrat sebagai hasil pelapukan bisa berubah-ubah, mula-mula tinggi karena kondisi memungkinkan. Kemudian ditambahkan bahan organik dengan C/N tinggi, sehingga jasad mikro berkembang dengan pesatnya dan menginmobilisasikan sebagian besar N, akibatnya NO₃ menurun sekali dalam tanah sampai humifikasi selesai. Diwaktu N tidak dibutuhkan lagi oleh organisme, maka nitrifikasi berjalan kembali dan NO₃ manjak melebihi jumlah semula, pada keadaan demikian C/N menjadi rendah kembali.

5. Faktor yang Mempengaruhi Bahan Organik Tanah

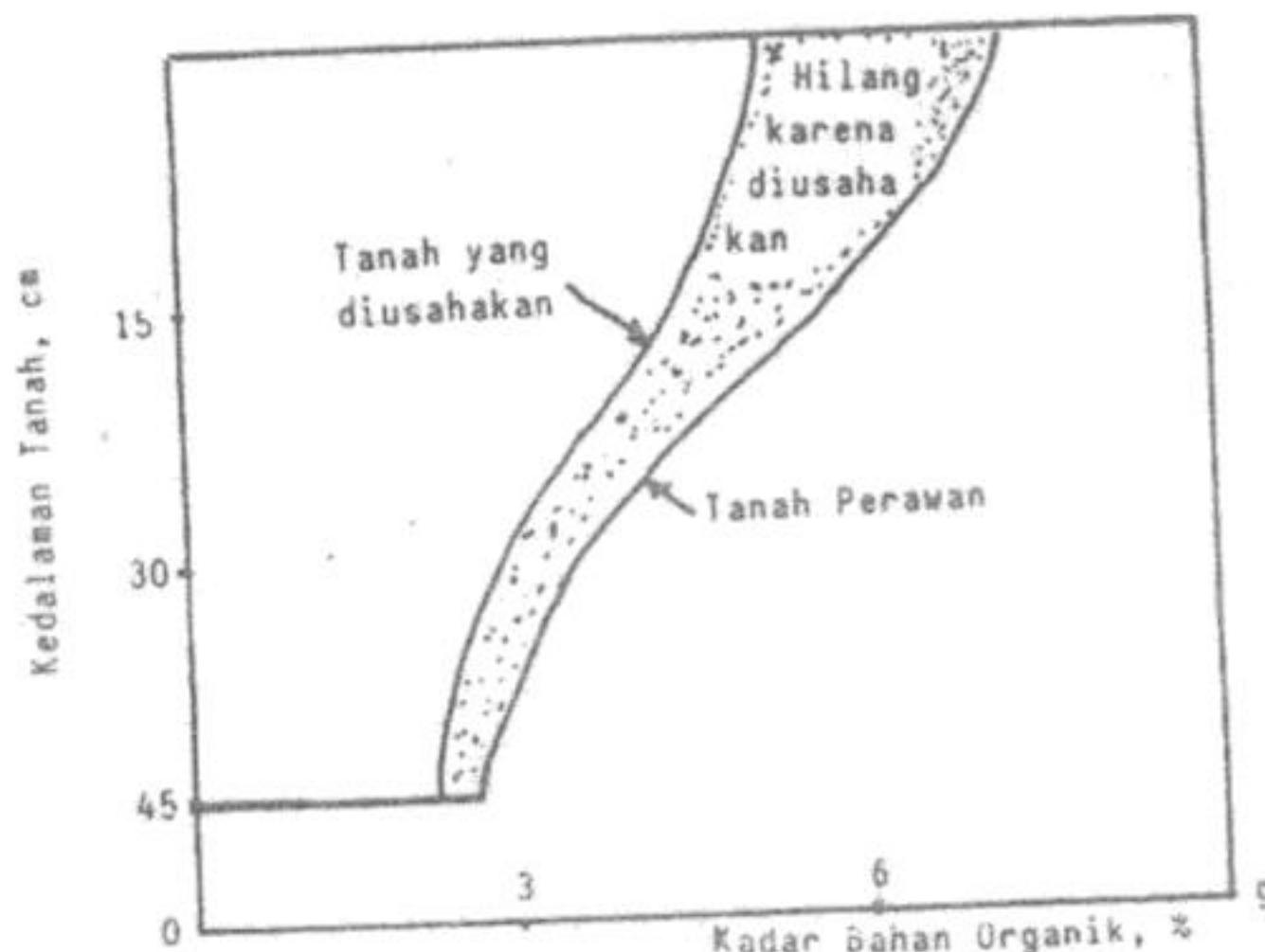
Diantara sekian banyak faktor yang mempengaruhi kadar bahan organik dan nitrogen tanah adalah: kedalaman tanah, iklim, tekstur tanah, dan drainase. Kedalaman lapisan menentukan kadar bahan organik dan N, kadar bahan organik terbanyak ditemukan di lapisan atas setebal 20 cm (15-20%), makin ke bawah makin berkurang yang disebabkan akumulasi bahan organik terkonsentrasi di lapisan atas (Gambar 5.5). Faktor iklim yang berpengaruh adalah suhu dan curah hujan, makin ke daerah dingin kadar bahan organik dan N makin tinggi. Pada kondisi yang sama kadar bahan organik dan N bertambah dua hingga tiga kali tiap suhu tahunan rata-rata turun 10°C. Apabila kelembaban efektif meningkat kadar bahan organik dan N juga bertambah, hal itu menunjukkan suatu hambatan kegiatan organisme tanah.

Tekstur tanah juga cukup berperan, makin tinggi jumlah liat makin tinggi pula bahan organik dan N tanah apabila kondisi lainnya sama. Tanah berpasir memungkinkan oksidasi yang baik, sehingga bahan organik cepat habis. Drainase buruk, dimana air berlebih, oksidasi terhambat karena aerasi buruk menyebabkan kadar bahan organik dan N tinggi daripada tanah berdrainase baik. Di samping itu vegetasi penutup tanah dan adanya kapur juga mempengaruhi kadar bahan organik tanah. Vegetasi hutan akan berbeda dengan padang rumput dan tanah pertanian. Faktor-faktor ini saling berkaitan, sehingga sukar menilainya sendiri.

6. Pengelolaan Bahan Organik Tanah Masalah

Masalah yang dihadapi pada tanah yang ditanami terus menerus adalah merosotnya kadar bahan organik tanah. Penurunan kandungan bahan organik lebih dari 40% sudah berbahaya sekali karena mengakibatkan produksi menurun. Mengingat peranan bahan organik tanah tidak saja perlu dipertahankan, tetapi harus ditingkatkan secara teratur.

Pengelolaan



Gambar 5.5. Rata-rata bahan organik sebelum dan sesudah digunakan selama 43 tahun.

