

Bab III

MIKROBIOLOGI TANAH

3.1 Pendahuluan

Kehidupan manusia tidak terlepas dengan mikroorganisme yang terdapat dalam tanah, karena semua kehidupan manusia diawali di atas tanah. Beberapa mikroorganisme tanah menguntungkan manusia seperti cacing dan dekomposer yang membantu penguraian senyawa organik dalam tanah, namun ada juga mikroorganisme yang berbahaya dan dapat menyebabkan kematian pada manusia. Pada Bab III ini, akan dibahas peranan menguntungkan dan merugikan dari mikroorganisme di dalam tanah. Diharapkan setelah menerima materi mengenai mikrobiologi tanah, mahasiswa dapat membuat kompos dengan bahan dasar sampah organik dan mengetahui peran mikroorganisme dalam Daur biogeokimia, bioremediasi dan dekomposer dan dapat menjelaskan kerugian yang disebabkan mikroorganisme tanah.

3.2 Mikrobiologi Tanah

Mikrobiologi tanah ialah ilmu yang mempelajari kehidupan dan kegiatan mikroorganisme tanah, yang dikelompokkan menjadi bakteri, *aktinomysetes*, jamur, alga dan protozoa. Mikrobiologi tanah meru-

pakan cabang Ilmu Tanah yang telah terpisah sejak tahun 1838, yaitu setelah ahli kimia pertanian dan petani perancis, J.B. Boussingault menunjukkan bahwa legum dapat memperoleh nitrogen dari udara.

3.3 Peranan Mikroorganisme Tanah

3.3.1 Daur Biogeokimia

Biogeokimia adalah pertukaran atau perubahan yang terus menerus, antara komponen biosfer yang hidup (biotik) dengan tak hidup (abiotik). Dalam suatu ekosistem, materi pada setiap tingkat trofik tidak hilang. Materi berupa unsur-unsur penyusun bahan organik tersebut didaur-ulang. Unsur-unsur tersebut masuk ke dalam komponen biotik melalui udara, tanah, dan air. Daur ulang materi tersebut melibatkan makhluk hidup dan batuan (geofisik).

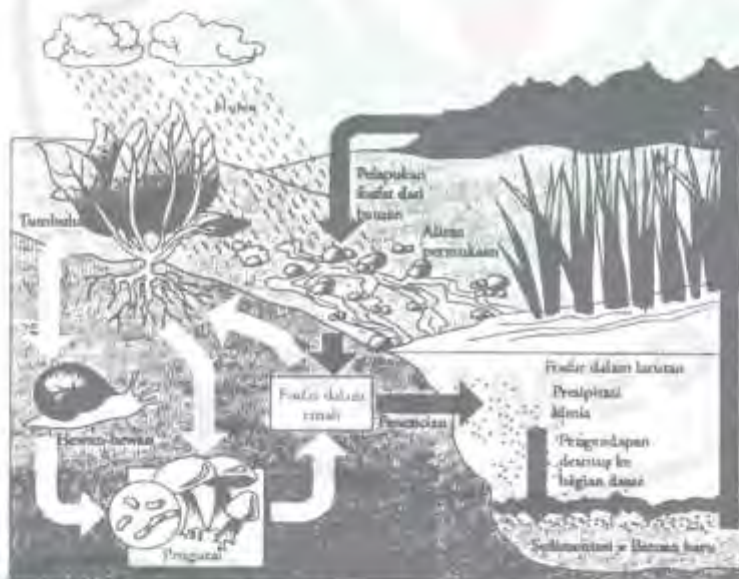
Manfaat dari daur biogeokimia adalah mengembalikan semua unsur-unsur kimia yang sudah terpakai oleh semua komponen yang ada di bumi baik komponen biotik maupun komponen abiotik, sehingga kelangsungan hidup di bumi dapat terjaga. Adapun daur biogeokimia terdiri atas daur sulfur (S), fosfor (F), dan nitrogen (N).

