Biologi
TANAH BASAH TROPIKA

Prof. Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr.
Hasrul Satria Nur, S.Si., M.Si
Witiyasti Imaningsih, S.Si., M.Si.

Prof. Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr.
Hasrul Satria Nur, S.Si., M.Si
Witiyasti Imaningsih, S.Si., M.Si.

BIOLOGI TANAH BASAH TROPIKA

2016

BIOLOGI TANAH BASAH TROPIKA

Oleh:
Prof. Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr.
Hasrul Satria Nur, S.Si., M.Si
Witiyasti Imaningsih, S.Si., M.Si.

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.
Dilarang memperbanyak Buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan cara apa pun, baik secara mekanik maupun elektronik, termasuk fotocopi, rekaman dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit

x + 150 hlm; 15.5 x 23 cm
Cetakan Pertama, Februari 2016

Sampul dan Lay Out:
Suriansyah

Diterbitkan oleh:
Lambung Mangkurat University Press, 2016
d/a Pusat Pengelolaan Jurnal dan Penerbitan Unlam
Jl. H. Hasan Basry, Kayu Tangi, Banjarmasin 70123
Gedung Rektorat Unlam Lt 2
Telp/Faks. 0511-3305195

Dicetak Oleh:
Aswaja Pressindo
Anggota IKAPI No. 071/DIY/2011
Jl. Plosokuning V/73, Minomartani, Sleman, Yogyakarta
Telp. (0274)4462377
E-mail : aswajapressindo@gmail.com
Website : www.aswajapressindo.co.id

ISBN: 978-602-9092-70-7

DAFTAR ISI

		Halaman
KATA PENGANTAR		iii
DAFTAR ISI		v
DAFTAR GAMBAR		vii
DAFTAR TABEL		viii
BAB I	**Pendahuluan**	**1**
	❖ Tubuh Tanah	4
	❖ Mineralogi Tanah	6
BAB II	**Tanah Sebagai Habitat Bagi Organisme**	**13**
	❖ Atmosfir Tanah	14
	❖ Air Tanah	18
	❖ Potensial Redoks	19
	❖ pH Tanah	22
	❖ Suhu Tanah	23
BAB III	**Komponen Biota Tanah**	**25**
	❖ Bakteria	26
	❖ Archea	31
	❖ Fungi	36
	❖ Hewan	38

BAB IV Metode Mempelajari Mikroorganisme Tanah 39
- Pengambilan Contoh Tanah 40
- Mikroskop 41
- Analisa Kimia 44
- Analisa Asam Nukleat 46
- AnalisaFisiologi 48

BAB V Komposisi Bahan Organik Tanah 31
- Karbohidrat 31
- Lignin 54
- Persenyawaan Nitrogen 57
- Dinding SelOrganisme 59
- AkardanEksudatAkar 60
- Humus 62

BAB VI Dekomposisi Bahan Organik dan Siklus C 65
- Pool Size dan Reaksi Kinetik 66
- Dinamika Dekomposisi 70
- Pemodelan Data Tanah & Tanaman 73
- Neraca Karbon 76

BAB VII Enzim Dalam Tanah 79
- Konformasi Enzim dan Struktur 79
- Enzim dan Mikroba Tanah 83

BAB VIII Siklus Nitrogen 85
- Amonifikasi 86
- Fiksasi N_2 Udara 89

BAB IX Siklus Fosfor 91

BAB X Proses Biokimia Pada Tanah Tergenang 95
- ❖ Metabolisme Aerobik 95
- ❖ Dekomposisi Pada Keadaan Tanpa Oksigen 96

BAB XI Mikoriza 103
- ❖ Tipe-Tipe Mikoriza 104
- ❖ Endomikoriza 105
- ❖ VAM 107

BAB XII Pencemaran Tanah 109
- ❖ Sumberdan Media Transport Pencemar Tanah..... 112
- ❖ DampakPencemaran Tanah..... 115
- ❖ PencegahandanPenanggulangan..... 118

BAB XIII Soal-soal 125

REFERENSI 147

KATA PENGANTAR

Para ahli ilmu tanah mutahir lebih suka memandang tanah sebagai sesuatu yang dinamis. Bloom (2002) misalnya mengemukakan bahwa tanah tidak saja menghasilkan biomassa pertanian dan kehutanan, tetapi juga untuk fitrasi, penyangga dan transformasi antara atmosfir dan air tanah, mencegah rantai makanan dan air minum dari polutan dan mempertahankan biodiversitas. Tanah juga sebagai bahan baku seperti liat, pasir, kerikil. Lebih lanjut, tanah merupakan warisan budaya dan penyimpanan benda-benda bersejarah yang berguna untuk memahami sejarah manusia dan bumi itu sendiri. Tanah merupakan tempat dibangunnya prasarana tehnis seperti fasilitas industri, rumah, jalan, penumpukkan sampah dan penempatan sarana rekreasi.

Oleh karenanya, tanah tidak hanya sebagai "tempat berjangkar akar tanaman", "tubuh alam berdimensi tiga" atau "sistem tiga fase" seperti yang dikemukakan dalam literatur-literatur klasik. Tetapi tanah juga merupakan bagian penting dari ekosistem daratan dan merupakan penentu dari kapasitasnya dalam menghasilkan barang dan jasa. Tanah memainkan fungsi produksi, fungsi penyangga dan fungsi biologis. Energi matahari, karbon dan nitrogen dari udara, dan hara dari tanah diubah menjadi produk tanaman yang menyediakan hewan dan manusia, makanan, serat dan bahan-bahan biologis. Tanah memegang air dari curah hujan, air irigasi, hara yang diberikan dalam bentuk pupuk organik dan

memperkaya khasan buku ini juga sangat diharapkan. Semoga buku ini ada manfaatnya.

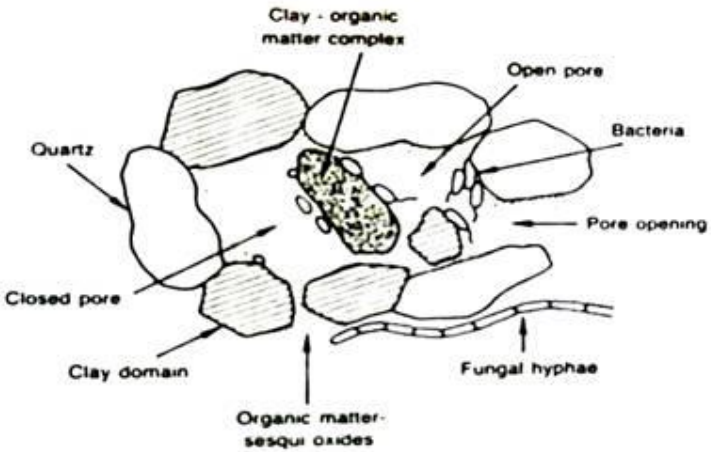
Banjarmasin, Februari 2016

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

Tanah merupakan campuran komponen inorganik (partikel pasir, debu, dan liat), bahan organik dan organisme hidup (biomass) (Gambar 1.1). Komponen inorganik (mineral) dan organik bersatu membentuk struktur padat. Ikatan bahan inorganik dan organik tanah membentuk ruang diataranya. Ruang ini seterusnya ditempati oleh udara dan atau air.



Gambar 1.1. Tanah sebagai campuran komponen inorganik, bahan organik dari organisme hidup.

Pada tanah lahan kering bertekstur lempung berdebu, sekitar 50% dari volume tanah akan berupa ruang pori (udara dan air), 45% ditempati oleh bahan mineral dan sisanya berupa bahan organik (5%).

Udara dan air dalam tanah itu keadaannya bervariasi dengan kelembaban tanah. Pada kelembaban optimum tanah lahan kering maka 50% ruang pori itu akan terbagi atas 25% udara dan 25% air. Proporsi udara dapat sangat kecil pada tanah basah. Komposisi mineral dan bahan organik juga bervariasi; komposisi sebaliknya dapat terjadi pada tanah organik.

Komponen inorganik tanah dibedakan menurut ukurannya. Pasir adalah fraksi berukuran diameter 20-2000 mm, debu berdiameter 2-20 mm, dan liat berdiameter >2 mm. Pasir dan debu terutama tersusun dari mineral kuarsa dan bersifat tidak reaktif. Fraksi liat tersusun dari mineral liat, mineral kuarsa, kalsium karbonat, atau oksida besi dan aluminium. Fraksi liat terutama tersusun dari lempeng aluminium silikat. Karena ukuran dan bentuknya, menyebabkan fraksi liat mempunyai perlukaan yang relatif luas. Dan karena susunan kimianya, fraksi liat mempunyai muatan listrik pada permukaannya. Muatan listrik permukaan fraksi liat menyebabkan tanah yang disusunnya mampu mengingat dan melepas ion. Sifat kelistrikan fraksi liat ini menyebabkan fraksi liat bersifat reaktif terhadap organisme tanah dan ion-ion dalam larutan tanah.

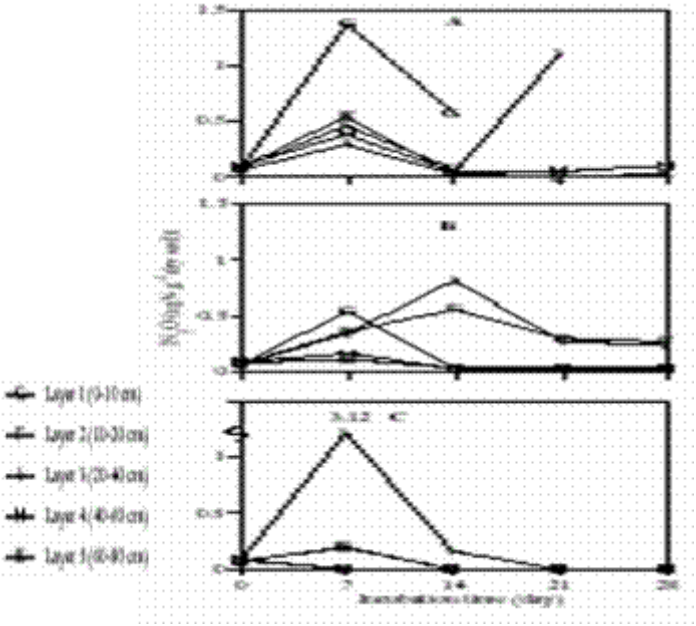
Bahan organik tanah terdiri dari bahan organik hidup dan bahan organik tak hidup. Bahan organik hidup menyusun 4% dari total bahan organik dan mencakup akar tumbuhan (5-10 %), organisme makro atau fauna (15-30%), dan organisme mikro (60-80%). Bahan organik tak hidup menyusun 98 % dari bahan organik dan mencakup bahan organik makro dan humus. Bahan organik juga dapat dikelompokkan menjadi

bahan organik mudah terdekomposisi dan bahan organik susah terdekomposisi. Meskipun hanya merupakan bagian kecil dari tanah, organisme tanah merupakan pengendali penting keseluruhan ganesa dan kesuburan tanah. Pemahaman tentang tanah memerlukan pengetahuan tentang biologi tanah, sebagaimana fisika dan kimia tanah.

Di dalam tanah terdapat banyak jenis dan populasi mikroba (Tabel 1; Hadi et al., 2001). Mikroba ini terutama menempati tanah permukaan (Gambar 2; Hadi et al. 2000, Inubushi et al., 1998)

Tabel 1.1. Kelimpahan mikroba pada tanah basah di Kalimantan Selatan

Lokasi	Bakteri (B)	Fungi (F)	B. Selulosa	F. Selulosa	B. Nitrif	B. Denitrif
	cfu g^{-1} x 10^5		cfu g^{-1} x 10^4		cfu g^{-1} x 10^4	
Lampihong	217^a	5^a	12^a	5^a	124^a	25^a
Lampihong	177^a	4^a	3^a	2^a	1^b	2^a
Batu Mandi	170^a	2^a	8^a	3^a	5^b	1^a



Gambar 1.2. Aktivitas mikroba sepanjang profil tanah basah dari Malaysia. A: Kontrol; B: mendapat amonium sulfat; C: mendapat jerami padi.

TUBUH TANAH

Untuk keperluan-keperluan tertentu (misalnya genesa tanah, analisa tanah, biologi maupun fisika tanah dan keperluan lainnya) sangat diperlukan gambaran yang lebih jelas tentang tanah, umumnya hal ini dapat diatasi dengan pembuatan suatu profil tanah.

Profil tanah itu merupakan suatu irisan melintang pada tubuh tanah, dibuat dengan cara menggali lubang dengan ukuran (pan-jang dan lebar) tertentu dan kedalaman yang tertentu pula sesuai dengan keadaan

tanah dan keperluan penelitiannya. Dalam hal ini misalnya untuk keperluan genesa tanah pada Oksisol yang solumnya tebal pembuatan profil tanah dapat mencapai kedalaman sekitar 3-3,5 meter.

Pada suatu profil tanah yang lengkap dapat kita lihat beberapa lapisan yang membentuk tanah. Dan lapisan-lapisan tersebut pada beberapa macam tanah dikenal sebagai horison genesa tanah (lapisan yang terbentuk di tempat itu sehubungan dengan berlangsungnya proses perombakan bahan induk tanah). Adanya lapisan-lapisan dalam tanah ini karena berlangsungnya perombakan atau tingkat perkembangan yang merupakan hasil perombakan yang tidak sama. Lain halnya pada tanah yang tergolong Entisol, di sini lapisan-lapisan merupakan hasil penimbunan bahan yang berasal dar tempat lain. Lapisan-lapisan yang terbentuk sebagaimana kita lihat pada profil tanah dapat dikatakan tidak selamanya tegas dan nyata sehingga kerapkali batas-batasnya agak kabur dan kejadian demikian akan menyulitkan dalam penelitian. Menurut BRADY (1974) setiap tanah itu, horison-horisonnya mencirikan dan sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman tingkat tinggi.

Dari uraian-uraian di atas maka pencanderaan suatu profil tanah akan membantu kita dalam memperoleh gambaran tentang sifat-sifat tanah, terutama yang erat kaitannya dengan pertumbuhan tanaman dan dengan pencanderaan akan memungkinkan kita lebih mengetahui tentang sifat dan tiap horison (lapisan-lapisan pcnyusunan tanah). Dalam hal ini misalnya dapat ditentukan ten-lang adanya lapisan endapan air pada kedalaman tertentu sehingga dengan demikian dapat ditentukan

mengenai cara-cara pengolahan dan pengelolaan tanah bagi pembudidayaan tanaman di tempàt tersebut.

Pada umumnya penelaahan lapisan-lapisan pembentuk tanah ditekankan pada ketebalan solum tanah (medium bagi pertumbuhan tanaman) yang diukur ketebalannya itu mulai dari lapisan batu-batuan sampai ke permukaan tanah. Setelah diketahui solum tanah itu kemudian dapat ditentukan tebalnya lapisan atas tanah (top soil) dan lapisan bawahnya (sub soil) yang satu dengan lainnya akan menunjukkan perbedaan atau kekhususan yang mencolok. Tentang hal ini dapat dikemukakan sebagai berikut :

a. Lapisan atas tanah (top soil) yang ketebalan sotumnya sekitar 20 — 35 cm merupakan tanah yang relatif lebih subur jika dibandingkan dengan sub soil, banyak mengandung bahan organik dan biasanya merupakan lapisan olah tanah bagi per-tanian yang banyak memungkjnkan keberhasilan usaha penanaman di atasnya. Pada tanah Litosol ketebalan solum tanah ini biasanya kurang dan 25 cm.

b. Lapisan atas tanah merupakan media utama bagi perkembangan akan tanaman yang kita budidayakan, dengan kandungan unsur-unsur haranya yang tinggi serta tingkat kelembaban tanahnya menguntungkan bagi pentumbuhan dan perkembangan tanaman. Pengelolaan tanah yang baik (pengolahan dan pernberian bahan organik) akan lebih memperbaiki sifat fisik tanah itu, sedangkan kesuburan dan produktivitasnya akan dapat lebih ditingkatkan

dengari beberapa penlakuan, sepenti pemberian pupuk, pemulsaan, pengapuran, pengeringan atau pembasahan dan lain sebagainya.

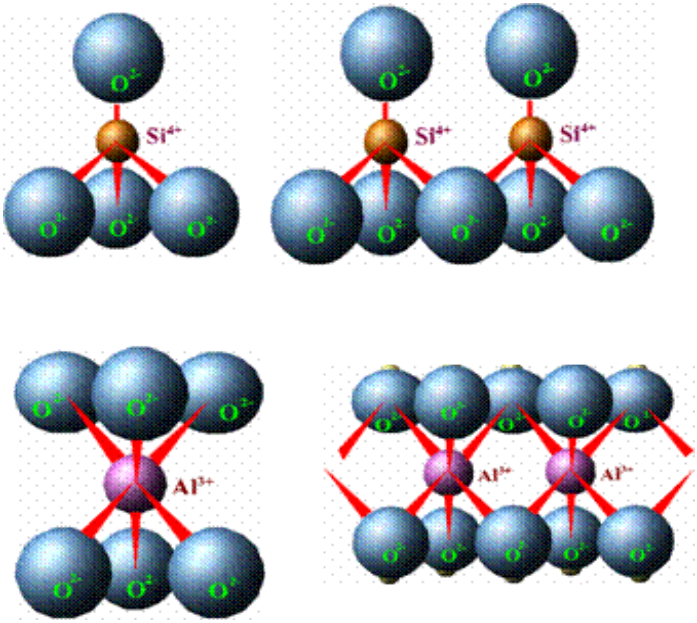
c. Akan tetapi dalam ketahanan, tanah lapisan atas biasanya lebih rapuh, lebih mudah terangkut dan hanyut dibanding dengan sub soil, terutama pada permukaan tanah yang mempunyai kemiringan (slope), hanya dengan beberapa perlakuan pula (pemulsaan, penterasan, penanaman rumput-rumputan dan lain-lain) maka keadaan top soil akan dapat lebih dipertahan-kan.

Dengan uraian-uraian di atas janganlah diartikan bahwa lapisan tanah bawah (sub soil) tidak bermanfaat bagi pembudidayaan tanaman, karena produktivitas lapisan tanah atas sesungguhnya ditentukan pula dan dipengaruhi oleh lapisan tanah bawah. Tan aman-tanaman keras/tinggi perakarannya akan menem bus batas lapisan tanah bawah. Menurut penelitian para ahli kesarangan tanah maupun sifat kimiawi tanah lapisan bawah akan sangat berpengaruh pada lapisan tanah atas. Bagi usaha-usaha yang bukan pertanian (pembangunan gedung-gedung, pembuatan jalan) keadaan sub soil yang stabil adalah sangat bermanfaat bagi mereka.

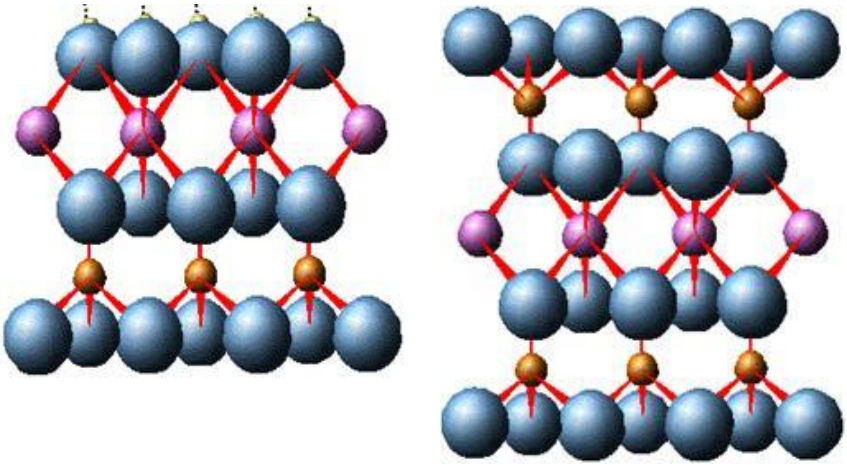
MINERALOGI TANAH

Susunan kimia mineral tanah dapat sama dengan susunan kimia batuan asalnya (disebut mineral primer), dapan pula berbeda (mineral sekunder). Fraksi pasir dan debu umumnya tersusun dari mineral primer, sedangkan fraksi liat semuanya berupa mineral sekunder. Fraksi liat dapat berstruktur dasar silikat dan berstruktur non-silikat. Struktur liat yang pertama tersusun dari kombinasi tetraeder Si dan oktaeder Al (Gambar 1.3) dan menyusun sebagian besar liat, sedangkan susunan yang kedua mengandung unsur hara tanaman penting seperti Ca, Mg, P, dll.

Proporsi tetraeder Si dan oktaeder Al beragam mineral liat silikat bervariasi dari 1:1, 2:1 sampai 2:2. Berdasarkan teori tentang pembentukan mineral liat yang dikembangkan olehNOLL, pada dasarnya mengenai perbedaan hasil pembentukannya adalah ditentukan oleh reaksi lingkungan pembentukannya, yang dalam hal ini pada lingkungan yang bereaksi masam akan terbentuk mineral liat tipe 1:1, sedang pada lingkungan yang bereaksi netral sampai basa dan mengandung banyak magnesium akan terbentuk mineral liat tipe 2:1. Keduanya memiliki sifat-sifat yang berbeda.



Gambar 1.3. Tetraeder Si (atas) dan oktaeder Al (bawah)



Gambar 1.4. Struktur mineral kaolinit (kiri) dan monmorilonit (kanan)

Selanjutnya dalam memperhatikan liat sebagai komponen tanah, kita harus memperhatikan pula perbedaan antara bahan berukuran liat dan mineral liat.

a. Bahan berukuran liat meliputi semua bahan penyusun tanah berukuran 2 mikron:
b. Mineral liat merupakan sekumpulan mineral berbentuk kristal, yang tersusun atas aluminium silikat dengan beberapa logam tertentu sebagai pendukung atau penggantinya.

Dengan demikian maka bahan berukuran liat meliputi mineral liat dan bahan-bahan lain yang mendukung atau menggantinya, seperti

bahan-bahan hasil pelapukan (perombakan), oksida besi, oksida alumina dan bahan organik.

Montmorillonit

Termasuk kelompok mineral liat tipe 2 : 1, tersusun atas lapisan oktaeder dengan Al, Fe, Mg atau Ni dan 2 lapisan asam silikat berkonfigurasi tetraeder.

Mineral ini Iazimnya berukuran kecil, akan tetapi sehubungan dengan sifatnya yang hidrofil dan mempunyai daya pertukaran basa yang tinggi maka mineral ini berkernampuan mengembang dan mengerut yang besar, seperti halnya tanah-tanah yang mengandung mineral liat Montmorillonit di daerah panas dengan musim hasah dan kering yang bergantian. Selama berlangsungnya musim kering dan tak adanya aliran air relatif tanah-tanah ini akan kering dan mengalamj pengkerutan sehingga tampak retak-retak. Pada kelompok tanah Vertisol biasanya lebar retak-retak dapat mencapai 10 sentimeter dengan ke dalaman sekitar 1 meter. Tcrjadinya retakan (lama berlangsungnya, lebar dan dalam retakan tersebut), biasanya dijadikan penilaian bagi pengklasifikasian Vertisol pada tingkatan yang lebih tinggi.

Kaolinit

Kaolinit tersusun atas 1 lapisan oktaeder alumina dan 1 lapisan tetrahedralsilika. Dengan terdapatnya ikatan hidrogen yang kuat antar lapisan-lapisan dapat menyebabkan kaolinit tidak mengembang.

Kemampuannya dalam menyerap basa akan sangat terpengaruh Oleh keadaan di atas, yang akibatnya daya pertukaran kation rendah.

Kaolinit, haloisit, anauxit, dickite termasuk dalam kelompok mineral liat bertipe 1 : 1, artinya silikanya berbanding alumina adalah 1 : 1. Dapat pula dijelaskan Mineral Liat bertipe 2 : 1 yaitu yang bersatuan kristal dapat mengembang dan yang bertipe 2 : 1 lainnya adalah yang bersatuan kristal yang tak dapat mengembang, yang sering disebut pula mika terhidrasi (mika terhidrat).

Mineral Lainnya

Terdapat pula Mineral Liat yang bertipe 2 : 2. Tentang hal ini menurut BRADY (1974) misalnya Kiorit (Chlorite), yang pada dasarnya ialah Mineral Liat Silikat-Mg yang mengandung beberapa Fe dan Al. Suatu satuan Kristal Kiorit yang memiliki ciri-ciri tertentu (khas) yaitu struktur yang terdiri atas selingan antara talk yang berstruktur hampir sama dengan satuan Kristal Montmorillonit dan brucite, ialah lapis $Mg(OH)_2$. Dalam hal ini jumlah Mg dalam oktaeder struktur talk adalah dominan. Jadi dengan demikian maka satuan kristalnya mengandung dua lapisan silika dan dua lapisan oktaeder-Mg. Permukaan dan kemampuan penukaran kation jenis Kiorit kurang lebih sama (mirip) dengan Illit, jadi kisi tidak dapat mengembang.

Tentang Mineral Liat Fe dan Al oxi-hidrat dapat dijelaskan sebagai berikut. Tingkat daerah pembentukan antara Liat Silikat dan Liat Fe Al berbagi secara terbaur, tipe bahan Koloid ini pada umumnya

dominan di tanah tropika dan semitropika. Tanah yang betwarna merah dan kuning ternyata sebagian besar dikendalikan oleh berbagai tipe liat ini, ternyata pula bahwa mineral ini merupakan bentuk Oksida yang mengandung molekul air: Fe $(OH)_3$ dan Al $(OH)_3$, rumus umumnya yang lebih tepat : FeO_3. xH_2O dan Al_2O3. xH_2O. Dalam hal ini x merupakan angka kuantitas hidratasinya, misalnya Gibsit ($Al_2O_3.3H_2O$), Goethite ($Fe_2O_3.H_2O$). Beberapa liat ini berstruktur kristal yang umumnya bersifat tidak lengket, seperti halnya dengan Liat Silikat. Tanah yang mengandung liat ini memungkinkan mempunyai sifat fisika yang cukup baik.

Tentang Alofan dan Mineral Arnorf lainnya penjelasannya adalah demikian. Kenyataannya jumlah bahan Koloid Mineral yang tidak terhablur di dalam tanah adalah banyak, beberapa liat Fe Al oxi-hidrat berstruktur amorf, tak bedanya dengan hal ini yaitu sebagian liat silikat terutama yang terbentuk dari abu vulkanik. Memang pada kebanyakan hal sifat-sifat dari mineral amorf ini adalah tidak begitu berbeda dengan yang terhablur, antara lain misalnya Alofan ------- $Al_2O_3.2SiO_2.H_2O$ (banyak di dalam tanah yang berbahan induk abu vulkanik). Menurut BRADY (1974) terdapatnya Alofan dalam tanah ternyata menyebabkan tingkat kemampuan penukaran kation ataupun anion tinggi yang tergantung pada pH tanah tersebut. Mineral-mineral liat kenyataannya bermuatan positif ataupun negatif dan hal ini memungkinkan mineralnya berkemampuan mempertukarkan anion di antara permukaan hidroksilnya.

Selanjutnya kita dapat membedakan tentang adanya kelompok tanah mineral dan tanah organik, yang dalam hal ini pembe-daannya didasarkan pada kandungan bahan organiknya.

a. Tanah mineral

Meliputi tanah-tanah yang kandungan bahan organiknya kurang dar 20% atau tanah yang mempunyai lapisan organik dengan ketebalan kurang dar 30 cm (diukur dar sejak permukaan tanah);

b. Tanah organik adalah tanah yang kandungan bahan organiknya lebih dar 65% (hingga kedalaman 1 meter apabila tanah belum diolah).

Berdasarkan sistem pengelompokkan tanah oleh USDA (United States Department of Agriculture) tanah mineral meliputi golongan tanah Alfisol, Aridisol, Entisol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Spodosol, Ultisol dan Vertisol, yang masing-masing mempunyai sifat dan keterbatasan yan berbeda, sehingga kemungkinafl pemanfaatannya bagi usaha-usaha pertanian pada tanah-tanah tersebut perlu mernakai pertimbangan-pertimbangan yang mantap agar usaha pertanian berlangsung dengan hasil yang memuaskan.

Bahan mineral tanah terdiri atas pelbagi macam ukuran dan komposisi, lazimnya berupa sibir batuan dan bermacam-macam mineral. Bibir batuan bila melapuk akan menghasilkan regolith dan pelapukan bahan ini selanjutnya menghasilkan tanah yang umumnya sangat kasar.

Mineral-mineral mempunyai penampang beraneka, mulai dar sekasar sibir batu terhalus hingga sehalus zarrah lempung koloid, yang hanya dapat dilihat dengan perantaraanmikroskop elektron.

Mineral merupakan suatu unsur atau senyawa yang berwujud padat yang terbentuk secara alami (kecuali senyawa-senyawa karbon yang terbentuk secara biologis). Beberapa sifat mineral yang umum antara lain adanya susunan kimia tertentu yang tetap, penempatan internal atom-atomnya: sifat kimiawi dan fisika ada dalam batas waktu tertentu serta adanya kecenderungan pembentukan semacam geometris tertentu.

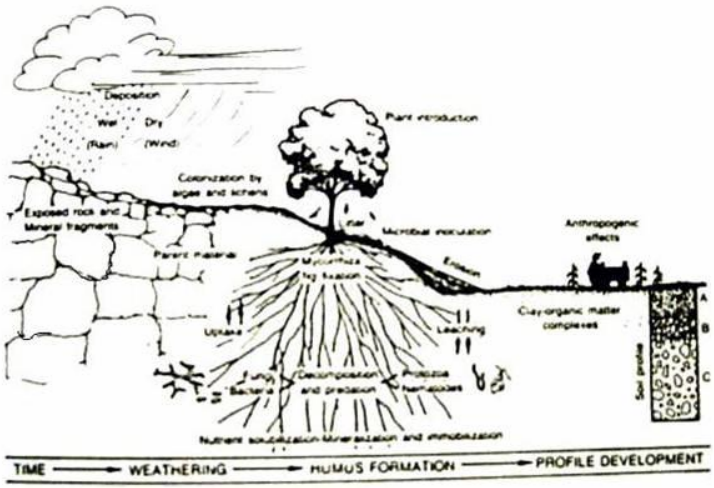
Komposisi mineral dalam tanah akan demikian tergantung pada faktor-faktor antara lain bahan induknya serta proses yang bekerja pada pembentukan dan perkembangan tanah. Sebagai telah diterangkan dalam Bab Satu bahwa bahan induk tanah merupakan hasil penjabaran bemacam-macam batuan dan hal ini menjadikan/menyebabkan komposisi mineral dalam tanah lebih beragam damipada mineral dalam batuannya. Tentang komposisi mineral tersebut dapat dikatakan bahwa pada umumnya terdapat hubungan yang emat antara komposisi mineral bahan induk dengan komposisi mineral batuannya, terutama pada tanah-tanah Otokton. Pada tanah-tanah yang berkembang dari batuan beku (basalt dan granit) pada perombakannya akan membebaskan sejumlah mineral, seperti kuarsa, ortokias, miroklin, albit oligokias, muskovit, biotit dan lain-lain. Pada tanah-tanah yang mudah terlapuk serta peka terhadap leaching (pencucian), dalarn hal ini misalnya tanah Podzol,

banyak diketemukan meneral kuarsa dan ortokias yang relatif resistan terhadap pelapukan. Sedangkan pada tanah yang kurang mengalami pelapukan, pada seluruh lapisannya komposisi mineral terdapat seragam.

