

BUKU BAHAN AJAR
PENCEMARAN LINGKUNGAN



BAB I

PENDAHULUAN

Sebelum adanya kegiatan industri dan transportasi yang banyak mengeluarkan bahan pencemar ke lingkungan air yang disebabkan oleh limbah domestik akibat kegiatan manusia telah merupakan faktor yang penting yang menentukan kesejahteraan/kesehatan manusia. Pencemaran fecal terhadap sumber air minum telah sering menyebabkan penyakit-penyakit dengan perantara air (*waterborne diseases*) yang telah membinasakan penduduk di sejumlah kota. Banyak persediaan air perkotaan masih mempunyai bakteri-bakteri patogen dengan konsentrasi tinggi terutama di pemukiman penduduk yang sangat padat dan kumuh serta pemukiman yang dekat dengan bantaran sungai.

Pada saat ini, pencemaran berlangsung dimana-mana dengan laju begitu cepat, yang tidak pernah terjadi sebelumnya. kecenderungan pencemaran, terutama sejak Perang Dunia kedua mengarah kepada dua hal yaitu, pembuangan senyawa kimia tertentu yang makin meningkat terutama akibat kegiatan industri dan transportasi. Yang lainnya akibat penggunaan berbagai produk bioksida dan bahan-bahan berbahaya aktivitas manusia.

Beban pencemaran dalam lingkungan air sudah semakin berat dengan masuknya limbah industri dari berbagai bahan kimia yang kadang kala sangat berbahaya dan beracun meskipun dalam konsentrasi yang masih rendah seperti bahan pencemar logam-logam berat: Hg, Pb, Cd, As, dan sebagainya.

Pencemaran lingkungan sudah terjadi pula di lingkungan udara dan tanah dengan segala dampak yang ditimbulkannya. Penyebab pencemaran ini selain disebabkan oleh aktivitas manusia (antropogenik) juga dapat ditimbulkan oleh kegiatan alami, seperti kebakaran hutan karena kemarau panjang, letusan gunung berapi dan sebagainya. Gambar 5.1 memperlihatkan model dari transportasi zat-zat kimia dalam lingkungan.

Keterangan: (A), deposit basah dan kering, (B) penguapan dari air, (C) partikel-partikel dan uap zat yang naik ke udara, (D) pergerakan dalam larutan dan partikel tersuspensi, (E) limpasan zat, (F) penguapan dari tanaman dan tanah, (G) rembesan ke dalam tanah, dan (H) pergerakan dalam air tanah.

Telah banyak usaha yang dilakukan untuk menanggulangi masalah lingkungan ini baik yang dilakukan secara internasional, regional atau lokal. Hal ini menunjukkan bahwa manusia sudah mulai sadar akan adanya bahaya yang mengerikan dan kerusakan lingkungan akibat pencemaran yang semakin parah.

BAB II

PENCEMARAN AIR

Walaupun air merupakan sumber daya alam yang dapat di-perbarui, tetapi air akan dapat dengan mudah terkontaminasi oleh aktivitas manusia. Air banyak digunakan oleh manusia untuk tujuan yang bermacam-macam sehingga dengan mudah dapat tercemar. Menurut tujuan penggunaannya, kriterianya berbeda-beda. Air yang sangat kotor untuk diminum mungkin cukup bersih untuk mencuci, untuk pembangkit tenaga listrik, untuk pendingin mesin dan sebagainya. Air yang terlalu kotor untuk berenang ternyata cukup baik untuk bersampan maupun memancing ikan dan sebagainya. Pencemaran air dapat merupakan masalah, regional maupun lingkungan global, dan sangat berhubungan dengan pencemaran udara serta penggunaan lahan tanah atau daratan. Pada saat udara yang tercemar jatuh ke bumi bersama air hujan, maka air tersebut sudah tercemar. Beberapa jenis bahan kimia untuk pupuk dan pestisida pada lahan pertanian akan terbawa air ke daerah sekitarnya sehingga mencemari air pada permukaan lokasi yang bersangkutan. Pengolahan tanah yang kurang baik akan dapat menyebabkan erosi sehingga air permukaan tercemar dengan tanah endapan. Dengan demikian banyak sekali penyebab terjadinya pencemaran air ini, yang akhirnya akan bermuara ke lautan, menyebabkan pencemaran pantai dan laut sekitarnya. Definisi pencemaran air menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan adalah : masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang alau sudah tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (pasal 1).

Dalam pasal 2, air pada sumber air menurut kegunaan/ peruntukannya digolongkan menjadi :

1. Golongan A, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu.
2. Golongan B, yaitu air yang dapat dipergunakan sebagai air baku untuk diolah sebagai air minum dan keperluan rumah tangga.
3. Golongan C, yaitu air yang dapat dipergunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. Golongan D, yaitu air yang dapat dipergunakan untuk keperluan pertanian, dan dapat dimanfaatkan untuk usaha perkotaan, industri, dan listrik negara.

Menurut definisi pencemaran air tersebut di atas bila suatu sumber air yang termasuk dalam kategori golongan A, misalnya sebuah sumur penduduk kemudian mengalami pencemaran dalam bentuk rembesan limbah cair dari suatu industri maka kategori sumur tadi bukan golongan A lagi, tapi sudah turun menjadi golongan B karena air tadi sudah tidak dapat digunakan langsung sebagai air minum tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Dengan demikian air sumur tersebut menjadi kurang / tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

2.1 Karakteristik Pencemaran dan Jenis-jenis Bahan Pencemar

Setelah Perang Dunia ke II telah terjadi pertumbuhan yang mengejutkan dalam dunia industri yang menggunakan bahan-bahan kimia sintetik. Banyak dari bahan-bahan kimia ini telah menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan air. Seperti limpasan (*run off*) dari pestisida dan herbisida yang berasal dari daerah pertanian atau perkebunan dan buangan limbah industri ke permukaan air. Yang lebih serius lagi adalah terjadinya rembesan kedalam air tanah dari bahan-bahan pencemar yang berasal dari penampungan limbah kimia dan “landfills”, kolam penampungan atau kolam pengolahan limbah dan fasilitas-fasilitas lainnya. Limbah cair adalah bahan sisa dari kegiatan perumahan maupun industri yang memakai bahan baku air dan mempunyai suatu karakteristik yang ditentukan oleh sifat fisik, kimia dan biologi limbah (Britton, 1994). Menurut Abel (1989) dan Jayadiningrat (1990) limbah yang dikeluarkan tergantung dari jenis kegiatan dan standar kualitas kehidupan. Hal ini terlihat pada

Tabel 1. Kebutuhan Air per orang/hari,

Penggunaan air	Air yang dipakai
Minum	2,0 liter
Masak, kebersihan dapur	14,5 liter
Mandi, kakus	20,0 liter
Cuci	13,0 liter
Air wudhu	15,0 liter
Air kebersihan rumah	32,0 liter
Air untuk tanaman	11,0 liter
Air untuk mencuci/laundry	22,5 liter
Air untuk keperluan lain	10,0 liter
Jumlah	150.0 liter

Sumber : PDAM Bali, 2005

Data hasil penelitian pencemaran dari proses kegiatan manusia di sebuah Rumah Sakit menunjukkan dari pembuangan limbah sebanyak satu juta liter (10^6 liter) dengan nilai $BOD_5 =$

2000 mg/l. Seorang manusia membuang limbah diperkirakan 180 liter per hari dengan $BOD_5 = 300 \text{ mg/l}$. maka :

Setiap hari seorang menghasilkan $BOD = 300 \times 180 \text{ mg}$

Industri Rumah Sakit sehari = $10^6 \times 2000 \text{ mg}$

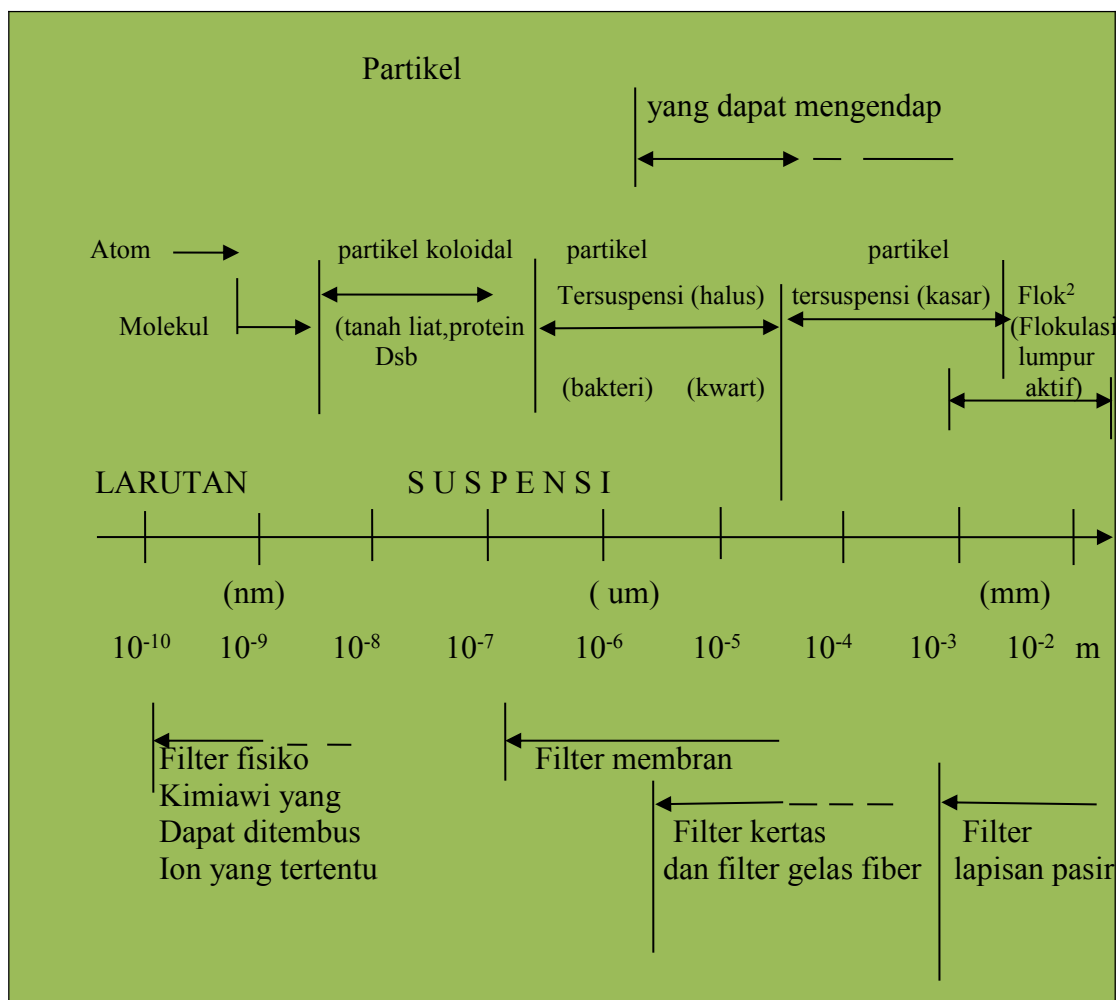
Jadi : $X (300 \times 180) = 10^6 \times 2000$

$X (300 \times 180) = 10^6 \times 2000$

$$X = \frac{10^6 \times 2000}{54 \times 10^3} = \frac{1000 \times 2000}{54}$$

$X = \text{sekitar } 40.000 \text{ orang}$

Jadi pencemaran suatu kegiatan Rumah Sakit dengan jumlah kunjungan 40.000 orang (Duncan dan Sandy, 1994). Dalam air limbah ditemui dua kelompok zat, yaitu zat terlarut seperti garam dan molekul organik, zat padat tersuspensi dan koloidal seperti tanah liat, kwarts (Sugiharto, 1987 dan Fardiaz, 1992). Perbedaan pokok antara kedua kelompok zat ini di tentukan melalui ukuran/diameter partikel-partikel tersebut yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Kelompok Zat dalam Air Limbah (Sumber : Alaert dan Santika, 1987)

Kelompok zat terlarut dan zat padat tersuspensi dan koloidal juga dapat ditemukan dari bahan buangan limbah cair Rumah Sakit. Kelompok zat tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Bahan buangan padat.

Bahan buangan padat yang dimaksud adalah bahan yang berbentuk padat, baik yang kasar (butiran besar) maupun yang halus butiran kecil (Mason, C.F, 1981). Apabila bahan buangan padat larut di dalam air, maka kepekatan air atau berat jenis cairan akan buruk dan disertai perubahan warna (Touray, 2008). Bahan buangan padat yang berbentuk halus sebagian ada yang larut dan sebagian lagi tidak dapat larut akan terbentuk koloidal yang melayang dalam air (Chiras dan Daniel, 1995).