3.3.1.1 Daur Fosfor

Daur fosfor yaitu daur atau Daur yang melibatkan fosfor. Sumber fosfor yang digunakan menghasilkan fosfor kembali. Daur fosfor dinilai paling sederhana daripada daur lainnya, karena tidak melalui atmosfer. Fosfor di alam didapatkan dari batuan, bahan organik, tanah, tanaman, PO_4 dalam tanah dan dimanfaatkan dalam fiksasi mineral. Fosfor berupa fosfat diserap tanaman untuk sintesis senyawa organik. Humus dan partikel tanah mengikat fosfat, sehingga daur fosfat dikatakan bersifat daur lokal.

Di alam, fosfor terdapat dalam dua bentuk, yaitu senyawa fosfat organik (pada tumbuhan dan hewan) dan senyawa fosfat anorganik (pada air dan tanah). Fosfat organik dari hewan dan tumbuhan yang mati diuraikan oleh dekomposer (pengurai) menjadi fosfat anorganik.

Fosfat anorganik yang terlarut di air tanah atau air laut akan terkikis dan mengendap di sedimen laut. Oleh karena itu, fosfat banyak terdapat di batu karang dan fosil. Fosfat dari batu dan fosil terkikis dan membentuk fosfat anorganik terlarut di air tanah dan laut. Fosfat anorganik ini kemudian akan diserap oleh akar tumbuhan lagi. Daur ini berulang terus menerus. Fosfor di alam bentuk terikat sebagai Ca-fosfat, Fe- atau Al-fosfat, fitat atau protein. Bakteri yang berperan dalam Daur fosfor seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aerobacter aerogenes*, dan *Xanthomonas*. Mikroorganisme tersebut dapat melarutkan fosfat sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Daur fosfat dapat dilihat pada Gambar 3.1.



sumber: <http://perpustakaancyber.blogspot.com>

Gambar 3.1 Daur Fosfor

Daur fosfor terlihat akibat aliran air pada batu-batuan. Air akan melarutkan bagian permukaan mineral termasuk fosfor yang akan dibawa sebagai sedimentasi ke dasar laut, dan akan dikembalikan ke daratan. Fosfor sangat penting dan dibutuhkan oleh makhluk hidup. Fosfor digunakan sebagai; suplai organik fosfor di dalam Adenosin Trifosfat (ATP), Asam Dioksidiribo Nukleat (ADN) dan Asam Ribonukleat

(ARN). Mikroorganisme membutuhkan fosfor untuk membentuk fosfor anorganik dan akan mengubahnya menjadi fosfor organik yang dibutuhkan untuk metabolisme karbohidrat, lemak, dan asam nukleat. Kegunaan fosfor yang lain adalah sebagai pupuk, dan secara luas sebagai bahan peledak, korek api, kembang api, pestisida, odol, dan deterjen. Kegunaan fosfor yang paling umum ialah pada ragaan tabung sinar katoda dan lampu fluoresen. Fosfor juga ditemukan pula pada berbagai jenis mainan yang dapat berpendar dalam gelap (*glow in the dark*).