Kandungan bahan organik sebenarnya mudah untuk dipertahankan ataupun ditingkatkan (Gambar 5.6). Untuk mempertahankan dan meningkatkan bahan organik tersebut dapat dilakukan cara-cara berikut ini:

- Sumber bahan organik tidak disia-siakan seperti ini:
 - Membenamkan bahan hijau sukulen
 - Menambahkan pupuk kandang
 - Menutup sisa tanaman di atas tanah
- Mempertahankan jaminan pelapukan melalui
 - Menjaga reaksi tanah (pH)
 - Menciptakan drainase yang baik
 - Menambahkan pupuk yang cukup
- Rotasi tanaman, mengatur penanaman secara bergilir dapat mempertahankan bahan organik tanah. Setiap Jenis akan menghasilkan jumlah bahan organik berbeda, sehingga dapat saling mengimbangi.

Sehubungan dengan hal-hal yang telah dikemukakan, suatu pengelolaan tanah yang baik, hendaknya selalu mencari Cambaban bahan organik yang serasi, menciptakan sifat fisika dan kimia optimum, mengatur urutan tanaman yang tidak merusak kehilangan unsur karena kegiatan biologi sekecil-kecilnya. Dengan demikian, setiap kali panen tidak akan terjadi kehilangan humus yang menyolok dengan kata lain kadar bahan organik tanah yang sangat berguna itu dapat dipertahankan atau ditingkatkan.

C. Ringkasan

Jasad hidup tanah terdiri atas kelompok yang menguntungkan dan yang merugikan tanaman, keduanya dapat digolongkan ke golongan fauna dan flora yang dalam hal ini terbatas pada binatang-binatang kecil (mikro fauna) dan tumbuhan tingkat rendah (mikroflora). Aktivitas kehidupan organisme tanah ini dipengaruhi oleh :

- a) Iklim (curah hujan, suhu, dll)
- b) Tanah (kemasaman, kelembaban, suhu, hara, dll)
- c) Vegetasi (hutan, padang rumput, belukar, dll)

Diperkirakan 60-80% metabolisme dalam tanah adalah hasil aktivitas mikroflora tanah, berarti jauh lebih besar daripada kelompok fauna. Dalam hal ini mikroflora didominasi oleh bakteri. Peranan jasad hidup sangat besar dalam kesuburan tanah baik dari segi fisika tanah maupun dari sudut kimianya. Hal itu terlihat pada pengaruhnya yang menguntungkan yaitu:

- a) Dekomposisi bahan organik, dalam hal ini bahan organik dihancurkan, unsur hara yang terikat dibebaskan sedangkan asam organik yang dihasilkan melarutkan mineral.

- b) Transformasi anorganik membentuk senyawa ammonium dan nitrat yang dibutuhkan tanaman, mangan dan besi dioksidasikan menjadi tidak larut, sehingga tidak meracun bagi tanaman.
- c) Pengikatan nitrogen dari udara hanya akan terjadi apabila ada mikro organisme tanah.

Pengaruh yang merugikan dari organisme adalah berupa rusaknya tanaman dan timbulnya penyakit, serta terjadi persaingan hara dan O₂ dengan tanaman. Sumber bahan organik adalah jaringan tanaman (sumber primer) dan jaringan hewan (sumber sekunder). Jaringan hewan lebih mudah dilapuki daripada jaringan tanaman. Senyawa organik yang mudah lapuk antara lain adalah gula, pati, protein dan hemiselulosa. Sedangkan yang sukar dilapuki adalah hemiselulosa, lignin, lemak, waks dan lain-lain. Hasil perubahan bahan organik meliputi energi, air, C, N, S, P, K, Ca, Mg, dan lain-lain.

Peredaran karbon merupakan peredaran energi atau peredaran kehidupan. Peredaran itu dimulai dari penangkapan CO₂ oleh tanaman melalui fotosintesa. Selanjutnya di manfaatkan oleh tanaman dan hewan. Kemudian dibebaskan kembali melalui pelapukan. Nilai C/N yang rendah menunjukkan proses pelapukan yang lanjut, sebaliknya C/N yang tinggi menunjukkan proses pelapukan yang masih mudah atau terhambat. Humus adalah suatu bahan aktif tanah yang bersifat koloidal dan merupakan hasil akhir dari pelapukan bahan organik. Humus tersusun dari senyawa organik yang kompleks, mempunyai KTK dan daya jerap air yang tinggi. Bahan organik tanah sangat berperan dalam hal memperbaiki sifat fisik tanah, meningkatkan aktivitas biologi tanah, serta meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman. Kadar bahan

organik tanah dipengaruhi oleh kedalaman, iklim, drainase dan pengelolaan dari tanah tersebut. Mengingat peranannya, bahan organik tanah perlu dipertahankan melalui suatu pengelolaan yang baik.

D. Daftar Bacaan

Fort, H.D. 1978. *Fundamentals of Soil Science*, 6Th. Ed. John Wiley & Sons, New York.

Giacomo Certini & Riccardo Scalenghe, 2006. *Soil: Basic Concept and Future Challenges*. Cambridge University Press.

Nico Van Breemen & Peter Bruuno, 2006, *Soil Formation*, New York: Kluwer Academic Publishers.

Nurhayati Hakim, dkk. 1986. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*, Lampung: Penerbit Universitas Lampung.

Randall Schaetzl and Sharon Anderson, 2016, *Soil: Genesis and Geomorphology*, Cambridge.

Soepardi, O. 1979. *Sifat dan Ciri Tanah, Saduran dari The Nature and Properties of Soils*, oleh N.C. Brady.

E. Contoh Latihan

1. Coba anda jelaskan tentang pengaruh iklim, tanah dan vegetasi terhadap aktivitas jasad hidup tanah
2. Tunjukkanlah bahwa aktivitas jasad hidup sangat berperan dalam perharaan bagi tanaman.

PERTEMUAN KULIAH KE-6 MINERAL TANAH

Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu Kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat (QS Fathir: 27)

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan dapat memahami tentang klasifikasi mineral tanah, proses pembentukannya, dan peranan mineral tanah.

Tujuan Khusus Pembelajaran

Setelah mahasiswa mempelajari bab ini, diharapkan mahasiswa dapat:

- 1) Menjelaskan proses pembentukan dan tipe mineral tanah
- 2) Menjelaskan tipe mineral liat, struktur kimia dan kristal mineral liat,
- 3) Memahami dan menjelaskan peranan mineral tanah bagi Tanaman.

Ditinjau dari komponen tanah, mineral adalah bahan anorganik tanah. Pembicaraan mengenai mineral secara umum dapat diikuti pada bagian Geologi/Mineralogi. Khusus yang berkaitan dengan ilmu tanah telah disinggung sewaktu membicarakan bahan induk tanah pada bagian terdahulu. Pada bagian ini akan kita bicarakan beberapa mineral yang penting yang banyak ditemukan dalam tanah, serta kaitannya dengan ciri tanah.