BAB II

TANAH SEBAGAI HABITAT BAGI ORGANISME

Proses pembentukan tanah (pedogenesis) melibatkan organisme tanah, disamping empat yang lainnya yaitu iklim, topografi, bahan induk, dan waktu. Dengan demikian organisme tanah, bersama dengan biota lain, terutama tumbuhan tingkat tinggi, merupakan salah satu dari faktor pembentuk tanah. Perombakan secara fisik dan kimia bahan induk yang diikuti oleh pelepasan unsur-unsur hara mengawali proses pembentukan tanah (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Proses Pembentukan Tanah

Dua unsur yang umumnya defisien pada tanahp awal pembentukan tanah adalah C dan N. Karena itu organisme perintis biasanya cyanobacteria; bakteria yang mampu baik berfotosintesa maupun menfiksasi nitrogen udara. Setelah tanaman tingkat tinggi mampu beradaptasi, proses penumpukan bahan organik, pencampuran organisme (hidup maupun mati) dengan fraksi mineral tanah, dan perombakan lebih lanjut dari fraksi mineral berlangsung lebih cepat. Perkembangan lebih lanjut memungkinkan mikroorganisme menempati pada horison bawah. Reaksi biokimia dapat berlangsung jauh di bawah zone perakaran dengan tersedianya C sebagai akibat proses pencucian.

ATMOSFIR TANAH

Selain uap air, N_2, O_2, dan CO_2 merupakan gas yang ditemukan dalam jumlah banyak di dalam tanah. Meskipun dalam konsentrasi yang relatif lebih rendah NH_2, H_2, CO, NOx, SO_2, H_2S, CH_4, C_2H_2, dan berbagai volatil senyawa organik (volatile organics). Konsentrasi gas merupakan fungsi dari proses biotik dan abiotik. Pada proses respirasi akar, O_2 dikonsumsi dan CO_2 dilepaskan. Akibatnya, tanah cenderung mempunyai O_2 yang rendah dan CO_2 yang tinggi dibanding dengan atmosfir bebas.

Difusi gas cenderung mempertahankan keseimbangan konposisi atmosfir tanah dengan atmosfir bebas. Perbedaan konsentrasi sebesar 1 atau 2 % sudah cukup untuk membawa O_2 berdifusi memasuki tanah dan

CO2 keluar dari tanah. Karena proses ini, konsentrasi O_2 +CO_2 didalam tanah dengan aerasi baik dan atmosfir bebas biasanya sama.

Difusi gas di dalam tanah digambarkan oleh hukum Fick. Hukum ini melibatkan sifat-sifat tanah, konsentrasi gas-gas di dalam tanah, dan kedalaman;

$$qi = Dsa,i \frac{dci}{dz}$$

dimana : qi = laju difusi gas (g $cm^{-2}detik^{-1}$), Dsa,i = tetapan difusi gas dalam tanah (cm-2 detik-1), ci = konsentrasi gas dalam atmosfir tanah (g cm^{-3}), dan z = kedalaman (cm).

Ada dua pembatas difusi gas di dalam tanah; (1) porositas yang rendah, dan (2) kehadiran air. Status aerasi tanah dapat dilihat dari kandungan air tanah. Bulk density dari lapisan olah tanah mineral biasanya berkisar antara 0,9 dan 1,3 g cm^{-3}. Karena itu, tanah mineral mempunyai porositas antara 50 dan 60 % (v/v). Kadar air tanah mineral pada kapasitas lapang, @ -0,01 sampai - 0,03 megapascal (Mpa), berkisar 50-60 % pada tanah lempung berpasir dan 40 sampai 45 % pada tanah liat.

Perbedaan total pori dengan kandungan air mencerminkan pori yang ditempati oleh udara (air-filled pore space=pori makro). Air-filled pore space sebanyak 10 % dianggap sebagai batas minimal untuk aerasi. Tanah liat dengan kadar air 45% dan bulk density 1,3 g cm-3 atau lebih

besar mungkin tidak mempunyai pori yang cukup untuk aerasi jika total pori hanya 50%. Pada tanah lahan kering yang tertutup air, misalnya pada kegiatan irigasi, atau setelah hujan lebat, perpindahan gas-gas antara atmosfir tanah dan atmosfir bebas mungkin terhenti. Hal ini karena laju difusi gas-gas dalam air jauh lebih rendah dibanding difusinya dalam udara (Tabel 2.1). Sebagai akibat respirasi organisme dan akar yang terus berlangsung, cadangan O_2 menurun derastis beberapa menit detelah tanah terisolasi dari atmosfir bebas; tanah mengandung cukup oksigen selama dua hari jika tidak ada penambahan dari luar. Konsumsi sebesar 0,7-24,0 g m^{-2} $hari^{-1}$ terjadi di tanah lahan kering Pada keadaan ini bentuk N teroksidasi, Fe dan Mn akan bertindak sebagai akseptor elektron menggantikan O_2. Kandungan oksigen yang rendah akan memacu pertumbuhan populasi organisme anaerob, dan reaksi fermentasi bahan organik menjadi dominan.

Kelarutan suatu gas dalam air tanah tergantung pada jenis gas, suhu, konsentrasi garam-garam dalam larutan tanah, dan tekanan parsial gas bersangkutan di atmosfir. Gas yang paling mudah larut akan segera terionisasi dalam air; misalnya CO_2, NH_3, dan H_2S. O_2 dan N_2 relatif lebih sukar larut (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Tetapan difusi CO_2, O_2 dan N_2 dalam udara dan air dan kelarutannya dalam air.

	Konstanta difusi (cm^2 $detik^{-1}$)		Kelarutan dalam H2O (cm^3 L^{-1})
	Udara	Air	
CO_2	0,161	$0,177 \times 10^{-4}$	8,878
O_2	0,205	0.180×10^{-4}	0,031
N_2	0,205	$0,164 \times 10^{-4}$	0,015

Fiksasi nitrogen pada tanah basah dapat sangat terhambat oleh sifat sukar larut N_2, meskipun udara mengandung 80 % N_2. Beberapa vegetasi lahan basah beradaptasi pada tanah dengan ventilasi buruk dengan membentukjaringan/akar khusus untuk memperlancar difusi oksigen dari atmosfir bebas ke zone perakaran. Sebagai contoh, padi mempunyai kemampuan mendifusi udara ke zone perakaran 4 kali lebih besar dibanding gandum. Jaringan khusus ini juga berfungsi mengangkut gas-gas (misalnya metana, CH_4) dari zone anaerobik ke atmosfir bebas.

Hasil penelitian menunjukkkan bahwa konsentrasi O_2 1% merupakan batas kondisi aerobik dan anarobik. Penomena kondisi anaerobik lebih menarik karena dapat pula terjadi pada tanah yang tidak tergenang. Kondisi anaeribik dapat terjadi secara setempat pada agregat tanah (disebut anaerobic microsite). Agregat dengan struktur crumb dan mempunyai diameter > 3 mm sering tidak mempunyai O_2 pada pusatnya.

Keberadaan zone anaerobik (anaerobic microsite) terutama penting pada reaksi denitrifikasi nitrogen. Anaerobic microsite juga terjadi akibat konsumsi O_2 oleh mikroorganisme aerobik. Gejala ini menyebabkan tanah permukaan mempunyai organisme yang lebih banyak (rata-rata 10 kali lebih banyak) dibanding horison bawah. Mikroorganisme anaerobik juga kebanyakan ditemukan pada horizon permukaan karena mereka tergantung pada kondisi yang diciptakan oleh mikroorganisme aerobik.

Mikroorganisme anaerob mempunyai kemampuan untuk menciptakan energi dan tumbuh pada lingkungan tanpa O_2. Beberapa mikroorganisme anaerobik (obligate anaerobic microorganism) malah dapat teracuni oleh keberadaan O_2. Penomena keracunan ini diakibatkan oleh munculnya senyawa antara (intermediate). Senyawa antara ini dapat dirombak oleh enzim superoksidase atau katalase. Mikroorganisme anaerobik tidak mempunyai enzim-enzim ini. Namun karena produksi senyawa antara ini hanya terjadi bila ada donor elektron (food supply), beberapa mikroorganisme anaerobik bisa terhindar dari keracunan dengan cara menghentikan suplay makanan. Hal ini menyebabkan mikroorganisme anaerobik dapat bertahan beberapa tahun pada lingkungan aerobik.

Sebaliknya, beberapa organisme dapat beradaptasi pada lingkungan dengan konsentrasi CO_2 tanah yang tinggi. Fungi tertentu lebih menyukai horison lebih bawah yang mempunyai konsentrasi CO_2 tinggi. Bakteria nitrifikasi lebih aktif pada lingkungan dengan

konsentrasi CO_2 0,07 sampai 0,23 % (konsentrasi rata-rata atmosfir tanah) dibanding udara bebas yang mempunyai CO_2 sebesar 0,035 %.

AIR TANAH

Air tanah tidak hanya mempengaruhi ketersediaan air bagi organisme tetapi juga mempengaruhi status aerasi, sifat dan kandungan bahan-bahan terlarut, tekanan osmotik, dan pH larutan tanah. Organisme mempunyai toleransi yang berbeda terhadap kandungan air tanah (Tabel 2.2). Fungi pada umumnya lebih tahan terhadap kekeringan dibanding bakteria. Pada umumnya, aktivitas organisme berada dalam keadaan optimal pada sekitar -0,01 Mpa, dan menurun dengan pada matrik potensial lebih rendah (keadaan tergenang) atau potensial lebih tinggi (keadaan kering).

Tabel 2.2. Hubungan antara potensial air dengan mikroba yang beradaptasi

Potensial air			Konsentrasi larutan		Organisme
MPa	Bar	Aw	NaCl (w/v)	Sakarosa (w/v)	
-1,5	-15	0,99	2,0	17	**Rhyzobium, Nitrosomonas**
-10	-100	0,93	12,3	52	*Clastridium, Mucor*
-25	-250	0,83	25,3	70	*Microcuccos, Penicillium*
-65	-650	-	83		*Xeromyces, Saccaromyces*

Table 2.3 memperlihatkan respon bakteri nitrifikasi dan atau denitrifikasi terhadap air (Hadi et al., 2001). Terlihat bahwa baik pola pembentukan gas N_2O maupun pola perubahan konsentrasi NH_4^+ dipengaruhi oleh keberadaan air, mengindikasikan bahwa jenis mikroba dan atau proses biokimia yang berlangsung pada tanah lahan basah dipengaruhi oleh air.

Tabel 2.3. Konsentrasi gas N_2O dan NH_4^+ pada keadaan tanah lembab dan tergenang

Lama	Perlakuan	N_2O (ng N gr^{-1} tanah)						NH_4^+ (ug N gr^{-1} tanah)		
		Batu Mandi		Lampihong 1		Lampihong 2		Batu Mandi	Lampi-hong 1	Lampi-hong 2
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD			
0	Awal							157,0	143,0	190,0
2	Lembab	2,4	1,7	1,9	1,2	0,2	0,01			
	Tergenang	6,7	2,0	347,4	18,8	163,0	13,1			
5	Lembab	0,4	0,03	0,3	0,05	0,4	0,1	147,0	39,0	19,0
	Tergenang	0,2	0,1	1,0	0,3	0,2	0,02	8,3	152,0	189,7
13	Lembab	0,1	0,07	0,07	0,05	0,1	0,03			
	Tergenang	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00			
46	Lembab	0,3	0,02	0,3	0,02	0,1	0,02			
	Tergenang	0,4	0,02	0,1	0,03	0,1	0,01			
60	Lembab							77,5	9,4	14,1
	Tergenang							25,6	59,4	201,0

REDOKS POTENSIAL

Fotosintetik organisme memperoleh energi dari energi matahari. Sedang non-fotosintetik organisme memperoleh energi dari reaksi oksidasi bahan organik maupun inorganik di dalam tanah. Sebagaimana

diketahui, elektron yang dilepaskan pada reaksi oksidasi memerlukan akseptor. Karena itu, reaksi oksidasi dan reduksi berlangsung secara bersamaan, dan disebut reaksi redoks.

a (Oksidan) + ne = b (Reduktan)

Kecenderungan suatu bahan untuk menerima atau melepas elektron dinyatakan dengan redoks potensial (Eh), yang nilainya dapat dihitung berdasarkan

Persamaan Nernst:

$$Eh = Eh^{0} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(Red)^{b}}{(Oks)^{a}}$$

Dimana: Eh = potensial redoks; Eh0: potensial redoks dalam keadaan standar; R= konstanta gas, 8,3144 joule der-1 mol-1; T= suhu Kelvin, F= tetapan Faraday, 96 500 coulombs; n= jumlah elektron yang dialihkan dalam reaksi.

Dengan memasukkan tetatapan untuk R, F dan suhu 25C, persamaan Nernst dapat disederhanakan menjadi

$$E_h = E_h^{0} - \frac{0{,}059}{n} \log \frac{(Red)^{b}}{(Oks)^{a}}$$

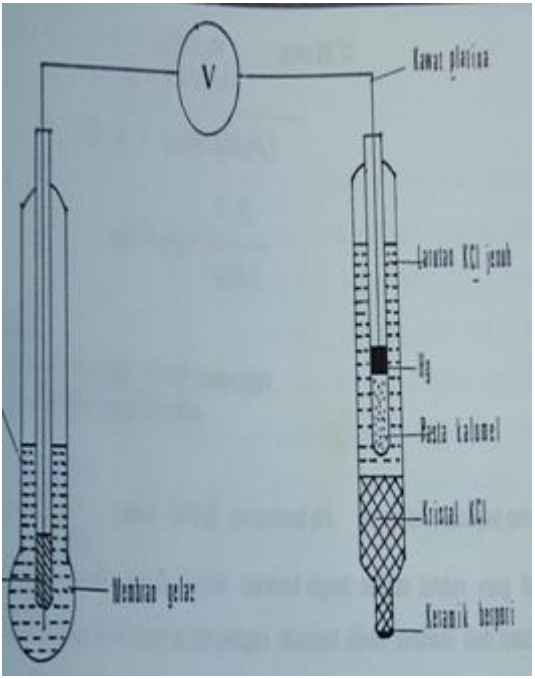
Di dalam tanah, redoks potensial merupakan jumlah dari banyak reaksi redoks, dan merupakan indikator penting dalam menentukan reaksi biokimia dalam tanah. Pada keadaan aerobik, O_2 bertindak sebagai penerima elektron, dan respirasi berlangsung (Tabel 3.3). Pada lingkungan anaerob NO_3^-, Fe_3^+, Mn_4^+, SO_4^{2-} dan CO_2 dan senyawa antara dapat bertindak sebagai penerima elektron.

Kopel redoks	Pa	Eh (Volt)
CO_2/CH_2O	-7,3	-0,43
N_2/NH_4^+	-6	-0,35
CO_2/asetat	-4,7	-0,28
SO_4^{2-}/H_2S	-3,7	-0,22
Fumarat/suksinat	+0,51	+0,03
NO_3^-/NO_2^-	7,11	0,42
MnO_2/N_2	8,1	0,48
Cyt_3 (oks)/ Cyt_3 (red)	9,3	0,55
NO_3^-/N_2	12,4	0,74
Fe^{3+}/Fe^{2+}	12,9	0,76
½ O_2/H_2O	13,9	0,82

Tabel 3.3. Nilai Eh dari beberapa kopel redoks yang ditemukan dalam tanah

Pengukuran Eh pada prinsifnya adalah penerapan sel galvanik, sebagai berikut:

Pt, H2/H+//Tereduksi/Teroksidasi, Pt



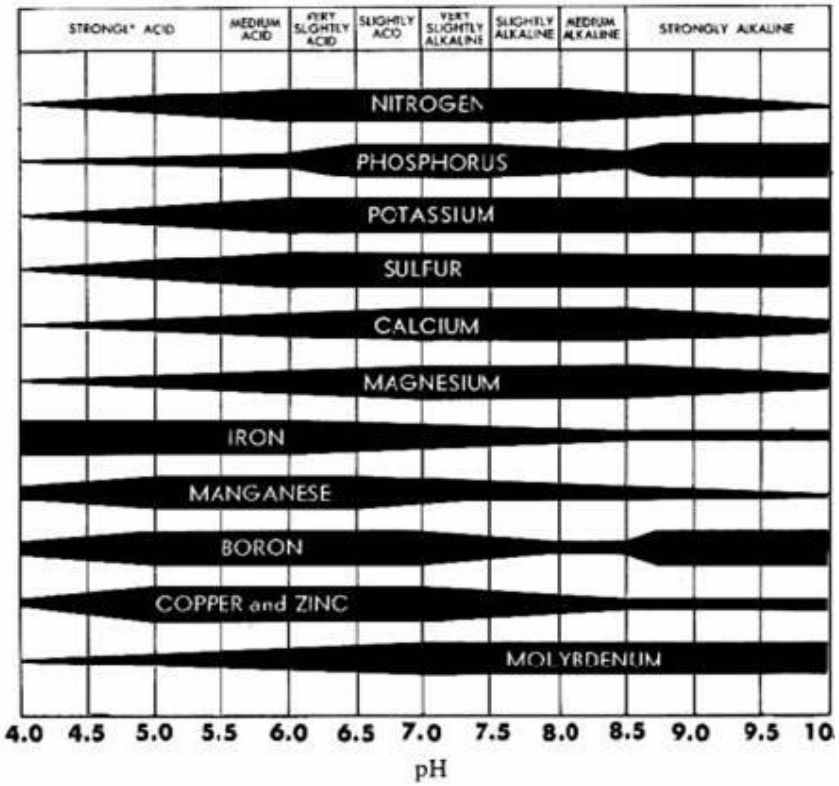
pH TANAH

. Kebanyakan tanah bersifat masam, baik karena memang sifat bahan induknya maupun oleh adanya pemupukan yang berlebihan, hujan asam, dan aktifitas bakteri pengoksidasi S. Fiksasi nitrogen oleh

organisme tanah juga dilaporkan menyebabkan peningkatan kemasaman tanah. Hidrolisis Fe dan Al hidroksida dan disosiasi gugus fungsional bahan organik merupakan sumber kemasaman yang utama pada tanah mineral dan tanah organik.

pH tanah mempengaruhi reaksi kimia dan biokimia yang terjadi di dalam tanah, mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman dan mikroba, dan pembentukan mineral liat. Transformasi NH4+ menjadi NO3- (nitrifikasi) merupakan aktivitas mikrobial yang paling tergantung dengan pH. Sedangkan hubungan pH tanah dengan ketersediaan beberapa unsur hara dapat dilihat pada Gambar 2.2.

pH merupakan indikator penting aktivitas organisme tanah. Kebanyakan bakteri hidup optiml pada pH antara 4 dan 9; sebagian bakteri hidup optimal pada pH antara 1 dan 3 (disebut acidophilic). Diantara kelompok bakteri ini adalah Thiobacillus, Thermophalus, dan Sulfolobus. Bakteria ini mengoksidasi mineral sulfur, membentuk asam sulfat. Fungi kebanyakan bersifat agak acidophilic; kebanyakan hidup optimal pada pH 4 sampai 6. Nitrosomonas spp. adalah salah satu diantara alkalophiles; hidup optimal pada pH antara 7,3 dan 9,6. Bakteri yang bersifat extrim alkalophiles hidup optimal pada pH sekitar 13. Bakteri ini bersifat halophilic; hidup pada danau-danau dengan kandungan garam tinggi.



SUHU TANAH

Mikroorganisme dapat dikatagorekan berdasarkan suhu optimal yang diperlukannnya untuk tumbuh dan berkembang. Psychrophiles hidup pada suhu 0°C dan berkembang optimal pada suhu <20°C. Thermophiles menginginkan suhu antara 20 dan 50°C. Mesophiles adalah organisme peralihan kedua katagori di atas. Respon mikroorganisme terhadap suhu rendah mungkin berhubungan dengan

permiabilitas membran sel dan mekanisme transportasi larutan ke dalam sel. Psychrophiles mikroorganisme meningkatkan sintesa enzim untuk mengimbangi penurunan laju metabolisme akibat suhu yang rendah. Sering diasumsikan bahwa aktivitas biokimia penting terhenti pada suhu suhu tanah <5°C, meskipun dilaporkan bahwa reaksi denitrifikasi dapat berlangsung pada suhu ini.

Fluktuasi suhu tanah mempengaruhi tidak hanya laju proses physiology sel organisme, tetapi juga sifat phisico-kimia dari lingkungan. Pengaruh suhu meliputi volume, tekanan, potensial redoks, difusi, gerak Brown, viscositas, tegangan permukaan, dan stuktur air tanah. Aktivitas sel organisme tanah, sebagaimana organisme secara umum, tunduk pada hukum thermodinamika. Pengaruh zone iklim (merupakan hasil total dari perbedaan suhu) terhadap populasi beberapa bakteri Tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4 (Hadi, 2001).

BAB III

KOMPONEN BIOTA TANAH

Kemampuan untuk mengelompokkan organisme memungkinkan diskusi tentang keanekaragaman bentuk hidup. Pada mulanya organisme dikelompokkan berdasarkan morfologi, fisiologi, dan habitat. Organisme dikelompokkan ke dalam beberapa tingkat pengelompokan: kingdom, klas, ordo, famili, genus, dan spesies. Sebagai ilmu, taksonomi berkembang dengan pesat.

Linnaeus (1707-1778) merancang klasifikasi 'dua kingdom': Plantae dan Animalia. Dia menempatkan fungi pada kingdom Plantae, dan mengabaikan organisme tingkat rendah yang lain. Haeckel (1866) membuat taksonomi tiga kingdom: Plantae, Animalia, dan Protista. Protista mencakup semua jenis organisme mikro. Chatton (1837) juga mengelompokkan organisme kedalam dua kingdom; organisme dengan inti sel yang diikat oleh membran disebut Eukaryota dan organisme dengan inti sel mengembang tanpa membran disebut Prokaryota. Di tahun 1969, Whittaker membuat klasifikasi 'lima kingdom', dia memakai Plantae dan Animalia dan menambahkan Monera untuk Prokaryotic, Protista untuk Eukaryotik, dan Fungi untuk tumbuhan mikro yang tidak berfotosintesa. Seiring dengan kemajuan analisa phylogenetik berdasarkan susunan rRNA, Woese (1987) menggunakan teori 'asal-usul (domain)' untuk mengelompokkan organisme. Dalam

klasifikasi ini, keseluruhan organisme dikelompokkan kedalam satu superkingdom, dan terbagi dalam beberapa ‘domain’. Prokaryotik kemudian dibagi menjadi domain Bakteria dan domain Archaea. Margulis dan Schwartz (1988) memisahkan semua eukaryotik ke dalam domain Eukaryotae, dan kingdom Monera dan memisahkan domain Prokaryota ke dalam 4 kingdom: Protoctista (untuk Protista), Mycota (untuk fungi), Plantae, dan Animalia. Cavalier-Smith (1993) menyadari bahwa istilah ‘Protista’ tidak berbau phylogenetic dan menggantinya dengan tiga kingdom: Archezoa, Protozoa, dan Chromista. Mereka mempertahankan kingdom-kingdom Fungi, Plantae, dan Animalia. Sistem klasifikasi Cavalier-Smith juga sejalan dengan versi terbaru teori ‘asal-usul hidup’ Woese.

Di sini, kita gunakan domain Bakteria dan Archaea, untuk prokaryotik, dan Eucarya, untuk eukaryotik. Pembicaraan tentang Bakteria dan Archaea dibatasi pada sub-group-sub-group bagi tanah dan lingkungan. Untuk Eukarya, meskipun kita menggunakan ‘enam kingdom’-nya Cavalier-Smith, kingdom Archezoa tidak dibahas karena terdiri dari kebanyakan parasit yang kurang penting bagi tanah. Plantae juga tidak dibahas secara khusus, kecuali beberapa spesies yang berfingsi sebagai ‘inang’ atau symbionts bagi organisme lain.

BACTERIA

Bakteria merupakan organisme bersel yang paling sederhana dan bersifat prokaryotik. Sampai sekarang, lebih dari 400 ganera bakteri yang diberi nama. Kenyataan bahwa rDNA dari bakteri yang diekstrak

dari tanah kadang-kadang menunjukkan susunan yang berbeda dengan bakteria yang telah diberi nama, jumlah spesies bakteri belum jelas.

Bakteria berukuran panjang 1-2 mm dan diameter 0,5 -1,0 mm, dapat berbentuk batang (bacillus), bulat (coccus), spiral (spirillum), atau serupa S (vibro). Kebanyakan bakteria dalam tanah berbentuk spiral atau serupa S. Sebagian bakteria mempunyai flagella (motile bacteria) dan sebagian tidak (non-motile bacteria). Ada bacteria berdinding sel tebal (gram positive) dan ada yang berdinding sel tipis (gram negative). Bakteria menempati urutan ke-2 proporsi biomass terbesar diantara mikroorganisme tanah. Bakteri menyebar tidak merata dalam tanah, umumnya berkoloni terkonsentrasi sekitar sumber pakannya (misalnya akar). Rata-rata 1 gram tanah mengandung 106 sampai109. Bakteri yang berhasil diidentifikasi didaftar pada Bergey's Manual of Determinative Bacteriology.

Beberapa sifat umum bakteria

Sumber dari mana organisme mendapatkan C untuk menyusun sel dan memperoleh energi berguna dalam menggambarkan perbedaan perbedaan fisiologi dasar bakteria. Bakteri yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi disebut phototrophic, dan yang meggunakan bahan kimia disebut chemotrophic. Jika CO2 digunakan sebagai sumber C sel, maka disebut autotrophic; jika menggunakan terutama C dari bahan organik maka disebut heterotrophic. Awalan litho (inorganik) dan organo (organik) juga sering ditambahkan untuk menyatakan sumber donor elektron. Kebanyakan bakteria bersifat chemorganotrophic, atau

sering juga disebut heterotrophs. Photolithotrophs mencakup tanaman tingkat tinggi, alga, cyanobacteria, dan purple dan green sulfur bacteria. Chemolithotrophs menggunakan banyak sumber energi, seperti : NH4+, NO_2^-, Fe_2^+, S_2^-, and $S_2O_3^-$.

Penyusun utama sel adalah dinding sel, membran plasma, DNA inti, dan ribosom. Membran plasma mempunyai peran penting dalam fisiologi sel; dan DNA penting dalam reproduksi sel. Plasma membran mengandung dua lapis lemak, dengan asam lemak lengket pada glycerol. Protein mengelilingi lapisan ini. Protein membawa membran yang kaya akan enzim dan co-faktor yang umumnya ditemukan pada kebanyakan spesies.

Woese (1987), dengan menitik beratkan pada susunan rDNA, membagi bakteri menjadi 12 filum.

Purple Bacteria

Filum ini terutama terdiri dari apa yang sebelumnya dikenal sebagai bakteria G-. Sangat luas, mencakup heterotroph, chemolithotrophs, dan chemophototrophs. Beberapa genus bersifat aerobik, dan beberapa bersifat anaerobik. Nitrosomonas mengoksidasi persenyawaan N; Rhodopsedomonas bertindak sebaliknya. Susunan rRNA menunjukkkan bahwa semua purple bacteria merupakan bakteria bersifat fotosintetik.

Beberapa anggota dari subdevisi ini dapat berasosiasi dengan eukaryotes. Bakteria yang dapat berasosiasi dengan akar tanaman

disebut rhizobacteria; genus Pseudomonas merupakan salah satu contoh terbaik. Pseudomonas merupakan anggota Pseudomonads. Pseudomonads merombak berbagai jenis gula, asam amino, alkohol, dan aldose. Beberapa spesies dapat merombak pula senyawa dengan berat molekul tinggi seperti asam humik dan pestisida.

Purple, sulfur-oxidizing bakteria mengandung karotenoid dan klorofil di dalam cytoplasmic membrane dan intracytoplasmik membrane. Jika berkembang pada sulfur teredoksi bakteri ini akan mengoksida S menjadi sulfate. Genus Chromatium dan Ectothiorhodospira merupakan purple, sulfur-oxidizing bacteria yang paling dikenal.

Purple nonsulfur-bakteria umumnya bersifat fotoheterotrofik dan anaerobik. Sebagian bersifat fotolitotrofik dan menggunakan molekul hidrogen. Sebagian lagi menggunakan sulfit atau unsur S sebagai donor elektron dan CO_2 sebagai sumber C. Kebanyakan spesies tidak toleran terhadap sulfit, dan tergantung pada sulfat sebagai sumber S. Purple nonsulfur bakteria tersebar secara luas pada ekosistem air dan lahan basah. Dikenal 6 genus: Rhodospirilum, Rhodopila, Rhodobakter, Rhedopseudomonas, Rhidomicrobium, dan Rhodocyclus. Termasuk diantara genus-genus ini adalah bakteri nitrifikasi, dan bakteri pengoksidasi Fe dan Mn.

Green Sulfur Bacteria

Bakteria ini bersifat obligate fotolitotrofik dan mampu menggunakan sulfit atau unsur S sebagai donor elektron. Semua genus mem-fotoasimilasi substansi organik sederhana dengan keberadaan sulfit dan bikarbonat. Di dalam kultur, bakteria berwarna hijau daun atau coklat. Spesies hijau mengandung terutama klorofil c dan d, dan sedikit klorofil a. Spesies coklat mengandung terutama bakterioklorofil e, dan sedikit klorofil a, dan isorenieratane. Green sulfur bakteria hidup secara anaerobik pada lumpur dan air yang mengandung sulfit. Bakteria coklat banyak ditemukan di lahan-lahan basah dan kolam. Di danau, green sulfur bakteria ditemukan selalu pada kedalaman di bawah purple sulfur bakteria.

Actinomycetes

Dari 4 sub-devisi dari bakteria G+, tetapi, hanya actinomycetes dan sporogenic bacilli yang mempunyai arti penting untuk dibicarakan di sini. Kedua group ini dapat dibedakan dari susunan genetiknya. DNAs actinomycetes mengandung G+C lebih dari 50%, sedang bacilli >50%.

Actinomycetes bersifat chemorganotrofik, umumnya membentuk filament yang bercabang banyak. Bagian filament yang membentuk spora disebut conidia, conidiospora, atau arthrospora. Bergey's Manual membagi actinomycetes menjadi 8 subgroup, terdiri dari 38 genus. Berdasar susunan rRNA, dari jenis yang ditemukan dalam tanah

disajikan pada tabel 4.1. Actinomycetes kini juga mencakup genus-genus G- dan mikroorganisme bersel tunggal.

Kurang-lebih 90% actinomycete yang diisolasi dari tanah adalah Streptomycetes. Kelompok ini tersebar luas di dalam tanah, serasah, dan kompos. Hampir semua bersifat sapropit dan dapat merombak segala jenis substansi seperti lignin, chitin, pectin, keratin, kompleks aromatik, dan asam humat. Thermotolerant yang dapat tumbuh pada suhu 45-55°C merupakan perombak penting dalam kompos dan pupuk hijau. Streptomycete juga menghasilkan sekelompok antibiotik seperti erythromycin, neomycin, tretracycline, amphotericin, dan streptomycin. Anggota dari genus Frankia mengandung nitrogenase dan membentuk nodul pada non-legum.

Sporogenik Bacilli

Sporogenik bacilli yang mempunyai G+C rendah. Bacillus bersifat aerobik, sedang Clastridium bersifat anaerobik. Keduanya membentuk spora. Endospora bersifat dorman dalam sel induk dan dapat hidup lama setelah sel induknya mati. Genus mempunyai keragaman yang luas. Pada permentasi glukosa, glycerol, alcohols, H2, acetone, 2,3-butanediol, dan asam formik, asam asetat dan asam laktat, dan asam suksinat selalu dihasilkan. Pada genus Bacillus, beberapa spisies menghasilkan lytic enzim dan antibiotik, yaitu polymyxin, gramicidin, dan bacitracin. Racun yang dihasilkan oleh Bacillus thuringiensis (dipasaran dikenal dengan sebutan Bt) digunakan secara

luas untuk pengendalian hama terpadu. Clostridium tetani, C. botulinum dan Bacillus anthracis adalah pathogens penting.