3.3.1.2 Daur Sulfur

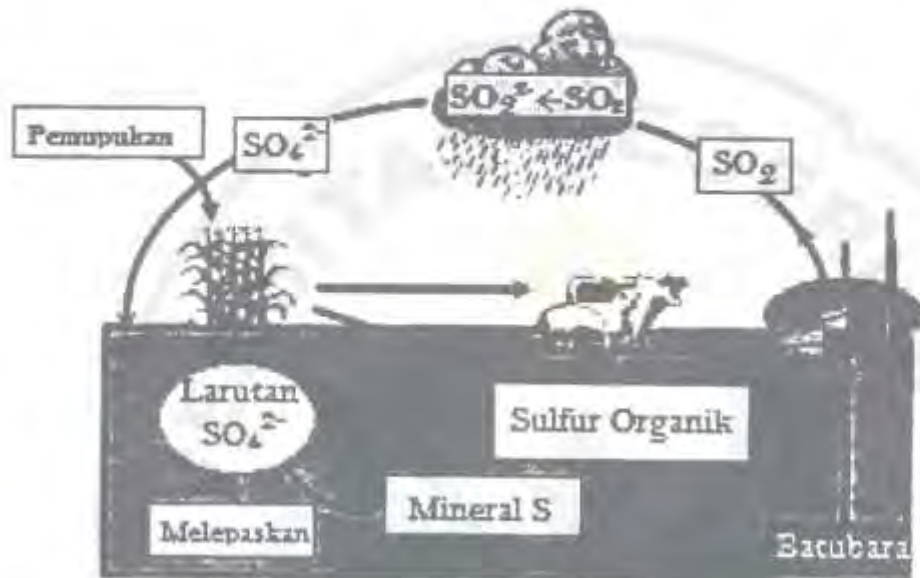
Sulfur terdapat dalam bentuk sulfat anorganik. Sulfur direduksi oleh bakteri menjadi sulfida dan kadang-kadang terdapat dalam bentuk sulfur dioksida atau hidrogen sulfida. Hidrogen sulfida ini seringkali mematikan makhluk hidup di perairan, pada umumnya H_2S dihasilkan dari penguraian bahan organik yang mati. Tumbuhan menyerap sulfur dalam bentuk sulfat (SO_4^{2-}). Perpindahan sulfat terjadi melalui proses rantai makanan. Semua makhluk hidup yang mati akan diuraikan komponen organiknya oleh bakteri. Daur sulfur dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Pada gambar 3.2 terlihat hubungan antara faktor biotik dan abiotik di atmosfer, bekerja secara alamiah. Semua kegiatan berjalan seimbang sesuai prosesnya tanpa ada bantuan manusia. Namun proses tersebut dapat terganggu akibat aktivitas manusia yang berlebihan dalam mengeksploitasi hasil bumi. Adapun mikroorganisme yang berperan dalam daur sulfur dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Mikroorganisme yang berperan dalam daur sulfur

Mikroorganisme	Manfaat
<i>Desulfomaculum</i> , <i>Desulfibrio</i>	mereduksi sulfat menjadi sulfida dalam bentuk hidrogen sulfida (H_2S)
<i>Chromatium</i>	Melepaskan ikatan sulfur dan oksigen
<i>Thiobacillus</i> .	Oksidasi sulfur menjadi sulfat

Sumber: http://id.wikipedia.org/wiki/Daur_Biogeokimia_Belerang



sumber: http://id.wikipedia.org/wiki/Daur_biogeokimia

Gambar 3.2. Daur Sulfur

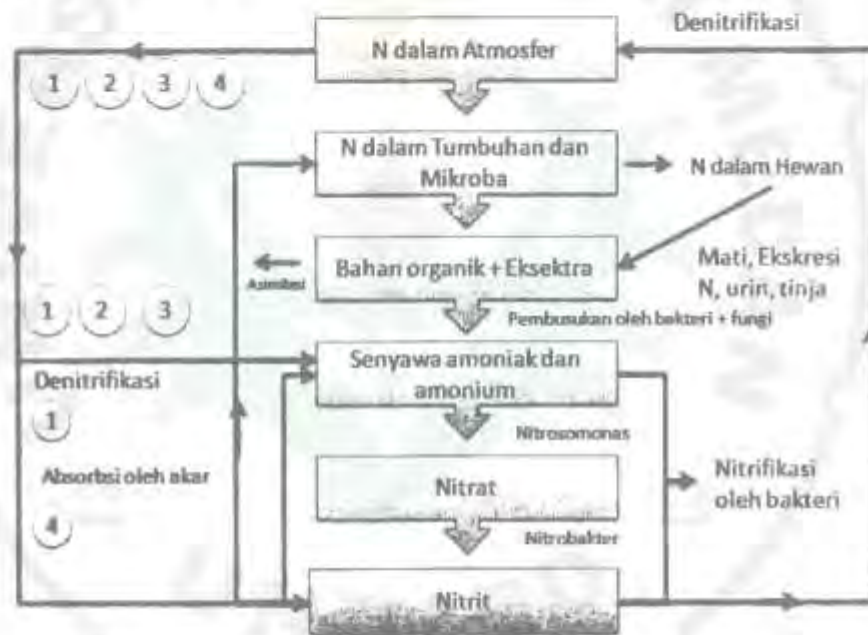
3.3.1.3 Daur Nitrogen

Di alam, nitrogen terdapat dalam bentuk senyawa organik seperti urea, protein, dan asam nukleat atau sebagai senyawa anorganik seperti ammonia, nitrit, dan nitrat.