2. Bahan buangan organik

Bahan buangan organik pada umumnya berupa limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme (Gunawan, 2000). Menurut Proowse (1996) bahan buangan organik akan dapat meningkatkan populasi mikroorganisme di dalam air sehingga memungkinkan untuk ikut berkembangnya bakteri patogen.

3. Bahan Buangan Anorganik.

Bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Menurut Palar (1994) menyatakan Bahan buangan anorganik biasanya berasal dari industri yang melibatkan penggunaan unsur-unsur logam seperti Timbal (Pb) Arsen (As), Kadmium (Cd), Air raksa (Hg), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kobalt (Co). Menurut Arya (1995) kandungan ion Kalsium (Ca) dan ion Magnesium (Mg) dalam air menyebabkan air bersifat sadah dan akan menghambat proses degradasi. Kesadahan air yang tinggi dapat merugikan karena dapat merusak peralatan yang terbuat dari besi. (Schuler, Pinky, Nasir and Vogtman, 1993).

4. Bahan Buangan Olahan Bahan Makanan.

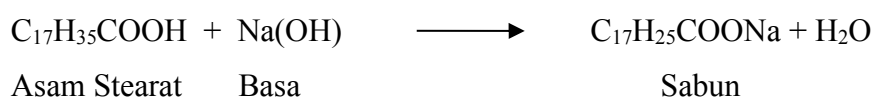
Air lingkungan yang mengandung bahan buangan olahan bahan makanan akan banyak mengandung mikroorganisme, termasuk di dalamnya bakteri patogen (Barnum, 2005). Bahan buangan olahan bahan makanan mengandung protein gugus Amin yang apabila di degradasi oleh mikroorganisme akan terurai menjadi senyawa yang mudah menguap dan berbau busuk (Diaz, 2008).

5. Bahan Buangan Cairan Berminyak

Minyak tidak dapat larut di dalam air, melainkan akan mengapung di atas permukaan air. Bahan buangan cairan berminyak yang dibuang ke air lingkungan akan mengapung menutupi permukaan air (Bence *et al.*, 1996 dan Martin, 2008). Menurut Fardias (1992) ada 2 jenis penyusutan luas permukaan tergantung pada jenis minyaknya dan waktu. Lapisan minyak di permukaan akan menghalangi difusi oksigen, menghalangi sinar matahari sehingga kandungan oksigen dalam air jadi semakin menurun.

6. Bahan Buangan Zat Kimia

Bahan buangan zat kimia banyak ragamnya, tetapi yang dimaksud adalah bahan pencemar air yang berupa sabun (deterjen, sampo dan bahan pembersih lainnya), zat warna kimia dan bahan pemberantas hama (insektisida). Adanya bahan buangan zat kimia yang berupa sabun (deterjen, sampo dan bahan pembersih lainnya) yang berlebihan di dalam air ditandai dengan timbulnya buih-buih sabun pada permukaan air (Darmono, 2001). Sabun yang berasal dari asam lemak (stearat, palmitat, atau obat) yang direaksikan dengan basa Na(OH) atau K (OH), berdasarkan reaksi kimia berikut ini :



Deterjen dapat pula sebagai bahan pembersih seperti halnya sabun, akan tetapi dibuat dari senyawa petrokimia. Bahan deterjen yang umum digunakan adalah Dodecyl Benzen Sulfonat. Bahan buangan berupa sabun dan deterjen di dalam air lingkungan dapat menaikkan pH lingkungan air (Arya, 1995).



Gambar 2.2 Bahan buangan berupa sabun dan deterjen dapat menaikkan pH lingkungan air (Sumber : Depkes, 2002)

Salah satu contoh karakteristik air limbah domestik Rumah Sakit hasil olahan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel. 2 Karakteristik Air Limbah hasil olahan Rumah Sakit.

No	Parameter	Konsentrasi
1.	BOD – mg/l	27.61-19.59
2.	COD – mg/l	158.68-591.24
3.	Angka Pengamat (KH_2O_4) – mg/l	64.6-256.49
4.	Ammoniak (NH_3) – mg/l	12.5-6362
5.	Nitrit (NO_2) – mg/l	0.017-0.031
6.	Nitrat (NO_2) – mg/l	3.27-27.65
7.	Chlorida (Cl) mg/l	32.52-57.94
8.	Sulfat (SO_2) – mg/l	64.04-144.99
9.	pH	9.06-6.99
10.	Zat padat tersuspensi (SS) – mg/l	17-239.5
11.	Deterjen (MBAS) – mg/l	0.18-29.99
12.	Minyak/lemak – mg/l	0.8-12.7
13.	Cadmium (Cd) – mg/l	MI
14.	Timbal (Pb)	MI-0.01
15.	Tembaga (Cu) – mg/l	MI
16.	Besi (Fe) – mg/l	0.29-1.15
17.	Warna – (Skala Pt – Co)	40-500
18.	Phenol – mg / l	0.11-1.84

Sumber : Data Rumah Sakit Sanglah, 2010

Tingginya nilai parameter COD dan ammonia disertai Chlorida dan sulfat menunjukkan pencemaran oleh bahan organik berupa protein dan deterjen. Adanya unsur Chlorida menunjukkan telah dilakukan perlakuan kimia berupa klorinasi untuk desinfektan yang bertujuan untuk membunuh mikroorganisme pathogen (Lestari, *dkk.*, 2004). Secara garis besar zat-zat yang terdapat didalam limbah cair domestik dapat dikelompokkan menjadi air (99,90%), bahan padat (0,9%), sedangkan bahan organik yang berupa protein (65%), karbohidrat (25%), lemak dan bahan organik butiran serta logam (Kumar, 2006). Limbah cair domestik mengandung zat penyebab warna dan kekeruhan, mengandung bahan organik yang larut maupun tersuspensi. Adanya minyak, adanya logam berat, garam dan senyawa senyawa asam atau basa, mengandung N dan P dalam kadar tinggi. Senyawa mudah menguap seperti: H_2S , NH_3 , HCL , SO_2 , bahan radioaktif, mikroorganisme pathogen, memiliki suhu tinggi (Emmanuel, *et al.* 2002). Limbah hasil dari kegiatan dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Pencemaran Limbah Cair Domestik (Sumber: Bappedal, 2008)

2.2 Pengaruh Limbah Terhadap Kualitas Air.

Pencemaran air dapat ditunjukkan oleh perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi perairan. Parameter fisik, antara lain: suhu, warna, bau, kedalaman, kecerahan, kekeruhan, dan padatan tersuspensi total (Efendi, 2003). Parameter kimiawi antara lain: salinitas, pH oksigen terlarut, kebutuhan oksigen terlarut, kebutuhan oksigen kimiawi, nitrat, nitrit, amonia, ortofosfat dan karbon dioksida (Rukaesih, 2004). Parameter biologi meliputi : fecal coliform dan hewan makrobentos (Rao dan Mamatha, 2004)

2.2.1 Sifat Fisik Air

Air sebagai zat, air tidak berbau, tak berwarna tanpa rasa, air merupakan senyawa yang sangat mantap, pelarut yang mengagumkan serta sumber kimia yang sangat kuat (Kienholz *et al*, 2000). Air memuai bila membeku menjadi zat padat, dalam suatu kegiatan seringkali suatu proses disertai dengan timbulnya panas reaksi atau panas dari gerakan mesin dan zat kimia terlarut, semakin tinggi kenaikan suhu air semakin sedikit oksigen yang terlarut didalamnya (Martin, 2000).

Bau yang berasal dari dalam air dapat langsung berasal dari bahan-bahan buangan atau air limbah dari kegiatan industri atau dapat pula berasal dari hasil degradasi bahan buangan oleh mikroba yang hidup di dalam air (Diaz, 2008). Mikroba di dalam air akan mengubah bahan buangan organik terutama gugus protein secara degradasi menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau (Hendrickey *et al*, 2005). Menurut Rao dan Mamata (2004), air normal yang dapat digunakan untuk kehidupan umumnya tidak berbau, tidak berwarna dan berasa, selanjutnya dikatakan adanya rasa pada air pada umumnya diikuti dengan perubahan pH air.

Pembentukan koloidal terjadi karena bahan buangan padat yang berbentuk halus (butiran kecil), sebagian ada yang larut dan sebagian lagi tidak dapat larut dan tidak dapat mengendap, koloidal ini melayang di dalam air sehingga air menjadi keruh (Fairchild *et al*, 2000). Menurut Koesoebiono (1999) kekeruhan akan menghalangi penetrasi sinar matahari kedalam air akibatnya fotosintesis tanaman didalam air tidak dapat berlangsung dan akan mengganggu kehidupan hewan air.

Padatan tersuspensi total keberadaannya dipengaruhi oleh jumlah dan jenis limbah yang masuk ke dalam suatu perairan (Rao dan Mamata, 2004). Selanjutnya dikatakan bahwa bahan buangan padat berbentuk kasar (butiran besar) dan berat serta tidak larut dalam air maka bahan tersebut akan mengendap di dasar sungai.

2.2.2 Sifat Kimia Air

Sebuah molekul air terdiri atas satu atom oksigen yang berikatan kovalen dengan dua atom hidrogen, gabungan dua atom hidrogen dengan satu atom oksigen yang membentuk air (H_2O) ini merupakan molekul yang sangat kokoh dan untuk menguraikan air diperlukan jumlah energi yang besar, jumlah yang sama juga dilepaskan dalam pembentuknya (Rukaesih, 2004).

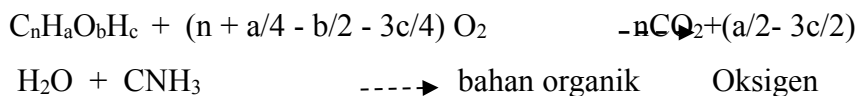
Salinitas merupakan gambaran jumlah kelarutan garam dan konsentrasi ion-ion dalam air,

salinitas juga berpengaruh terhadap derajat kelarutan senyawa-senyawa tertentu (Pusstan, 2003). Organisme perairan harus mengeluarkan energi yang besar untuk menyesuaikan diri dengan salinitas yang jauh di bawah atau di atas normal bagi kehidupan hewan (Suriani, 2000). Secara langsung organisme perairan membutuhkan kondisi air dengan tingkat kemasaman tertentu (Rukaesih, 2004). Air dengan pH yang terlalu tinggi atau terlampau rendah dapat mematikan organisme, demikian pula halnya dengan perubahannya, umumnya organisme perairan dapat hidup pada kisaran pH antara 6,7 dan 8,5. Penambahan suatu senyawa ke perairan kendalanya telah menyebabkan perubahan pH menjadi lebih kecil dari 6,7 atau lebih besar dari 8,5 (Kusnoputranto, 1997).

Konsentrasi oksigen terlarut DO (*disolved oksigen*) merupakan parameter penting yang harus diukur untuk mengetahui kualitas perairan. Organisme perairan tidak selalu nyaman hidup pada air dengan kandungan oksigen tinggi. Air dengan oksigen terlalu tinggi 200% jenuh berakibat dapat membahayakan organisme (Touray, 2008). Tingkat kejenuhan tersebut ditentukan oleh suhu air dari salinitas air, makin tinggi suhu air maka kapasitas kejenuhan oksigen makin besar (Duncan dan Sandy, 1994), sebalikny makin tinggi salinitas kapasitas kejenuhan oksigen di air semakin menurun (Saeni, 1989).

BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme hidup untuk memecah atau mengoksidasi bahan-bahan organik buangan dalam air (Darmono, 2001). Di dalam air terdapat banyak senyawa organik (asam lemak, cellulosa, asam organik, lemak dan protein) dan organik terlarut (logam berat, amoniak, nitrit) serta mikroorganisme yang berpotensi mengkonsumsi oksigen (Sugiharto, 1987). Semakin besar BOD menunjukkan bahwa derajat pengotoran air limbah semakin besar (Jaya dkk, 1994).

Menurut Waluyo (2007), Mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk memecah bahan buangan organik sering disebut dengan bakteri aerobik. Selanjutnya dikatakan mikroorganisme yang tidak memerlukan oksigen, disebut dengan bakteri anaerobik. Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikro organisme atau oleh bakteri aerobik adalah sebagai berikut :



Kebutuhan oksigen kimiawi COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen

yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik didalam air secara kimiawi (Proowse, 1996). Nilai COD merupakan ukuran dan pencemaran air oleh bahan-bahan organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses kimia dan mikro biologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dari uji BOD karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD (Kasmidjo, 1997).

Pengukuran COD berpedoman pada prinsip bahwa semua bahan organik dapat dioksidasi secara sempurna menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan oksidasi kuat dalam kadar asam. Jumlah oksidator yang dibutuhkan untuk proses ini disetarakan dengan kebutuhan oksigen (Sumodiharjo, 1999). Menurut Mcleod dan Eltis (2008) bahan buangan organik akan dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bichromat atau $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent), selanjutnya dikatakan oksidasi terhadap bahan buangan organik akan mengikuti reaksi berikut ini :



Nitrogen berperan kuat dalam reaksi-reaksi biologi perairan, untuk menunjukkan tingkat kesuburan suatu perairan dapat dilihat dari kandungan nutrien seperti nitrogen, fosfat dan bahan-bahan organik (Meagler, 2000). Dalam kondisi aerob nitrogen dari urea diikat oleh mikroorganisme dan selanjutnya diubah menjadi nitrat. Sumber-sumber nitrogen dalam air dapat bermacam-macam meliputi hancuran bahan organik buangan domestik, limbah industri, limbah peternakan atau pupuk (Chitnis, 2003).