A. Klasifikasi Mineral Tanah

Berdasarkan sifat-sifat tertentu dari mineral, orang telah mengelompokkannya menjadi berbagai-bagai kelompok. Misalnya, berdasarkan proses kejadiannya, mineral digolongkan kepada mineral primer dan sekunder. Mineral primer adalah mineral yang terjadi langsung dari magma dan menyusun diri membentuk batuan-batuhan tertentu sebagai kerak bumi, sedangkan mineral sekunder adalah mineral yang terjadi dari mineral primer yang telah mengalami pelapukan atau pelarutan dan kemudian menkriatal kembali.

Selanjutnya mineral dikelompokkan pula berdasarkan warnanya yaitu mineral gelap dan terang. Mineral gelap maksudnya mineral yang berwarna hitam, hijau, coklat atau biru dan sebagainya. Mineral yang demikian lebih mudah dilapuk daripada mineral terang. Mineral terang adalah mineral yang tidak berwarna atau berwarna putih seperti kuarsa. Ada lagi penggolongan mineral berdasarkan bobot jenisnya yaitu mineral berat ($B.J > 2.9$) dan mineral ringan ($B.J < 2.9$). Penyelidikan mineral berat mempunyai arti tertentu bagi genesa dan klasifikasi tanah, karena dapat menentukan homogenitas suatu tanah.

Berdasarkan kedudukannya dalam menyusun batuan, mineral dapat dibagi menjadi mineral utama, mineral tambahan, dan mineral pengiring. Mineral utama menduduki sebagian besar dari batuan tersebut, sedangkan mineral tambahan hanya sebagian kecil saja, dan mineral pengiring kadang-kadang ada tetapi kadang-kadang tidak dijumpai dalam batuan tersebut. Selain dari pengelompokan tersebut Berzelius mengklasifikasikan mineral berdasarkan sifat dan susunan kimianya dalam 8 kelas mineral sebagai berikut :

- 1) Unsur tunggal, seperti emas (Au), intan (c), dan lain-lain
- 2) Senyawa sulfida, seperti perak sulfida (AgS), dan lain-lain
- 3) Senyawa oksida dan hidroksida, seperti hematit (Fe_2O_3), lemonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), dan lain-lain.
- 4) Senyawa halogen, seperti silver (KCl), halit (Na Cl), dan lain-lain.
- 5) Senyawa karbonat, nitrat seperti kalsit (Ca CO_3) sendawa cili (Na NO_3), dan lain-lain.
- 6) Senyawa sulfat, chromat, molibdat, seperti gips ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tawas ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 3.24 \text{H}_2\text{O}$), dan lain-lain.
- 7) Senyawa fosfat, arsenat, vasnadat, seperti apatit ($\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_5$), dan lain-lain
- 8) Senyawa silikat; seperti kuarsa, velsfat, peroksia, amfibol, mika dan mineral liat.

Semua pengelompokan tersebut mempunyai kaitan yang erat dengan sifat dan ciri tanah. Misalnya suatu tanah mengandung mineral primer yang jauh lebih banyak daripada mineral sekunder, dalam hal ini dapat dikatakan bahwa tanah tersebut belum mengalami pelapukan yang lanjut. Suatu contoh tanah lainnya mengandung mineral gelap yang agak banyak, mineral tersebut termasuk pada mineral berat dan rupanya terdiri atas mineral Augit dan Hiperstin. Dari komponen yang demikian, maka kita katakan bahwa tanah ini akan mudah dilapuk karena berwarna gelap dan akan mengandung kedua unsur tersebut.

Dari berbagai dasar pengklasifikasian mineral tersebut, penggolongan berdasarkan sifat dan susunan kimia jauh lebih berarti, dengan catatan tanpa mengabaikan dasar pengelompokan yang lain. Dari kedelapan kelas yang dikemukakan oleh Berzelius kelas silikat adalah mineral

yang dominan baik sebagai penyusun batuan maupun yang ditemukan dalam tanah. Oleh karena itu mineral golongan silikat akan menjadi perhatian utama dalam tulisan ini. Kemudian dilengkapi dengan mineral kelas lainnya. Mineral-mineral penting tersebut disajikan dalam Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Mineral Primer dan Sekunder, Silikat dan Bukan Silikat yang Umum Dijumpai dalam Tanah