Tahap pertama daur nitrogen adalah transfer nitrogen dari atmosfer ke dalam tanah. Selain air hujan yang membawa sejumlah nitrogen, penambahan nitrogen ke dalam tanah terjadi melalui proses fiksasi nitrogen. Fiksasi nitrogen secara biologis dapat dilakukan oleh bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan polong-polongan dan bakteri *Azotobacter* dan *Clostridium* yang hidup bebas, selain itu bakteri dalam air juga memiliki kemampuan memfiksasi nitrogen.

Pada tahap kedua, nitrat yang dihasilkan oleh fiksasi biologis yang digunakan oleh tumbuhan diubah menjadi molekul protein. Selanjutnya jika tumbuhan atau hewan mati, makhluk pengurai merombaknya menjadi gas amoniak (NH_3) dan garam amonium yang larut



dalam air (NH_4^+). Proses ini disebut dengan amonifikasi. Bakteri *Nitrosomonas* mengubah amoniak dan ammonium menjadi nitrat, selanjutnya menjadi nitrit oleh *Nitrobacter*. Apabila oksigen dalam tanah terbatas, nitrat dengan cepat ditransformasikan menjadi gas nitrogen atau oksida nitrogen oleh proses yang disebut denitrifikasi. Daur nitrogen dapat dilihat pada Gambar 3.3



Sumber: <http://kamuspengetahuan.blogspot.com/2011/08/daur-Daur-nitrogen.html>

Gambar 3.3 Daur Nitrogen

Keterangan gambar:

 Materi
 Proses dan organisme yang terlibat

1. Fiksasi industri
2. simbiosis alga biru dan *Rhizobium*
3. Bakteri *Azotobacter* dan *Clostridium*
4. Kilat petir dengan oksigen + nitrogen

3.3.2 Bioremediasi

Bioremediasi adalah aplikasi dari prinsip proses biologi untuk mengolah air tanah, tanah dan lumpur yang terkontaminasi zat-zat kimia berbahaya seperti minyak. Proses yang menggunakan organisme (bakteri, jamur, tanaman atau enzimnya) untuk memperbaiki atau mengembalikan keadaan lingkungan yang tercemar. Saat bioremediasi terjadi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme memodifikasi polutan beracun dengan mengubah struktur kimia polutan tersebut, sebuah peristiwa yang disebut biotransformasi.

Tujuan akhir bioremediasi adalah meminimalisasi kontaminan, yaitu mengubah senyawa kimia berbahaya menjadi kurang berbahaya seperti karbon dioksida atau beberapa gas lain, senyawa anorganik, air dan materi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pendegradasi. Pada proses bioremediasi terjadi biotransformasi atau biodetoksifikasi senyawa toksik menjadi senyawa yang kurang toksik atau tidak toksik. Keunggulan melakukan teknik bioremediasi adalah mengurangi penggunaan bahan kimia sehingga menurunkan tingkat pencemaran, dan tidak adanya efek buruk yang ditimbulkan, karena bakteri yang dimanfaatkan hanya fokus pada remediasi bahan pencemar. Mikroorganisme yang berperan dalam bioremediasi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Mikroorganisme yang Berperan dalam Bioremediasi

Jenis Mikroorganisme	Peranan dalam Bioremediasi	Sumber
<i>Enterobacter Sp.</i> <i>Bacillus Sp.</i> <i>Klepsiella Sp.</i> <i>Serratia Sp.</i>	Mentransformasi metilmerkuri di perairan	Shovitri, M., Zulaika, E., dan Koentejoro, P. (2010)
<i>Azotobacter</i> , <i>Proteus</i> <i>Corrynebacterium</i> <i>Bacillus sp.</i>	Mendegradasi logam berat (Hg, Pb, Cu, Cd)	Zulaika, E., Luqman, A., Arindah, T., dan Sholikhah, U. (2012)
<i>Leminorella</i> , <i>Acinotobacter</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Chromobacterium</i>	Mendegradasi fenol (C ₆ H ₅ OH) pada limbah rumah sakit	Prantowati (2010)