Unsur fosfor didalam perairan tersedia dalam bentuk fosfat organik. Ortofosfat adalah suatu bentuk lain senyawa fosfat organik (Wardana, 1999). Fosfor bersumber dari hanyutan pupuk limbah industri, hancuran bahan organik dan mineral-mineral fosfat, fosfat dalam detergen memegang peranan penting di dalam kelebihan hara fosfor di dalam perairan, fosfat keadaan normal berluasan 0,001-1 mg/liter (Darmono, 2001).

Menurut Suriani (2000), Sulfida berperanan dalam jumlah yang berlebihan akan dapat menurunkan keasaman (pH) suatu perairan, sehingga dengan menurunnya pH akan mempengaruhi kehidupan organisme yang ada dalam air. Menurut Darmono (2001), amonia yang berlebihan dalam air akan menimbulkan penurunan kadar oksigen terlarut dan cenderung bersifat toksik sehingga secara tidak langsung akan mempengaruhi kehidupan dalam air,

sedangkan nitrit adalah merupakan senyawa yang bersifat toksik dalam air, akan tetapi sesungguhnya ini bersifat labil dan berubah menjadi nitrat bila ada oksigen dan akan menjadi amonia bila kadar oksigen yang terlarut mulai menurun.

Air tanah mengandung zat Besi (Fe) dan Mangan (Mn) cukup besar, adanya kandungan Besi dan Mangan dalam air menyebabkan warna air tersebut berubah menjadi kuning-coklat setelah beberapa saat kontak dengan udara (Winarno, 1996). Baik besi maupun mangan dalam air biasanya terlarut dalam bentuk senyawa atau garam bikarbonat, garam sulfat hidroksida dan juga dalam bentuk koloidal atau dalam bentuk gabungan senyawa anorganik (Wardana., 1999).

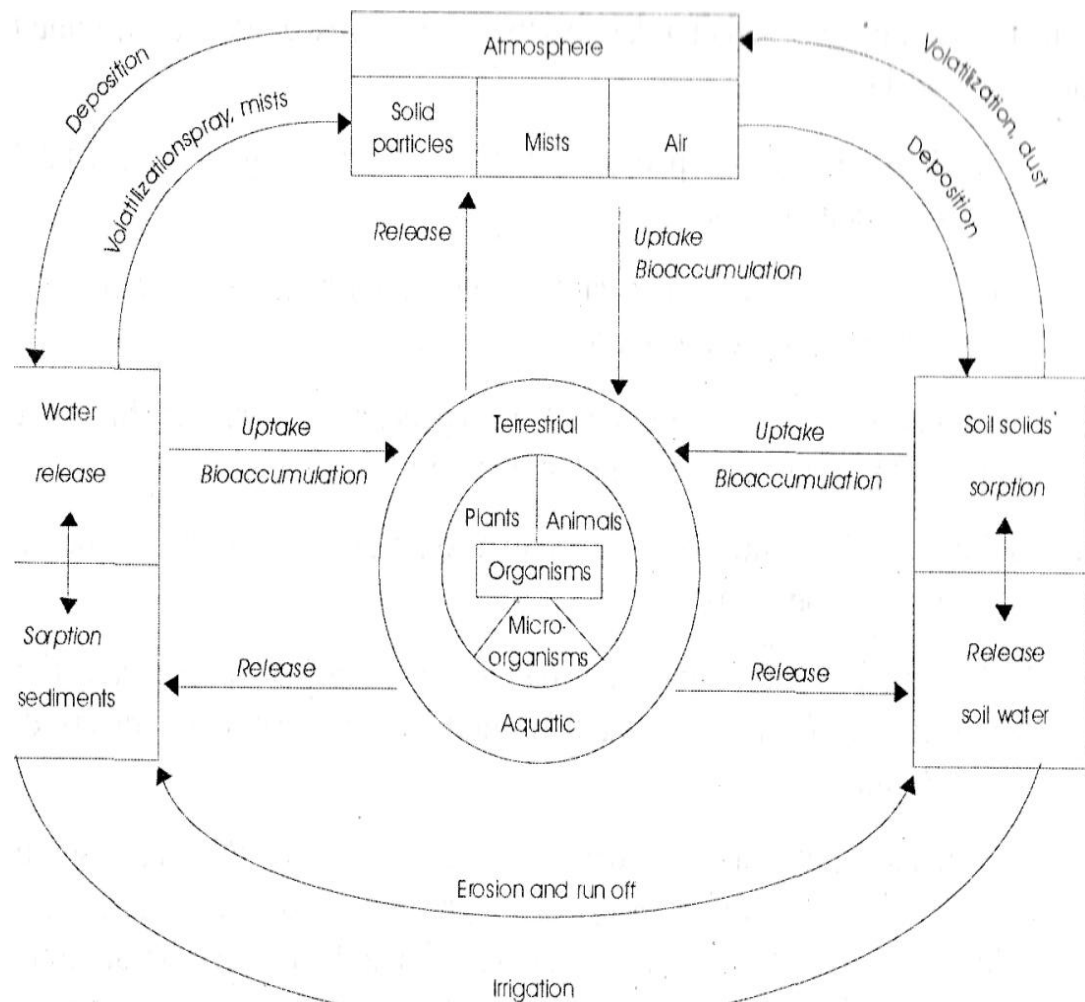
2.4.3 Sifat Biologi Air

Bio indikator merupakan kelompok atau komunikator organisme yang kehadirannya atau perilakunya di dalam air berkorelasi dengan kondisi lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai petunjuk kualitas lingkungan perairan (Willey, 1990)). Organisme yang tergolong sebagai indikator di antara ganggang, bakteri protozoa makrobentos, dan ikan (Wiliam, 1990). Keberadaan coliform yang berlebihan dalam air adalah mengidentifikasikan adanya patogen dalam air (Ardhana, 1998).

2.3 Penanganan Limbah

Data hasil penelitian terhadap teknologi pengolahan limbah Rumah Sakit Sanglah menunjukkan rata-rata penurunan tingkat Efisiensi parameter BOD, COD, TSS sekitar 80%–90% (RSUP, 2010). Data hasil penelitian terhadap teknologi pengolahan limbah cair Rumah Sakit Tabanan ditemukan rata-rata penurunan tingkat efisiensi parameter BOD, COD, TSS sekitar 65%-80% (RSUD, 2010). Kandungan unsur masih didominasi oleh bahan organik, berupa protein dan lemak, hal ini ditunjukkan oleh kandungan unsur kimia organik rata-rata yaitu amonia 12,5%-65% dan nitrat 0,017-0,35% serta Chlorida.

Untuk mempelajari lebih jauh dari pencemaran air dan sumber-sumbernya perlu mengetahui siklus dari bahan pencemar dalam lingkungan (Gambar 3).



Gambar 3. Siklus Bahan Pencemar Dalam Lingkungan

Gambar diatas memberikan ilustrasi bagaimana rute yang utama dari perpindahan (*interchange*) bahan-bahan kimia melalui komponen biotek atau organisme, terrestrial, udara, dan lingkungan air". Dan siklus bahan pencemar tampak bahwa manusia sendiri termasuk dalam organisme yang melepaskan bahan pencemar ke lingkungan terutama dalam bentuk buangan sisa proses biokimia dalam tubuhnya.

Bahan pencemar air secara umum dapat diklasifikasikan seperti terlihat pada Tabel 5.1. Tidak semua perairan mengandung bahan pencemar yang sama atau sama bahan pencemar seperti terlihat pada Tabel .1, karena terjadinya pencemaran ditentukan oleh banyak faktor.

Tabel 2.1 Klasifikasi Umum dari Bahan Pencemar Air

Jenis Bahan Pencemar	Pengaruhnya
Unsur-unsur renik	Kesehatan, biota akuatik
Senyawa organ logam	Tranpor logam
Polutan anorganik	Toksisitas, biota akuatik
Asbestos	Kesehatan manusia
Hara-ganggang	Entrofikasi
Radionuklida	Toksisitas
Asiditas, Alkalinitas, Salinitas tinggi	Kualitas air, kehidupan akuatik
Zat pencemar organik renik	Toksisitas
Pestisida	Toksisitas, biota akuatik, satwa liar
PCB	Kesehatan manusia
Carsinogen	Penyebab kanker
Limbah minyak	Satwa liar, estetik
Patogen	Kesehatan
Detergen	Introfikasi, estetik'
Sedimen	Kualitas air, estetik
Rasa, Bau, dan Warna	Estetik

2.4 Karakteristik Sumber Pencemaran Air

Pencemaran air terdiri dari bermacam-macam jenis, dan pengaruhnya terhadap lingkungan serta makhluk hidup juga bermacam-macam. Jenis pencemaran air yang walaupun air merupakan sumber daya alam yang dapat di-perbarui, tetapi air akan dapat dengan mudah terkontaminasi oleh aktivitas manusia. Air banyak digunakan oleh manusia untuk tujuan yang bermacam-macam sehingga dengan mudah dapat tercemar. Menurut tujuan penggunaannya, kriterianya berbeda-beda. Air yang sangat kotor untuk diminum mungkin cukup bersih untuk mencuci, untuk pembangkit tenaga listrik, untuk pendingin mesin dan sebagainya. Air yang terlalu kotor untuk berenang ternyata cukup baik untuk bersampan maupun memancing ikan dan sebagainya.

Pencemaran air dapat merupakan masalah, regional maupun lingkungan global, dan sangat berhubungan dengan pencemaran udara serta penggunaan lahan tanah atau daratan. Pada saat udara yang tercemar jatuh ke bumi bersama air hujan, maka air tersebut sudah tercemar. Beberapa jenis bahan kimia untuk pupuk dan pestisida pada lahan pertanian akan terbawa air ke daerah sekitarnya sehingga mencemari air pada permukaan lokasi yang bersangkutan. Pengolahan tanah yang kurang baik akan dapat menyebabkan erosi sehingga air permukaan tercemar dengan tanah endapan. Dengan demikian banyak sekali penyebab terjadinya

pencemaran air ini, yang akhirnya akan bermuara ke lautan, menyebabkan pencemaran pantai dan laut sekitarnya.

2.5 Karakteristik Pencemaran oleh Mikroorganisme

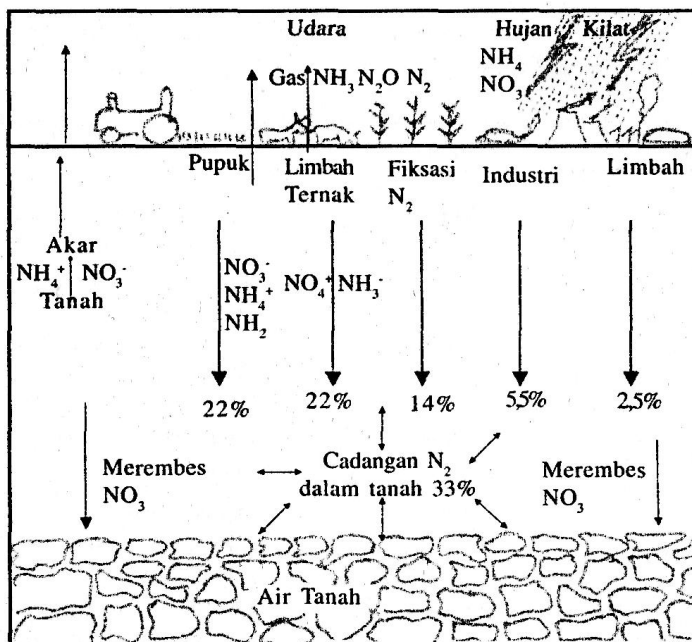
Berbagai kuman penyebab penyakit pada makhluk hidup seperti bakteri, virus, protozoa dan parasit sering mencemari air. Kuman yang masuk ke dalam air tersebut berasal dari buangan limbah rumah tangga maupun buangan dari industri peternakan, rumah sakit, tanah pertanian dan lain sebagainya. Pencemaran dari kuman penyakit ini merupakan penyebab utama terjadinya penyakit pada orang yang terinfeksi. Penyakit yang disebabkan oleh pencemaran air ini disebut *Water-borne disease* dan sering ditemukan pada penyakit tifus, kolera, dan disentri.