Cyanobacteria

Cyanobakteria adalah obligate fototrofik dengan fotosintesis yang serupa dengan tanaman tingkat tinggi. Sebelumnya dikenal sebagai blue-green alga.

Cyanobakteria bersel banyak, membentuk koloni, filament bercabang. Cell biasanya berukuran 1,0 sampai 10 um, tetapi kadang-kadang hanya 0,5 um atau sebesar 50um. Dinding sel serupa dengan bakteri G- lain, kecuali bahwa lapisan peptidoglycan lebih tebal. Cytoplasma tersusun dari sepasang lamela fotosintesa yang disebut thylacoids. Membran-nya membawa butir bersifat fotosintesis.

Reproduksi terjadi dengan pembelahan dan mencakup sel-sel khusus: endospores, exospores, dan akinete.

Cyanobacteria tersebar luas di daratan, air tawar, dan laut. Mereka tergantung pada cahaya, meskipun sebagian dapat beradaptasi dengan cahaya yang sangat lemah. Cyanobacteria ditemukan pula pada sumber air panas bersuhu 74°C dan di kutub. Mereka dapat bertahan atau bahkan memanfaatkan sulfida bebas. Pada bahan induk tanah, cyanobacteria sering merupakan penghuni pertama, baik secara sendiri atau bersimbiosis dengan lumut kerak (lichens).

ARCHAEA

Archaea dapat dibedakan dari bakteria baik oleh phylogeny molekul maupun phenologinya. Beberapa keunikan morfologi dan fisiologi dari beberapa subgroup archaea dapat diuraikan sebagai berikut. Pada umumnya, archaea toleran terhadap lingkungan yang keras. Kondisi optimum untuk pertumbuhan beberapa archaea diperlihatkan pada Tabel. Membran sel archaea adalah unik. Cabang rantai, ikatan ether-lemak sangat berbeda dengan mahluk hidup lain. Struktur dasarnya adalah 5 C isoprene. Struktur dasar dapat berikatan membentuk rantai ber-karbon 20; dua rantai ini dapat bergabung membentuk rantai ber-karbon 40. Ether terikat pada glycerol, bukan ester seperti pada bakteria atau eucarya. Halophiles memepunyai diether; methanogens mempunyai glycerol-diether dan diglycerol-tetraether. Tetraether dominan pada archaea thermophillic.

Halophiles

Halophiles memerlukan konsentrasi NaCl yang tinggi. Kebanyakan hidup pada NaCl dengan konsentrasi 3-4 M, sebagian pada 1,5 M, dan sebagian pada 5,2 M, konsentrasi jenuh. Untuk mengimbangi konsentrasi NaCl yang tinggi, sel menumpuk KCl. Kebanyakan Halophiles menghasilkan carotenoid merah untuk perlindungan terhadap cahaya. Hal ini menyebabkan pula warna merah pada beberapa ikan dan air.

Halophile adalah aerobik chemorganotroph dan kebanyakan hanya dapat di-kultur pada media kaya hara dengan lemak dan asam amino sebagai sumber C. Beberapa halophiles menggunakan cahaya untuk metabolisme.

Methanogens

Methanogens unik karena kemampuannya memproduksi CH4 sebagai hasil metabolisme. Karena mensyaratkan lingkungan anaerobik, emisi methan terutama terjadi pada rawa, danau, endapan laut, usus dan mulut binatang, dan daerah pengolahan sampah. Pada daerah penumpukan sampah, metan sedemikian banyak sehingga dapat dimanfaatkan untuk tujuan komersial. Methanogens tidak menggunakan gula sebagai sumber C. CO2 umumnya digunakan sebagai sumber C. Karbon dari CO2 dirubah menjadi CH4 dengan elektron yang disumbang oleh hidrogen.

Thermophiles

Archaeoglobus bersifat anaerobik dan chemorganotrophic, menggunakan gula dan lemak sederhana, menggunakan sulfat sebagai sumber elektron. Archaeoglobus yang mengandung cofaktor F420 dan methanofuran ditemukan pada methanogens.

Thermoplasma bersifat facultatif anaerobik dan berkembang pada pH 1,5 dan 60°C. Genus ini tidak mempunyai bagian luar dinding sel. Karena itu, ia sebelumnya dimasukkan ke dalam bakteria

mycoplasma, tetapi susunan 16S rRNA menyebabkan ia masuk dalam kelompok archaebakteria.

Thermococcus dan Pyrococcus berbeda hanya suhu optimumnya. Thermococcus tumbuh pada suhu 83°C, sedang Pyrococcus pada 100°C.

Thermoacidophilic Crenarchaeotes

Semua genus ini bersifat fakultatif aerobik, tumbuh pada suhu 60°C dan pH<4. Mereka banyak terdapat pada sumber air panas.

EUCARYA

Sepanjang abad ini, eucarya dibagi menjadi empat kingdom: Plantae, Animalia, Fungi, dan Protoctista. Dengan ketersediaan 'molecular sequencing' dan teknik ultra mikroskopik, terbukti bahwa kebanyakan anggota protoctista dan beberapa anggota kingdom lain tidak konsisten dengan eucarya. Smith (1993) mengganti protoctista dengan tiga kingdom, Archezoa, Protozoa, Chromista. Klasifikasi yang diperbaiki ini kini diterima secara luas.

PROTOZOA

Kingdom ini meliputi phagotrophic, organisme bersel banyak yang biasanya motil dan mempunyai mitochondria. Organisme tak ber-mitochondria yang dulunya dimasukkan ke dalam protozoa, kini dimasukkan ke kingdom Archezoa. Archezoa bersifat parasit. Giardia

lambia, terdapat pada sumber air alami, menyebabkan diare pada manusia.

CILIATE

Ciliate adalah phogotrof yang banyak ditemukan pada perairan air tawar dan laut. Ada lebih dari 700 species yang telah diketahui. Ciliate dicirikan oleh adanya dua jenis inti sel. Inti yang lebih kecil bertanggungjawab pada sintesa DNA, dan yang lebih besar pada sintesa DNA dan RNA. Satu sel dapat mengandung lebih dari dua inti sel. Reproduksi dilakukan dengan konjogasi dan pertukaran plasma.

Ciliate memakan terutama bakteri, juga protozoa lain, alga, dan beberapa metazoa. Makanan diangkut melalui mulut sel (cytosome) dan dilewatkan ke vacuole untuk dicerna.

Amoeba

Amoeba mengproduksi aliran cytoplasma kedalam kantong yang disebut pseudopodia; selanjutnya digunakan untuk bahan bakar dan makanan. Amoeba dapat dibagi menjadi amoeba naked atau shelled.. Kebanyakan amoeba bersifat phagotrophic; sebagian naked amoeba bersifat parasitik. Entamoeba histolytica menyebabkan dysentery pada manusia. Shelled amoeba menghuni perairan air tawar, tanah lembab, dan bahan organik.

CHROMISTA

Chromista merupakan eukaryotes phototrophic atau saprotrophic, dapat bersel satu atau bersel banyak. Dua kelompok penting dari chromista adalah oomycetes dan algae. Yang lain adalah cryptomonads. Organisme bersel satu ini mempunyai dua flagela; dulu dipandang sebagai protozoa. Cryptomonads mengandung dua chloroplastid dan terdapat di laut dan air tawar.

Oomycete

Oomycete mempunyai flagela ganda dan satu nonseptate mycelium dengan inti ganda. Dinding sel tersusun dari selulosa, bukan chitin. Tidak seperti fungi, oomycete tidak dapat mensintesa sterol maupun men-transport trehalose. Mereka mensintesa lysine melalui siklus asam diaminopimelic, bukan siklus aminopimelik seperti pada fungi. ada dua subgroup penting dari oomycetes: saprolegniales dan peronporales. saprolegniales kebanyakan bersifat saprophytic. peronsporales kebanyakan merupakan phatogen perusak pada tanaman.

Algae

Algae merupakan oxygenic phototrophs. Secara morfologi, alga meliputi organisme bersel satu (dengan diameter 1 um) hingga organisme bercabang banyak (dengan panjang 50 sampai 100 m). Algae mendominasi organisme perairan, ditemukan pada perairan air tawar, payau dan laut. Kebanyakan hidup pada air permukaan, beberapa dapat hidup pada kedalaman dimana tersedia cukup cahaya. Pada air yang

jernih, dapat hidup pada kedalaman 1,5 sampai 2 m. Algae ditemukan di tanah; batu, lumpur, pasir, salju, bangunan; melekat pada tumbuhan dan hewan. Mereka tahan terhadap suhu dingin salju dan panas 70-80°C pada sumber air panas.

Algae diklasifikasikan berdasar pigment, bahan yang dihasilkan, pergerakan, dan membran dalam. Taksonomi yang sering dipakai oleh ahli phycology mengandung 6 subgroup. Beberapa literatur masih menganggap prokaryotic cyanobacteria sebagai Cyanophyta, atau blue-green algae.

Algae mempunyai arti penting secara ekonomi dan lingkungan. Diatom, ketika hidup, merupakan sumber makanan penting bagi hewan laut. Setelah mati, dinding sel yang mengandung silikat dan menumpuk di dasar laut dan merupakan bahan penting pada produksi detergent, smer, deodorant, bahan filter, dll. Agar merupakan tambahan pada obat-obatan, kosmetik, dan makanan. Di laboratorium, agar digunakan untuk membuat media kulturisasi mikroorganisme.

FUNGI

Fungi (Mycota) adalah organisme bersel lebih dari satu yang mempunyai hypha. Hypha membentuk benang mycelia. Fungi selalu berukuran lebih besar dari bakteri, umumnya berdiameter 2-10 mm. Hypha berbentuk tidak beraturan—karena kontak langsung dengan partikel tanah. 1-75 % dari total hypha bersifat aktif. Karena ukurannya, fungi jarang menempati pori mikto tanah. Fungi dapat memanfaatkan

banyak sumber karbon (bersifat heterotropik) dan sepenuhnya bersifat aerobik (obligate aerobic). Fungi merupakan komponen terbesar penyusun biomassa mikroorganisme tanah.

Klasifikasi fungi masih terus berkembang seiring dengan hasil hasil analisa DNA dan RNA. Sampai sekarang dikenal 690 spesies fungi penghuni tanah yang tergabung dalam 170 ganera. Beberapa diantaranya merupakan penyebab penyakit pada tanaman.

Chytridiomycetes

Keunikan krlompok ini terletak pada kemampuan bergerak dari asexual zoospore. Beberapa genus bersifat saprotrophic, hidup pada buangan organik perairan, lumpur, dan tanah lembab. Beberapa spesies-nya penting dalam decomposisi selulosa, chitin, dan keratin. Beberapa jenis juga bersifat parasit, terutama terhadap algae, cyanobakteria, dan kadang-kadang pada tanaman.

Zygomycetes

Zygomycete disebut ‘sugar fungi’ karena kemampuannnya dalam menggunakan gula sederhana dan bukan polysaccaride seperti kebanyakan fungi. Species dari beberapa genus tetap berbentuk ragi ketika tumbuh pada keadaan anaerobik atau aerobik dalam keadaan kaya glukosa.

Kebanyakan zygomycete adalah saprotrophic, terdapat di tanah, pada kotoran hewan, dan pada makanan ternak. Rhizopus stolonifer

merupakan perusak roti. Beberapa bersifat parasit pada tanaman, fungi lain, protozoa, nematoda, dan serangga. Zygomycete umumnya digunakan untuk produksi asam organik.

Basidiomycete

Sifat umum dari Basidiomycete adalah produksi sel berinti tunggal pada basidium, tempat terjadinya pembelahan sel.

Basidiomycete meliputi ratusan jenis-jenis saprotrophic. Salah satu diantaranya adalah jamur. Jamur membentuk mycelum dibawah atau diantara serasah. Mereka umum ditemukan di padang rumput dan kebanyakan di hutan. Beberapa diantaranya: Amanita, Clitocybe, dan Psilocybe.

Basidiomycete adalah pembusuk penting kayu. Mereka melekat pada kayu hidup dan mati, tonggak, pagar; memberi kelembababan 20-80%. Pembusuk kayu dapat dibagi menjadi dua: putih dan coklat. Pembusuk putih merombak baik lignin maupun cellulose, menyisakan serat berwarna putih. Pembusuk coklat merombak cellulose, tidak merombak lignin, menyisakan serbuk berwarna coklat.

Beberapa basidiomycete bersifat facultative parasit. Armillaria menyerang dan membunuh pohon, kemudian tumbuh sebagai saprofit pada pohon yang mati.

Deuteromycetous Fungi

Fungi jenis ini tidak mempunyai fase sexual; karena itu disebut ‘fungi tak komplit. Kebanyakan deuteromycete hidup pada serasah, tahi, dan bahan organik. Conidia dari Cladosporium sering mendominasi spora fungi di udara. Beberapa deuteromycete juga dapat hidup pada kondisi tergenang, terutama pada arus yang membawa daun mati. Pada musim gugur, arus dapat mengandung 20.000 conidia per liter.

HEWAN

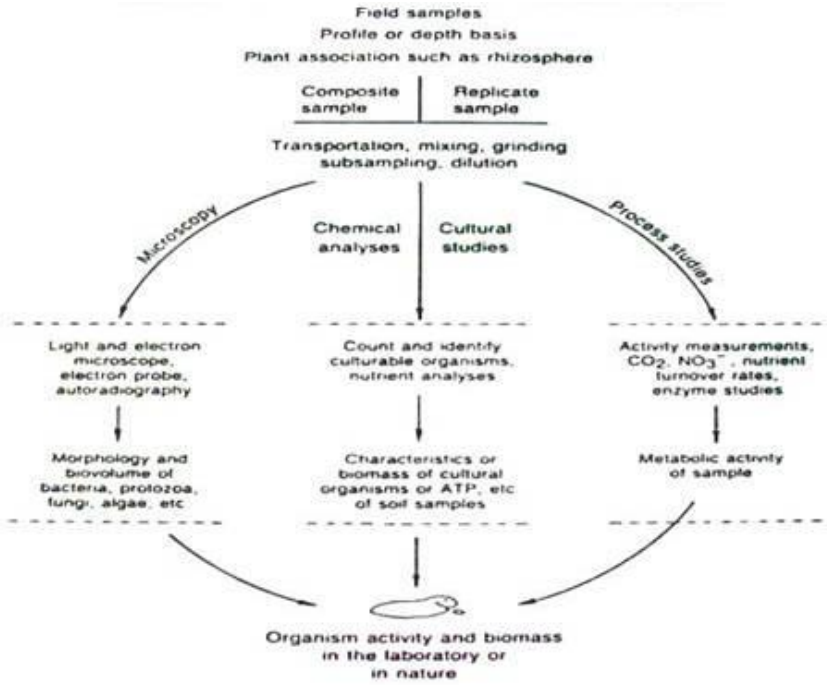
Ratusan jenis hewan menghabiskan seluruh atau sebagian besar waktu hidupnya di dalam tanah atau serasah. Secara keseluruhan, hewan yang menempati tanah menyusun fauna tanah. Nama dan jumlah hewan penghuni tanah pada beberapa diperlihatkan pada Gambar. Pembicaraan tentang fauna tanah selalu memperhatikan ukuran tubuh, yempat tinggal, jenis makanan, dan posisi pada siklus web. Yang biasanya digunakan untuk mengelompokkan ukuran tubuh adalah mikro-, meso-, dan makrofauna (Gambar 3.1).

BAB IV

METODE MEMPELAJARI MIKROORGANISME TANAH

Studi mikroorganisme dapat berupa identifikasi jenis organisme, memahami hubungan antar organisme, menghitung jumlah, dan mengukur laju proses physiology. Pakar budidaya tanaman, pakar lingkungan, atau pakar biokimia bertujuan mengetahui apa yang terjadi di alam. Setiap contoh yang diambil dari lapang merupakan suatu komposit dari berbagai mikrohabitat yang berbeda sebagai akibat dari keberadaan vegetasi, kedalaman horison, perbedaan musim, dsb. Keberagaman sifat dan kenampakan tanah mengharuskan cara pengambilan sampel yang baik. Skala studi juga dapat berbeda-beda tingkatnya; mulecular, organisme, keseluruhan tanaman, pedon, keseluruhan ekosistem, dll. Gambar 4.1. memberikan gambaran tentang berbagai tingkat studi yang dilakukan untuk mempelajari aktivitas dan keragaman organisme.

Teknik pengukuran parameter-parameter biologi tersedia pada buku-buku penuntun analisa. Technologi mutahir dengan penggunaan isotop memungkinkan penggunaan sedikit sampel, analisa otomatis, dan hasil yang lebih cepat dan akurat. Bab ini hanya menyajikan beberapa teknik dasar yang dapat digunakan untuk tanah kebanyakan.



PENGAMBILAN CONTOH TANAH

Cara pengambilan contoh tanah untuk studi mikroorganisme pada dasarnya sama dengan cara pengambilan tanah untuk analisa fisika-kimia. Hanya saja, karena parameter biologi lebih peka terhadap perubahan lingkungan dan tingkat dan bentuk respon berbeda dengan jenis organisme, pengambilan dan penanganan contoh tanah yang memperhatiakan tujuan sangat diperlukan. Pada contoh untuk analisa nitrat misalnya, analisa harus dilakukan segera setelah pengambilan contoh. Atau, contoh tanah harus dikeringkan dalam waktu 24 jam.

Pengeringan yang perlahan-lahan menyebabkan perombakan nitrit, membentuk nitrat; mengakibatkan peningkatan konsentrasi nitrat. Untuk analisa parameter lain, penempatan sampel dalam ruang bersuhu lapang atau di bawah 4°C dipandang cukup untuk menghambat terjadinya perubahan sifat biologi sampe--meskipun denitrifikasi dilaporkan masih dapat berlangsung pada suhu 4°C. Heterogenitas organisme tanah juga menuntut jumlah ulangan yang lebih banyak. Pada sampel yang homogen, empat ulangan, yang masing-masing terdiri paling tidak dari dua titik terpisah, merupakan batas minimal.

Hasil analisa akan bersifat lebih informatif jika didukung oleh informasi mengenai lokasi pengambilan contoh. Beberapa informasi fisik, kimia, dan biologi lokasi pengambilan contoh yang biasanya diperlukan adalah sebagai berikut : topografi, bahan induk, jenis tanah, status kelembaban, infiltrasi air, pH, ukuran partikel, status CO2 dan O2, bulk density, suhu (kisaran dan variasi), cuah hujan (jumlah dan distribusi), tanaman penutup (termasuk produktivitas biomasanya), riwayat penggunaan lahan, keberadaan hewan, biomassa mikrobia, input bahan organik dan keberadaan akar.

MIKROSKOP

Studi organisme tanah dapat dilakukan dengan menanam lembar slide dalam jangka waktu tertentu. Slide kemudian diamati dibawah mikroskop. Dengan cara ini, kondisi sampel yang lebih alamiah dapat diamati. Penambahan bahan kimia tertentu, seperti cellopane, memungkinkan study mengenai Mikroskop terutama berguna

dalam determinasi morphology, jumlah, dan susunan mikroorganisme di dalam tanah. Mikroskop biasa dapat mengidentifikasi struktur tanah, penetrasi akar, dan fauna tanah. Mikroskop biasa tidak dapat digunakan untuk mempelajari mikrobiota. Mikroskop fluorescence dapat digunakan untuk membedakan mikroorganisme dari fraksi mikro-mineral tanah. Penggunaan mikroskop transmisi elektron (transmission electron microscopy, TEM) memungkinkan studi mengenai interaksi mikroorganisme dan serat bahan organik, dan mengamati mikroorganisme dalam akar. Penggunaan scanning electron microscopy (SEM; mikroekop tiga dimensi) memungkinkan studi mengenai susunan dan bentuk mikroorganisme dan habitatnya secara bersama-sama.

Urutan kolonisasi

Penghitungan langsung menggunakan mikroskop merupakan cara yang paling umum dalam penghitungan populasi mikroorganisme. Tanah di-disuspensi dengan bahan seperti resin, natrium pyrophosphate, atau detergent untuk memecah agregat. Jumlah tertentu dari ekstrak kemudian ditempatkan pada lembar slide yang diketahui luasnya (terbagi menjadi grid-grid) . Sampel kemudian diaduk dengan agar yang diketahui volumenya. Setelah kering angin, sampel kemudian diberi zat warna. Zat pewarna berikatan dengan protein pada dinding sel dan cytoplasma dari mikroorganisme. Lembar tipis dan datar sampel memudahkan pengamatan. Populasi organisme kemudian dihitung berdasarkan rumus :

$$H = \frac{\pi n G}{2L}\left[\frac{S}{G}\frac{v}{V}\frac{W}{D}d\right]$$

N = jumlah bakteri g-1 tanah kering
Nf = rata-rata jumlah bakteria tiap grid
S = luas areal yang ditutupi sampel (biasanya 113 mm2)
F = luas areal yang teramati di bawah mikroskop (mm2)
v = volume sub-sampel yang ditempatkan di atas slide (biasanya 0,01 mL)
V = volume keseluruhan suspensi (mL)
d = faktor pengenceran (biasanya 102)
W = berat tanah basah
D = berat tanah kering

Dari hasil pengamatan mikroskopy dapat pula dihitung total C dengan rumus berikut :

$$B = NUE\left(\frac{d}{w}\right)C$$

dimana :

B = biomassa (mg C g-1 tanah kering oven)
N = jumlah bakteri g-1 tanah kering
U = rata-rata volume bakteria (mm3; 4/3pr3 + pr2l)
E = rapat jenis bakteria (biasanya 1,1 x 10-3 mg mm-3)
d/w = kandungan fase padat bakteri (biasanya 0,2 untuk kultur murni, dan 0,4 untuk tanah)
C = kandungan karbon bakteri (biasanya 0,4)

Dengan mikroskop, biomassa fungi juga dapat dipelajari. Pengamatan dilakukan terhadap jumlah hyphae yang memotong grid-grid pada slide. Perhitungan yang umum untuk fungi adalah sebagai berikut :

$$H = \frac{\pi n G}{2L}\left[\frac{S}{G}\frac{v}{V}\frac{W}{D}d\right]$$

dimana :

H	= panjang hyphae (m g-1)
n	= jumlah hyphae yang memotong grid
G	= luas tiap grid
L	= jumlah panjang dari grid yang berpotongan dengan hyphae
S,v,V,W,D,d	= sama dengan untuk bakteria

Biomassa fungi dinyatakan dengan C, dengan rumus :

$$Fh = \pi r^2 HE\frac{W}{D}Cx10^6$$

dimana :

Fh	= biomassa fungi (mg C g-1 tanah kering oven)
R	= rata-rata diameter hypgae (sering 1,12mm)
simbol lain	= sama dengan diatas

ANALISA KIMIA

Kandungan cytoplasma

Biomassa dan atau aktivitas biota tanah dapat diukur dengan menganalisa komponen tertentu dari sel (misalnya cytoplasma, membran sel, dinding sel, RNA dan DNA). Kontak sel dengan chloroform (CHCl3) menyebabkan hancurnya dinding sel, dan isi sel keluar ke tanah. C, N, S, dan P dari cytoplasma selanjutnya dapat diukur. Bagan alur analisa biomassa mikroorganisme dengan extraksi CHCl3 disajikan pada Gambar 8. Motode ini memerlukan dua set sample; sampel dengan fumigasi CHCl3 dan sampel tanpa fumigasi CHCl3. Setelah fumigasi selama 24 jam, sampel diekstrak dengan K2SO4 (biasanya berkonsentrasi 0,5 M) dan dianalisa kandungan C atau N-nya.

$$B = K \times (Ef - Eu)$$

dimana :

B = biomassa C atau N,
K = konstanta; 2,64 untuk karbon atau 2,22 untuk nitrogen,
Ef = C atau N terekstrak dari sampel dengan fumigasi,
Eu = C atau N terekstrak dari sampel tanpa fumigasi

Metode pengukuran biomassa dengan extraksi choloform merupakan metode yang umum digunakan karena memberikan hasil yang rasional untuk berbagai jenis tanah dengan berbagai kisaran pH dan kandungan bahan organik.

ATP

Metode ini didasarkan pada kenyataan bahwa setiap reaksi bisintesa dan metabolisme di dalam sel selalu melibatkan adenosin triphosphat (ATP). Metode ini dapat digunakan untuk sampel tanah, sedimen, dan ekosisitem air.

Metode ini memanfaatkan reaktan luciferin, gugus aromatik mengandung N dan S. Reaksi luciferin dengan ATP dan enzim luciferase memberikan hasil antara, enzim luciferin-adenosine monophosphate. Reaksi enzim luciferin-adenosine monophosphate dengan O2 menghasilkan adenosine monophosphate bebas, P inorganik, dan cahaya. Cahaya yang dipancarkan selanjutnya diukur dengan photometer atau scintillation counter.

Komponen membran dan asam lemak

Lemak terdapat pada membran mikroorganisme. Lemak dapat diekstrak dengan campuran chloroform-metan.

Asam lemak ditulis dengan notasi sebagai berikut : jumlah karbon pembentuk, titik dua, jumlah gugus tak jenuh, w, dan jumlah atom antara C yang mempunyai ikatan ganda dan gugus methyl pada akhir rantai, dan huruf yang memberi informasi tambahan tentang asam lemak ybs. Huruf-huruf itu adalah : t = trans, ; i = iso, asam lemak yang mempunyai cabang pada atom C nomor 2; a = anteiso, asam lemak yang mempunyai cabang pada atom C nomor 3, Me, asam lemak yang

mempunyai cabang yang mengikuti gugus metihyl; cy, asam lemak yang rantai cyclopropane.

Lemak bebes di dalam tanah relatif sedikit, dan kandungan asam lemah dari organisme berbeda dengan taksa. Karena itu, analisa asam lemak bermanfaat dalam mengidentifikasi kelompok organisme yang mendiami tanah.

ANALISA ASAM NUKLEAT

DNA dan RNA, komponen penting dalam sel hidup, merupakan penciri terbaik adanya keberadaan organisme. Polymer DNA diisolasi untuk pertama kali pada tahun 1869. Namun, kenyataan bahwa DNA merupakan faktor penting pengendali kehidupan organisme ditemukan baru-baru ini. Saat ini isolasi dan analisa DNA/RNA dipandang sebagai metode yang akurat dalam mempelajadi organisme, metode ini digunakan dalam ilmu tanah, mikrobiologi lingkungan, dan ekologi mikroorganisme.

DNA tersusun dari : gula (deoxyribose), phosphate, dan basa-basa adenine, cytosine, thymine, dan guanine. RNA hampir sama dengan DNA; ribose menggantikan deoxyribose, dan urasil menggantikan thymine. Kecuali pada beberapa virus, RNA umumnya lebih banyak dari DNA. Hampir 20% dari E. coli terdiri dari RNA dan hanya 3% DNA. Pada prokaryotes, 81% dari RNA berada di dalam ribosoma (disebut RNA).

DNA dan RNA

DNA relatif lebih mudah diisolasi. Analisa DNA dilakukan setelah pemisahan bakteri dan fungi dari matrix tanah. Bakteri dapat dipisah dengan centrifugasi-homogenisasi berulang-alang dalam larutan mengandung polyvinylpyrrolidone (PVP) untuk membuang asam humik. Sel kemudian diextrak dari tanah dengan menggunakan detergents seperti sarkosil atau natrium dodecyl sulfat, atau enzime lysozime. DNA kemudian dimurnikan, dan konsentrasinya diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 230, 260, dan 280 mm. Protein mengabsobsi pada panjang gelombang 280mm, humic atau fenol mengabsorsi pada panjang gelombang 230 mm, sedang asam nukleat mempunyai puncak absorbsi pada 260 mm.

RNA sangat sensitif terhadap enzim ribonuklease di dalam tanah, karena itu lebih susah diidentifikasi. Penemukan terakhir tentang penggunaan kombinasi panas-phenol sarkosyl, NaCl, chloroform, isoamyl alkohol, atau EDTA yang diikuti dengan centrifugasi yang berulang-ulang menjanjikan perkembangan yang menggembirakan.

Polymerase Chain Reaction (PCR)

PCR merupakan tekhnik paling mutahir dalam studi organisme. Metode ini didasari oleh pengetahuan bahwa DNA polymerase akan meng-copy DNA saat terjadi pebelahan sel. Setiap organisme mempunyai urutan tertentu dari gen di dalam DNA. Karena itu, analisa ini berguna untuk mengidendifikasi mikroorganisme tententu. DNA

polimerase terdiri dari 10-30 basa, dan sekarang dapat dibuat secara kimia dan lebih dikenal dengan istilah “primer”. Primer mempunyai ujung 3’ yang selalu dapat bergandengan. Jika dua primer berada dekat pasangan DNA yang sedang membelah, tiap primer akan dengan cepat menggandeng setiap DNA. Primer yang telah bergandengan, karena ukurannya yang pendek, akan memberi peluang untuk terjadinya reaksi peng-copy-an lebih lanjut. Pemberian suhu optimal untuk reaksi enzim polymerase memungkinkan terjadinya peng-copy-an yang berulang-ulang sehingga jumlah DNA yang berpasangan dengan primer meningkat secara exponensial.

Sampel tanah yang akan digunakan dalam analisa menggunakan PCR harus diekstrak dan dimurnikan sebagaimana yang dilakukan pada analisa DNA/RNA.

Kandungan Guanin dan Cytosine

Kandungan relatif pasangan basa guanine dan cytosine (persentase G+C) di dalam DNA spesific bagi organisme tertentu. Centrifugasi DNA di dalam cesium clorida (CsCl) diikuti dengan fraksionasi dan pengukuran spetrometer akan mendapatkan kandungan G + C. Karena organisme tertentu mempunyai proporsi tetentu G+C di dalam DNA, populasi dominan pada suatu tanah dapat diduga.

ANALISA FISIOLOGI

Kulturisasi

Kulturisasi organisme tanah melibatkan transfer organisme ke medium yang kondusif untuk pertumbuhan. Semua tekhnik kulturisasi bersifat selektif, dan dirancang untuk menditeksi organisme dengan pola tumbuh dan metabolisme tetentu.

Pada teknik ini, agregat dipecah dengan blender dalam larutan pendispersi (misalnya Na4P2O7). 1 mL dari extrak kemudian dipindahkan ke media. Setelah masa inkubasi tertentu jumlah koloni dihitung. Jumlah mikroorganisme sering dinyatakan dengan unit pembentuk koloni (colony forming unit, CFU).

Berbagai jenis media dapat digunakan untuk menghitung populasi bakteri. Soil extract agar . Dibuat dengan mencampur 1 liter air hangat dengan 1 kg tanah, diikuti oleh centrifugasi dan filtrasi. Campuran kemudian dipadatkan dengan penambahan agar, sejumlah 1,5%. Nutrient agar adalah medium yang dibuat dengan penambahan ekstrak daging. Tryptic agar, Difco R2A, adalah medium-medium yang juga umum digunakan.