Jenis Mikroorganisme	Peranan dalam Bioremediasi	Sumber
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Arthrobacter simplex</i>	Mendegradasi minyak yang tumpah/ mencemari tanah	Taryono (1999)
<i>Desulfovibro</i>	Mentransformasi sulfat di tambang batu bara	Yusrön, M (2009)

Secara ekonomis bioremediasi dengan organisme lebih kompetitif dari pada teknik yang lain. Teknik bioremediasi (biostimulasi dan bioaugmentasi) dapat diterapkan untuk mengurangi kadar minyak pada tanah yang tercemar (Hafiluddin, 2011).

3.3.3 Dekomposer

Kompos adalah hasil penguraian yang tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang proses penguraiannya dapat dipercepat oleh populasi berbagai macam mikroorganisme dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik (isroi, 2008). Proses pengomposan adalah proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroorganisme yang memanfaatkan bahan organik.

Membuat kompos adalah mengatur dan mengontrol proses alami tersebut agar kompos dapat terbentuk lebih cepat. Proses ini meliputi membuat campuran bahan yang seimbang, pemberian air yang cukup, pengaturan aerasi, dan penambahan aktivator pengomposan. Secara alami bahan-bahan organik akan mengalami penguraian di alam dengan bantuan mikroorganisme maupun biota tanah lainnya. Namun proses pengomposan yang terjadi secara alami berlangsung lama dan lambat.

Pada prinsipnya pengembangan teknologi pengomposan didasarkan pada proses penguraian bahan organik yang terjadi secara alami. Proses penguraian dioptimalkan sedemikian rupa sehingga pengomposan dapat berjalan dengan lebih cepat dan efisien. Teknologi pengomposan saat ini menjadi sangat penting artinya terutama un-

tuk mengatasi permasalahan limbah organik, seperti untuk mengatasi masalah sampah di kota-kota besar, limbah organik industri, serta limbah pertanian dan perkebunan. Mikroorganisme yang berperan dalam proses pengomposan bahan organik adalah bakteri, jamur dan mesofauna.

3.3.3.1 Bakteri

Bakteri perombak bahan organik dapat ditemukan di tempat yang mengandung senyawa yang telah mati, baik di laut maupun di darat. Berbagai bentuk bakteri dari yang sederhana (bulat, batang, koma, dan lengkung), tunggal sampai berbentuk koloni dan filamen seperti spiral mendekomposisi sisa tumbuhan maupun hewan. Sebagian bakteri hidup secara aerob dan sebagian lagi anaerob.

Bakteri yang umum bersimbiosis dalam tumpukan sampah adalah *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, dan *Streptomyces*. Dalam merombak bahan organik, biasanya bakteri hidup bebas di luar organisme lain, tetapi ada sebagian kecil yang hidup dalam saluran pencernaan hewan (mamalia, rayap, dan lain-lain).

3.3.3.2 Jamur

Jamur memiliki kemampuan yang lebih cepat dalam mengurai sisa-sisa tanaman (hemiselulosa, selulosa, dan lignin). Jamur merombak residu tanaman yang terdiri atas kompleks polimer selulosa dan lignin. Perombakan komponen-komponen polimer pada tumbuhan erat kaitannya dengan peran enzim ekstraseluler yang dihasilkan. Selain mengurai bahan berkayu, sebagian besar jamur menghasilkan zat yang senyawa racun sehingga dapat dipakai untuk mengontrol pertumbuhan/ perkembangan organisme pengganggu, seperti *Trichoderma harzianum*.

Jamur dari kelas Zygomycetes (*Mucorales*) sebagian besar bertindak sebagai pengurai amilum, protein, dan lemak, hanya sebagian

kecil yang mampu mengurai selulosa dan kitin. Umumnya kelompok jamur menunjukkan aktivitas biodekomposisi lebih signifikan, dapat segera merombak bahan organik tanah menjadi senyawa organik sederhana yang berfungsi sebagai penukar ion yang berada ditempat penyimpanan dan melepaskan nutrisi di sekitar tanaman.