Tabel 2. 2 Penyakit sering Dijumpai pada Orang dan Penularannya Melalui Air (*Water-Borne Disease*)

<i>Jenis Organisme</i>	<i>Penyakit</i>	<i>Pengaruh</i>
Bakteri	Tifoid	Diare, muntah, pembesaran limpa, dan radang usus. Bila tidak segera diobati, penderita dapat mati (ber-akibat fatal).
	Kolera	Diare, muntah, dehidrasi, fatal.
	Disentri	Diare, banyak menjadi penyebab kematian pada bayi.
	Enteritis	Sakit perut yang hebat, mual, dan muntah.
Virus	Hepatitis	Demam, sakit kepala, anoreksia, sakit perut, ikterus, dan hati bengkak.
	Polio	Demam, sakit kepala, tenggorokan sakit, nyeri otot, lemah, tremor, kelumpuhan kaki tangan dan tubuh, fatal.
Protozoa	Disentri amuba	Diare, sakit kepala, sakit perut, dan demam. Bila tidak segera diobati, terjadi borok di hati, fatal.
	Giardia	Diare, kejang perut, dan lemah.
Cacing	Schistosoma	Sakit perut, kulit kasar, anemia, dan gangguan kesehatan kronis.

2.6. Karakteristik Pencemaran Oleh Bahan Inorganik Nutrisi Tanaman

Penggunaan pupuk nitrogen dan fosfat dalam bidang pertanian telah dilakukan sejak lama secara meluas. Pupuk kimia ini dapat menghasilkan produksi tanaman pangan yang tinggi sehingga menguntungkan petani. Tetapi di lain pihak, nitrat dan fosfat dapat mencemari sungai, danau, dan lautan. Sebetulnya sumber pencemaran nitrat ini tidak hanya berasal dari pupuk pertanian saja, karena di udara atmosfer bumi mengandung 78% gas nitrogen. Pada waktu hujan dan terjadi kilat dan petir, di udara akan terbentuk amonia dan nitrogen (NH_4^- , NO_3^-) dan terbawa air hujan menuju permukaan tanah. Nitrogen akan bersenyawa dengan komponen yang kompleks lainnya (Gambar 3.1).



Gambar. 3 Diagram aliran nitrogen yang dapat merembes ke dalam air tanah

Tanaman tidak dapat mengambil nitrogen dari udara, tetapi dalam bentuk amonium (NH_4) dan nitrat (NO_3) dari dalam tanah melalui akar, karena kedua bentuk senyawa kimia tersebut larut dalam air. Jenis mikroorganisme tertentu yaitu bakteri dan algae dapat mengikat molekul nitrogen (N_2) dari udara menjadi ionamonium (NH_4^+) yang akan terbentuk protein. Spesies bakteri yang sering ditemukan dapat mengikat nitrogen ini ialah *Rhizobium* yang membentuk koloni pada akar tanaman legumes (jenis kacang-kacangan).

Kandungan nitrat yang tinggi dalam air minum akan dapat menyebabkan gangguan sistem peredaran darah pada bayi berumur di bawah 3 bulan. Penyakit ini disebut “gejala bayi

biru” (*blue baby syndrom*), dengan gejala yang khas yaitu terlihat warna ke-biruan pada daerah sekitar bibir dan pada beberapa bagian tubuh. Hal ini disebabkan oleh sejenis bakteri di dalam lambung (karena minum botol yang tidak steril), yang mengubah nitrat menjadi nitrit (NO_2^-). Hemoglobin darah dari bayi mengambil nitrit yang seharusnya oksigen, akibatnya bayi mengalami kegagalan dalam pernapasan.

Kasus “bayi biru” telah banyak dilaporkan di berbagai ne-gara. Saul (1990) melaporkan bahwa WHO mencatat ada 2000 kasus “bayi biru” antara tahun 1945-1986. Seratus enam puluh bayi di antaranya meninggal dunia. Kebanyakan bayi tersebut diberi minum air yang mengandung 25 mg nitrat/L air, dari air tanah di sekitar pekarangannya sendiri. Ternyata hal ini sangat erat berhubungan dengan kondisi bahwa ibunya tidak mensterilkan botol minum anaknya.

Beberapa peneliti melaporkan, nitrit dapat mengakibatkan kanker pada lambung dan saluran pernapasan pada orang dewasa. Hal ini menjadi perdebatan karena pada tahun 1984 ikatan dokter di Inggris (British Medical Association) melaporkan bahwa kasus sanker sangat menurun pada daerah yang air minumnya mengandung nitrat yang tinggi. Di lain pihak, di Cina pada awal tahun 1980 ditemukan 140 orang dari 100.000 orang pria meninggal dunia karena kanker lambung. Di daerah tempat ditemukan angka kematian yang tinggi tersebut, kandungan nitrat dalam air minum dan dalam sayuran lebih tinggi dari normal. Pada akhirnya Badan Research Internasional di Jerman menyatakan bahwa kandungan nitrat yang diminum per hari antara 200-300 mg dapat membahayakan kesehatan.

Nitrat ternyata juga dapat menjadi pupuk pada tanaman air. Bila terjadi hujan lebat air akan membawa nitrat dari tanah masuk ke dalam aliran air sungai, danau dan waduk, kemudian menuju lautan dalam kadar yang cukup tinggi. Hal ini akan merangsang tumbuhnya algae dan tanaman air lainnya. Kelimpahan unsur nutrisi nitrat ini dalam air disebut *Eutrophication*, yang berasal dari bahasa Latin *Eutrophos* yang artinya “pakan yang baik”. Kondisi eutrofikasi ini akan terlihat meningkat di perairan berbagai negara. Pengaruh negatif dari eutrofikasi ini ialah terjadinya perubahan keseimbangan kehidupan antara tanaman air dengan hewan air, sehingga beberapa spesies ikan akan musnah dan tanaman air akan dapat menghambat laju arus air.

Jenis algae, terutama ganggang hijau, sangat subur bila men-dapatkan pupuk nitrat ini. Bilamana mereka tumbuh dipermukaan air, mereka akan menghambat sinar matahari yang masuk ke dalam air sehingga tanaman yang tumbuh di bawahnya akan mati. Bakteri pembusuk akan menguraikan organisme yang mati, baik tanaman maupun hewan yang terdapat di dasar air.

Proses pembusukan tersebut banyak menggunakan oksigen terlarut dalam air, sehingga kadar oksigen akan menurun secara drastis, dan pada akhirnya kehidupan biologis di daerah tersebut akan juga sangat berkurang. Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen dalam air ialah limbah organik yang terbuang dalam air. Limbah organik akan mengalami degradasi dan dekomposisi oleh bakteri aerob (menggunakan oksigen dalam air), sehingga lama-kelamaan oksigen yang terlarut dalam air akan sangat berkurang. Dalam kondisi berkurangnya oksigen tersebut hanya spesies organisme tertentu saja yang dapat hidup.

2.6 Karakteristik Pencemar Bahan Kimia Inorganik

Bahan kimia inorganik seperti asam, garam dan bahan toksik logam seperti Pb, Cd, Hg dalam kadar yang tinggi dapat menyebabkan air tidak enak untuk diminum. Di samping dapat menyebabkan matinya kehidupan air seperti ikan dan organisme lainnya, pencemaran bahan tersebut juga dapat menurunkan produksi tanaman pangan dan merusak peralatan yang dilalui air tersebut (karena bersifat korosif).

2.7 Karakteristik Pencemar Bahan Kimia Organik

Bahan kimia organik seperti minyak, plastik, pestisida, la-rutan pembersih, detergen dan masih banyak lagi bahan organik terlarut yang digunakan oleh manusia dapat menyebabkan kematian pada ikan maupun organisme air lainnya. Lebih dari 700 bahan kimia organik sintesis ditemukan dalam jumlah relatif sedikit pada permukaan air tanah untuk minum di Amerika, dan dapat menyebabkan gangguan pada ginjal, gangguan kelahiran, dan beberapa macam bentuk kanker pada hewan percobaan di laboratorium. Tetapi sampai sekarang belum diketahui apa akibatnya pada orang yang mengkonsumsi air tersebut sehingga dapat menyebabkan keracunan kronis.

2.8 Sedimen dan Bahan Tersuspensi

Bahan partikel yang tidak terlarut seperti pasir, lumpur, tanah, dan bahan kimia inorganik dan organik menjadi bentuk bahan tersuspensi di dalam air, sehingga bahan tersebut menjadi penyebab polusi tertinggi di dalam air. Kebanyakan sungai dan daerah aliran sungai selalu membawa endapan lumpur yang disebabkan erosi alamiah dari pinggir sungai. Akan tetapi, kandungan sedimen yang terlarut pada hampir semua sungai meningkat terus karena erosi dari

tanah pertanian, kehutanan, konstruksi, dan pertambangan. Partikel yang tersuspensi menyebabkan kekeruhan dalam air, sehingga mengurangi kemampuan ikan dan organisme air lainnya memperoleh makanan, mengurangi tanaman air melakukan fotosintesis, pakan ikan menjadi tertutup lumpur, insang ikan dan kerang tertutup oleh sedimen dan akan mengakumulasi bahan beracun seperti pestisida dan senyawa logam. Bagian bawah sedimen akan merusak produksi pakan ikan (plankton), merusak telur ikan dan membendung aliran sungai, danau, selat, dan pelabuhan.

2.9 Substansi Radioaktif

Radioaktif yang terlarut dalam air akan dapat mengalami “amplifikasi biologi” (kadarnya berlipat) dalam sistem rantai pakan. Radiasi yang terionisasi dari isotop tersebut dapat menyebabkan mutasi DNA pada makhluk hidup sehingga mengakibatkan gangguan reproduksi, kanker, dan kerusakan genetik.

BAB III

PENCEMARAN UDARA

Ada sekitar 99% dari udara yang kita isap ialah gas nitrogen dan oksigen. gas lain dalam jumlah yang sangat sedikit. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa di antara gas yang sangat sedikit tersebut diidentifikasi sebagai gas pencemar. Di daerah perkotaan misalnya, gas pencemar berasal dari asap kendaraan, gas buangan pabrik, pembangkit tenaga listrik, asap rokok, larutan pembersih, dan sebagainya yang berhubungan dengan kegiatan manusia.

Komponen – komponen pencemar tersebut dalam tingkat tertentu dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan paru manusia atau hewan, tanaman, bangunan dan bahan lainnya. Adanya kandungan bahan kimia dalam atmosfer bumi karena polusi udara akan dapat juga mengubah iklim lokal, regional, dan global, sehingga bisa meningkatkan jumlah radiasi sinar ultraviolet dari matahari ke permukaan bumi.

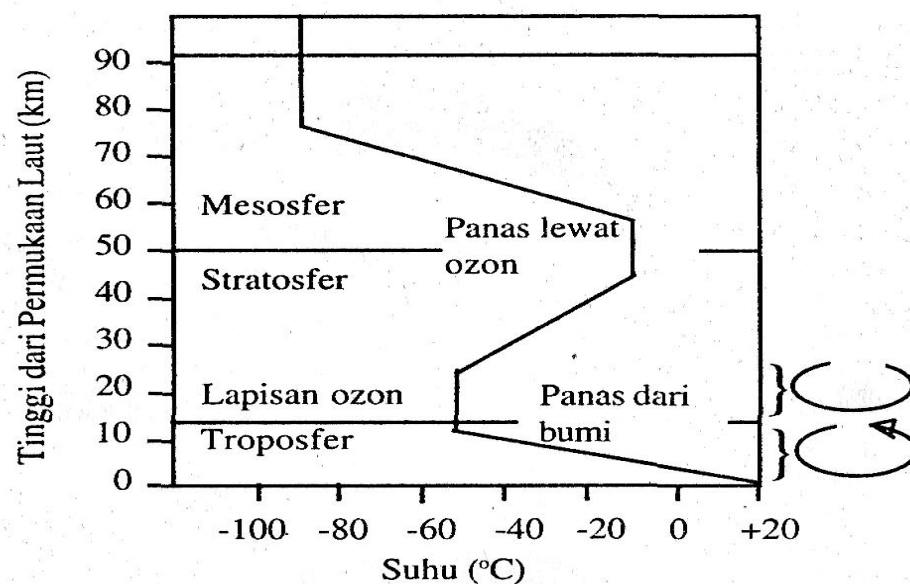
Terbentuknya bumi adalah gas yang melapisi bumi dan terbagi dalam beberapa lapis. Lapisan yang paling dalam disebut juga *troposfer* yang tebalnya sekitar 17 km di atas permukaan bumi. Sekitar 99% dari gas yang nonpolusi dalam udara kering yang terdapat pada troposfer yang kita isap, terdiri dari dua jenis gas, yaitu gas nitrogen (78%) dan oksigen (21%). Sisanya adalah gas argon yang kurang dari 1%, dan karbon dioksida sekitar 0,035%. Udara dalam troposfer juga mengandung uap air yang jumlahnya sekitar 0,01% di daerah subtropis, dan sekitar 5% di daerah tropis yang lembab.