Isolasi dan charakterisasi organisme tertentu

Organisme tertentu diisolasi dari tanah dengan menggunakan substrat, baik padat maupun cair. Simbiosis organisme dengan tanaman tertentu (misalnya rhizobia dengan tanaman legum) juga memudahkan

isolasi dan identifikasi. Sistem biolog adalah salah satu cara identifikasi yang cepat dan mudah yang sekarang banyak digunakan untuk mengidentifikasi organisme tak dikenal. Sistem ini menggunakan berbagai sumber karbon yang ditempatkan dalam multiplates. Respon organisme tak dikenal terhadap berbagai sumber C diuji bersama organisme yang sudah dikenal baik klasifikasinya (organisme acuan). Dengan menggunakan diagram kemiripan (dendogram; Gambar 14) antara organisme baru dan organisme acuan, organisme tak dikenal dapat diidentifikasi.

BAB V

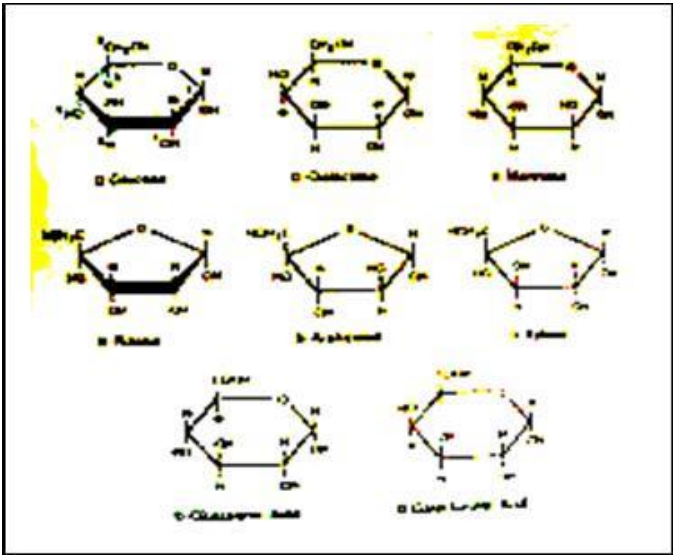
KOMPOSISI BAHAN ORGANIK TANAH

Sisa tanaman menyumbangkan fraksi terbesar dari bahan organik yang memasuki tanah. Tanaman mengandung 15-60 % solusa, 10-30% nemiselusa, 5-30%, lignin dan 2-15% protein. Substansi terlarut, seperti gula, gula amino, asam organik menyebabkan sekitar 10% dari berat kering. Mereka terinci dari sisa tanaman da segera digunakan oleh organismen tanah. Sangat sukar memisahkan dekomposi sisa tanaman dari bahan organik tanah (BOT). Dalam pembahnasan ini , racikan halus sisa tanaman dan tubuh mikroba dihancurkan secara bersama-sama sebagai bagian dari Bot.

KARBOHIDRAT

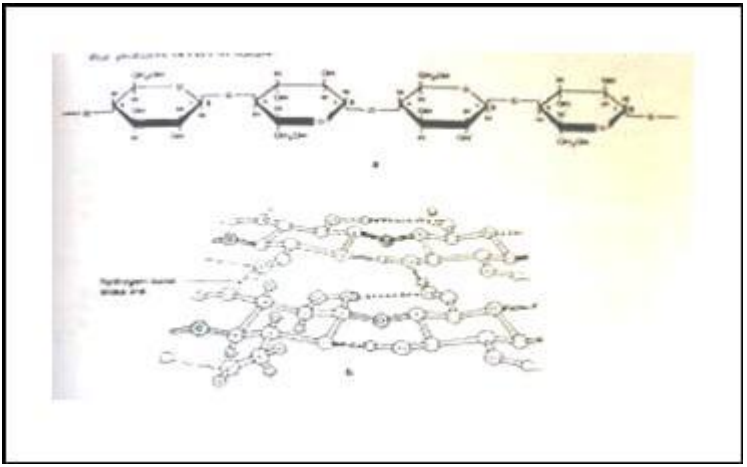
Dialam, gula monumer (Gambar 5.1) difoder dengan berbagai konfigurasi didalam tanaman, tanah dan mikroorganisme. Sagu (cadangan makanan utama tanaman) mengandung 2 polimer glukosa, yaitu amilosa dan amilo fectin. Amilosa terdiri darirantai glukosa tak bercabang yang disambung oleh ikatan (1- 4) glukosidie. Amilofectin mempunyai struktur umum yang sama dengan rantai yang dilekatkan oleh ikatan a (1-6). Banyak bakteri dan fungi menghidrolisa sagu dengan memproduksi enzim – enzim ekstraseluler yang secara keseluruhan disebut amilase. a- amilase mereduksi amilase dan amilofectin menjadi potongan yang mengandung hanya beberapa

molekul glukosa. b-amilase mereduk amilosa menjadi maltosa. Amilopectin terpotong menjadi campuran maltosa dan dektrin.



Gambar 5.1. Gula monomer

Selulosa merupakan penyusun utama residu tanaman. Biasanya ada dalam bentuk semi-kristal dengan berat molekul sekitar 106 dan disusun oleh glukosa yang terikat pada b (1-4). Rantai tunggal yang tidak bercabang dipasang bersama oleh ikatan hidrogen (Gambar 5.2).



Gambar 5.2. Selulosa (Paul and Clark, 1996)

Dekomposisi terjadi via enzim selulosa yang dihasilkan oleh bakteri-bakteri, (seperti Pseudomonas, Chromobaterium, Bacillus, Clostridium, Streptomices, extopnasa) dan fungi (seperti Trichoterna, chaetomium dan penicillium). Istilah selulose menggambarkan kompleks enzim yang bekerja dalam dua tahap, yaitu hilangnya struktur kristal dan depolimerisasi yang terjadi dengan terjadinya selubiose (disakarida) dihidrolisa oleh enzim selobiase menjadi glukosa. Ini dapat diabsorsi oleh dekomposer, dapat pula memasuki pool karbon terlarut. Beberapa bakteri, seperti Clastridium dapat mendekomposisi selulosa secara an aerobik.

Kelompok senyawa heterogen yang disebut dengan hemi selulosa adalah polimer – polimer dari heksosa, pentosa dankadang-kadang asam uranik. Monomer umumnya dari kelompok ini mencakup silosa dan monosa (Gambar 5.2). Pada keadaan murni, hemiselulosa mudah di

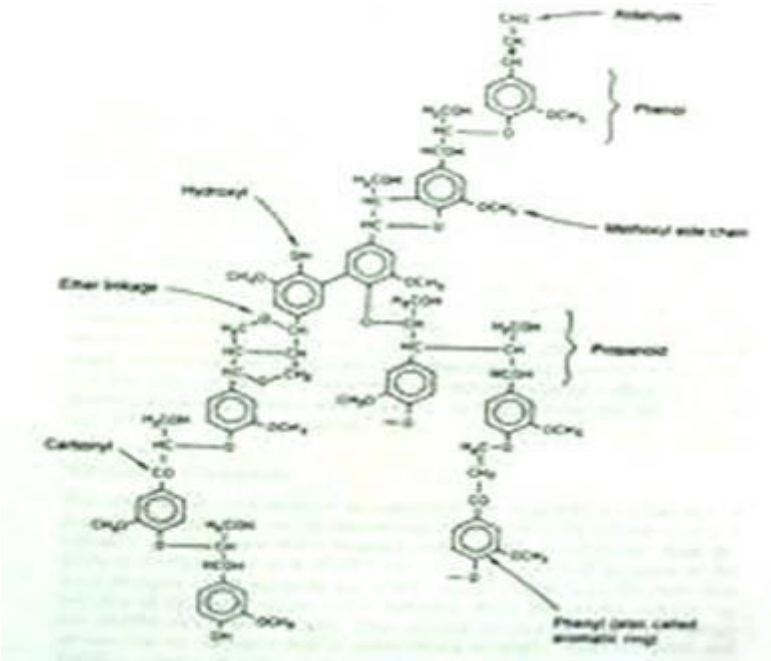
komposisi. Di alam, mereka biasanya tercampur dengan substansi lain sehingga susah di pecah. Serangan mikrobiologis terhadap hemiselulosa, pektin (asam poligalaleturonik) dipelajari karena pentingnya substansi ini pada lamela tengah dari dinding sel tanaman. Proses ini mencakup beberapa enzim yang disebut pektinose. Pada degradasi jaringan tanaman, fungi memulai degradasi dan dilanjutkan oleh aktinomiset. Pektinose mungkin terlibat dalam tanaman inang oleh rhizobium dan mikoriza.

Karbohidrat tanah tidak merupakan bagian integral dari asam humus. Mereka lebih sering sebagai polo sakarida bebas atau mungkin lengket sebagai rantai periferal. Pada bentuk bebas mereka siap didekomposisi, tetapi dalam jumlah kurang dari 15% dari karbon tanah. Absorpsi liat dan intertaksi antara poli sakarida dan logam (Besi, Al dan Cu) meningkatkan resistensi polisakarida terhadap serangan mikroba. Alasan lainnya adalah karena polisakarida merupakan faktor uatama yang terlibat dalam agregasi tanah. Polisakarida yang berada di tengah agregat akan terhindar dari penguraian sampai ada aktivitas yang memaksa permukaan agregat terbuaka untuk serangan mikroba.

LIGNIN

Dasar struktur lignin adalah fenil propanoid, terdiri dari satu enzim aromatik dan tiga tangan rantai karbon (Gambar 5.3). Seperti halnya BOT aromatik, lignin terbentuk melalui polikondensasi. Reaksi kimia ini mencakup fenol dan radikal bebas dan tidak dihasilkan oleh enzim tertentu. Materialnya dengan demikian tidak menunjukkan urutan

khusus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian lignin yang memasukki tanah tidak mengalami dekomposisi yang komplit tetapi bereaksi dengan produk-produk mikro biologis dalam formasi bahan organik tanah.



Gambar 5.3. Struktur lignin (Paul and Clark, 1996)

Dikomposisi dilakukan oleh fungi. Warna hancuran menunjukkan mode dekomposisi. Fungi white rot merupakan fungi dendekomposisi lignin yang paling aktiv, mendegradasi seluruh komponen kayu menjadi CO_2 dan H_2O. coriolus vergicolor (kadang-

kadang dimasukkan dalam genus Trametes, polyporus atau polystictus) adalah fungi white rot yang mendekomposisi komponen cincin, methoxyl atau rantai yang lebih panjang. Pleurotus aetreatus & phanerochaete chrysosporium merupakan contoh lainnya. Menasikaya, fungi ini hanya mendegradasi lignin hanya pada saat tersedianya substrat lain yang siap didegradasi sebagai sumber energi primer. Fungi white rot mendegradasi lignin hanya bila O_2 berada dalam jumlah cukup, dan ketersediaan N yang tinggi menghambat degradasi lignin. Fungi Lighalitik mengambil sangat sedikit karbon dari lignin sebagai penyususn selnya. Ini ditunjukkan oleh tidak ditemukannya ^{14}C lignin dalam biomasa tanah, kendati ^{14}C lignin sudah memasuki hemat tanah.

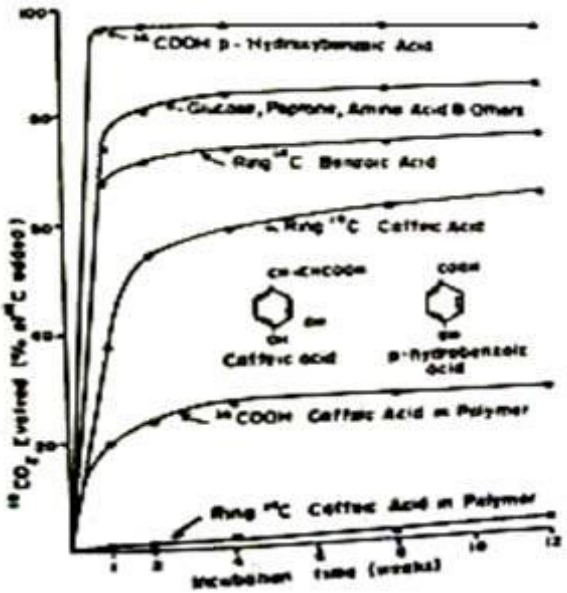
Fungi Brown-rot mendegradasi polisakarida, melepas bagian CH_3 dan rantai R-O-CH_3 ini menyisakan fenol yang pada kondisi oksidasi memberika warna biru. Organnisme pewakilannya antara lain poria dan gloeophyllum. Fungi soft – rot merupakan group fungi lain yang berperan pada kondisi basah dan medegradasi kayu keras lebih efektif dibanding kayu lemah. Chaetonium & Preussia merupakan contoh dari kelompok ini.

Aktinomised (seperti *Streptomyces* dan *Nocardia*) dan bakteri E-aerobik (seperti *Azotobactes* dan *Pseudomonas*) memperkecil ukuran molekul lignin. Masih belum diketahui apakah mereka mendekomposisi secara sempurna dan mampu menggunakan karbon lignin untuk pertumbuhan. Mereka menyerang lignin, kemungkinan dalam rangaka

membuang penghalang E untuk mendapatkan selulosa dan hemiselulosa yang dikandung oleh residu tanaman.

Laju turnover senyawa-senyawa aromatik merupakan faktor penentu dinamika BOT. Lignoselulosa yang mengandung ^{14}C pada komponen lignin atau selulosanya diperlukan dalam study mengenai degradasi senyawa-senyawa aromatik. ^{14}C dipersiapkan baik secara kimia maupun dengan meberi tanaman fenilalanin, asam sinamik atau glukosa yang mengandung ^{14}C. Laju evolusi CO_2 dari komponen selulosa ^{14}C meningkat dengan cepat setelah masa fosit yang singkat. Laju degradasi lignin mempunyai mosa fosit yang lebih panjang dibandingkan selulosa asosiasinya. Hal ini menunjukan bahan yabg sebetulnya berhubungan didekomposisi dengan kecepatan yang berbeda.

Alkohol coniferil, asam ferulic dan asam coffeic mempunyai struktur yang mirip dengan lignin. Study dari degradasinya memberi informasi yang sangat berguna mengenai dekomposisi residu (Gambar 11.4). Gugus $^{14}COOH$ dari senyawa-senyawa aromatik dilepaskan oleh dekarboksilasi dengan sangat sedikit interpolasi kepenyusun humus. Gambar 8.5 juga menunjukkan laju relatif degradasi dan stabilisasi glukosa, senyawa amino dan cincin 14C senyawa-senyawa aromatik



Gambar 5.4. Kurva laju dekomposisi (Paul and Clark, 1996)

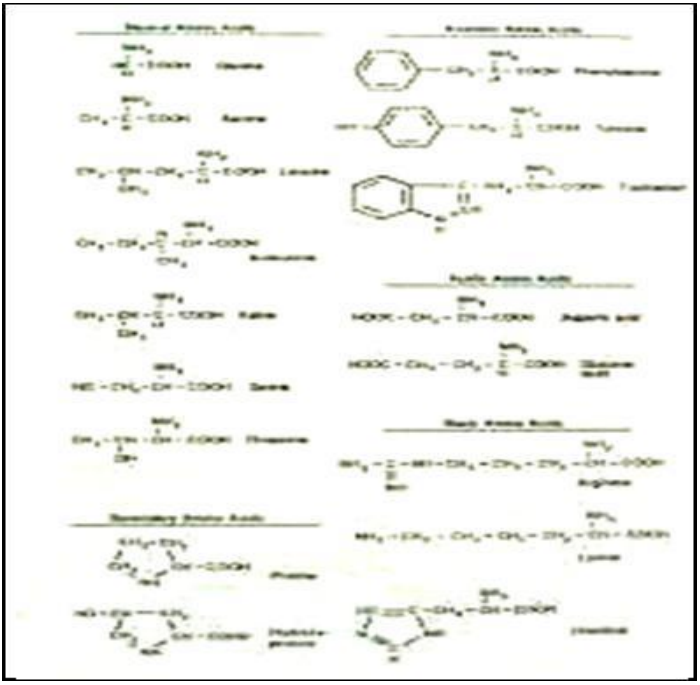
PERSENYAWAAN NITROGEN

Tanah pertanian mengandung nitrogen organik yang seimbang dengan C organik untuk mencapai C/N rasio sekitar 10. Sekitar sepertiga dari total Nitrogen tanah tidak dapat di identifikasi strukturnya. Hidrolisis dalam kondisi asam (direbus dalm 3 atau 6 N HCl selama 12 jam) melepaskan lebih dari separo dari total nitrogen berupa asam amino dan gula amino. Karena kaya akan nitrogen asam amino menyusun 30-40% nitrogen tanah, meski hanya 20% dari C tanah mereka berjumlah lebih banyak dibandingkan persentase N yang

dimineralisasi selama setahun. Kandungan asam amino menurun sebagai akibat kegiatan budidaya. Sedangakan kandungan nitrogen gula amino bersifat konstan. Meski kandungan total nitrogen tanah menurun hal ini menunjkkan bahwa gula amino berkonstelasi lebih sedkit dibandingkan asam amino dalam mineralisasi N tanah.

Struktur kimia dari beberapa asam amino non sulfat diperlihatkan pada Gambar 5.4. Meskipun asam amino masam (asportik & glutamik) cenderung tinggi di daerah tropis, secara umum komposisi asam amino tanah seluruh zona iklim sangat mirip.

Bentuk bebas dari asam amino di degradasi dengan cepat. Akumulasi mereka di dalam tanah disebabkan karena mereka manjadi bagian dari bionosa mikroba yang lebih stabil, interaksi mereka dengan bahan organik lain, dan inkoporasi mereka di dalam agregat. Asam amino barik (dengan group asam amino bermuara positif lebih dari satu) bereaksi lebih cepat dengan senyawa organik lain (seperti gula-gula dan koinon-koinon tereduksi) dibandingkan asam amino masam atau netral. Mereka juga siap diadsorbsi oleh liat bermuatan negatif. Dominasi asam amino masam di daerah tropik (dimana dekomposisi berlangsung dengan cepat) adalah karena asam amino bereaksi dengan liat bermuatan banyak seperti goethite (kandungan Fe tinggi)



Gambar 5.4. Struktur kimia dari beberapa asam amino non sulfat (Paul and Clark, 1996)

Asam amino dihubungkan oleh ikatan peptida untuk membentuk kompleks yang disebut protein. Protein merupakan penyumbang protein terbanyak dalam tubuh organisme dan siap dihancurkan oleh banyak organisme tanah. Enzima proteolitik menghidrolisa ikatan peptida .enzima mikro organisme (seperti pronase dan sub stilisin) membuang rantai asam amino terminal dengan kekuatan yang melebihi kemampuan protease hewan walaupun tumbuhan (seperti tripsin dan papain).

Mereka juga telah digunakan untuk menghidrolisa protein BOT pada kondisi los.

Protein fibrik (dengan ikatan silang), seperti kedatin, resisten terhadap serangan mikroba, meskipun beberapa aktinomiset (seperti Streptomyces) dan fungi (seperti Penicillium) dapt mendegradasi Relistensi terhadap penghancuran disebabkan oleh keberadaan ikatan disulfida antara molekul-molekul sistem dalam keratin. Ketika ikatan ini putus (karena diwatoklaf atau kegiatan mikroba) molekul-molekul terbuka bagi enzim proteolitik dan siap didegradasi.

Meskipun degradasi asam amino dan protein residu tanaman berlangsung cepat, N organik yang dihaslkan oleh mikroba lebih stabil di dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh rendahnya turnover biomasa mikroba dan stabilisasi N organik oleh asosiasinya dengan senyawa organik resisten atau agregat tanah. Nitrogen yang terikat pada bahan organik akan tinggal di dalam tanah dalam waktu lama sebelum mengalami mineralisasi. Hara yang turnover dengan kecepatan sedang (e.g, 0,5 –10 tahun) dipandang sebagai fraksi aktif BOT.

DINDING SEL ORGANISME

Dinding sel bakteria dan fungi merupakan modal utama pembentukkan BOT. Dekomposisi dinding sel fungi dilakukan oleh genus –genus Streptomyces, Pseudomonas, Bacillus dan Clostridium. Pada kondisi masam fungi Mostierella lebih berperan. Chitin

(penyumbang utama gula amino di tanah) merupakan penyumbang utama dinding sel fungi. Mereka biasanya berasosiasi dengan karbohidrat fibrik. Struktur acety/gluerzamine dari chitin (Gambar 11.5) mengandung N sehingga degradasi tidak dibatasi oleh defesiensi N. Selain faktor lingkungan, laju degradasi chitin dipengaruhi oleh material dimana chitin tersebut berasosiasi. Dinding sel dari kebanyakan phycomycetes mengandung serat selulosa , sedangkan organisme (seperti fusarium) mengandung polimer gula b (1-3) dan b (1-6) – glukosa. Sepanjang hifa ini tidak di ekspose ke situase atau glukanose, hifa akan tetap tidak akan terdegradasi. Pigmen berwarna gelap (terbentuk dari gula dan senyawa fenol dan disebut melanin) juga membantu proteksi sehingga laju turn over dari senyawa ini menjadi lebih lambat.

Dinding sel bakteri mempunyai lapisan yang disusun oleh venetas dua gula, N-acetilglukosamin dan asam N-acetylmuramik. Satu sama lain, rantai ini dihubungkan oleh beberapa asam amino melalui ikatan peptida. Hubungan silang peptida biasanya disusun oleh L-alanin, asam D-amino, asam meso diamino femilik dan D-alanin.

Dinding sel bacteria d+mengandung peptidaglycan-peptidaglycan yang terhubung dengan menyusun dinding sel (mencakup berbagai polisakarida dan poliphosfat) dengan ikutan phospoid ester. Kebanyakan mengandung D-alanine. Bakteri gram negatif mempunyai struktur sel yang lebih rumit. Membran luar tersusun dari type polisakarida, lipoprotein, lemak, dan lain-lain. Lembar tipis

peptidoglycan ditemukan tepat dibagian luar membran sitoplasma. Ruang antara membran ini dengan dinding sel merupakan tempat berlangsungnya aktivitas enzim yang mempengaruhi aktivitas hidrolisa dari kebanyakan bakteri.

Ketersediaan karbon mempengaruhi kandungan C dinding sel lebih lanjut, C ini memjadi bagian utama dari fraksi aktif tanah (bahan mudah terdekomposisi). Fraksi ini mennyuplai nutrisi, seperti N, S dan P lebih banyak dibanding fraksi yang lebih resisten. Akumulasi bentuk termineralisiasi dari nutrisi-nutrisi ini (NH4+, NO3-, PO4 3-, SO42-) dapat digunakan untuk menentukan ukuran dari fraksi ini.

AKAR DAN EKSUDAT AKAR

Akar merupakan reservoir utama di alam dan berperan penting dilahan yang ditanami secara terus menerus, dimana sebagian besar vegetasinya dibuang. Penelitian menujukkan bahwa laju dekomposisi material di permukaan tanah sama dengan material yang terbenam didalam tanah. Jumlah material yang diangkut masuk ketanah tergantung pada fenologi tumbuhan. Material tanggalan akar (seperti rambut akar, dan getah) merupakan sumber C penting. Penelitian menggunakan isotop menunjukkan bakwa kuantitas material berlabel di dalam tanah 20-50% lebih tinggi dari akar yang ditimbang pada saat panen. Kelebihan ini disumbang oleh rambut akar dan lapisan akar yang lain. Eksudat akar mempunyai pengaruh kualitatif dan biasanya terdekomposisi dengan cepat.

Penelitian menggunakan $^{14}CO_2$ menunjukkan bahwa padang rumput alami mempunyai komposisi C sebagai berikut: 52% dipermukaan, 36% dalam pangkal batang dan akar, hanya 12% direspirasi. Data karbon –14 juga menunjukkan lebih dari separo C sisa akar didekomposisi dalm satu periode tumbuh. Tanaman berkayu memindah sebagian hasil otosintesa ke bawah tanah berupa akar. Konstribusi mikoriza yang berasosiasi dengan tanman menyumbang C samabanyaknya dengan serasah yang digugurkan oleh inangnya.

Pembentukkan Bahan Organik

BOT terdiri dari residu yang membusuk, hasil samping dekomposisi, mikroba dan humus. Residu tumbuhan bervariasi dalam hal kandungan fenol dan proporsi lignin terhadap selulosa dan protein. Serangan mikroba terhadap karbohidrat dan protein menghasilkan SO42-, NH4+ dan CO2 (tergantung pada rasio N:S:P). Ada dua proses kondensasi yang dapat menjelaskan pembentukkan humus. Disebut kondensasi (dan bahan polimerisasi) karena reaktan (yang terlibat) membentuk senyawa-senyawa berhubungan tapi tidak identik.

Salah satu dari teori pembentukkan humus diperlihatkan pada Gambar 8.8. Gambar ini menunjukkan bahwa asam amino (dalam hal ini calcive) beraksi dengan fenol (catechol) yang dihasilkan dari degradasi lignin atau pigmen mikroba (seperti yang dihasilkan fungi Epicoccum). Reaksi menghasilkan zat antara (aminoquinone) yang dapat berkondensasi membentuk humus coklat bernitrogen. Teori pembentukkan humus yang lain disebut reaksi browning . reaksi ini

melibatkan gula (dalam hal ini glukosa), bereaksi dengan senyawa amino (seperti glycine). Senyawa bersatu dan berpisah membentuk tiga senyawa antara: (1) 3 karbon aldehid dan keton, (2) reduction, dan (3) furtural. Senyawa antara ini siap bereaksi dengan senyawa amino membentuk produk akhir yang berwarna gelap.

HUMUS

Bahan organik tanah tersusun dari karbohidrat (10-20%, terutama berasal dari mikroba). Senyawa mengandung N (20%, seperti asam amino), asam lemak alifatik, alkan dan sejenisnya, (10-20%), sisanya berupa senyawa-senyawa aromatik. Penelitian menggunakan NMR (Nuklear Magnetic Resonance) dan pirosis BC-masspietro menunjukkan bahwa kandungan senyawa aromatik dalam humus 50% lebih rendah dari yang diperkirakan berdasarkan hasil analisa kimia.

Bahan organik tanah secara tradisional harus dipisahkan (dengan liat dan leskui oksida) dan dispersi dalam cairan sebelum dipelajari. Fraksionasi klosaik mencakup dipersi dengan NaOH atau NaP2O3. Aksi yang tidak terdispersi oleh Na+, aksi kelasi oleh Pyrophosplate dan aksi penghancuran ikatan hidrogen oleh pH tinggi disebut humin. Fraksi yang terdispersi dan mengendap pada pH masam disebut asam lumat. Material yang tinggal dalam larutan disebut asam sulfat.

Asam Fulfat

Asam fulfat mempunyai berat molekul yang rendah (1000-30.000) sehingga tetap larut pada pH rendah (2 atau kurang) dan

terekstrak dengan NaOH. Asam fulfat tersusun dari rangkaian rantai aromatik teroksidasi dengan banyak rantai sisi asam benzen karboksiklik dan asam-asam fenolat. Hasil analisis luas X, mikroskop elektron dan perhitungan kecepatan. Kandungan N asam fulfat dari horison bawah (seperti horoson B spodik) sangat ren asam fulfat dari mollisal, meskipun demikian, mengandung N sangat tinggi. Fraksi ini juga banyak mengandung polisakarida, asam lemak dengan berat miolekul rendah dan sitoplasma dari mikroorganisme. Tabel 7.3 memperlihatkan hasil analisa gugus fungsional dan kandungan unsur asam fulfat.

Asam Humat dan Humin

Fraksi yang diekstrak oleh albali encer tetapi terpresitasi pada pH 2 disebut asam humat (AH). AH mempunyai berat molekul tinggi (10.000-100.000), mengandung rantai aromatik , bentuk siklik dari N dan rantai peptida (tabel 6.4) Gambar 6.14 memperlihatkan poliaromatik dan non poliaromatik yang terkait dengan ikatan eter, nitrogen siklik dan ikatan hidrogen. AH murni mengandung sangat sedikit karbohidrat. Tabel 6.4 menunjukkan bahwa AH mengandung 57% C dan sekitar 4% N. gugus fungsional tsatana COOH, OH fumalat, OH alkoholat dan sedikit oksigen lukonat.

Humin merupakan fraksi B.O yang tidak dapat didisfersi oleh NaOH. Kebanyakkan tanah mempunyai fraksi AH, AF dan humin yang seimbang.

QUALITAS DAN DISTRIBUSI BAHAN ORGANIK DALAM TANAH

BOT berperan penting dalam struktur tanah, dengan demikian berpengaruh terhadap penetrasi akar, perkembangan akar, ketahanan terhadap erosi. Dia juga merupakan penyimpanan dari hara-hara penting seperti N, S, P dan unsur hara makro. Dia juga memberi warna terhadap tanah dan memberikan kapasitas absorbsi kation terhadap tanah. Tiddak mengherankan kalau BOT merupakan komponen tunggal yang mengambil produktivitas baik lahan yang dikelola ataupun tidak.

Kuantitas BOT tergantung pada neraca produktivitas dan laju dekomposisi. Pada kebanyakan kasus keberadaan debu dan liat meningkatkan BOT.

BAB VI

DINAMIKA BAHAN ORGANIK & SIKLUS C

Theng (1987) membedakan bahan organik tanah sebagai bahan organik hidup dan bahan organik tak hidup. Bahan organik hidup menyusun 4% dari total bahan organik dan mencakup akar tumbuhan (5-10 %), organisme makro atau fauna (15-30%), dan organisme mikro (60-80%). Bahan organik tak hidup menyusun 98 % dari bahan organik dan mencakup bahan organik makro dan humus.

Bahan organik makro (pada umumnya lebih sedikit dari humus) menyusun kurang lebih 10-30% dari total bahan organik. Terutama terdiri dari sisa tumbuhan dari berbagai tingkat perombakan. Berukuran <250 um. Bahan organik makro mengapung di atas larutan dengan 1,6-2,0 g cm-3.

Pengetahuan tentang laju perombakan sisa tanaman dan hewan, tubuh mikroorganisme, dan bahan organik adalah prasyarat untuk memahami ketersediaan dan siklus hara seperti C, N, S, dan P. Pemahaman ini esensial dalam menggambarkan dinamika ekosistem dan dalam menghitung keperluan hara tumbuhan. Hal ini juga penting dalam memahami keterlibatan tanaman, hewan, dan mikroorganisme dalam perubahan global.

POOL SIZE DAN REAKSI KINETIK

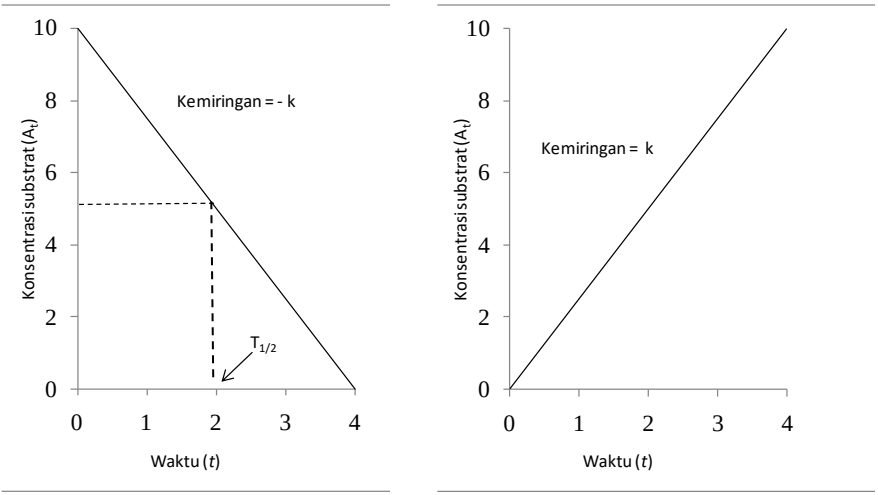
Pengukuran Pool Size

Studi tentang degradasi residu di dalam tanah mengharuskan pengukuran dengan interval pendek segera setelah percobaan dimulai, karena beberapa komponen terlarut dan selulosa dari residu tanaman terdekomposisi dalam skala hari atau bahkan jam. Jika pengukuran terlambat, yang terukur justru substrat yang dihasilkan oleh metabolisme organisme saat percobaan yang terukur. Percobaan juga harus cukup panjang (beberapa ratus hari atau lebih) untuk mengevaluasi perubahan substrate sukar terdekomposisi, substrat yang dapat bertahan puluhan tahun. Laju pengembalian (turnover rate) dapat dipelajari dengan penggunaan isotop ^{13}C. ^{13}C menyusun 1,1% dari CO_2-C udara. Laju input residu dan turnover bahan organik dapat diukur dengan mengukur ^{13}C menggunakan spectrometry masa. Studi pada fraksi yang terdekomposisi secara lambat dapat memanfaatkan isotop dengan waktu paroh panjang, ^{14}C. Studi pengembalian hara lebih baik dipelajari menggunakan plot yang dikenal dan digunakan untuk percobaan dalam waktu yang cukup lama sehingga hasil, komponen hasil utama, jenis tanah, kondisi iklim, dan cara pengelolaan diketahui dengan baik.