3.3.3.3 Mesofauna

Sebagian invertebrata berperan dalam perombakan bahan organik tanah. Hewan ini merupakan hewan yang tidak mempunyai tulang belakang yang seluruh atau sebagian Daur hidupnya berada dalam tanah.

Cacing tanah berperan penting dalam mendegradasi dan mendekomposisi sisa tanaman yang telah mati sehingga sisa tanaman atau limbah organik lainnya tidak menumpuk. Tanaman yang telah mati, oleh cacing tanah dicerna dan diubah menjadi humus dan nutrisi alami. Humus sangat besar peranannya dalam memperbaiki sifat tanah dan nutrisi alami serta dapat memicu terjadinya berbagai aktivitas mikroorganisme tanah.

Collembola berperan dalam penghalusan sisa bahan organik, mengontrol populasi bakteri dan jamur serta berperan dalam rantai makanan pada ekosistem lahan. *Collembola* sebagian besar hidup di lapisan atas tanah, semakin ke bawah lapisan populasinya semakin menurun hingga sampai di kedalaman 2m.

3.3.3.4 Mekanisme Perombakan Bahan Organik

Perombak bahan organik terdiri atas perombak primer dan perombak sekunder.

Perombak primer adalah mesofauna perombak bahan organik, seperti *Colembolla* dan *Acarina* yang berfungsi meremah-remah bahan organik/ serasah menjadi berukuran lebih kecil. Cacing tanah memakan sisa-sisa remah tadi yang kemudian dikeluarkan sebagai kotoran setelah mengalami pencernaan dalam cacing.

Perombak Sekunder adalah bakteri yang berkemampuan tinggi dalam memutus ikatan rantai C penyusun senyawa lignin (pada bahan yang berkayu), selulosa (pada bahan yang berserat) dan hemiselulosa yang merupakan komponen penyusun bahan organik sisa tanaman, secara alami merombak lebih lambat dibandingkan pada senyawa polisakarida yang lebih sederhana (amilum, disakarida, dan monosakarida).

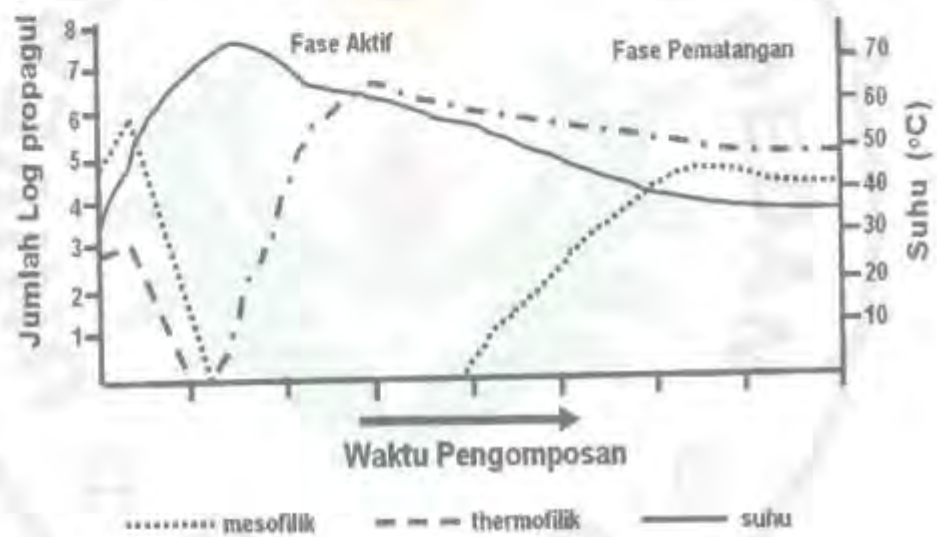
3.3.3.5 Proses Pengomposan

Pengomposan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengatasi sampah yang tidak menimbulkan efek samping bagi lingkungan, bahkan hasil dari pengomposan dapat memberikan efek yang sangat baik bagi lingkungan karena mengandung unsur hara. Pada dasarnya semua bahan organik padat dapat dikomposkan, misalnya: limbah organik rumah tangga, sampah-sampah organik pasar/kota, kertas, kotoran/limbah peternakan, limbah-limbah pertanian, limbah-limbah agroindustri, limbah pabrik kertas, limbah pabrik gula, limbah pabrik kelapa sawit, dll. Proses pengomposan akan segera berlangsung setelah bahan-bahan mentah dicampur.