Udara dalam lapisan troposfer selalu berputar-putar dan terus bergerak, menjadi panas oleh sinar matahari, kemudian bergerak lagi diganti oleh udara dingin yang akan menjadi panas kembali, begitu seterusnya. Proses fisik tersebut menyebabkan terjadinya pergerakan udara dalam lapisan troposfer, dan merupakan faktor utama untuk mendeteksi iklim dan cuaca di permukaan bumi. Di samping itu pergerakan udara tersebut juga dapat mendistribusikan bahan kimia pencemar dalam lapisan troposfer.

Bilamana udara yang bersih bergerak di atas permukaan bumi, udara tersebut akan membawa sejumlah bahan kimia yang dihasilkan oleh proses alamiah dan aktivitas manusia. Sekali bahan kimia pencemar masuk ke dalam lapisan troposfer, bahan pencemar tersebut bercampur dengan udara dan terbawa secara vertikal dan horizontal serta bereaksi secara kimiawi dengan bahan lainnya di dalam atmosfer. Dalam mengikuti gerakan udara, polutan

tersebut menyebar, tetapi polutan yang dapat tahan lama akan terbawa dalam jarak yang jauh dan akhirnya jatuh ke permukaan bumi menjadi partikel-partikel padat dan larut dalam bu-tiran air serta mengembun jatuh ke permukaan bumi.

Lapisan kedua dari atmosfer ialah *stratosfer* yang mempunyai ketebalan sekitar 30 km sehingga jarak dari permukaan bumi sekitar 17 km sampai dengan 48 km di atas permukaan bumi. Dalam lapisan kedua ini ditemukan sejumlah kecil gas ozon (O_3) yang dapat menyaring 99% sinar berbahaya dari matahari yaitu radiasi sinar ultraviolet. Fungsi dari filter gas O_3 yang tipis dalam stratosfer ini ialah mencegah intensitas sinar matahari merusak bumi dan isinya, yaitu mencegah kanker kulit, kanker mata, dan katarak. Selain itu, lapisan ozon juga mencegah kerusakan tanaman dan hewan air. Dengan menyaring radiasi energi tinggi dari sinar ultraviolet, lapisan ozon juga menyimpan cadangan oksigen (O_2) dalam lapisan troposfer sebelum berubah menjadi ozon. Sejumlah kecil ozon yang terbentuk dalam lapisan troposfer merupakan hasil buangan gas dari aktivitas manusia. Gas ozon dalam troposfer merusak tanaman, sistem saluran pernapasan manusia dan hewan serta bahan-bahan yang terbuat dari karet. Sehingga dalam kehidupan makhluk hidup sangat bergantung terhadap “ozon yang baik” yang berada di lapisan stratosfer dan sedikit “ozon yang buruk” dalam lapisan troposfer. Sayang sekali aktivitas manusia dapat menurunkan kadar ozon dari stratosfer dan menaikkan kadar ozon dalam troposfer.



Gambar 3.1 Komposisi lapisan atmosfer bumi

Pada waktu planet bumi terbentuk pertama kali, komposisi, temperatur, dan kemampuan untuk membersihkan diri oleh atmosfer bumi berjalan dengan wajar. Tetapi selama dua abad belakangan ini, terutama sejak sekitar lima puluh tahun yang silam komposisi atmosfer menjadi berubah sangat nyata akibat aktivitas manusia. Aktivitas tersebut berupa proses pembakaran minyak, kebakaran hutan, penggundulan hutan, dan aktivitas industri serta pertanian.

Bahan kimia di udara yang **berpengaruh** negatif pada manusia, hewan, tanaman, barang dari logam, batuan dan material lain dapat dikategorikan sebagai pencemar udara. Banyak bahan pencemar udara terdapat dalam lapisan troposfer, tetapi ada 9 je-nis bahan pencemar udara yang dianggap penting, yaitu sebagai berikut

- a. Oksida karbon: karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida(CO₂).
- b. Oksida belerang:sulfurdioksida(SO₂) dan sulfur trioksida(SO₃).
- c. Oksida nitrogen: nitrit oksida (NO), nitrogen dioksida (NO₂) dan dinitrogenoksida (N₂O).
- d. Komponen organik volatil:metan(CH₄),benzen(C₆H₆) klorofluoro karbon(CFC) dan kelompok bromin.
- e. Suspensi partikel:debu tanah,karbon,asbes,logam berat, nitrat, sulfat, titik cairan, seperti asam sulfat (H₂SO₄), minyak, bifenil poliklorin(PCB),dioksin,danpestisida.
- f. Oksida fotokimiawi:ozon,peroksiasil nitrat,hidrogen peroksida, hidroksida, formaldehid yang terbentuk di atmosfer oleh reaksioksigen,nitrogen oksida,dan uap hidrokarbon dibawah pengaruh sinar matahari.
- g. Substansi radioaktif:radon- 222, iodin-131, strontium-90, plutonium-239 dan radioisotope lainnya yang masuk ke atmosfer bumi dalam bentuk gas atau suspensi partikel.
- h. Panas: energi panas yang dikeluarkan pada waktu terjadi proses perubahan bentuk, terutama terjadi saat pembakaran minyak menjadi gas pada kendaraan, pabrik, perumahan, dan pembangkit tenaga listrik.
- i. Suara: dihasilkan oleh kendaraan bermotor, pesawat terbang, kereta api, mesin industri, konstruksi, mesin pemotong rumput, sirine dan sebagainya.

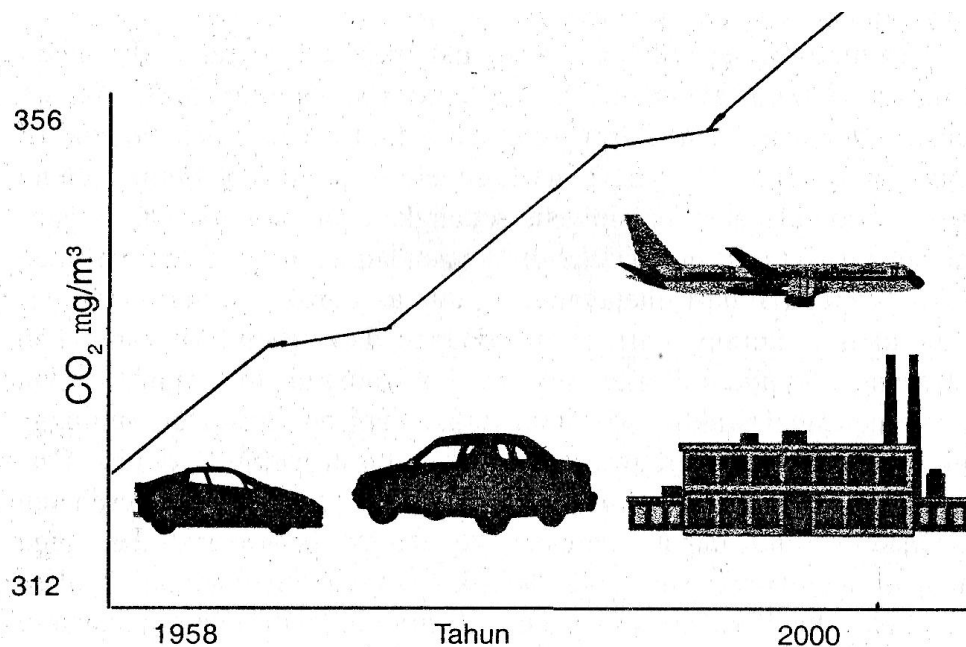
Masing-masing bahan kimia atau bentuk energi (panas dan suara) penyebab polusi tersebut dapat diklasifikasikan sebagai polusi udara primer dan sekunder. Polusi primer seperti

SO₂ dapat langsung mencemari udara sebagai proses alamiah atau aktivitas manusia. Polusi sekunder seperti asam sulfat terbentuk di udara melalui reaksi kimia antara polusi primer dengan komponen kimia yang sudah ada di udara.

Polutan seperti bahan suspensi partikel berada di udara atmosfer dalam jangka waktu tertentu, bergantung pada ukuran partikel tersebut dan iklim setempat. Partikel normal berada di troposfer sekitar 1 atau 2 hari sebelum jatuh ke bumi karena proses gravitasi atau presipitasi, sedangkan partikel ukuran 1 sampai dengan 10 mikrometer, lebih ringan dan cenderung memerlukan waktu beberapa hari melayang di udara. Partikel yang kecil dengan ukuran kurang dari 1 mikrometer dapat bertahan lama dan melayang di udara, yaitu sekitar 1-2 minggu di troposfer dan dapat mencapai waktu 1-5 tahun dalam lapisan stratosfer, sehingga cukup lama dapat terbawa angin ke seluruh penjuru dunia. Partikel yang sangat kecil ini paling berbahaya terhadap kesehatan manusia karena dapat meresap ke dalam paru-paru, dan juga menjadi pembawa substansi toksik yang menyebabkan kanker.

Penyebab pencemaran udara secara alamiah ialah kebakaran hutan, penyebaran benang sari dari beberapa jenis bunga, erosi tanah oleh angin, gunung meletus, penguapan bahan organik dari beberapa jenis daun (seperti jenis pohon cemara yang mengeluarkan terpen hidrokarbon), dekomposisi dari beberapa jenis bakteri pengurai, deburan ombak air laut (sulfat dan garam), dan radioaktivitas secara alamiah (gas radon ²²², gas dari deposit uranium, fosfat, dan granit).

Hampir semua emisi bahan pencemar yang berasal dari proses alamiah selalu tersebar ke seluruh permukaan bumi sehingga jarang terkonsentrasi dan mengakibatkan kerusakan. Pencemaran sulfur oksida dan partikel debu dari gunung berapi yang meletus ke dalam atmosfer dapat merusak lingkungan alam sekitarnya. Pencemaran udara yang terjadi sejak revolusi industri telah banyak dilaporkan, dan dari tahun ke tahun jenis dan jumlah bahan pencemar terus meningkat. Beberapa bahan pencemar yang menyebabkan polusi udara telah banyak dilaporkan, terutama di negara industri seperti Amerika dan Jepang. Jenis bahan pencemar yang sering dijumpai ialah karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), komponen organik terutama hidrokarbon, dan suspensi partikel. Di samping itu jenis polutan lain yang cukup berbahaya ialah ozon (O₃) dan timbal (Pb) (Gambar 2.3).



Gambar 3.3 Terjadinya pencemaran udara dari beberapa sumber pencemar.

3.1 Asap dan Hujan Asam

Campuran antara polutan primer dengan polutan sekunder dalam lapisan troposfer bagian bawah akan mengakibatkan interaksi di antara kedua jenis polutan tersebut. Interaksi kedua jenis polutan dipengaruhi oleh sinar matahari, sehingga asap tersebut dinamakan asap fotokimia. Pada umumnya asap foto-kimia (*photochemical smog*) selalu ditemukan di kota besar, tetapi juga banyak ditemukan di kota yang beriklim panas, banyak sinar matahari, dan kering. Kota yang banyak mengandung asap fotokimia, misalnya Los Angeles di Amerika Serikat, Sydney di Australia, Mexico City di Meksiko, 'Buenos Aires di Brazil, dan Jakarta, Bandung serta Surabaya di Indonesia. Kadar asap fotokimia tersebut menjadi tinggi pada musim kemarau (di daerah tropis) atau musim panas (di daerah subtropis).

Sebagian besar gas polutan yang menghasilkan gas fotokimia tersebut adalah reaksi dari ozon yang dapat mengakibatkan iritasi pada mata, mengganggu fungsi paru-paru, serta mematikan pohon dan tanaman pangan. Gas yang berbahaya tersebut biasanya erat hubungannya dengan konsentrasi ozon di lapisan bawah atmosfer. Komponen gas lain penyebab kerusakan adalah aldehid, peroksasil nitrat, dan asam nitrat. Kandungan komponen gas sekunder dalam asap fotokimia tersebut biasanya mencapai maksimal pada sore hari yang panas, sehingga menjadi penyebab utama gangguan mata dan pernapasan. Orang yang menderita biasanya

berpenyakit asma atau gangguan pernapasan lainnya. Orang yang sehat akan menderita gangguan mata dan pernapasan bila berolah raga di ruangan terbuka sejak pukul 11.00 pagi sampai 16.00 sore. Semakin panas udara, semakin tinggi pula kadar ozon dan komponen gas yang tergolong dalam asap fotokimia ini.

Sekitar tahun 1960-an kota besar seperti London, Chicago, dan Pittsburg membakar batubara dan minyak dalam jumlah besar untuk tenaga listrik yang dipergunakan dalam perindustrian, yang mengandung sulfur (S). Oleh karena itu, pada musim dingin kota tersebut dipenuhi oleh asap industri yang banyak mengandung sulfur dioksida, embun asam sulfat dari SO_2 , dan partikel ter-suspensi. Dewasa ini pembakaran batubara dan minyak tersebut hanya dilakukan dalam tempat yang besar dan dengan pengontrolan yang baik serta dilengkapi dengan sarana filter yang memadai sehingga asap industri tidak menjadi masalah lagi. Di negara lain yang mulai melaksanakan proses industrialisasi seperti negara Eropa Timur, Asia, dan negara yang sedang berkembang, hal tersebut masih merupakan masalah.