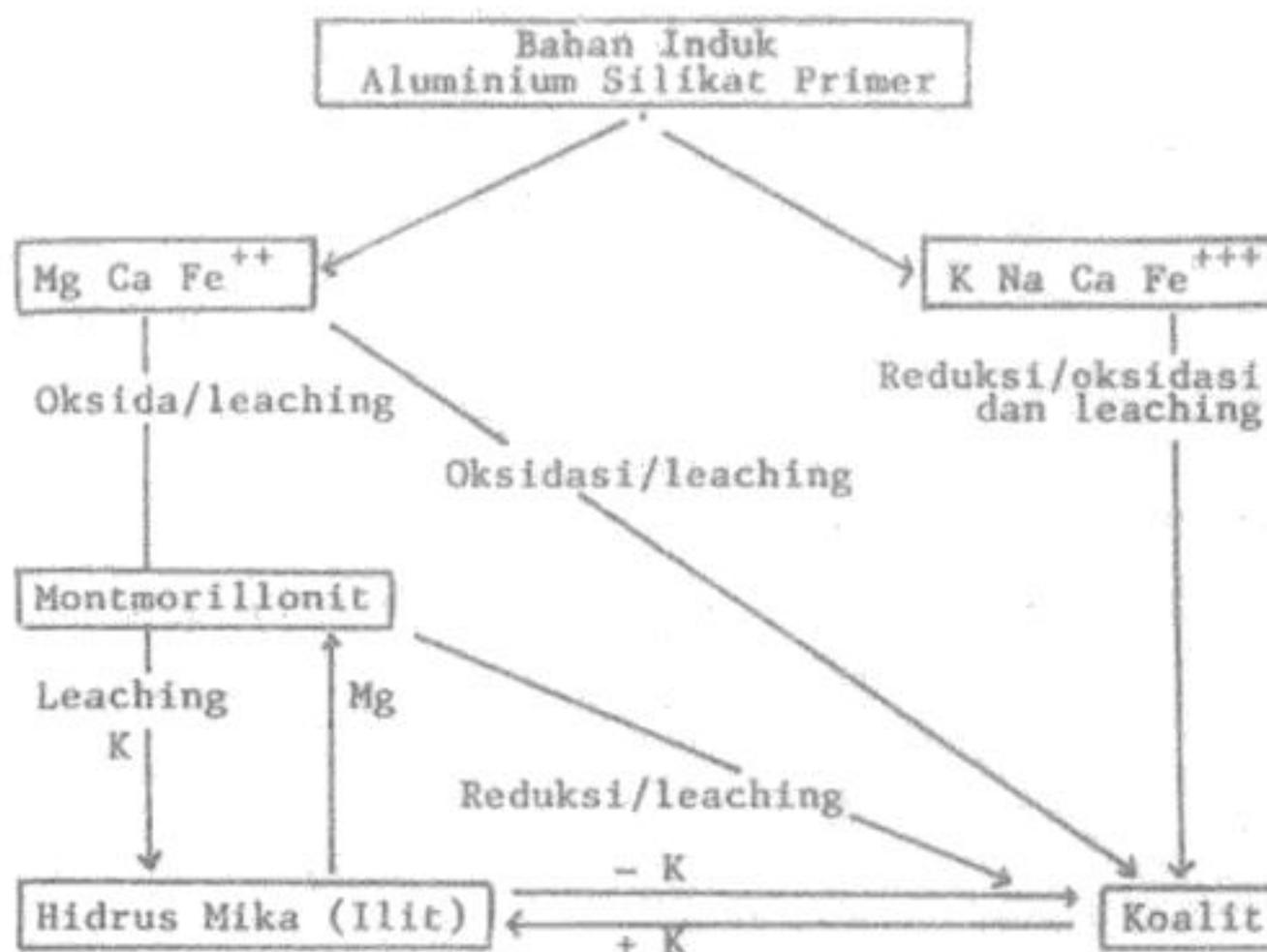
Kelompok/ Nama	Rumus	
<u>Mineral Silikat Primer</u>		
Kuarsa		S1 O2
Velspat	- Ortoklas	K A1 Si3 O8
	- Na-	Na A1 Si3 O8
	Plagioklas	Ca A12 Si O8
	- Ca-	
Piroksin	Plagioklas	
	- Augit	Ca2 (A1, Fe) 4 (Mg, Fe) 4Si6
	- Hipersten	O24
Amfibol	- Diopsida	(Mg, Fe) SiO3
		(Mg, Ca) SiO3
Amfibol	- Hornblende	Ca, Al, MgFe, Si8 O22 (OH) 2
	- Aktinolit	Ca2 (Mg, Fe) Si8 O22 (OH) 2
Mika	- Biotit	KAL (Mg, Fe) 3 Si3 O1O (OH) 2
	- Muskovit	KAL 3 Si3 O1O (CH) 2
<u>Mineral Silikat Sekunder</u>		
Mineral liat	- Kaolit	Al4Si4 O1O (OH) 4
	- Nontmorillonit	(Al, Mg) 4 Si8 O2O (OH) 4
	- Illit	Al4SiAl O2O (OH) 4 K
	- Vermikulit	Mg6Si7Al O2O (OH) 4 K
	- Khlorit	Mg6Si6Al12 O2O (OH) 4 Mg6 (OH) 12
<u>Mineral Sekunder Lainnya</u>		
Kalsit		CaCO3
Dolomit		CaMg (CO3)2
Gips		CaSO4 *H2O
Apatit		Ca5 (PO4) 3 (Cl, F)
Limonit		Fe2 O3. 3H2 O
Hematit		Fe2 O3
Gipsit		Al2 O3. 3H2 O

B. Pembentukan Mineral Sekunder

Mineral sekunder adalah mineral yang terbentuk dari hasil pelarutan mineral primer yang telah mengkristal kembali. Disamping itu mineral sekunder juga berasal dari pelarutan sisa-sisa organisme seperti kerangka binatang kapur, bangkai dan kotoran burung layang-layang yang kemudian mengkristal kembali bersama unsur-unsur lainnya. Pengkristalan larutan-larutan tertentu di permukaan bumi juga menghasilkan mineral sekunder. Dalam tabel 6.1 diperlihatkan dua kelompok mineral sekunder, dimana kelompok mineral silikat sekunder lebih banyak berperan dalam aktivitas reaksi kimia fisik. Mineral kalsit dan dolomit merupakan hasil pengkristalan dari pelarutan binatang berkerangka kapur, sedangkan apatit merupakan pengkristalan dari pelarutan bangkai dan kotoran burung atau hewan-hewan berkerangka fosfat. Berbeda halnya dengan mineral sekunder silikat, begitu juga lemonit, hamatit dan gibsit karena terbentuk sebagai hasil penghancuran dan pengkristalan kembali dari mineral primer. Kelompok yang terakhir ini biasanya digolongkan pada mineral liat. Oleh karena spesifik maka akan dibicarakan tersendiri.

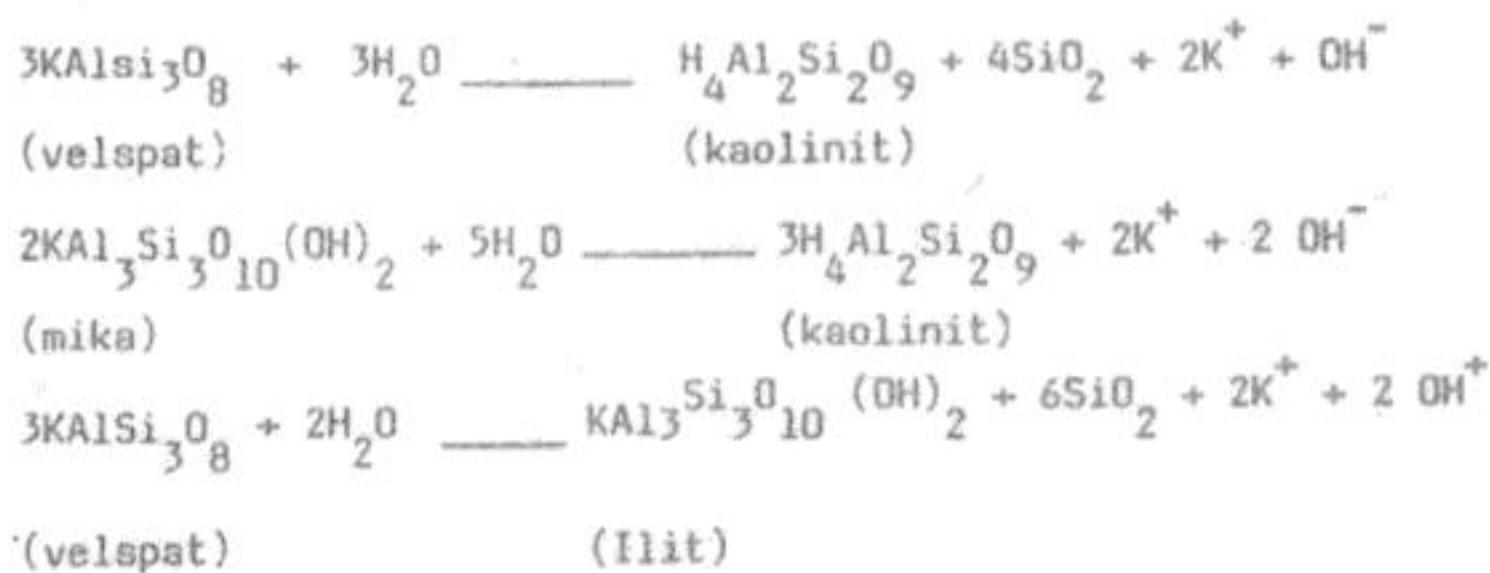
1. Pembentukan Mineral Liat.