Proses pengomposan secara sederhana dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Selama tahap-tahap awal proses, oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi akan segera dimanfaatkan oleh mikroorganisme mesofilik. Suhu tumpukan pada kompos akan meningkat dengan cepat hingga di atas 50°-70° C. Suhu akan tetap tinggi selama waktu tertentu selanjutnya akan diikuti dengan peningkatan pH kompos. Mikroorganisme yang aktif pada kondisi ini adalah mikroorganisme termofilik, yaitu mikroorganisme yang aktif pada suhu tinggi. Pada saat ini terjadi dekomposisi/ penguraian bahan organik yang sangat aktif. Fase pengomposan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Mikroorganisme di dalam kompos dengan menggunakan oksigen akan menguraikan bahan organik menjadi CO₂, uap air dan pa-

nas. Setelah sebagian besar bahan telah terurai, suhu akan berangsur-angsur mengalami penurunan. Pada saat ini terjadi pematangan kompos tingkat lanjut, yaitu pembentukan kompleks. Selama proses pengomposan akan terjadi penyusutan volume maupun biomassa bahan. Pengurangan ini dapat mencapai 30–40% dari volume/ bobot awal bahan.



Sumber: Isroi (2008)

Gambar 3.4 Fase Pengomposan

Pada prinsipnya proses pengomposan dapat terjadi secara aerobik (menggunakan oksigen) dan anaerobik (tidak ada oksigen). Perbedaan kedua prinsip ini terletak pada ada pemanfaatan udara atau tidak, dalam proses dekomposisi yang berpengaruh pada perubahan zat-zat penyusun bahan kompos baik secara fisik, biologi maupun kimia. Pada proses aerob, karbon lebih banyak menguap menjadi *karbondioksida*. Terjadi reaksi *eksotermik* (suhu dapat mencapai 70°C). Pada proses ini tidak ada bau busuk. Sementara pada proses *anaerob*, sumber oksigen berasal dari senyawa kimia yang tidak terlarut dalam oksigen. Bahan organik akan diubah menjadi asam lemak, *aldehid* dan akan dirubah lagi menjadi gas-gas seperti metan, amoniak dan hidrogen. Energi yang dilepaskan lebih kecil dari proses *aerob*. Proses an-

aerob akan menghasilkan senyawa-senyawa yang berbau tidak sedap, seperti: asam-asam organik (asam asetat, asam butirat, asam valerat, putrecine), amonia, dan H_2S .

3.3.3.6 Pembuatan Kompos Cair dari Sampah Organik

Kompos cair adalah ekstrak dari pembusukan sampah organik. Dengan mengekstrak sampah organik tersebut kita bisa mengambil seluruh nutrisi yang terkandung pada sampah organik tersebut. Pada dasarnya limbah bahan organik bisa dimanfaatkan menjadi pupuk, limbah cair yang banyak mengandung unsur hara (NPK). Penggunaan pupuk cair dapat membantu memperbaiki struktur dan kualitas tanah.

Proses pembuatan pupuk cair

Alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan pupuk cair adalah:

Alat:

1. Komposter
2. Kasa plastik
3. pH meter
4. Sarung tangan
5. timbangan
6. Masker
7. Parang

Bahan:

1. Sampah organik
2. Cairan Molase
3. Air
4. Aktivator boisca

Prosedur Kerja:

1. Menyiapkan komposter.
2. Sampah organik yang sudah ada dicacah kemudian dimasukkan ke dalam komposter.

3. Cairan bioaktifator boisca disiapkan. Bioaktifator ini berfungsi untuk mempercepat proses pembusukan.

Tata cara penggunaan bioaktifator adalah:

1. Siapkan sprayer, ukuran 800 ml.
2. Sprayer diisi dengan air.
3. Ditambahkan boisca kedalam sprayer.
4. Cairan tersebut dikocok hingga tercampur semua.
5. Semprotkan boisca, cairan molase, hingga merata ke seluruh sampah dan tutup rapat komposter.
6. Setelah tertutup rapat, simpan ditempat yang teduh dan terhindar dari sinar matahari langsung.
7. Rendam selama beberapa hari sesuai dengan pH dan C/N yang diinginkan (7, 14 atau 21 hari),

Penggunaan boisca sebagai starter dalam pembuatan pupuk kompos dapat meningkatkan unsur karbon dan nitrogen dalam tanah (Sinaga, 2009).