3.2 Pengaruh Pencemaran udara terhadap Iklim dan Topografi

Berat atau ringannya suatu pencemaran udara di suatu daerah sangat bergantung pada iklim lokal, topografi, kepadatan penduduk, banyaknya industri yang berlokasi di daerah tersebut, penggunaan bahan bakar dalam industri, suhu udara panas di lokasi, dan kesibukan transportasi. Dalam suatu daerah yang tinggi lokasinya dari permukaan laut (pegunungan), curah hujan akan sangat membantu proses pembersihan udara. Di samping itu angin yang kencang dapat pula menyapu polutan udara ke daerah lain yang lebih jauh.

Tempat yang tinggi seperti pegunungan, gedung bertingkat tinggi di perkotaan, dapat menghambat tiupan angin dan mencegah terjadinya pengenceran kandungan udara polutan, sehingga udara yang kotor masih dapat mencemari udara kota. Pada waktu siang hari, sinar matahari menghangatkan udara di permukaan bumi. Udara panas tersebut akan merambat ke atas sehingga udara yang mengandung polutan di permukaan bumi akan terbawa ke atas, ke dalam troposfer. Udara bertekanan tinggi akan bergerak ke udara yang bertekanan rendah sambil membawa udara polutan tersebut, sehingga pencemaran udara dari lokasi tersebut akan berkurang. Kadang-kadang terdapat perubahan cuaca, yaitu udara berawan menutupi matahari, tetapi tidak terjadi hujan sehingga udara dekat permukaan bumi menjadi lebih dingin daripada

udara di atasnya. Dalam kondisi tersebut, pada daerah yang dilingkungi bukit, udara polutan tidak dapat bergerak ke atas sehingga terjadi pencemaran udara di lokasi tersebut.

Keadaan di mana udara di atas lebih hangat daripada udara di bawah disebut *temperatur inversi*, atau *termal inversi*, yang terjadi pada suatu kota yang dilingkungi oleh bukit atau gunung.

3.3 Hujan Asam

Bila pembangkit tenaga listrik beroperasi, maka dari pembakaran batubara dan minyak akan keluar emisi dalam jumlah besar bahan seperti SO_2 , partikel, dan nitrogen oksida. Pabrik dan pembangkit tenaga listrik biasanya mengeluarkan SO , sampai 90-95% dan NO_2 57%, sedangkan 60% dari emisi SO_2 dibebaskan dari cerobong asap yang tinggi dan dibuang ke udara, dan terbawa angin ke mana-mana.

Bahan kimia seperti SO_2 dan NO akan bereaksi di udara membentuk polutan sekunder seperti NO_2 , asam nitrat, butiran asam sulfat dan garam nitrat serta garam sulfat. Bahan kimia tersebut kemudian jatuh ke bumi dalam bentuk hujan asam, embun asam, dan partikel asam. Bahan kimia yang berbentuk gas akan diabsorpsi oleh daun tanaman. Kombinasi depositkering, basah atau bentuk asam yang diserap tanaman tersebut disebut *deposit asam* dan air yang jatuh dari udara disebut *hujan asam*. Deposit asam juga dapat terbentuk dari emisi NO dan SO dari asap kendaraan di daerah perkotaan. Karena titik air dan partikel lainnya didapat dari atmosfer pada lokasi tertentu, maka deposit asam ini menjadi permasalahan regional.

Presipitasi (hujan) secara alamiah mempunyai derajat ke-asaman yang bervariasi dan rata-rata pH sekitar 5,6. Deposit asam yang kurang dari 5,6 dapat menyebabkan pengaruh negatif terhadap makhluk hidup, terutama pH di bawah 5,1 akan menyebabkan berbagai kerusakan sebagai berikut.

- a. Merusak monumen, patung, bangunan, bahan logam dan mobil.
- b. Membunuh ikan, tanaman air, dan mikroorganisme yang hidup dalam sungai dan danau.
- c. Mengurangi daya reproduksi beberapa jenis ikan, seperti ikan salmon pada pH di bawah 5,5.
- d. Membunuh dan menghambat daya reproduksi beberapa jenis plankton di bawah pH optimum 6.
- e. Mengganggu sirkulasi nitrogen dalam danau pada pH 5,4-5,7.
- f. Membunuh pohon, terutama jenis pohon cemara karena mengakibatkan berkurangnya unsur hara tanah seperti Ca, Na, dan K.

- g. Merusak akar pohon dan kematian beberapa jenis ikan karena terbebasnya ion logam beracun seperti Al, Pb, Hg, dan Cd dari tanah dan sedimen.
- h. Makin lemahnya daya tahan pohon sehingga peka terhadap serangan penyakit, serangga, kekeringan, dan jamur.
- i. Menghambat pertumbuhan tanaman pangan, sayuran seperti tomat, kedelai, kacang, bayam, wortel, brokoli, dan tanaman kapas.
- j. Meningkatkan populasi mikroorganisme seperti giardia, protozoa yang menyebabkan penyakit diare yang menyerang
- k. Terjadinya erosi logam beracun seperti tembaga dan timbal di kota dan perumahan melalui pipa air ke dalam air minum.
- l. Menyebabkan penyakit pernapasan pada orang atau ibu hamil sehingga banyak bayilahir prematur dan meninggal.

Deposit asam yang terdapat dalam lokasi tanah, danau, dan sungai yang bersifat alkalis dapat dinetralkan dalam reaksi asam dan basa. Bila deposit asam berlangsung terus sepanjang tahun, deposit asam akan dapat mengurangi daya netralisasi tersebut. Akibatnya, pohon dalam jumlah besar mulai layu dan ikan mati mengambang dalam danau dan sungai. Hal tersebut dapat terjadi dalam kurun waktu 10-20 tahun sehingga terlambat untuk mencegahnya.

Deposit asam ini telah menjadi masalah yang serius di Eropa, Amerika Utara, Kanada, Cina, Brazil, dan Nigeria; juga menjadi masalah di beberapa negara industri baru di Asia, Amerika Latin, dan Afrika. Tanah di beberapa lokasi yang mengandung mineral dan substansi alkalis akan dapat menetralkan deposit asam tersebut, tetapi kondisi asam dalam lapisan tanah yang tipis, daya menetralisasi asamnya sangat rendah. Bila terjadi deposit asam terus-menerus, kemampuan untuk menetralkan menjadi berkurang. Deposit asam yang terlarut ke dalam sungai atau danau akan dapat membunuh organisme akuatik di daerah tersebut.

Di Indonesia, kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, dan Surabaya merupakan kota yang derajat pencemaran udaranya tertinggi, terutama berasal dari gas buang kendaraan bermotor. Menurut hasil laporan Badan Lingkungan Hidup Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNEP) pada bulan Oktober 1995, Jakarta menduduki peringkat nomer tiga dalam pencemaran udara terberat setelah Mexico City dan Bangkok. Di beberapa lokasi di Jakarta telah banyak dilakukan penelitian jenis gas pencemar udara ini seperti yang dilakukan oleh Badan Pengendali Dampak

Lingkungan (Bapedal). Dari hasil penelitian tersebut dilaporkan bahwa udara di jalan raya yang ramai dilalui kendaraan bermotor, kandungan NO sangat tinggi (Lihat Tabel 2.1).

Tabel 3.1 Emisi gas buang NO pada beberapa lokasi jalan raya di Jakarta Tahun 1991-1992 tiap 8 jam yang sibuk.

Lokasi	Jumlah kendaraan yang lewat (buah)	Kandungan NO (ppm) (yang diizinkan 0,05)
Jl. Jend. Sudirman	9624 – 192956	0,125
Jl. Gatot Subroto	15687 – 15749	0,058
Jl. S. Parman	11540 – 13894	0,056
Jl. Kramat Raya	9014 – 9202	0,061
Jl. Casablanca	1316 – 1480	0,053

Keterangan: Lokasi Jumlah kendaraan yang lewat (buah) Kandungan NO (ppm) yang diizinkan 0,05 (*Sumber: Kompas, 19 Januari 1997*)

Dari beberapa jenis merek mobil yang beredar di Indonesia menurut Nugroho yang dimuat dalam *Kompas*, 30 Mei 1996, mempunyai gas buang CO yang berbeda-beda, dan emisi CO dari gas buang tersebut masih berada di atas dari angka yang direkomendasikan Pemerintah Indonesia (sekitar 4%). Menurut laporan badan proteksi lingkungan Amerika tahun 1990, bahan bakar bensin mengeluarkan gas buang CO paling besar bila di-bandingkan dengan solar dan gas (BBG). Untuk setiap giga Joule energi yang dihasilkan, bensin mengeluarkan CO = 10.400 g, solar 340 g dan BBG hanya sebesar 4 g.

Tabel 3.2 Emisi gas buang CO menurut jenis merek mobil tahun 1992

<i>Merek</i>	<i>Gas buang CO (%)</i>
New Great Corolla	9,35
Mercedes Benz 200E	6,73
Mazda 626	5,50

Sumber: Kompas, 30 Mei 1996

Menurut penelitian Tri-Tugaswati,dkk. (1996), pada dua lokasi di daerah Jakarta dalam kurun waktu 1986 sampai dengan 1990 menunjukkan kecenderungan penurunan kadar sulfat dalam suspensi partikel, tetapi di lain pihak kadar nitratnya naik (Tabel 2.3).

Tabel 3.3 Kandungan rerata sulfat dan nitrat dalam suspensi partikel udara (mg/m^3) di dua lokasi di Jakarta Tahun 1986-1990

Tahun	Lokasi			
	Rawasari		Pulogadung	
Tahun	Sulfat	Nitrat	Sulfat	Nitrat
1986	10,70	1,19	12,17	2,55
1987	8,39	3,93	10,22	3,07
1988	7,71	5,38	7,68	2,98
1989	5,36	6,05	9,00	5,85
1990	3,43	3,85	7,62	4,80

Sumber: Tri-Tugaswati dkk. (1996).

Dengan adanya emisi sulfat dan nitrat di udara maka kecenderungan terjadinya deposit asam sangat besar, karena senyawa sulfat dan nitrat dapat berikatan dengan air hujan sehingga terbentuk hujan asam (H_2SO_4 dan HNO_3). Terjadinya hujan asam di Jakarta dan Bandung dilaporkan dari hasil analisis pH air hujan di kedua kota besar tersebut yang terus menurun dari tahun ke tahun. Di Jakarta, pH air hujan di tahun 1990 sekitar 5,75 dan terus menurun menjadi 5,23 di tahun 1995, sedangkan di Bandung pH air hujan dari 6,62 di tahun 1990 menurun menjadi 5,01 di tahun 1996 (Rosalina, 1997). Dari penurunan pH air hujan tersebut terlihat bahwa pH-nya di bawah kondisi alamiah minimum 5,60, maka dikhawatirkan akan berdampak negatif terhadap makhluk hidup yang berada di daerah sekitarnya.

3.4 Pengaruh Pencemaran Udara Terhadap Lapisan Ozon

Bahan kimia untuk proses pendingin ruangan (*air conditioner/AC*) ialah klorofluorokarbon (CFC), atau yang populer disebut freon yang telah dikembangkan sejak penemuannya di tahun 1930. Bahan ini sangat stabil, tidak berbau, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan bahkan tidak korosif, sehingga sangat baik untuk pendingin ruangan dan *refrigerator* (kulkas). Bahan kimia ini juga dipergunakan untuk sterilisasi sebagai aerosol di rumah sakit, untuk membuat busa plastik sebagai penyekat, dan sebagainya. Sejak selesai perang dunia kedua (1945), penggunaan beberapa jenis CFC dipakai secara luas, sehingga CFC diproduksi besar-besaran di Amerika Serikat.

Dengan digunakannya bahan kimia yang sangat menguntungkan tersebut secara besar-besaran maka CFC bocor ke udara sangat mungkin terjadi, misalnya penyemprotan ruangan, kebocoran kulkas dan *air conditioner*, serta pembakaran busa plastik. Dengan demikian, CFC terbebas ke udara dan bergerak ke lapisan stratosfer. Dalam lapisan stratosfer di bawah pengaruh radiasi sinar ultraviolet berenergi tinggi, bahan tersebut terurai dan membebaskan atom klor. Klor akan mempercepat pemecahan ozon menjadi gas oksigen (O_2). Diperkirakan satu atom klor akan dapat mengurai 100.000 molekul O_3 . Di samping itu, gas dari rumah kaca dan beberapa atom lainnya seperti bahan yang mengandung bromium (Br), yang disebut halon juga ikut memperbesar pemecahan ozon tersebut.