Reaksi Tingkat Nol

Rekasi tingkat nol adalah reaksi dimana laju transformasi suatu tidak dipengaruhi oleh konsentrasi substrat karena laju reaksi ditentukan oleh faktor selain konsentrasi substrat. Jika substrat A dirubah menjadi substrat X, maka laju perubahan A adalah:

$$\frac{dA}{dt} = -k$$



Gambar 6.1. Grafik khas reaksi tingkat nol

Dengan mengintegralkan persamaan diatas akan didapat persamaan:

$$A_t = A_0 - kt$$

Dimana A_t(konsentrasi) adalah sisa suatu bahan pada waktu tertentu, A_0(konsentrasi) adalah jumlah bahan pada awal reaksi, *k* adalah tetapan laju reaksi (konsntrasi waktu-1), dan t adalah lama reaksi berlangsung (waktu).

Waktu yang diperlukan yang diperlukan untuk merubah 50% dari substrat disebut waktu paruh dan dapat dihitung dengan rumus:

$t_{1/2} = A_0/2k$

Waktu tinggal rata-rata (mean residence time, mrt) adalah waktu yang diperlukan untuk merubah sejumlah bahan menjadi sama dengan jumlah awal ($A_t = A_0$):

$t_{mrt} = A_0/k$

Reaksi Tingkat Pertama

Pada reaksi tingkat pertama, laju transformasi substrat proporsional terhadap konsentrasi substrat. Misalkan reaksi perubahan substrat A menjadi substrat X (A→X), maka laju perubahan A dari waktu ke waktu adalah:

$$\frac{da}{dt} = -kA$$

Penurunan konsentrasi reaktan dari waktu ke waktu tergantung pada konstanta reaksi k kali konstrantrasi reaktan A pada waktu yang bersangkutan. Bila persamaan di atas di integralkan, maka akan didapat persamaan:

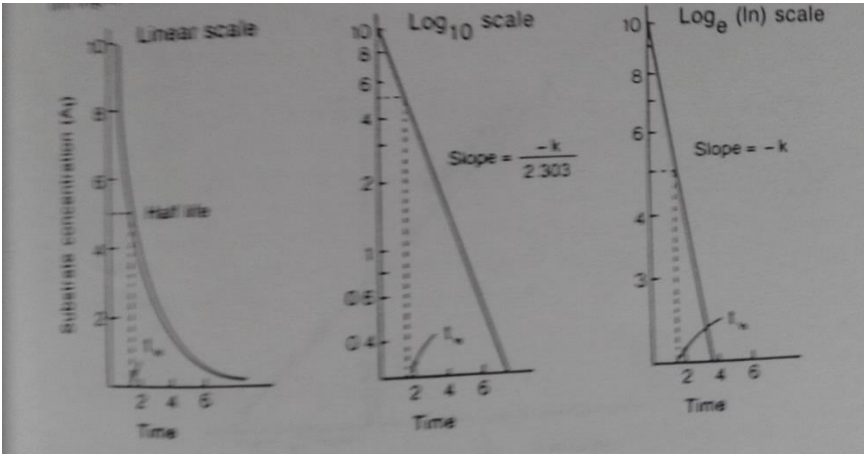
$A_t = A_0\, e^{-kt}$

Dimana *At* adalah konsentrasi A tersisa disembarang waktu *t*. Nilai konstanta reaksi dinyatakan dengan kebalikan waktu seperti jam^{-1}, hari^{-1} atau tahun^{-1}.

Dengan menggunakan logaritma nafier (*ln*) maka akan didapatkan rumus:

$\ln(A_t/A_0) = -kt$

Plot $\ln(A_t/A_0)$ terhadap waktu akan menghasilkan garis linier dengan kemiringan –k. Jika persamaan dinyatakan dalam logaritma 10, maka kemiringan akan bernilai –k/2.03. Gambar 6.1 menunjukkan gambar khas reaksi tingkat satu.



Gambar 6.1. Gambar khas reaksi tingkat satu

Untuk menghitung waktu paruh (A_t = A/2), kita dapat menggunakan rumus:

$$\ln \left[\frac{(A_0/2)}{A_0} \right] = -kt_{1/2}$$

Dengan melanjurkan perhitungan matematika dasar, maka akan didapatkan:

$t_{1/2} = 0{,}693/k$

Waktu tinggal rata-rata (mean residence time, tmrt):

$t_{mrt} = A_0/k$

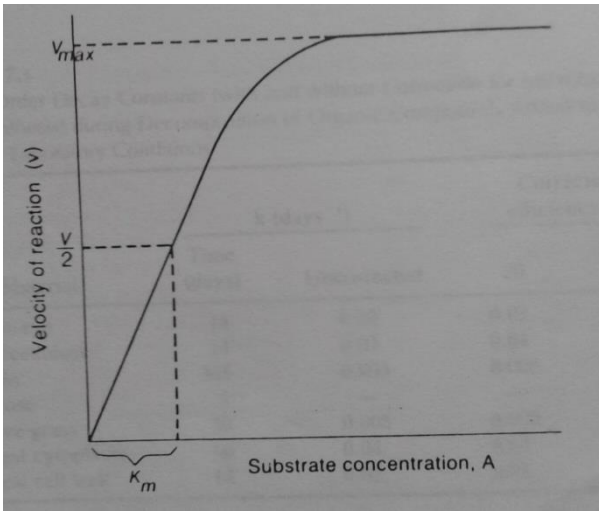
Reaksi Hiperbola

Kebanyakan reaksi dialam mempunyai konstanta reaksi sedemikian hingga grafik perubahan konsentrasi dari waktu ke waktu mempunyai nilai maksimum. Reaksi ini sangat baik didekati dengan persamaan hiperbola.Pada kimia enzim, persamaan hiperbola disebut persamaa Michaelis-Menten, sedang pada reaksi pertumbuhan mikroba disebut persamaan Monod.

Gambar 6.2 menunjukkan grafik khas reaksi hiperbola perubahan enzim.

$$V = V_{max} \frac{A}{K_m + A}$$

Dimana V adalah kecepatan reaksi (konsentrasi wakti^{-1}), A adalah konsentrasi substrat, V_{max}adalah kecepatan reaksi maksimu (konsntrasi waktu^{-1}) dan K adalah konstanta Michaelis (konstrasi) atau konstanta setengah jenuh.



Gambar 6.2 menunjukkan grafik khas reaksi hiperbola.

DINAMIKA DEKOMPOSISI

Pemahaman mengenai dinamika residu tanaman atau bahan organik tanah memerlukan pernyataan matematik dari proses biologi, kimia, fisika yang terlibat. Dekomposisi residu tanaman telah terbukti terbaik jika digambarkan dengan first-order reactions. Penggunaan first-order reaction untuk menggambarkan dekomposisi bahan organik tanah hanya benar jika mikroorganisme berada dalam jumlah yang tidak membatasi reaksi.

Hanya sebagian kecil dekomposisi dapat terukur ketika diukur dari CO_2 yang terbentuk atau C yang tersisa dalam tanah. Mikroorganisme menggunakan C untuk biosintesa, membentuk sel baru, dan sumber energi. Pada reaksi ini, CO_2, sel baru, dan bahan buangan dihasilkan. Pada kondisi aerob, bahan buangan umumnya hanya sedikit

sehingga biosintesa, atau laju produksi sel dapat dihitung dari data CO_2. Hal ini memerlukan pengetahuan tentang efisinesi perubahan substrtat menjadi biomasa mikroorganisme,

$$\mathbf{C = Ci[1+Y/(100-Y)],}$$

dimana C = substat terdekomposisi, Ci=CO_2-C yang dilepas, dan Y adalah efisiensi (hasil) C yang digunakan untuk biosintesa. Y dinyatakan sebagai persentase C yang digunakan untuk produksi keseluruhan produk mikroba.

Tetapan laju dekomposisi (k) terkoreks tabel 5.1, sangat berbeda dari yang tak terkoreksi. Efisiensi 40-60% dipandang realistik untuk bahan terlarut; bahan-bahan lain seperti wax dan selulosa mempunyai efisiensi lebih rendah. Senayawa aromatik seperti lignin nampaknya di-remetabolisme oleh fungi. Fungi memperoleh hanya sedikit energi pada dekomposisi senyawa aromatik. Hal ini menyebabkan dekomposisi senyawa aromatik hanya terjadi pada keberadaan senyawa lain. Jika data CO_2 diperoleh dari pengukuran yang tidak intensif, adalah mustahil untuk menghitung laju dekomposisi atau efisiensi pertumbuhan mikroba karena CO_2 dihasilkan baik dari substat asli maupun dari sel mikroba yang terbentuk pada awal reaksi.

Tabel 6.1.Contoh nilai *k*

Material	k (days^{-1})		Correcied efficiency %	
	Time (days)	Uncorrected	20	60
Straw—rye	14	0.02	0.03	0.11
Hemicellulose	14	0.03	0.04	0.1 1
Lignin	365	0.003	0.006	-
Glucose	L	—	-	4.0
Nativegnsss	30	0.006	0.008	.02
Fungal cyloplasm	10	0.04	0.05	.17
Fungal cell wall	10	0.02	0.03	.07

Ekstraksi kimia ternyata tidak dapat digunakan untuk meng-estimasi pool size. Tracer technic (menggunakan isotop) tidak dapat dengan mudah digunakan dilapangan, inkubasi laboratorium jangka panjang juga tidak akurat karena memungkinkan biota tanah dan enzim terlibat dalam reaksi.

Mineralisasi C pada kebanyakan tanah mengikuti pola seperti Gambar. Pada percobaan ini, lahan yang diberi pupuk (F) dan sisa tanaman (M) berproduksi sama tinggi. Terlihat bahwa, secara biologi, plot M lebih aktif. Sebelum inkubasi plot M mempunyai biomasa 2 kali lebih banyak dari plot F.

Meskipun biomasa menyumbang hanya satu bagian dari CO_2 tetapi merupakan indikator yang baik tentang apa yang terjadi. Penjumlahan dari dua kurva mem-fit pada kedua kelompok data. Pool pertama dari M merupakan 5% dari C tanah. Pool kedua menyusun 45% dari C tanah. Kurva dari F menunjukan bahwa pool pertama menyusun

2% dari C tanah. Pool kedua menyusun48% dari C tanah. Sisa C mempunyai waktu turnover 500 sampai 1000 tahun sehingga tidak menyumbang terhadap CO_2. Data menunjukan bahwa inkubasi harus dilakukan cukup lama sehingga meliputi pool kedua. Hasil penelitian laboraturium harus dikoreksi dengan faktor suhu sebelum diterapkan dilapangan.

PEMODELAN DATA TANAH DAN TANAMAN

Penelitian laboratorium dan lapangan menunjukan bahwa tetapan laju dekomposisi k selalu bebas jika penambahan C tidak melebihi 1,5% dari berat kering tanah. Penambahan yang melebihi persentase ini memperlambat laju dekomposisi. Dekomposisi ternyata tergantung pada N tanaman, lignin, polifenol,dan komposisi carbohidrat. Dekomposisi juga dikontrol oleh temperatur dan kelembaban.

Penyuaian kurva dan analisa statistik sangat bermanfaat. penanganan dan interpretasi data bermanfaat untuk menyusun rencana penelitian selanjutnya. Ada beberapa model BOT yang dikenal sekarang.

Model Rothamsted

Model ini diperoleh dari data yang mencakup : [1] percobaan inkubasi menggunakan bahan tanaman mengandung ^{14}C; mencakup periode 1- 10 tahun; [2] pelabelan BOT yang menghasilkan bahan

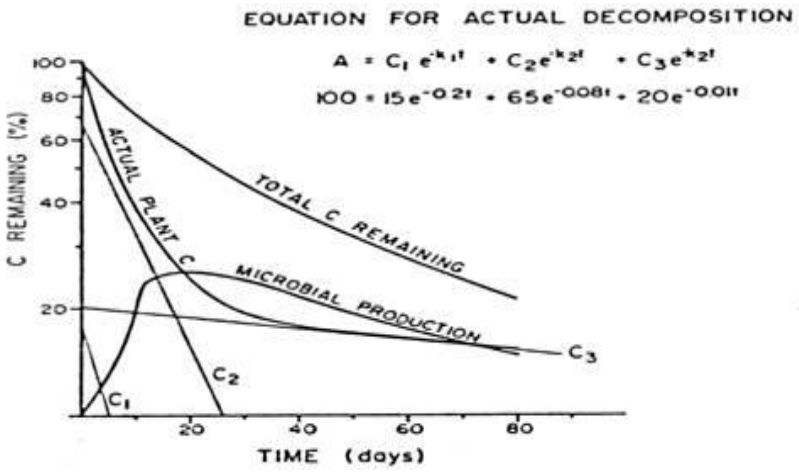
organik tua[100-3000 tahun]; [3] pengaruh ledakan nuklir yang terjadi antara 1950-1990, menyajikan bahan yang tersisa 5 sampai 30 tahun di dalam tanah, [4] fumigasi-inkubasi chloroform, menyajikan data biomasa, [5] tingkat input tanaman, [6] kandungan BOT. Dibedakan 5 jenis bahan organik, (1) bahan tanaman mudah terdekomposisi, k=4 tahun-1; (2) bahan tanaman susah terdekomposisi, k=0,03 tahun-1; (Tabel 5.2) (3) biomasa mikrobia, k=0,41 tahun-1 (4) bahan organik yang stabil secara fisik, k=0,014 tahun-1;dan (5)bahan yang stabil secara kimia, k=0,0003 tahun-1.

Tabel 6.2.

Detenninationc	Rothamsled	Canada	Brazil
Soil weight (M8 ha $^{-1}$)	2200	2700	2400
Organiccarbon(Mgha^{-1})	26	65	26
Carboninpuis(Mgha^{-1}year^{-1})	1.2	1.6	13
Turnover of soil carbon (years)	22	40	2.0
Microbial carbon (kg ha)	570	1600	460
Microbial nitrogen (kgha^{-1})	95	300	84
Microbial turnover (years)	2.5	6.8	0.24
Nitrogen fluz through microbial biomass (kg ha $^{-1}$year^{-1})	34	53	350
Crop removal of nitrogen (kg ha^{-1} year^{-1})	24	40	220

Model Menggunakan Komponen Residue

Model Rodhamsted bermanfaat dalam mempelajari pengaruh jangka panjang produksi tanaman pada BOT. Model-model lain menitikberatkan pada simulasi degradasi bahan tanaman dan bahan mikrobial dari substrat asli. Pada model buatan Van Veen et al. (1984), substrat dari tanaman dipandang tiga fraksi: (1) fraksi mudah terdekomposisi; gula dan asam amino, (2) fraksi terdekomposisi secara lambat; selulosa dan hemiselulosa, dan (3) fraksi sulit terdekomposisi; lignin. Tabel memperlihatkan keseluruhan proses yang memerlukan C selain untuk pertumbuhan. Percobaan menggunakan jerami (Gambar 6.4) memperlihatkan bahwa perhitungan hanya menggunakan C tersisa dalam tanah memberikan grafik yang berbeda dengan hasil yang terkoreksi.

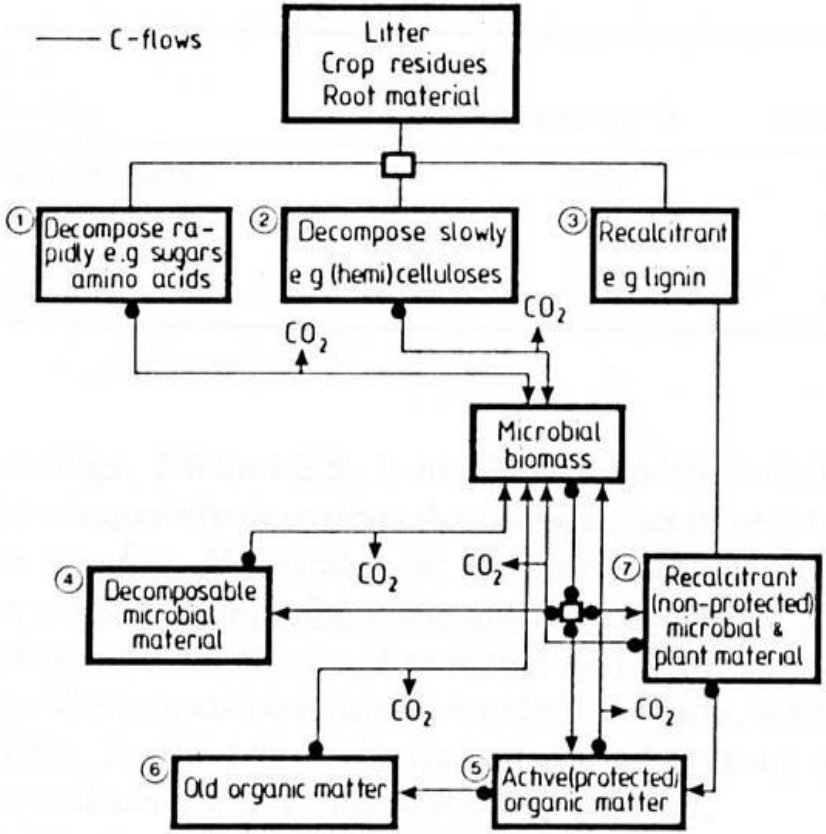


Gambar 6.4

Model Century

Model ini (Gambar 6.5) merupakan model untuk menggambarkan dinamika BOT yang diterima secara luas. Model ini membagi residu organik segar berdasar ratio lignin: N. Komponen kerangka meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa mempunyai laju dekomposisi 0,011 hari-1, komponen metabolisme mempunyai k sebesar 0.03 hari-1. Dipermukaan, serasah (surface litter) akan memasuki pool mikroba. Di dalam tanah, serasah (buried litter) dan akar memasuki pool C aktif yang terdiri dari biomasa mikroba dan hasil metabolismenya. Pool C yang lambat (k=0,00054 day-1) menerima C langsung dari komponen lignin tanaman.

Tanda panah dengan CO2 menunjukkan menunjukkan efisiensi pertumbuahn mikrobial. First-order reaksi pada Gambar menunjukkan bahwa turnover adalah 3 dan 0,5 tahun untuk komponen kerangka dan komponen metabolisme; 1,5 tahun untuk fraksi aktif, 35 tahun untuk fraksi lambat terurai, dan 1000 fraksi sukar terurai.



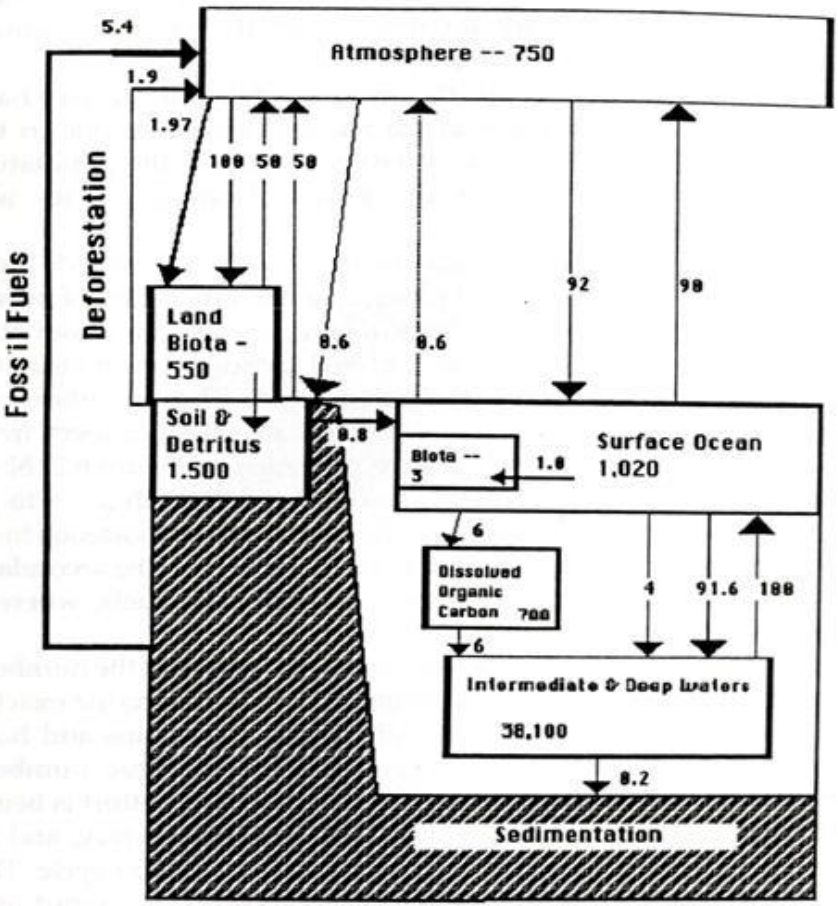
Gambar 6.5. Model Century

NERACA KARBON

Total reproduksi tahunan tumbuhan dilaut diperkirakan sekitar 40x 109 Mg dan di darat sekitar 70 x 1010Mg (Gambar 8.1). Dalam

partial 1 tahun Dekomposisi sissa tanaman hampir sama dengan produksi tanaman. Namun, dalam kurun waktu lama, perbedaan sedikit saja dapat menyebababkan akumulasi atau devisit. Sejak akhir tahun 1800an, kondisi ini telah berubah . Pembukaan hutan , terutama dengan api (seperti yang di amazon) dan penghancuran lahan secara luas (di amerika serikat, australia dan Afrika) menyebabkan transfer karbon dari benua ke atmosfer. Hanya sebagian kecil dapat dikembalikan oleh penghutanan kembali (lahan, bekas tambang) dan oleh difusi CO_2 ke laut.

Pembakaran batu bara dan minyak adalah pengendali utama konsentrasi CO_2 atmosfer global menghasilkan input sebesar 7 x 109 Mg C per tahun. Meskipun jumlah ini hanyalah dari siklus biologis tahunan benua. Jika terus menerus dapat meningkatkan CO_2 global sampai tingkat yang membahayakan. Jika konsentrasi CO_2 mencapai 600 ppm temperatur atmosfer dikutub akan meningkat sebesar 6 - 80 C, meskipun perubahan di daerah tropika dapat diabaikan. Peningkatan suhu akan mengakibatkan mencairnya bongkah-bongkah es di kutub dan menyebabkan banjir di beberapa kota pantai. Pemanasa juga menyebabkan perubahan pola hujan sehingga membentuk gurun-gurun baru. Sebaliknya , pemanasan global memungkinkan perluasan areal pertanian ke lintang yang lebih tinggi, lebih keutara maupun ke selatan. Konsentrasi CO_2 yang tingggi meningkatkan laju fotosintetis efesiensi pengguanaan air juga pembungaan tanaman-mikroba (seperti simbiosis, fiksasi, mitogen dan mikrosa) akan lebih baik.



Gambar 6.6. Neraca C di alam semesta

BAB VII

ENZIM DIDALAM TANAH

Enzim adalah katalis hayati, walaupun dalam jumlah yang amat sedikit, mempunyai kemampuan unik untuk mempercepat berlangsungnya reaksi kimiawi tanpa enzim itu sendiri terkonsumsi atau berubah setelah reaksi selesai. Katalis menampakkan spesifitas atau kekhususan, artinya suatu katalis tertentu akan berfungsi pada hanya suatu jenis reaksi tertentu saja.

Semua enzim adalah protein dengan polimer asam amino. Enzim terbuat dari rangkaian asam amino dan peptida. Enzim dapat berupa protein murni atau gabungan antara protein dengan gugusan-gugusan kimiawi lainnya. Banyak enzim terdiri dari protein yang bergabung dengan molekul organik dengan berat molekul rendah yang dinamakan koenzim. Bagian proteinnya disebut apoenzim, bila bergabung, kedua bagian tersebut membentuk enzim yang lengkap disebut holoenzim.

Aktivitas enzim dipengaruhi oleh konsentrasi enzim, konsentrasi sumbstrat, pH dan suhu.

KONFORMASI ENZIM DAN STRUKTURNYA

Fungsi enzim bergantung pada struktur primer, sekunder, tersier dan kuartener dimana PH dan temperatur juga mempengaruhinya. Struktur primer adalah sekuen asam amino. Struktur sekunder adalah perubahan

rantai asam amino menjadi bentuk heliks. Struktur tersier adalah ikatan antarrantai atau antarmolekuler asam amino oleh hidrogen dan pita-pita sulfur, protein dapat berbentuk seperti tali, lengkungan dan lipatan. Penambahan dan pengurangan komponen kepada enzim akan mendenaturasi atau meluruskan lipatan enzim dengan merusak ikatan antarrantai yang menguatkan lipatan enzim. Struktur kwartener adalah gabungan dari enzim-enzim spesifik menjadi sebuah kompleks enzim.

Kelas-kelas utama enzim

No.	KELAS	REAKSI KATALITIK
1	Oksidoreduktase	Reaksi transfer elektron (pemindahan elektron atau atom hidrogen)
2	Transferase	Transfer gugusan fungsional (gugusan fungsional mencakup fosfat, amino, metil, dsb.)
3	Hidrolase	Reaksi hidrolisis (penambahan molekul air untuk memecahkan ikatan kimiawi)
4	Liase	Penambahan ikatan ganda pada molekul dan juga pengusiran nonhidrolitik gugusan-gugusan kimiawi
5	s	Reaksi isomerisasi (pengubahan suatu senyawa menjadi isomer, misalnya suatu senyawa yang memiliki atom-atom yang sama tetapi berbeda struktur molekulnya)
6	Isomerase	Pembentukan ikatan disertai pemecahan atau penambahan ATP
	Ligase	

Kinetika Enzim

Menurut Tabbatain 1994 dalam Coyne 1999, keberadaan enzim di dalam tanah berkaitan erat dengan kemampuan katalisis dari enzim itu sendiri dan kemampuan katalisis dari enzim akan berkaitan erat dengan kecepatan/kinetika reaksi katalisis enzim.

Kinetika enzim dapat diuraikan secara matematik dengan persamaan Michaelis-Menten:

V = (Vmax) (S)

Keterangan :

V : *kecepatan reaksi enzim*

Vmax : *kecepatan maksimum reaksi enzim*

Km : *konstanta Michaelis-Menten, ekivalen dengan konsentrasi substrat ketika V = Vmax/2*

S :konsentrasi

Persamaan Michaelis-Menten dibagi menjadi :

1. Jika konsentrasi substrat relatif sangat besar dari Km (S >>> Km) maka persamaannya : V = Vmax

   Persamaan ini disebut kinetika derajat nol. Pada kinetika derajat nol ikatan dari reaksi konstan dan tidak tergantung pada berapa banyak substrat tersedia karena berapapun jumlah substrat yang ditambahkan reaksi tidak dapat dipercepat (mencapai titik jenuh).

2. Jika konsentrasi substrat relatif lebih rendah dari Km (S << Km) persamaannya dapat disederhanakan menjadi :

$$V = (Vmax/Km)\ (S)$$

Pada reaksi ini semakin banyak substrat yang ditambahkan, derajat reaksi akan lebih cepat. Persamaan ini disebut kinetika derajat pertama, derajat dari reaksi bergantung pada jumlah substrat yang ditambahkan.

Menurut Tabbatain 1994 dalam Coyne 1999, keberadaan enzim di dalam tanah berkaitan erat dengan kemampuan katalisis dari enzim itu sendiri dan kemampuan katalisis dari enzim akan berkaitan erat dengan kecepatan/kinetika reaksi katalisis enzim.

Kinetika enzim dapat diuraikan secara matematik dengan persamaan Michaelis-Menten:

$$V = (Vmax)\ (S)$$

Keterangan :

V	:	kecepatan reaksi enzim
Vmax	:	kecepatan maksimum reaksi enzim
Km	:	konstanta Michaelis-Menten, ekivalen dengan konsentrasi substrat ketika V = Vmax/2
S	:	konsentrasi substrat

Persamaan Michaelis-Menten dibagi menjadi :

2. Jika konsentrasi substrat relatif sangat besar dari Km (S >>> Km), maka persamaannya : V = Vmax

persamaan ini disebut kinetika derajat nol. Pada kinetika derajat nol ikatan dari reaksi konstan dan tidak tergantung pada berapa banyak substrat tersedia karena berapapun jumlah substrat yang ditambahkan reaksi tidak dapat dipercepat (mencapai titik jenuh).

2. Jika konsentrasi substrat relatif lebih rendah dari Km (S << Km) persamaannya dapat disederhanakan menjadi :

$$V = (Vmax/Km)\ (S)$$

Pada reaksi ini semakin banyak substrat yang ditambahkan, derajat reaksi akan lebih cepat. Persamaan ini disebut kinetika derajat pertama, derajat dari reaksi bergantung pada jumlah substrat yang ditambahkan.

ENZIM DAN MIKROBA TANAH

Proses-proses yang terjadi pada lingkungan seperti: mineralisasi, immobilisasi, fiksasi nitrogen semuanya melibatkan reaksi enzimatik. Didalam tanah terdapat banyak sekali enzim-enzim yang membantu berbagai proses. Enzim golongan oksidoreduktase membantu reaksi penting pada dekomposisi sampah organik didalam tanah. Enzim golongan hidrolase seperti basa dan asam fosfatase membebaskan P anorganik dari campuran P organik, yang sangat penting bagi nutrisi tumbuhan dan mikroba. Enzim golongan hidrolase lainnya seperti

amilase dan selulase menghidrolisis ikatan antar polimer pati dan selusa menjadi gula sehingga dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroba. Enzim golongan peptidase memutuskan rantai peptida dan proteinase menguraikan protein kompleks seperti kasein dan gelatin asam amino sehingga dapat digunakan mikroorganisme sebagai sumber karbon dan nitrogen.

Enzim berasosiasi dengan sel hidup, dapat terbentuk didalam sel (intraseluler) dan dapat terbentuk diluar sel (ekstraseluler). Enzim dapat diimmobilisasi pada mineral dalam tanah dan materi organik enzim juga dapat terpolimerisasi. Enzim dapat berikatan dengan bahan organik lain dipengaruhi oleh massanya, titik issoelektrik, ikatan potensial pada sisi aktifnya, kelarutan dan konsentrasinya, disamping itu dipengaruhi pula oleh faktor lingkungan yaitu pH tanah. Jika pH tanah dibawah optimal maka struktur tersier enzim akan terganggu dan aktifitasnya dapat hilang.