Menurut Grim (1953) mineral liat terbentuk dari hasil; hancuran iklim terhadap mineral primer atau bantuan yang mengandung mineral felspat, mika, piroksin dan amfibol. Milner (1940) memberikan suatu gambaran tentang pembentukan mineral liat seperti pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Bagan pembentukan mineral liat yang umum ditemukan dalam tanah (Milner, 1940)

Bahan induk aluminium silikat primer dapat berupa mineral primer dalam keadaan bercerai berai, dapat pula dalam bentuk gabungan sebagai batuan. Melalui berbagai proses pelapukan atau hancur iklim terbentuklah mineral liat. Dari gambar 6.1 terlihat bahwa semua mineral primer dan mineral liat akan berakhir pada pembentukan liat kaolinit. Di sini juga tampak bahwa proses-proses yang dialami mineral primer atau batuan dalam pembentukan liat adalah oksidasi, reduksi dan pencucian. Berikut ini disajikan beberapa reaksi pembentukan mineral liat yang berasal dari mineral primer velspat dan mika (Grim, 1953).



Hancuran iklim yang dimaksudkan Grim (1953) dalam pembentukan liat paling sedikit melibatkan dua proses, yaitu (1) alterasi fisik dan kimia dari mineral primer, dan (2) dikomposisi dari mineral asal yang segera diikuti oleh rekristalisasi bahan-bahan yang didekomposisikan menjadi liat silikat. Pembentukan Iilit yang mewakili hidrus mika dapat didominasi proses alterasi. Dari bagan dan reaksi yang dikemukakan dapat dilihat bahwa Iilit dapat berbentuk dari *montmorillonit* bila dijumpai banyak K, atau dari mineral K-velkspat melalui proses rekristalisasi. Di samping itu Iilit mungkin juga terbentuk dari kaolinit bila ada K berlebihan. Liat Klorit ternyata terbentuk melalui aterasi mika yang kaya besi dan magnesium misalnya biotik. Perubahan itu dibarengi oleh hilangnya sejumlah Mg, K, dan Fe. Alterasi dan kelapukan lebih lanjut menghasilkan Iilit atau vermiculit, dan salah satu diantaranya dapat dialterasi lebih lanjut menjadi montmorillonit.

Montmorillonit dapat dibentuk melalui rekristalisasi sejumlah mineral, dengan catatan keadaannya adalah cocok. Ternyata, keadaan hancuran sedang (sedikit masam hingga alkalin), adanya sejumlah Mg, dan tidak adanya pencucian, merupakan syarat bagi pembentukan montmorillonit. Alterasi liat silikan misalnya dapat menghasilkan montmorillonit. Liat kaolinit terbentuk setelah mineral primer mengalami dekomposisi, dimana kation-kation

logam habis tercuci, aliminium dan silikat yang larut akan berkristalisasi membentuk koalinit. Pada proses lebih lanjut Al, Si dan Fe akan berkristalisasi membentuk mineral liat yang tidak mudah larut seperti hidrus oksida Al dan Fe (limonit, goetit, gibsit). Liat yang terakhir ini menunjukkan suatu hancuran lanjut di daerah tropik di mana Si bisa musnah dari tanah.

C. Mineral Liat Tanah

Mineral liat tanah merupakan mineral sekunder yang sangat berperan dalam membentuk kesuburan tanah. Tipe dan struktur kristal mineral liat tersebut sangat menentukan sifatnya dalam mempengaruhi sifat dan ciri tanah.

1. Tipe Mineral liat

Pada dasarnya mineral liat ini dapat dibedakan atas dua kelompok senyawa, yaitu liat silikat dan liat bukan silikat. Liat silikat kemudian dibedakan pula tiga tipe yaitu tipe 1 : 1, 2 : 1, dan tipe 2 : 2. Tipe dalam hal ini menunjukkan perbandingan antara Si-tetraeder dengan Al-oktaeder. Dengan mengetahui tipe mineral liat juga dapat ditentukan tingkat hancuran suatu tanah. Tanah yang mengandung liat 1 : 1 menunjukkan suatu tanah yang lebih tua daripada tanah berliat tipe 2 : 1 karena Si telah habis tercuci. Disamping liat silikat amorfus, yaitu alofan. Contoh dari masing-masing tipe tersebut disajikan dalam Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Beberapa Jenis Mineral Liat Silikat Berdasarkan Tipenya

Tipe Liat	Jenis Mineral Liat
1 : 1	Kaolinit
	Haloyait
	Anauksit

Tipe Liat	Jenis Mineral Liat
	Dikit
2 : 1	Mentmorillonit
	Vermikulit
	Ilit
2 : 2	Klorit
Amorfus	Alofan

Liat bukan silikat merupakan kelompok senyawa hidrus oksida besi dan aluminum. Nama hidrus oksida mencerminkan asosiasi antara molekul air dan oksida. Mekanisme penahanan air oleh oksida ini belum diketahui secara pasti. Bentuk umum dari kedua senyawa hidrus oksida itu adalah :

- 1) $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Sandi n dalam hal ini menunjukkan jumlah molekul air yang beragam. Contoh liat bukan silikat, yang umum dijumpai adalah :

- 1) Gipsit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- 2) Goetit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- 3) Limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)

2. Struktur Kimia dan Kristal Mineral Liat

Melalui analisa kuantitatif ahli kimia telah dapat menentukan rumus kimia dari berbagai mineral. Berperannya sinar rontgen dalam penyelidikan mineral, telah menunjukkan kedudukan berbagai atom dalam kisi kristal. Adanya modifikasi kisi dan substitusi ion yang intensif dan terus menerus, menyebabkan kesukaran dalam menuliskan rumus kimia mineral liat. Namun demikian,

rumus-rumus kasar untuk dapat membedakan-nya satu sama lainnya disajikan dalam Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Rumus Kimia beberapa Mineral Liat Penting di mana Terjadi Substitusi dalam Lempeng Oktaeder dan Tetraeder dan Molekul yang Terdapat antar Unit Kristal
(Soepardi, 1979)