Pada tahun 1988, Badan Antariksa Nasional Amerika Serikat (NASA) melaporkan bahwa ozon dalam lapisan stratosfer berkurang sampai 3% di atas Amerika Utara, Eropa, Cina, dan Jepang sejak tahun 1969. Kemudian di tahun 1980-an para peneliti sangat terkejut karena setiap tahun ozon di lapisan stratosfer menurun sampai 50% di atas Antartika dari September sampai November. Dalam tahun 1987, lubang ozon di atas Antartika melebar sampai ke benua Amerika. Dalam tahun 1989 dilaporkan lagi bahan-bahan klorin terdeteksi dalam stratosfer di daerah Kutub Utara. Di samping itu proses alamiah juga dapat menyebabkan berkurangnya lapisan ozon tersebut, seperti meletusnya gunung berapi yang besar.

Temuan kadar ClO yang tinggi dalam lapisan stratosfer di Antartika pada musim semi dapat menunjang teori rusaknya lapisan ozon oleh katalisis kimiawi. Radikal katalisis yang aktif dari NO_2 dan BrO juga menyokong teori tersebut. Tetapi Cox dan Hayman (1988) menyatakan, karena relatif kecilnya kandungan NO, dalam lapisan stratosfer maka NO_2 hanya berperan kecil dalam memecah ozon. Karena itu peran siklus katalisis BrO dan ClO sangat besar dalam proses pemecahan ozon menjadi oksigen, terutama ClO sendiri bereaksi dengan proses fotodisosiasi dari Cl_2O_2 dengan reaksi sebagai berikut:



dimana M adalah molekul lain seperti BrO dan sebagainya.

Rodgers (1988) menyatakan bahwa pengukuran berkurangnya ozon dengan alat Solar Backscatter Ultraviolet (SBVU) yang diletakkan dalam satelit penelitian Nimbus yang berada di dalam atmosfer masih dalam perdebatan, karena penurunan konsentrasi ozon terlalu besar dari yang diperkirakan menurut teori kalkulasi yang dilakukan oleh tim peneliti. Tetapi bagaimanapun penurunan kadar ozon di stratosfer ini dapat mengakibatkan hal yang negatif bagi kehidupan, sehingga ini perlu dicegah dengan tindakan yang nyata.

3.4 Pengaruh Lubang Ozon Terhadap Kehidupan

Dengan berkurangnya lapisan ozon dalam stratosfer, maka radiasi sinar ultraviolet lebih banyak sampai ke permukaan bumi. Badan proteksi lingkungan (EPA) memperkirakan 5% ozon yang berkurang akan dapat menyebabkan gangguan pada makhluk hidup sebagai berikut.

- a. Lebih banyak kanker sel basal dan sel squamous, tetapi akan segera sembuh bila cepat diobati.
- b. Lebih banyak kasus kanker kulit melanoma yang sering berakibat fatal dan menyebabkan kematian tiap tahun.
- c. Menaikkan kasus katarak pada mata, kulit terbakar matahari dan kanker mata pada sapi.
- d. Menghambat daya kebal (imunitas) pada manusia sehingga lebih mudah terinfeksi penyakit.
- e. Peningkatan kasus kerusakan mata akibat asap fotokimia.
- f. Penurunan produksi tanaman pangan seperti beras, jagung
- a. *Pencemaran Udara*²³
- b. *dankedelai*.
- g. Kerugian mencapai 2 miliar dolar per tahun karena pembakaran plastik dan material polimer.
- h. Kenaikan suhu udara (pengaruh gas rumah kaca) karena terjadi perubahan iklim, penurunan produksi pertanian, dan kematian hewan liar yang dilindungi.

Karena penyebab utama rusaknya lapisan ozon adalah klorofluorokarbon (CFC), maka perlu dilakukan pembatasan penggunaan CFC/freon dalam kehidupan sehari-hari, yaitu sebagai berikut.

- a. Penghentian penggunaan CFC dalam penyemprotan aerosol dan untuk pendingin ruangan.
- b. Penghentian produksi busa plastik yang menggunakan CFC dan perlu diganti dengan bahan lain.
- c. Bengkel mobil untuk pengisian freon harus dapat mendaur-ulang freon dari mobil yang ber-AC.

- d. Mobil yang menggunakan Freon untuk AC yang mudah bocor harus diganti atau dihentikan.
- c. Langkah berikutnya ialah menghentikan semua penggunaan CFC, halon, metil kloroform dan karbon tetraklorid.

Penggantian bahan pendingin untuk AC dan refrigerator akan memerlukan biaya tinggi, tetapi bila dibandingkan antara kepentingan ekonomi dengan gangguan kesehatan karena berkurangnya lapisan ozon adalah sangat kecil. Pada suatu konferensi internasional di Helsinki tahun 1989, delegasi dari 81 negara setuju se-cara aklamasi menghentikan penggunaan dan memproduksi CFC sampai tahun 2000. Juga penggunaan bahan lain yang dapat mengurangi ozon seperti halon, karbon tetraklorid, dan metil kloroform harus dikurangi.

Walaupun produksi dan penggunaan semua CFC serta bahan lain tersebut segera dihentikan, namun akan diperlukan waktu lebih dari 100 tahun untuk memulihkan kondisi ozon seperti se-mula. Hal ini disebabkan karena telah banyaknya timbunan bahan perusak ozon dalam atmosfer. Dengan demikian, kuncinya ialah kita harus mengorbankan kerugian ekonomi dalam jangka pendek untuk meninggalkan bahan-bahan tersebut, dan menggantikannya dengan bahan lain yang aman bagi kehidupan generasi yang akan datang.

Apabila diamati sejenak, iklim yang panas akan terasa tidak mengenakan bagi kehidupan. Tetapi kondisi panas tersebut dapat menaikkan produksi tanaman pangan mencapai 60-80% di beberapa daerah karena lebih banyak CO₂ di dalam atmosfer yang dapat menaikkan laju fotosintesis. Kenaikan suhu dalam troposfer dapat menyebabkan pendinginan dalam lapisan stratosfer, sehingga kondisi tersebut dapat menyebabkan reaksi perusakan ozon secara perlahan. Selain itu, akan banyak terjadi kerugian karena pemanasan global akan menaikkan penggunaan pendingin ruangan. Produksi tanaman pangan akan banyak terserang hama se-rangga, karena dalam kondisi panas serangga dapat cepat ber-kembang biak. Kondisi panas akan dapat menaikkan laju penguapan pada tanaman, sehingga tanaman sangat memerlukan keter-sediaan air cukup. Air dalam tanah akan menguap dan sulit untuk ditanami tanaman produksi pangan.

Kenaikan suhu udara rata-rata 4°C akan dapat mengubah pergantian musim, sehingga musim hujan berkurang, timbul angin kencang dan arus gelombang pasang. Bencana banjir terjadi di musim hujan dan sebaliknya terjadi kekeringan di musim kering yang panjang. Tanah yang subur akan berubah menjadi padang pasir yang tandus, danau mulai mengering dan bencana kekeringan serta kelaparan akan meluas. Beberapa penelitian dengan menggunakan model menunjukkan bahwa kenaikan suhu atmosfer rata-rata 4°C dapat menaikkan permukaan

laut 0,5 sampai 1,5 m selama 50 sampai 100 tahun, dengan asumsi bahwa es di kutub tidak mencair. Tetapi bila es di kutub terjadi pencairan, kenaikan air permukaan laut menjadi lebih tinggi lagi. Akibatnya, akan dapat menenggelamkan sepertiga dari permukaan bumi terutama daerah yang rendah. Hal seperti ini telah terjadi pada masa berakhirnya zaman es pada 120.000 tahun yang lalu ketika permukaan air laut naik sampai mencapai 6 m.

Badan proteksi lingkungan Amerika (EPA) memproyeksikan bahwa bila permukaan laut naik 1 m akan dapat merusak daerah pantai sekitar 26% sampai 65% di Amerika. Kadar garam di daerah muara sungai, danau dan daratan dekat pantai akan naik dan tidak dapat digunakan lagi sebagai air minum, karena air laut sudah mengintrusi air tanah.

3.6 Upaya Mencegah Terjadinya Pemanasan Global

Tanda-tanda pemanasan global sebetulnya sudah mulai terasa pada kurun waktu belakangan ini, seperti yang telah diuraikan di bagian depan. Dari hal tersebut diakibatkan oleh beberapa hal yang terlihat nyata dalam kehidupan kita. Misalnya, kenaikan harga beberapa jenis makanan yang diakibatkan oleh terbatasnya lahan yang dapat ditanami setelah bencana banjir dan kekeringan. Kualitas lingkungan juga mulai menurun dan terjadi perubahan musim yang tidak menentu.

Pada dasarnya ada dua pilihan dalam memperlambat terjadinya pemanasan global ini, yaitu: a) pengurangan pembangunan rumah kaca, dan b) penggantian bahan bakar minyak dengan bahan alternatif lainnya. Beberapa cara yang harus dilakukan untuk menghambat pemanasan global ialah:

- a. Penghentian emisi CFC dan halon;
- b. pengurangan penggunaan bahan bakar minyak sedikitnya 20% sampai tahun 2000 dan 50% sampai tahun 2015, dengan jalan pemberian pajak yang tinggi terhadap minyak bumi dengan mengganti bahan alternatif pengganti lainnya serta penggunaan bahan yang lebih efisien dan irit;
- c. pengurangan penggunaan energi batubara, yang dapat menyumbangkan polusi CO₂ sampai 60% per unit produksi dengan cara mengganti penggunaan batubara dengan gas alam dalam pembangkit tenaga listrik;
- d. penggunaan *filter* atau *scrubber* untuk menyaring CO₂ dari asap buangan pabrik ataupun pembangkit tenaga listrik yang menggunakan bahan bakar batubara;

- e. produksi mobil yang irit bahan bakar ditingkatkan sehingga emisi CO₂ yang terbang juga sedikit;
- d. *26 Lingkungan hidup dan Pencemaran*
- e. Peningkatan penggunaan energy matahari, angin, dan panas bumi;
- f. peningkatan penggunaan gas alam sebagai pengganti minyak bumi untuk energy dalam masatransisi;
- g. penebangan hutan harus dikurangi dan penanaman pohon sebagai pengganti(reboisasi) ditingkatkan;
- h. penurunan jumlah kelahiran dalam keluarga berencana.

Penggunaan energi nuklir dapat ditingkatkan, tetapi harus ditingkatkan pula sistem keamanannya dan penanganan limbahnya terhadap bahaya radiasi. Bila kewajiban dan cara penanganan persyaratan tersebut sangat baik maka energi nuklir ini sangat bermanfaat untuk masa yang akan datang. Tetapi beberapa masalah timbul yaitu tidak dapat digunakannya energi nuklir untuk bahan bakar kendaraan bermotor sehingga sumbangannya terhadap pengurangan CO₂ di udara relatif kecil.

Dalam beberapa hal tersebut banyak pengamat lingkungan meragukan kesediaan beberapa negara untuk menyetujui alternatif tersebut, terutama dalam hal penggunaan minyak bumi dan penebangan hutan. Dari dua hal tersebut beberapa negara memperoleh pendapatan yang cukup besar untuk memperbaiki sistem perekonomiannya. Pembatasan penggunaan minyak bumi secara ketat dengan tidak memperhatikan bagaimana pengaruhnya terhadap kualitas lingkungan dalam jangka panjang dan terhadap pertimbangan ekonomi, akan menyebabkan gangguan sosial ekonomi suatu negara dalam jangka pendek, sehingga banyak negara penghasil minyak tidak dapat menerimanya. Dari hal tersebut jalan keluarnya ialah pada saat mulai dilakukannya pengurangan penggunaan bahan bakar minyak dan penebangan hutan, maka pada saat itu juga perlu dilakukan langkah yang konkret sebagai alternatif menghadapi pemanasan global. Beberapa ahli menyarankan langkah sebagai berikut.

- a. Penelitian yang intensif terhadap penanaman tanaman pangan yang tahan terhadap sedikit air dan tanaman pangan yang tahan terhadap air berkadar garam tinggi.
- b. Membangun bendungan yang dapat menahan daerah pantai terhadap pasang air laut, seperti dilakukan di negara Belanda.
- c. Menghentikan konstruksi di daerah pantai yang landai.

- d. Memindahkan pembuangan tangki bahan beracun di dekat pantai ke daerah yang jauh dari lokasi pantai.
- c. Menimbun persediaan makanan yang cukup untuk kurun waktu yang lama.
- d. Memperluas daerah konservasi pantai untuk kehidupan satwa liar dan membuat daerah bara untuk konservasi sumberdaya alam.

Membuat rencana tersebut dan merealisasikannya akan memakan waktu lama, mungkin lebih dari 20 tahun dan memerlukan biaya yang sangat besar.