Aktifitas enzim bervariasi pada tanah yang berbeda. Sebagai contoh pada tanah liat Km dari enzim alkalin fosfatase akan meningkat dan Vmax akan menurun ketika diabsobsi mineral tanah.

Tabel konstanta kinetik dari alkalinfosfatase pada mineral dalam tanah liat.

Jenis mineral	Kandungan tanah liat (mg)	Km (mM)	Vmax (µg PNP mL^{-1} h^{-1})
Kontrol	0	4.3	255
Kaolinit	50	4.6	244
Ilit	100	5.2	250
Montmorilonit	150	6.0	247
	50	4.0	175
	100	5.5	164
	150	3.9	98
	50	5.7	275
	100	7.1	281
	150	7.9	279

PNP = paranitrofenol

Enzim Ekstraseluler

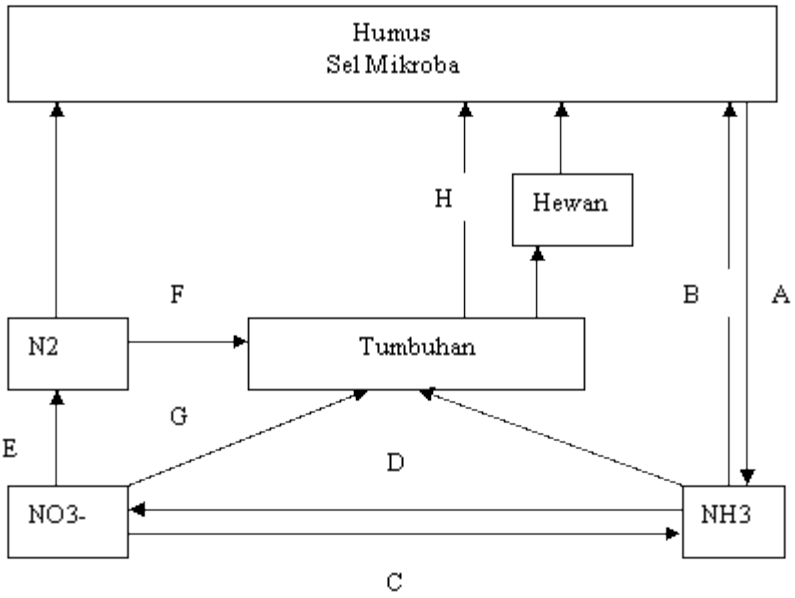
Enzim ekstraseluler seperti sellulase dapat diekskresikan ke dalam lingkungan oleh mikroorganisme untuk memecah polimer-polimer berukuran besar menjadi sub unit-sub unit yang lebih sederhana. Dalam strategi ini enzim ekstraseluler dapat dinonaktifkan oleh adsorpsi tanah. Namun demikian tidak semua jenis tanah mempunyai pengaruh yang sama dalam menonaktifkan enzim ekstraseluler dan tidak semua enzim

ekstraseluler dapat dinonaktifkan oleh tanah yang sama. Enzim ekstraseluler dapat juga didenaturasi secara fisik dan kimia. Enzim ekstraseluler dapat juga berperan sebagai substrat pertumbuhan bagi mikroorganisme lain.

BAB VIII

SIKLUS NITROGEN

Siklus nitrogen agak berbeda dengan siklus karbon karena gas nitrogen tidak seperti karbondioksida, tidak langsung dimetabolisme oleh tanaman tingkat tinggi. Umumnya mikro-organisme tanah dapat menambat gas nitrogen dan mengubah serta meneruskannya ke tanaman. Nitrogen dikontakkan ke dalam atmosfer melalui berbagai transformasi yaitu amonifikasi, nitrifikasi dan denitrifikasi.



(Gambar 8.1) Siklus Nitrogen

A = Amonifikasi dan mineralisasi
B = Imobilisasi
C = Nitrifikasi
D = Reduksi nitrat dan imobilisasi
E = Denitrifikasi
F = Fiksasi nitrogen (non simbiotik)
G = Fiksasi nitrogen (simbiotik)
H = Pengeluaran Nitrogen yang diekskresi tanaman

Ciri lain yang membedakan siklus nitrogen dari siklus karbon ialah bahwa karbon merupakan 0,007% dari atmosfer, sedangkan nitrogen meliputi 80%, sehingga cadangan nitrogen lebih besar. Sebaliknya persentase nitrogen dalam jaringan tanaman lebih rendah dari karbon. Nisbah Karbon/Nitrogen sebesar 200:1 terdapat pada jaringan berkayu yang masih hidup, nisbah yang lebih rendah pada legum yaitu 30:1 bahkan lebih rendah lagi pada bahan organik 10:1

Tanaman pada umumnya mengabsorpsi unsur N terutama dalam bentu mineral (dalam bentuk Nitrit dan Amoniak), kecuali tanaman-tanaman yang berasosiasi dengan mikroorganisme pengikat N. Hanya sebagian kecil N dalam bentuk organik yang diserap oleh tanaman dan bersifat hanya sebagai pelengkap yaitu dalam bentuk asam amino dan viatamin. Aktivitas biologis yang menyebabkan terbentuknya N nitrit dan N amoniak dikenal dengan istilah “mineralisasi” yang terdiri dari dua proses yaitu ammonifikasi dan nitrifikasi.

AMONIFIKASI

Proses ammonifikasi merupakan tahap pertama dari degradasi protein-protein menjadi N-ammoniak. Mikroorganisme yang berperan di dalam proses ini adalah dari berbagai jenis bakeri, actinomycetes ataupun jamur. Proses ini adalah dari berbagai jenis bakteri, actinomycetes ataupun jamur. Proses ini tidak membutuhkan kondisi ekologi yang khusus, sehingga pada kondisi lingkungan yang bagaimanapun juga akan dijumpai mikroorganisme yang dapat melakukan proses ammonifikasi, kecuali pada kondisi lingkungan yang tidak cocok untuk kehidupan.

NITRIFIKASI

Merupakan fenomena biologi pada proses dimana N-ammoniak ditransformasi ke bentuk nitrit. Proses ini terjadi pada semua tanah-tanah yang beraerasi normal, proses ini merupakan pelengkap dari proses mineralisasi dan juga menyangkut transformasi pupuk-pupuk amoniak. Proses ini dapat dibedakan atas :

a) Nitrifikasi antotrophik, yang terdiri atas dua tahap yaitu :

- Nitrosasi : bakteri yang berperan dalam proses ini disebut Nitroso bakteri. Yang termasuk ke dalam Nitroso bakteri adalah (paling banyak dijumpai), Nitrosococcus dan Nitrosospira. Proses reaksinya adalah sebagai berikut :

$$NH_4^+ + ½\ O_2 \text{ ----------}\rightarrow NO_2^- + ½\ O_2$$

- Nitratasi : spesies bakeri yang peling penting dalam proses ini adalah nitrobacter. Proses ini dapat digambarkan sebagai berikut:

$$NO_2^- + \frac{1}{2} O_2 \text{ --------} \rightarrow NO_3^-$$

Bakteri pelaku proses nitrifikasi autotrophik ini membutuhkan keadaan ekologi yang khusus: in vitro, bersifat aerobik dan neutrophik, tetapi di dalam tanah, adanya interaksi dengan berbagai proses fisik, kimia, dan biologis memungkinkan bakteri ini berkembang pada PH rata-rata di bawah 6,0 atau bahkan di bawah 5,0.

b) Nitrifikasi Heterotrophik

Disamping nitrifikasi autotrophik, di dalm tanah dijumpai bakteri nitrifikasi heterotrophik (seperti Aspergillus flavus) dimana mereka tidak begitu menuntut keadaan ekologi yang begitu khusus, namun hasilnya lebih rendah.

DENITRIFIKASI

Denitrifikasi merupakan proses-proses yang menyebabkan perubahan nitrat dan juga nitrit tanah menjadi bentuk gas seperti gambar reaksi berikut :

$$2NO_3 \text{-----} \rightarrow 2NO_2 \text{-----} \rightarrow 2NO \text{ -----} \rightarrow N_2O \text{ -----} \rightarrow N_2$$

Di bidang pertanian, proses denitrifikasi ini merupakan proses utama yang menyebabkan hilangnya N dari tanah pada agrosistem tropis. Proses ini terjadi pada keadaan anaerob, dimana mikroorganisme pelaku proses tersebut menggunakan nitrat sebagai penerima elektron. Proses ini dikenal juga dengn nama reduksi dissimilasi nitrat.

Dikenal dua bentuk proses reduksi nitrat yaitu :

a) Reduksi dissimilatris, merupakan proses yang menyebabkan terbentuknya nitrit.
b) Reduksi assimilatris, proses yang menyebabkan terbentuknya ammoniak.

Mikrobia yang berperan di dalam proses denitrifikasi adalah kelompok bakteri yang terdiri dari berbagai jenis seperti : bacillus, Pseudomonas, Achromobacter, Alcaligenes, Paracoccus, Hyphomocrobium dan Thiobacillus denitrificans. Kondisi ekologi yang diperlukan untuk proses denitrifikasi ini adalah tersedianya N dalam bentuk nitrit atau nitrat, lingkungan yang berkadar oksigen rendeh/anaerob, tersedianya donor elektron dalam jumlah yang cukup (bahan organik segar).

FIKSASI N_2DI UDARA

Penambatan N melalui cara ini dilakukan oleh berbagai jenis mikroorganisme. Dibedakan tiga kelompok mikroorganisme pengikat N_2 yaitu :

a) Bersifat simbiose obligat, seperti : antara tanaman leguminosae dan bakteri Rhizobium, antara non Leguminosae dan Actinomycetes.

b) Bersifat Simbiosa Associative, seperti : antara tanaman dengan Cyanophyceae, antara Graminae dan bakteri pengikat N di daerah rhizosphere.

c) Organisme bebas, seperti : azotobacter yang hidup pada jerami yang sedang melapuk, Cyanophyceae yang hidup di air irigasi ataupun tanah sawah.

Semua mikrobia pengikat N tersebut mempunyai enzim nitrogenase, yang memungkinkan dapat mereduksi N-molekul menjadi N-ammoniak menurut reaksi sebagai berikut :

$$N_2 + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_3$$

Ammoniak yang terbentuk oleh mikroorganisme selanjutnya akan diassimilasi oleh miroorganisme iu atau diserahkan sebagian kepada tanaman inangnya. Kemampuan mengikat N-molekul ini dapat dijumpai bakteri dari berbagai jenis seperti :

Kelompok bakteri obligat aerob, seperti : Azotobacter, Bergerinchia, Derxia, Spirillum, Aquaspirillum, Mycobacterium, Corynebacterium, dan bakteri pengoksidasi metana.

Kelompok bakteri fakultatif anaerob, seperti : Klebsiella, Bacillus.

Kelompok bakteri obligat anaerob seperti : Clostridium, Desulfovibrio, Desulfotomaculum.

Berbagai organisme photosinthetik yang juga mempunyai nitrogenase adalah :

Bakteri photosynthetic seperti Rhodospirillum rubrum dan Chlorobium thiosulfutophilum.

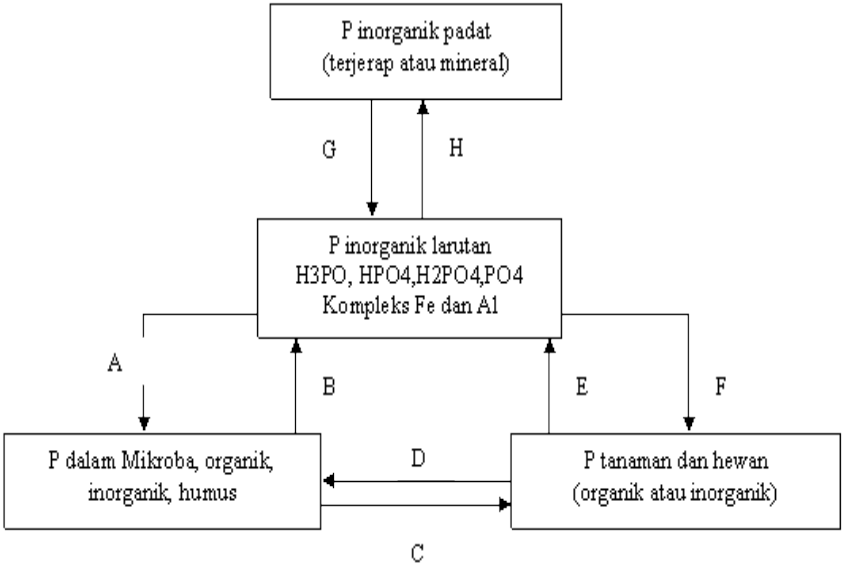
Berbagai jenis Cyanophyceae seperti Anabaena, Nostoc, Tolypothrix, Calothrix, Gleocapsa dan Chloroglaea.

BAB IX

SIKLUS FOSFOR

Sirkulasi P di alam dalam bentuk fosfat berbeda dengan sirkulasi karbon dan nitrogen. Fosfor terdapat dalam tanah, batuan dan organisme hidup dan tidak dalam atmosfer. Baik fosfat anorganik maupun fosfat organik terdapat di dalam tanah. Bentuk anorganiknya adalah senyawa Ca, Fe, Al dan F. Fosfor organik mengandung senyawa-senyawa yang berasal dari tanaman dan mikroorganisme dan tersusun dari asam nukleat, fosfolipid dan fitin. Materi organik yang berasal dari sampah tanaman mati dan membusuk kaya akan sumber-sumber fosfor organik.

P anorganik sedikit larut dalam air dan di dalam larutan tanah berada pada konsentrasi 1,0-0,1 ppm dalam bentuk asam fosfat (H3PO4), dan ion-ion seperti $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-} serta ion kompleks. Pada tanah masam dijumpai ion $H_2PO_4^-$ sedangkan pada tanah alkali ion HPO_4^{2-}. Aktivitas mikrobia dapat mempengaruhi jumlah fosfat dalam larutan dengan cara mobilisasi atau dengan melarutkannya.



(Gambar 9.1) Siklus Fosfor

A = Pemanfaatan P oleh mikroba, B = Lisis dan enzimatik, C = Transfer P oleh mikoriza, D = Penglepasan P dari residu tanaman dan hewan melalui aktivitas mikroba, E = Penglepasan P dari residu tanaman dan hewan karena pencucian, F = Pengambilan P oleh tanaman dan hewan, G = Pelarutan P oleh mikroba dan nonbiologik, H = Pengendapan P nonbiologik.

Immobilisasi fosfat oleh mikrobia (proses A pada gambar) tidak nyata kecuali bila aktivitas mikroba sangat tinggi mengingat sebagian besar fosfat dalam larutan tanah berasal dari fosfat padat seperti Ca-

fosfat. Demikian pula, pelarutan fosfat oleh asam tersebut segera diuraikan oleh mikrobia lain. Diduga pelarutan melalui akumulasi karbondioksida.dan hidroen sulfida lebih penting.

Fosfat padat dapat dijumpai sebagai fosfat terjerat pada permukaan daerah tanah, atau mineral sedikit larut misalnya apatit, fosfat organik. Yang lebih menarik untuk diketahui bahwa sebagian besar fosfat organik berasal dari aktivitas biologik. Sukar diketahui berapa banyak fosfor organik yang diserap tanaman dari tanah dan mengubahnya ke dalam bentuk organik seperti inositol heksafosfat (fitin), asam nukleat dan adenosin fosfat. Penyerapan P oleh tanaman berbeda dari penyerapan nitrogen karena N-Inorganik sebagian besar diubah kedalam bentuk organik dan harus dimineralisasi sebelum dekomposisi substansi lain berlangsung. Sebagian besar P tanaman berada dalam bentuk inorganik, suplai P untuk mikroba pengurai residu tanaman biasanya tidak tergantung pada mineralisasi fosfat organik.

P-Inorganik bahan tanaman mati, dimanfaatkan mikroorganisme yang mengubahnya ke dalam bentuk organik. Kandungan total P sel mikroba bervariasi dari 0,5-1,0% untuk fungi 1,5-2,5% untuk bakteri dan Actinomycetes. Fosfor tersebut akan tersedia bagi tanaman dan mikroorganisme lain apabila mikroorganisme yang bersangkutan mengalami autolisis atau terjadi reaksi enzimatik defosforilasi. Selama dekomposisi residu tanaman, sedikit mineralisasi P organik berlangsung pada tiga bulan pertama dan proses ini dapat saja tersamar oleh

pengambilan P-Inorganik secara simultan yang dilakukan mikroorganisme.

Defisiensi fosfor mungkin terjadi pada tanaman pertanian yang tumbuh pada tanah-tanah yang mengandung fosfat dalam jumlah yang cukup. Hal ini mungkin disebabkan oleh kenyataan bahwa tanaman hanya dapat menyerap fosfor dalam bentuk yang tersedia. Fosfat tanah baru dapat dijadikan tersedia oleh perakaran tanaman atau oleh mikroorganisme tanah yang dapat melarutkan fosfa memegang peranan dalam memperbaiki tanaman pertanian yang mengalami defisiensi fosfor.

Pelarutan fosfat oleh perakaran tanaman dan mikroorganisme tergantung pada PH tanah. Pada tanah netral atau basa yang memiliki kandungan kalsium yang tinggi terjadi pengendapan kalsium fosfat. Mikroorganisme dan perakaran tanaman mampu melarutkan fosfat seperti itu dan mengubahnya sehingga dengan mudah menjadi tersedia bagi tanaman. Sebaliknya tanah yang asam umumnya miskin akan ion kalsium dan karena itu fosfatnya diendapkan dalam bentuk senyawa besi atau alumunium yang tidak dengan mudah dapat dilarutkan oleh perakaran tanaman atau oleh mikroorganisme tanah.

Apabila kondisi semacam ini terus-menerus berlangsung dalam tanah yang asam, maka satu cara untuk memperbaiki defisiensi fosfor pada tanaman ialah dengan menginokulasi biji atau tanah dengan mikroorganisme pelarut fosfat bersama-sama dengan pupuk berfosfat. Bakteri pelarut fosfat diketahui mereduksi PH substrat dengan

mensekresi sejumlah asam organik seperti asam-asam format, asetat, propionat, laktonat, silikonat, fumarat dan suksinat. Beberapa dari antara asam-asam ini (asam hidroksi) membentuk khelat dengan kation-kation seperti Ca dan Fe dan khelasi semacam ini mengakibatkan pelarutan fosfat menjadi efektif.

BAB X

PROSES BIOKIMIA PADA TANAH TERGENANG

Dekomposisi yang dibicarakan dalam BAB V di atas adalah dekomposisi pada tanah dengan ketersediaan oksigen cukup dan nilai Eh di atas 300 mV. Kebanyakan daratan dan perairan berada dalam keadaan bebas O2, dan dekomposisi bahan organik terjadi secara anaerobik. Jika akseptor elektron alternatif (NO3-, Mn(IV), Fe(III), dll.) masih tersedia, dekomposisi terjadi pada respirasi secara fakultatif anaerobik dan menghasilkan CO2. Pada keadaan yang lebih reduktif, respirasi anaerob terjadi dan menghasilkan terutama metana (CH4). Konsentrasi O2 sebesar 1% dipandang sebagai batas suasana aerobik dan anaerobik.

METABOLISME AEROBIK PADA TANAH TERGENANG

Pada proses biokimia mikroorganisme di dalam tanah akan mengambil senyawa tertentu untuk mendapatkan energi misalnya saja pada kondisi aerobik, bakteri aerob akan bekerja sangat aktif untuk menghasilkan energi.

Pada masa-masa penggenangan awal konsentarsi O2 masih tersedia meskipun tidak sebanyak pada saat tanah itu tidak tergenang. Tetapi lamam-kelaman seiring dengan bertambahnya air akan menyebabkan defusi O2 akan menurun sehingga aktivitas

mikroorganisme menjadi tidak maksimum yang kemudian mulailah bakteri aerobik fakultatif menampakkan aktivitasnya. Berikut ini disajikan tabel transormasi aerobik pada tanah tergenang.

Tabel 10.1. Transormasi aerobik pada Tanah Tergenang

Bakteri	Reaksi Biokimia
Heterophic	$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$
	$CH_3\ CH_2OH + O_2 = CH_3COOH + H_2O$
Nitrosomonas Sp	$2NH_4^+ + 3O_2 = 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$
Nitrosobacter Sp	$2NO_2^- + O_2 = 2NO_3^-$
Pengoksidasi Mn	$Mn^{2+} + O_2 = 2NO^-_3$
Besi	$4Fe^{2+} + 4H^+ + O_2 = 4Fe^{3+} + 2H_2O$
Thiobacilus Sp	$2S + O_2 = 2S + 2H_2O$
Pengoksida Metan	$CH_4 + 2OH = CO_2 + 2H_2O$
Hydrogenommonas	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$

DEKOMPOSISI PADA KEADAAN TANPA OXYGEN

Pada keadaan anarobik akan dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk beraktivitas secara maksimal, dan setelah periode ini atau setelah unsur O2 berkurang maka bakteri fakultatif anarebik akan mendominasi atau menggantikan peran bakteri aerob. Pada proses selanjutnya proses biokimia di dalam tanah akan dilanjutkan oleh bakteri obligat anaerobik. Bakteri fakultatif anaerobik mereduksi Nitrat, Oksida Fe, karbonat, sulfat, oksida Mn dan senyawa-senyawa teroksidasi lainnya menjadi gas Nitrogen. Transformasi an-aerobik pada tanah tergenang diperlihatkan pada Tabel 10.2.

Reduksi Nitrat

Akumulasi nitrat pada atanah teregenang sebagai hasil daripada proses nitrifikasi pada fase aerob tanah tergenang.Reduksi nitrat biasanya terjadi pada proses denitrifikasi yang diulakukan pada umumnya oleh bakteri Thiobacillus denitrificans dan Nitrococus denitrificans. Kedua bakteri ini bisasnya juga mengahsilkan Nitroksida yang biasanya ditemukan pada tanah tergenang terutama yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi.

Reduksi Mn

Realisasi reduksi Mn biasanya berlangsung pada konsentrasi H+ tinggi dimana berada pada pH sekitar 7,0. Proses mobilkisasi Mn juga sangat cepat dimana terjadibeberapa hari setelah penggenangan pada keadaan konsentrasi nitrat yanggi biasanya Reduksi Mn akan terhambat.

Hal ini dikarenakan behwa bakteri fakultatif an-aerobik koih menyukai nitrat sebagai sebarab elektron.

Tabel 10.2. Transformasi an-aerobik pada tanah tergenang

Bakteri	Reaksi Biokimia
Heterophic	$C_6H_{12}O_6 = 2CO_2 + 2C_2H_2OH$
Denitrifikasi	$C_6H_{12}O_6 + 4NO^-_3 = 6CO_2 + 6H_2O + 2N_2$
	$5CH_3COOH + 8NO^-_3 = 10CO_2 + 6H_2O + 8OH^- + 4N_2$
Reduksi Nitrat	$CH_3COOH + NO^-_3 = 2CO_2 + Mn^{2+} + 4H^+ + OH^- + NH_3$
Pereduksi Mn	$CH_3COOH + MnO_2 = 2CO_2 + Mn^{2+} + 4H^+$
Pereduksi Fe	$CH_3COOH + 8Fe^{3+} + 2H_2O = 2CO_2 + 8Fe^{2+} + 8H^+$
Pereduksi Sulfat	$2CHOHCOOH + SO_4^{2-} = CH_3COOH + 2H_2O + 2CO_2 + S_2^-$
Methanomonas sp	$CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$

Reduksi Fe

Pembentukan Fe2+ pada atanah-tanah tergenang hampir semuanya merupakan hasil daripada aktivitas mikroorganisme. Penambahan bahan organik kan meningkatkan aktivitas reduksi Fe (Fe2+ Fe2) dimana perduksi ini dilakukan oleh bakteri dari golongan famili clostridium.

Reduksi Sulfat

Akumulasi sulfida sebagai hasil reaksi biokimia akan meningkat tajam pada Eh sekitar 200 mN. Mikroorganisme yang berperan penting dalam hal mereduksi sulfat (SO42-) pada tanah tergenang adalah bakteri an-aerobic Desulfovibrio desulfuricans. Seedangkan bakteri Beggiatua mampu mengoksidasi H2S menjadi unsur sulfur pada Rhizosper tanaman padi. Seperti halnya pada proses reduk Fe, penambahan bahan organikjuga akan meningkatkan akumulasi sulfida pada tanah-tanah tergenang. Sedangkan penambahan bahan-bahan kimia pengoksidasi seperti nitrat, oksida Mn, Fe3+ akan memperlambat formasi sulfida dengan menstabilisasi redulis. Potensial atau dia akan bersaing dengan formasi asam organik dalam penggunaan molekul hidrogen.

Formasi Gas Metana

Pada nilai Eh di bawah -150 mV pada kebanyakan tanah mineral dan di bawah 70 mV pada tanah organik formasi gas metana (CH4) akan terjadi. Karena persyaratan kondisi anaerobik ini, sumber utama metan adalah : lahan basah, tanah gambut, danau, sawah, saluran-saluran air, tempat penumpukan sampah, dan sistem pencernaan (Tabel 10.3).

Tabel 10.3. Sumber gas metana

Sumber Alamiah	Emisi (Tg C /tahun)	
	Bouwman, 1989	IPCC, 2001
Lahan basah	100 – 200	115
Rayap	10.0 – 50.0	20
Laut	5.0 – 20.0	10
Air tawar	1.0 – 25.0	5
Metan hidrat	0 – 5	5
Total	116 - 300	155
Sumber Antropogenic		
Batubara, gas alam, minyak bumi	70 – 120	100.0
Sawah/padi	20 – 150	60.0
Fermentasi enterik	65 – 100	80.0
Kotoran binatang	20 – 30	25.0
Limbah domestik	-	25.0
Pengolahan lahan	20 – 70	30.0
Pembakaran biomassa	20 – 80	40.0
Total	215 – 550	360.0

Gas-gas yang terlibat dalam respirasi anaerobik bersifat radiatif, dengan demikian mempengaruhi penomena efek rumah kaca. Meskipun konsentrasi metan di atmosfir hanya sekitar 1.7 ppm; relatif kecil dibandingkan dengan CO2 yang berkonsentrasi 350 ppm, tetapi karena daya absorpsi panasnya yang 30 kali dibanding CO2 pada nilai mol yang sama, metan menyumbang sebesar 20% pada pemanasan global.

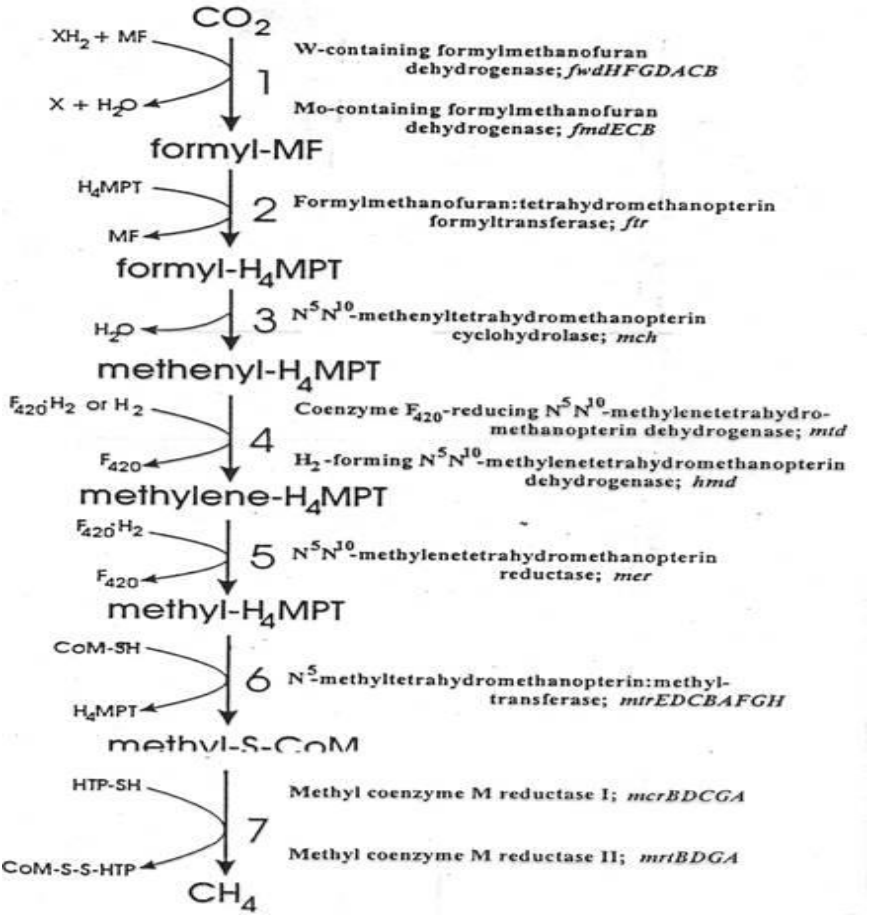
Produksi metan terjadi pada lapisan reduksi oleh bacteria methanogens. Asakawa (1996) mengmukakan bahwa Methanosarcina

mazeii dan Methanobrevibacter arboriphilus adalah dua jenis methanogens yang umum ditemukan pada tanah sawah di Jepang. Siklus makanan metanogens pada tanah sawah berawal dari karbon dioksida atau acetate. Metabolisme pembentukan metan dari kedua bahan tersebut adalah seperti reaksi berikut :

$4H_2 + HCO_3^- + H^+$ -----> $CH_4 + 3\ H_2O$

$CH_3COO- + H_2O$ -------> $CH_4 + HCO_3^-$

Lebih rinci, pembentukan CH_4 dari CO_2 di dalam tubuh methanogens dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 10.1):



Gambar 10.1. Pembentukan CH_4 dari CO_2

BAB XI

MIKORIZA

Mikoriza atau fungi asosiatik merupakan bentuk asosiasi simbiotik antar fungi dan sistem perakaran tanaman tingkat tinggi. Terminologi “Mycorrhiza (Plural : Mycorrhizal) Yang secara harfiah berarti “akar jamur”, telah digunakan oleh A.B. Frank seorang Botaniawan Jerman pada tahun 1855. Fungi yang menempati perakaran dan hidup di dalam ataupun di luar akar, mengambil sumber karbohidrat dari tanaman yang ditempatinya (inang) dan juga memperoleh hara mineral dari dalam tanah. Sebagian hara mineral ini terutama unsur fosfor (P) dapat disediakan untuk tanaman inang.