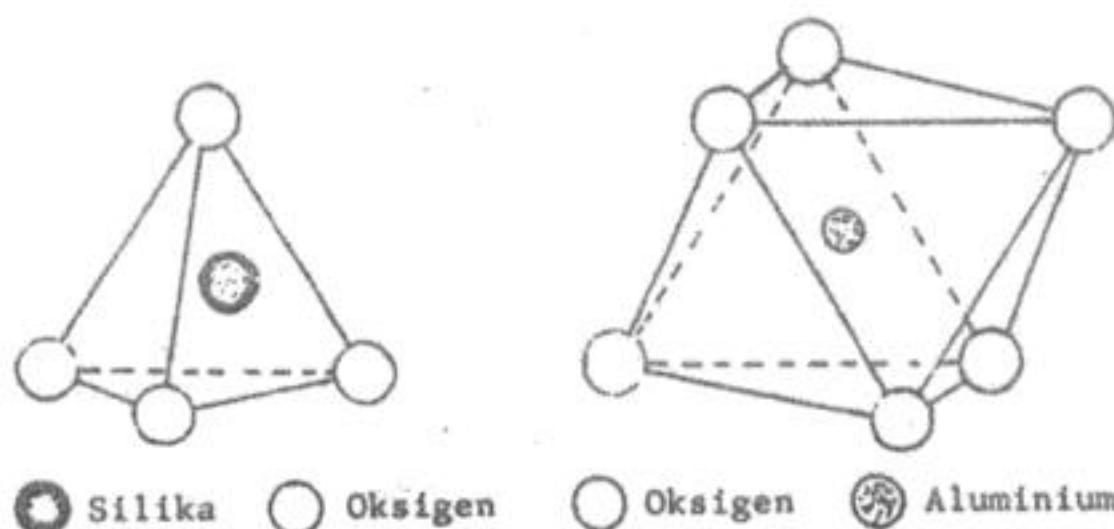
Mineral Liat	Kation Dominan dalam Lempeng		Jumlah O dan OH	Antara Unit Kation	Unit Muatan Lempeng
	Oktaeder	Tetraeder			
Kaolit	Al ₄	Si ₄	O ₁₀ (OH) ₈	-	0
Pirofilit	Al ₄	Si ₄	O ₂₀ (OH)	-	0
Montmo	Al _{3,5} Mg _{0,5}	Si ₈	O ₂₀ (OH) ₄	-	0,5
Rillonit	(Na _{0,5})				
Vermikulit	Mg ₆	Si ₇ Al ₁ (Mg _{0,5})	O ₂₀ (OH) ₄	nH ₂ O Mg ⁺⁺	1,0
Klorit	Mg ₆	Si ₆ Al ₂	O ₂₀ (OH) ₄	Mg ₆ OH ₁₂	2,0
Illit	Al ₄	Si ₇ Al ₁ (K _{0,2})	O ₂₀ (OH) ₄	K _{0,8}	1,0
Muskovit	Al ₄	Si ₆ Al ₂	O ₂₀ (OH) ₄	K ₂	2,0

Melihat rumus kimia yang disajikan dalam tabel 6.2 ternyata liat hanya mengandung K, Mg, dan Na. Sedangkan kita mengetahui bahwa di dalam liat tersimpan sejumlah besar dari hara yang dibutuhkan tanaman. Akan tetapi dengan mengingat bahwa sifat mineral liat bermuatan negatif pada umumnya dan kadang-kadang bermuatan positif, maka pengadaan hara dari mineral liat akan mudah dipahami. Adanya kation-kation dan anion-anion yang dapat dijerap dan dipertukarkan oleh mineral liat dapat meyakinkan kita bahwa mineral liat adalah faktor penentu penyediaan hara bagi tanaman. Setiap tipe dan Jenis mineral liat mempunyai sifat dan ciri yang berbeda, oleh karenanya

pengetahuan tentang tipe dan jenis mineral liat suatu tanah sangat penting dalam mengenal sifat dan ciri tanah tersebut.

Dulu orang beranggapan bahwa koloid liat ini seperti bola. Sejak diperkenalkannya penyelidikan mineral dengan sinar rontgen diketahuilah bahwa mineral liat berbentuk kristal umumnya, kecuali liat alofan. Pada dasarnya struktur kristal liat silikat terdiri dari komponen silikat-tetraeder dan alusina-oktaeder. Komponen molekuler tersebut secara bagan disajikan pada Gambar 6.2. Pada gambar 6.2 (kiri) terlihat bahwa satu atom silika dikelilingi oleh empat atom oksigen dan disebut Silikat-tetraeder karena berbidang empat. Di sebelah kanan terlihat bangun atau struktur Aluminium-oktaeder, disebut demikian karena berbidang delapan. Dalam hal ini satu atom aluminium dikelilingi oleh enam atom oksigen atau hidroksil. Selanjutnya silikat-tetraeder bergabung satu sama lain melalui atom oksigen, dengan cara demikian terbentuklah lempeng-lempeng tetraeder. Demikian pula halnya dengan aluminium oktaeder yang bergabung satu dengan lainnya melalui atom oksigen, sehingga terbentuklah lempeng-lempeng oktaeder.

Kedua lempeng-lempeng dasar ini tersusun dengan cara yang berbeda-beda. Perbedaan-perbedaan itu akan menghasilkan berbagai jenis mineral liat yang kemudian dikenal sebagai mineral liat tipe 1 : 1, 2 : 1 dan 2 : 2 - 2 : 2 seperti disebutkan sebelumnya. Gambar 6.3 menunjukkan lempeng-lempeng silikat-teraeder dan aluminium-oktaeder dari tipe liat 1 : 1 dan 2 : 1.



Gambar 6.2 Bagan silikat tetraeder (kiri) dan aluminium oktaeder (kanan).