Pembuatan Kompos Cair dengan Activator

Pembuatan pupuk dengan metode ini adalah dengan menambahkan activator *Effective Microorganism* (EM) yang sangat menguntungkan untuk memperbaiki lingkungan fisik, kimia dan biologi tanah serta menekan pertumbuhan hama dalam tanah, meningkatkan kapasitas fotosintesis tanaman dan meningkatkan dekomposisi bahan organik sebagai pupuk.

Cara pembuatan Pupuk Kompos Cair dengan activator EM

Alat:

1. Drum atau ember plastik (kapasitas 12 liter)

Bahan:

1. EM 1 liter
2. Molase 1 liter

3. Pupuk kandang
4. Dedak
5. Air

Prosedur Kerja:

1. Mengisi drum dengan air sampai setengah drum tersebut.
2. Pada tempat terpisah, larutkan molase sebanyak 250 g ke dalam 1 liter air.
3. Masukkan molase serta cairan EM ke dalam drum dan aduk secara perlahan dan merata.
4. Masukkan pupuk kandang dan aduk perlahan, agar larutan terserap oleh pupuk kandang.
5. Tambahkan air sampai penuh. Tutup rapat drum.
6. Lakukan pengadukan setiap pagi selama 4 hari (lima putaran), setelah 4 hari pupuk siap digunakan.

3.3.3.7 Tugas

1. Rancanglah penelitian pembuatan pupuk cair dari bahan organik, dengan membedakan dua perlakuan, pada pupuk cair pertama menggunakan gula merah dan pupuk cair kedua menggunakan gula putih. Amati juga perbedaan proses fermentasi, perubahan fisik dan aroma yang dihasilkan.
2. Apakah terdapat perbedaan jika menggunakan cairan molase dari gula putih menjadi gula merah.

3.4 Mikroorganisme Tanah yang Merugikan

Patogen pada manusia dan hewan :

1. *Bacillus anthracis*: antrax.
2. *Clostridium tetani*, *C. botulinum*, *C. perfringens*: habitat normal di tanah, masuk melalui makanan atau luka tumbuh toksin, endospora.

Patogen pada tumbuhan :

1. Jamur: paling banyak, dapat tumbuh pada kelembaban yang rendah, contoh: rebah kecambah dan busuk akar disebabkan oleh *Rhizoctonia solani*, penyakit karat daun disebabkan oleh jamur karat *Uredinales*
2. Bakteri: menyerang batang jeruk *citrus vein phloem degeneration* (CVPD). CVPD disebabkan oleh bakteri *Serratia marcescens*.

3.5 Rangkuman

Tanah adalah sumber nutrisi yang paling banyak, terutama bagi tanaman. Di dalam tanah terdapat berbagai macam unsur hara seperti fosfor, fosfat, dan mineral lainnya. Namun Daur alami tersebut dapat terganggu dan menyebabkan tidak seimbangnya Daur di alam yang disebabkan tercemarnya lingkungan tanah yang dapat menggagu proses alamiah tersebut karena mikroorganisme yang berperan ikut mati ataupun punah.

Bioremediasi adalah salah satu upaya yang dilakukan untuk memperbaiki Daur alamiah yang terjadi di alam, dengan memanfaatkan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk melakukan proses perbaikan dengan cepat.

3.8 Latihan

1. Pada kondisi bagaimanakah suatu lingkungan tanah dikatakan tercemar.
2. Apakah perbedaan bioremediasi dengan biodegradasi?
3. Apa yang menyebabkan proses anaerob pada pembuatan kompos menghasilkan bau busuk?