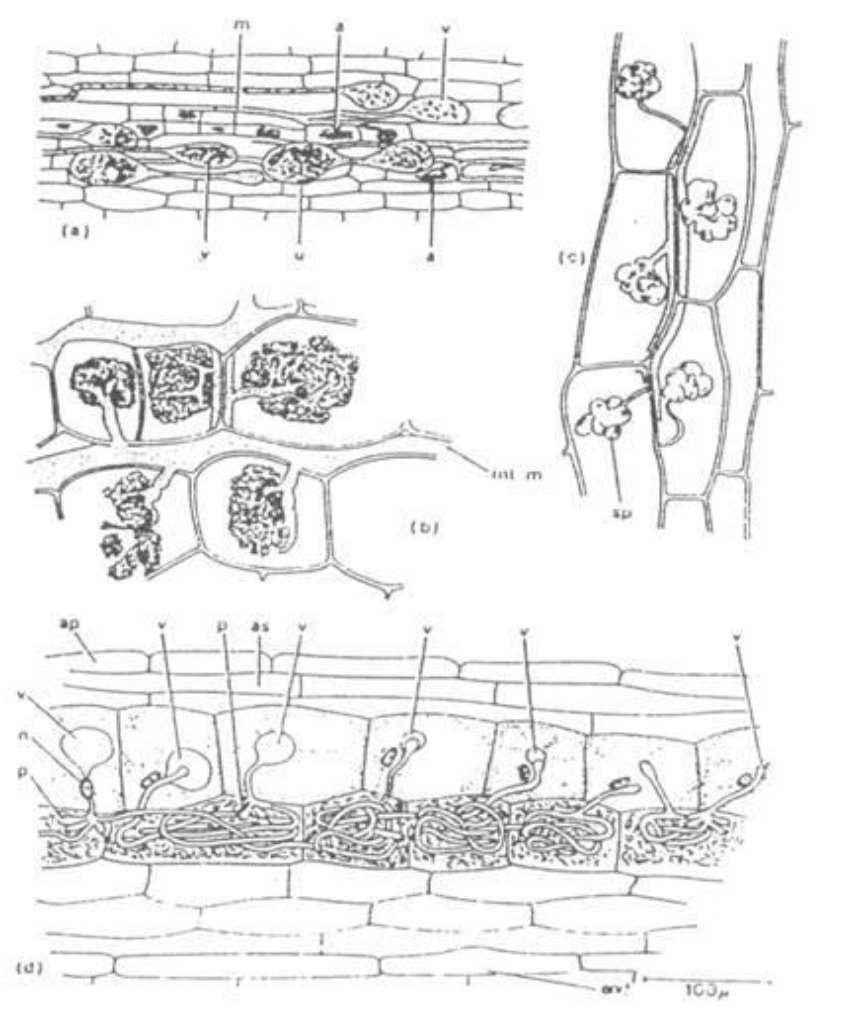
Menrut Russel (1973) mikoriza dapat dikelompokkan menjadi empat kelas yaitu :

1. Asosiasi antar Basidiomycetes dan Ascomycetes dengan tanaman pohon.
2. Asosiasi antara Basidiomycetes dengan Anggrek.
3. Asosiasi antara sekelompok Fungi dengan tanaman Ericales.
4. Asosiasi antara Fungi yang termasuk genus Endogene (Ascomycetes atau Phycomycetes) dengan beberapa tanaman tingkat tinggi.

Dalam bahan ajar ini, kelompok asosiasi (1) dan (2) tidak dibahas. Selanjutnya akan dibahas mikoriza dapat dibedakan menjadi 2 tipe yang jelas perbedaannya dan beberapa tipe berada diantara kedua tipe tersebut.

TIPE-TIPE MIKORIZA

Ada dua tipe mikoriza yang aktif dipelajari karena keterlibatan peranannya pada lahan pertanian yaiu ektomikoriza (ecthomycorrhizae) dan endomikoriza (endomicorrhizae). Beberapa tanaman mempunyai bentuk endo-dan –ectomycorrhizae, tetapi tidak semuanya. Tipe endomikoriza (endotropik) dengan struktur tidak membentuk selimut dan hifa (hyphae) fungi menginvasi sel korteks akar tanpa mematikannya (Gambar 11.1).



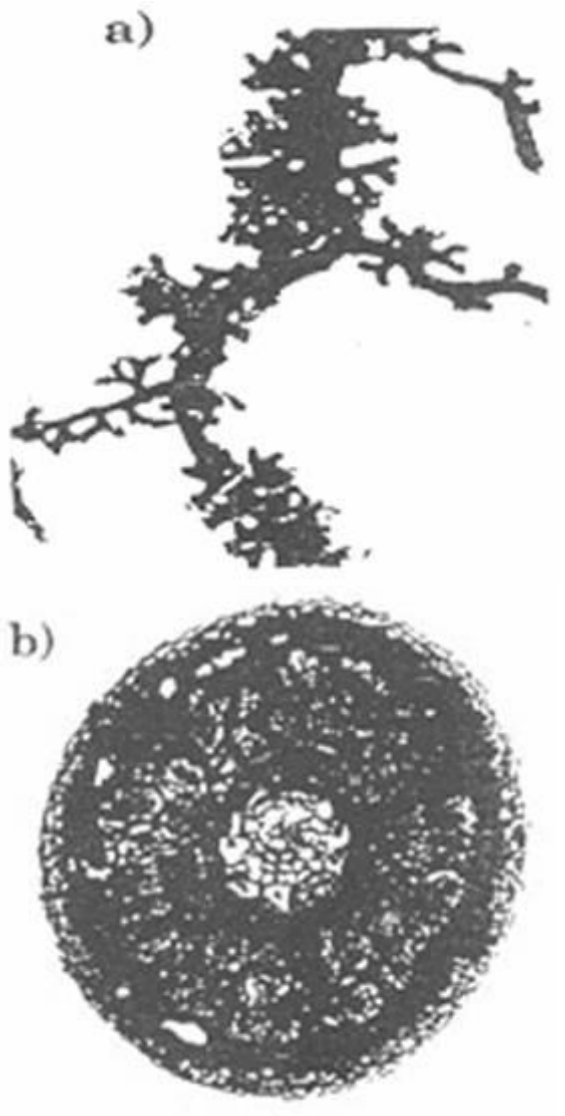
Gambar 11. 1. Endomikoriza.

Tipe ektomikoriza adalah fungi yang strukturnya membentuk banyak cabang pada rambut akar tanaman pohon (Gambar 11. 2a.). Struktur mikoriza ini erdiri dari selimut (mantle) miselium Fungi yang menyelimuti akar yang sel korteknya membesar dan hifa Fungi yang masuk dalam ruang interseluler (Gambar 11.2b).

ENDOMIKORIZA

Seperi diunjukkan oleh namanya, pada endomikoriza (mikoriza endorof), hifa fungi termasuk sel-sel tanaman inang dan karenanya menerobos jaringan inang. Beberapa ipe yang termasuk endomikoriza yaitu tipe eriaceaous (dengan karakteristik keduanya ecto-dan endomikoriza), tipe orchidaceaous (diinfeksi oleh Basidiomycetes), dan vesikular arbuskular mikoriza (VA mycorrhizae atan VAM).

Endomikoriza tipe orchidaceaous ditemukan pada tanaman anggrek. Walaupun demikian, beberapa species dari beberapa genus anggrek mampu juga tumbuh tanpa mitra funginya. Genus-genus itu adalah Cephalanthera, Listera, Epipactis dan Cypripedium. Spesies anggrek lainnya dari genus-genus Bolitus, Amainta,Cantharellus, Cortinarius, Entoloma, Gamphidus, Hebeloma, Inocybe, Lactarius, Paxillus, Russula, Rhizopogon, Scleroderma dan Cenoccum.



Gambar 11.2. Ektomikoriza

Suatu perakaran ektomikoriza tidak memiliki rambut akar dan tertutup oleh selapis atau selubung hifa jamur yang hampir tampak mirip dengan jaringan inang. Lapisan ini disebut selubung Pseudoparenkimatis. Dari selubung ini, hifa memasuki korteks dan hanya tinggal di lapisan sel-sel korteks luar untuk membemtuk jaring-jaring yang disebut "Jala Harting" atau Harting Net. Seluruh nutrien diserap oleh manel fungi dan diransportasikan ke akar melalui Harting Net 9 (Gambar 11.3)

VAM (Vesicular –Arbuscular Mycorrhizae)

Vasicular–Arbuscular Mycorrhizae (VAM) mempunyai kisaran Host/Inang yang besar. Sebagian besar menginfeksi tanaman pertanian dan 90% dari seluruh tanaman vascular (Sylvia, 1994). Fungi VAM adalah Zygomycetes dan Phycomycetes. Genus terpenting adalah Glomus, Gigaspora, acaulospora, Entrophospora dan Scutellospora. Fungi-fungi ini merupakan simbion obligat dan tidak pernah dipisahkan dalam kultur murni dan hanya dapat dipertahankan pada tanaman sedang tumbuh yang diinokulasikan dengan spora dari salah satu spesies dan potongan-potongan akar beserta tanahnya dikumpulkan untuk tujuan eksperimen.

Gambar 11.3.

Biomassa akar yang terinfeksi berat oleh fungi mikoriza VAM khusus berfungsi sebagai inokulum untuk tanaman eksperimental berikutnya. Kekhususan antara kedua mitra dalam simbiosis ini belum dijumpai dan inokulasi silang dengan inang lain yang peka dapat dilakukan dengan cukup mudah. Fungi VAM mempunyai dua strukur utama yang membedakan nya dari ektomikoriza adalah adanya vesicles dan arbuscles. Vesicles memiliki 1,0 hingga 10 mm perluasannya dari

hifa antara sel tanaman. Vesicles mengandung lipid dan berfungsi sebagai organ penyimpan. Arbuscles adalah hifa yang bercabang-cabang halus mirip haustoria . Arbuscles tidak melakukan penetrasi membran sel, tetapi membentu sebuah batas dengan daerah permukaan. Keberadaan Arbuscles 4-10 hari dan selanjutnya dicerna oleh sel tanaman. Arbuscles adalah empat pertukaran metabolik antara mikoriza dan tanaman.

BAB XII

BIOREMEDIASI

PENGERTIAN PENCEMARAN TANAH

Pencemaran tanah adalah keadaan di mana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena: kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial; penggunaan pestisida; masuknya air permukaan tanah tercemar ke dalam lapisan sub-permukaan; kecelakaan kenudaraaan pengangkut minyak, zat kimia, atau limbah; air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhisyarat. Ketika suatu zat berbahaya/beracun telah mencemari permukaan tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan dan atau masuk ke dalam tanah.

Pencemaran yang masuk ke dalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun di tanah tersebut dapat berdampak langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya. Pencemaran tanah banyak diakibatkan oleh sampah-sampah rumah tangga, pasar, industri, kegiatan pertanian, dan peternakan. Sampah dapat dihancurkan oleh jasad-jasad renik menjadi mineral, gas, dan air, sehingga terbentuklah humus. Sampah organik itu misalnya dedaunan, jaringan hewan, kertas, dan kulit. Sampah-sampah tersebut tergolong sampah yang mudah terurai. Sedangkan sampah anorganik seperti besi, alumunium, kaca, dan bahan

sintetik seperti plastik, sulit atau tidak dapat diuraikan. Bahan pencemar itu akan tetap utuh hingga 300 tahun yang akan datang.

Bungkus plastik yang kita buang ke lingkungan akan tetap ada dan mungkin akan ditemukan oleh anak cucu kita setelah ratusan tahun kemudian sebaiknya, sampah yang akan dibuang dipisahkan menjadi dua wadah. Pertama adalah sampah yang terurai, dan dapat dibuang ke tempat pembuangan sampah atau dapat dijadikan kompos. Jika pembuatan kompos dipadukan dengan pemeliharaan cacing tanah, maka akan dapat diperoleh hasil yang baik. cacing tanah dapat dijual untuk pakan ternak, sedangkan tanah kompos dapat dijual untuk pupuk. Kedua adalah sampah yang tak terurai, dapat dimanfaatkan ulang (penanggulangan = reuse). Misalnya, kaleng bekas kue digunakan lagi untuk wadah makanan, botol selai bekas digunakan untuk tempat bumbu dan botol bekas sirup digunakan untuk menyimpan air minum. Baik pendaurulangan maupun penanggulangan dapat mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Keuntungannya, beban lingkungan menjadi berkurang. Kita tahu bahwa pencemaran tidak mungkin dihilangkan. Yang dapat kita lakukan adalah mencegah dampak negatifnya atau mengendalikannya. Selain penanggulangan dan pendaurulangan, masih ada lagi upaya untuk mencegah pencemaran, yaitu melakukan pengurangan bahan/penghematan (reduce), dan melakukan pemeliharaan (repair). Di negara maju, slogan-slogan reuse, reduce, dan repair, banyak diedarkan ke masyarakat.

Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran di sebut polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut polutan bila keberadaannya dapat

menyebabkan kerugian terhadap makluk hidup. Suatu zat dapat disebut polutan apabila:

1. Jumlahnya melebihi jumlah normal.
2. Berada pada waktu yang tidak tepat.
3. Berada di tempat yang tidak tepat.

Sifat polutan adalah:

1. Merusak untuk sementara, tetapi bila telah bereaksi dengan zat lingkungan tidak merusak lagi.
2. Merusak dalam waktu lama. Contohnya Pb tidak merusak bila konsentrasinya rendah.

Akan tetapi dalam jangka waktu yang lama, Pb dapat terakumulasi dalam tubuh sampai tingkatyang merusak. *Timbal (Pb)*termasuk logam berat, seperti halnya logam berat pada umumnya, timbal bersifat sebagai racun. Merupakan penghambat terhadap reaksi-reaksi enzim. Jika konsentrasi melebihi 0,1 mg/L dapat mengakibatkan keracunan karena timbal cenderung untuk berakumulasi dalam tubuh maupun dalam sel-sel jaringan tubuh tersebut. *Kadmium (Cd)*merupakan salah satu bahan kimia yang bersifat toksis. Dalam dosis yang relatif kecil dapat menimbulkan keracunan. Dalam standar kualitas air ditetapkan konsentrasi maksimal 0,01 mg/L. apabila melebihi standar maka cadmium akan berakumulasi dengan tubuh sehingga mengakibatkan penyakit ginjal, gangguan lambung, kerapuhan Tulang, mengurangi haemoglobin darah dan pigmentasi gigi.

Akibat yang ditimbulkan oleh pencemaran tanah antara lain:

a. Terganggunya kehidupan organisme (terutama mikroorganisme dalam tanah).
b. Berubahnya sifat kimia atau sifat fisika tanah sehingga tidak baik untuk pertumbuhan tanaman.
c. Mengubah dan mempengaruhi keseimbangan ekologi.

SUMBER DAN MEDIA TRANSPORT PENCEMAR TANAH

Tanah merupakan bagian dari siklus logam berat. Tanah dapat tercemar logam berat karena adanya logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses-proses industri atau kegiatan pertambangan. Pembuangan limbah ke tanah apabila melebihi kemampuan tanah dalam mencerna limbah akan mengakibatkan pemcemaran tanah.

Pencemaran tanah dapat juga menyebabkan menurunnya kualitas air permukaan, air tanah, dll. Karena air permukaan merupakan air yang berada di permukaan, berupa air sungai, air danau, dan air waduk. Umumnya sumber air permukaan merupakan air yang kurang baik untuk langsung dikonsumsi oleh manusia. Karena itu, perlu adanya pengolahan terlebih dahulu sebelum dimanfaatkan. Air tanah merupakan air yang sebagian terbentuk dari air hujan yang jatuh di permukaan bumi dan sebagian meresap ke dalam tanah. Umumnya air tanah sewaktu proses pengeluaran dan peresapan mengalami penyaringan alamiah, jumlah dan jenis mikroba dan kadar kimia yang terkandung di dalam air tersebut

tergantung dari lapisan tanah yang dialaminya. Kondisi dari lapisan tanah membuat suatu pembagian zona air tanah, yaitu:

a. zona air jenuh (zone of alration), adalah suatu lapisan yang mengandung tanah dan mengandung air tanah yang relatif tak berhubungan dengan udara luar dan lapisan tanahnya disebut aquarver bebas.

b.zona air berudara (zone of aeration), adalah suatu lapisan tanah yang mengandung air yang masih dapat kontak dengan udara.

Air bawah tanah merupakan air yang terbentuk dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi, meresap ke dalam tanah serta terperangkap di bawah lapisan batuan yang kedap air atau merupakan air yang tertekan karena air tersebut berada di antara 2 lapisan tanah yang rapat air, sehingga air yang berada di dalamnya dalam keadaan tertekan. Masuknya air ke dalam lapisan ini melalui daerah pengisian tertentu.

Berdasarkan jenisnya, air dibedakan menjadi. :

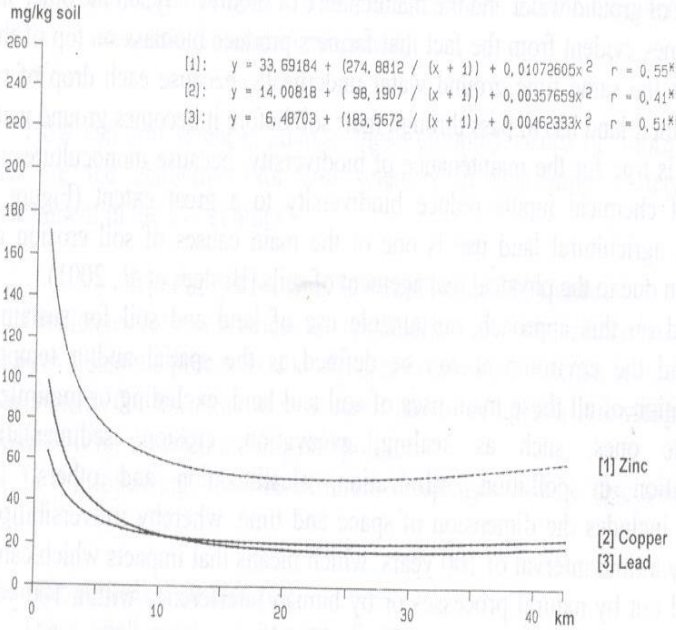
a. air yang sama sekali tidak membutuhkan pengolahan, yang mana air tersebut langsung diminum.

b. air yang hanya membutuhkan desinfeksi saja, yaitu umumnya berupa air dalam tanah ataupun air permukaan yang diperkirakan tidak terkontaminasi, mempunyai warna yang jenih dan mengandung kuman E.Colli tidak lebih dari 50 per 100 ml air sampel.

c. air yang membutuhkan penyaringan pasir cepat, yaitu air yang telah tercemar atau mengandung E.Colli lebih dari 5.000 per 100 ml air sampel, biasanya ditambahkan dengan chlorinasi secara tetap.

d. air yang memerlukan pengolahan tambahan, biasanya dilakukan setelah proses pengolahan dengan saringan pasir cepat dan chlorinasi. Pengolahan tambahan yang dilakukan misalnya Pre sedimentasi atau penyimpanan selama kurang lebih 30 hari.
e. air yang membutuhkan pengolahan secara istimewa, yaitu biasanya dilakukan pada air yang sama sekali tidak sehat, tetapi karena keadaan memaksa air ini terpaksa digunakan, air semacam ini ditandai dengan ditemukannya E.Colli lebih dari 250.000 MPN pada setiap 100 ml air sampel setiap kali pemeriksaan.

Selain akan ikut tercemar dan akan menyebabkan dampak yang buruk bagi siklus kehidupan dimuka bumi ini, air (bersama udara) juga dapat menjadi media transport pencemar tanah yang membawa pencemar tanah bergerak jauh dari sumbernya. Gambar 1 menunjukkan konsentrasi kadmium (Cd), timbal (Pb) dan seng (Zn) tanah sebagai hasil transportasi air dan udara dari sumber pencemar.



Berdasarkan grafik diagram pengaruh jarak polusi (areal pertambangan) terhadap kadar Cd, Pb, dan Zn pada jaringan cacing dan tanah dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin dekat jarak suatu lahan dengan lokasi areal pertambangan, kadar zat-zat pencemar seperti Cd, Pb, dan Zn yang merupakan limbah kegiatan pertambangan semakin tinggi, baik di dalam jaringan cacing maupun di dalam tanah. Hal ini disebabkan logam-logam berat tersebut dapat terlarut dan memasuki air di permukaan tanah atau air tanah sehingga mencemari tanah disekitar areal pertambangan tersebut. Semakin dekat suatu lahan/tanah kepada

sumber polusi, akan semakin mudah polutan tersebut menyebar dan mencemari lahan/tanah tersebut.

DAMPAK PENCEMARAN TANAH

Aktivitas manusia untuk memnuhi keperluan manusia semakin bertambah dari masa ke masa. Aktivitas ini dilaksanakan di laut, di darat dan di udara dan sama ada di bawah tanah. Akticitas ini yang menyebabkan pencemaran alam sekitar itu merupakan cebaran terbesar pada abad ini dan masa mendatang diseluruh dunia.

Pencegahan terjadinya pencemaran terhadap alam sekitar oleh berbagai aktivitas industri/kilang dan akitivitas manusia memerlukan pengawalan terhadap pencemaran alam dan sekitar. Pencemaran terhadap alam sekitar berlangsung di berbagai tempat dengan laju yang sangat cepat. Beban pencemaran alam sekitar sudah semakin berat dengan masuknya kumbahan industri dari pelbagai bahan kimia termasuk logam berat.

Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kima buatan manusia masuk dan merubah persekitaran tanah semula. Pencemaran ini biasanya terjadi karena : kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial; penggunaan pestisida; masuknya air permukaan tanah tercemar kedalam lapisan sub-permukaan; kecelakaan kenderaan pengangkut minyak, zat kimia atau limbah; air limbah dari tempat

penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat.

Ketika suatu zat berbahaya telah mencemari permukaan tanah, maka ia dapat menguap, tersapu air hujan dan atau masuk kedalam tanah. Pencemaran yang masuk kedalam tanah kemudian terendap sebagai zat kimia beracun di tanah. Zat beracun di tanah tersebut dapat berkesan langsung kepada manusia ketika bersentuhan atau dapat mencemari air tanah dan udara di atasnya.

Dampak pencemaran tanah terhadap kesehatan bergantung pada tipe polutan, jalur masuk kedalam tubuh badan dan kerentanan populasi yang terkena. Kromium, berbagai macam pestisida dan herbisida merupakan bahan karsinogenik untuk semua populasi. Timbal sangat berbahaya pada kanak-kanak, karena dapat menyebabkan kerusakan otak serta kerusakan ginjal pada seluruh populasi.

Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kemikal tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemic dan antropoda yang hidup dalam lingkungan tanah tersebut. Akibatnya bahkan dapat memberi akibat yang besar terhadap pemangsa atau tingkatan lain daru rantai makanan tersebut.

Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan kesan lanjutan pada konservasi tanaman dimana tanaman tidak memiliki waktu paruh panjang.

Pada saat pencemaran zat beracun (timbal) mencapai batas maksimum maka suatu tempat itu atau tanah dikatakan tercemar dan apabila dilakukan olah tanah maka akan meyebabkan tanaman terkontaminasi dengan zat tersebut dan hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas kesehatan kehidupan dan menurunnya kualitas tanah akibat zat-zat beracun maka akan menyebabkan menurunnya potensi air bagi kehidupan manusia.

Secara garis besar, dampak ditimbulkan akibat pencemaran tanah dapat dibedakan menjadi:

1. Pada kesehatan

Dampak pencemaran tanah terhadap kesehatan tergantung pada tipe polutan, jalur masuk ke dalam tubuh dan kerentanan populasi yang terkena. Kromium, berbagai macam pestisida dan herbisida merupakan bahan karsinogenik untuk semua populasi. Timbal sangat berbahaya pada anak-anak, karena dapat menyebabkan kerusakan otak, serta kerusakan ginjal pada seluruh populasi.

Paparan kronis (terus-menerus) terhadap benzena pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kemungkinan terkena leukemia. Merkuri (air raksa) dan siklodiena dikenal dapat menyebabkan kerusakan ginjal, beberapa bahkan tidak dapat diobati. PCB dan siklodiena terkait

pada keracunan hati. Organofosfat dan karmabat dapat menyebabkan gangguan pada saraf otot. Berbagai pelarut yang mengandung klorin merangsang perubahan pada hati dan ginjal serta penurunan sistem saraf pusat. Terdapat beberapa macam dampak kesehatan yang tampak seperti sakit kepala, pusing, letih, iritasi mata dan ruam kulit untuk paparan bahan kimia yang disebut di atas. Yang jelas, pada dosis yang besar, pencemaran tanah dapat menyebabkan kematian.

2.Pada Ekosistem

Pencemaran tanah juga dapat memberikan dampak terhadap ekosistem. Perubahan kimiawi tanah yang radikal dapat timbul dari adanya bahan kimia beracun/berbahaya bahkan pada dosis yang rendah sekalipun. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan metabolisme dari mikroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Akibatnya bahkan dapat memusnahkan beberapa spesies primer dari rantai makanan, yang dapat memberi akibat yang besar terhadap predator atau tingkatan lain dari rantai makanan tersebut. Bahkan jika efek kimia pada bentuk kehidupan terbawah tersebut rendah, bagian bawah piramida makanan dapat menelan bahan kimia asing yang lama-kelamaan akan terkonsentrasi pada makhluk-makhluk penghuni piramida atas. Banyak dari efek-efek ini terlihat pada saat ini, seperti konsentrasi DDT pada burung menyebabkan rapuhnya cangkang telur, meningkatnya tingkat Kematian anakan dan kemungkinan hilangnya spesies tersebut.

Dampak pada pertanian terutama perubahan metabolisme tanaman yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan hasil pertanian. Hal ini dapat menyebabkan dampak lanjutan pada konservasi tanaman di mana tanaman tidak mampu menahan lapisan tanah dari erosi. Beberapa bahan pencemar ini memiliki waktu paruh yang panjang dan pada kasus lain bahan-bahan kimia derivatif akan terbentuk dari bahan pencemar tanah utama.

PENCEGAHAN DAN PENAGGULANGAN

Pencegahan dan penanggulangan merupakan dua tindakan yang tidak dapat dipisah-pisahkan dalam arti biasanya kedua tindakan ini dilakukan untuk saling menunjang, apabila tindakan pencegahan sudah tidak dapat dilakukan, maka dilakukan langkah tindakan. Namun demikian pada dasarnya kita semua sependapat bahwa tindakan pencegahan lebih baik dan lebih diutamakan dilakukan sebelum pencemaran terjadi, apabila pencemaran sudah terjadi baik secara alami maupun akibat aktivisas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, baru kita lakukan tindakan penanggulangan.

Tindakan pencegahan dan tindakan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran dapat dilakukan dengan berbagai cara sesuai dengan macam bahan pencemar yang perlu ditanggulangi. Langkah-langkah pencegahan dan penanggulangan terhadap terjadinya pencemaran antara lain dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Langkah Pencegahan

Pada umumnya pencegahan ini pada prinsipnya adalah berusaha untuk tidak menyebabkan terjadinya pencemaran, misalnya mencegah/mengurangi terjadinya bahan pencemar, antara lain:

a) Sampah organik yang dapat membusuk/diuraikan oleh mikroorganisme antara lain dapat dilakukan dengan mengukur sampah-sampah dalam tanah secara tertutup dan terbuka, kemudian dapat diolah sebagai kompos/pupuk. Untuk mengurangi terciumnya bau busuk dari gas-gas yang timbul pada proses pembusukan, maka penguburan sampah dilakukan secara berlapis-lapis dengan tanah.

b) Sampah senyawa organik atau senyawa anorganik yang tidak dapat dimusnahkan oleh mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara membakar sampah-sampah yang dapat terbakar seperti plastik dan serat baik secara individual maupun dikumpulkan pada suatu tempat yang jauh dari pemukiman, sehingga tidak mencemari udara daerah pemukiman. Sampah yang tidak dapat dibakar dapat digiling/dipotong-potong menjadi partikel-partikel kecil, kemudian dikubur.

c) Pengolahan terhadap limbah industri yang mengandung logam berat yang akan mencemari tanah, sebelum dibuang ke sungai atau ke tempat pembuangan agar dilakukan proses pemurnian.

d) Sampah zat radioaktif sebelum dibuang, disimpan dahulu pada sumur-sumur atau tangki dalam jangka waktu yang cukup lama sampai tidak berbahaya, baru dibuang ke tempat yang jauh dari

pemukiman, misal pulau karang, yang tidak berpenghuni atau ke dasar lautan yang sangat dalam.

e) Penggunaan pupuk, pestisida tidak digunakan secara sembarangan namun sesuai dengan aturan dan tidak sampai berlebihan.

f) Usahakan membuang dan memakai detergen berupa senyawa organik yang dapat dimusnahkan/diuraikan oleh mikroorganisme.

2. Langkah Penanggulangan

Apabila pencemaran telah terjadi, maka perlu dilakukan penanggulangan terhadap pencemara tersebut. Tindakan penanggulangan pada prinsipnya mengurangi bahan pencemar tanah atau mengolah bahan pencemar atau mendaur ulang menjadi bahan yang bermanfaat. Tanah dapat berfungsi sebagaimana mestinya, tanah subur adalah tanah yang dapat ditanami dan terdapat mikroorganisme yang bermanfaat serta tidak punahnya hewan tanah. Langkah tindakan penanggulangan yang dapat dilakukan antara lain dengan cara:

a) Sampah-sampah organik yang tidak dapat dimusnahkan (berada dalam jumlah cukup banyak) dan mengganggu kesejahteraan hidup serta mencemari tanah, agar diolah atau dilakukan daur ulang menjadi barangbarang lain yang bermanfaat, misal dijadikan mainan anak-anak, dijadikan bahan bangunan, plastik dan serat dijadikan kesed atau kertas karton didaur ulang menjadi tissu, kaca-kaca di daur ulang menjadi vas kembang, plastik di daur ulang

menjadi ember dan masih banyak lagi cara-cara pendaur ulang sampah.

b) Bekas bahan bangunan (seperti keramik, batu-batu, pasir, kerikil, batu bata, berangkal) yang dapat menyebabkan tanah menjadi tidak/kurang subur, dikubur dalam sumur secara berlapis-lapis yang dapat berfungsi sebagai resapan dan penyaringan air, sehingga tidak menyebabkan banjir, melainkan tetap berada di tempat sekitar rumah dan tersaring. Resapan air tersebut bahkan bisa masuk ke dalam sumur dan dapat digunakan kembali sebagai air bersih.

c) Hujan asam yang menyebabkan pH tanah menjadi tidak sesuai lagi untuk tanaman, maka tanah perlu ditambah dengan kapur agar pH asam berkurang.

Ada beberapa langkah penangan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran tanah, yaitu***:***

1. Remediasi

Remediasi adalah kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah yang tercemar. Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu in-situ(on-site) dan ex-situ (off-site). Pembersih on-site adalah pembersihan dilokasi. Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, venting (injeksi) dan bioremediasi.

Kegiatan untuk membersihkan permukaan tanah dikenal dengan remediasi. Sebelum melakukan remediasi hal yang perlu kita ketahui :

1. Jenis pencemar (organic atau anorganik), terdegradasi/tidak, berbahaya/tidak

2. Beberapa banyak zat pencemar yang telah mencemari tanah tersebut
3. Perbandingan karbon(C), Nitrogen(N) dan Fospat(P)
4. Jenis tanah
5. Kondisi tanah(basah, kering)
6. Telah berapa lama zat pencemar terendapkan di lokasi tersebut
7. Kondisi pencemaran (sangat penting untuk dibersihkan segera/bisa ditunda)

Pembersihan off-site meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa kedaerah yang aman. Setelah itu didaerah aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya yaitu, tanah tersebut disimpan dibak/tanki yang kedap, kemudian zat pembersih dippompakan kebak/tanki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolah air limbah. Pembersihan off-site ini jauh lebih mahal dan rumit.

Bioremediasi adalah proses pembersihan pencemaran tanah dengan menggunakan mikroorganisme (jamur,bakteri). Bioremediasi bertujuan untuk memecah atau mendegradasi zat pencemar menajadi bahan yang kurang beracun atau tidak beracun (karbon dioksida dan air). Proses bioremediasi harus memperhatikan temperatur tanah, ketersediaan air nutrient (N,P,K), perbandingan C : N kurang dari 30:1 dan ketersediaan oksigen.

Bioremediasi dengan penerapan mikroorganisme untuk mempercepat trasnsformasi karbon dan penggunaan tanaman yang dapat menimbun karbon dalam jaringannya telah menampakan beberapa hasil yang cukup memberikan harapan dalam penanggulangan pencemaran pestisida ini.