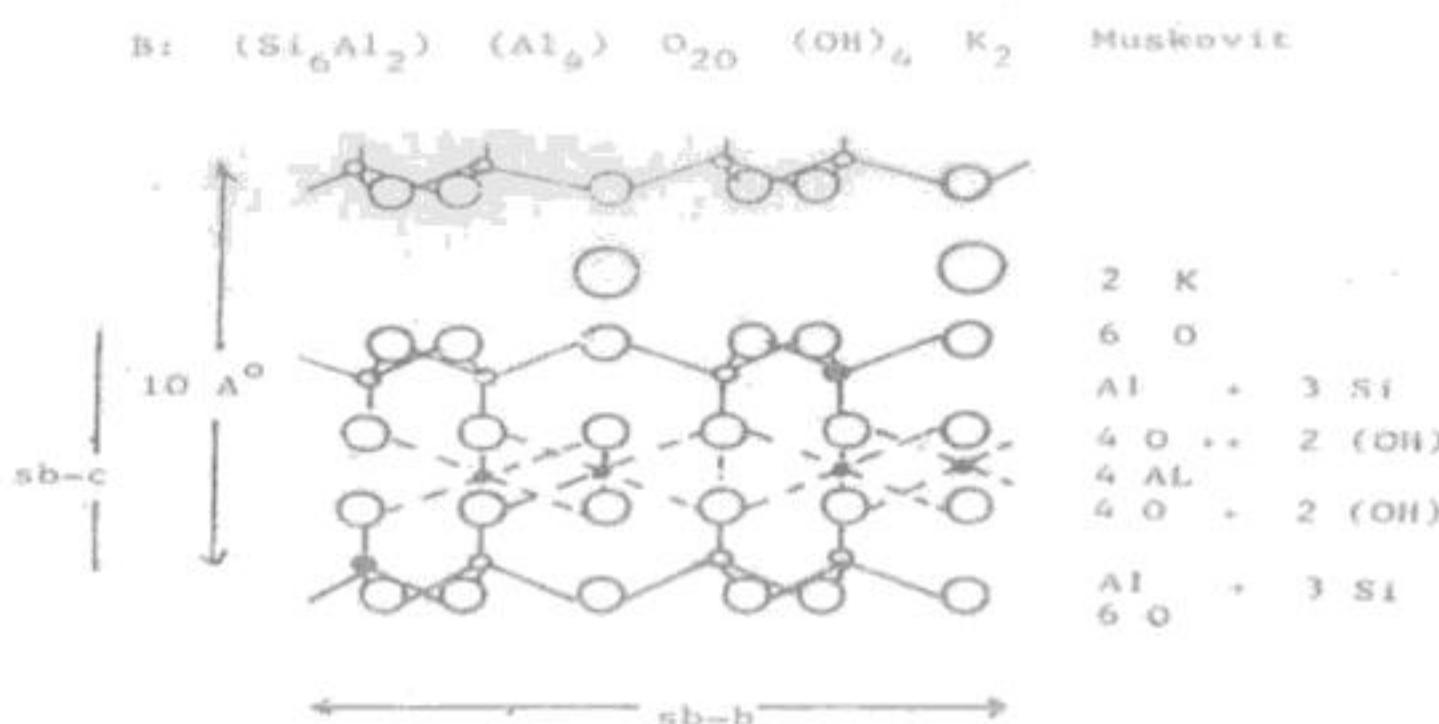
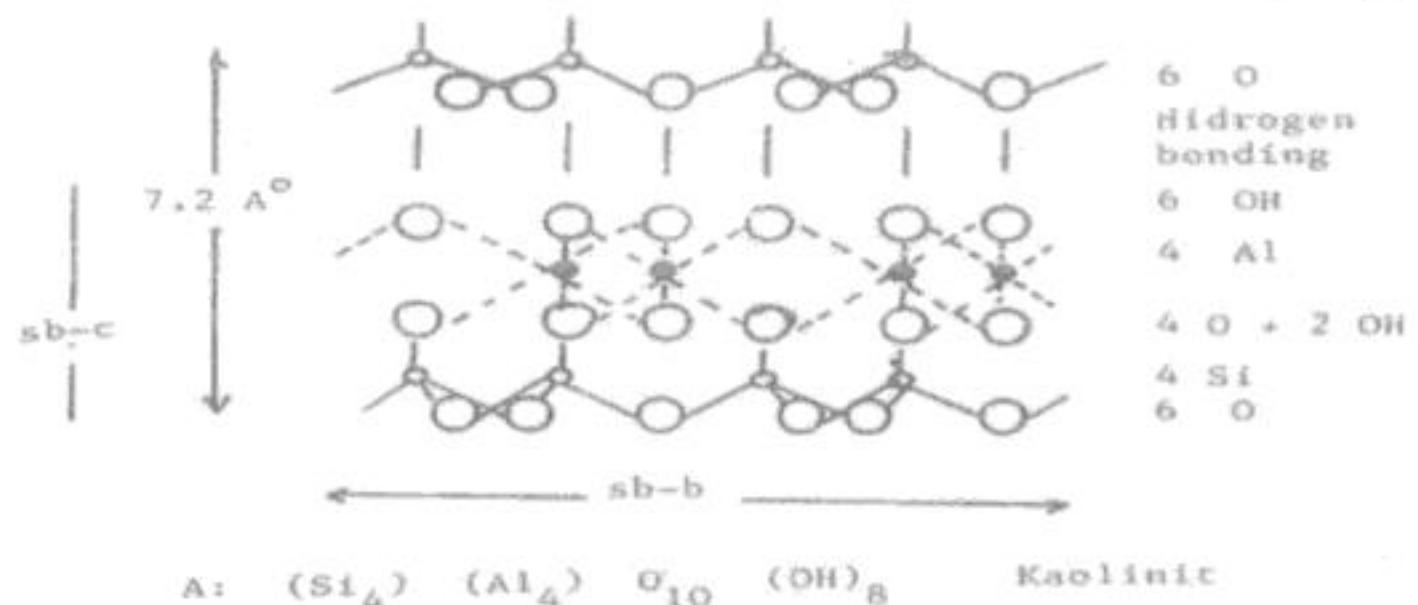
Secara umum dapat dikatakan bahwa tiap zarah (butir) liat terdiri atas beberapa unit struktur lempeng. Susunannya menyerupai lempeng-lempeng mineral mika. Lempeng-lempeng itu melekat satu sama lain dengan kekuatan yang berbeda-beda. Dalam beberapa hal terjadi pengembangan bila basah, sehingga seluruh liat mengembang. Beberapa liat mempunyai ikatan lempeng yang kuat satu sama lain, sehingga tidak mudah mengembang.

3. Sumber Muatan Negatif

Sumber muatan negatif liat yang utama adalah substitusi isomorfik. Di samping itu juga akibat patahnya pinggiran lempeng kristal liat. Juga mungkin berasal dari permukaan koloid liat yang mempunyai gugus oksigen dan hidroksil yang tersembul, sehingga menimbulkan titik-titik bermuatan negatif. Pada proses subsitusi isomorfik kation bervalensi tinggi digantikan oleh kation bervalensi rendah. Subsistusi isomorfik ini akan terjadi bila radius atomnya tidak banyak berbeda, misalnya penggantian Si^{4+} oleh Al^{3+} atau Al^{3+} digantikan oleh Mg^{2+} (perhatikan radius atom dalam Tabel 6.4).