Transformasi kimia dari bahan pencemar pestisida melalui proses bioremediasi ini meliputi beberapa proses yaitu 1)detoksikasi, 2) degradasi, 3) konjugasi, pembentukan senyawa kompleks atau reaksi penambahan, 4) aktivasi, 5) defusi/pemecahan, 6) perubahan spectrum toksisitas.

Sebelum melakukan remediasi, hal yang perlu diketahui :

1. Jenis pencemar (organik atau anorganik), terdegradasi atau tidak, berbahaya atau tidak,
2. Berapa banyak zat pencemar yang telah mencemari tanah tersebut,
3. Perbandingan karbon (C), nitrogen (N), dan fosfat (P),
4. Jenis tanah,
5. Kondisi tanah (basah, kering),
6. Telah berapa lama zat pencemar terendapkan di lokasi tersebuKondisi pencemaran (sangat penting untuk dibersihkan segera/bisaditunda).

Ada dua jenis remediasi tanah, yaitu *in-situ* (atau *on-site*) dan *ex-situ* (atau *off-site*). Pembersihan *on-site* adalah pembersihan di lokasi.

Pembersihan ini lebih murah dan lebih mudah, terdiri dari pembersihan, venting (injeksi), dan bioremediasi.

Pembersihan *off-site* meliputi penggalian tanah yang tercemar dan kemudian dibawa ke daerah yang aman. Setelah itu di daerah aman, tanah tersebut dibersihkan dari zat pencemar. Caranya yaitu, tanah tersebut disimpan di bak/tanki yang kedap, kemudian zat pembersih dipompakan ke bak/tangki tersebut. Selanjutnya zat pencemar dipompakan keluar dari bak yang kemudian diolah dengan instalasi pengolah air limbah. Pembersihan *off-site* ini jauh lebih mahal dan rumit.

2. Bioremediasi

Bioremediasi merupakan penggunaan mikroorganisme untuk mengurangi polutan di lingkungan atau pemanfaatan organisma untuk membersihkan senyawa pencemar dari lingkungan. Pada proses ini terjadi biotransformasi atau biodetoksifikasi senyawa toksik menjadi senyawa yang kurang toksik atau tidak toksik. Proses utama pada bioremidiasi adalah biodegradasi, biotransformasi dan biokatalis.

Saat bioremediasi terjadi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan tersebut, sebuah peristiwa yang disebut biotransformasi. Pada banyak kasus, biotransformasi berujung pada biodegradasi, dimana polutan beracun terdegradasi, strukturnya menjadi tidak kompleks, dan akhirnya menjadi metabolit yang tidak berbahaya dan tidak beracun.

Strain atau jenis mikroba rekombinan yang diciptakan di laboratorium dapat lebih efisien dalam mengurangi polutan. Mikroorganisme rekombinan yang diciptakan dan pertama kali dipatenkan adalah bakteri "pemakan minyak". Bakteri ini dapat mengoksidasi senyawa hidrokarbon yang umumnya ditemukan pada minyak bumi. Bakteri tersebut tumbuh lebih cepat jika dibandingkan bakteri-bakteri jenis lain yang alami atau bukan yang diciptakan di laboratorium yang telah diujicobakan. Akan tetapi, penemuan tersebut belum berhasil dikomersialkan karena strain rekombinan ini hanya dapat mengurai komponen berbahaya dengan jumlah yang terbatas. Strain inipun belum mampu untuk mendegradasi komponen-komponen molekular yang lebih berat yang cenderung bertahan di lingkungan.

Ada 4 teknik dasar yang biasa digunakan dalam bioremediasi :

1. Stimulasi aktivitas mikroorganisme asli (di lokasi tercemar) dengan penambahan *nutrien*, pengaturan kondisi redoks, optimasi pH, dan sebagainya.
2. Inokulasi (penanaman) mikroorganisme di lokasi tercemar, yaitu mikroorganisme yang memiliki kemampuan biotransformasi khusus.
3. Penerapan *immobilized enzymes.*
4. Penggunaan tanaman (*phytoremediation*) untuk menghilangkan atau mengubah pencemar.

Proses bioremediasi harus memperhatikan temperatur tanah, ketersediaan air, nutrien (N, P, K), perbandingan C : N kurang dari 30:1, dan ketersediaan oksigen.

Jenis-jenis bioremediasi adalah sebagai berikut:

1. Biostimulasi

Nutrien dan oksigen, dalam bentuk cair atau gas, ditambahkan ke dalam air atau tanah yang tercemar untuk memperkuat pertumbuhan dan aktivitas bakteri remediasi yang telah ada di dalam air atau tanah tersebut.

2. Bioaugmentasi

Mikroorganisme yang dapat membantu membersihkan kontaminan tertentu ditambahkan ke dalam air atau tanah yang tercemar. Cara ini yang paling sering digunakan dalam menghilangkan kontaminasi di suatu tempat.

Sangat sulit untuk mengontrol kondisi lokasi yang tercemar agar mikroorganisme dapat berkembang dengan optimal. Para ilmuwan belum sepenuhnya mengerti seluruh mekanisme yang terkait dalam bioremediasi, dan mikroorganisme yang dilepaskan ke lingkungan yang asing kemungkinan sulit untuk beradaptasi.

3. Bioremediasi Intrinsik

Bioremediasi jenis ini terjadi secara alami di dalam air atau tanah yang tercemar.

BAB XIII

SOAL-SOAL

Soal I

I. Essay (Nilai 10 per jawaban benar)

1. Buat diagram mengenai siklus karbon!
2. Jelaskan apa yang anda ketahui mengenai pemanasan global (global warming)?
3. Ceritakan tentang peran organisme tanah dalam pedogenesa!
4. Apa manfaat mata kuliah Biokimia Tanah?

II. Isilah titik-titik berikut dengan jawaban yang benar (nilai 3 per jawaban benar)

1. Kandungan asam amino menurun sebagai akibat kegiatan budidaya, sedangkan kandungan nitrogen gula amino bersifat ……1 meski kandungan nitrogen total tanah menurun.

2. Bahan organik tanah tersusun dari karbohidrat (10-20%, terutama berasal dari mikrobia), …….2, (20%, seperti asam amino), …….3, …….4 dan sejenisnya (10-20%), sisanya berupa senyawa aromatik.

3. Kelompok senyawa heterogen yang disebut hemiselulosa adalah polimer-polimer dari …….5 dan ……6 dan kadang-kadang asam uranik.

4. Kebanyakan bakteri dan fungi menghidrolisa sagu dengan memproduksi ……..7 yang secara keseluruhan disebut amilase.

5. Bahan organik tanah terdiri dari bahan residu yang membusuk, hasil samping dekomposisi, ……8, dan ……9.

6. …….10 mempunyai berat molekul yang rendah (1 000-30 000) sehingga tetap larut pada pH rendah (2 atau kurang) dan terekstrak dengan NaOH.

III. Silangi pada salah satu jawaban yang paling tepat (nilai 2 per jawaban benar)

1. Air tanah tidak hanya mempengarahi ketersediaan air bagi organisme tetapi juga mempengaruhi yang berikut ini, kecuali;

a. status aerasi
b. sifat dan kandungan bahan-bahan terlarut
c. tekanan elektrostatik
d. tekanan osmotic

2. Batas kondisi aerob dan anaerob adalah konsentrasi O2;

a. 14%

b. 20%

c. 1%

d. 0.035%

3. Kebanyakan tanah bersifat masam karena alasan berikut, kecuali;

a. pemupukan yang berlebihan	b. sekomposisi selulosa oleh fungi *Trichoderma*
c. aktifitas bakteri pengoksidasi S	d. fiksasi nitrogen oleh organisme tanah

4. Bakteri nitrifikasi aktif pada lingkungan dengan konsentrasi CO2;

a. 0.07-0.23%

b. 0.007-0.23%

c. 0.07-0.35%

d. 0.007-0.023%

5. Hidrolisis dalam kondisi asam (direbus selama 3 atau 6 N HCl selama 12 jam) melepaskan lebih dari separo total nitrogen yang berupa;

a. asam amino dan gula amino

b. asam amino dan asam lemak

c. gula amino dan asam lemak

d. asam organik dan humi

6. Dasar struktur lignin adalah;

a. penil propanoid
b. ester
c. gula amino
d. asam organik

7. Dekomposisi dinding sel fungi dilakukan oleh genus-genus berikut, kecuali;

a. Streptomycetes
b. Peduomonas
c. Bacillus
d. Thiobacillus

8. Mikroorganisme yang hidup pada suhu O°C dan berkembang optimal pada suhu <20°C disebut;

a. Thermophiles
b. Psychrophyles
c. Acidophiles
d. Mesophiles

9. Apabila degradasi asam amino dan protein residu tanaman berlangsung cepat, N organik yang dihasilkan oleh mikrobia lebih ……. di dalam tanah;

a. stabil

b. labil

c. sedikit

d. banyak

10. Fungi white-rot merupakan fungi pendekomposisi lignin yang paling aktif, mendegradasi seluruh komponen kayu menjadi;

a. CO_2 dan H_2O c. NH_4^+ dan NO_3^-

b. CO_2 dan CH_4 d. Lignin dan selulosa

11. Fungi Brown-rot mendegradasi polisakarida, melepaskan bagian ….

a. CH_3 dan CO_2

b. CH_3 dan R-O-CH_3

c. CO_2 dan H_2O

d. Glukosa dan maltosa

12. Senyawa antara dapat dirombak oleh enzim superoksida/catalase. Anaerob tidak mempunyai enzim ini. Anaerob menghindarkan dari dari keracunan oleh senyawa antara dengan cara;

a. menghentikan suplay makanan

b. meningkatkan suplay makanan

c. menguraikan makanan

d. menumpuk makanan dalam sel

13. Dekomposisi lignin terutama dilakukan oleh;

a. Baakteri

b. Fungi

c. Alga

d. Virus

14. Pada proses respoirasi akar, O2 dikonsumsi dan CO2 dilepaskan, akibatnya;

a. O2 yang tinggi dan CO2 yang rendah dibanding dengan atmosfir bebas

b. O2 yang rendah dan CO2 yang tinggi dibanding dengan atmosfir bebas

c. O2 yang tinggi dan CO2 yang tinggi dibanding dengan atmosfir bebas

d. O2 yang rendah dan CO2 yang rendah dibanding dengan atmosfir bebas

15. Penyusun utama residu tanaman adalah;

a. glukosa

b. selulosa

c. lignin

d. karbohidrat

Soal II

UJIAN TENGAH SEMESTER BIOLOGI TANAH

I. Tulislah pada sisi kiri setiap nomor soal huruf B jika jawaban benar dan S jika jawaban salah!

1. Biologi Tanah memfokuskan pada organisme, yang meliputi jumlah, struktur dan interaksinya dengan lingkungan.
2. Mata kuliah ini bermafaat bagi mahasiswa yang akan melakukan penelitian skripsi tentang biologi tanah
3. Bahan tanah tersusun atas empat komponen
4. Udara yang terkandung dalam tanah berasal dari udara atmosfer, yang telah mengalami perubahan susunan
5. Cara pengambilan contoh tanah untuk studi mikroorganisme pada dasarnya sama dengan cara pengambilan tanah untuk analisa fisika-kimia.

II. Isilah titik-titik dengan kata/frase yang tepat!

1. Studi mikroorganisme dapat berupa ……[1], memahami hubungan antar organisme, ……..[2], dan ……[3]
2. Bahan padat organik terdiri atas sisa dan rombakan jaringan jasad, terutama tumbuhan, zat humik, dan .....[4], termasuk akar tumbuhan hidu

3. Sedangkan air mengandung berbagai zat terlarut sehingga disebut sebagai .....[5] tanah

III. Buatlah ringkasan (dalam setengah halaman) dari makalah yang kelompok Anda buat!

SOAL III

UJIAN TENGAH SEMESTER BIOLOGI TANAH

(Prof. Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr)

IV. Tulislah pada sisi kiri setiap nomor soal huruf B jika pernyataan benar dan S jika pernyataan salah!

1. Biologi Tanah memfokuskan pada organisme, yang meliputi jumlah, struktur dan interaksinya dengan lingkungan.
2. Mata kuliah ini bermafaat dalam memecahkan persoalan-persoalan terkait pertanian
3. Bahan tanah tersusun atas empat komponen
4. Udara yang terkandung dalam tanah berasal dari udara atmosfer, yang telah mengalami perubahan susunan
5. Cara pengambilan contoh tanah untuk studi mikroorganisme pada dasarnya sama dengan cara pengambilan tanah untuk analisa fisika-kimia.

V. Isilah titik-titik dengan kata/frase yang tepat (nilai 10/jawan benar)!

1. Studi mikroorganisme dapat berupa ……[1], memahami hubungan antar organisme, ……..[2], dan ……[3]
2. Bahan padat organik terdiri atas sisa dan rombakan jaringan jasad, terutama tumbuhan, zat humik, dan .....[4], termasuk akar tumbuhan hidup.
3. Sedangkan air mengandung berbagai zat terlarut sehingga disebut sebagai .....[5] tanah

VI. Tulis huruf pilihan yang paling tepat didepan nomor soal (nilai 5 per jawaban benar):

1. Bahan organik menyusun sebagian kecil fase padat kebanyakan tanah. Pernyataan ini:

   a. Benar b. Salah
2. ATP adalah singkatan dari:

   a. Adenin triphosfat b. Adenosin triphosfat

   c. Adrenalin triphosfat d. Adenosin triptalat
3. Alat dan bahan yg digunakan dalam pengukuran ATP, kecuali:

   a. Scintelation counter b. Photometer

   c. Mikroskop d. Reaktan luciferin

4. Rumus untuk menghitung populasi bakteri dengan metode cloroform fumigasi ekstraksi adalah:

a. $B = K \times (Ef - Eu)$ b. $N = nf(\frac{S}{F})(\frac{v}{V})(\frac{W}{D})d$

c. $H = \frac{\pi n G}{2L}\left[\frac{S}{G}\frac{v}{V}\frac{W}{D}d\right]$ d. bukan a, b maupun c

5. Jika tanah tidak dapat segera dianalisa, maka sampel harus disimpan pada suhu 4°C:

a. Benar b. Salah

SOAL IV

UJIAN BIOLOGI TANAH

(Take Home, Dikumpul sebelum 13 Jan jam 10.55)

1. Nitro oksida (N_2O), CH_4 dan CO_2 merupakan gas-gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh mikroorganisme di dalam tanah. Nitro oksida dihasilkan pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Metana dihasilkan oleh kelompok mikroorganisme *Methanogens* pada suasana anaerob, sedangkan CO_2 dihasilkan oleh semua mikroorganisme pada proses respirasi. Perkebunan kelapa sawit menghasilkan GRK lebih tinggi dari padi atau kedelai (Hadi et al. 2012; *Greenhouse Gas Emissions from Peat Cultivated to Rice Field, Oil Palm and Vegetable*), namun kelapa sawit memberi keuntungan finansial yang lebih besar. Meskipun keperluan akan biodisel tinggi, pemerintah Amerika Serikat menolak produk sawit masuk ke negara mereka sehingga pasar utama kelapa sawit Indonesia adalah Cina, Pakistan dan India. Buatlah esay (minimal 1 halaman folio) untuk mengembangkan sinopsis di atas dan memberikan solusi terhadap persoalan kelapa sawit sebagai bahan baku biodisel!
2. Buatlah ringkasan dari tugas *translate* Anda "*Greenhouse Emission from Dairy Sector; A Life Cycle Assessment*" (maksimal 1 lembar folio)!

SOAL V

BIOTEKNOLOGI TANAH (DR Ir H Abdul Hadi, M.Agr)

Kerjakan pada lembar soal (dalam 45 menit)

I. Kerjakan dua dinatara soal esay berikut (Nilai 12,5 per jawaban benar)

1. Definisikan tentang Bioteknologi Tanah
2. Jelaskan (dengan skema) tentang siklus N didalam tanah
3. Tanah yang bagaimana yang perlu diaplikasikan mikoriza?

II. Isilah titik-titik dengan jawaban yang sesuai (Nilai 6 per jawaban benar)

1. Syarat inokulum yang akan dikembangkan untuk bioteknologi rhizobium, dua diantaranya adalah .....[1]. dan ..... [2]
2. Tiga diantara tips pada sampling dan isolasi mikoriza adalah ..... [3], ... [4], dan ..... [5]

III. Beri tanda silang pada huruf jawaban yang paling tepat (Nilai 3 per jawaban benar)

1. Media yang dapat digunakan untuk produksi masal rhizobium adalah, kecuali:

   a. Mannitol-Yeast extract b. Yeast extract + phosphate

   c. Nitrogen free agar d. Sekam (kacang tunggak)

2. Syarat bahan yang digunakan sebagai carier rhyzobium adalah:
   a. Tinggi kapasitas menahan air b. Mudah disterilisasi
   c. Menempel dengan inokulum d. a, b dan c benar
3. Bahan yang biasa digunakan sebagai carrier rhizobium:
   a. Lignite b. Batu bara
   c. Arang-bentonit d. a, b dan c benar
4. Aplikasi bakteri rhizobium dapat dilakukan dengan, kecuali:
   a. Ditebar ke tanah b. Dicampur dengan herbisida
   c. Decelupi benih d. Dicampur dengan biji
5. Quality control untuk rhizobium meliputi:
   a. Plate count b. Plant infection technique, atau serology
   c. a dan b salah d. a dan b benar
6. Yang berikut ini adalah inhibitor nitrifikasi:
   a. Dycian b. Serve
   c. ATC d. b dan c benar
7. Yang merupakan penambat N non-simbiotik, kecuali:
   a. *Brady rhizobium* b. *Clostridium pasteurianun*
   c. *Klebsiella pneumoniae* d. *Azotobacter croococcum*
8. Komposisi media Nitrogen Free Agar untuk kultivasi bakteri penambat N non-simbiotik, kecuali:
   a. $(NH_4)_2SO_4$ b. K_2HPO_4
   c. Larutan gula d. Agar
9. Perbanyakan fungi mikoriza dapat dengan metode streril dan metode non-steril. Yang termasuk metode steril adalah:

a. Botol Mason b. Botol Leonard

c. a dan b benar d. a dan b salah

10. Yang termasuk metode steril adalah:

a. Botol Mason b. Botol Leonard

c. a dan b benar d. a dan b salah

11. Kerugian pengembangan mikoriza dengan metode gelas Erlenmayer, kecuali:

a. Mudah disiapkan b. Sterilitas bisa dipertahankan

c. Tanaman menyukai media d. a, b dan c salah

12. Keuntungan pengembangan mikoriza dengan metode pot plastik diantaranya

a. Mudah disiapkan b. Sterilitas bisa dipertahankan

c. Tanaman menyukai media d. Praktis

13. Ektomikoriza biasanya diaplikasikan dengan:

a. Kultur cair b. Inokulasi spora

c. Inokulsi tanah d. a, b dan c benar

14. Sedangkan endomikoriza diaplikasikan dengan, kecuali:

a. Kultur cair b. Inokulasi spora

c. Inokulsi tanah d. b dan c benar

15. Pembawa ektomikoriza yang biasanya digunakan adalah:

a. Gambut + media kaya nutrisi b. Gambut

c. Vermikulit d. a, b dan c benar

SOAL VI

UJIAN TENGAH SEMESTER PENGANTAR BIOTEKNOLOGI PERTANIAN (Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr)

Beri tanda silang (X) pada salah satu jawaban yang paling tepat (nilai 3 per jawaban benar):

1. Bioteknologi pada bidang pertanian meliputi :
   a. Penambahan organisme b. Pengurangan organisme
   c. Manipulasi pada proses d. a, b dan c benar
2. Latar belakang pengembangan Bioteknologi cacing adalah, kecuali:
   a. Emisi gas b. Bioremediasi
   c. Sampah organik d. Perbaikan sifat fisik tanah
3. Yang merupakan produk dari bioteknologi cacing tanah, kecuali:
   a. Vermikompos b. Kancing
   c. Casching d. Vermiwash
4. Permasalahan pengembangan bioteknologi cacing tanah, kecuali:
   a. Tidak ada b. Munculnya bau
   c. Tikus d. Banyak nyamuk
5. Kalau NH_4^+ terbentuk ada sejumlah jalur yang memungkinkan untuk menguraikan ion tersebut, kecuali:
   a. diambil oleh tanaman b. mengalami volatisasi c. mengalami proses nitrifikasi d. Bukan a, b dan c

6. Bakteri rizobium yang banyak terdapat pada bintil akar kedelai adalah:

   a. *R. leguminosarum* b. *R. japonicum*

   c. *R. tripolii* d. *R. peseoli*

7. Yang tidak termasuk mikroorganisme pelaku nitrifikasi adalah:

   a. *Nirosospira* d. *Pseudomonas*

   c. *Nitrosomanas* d. *Nitrobacter*

8. Cara aplikasi bakteri rizobium adalah:

   a. Dicampur dengan biji b. Ditabur ke tanah

   c. Dicelupi benih d. a, b dan c benar

9. Yang termasuk inhibitor nitrifikasi adalah:

   a. N-serve b. Dycian

   c. TU d. U

10. Kelompok mikroorganisme yang menghasilkan gas CH_4 disebut:

    a. Methanogens b. Methanotrophs

    c. Metal d. a, b dan c salah

Isilah titik-titik dengan kata/prase yang paling tepat (nilai 6 per jawaban benar):

IV. Isilah titik-titik dengan jawaban yang sesuai (Nilai 5 per jawaban benar)

a. Cacing dibedakan menjadi .....[1)]. dan .....[2)]

b. Spesies cacing tanah yang banyak digunakan pada proses pengomposan adalah.....[3)]

c. Sistem fiksasi N_2 mikroorganisme dibedakan menjadi (1)..... [4)], (2) asosiatif, dan (3) ..... [5)]

Kerjakan dua diantara pertanyaan berikut (nilai 20 tiap jawaban benar):

1. Gambarlah konstruksi alat pembuatan vermiwash!
2. Sebutkan tiga syarat inokulum bakteri rizobium yang dapat dikembangkan!

Jawaban Essay:

SOAL VII

BIOTEKNOLOGI TANAH (DR Ir H Abdul Hadi, M.Agr)

Kerjakan pada lembar soal (dalam 45 menit)

I. Kerjakan soal-soal esay berikut (Nilai 15 per jawaban benar)

1. Definisikan tentang Bioteknologi Pertanian dan ceritakan latar belakang pengembangannya!
2. Jelaskan (sesuai tugas translate) salah satu dari yang berikut ini:

A. Azospirillum	B. Anabaena azolae
C. Rhizobiaceae	D. Symbiotic nitrogen fixation
E. Kendali dari tanaman inang	F. Diversity among nitrogen fixing bacterial group
G. Kendali nodulasi	H. Genetika dan terminology nomenklatur

II. Isilah titik-titik dengan jawaban yang sesuai (Nilai 5 per jawaban benar)

1. Diantara langkah-langkah bioterknologi pertanian adalah: seleksi mikroba, ... [1], ... [2], dan ..... [3]
2. Cacing dibedakan menjadi .....[4]. dan .....[5]

III. Beri tanda silang pada huruf jawaban yang paling tepat (Nilai 3 per jawaban benar)

a. Media yang dapat digunakan untuk produksi masal rhizobium adalah, kecuali:

a. Mannitol-Yeast extract b. Yeast extract + phosphate

c. Nitrogen free agar d. Sekam (kacang tunggak)

b. Syarat bahan yang digunakan sebagai carier rhyzobium adalah:

a. Tinggi kapasitas menahan air b. Mudah disterilisasi

c. Menempel dengan inokulum d. a, b dan c benar

c. Bahan yang biasa digunakan sebagai carrier rhizobium:

a. Lignite b. Batu bara

c. Arang-bentonit d. a, b dan c benar

d. Aplikasi bakteri rhizobium dapat dilakukan dengan, kecuali:

a. Ditebar ke tanah b. Dicampur dengan herbisida

c. Decelupi benih d. Dicampur dengan biji

e. Quality control untuk rhizobium meliputi:

a. Plate count b. Plant infection technique, atau serology

c. a dan b salah d. a dan b benar

f. Yang berikut ini adalah inhibitor nitrifikasi:

a. Dycian b. N Serve

c. ATC d. a, b dan c benar

g. Yang merupakan penambat N non-simbiotik, kecuali:

a. Brady rhizobium b. Clostridium pasteurianun

c. Klebsiella pneumoniae d. Azotobacter croococcum

h. Aplikasi mikoriza penting pada kondisi berikut ini, kecuali:

a. Lahan yang kandungan P-nya tinggi
b. Lahan terdegradasi
c. Lahan yang top soil-nya terkupas
d. Tanah terkontaminasi logam berat

i. Perbanyakan fungi mikoriza dapat dengan metode streril dan metode non-steril. Yang termasuk metode steril adalah:

a. Botol Mason
b. Botol Leonard
c. a dan b benar
d. a dan b salah

j. Yang termasuk metode steril adalah:

a. Botol Mason
b. Botol Leonard
c. a dan b benar
d. a dan b salah

k. Kerugian pengembangan mikoriza dengan metode gelas Erlenmayer, kecuali:

a. Mudah disiapkan
b. Sterilitas bisa dipertahankan
c. Tanaman menyukai media
d. a, b dan c salah

l. Keuntungan pengembangan mikoriza dengan metode pot plastik diantaranya

a. Mudah disiapkan
b. Sterilitas bisa dipertahankan
c. Tanaman menyukai media
d. Praktis

m. Ektomikoriza biasanya diaplikasikan dengan:

a. Kultur cair
b. Inokulasi spora
c. Inokulsi tanah
d. a, b dan c benar

n. Sedangkan endomikoriza diaplikasikan dengan, kecuali:

a. Kultur cair
b. Inokulasi spora
c. Inokulsi tanah
d. b dan c benar

o. Pembawa ektomikoriza yang biasanya digunakan adalah:

a. Gambut + media kaya nutrisi b. Gambut

c. Vermikulit d. a, b dan c benar

SOAL VIII

UJIAN TENGAH SEMESTER BIOTEKNOLOGI TANAH

(Dr. Ir. H. Abdul Hadi, M.Agr)

1. Kemukakan tentang sejarah bioteknologi tanah ditinjau dari latar belakang dan kenyataan sekarang. Jelaskan!
2. Tuliskan dan jelaskan tiga faktor yang mempengaruhi inokulasi mikroba di dalam tanah.
3. Tuliskan (a) judul makalah (tugas) dan ringkasan dari makalah tersebut (maksimal ½ halaman).

SOAL IX

1. Apa yang anda ketahui tentang "Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim"? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
2. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.

3. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
4. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
5. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
6. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
7. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
8. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
9. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
10. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
11. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
12. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.

13. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
14. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
15. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
16. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
17. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
18. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.
19. Apa yang anda ketahui tentang “Optimalisasi Mikroorganisme Lahan Basah dalam Rangka Mitigasi Perubahan Iklim”? Tuliskan pada 1 halaman kertas jawaban.
20. Tuliskan (a) judul, (b) ringkasan dan (c) dua pustaka dari makalah tugas yang saudara buat.

SOAL X

UJIAN AKHIR SEMESTER BIOTEKNOLOGI TANAH

(Abdul Hadi)

A. Mutan-mutan pada mikroba:

1. toleransi terhadap unsur penghambat/antibiotika
2. ……..
3. …….
4. …….

B. Bioteknologi lahan basah diarahkan pada peningkatan kesuburan tanah dan pengendalian kualitas lingkungan. Jelaskan maksudnya?

C. Apa yg kamu ketahui tentang rekombinasi genetika?

REFERENSI

Hadi A, K. Inubushi, E. Purnomo, F. Razie, Y. Yamakawa, and H Tsurata. 2000. Effect of land-use changes on nitrous oxide (N_2O) emission from tropical peatlands. *Chemosphere-Global Changes Science***2**: 347-358.

Hadi A, M. Haridi, K. Inubushi, E. Purnomo, F. Razie, and H. Tsuruta. 2001. Effect of land-use change in tropical peatlands on and microbial population and emissions of greenhouse gases. *Microbes and Env*., **16**: 79-86.

Hadi A, K. Inubushi, Y. Furukawa, E. Purnomo, M. Rasmadi, and H. Tsurata. 2005. Greenhouse gas emission from tropical peatlands of Kalimantan. *Nutrient Cycling in Agroecosystem***71**: 73-80.

Hadi A, K. Inubushi, and K. Yagi. 2010. Effect of water management on greenhouse gas emissions and microbial properties from paddy fields of Indonesia and Japan. *Paddy and Water Environment***8**: 176-182

Holmes A.J., P. Roslev, I.R. McDonald, N. Iversen, K. Henriksen, and J.C. Murrell. 1999. Characterization of methanotrophic bacterial populations in soils showing atmospheric methane uptake. *Applied and Environmental Microbiology***65**: 3312–3318

Inubushi K, A. Hadi, M. Okazaki, and K. Yonebayash. 1998. Effect of converting wetland forest to sago palm plantation on methane gas flux and organic carbon dynamics in tropical peat soil, Hydrological Processes 12: 2073-2080.

Inubushi K, Y. Furukawa, A. Hadi, E. Purnomo, and H. Tsuruta. 2003. Seasonal changes of CO_2, CH_4 and N_2O fluxes in relation to land-use change in tropical peatlands located in coastal area of south Kalimantan. *Chemosphere***52**: 603-608.

Jauhiainen J., S. Limin, H. Silvennoinen, and H. Vasander. 2008. Corbon dyoxide and methane fluxes in drained tropical peat

before and after hydrological restoration. *Ecology*, **89**: 3503-3514.

Jumadi O., Y. Hala, I. Anas, A. Ali, K. Sakamoto, M. Saigusa, K. Yagi, and K. Inubushi. 2008. Community structure of ammonia oxidizing bacteria and their potential to produce nitrous oxide and carbon dioxide in acid tea soils, *Geomicrobiology Journal***25**: 381-389.

Kowalchuck G.A., J.R. Stephen, W. De Boer, J.I. Prosser, T.M. Embley, and J.M. Woldendorp. 1997. Analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the b subdivision of the class Proteobacteria in costal sand dunes by denaturing gradient gel electrophoresis and sequencing of PCR-amplified 16S ribosomal DNA fragments. *Appl Environ Microbiol*. **63**: 1489–1497.

Las I, and W. Surmaini. 2010. Perlunya Pengembangan Teknologi Pertanian untuk Menekan Pemanasan Global. Paper on One Day Seminar for Alumni Gathering of Agricultural Faculty of Lambung Mangkurat University. 2010 March 11; Banjarbaru, Indonesia.

Mathur S.P. and R.S. Farham. 1985. Geochemistry of humic substances in natural and cultivated peatlands. In: Aiken et al. (eds), Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Singapore: John Wiley and Sons. p. 53-85.

Melling L, Y. Hashidoko, and R. Hatano. 2007 Nitrous oxide emissions from three ecosystem in tropical peatlands of Sarawak, Malaysia. *Soil Sci. Plant Nutr*. **53**: 792-805.

Morris C.E., M. Bardin, O. Berge, P. Frey-Klett, N. Fromin, H. Girardin, M. Guinebreriere, P. Lebaron, J.M. Thiery, and M. Trouseller. 2002. Microbial diversity: Approches to experimental design and hypothesis testing in primary scientific literature from 1975 to 1999. *Microbiol & Mol. Biol. Rev***66**: 592-616.

Noor M. 2010. Lahan Gambut: Pengembangan, Konservasi dan Perubahan Iklim. Gajahmada University Press. Jogjakarta.

Page A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeny. 1982. Method of Soil Analysis. Amer. Agronomy, Inc., Wisconsin.

Paul E.A., and F.E. Clark. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. San Diego: Academic Press, Inc.