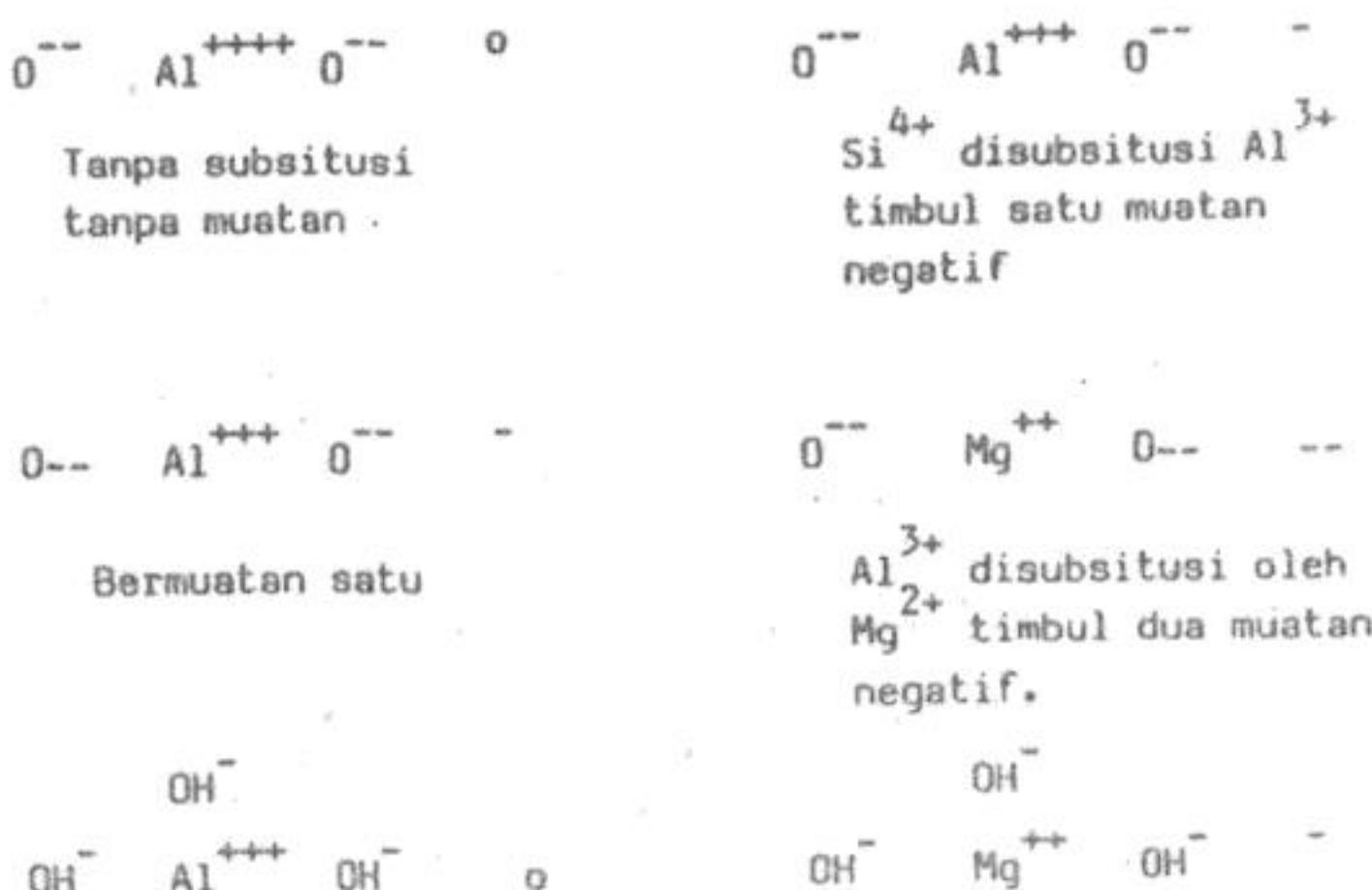
Tabel 6.4 Jari-jari Ionik Unsur-unsur yang Umum dijumpai dalam List Silikat dan Petunjuk dimana mereka ditemukan dalam Lempeng Tetraeder dan Oktaeder (Soepardi, 1979)

Ion	Jari-jari ($\text{Å}^\circ = 10^{-8} \text{ cm}$)	Ditemukan di
Si^{4+}	0,41	Silika Tetraeder
Al^{3+}	0,50	
Fe^{3+}	0,64	
Mg^{2+}	0,65	Aluminium Oktaeder
Zn^{2+}	0,70	
Fe^{2+}	0,75	
Ca^{2+}	0,94	
Na^+	0,98	Titik Pertukaran
K^+	1,33	
O^{2-}	1,45	Kedua Lempeng



Gambar 6.3 Skema mineral liat tipe 1:1 kaolinit (A) dan tipe 2:1 muskovit (B), dalam hal ini satu Si diganti oleh satu Al.

Mekanisme timbulnya muatan negatif melalui subsitusi isomorfik ini secara sederhana dapat dilukiskan berikut ini.



Timbulnya ketidak-imbangan muatan akibat subsitusi isomorfik ini menyebabkan kristal liat itu menarik kation-kation lain. Dengan cara demikian terjeraplah berbagai kation seperti K, Na atau Ca pada koloid liat tersebut. Subsitusi isomorfik ini terutama ditemukan pada liat tipe 2 :

1. Muatan negatif yang berasal dari patahnya pinggiran lempeng koloid liat secara bagan disajikan pada Gambar 6. 4. Gugus hidroksil yang melekat pada atom silikon atau aluminium akan meninggalkan oksigen bila pinggirannya patah. Terutama pada pH tinggi, hidrogen dari hidrosin itu sedikit berdesosiasi, dan meninggalkan permukaan list bermuatan negatif. Hidrogen yang terikat lemah, mudah dipergunakan. Adanya beribu-ribu titik demikian menyebabkan mineral tipe 1 : 1 penuh dengan muatan negatif. Akibatnya liat tersebut akan dikerumuni oleh ion H atau kation lainnya yang mungkin menggantikan H.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



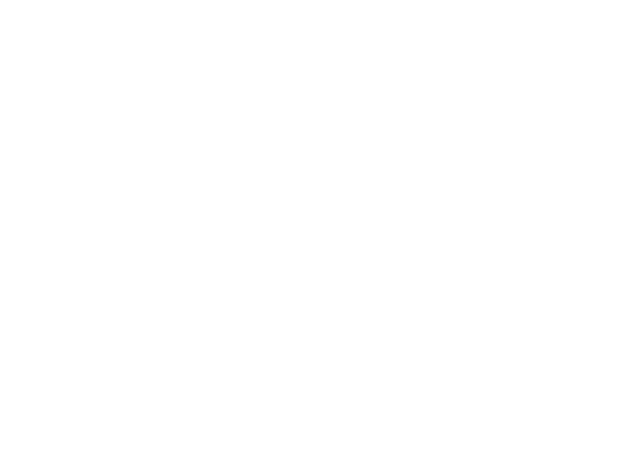
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



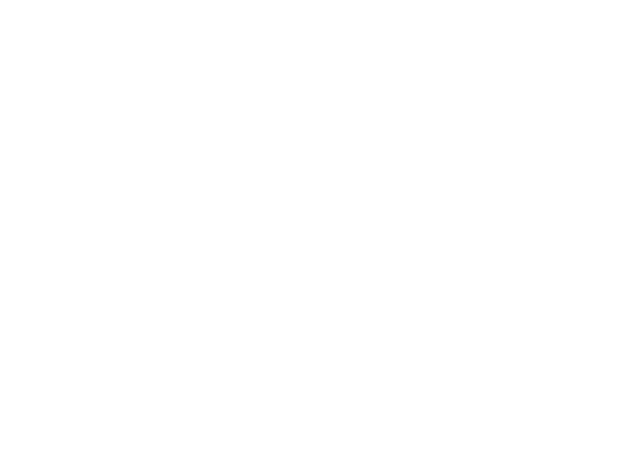
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.