BAB IV

PENCEMARAN AIR TANAH

Air tanah merupakan sumber air minum yang sangat vital bagi penduduk di Indonesia terutama di daerah pedesaan. Tetapi sampai sekarang hal yang mengenai kualitas air tanah di berbagai daerah di Indonesia belum banyak dilaporkan. Di Amerika Serikat sampai tahun 1988 ditemukan 38 jenis bahan kimia mencemari air tanah yang digunakan untuk minum. Badan Proteksi Lingkungan Amerika (US EPA) melaporkan bahwa 45% dari fasilitas air minum asal air tanah telah terkontaminasi bahan kimia organik sintesis yang cukup berbahaya terhadap

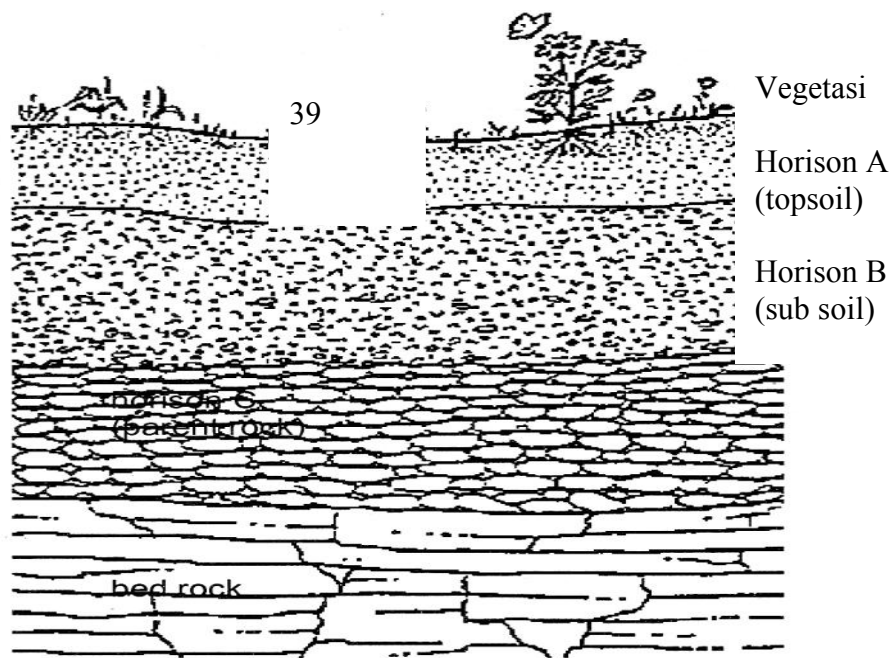
kesehatan konsumen. Bahan kimia yang paling banyak ditemukan ialah trikloroetilen (TCE), karbon tetraklorid, dan kloroform. Di samping itu, air tanah terkontaminasi oleh 74 macam pestisida. Beberapa penelitian juga dilaporkan bahwa yang paling sering ditemukan dalam air sumur ialah nitrat dan jenis pestisida pertanian untuk pupuk mau-pun untuk membunuh parasit cacing nematoda yang merusak akar tanaman.

4.1 Sifat- Sifat Tanah

Tanah merupakan campuran dari berbagai mineral, bahan organik, dan air yang dapat mendukung kehidupan tanaman. Tanah umumnya mempunyai struktur yang lepas dan mengandung bahan-bahan padat dan rongga-rongga udara. Bagian-bagian mineral dari tanah dibentuk dari batuan induk oleh proses-proses pelapukan fisik, kimia dan biologis. Susunan bahan organik tanah terdiri dari sisa-sisa biomas tanaman dari berbagai tingkat penguraian atau pembusukan. Sejumlah besar bakteri, fungi, dan hewan-hewan seperti cacing tanah dapat ditemukan di dalam tanah.

Fraaksi padat dari jenis tanah produktif terdiri dari kurang lebih 5 % bahan organik dan 95 % bahan anorganik. Beberapa jenis tanah, seperti tanah gambut dapat mengandung bahan organik sampai 95 %, jenis tanah lainnya ada yang hanya mengandung 1 % bahan organik.

Jenis-jenis tanah tertentu mempunyai lapisan-lapisan yang berbeda (horizon), bila tanah itu semakin kedalam, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

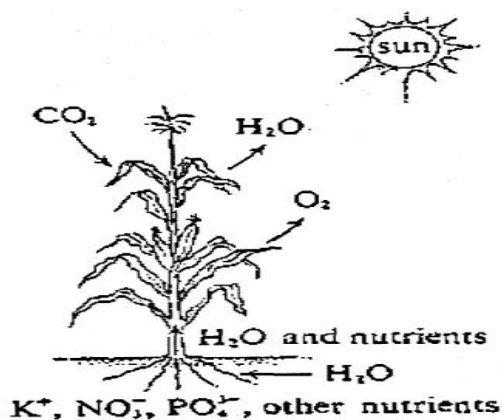


Gambar 4.1 *Profil tanah yang memperlihatkan horizon-horizon tanah*

Lapisan atas, umumnya terdiri dari ketebalan sampai beberapa inci dan dikenal sebagai horizon A atau tanah atas (*“top soil”*). Lapisan ini merupakan lapisan dimana aktivitas biologis berjalan secara maksimum dan mengandung paling banyak bahan organik tanah. Ion-ion logam dan partikel-partikel tanah liat dalam horizon A paling mudah mengalami pencucian (*“leaching”*). Lapisan berikutnya adalah horizon B atau *“sub soil”*. Lapisan ini menerima material-material seperti bahan organik, garam-garam, dan partikel-partikel Clay yang merembes dari lapisan tanah atas. Horizon C tersusun dari pelapukan batuan induk dimana tanah berasal.

4.2 Air dan Udara Dalam Tanah

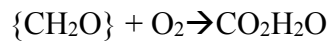
Sejumlah besar air diperlukan untuk memproduksi sebagian terbesar bahan-bahan tanaman. Misalnya, beberapa ratus Kg air diperlukan untuk memproduksi 1 Kg jerami kering. Air ini berasal dari dalam tanah dan bergerak ke atas melalui struktur tanaman yang membawa zat-zat makanan bersama-sama bahan-bahan lainnya. Air ini menguap ke atmosfer melalui daun-daun tanaman dan proses ini disebut transpirasi (Gambar 4. 2)

Gambar 4.2 *Transport air oleh tanaman dan tanah ke atmosfer melalui transpirasi.*

Tidak semua air dalam tanah diikat dengan kekuatan yang sama. Air yang terdapat dalam rongga-rongga yang lebih besar, atau pori-pori di dalam struktur tanah lebih mudah terlepas. Air yang diikat dalam pori-pori yang lebih kecil atau di antara unit lapisan-lapisan dari partikel-partikel Clay diikat lebih kuat.

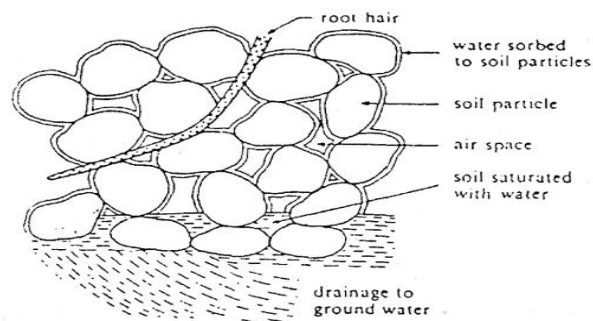
Ion-ion logam terlarut memberikan efek toksik terhadap beberapa tanaman pada konsentrasi tinggi. Oksidasinya menjadi oksida-oksida tidak larut dapat menyebabkan pembentukan deposit Fe_2O_3 dan MnO_2 yang menyumbat saluran air di lapangan.

Secara umum 25 % volume suatu jenis tanah disusun oleh pori-pori yang diisi penuh udara atmosfer yang kering secara normal pada ketinggian yang sama dengan permukaan air laut mengandung 20,95 % O_2 dan 0,0314 % gas CO_2 (% volume). Hal ini tidak berlaku untuk tanah, karena terjadinya proses penguraian bahan-bahan organik seperti:



Oleh karena itu udara dalam tanah mengandung lebih sedikit oksigen secara proporsional dibandingkan dengan udara atmosfer.

Kalau udara dalam tanah mengandung lebih sedikit oksigen, yaitu hanya kurang lebih 15 %, maka kandungan karbondioksida meningkat sampai beberapa ratus kali dari udara. Hal ini disebabkan oleh proses penguraian bahan organik seperti reaksi penguraian diatas. Gambar 4.3 memperlihatkan struktur tanah halus yang menggambarkan adanya bahan padat, air, dan rongga-rongga udara.



Gambar4. 3 Struktur tanah halus
(Sumber : Manahan, 1994)

4.3 Bahan-bahan Organik Dalam Tanah

Di dalam tanah yang produktif, meskipun kandungan bahan organiknya kurang dari 5%, namun demikian meskipun jumlah yang tidak terlalu besar dari bahan organik ini memainkan peran yang sangat penting

dalam penentuan produktivitas tanah. Bahan organik merupakan sumber makanan bagi mikro organisme di dalam tanah. Melalui reaksi-reaksi kimia yang terjadi seperti reaksi pertukaran kation akan dapat menentukan sifat kimia tanah. Di antara komponen-komponen aktif

secara biologis dari bahan organik tanah adalah, polisakarida, gula-gula amino, nukleosida, dan belerang organik, serta senyawa-senyawa fosfor. Sebagian besar dari bahan organik di dalam tanah terdiri dari bahan-bahan tidak larut dalam air dan relatif tahan terhadap penguraian. Bahan ini disebut humus. Humus disusun oleh fraksi dasar yang disebut asam-asam humat dan fulvat dan sebuah fraksi tidak larut yang disebut humin. Senyawa-senyawa atau bahan-bahan organik dalam tanah diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Klasifikasi Senyawa-senyawa Organik Dalam Tanah

Tipe Senyawa	Komposisi	Pengaruh / Kegunaan
Humus	Sisa degradasi dari penguraian tanaman, banyak mengandung C, H, dan O.	Kelimpahan bahan organik meningkatkan sifat-sifat fisik tanah, pertukaran akar, tempat persediaan nitrogen.
Lemak-lemak, resin dan lilin	Lemak-lemak yang dapat diekstraksi oleh pelarut-pelarut organik.	Secara umum hanya beberapa % dari bahan organik tanah yang dapat mempengaruhi sifat-sifat fisik tanah.
Sakarida	Sellulosa, jerami, hemi-sellulosa.	Makanan utama bagi mikro organisme tanah, membantu menstabilkan agregat tanah.
Nitrogen dalam bahan organik	Ikatan N pada humus, asam amino, gula amino.	Penyedia nitrogen untuk kesuburan tanah.

Senyawa-senyawa fosfor	Ester-ester fosfolipid.	fosfat,	Sumber dari fosfat tanaman.

Sumber : Manahan, 1994

Satu sumber penting dari bahan organik yang resisten terhadap degradasi di dalam tanah adalah lignin. Kayu dan struktur bahan dari tanaman-tanaman berkayu terdiri dari selulosa di dalam kombinasi dengan lignin, zat-zat polimer dengan kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan selulosa.

4.4 Bahan-bahan Anorganik Dalam Tanah

Selain senyawa organik, tanah mengandung pula bahan-bahan anorganik seperti nitrogen, fosfor, kalium yang kandungannya kadang jauh berbeda antara tanah yang satu dengan tanah yang lainnya.

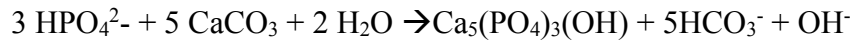
Nitrogen merupakan salah satu komponen essensial dari protein dan bahan-bahan hidup lainnya. Tanah yang kaya akan nitrogen selain menghasilkan tanaman dengan produksi yang lebih tinggi juga kadar protein yang cukup tinggi. Nitrogen yang paling mudah tersedia untuk tanaman adalah sebagai ion nitrat, NO_3^- . Tanaman padi masih memerlukan ion nitrat untuk pertumbuhannya, tetapi untuk beberapa tanaman lain bentuk nitrat ini merupakan racun. Bila di dalam tanah nitrogen terdapat dalam bentuk ammonium, maka bakteri nitrifikasi melakukan fungsi yang essensial di dalam merubah senyawa ini menjadi ion nitrat.

Tanaman dapat mengabsorbsi nitrogen dalam bentuk nitrat secara berlebihan dari tanah yang mengandung banyak nitrat. Hal ini terjadi bila lahan pertanian di pupuk cukup banyak pada musim kemarau. Bila tanaman ini dimakan hewan herbivora seperti sapi akan mengakibatkan keracunan.

Seperti halnya dengan nitrogen, **fosfor** harus ada dalam tanah dalam bentuk anorganik sebelum diserap oleh tanaman biasanya dalam bentuk ion ortofosfat. Di dalam kisaran pH yang dominan dalam tanah, H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} merupakan jenis-jenis yang sering ditemukan.

Pada pH tanah mendekati netral fosfor bentuk ortofosfat yang paling banyak tersedia untuk tanaman. Dalam tanah yang bersifat relatif asam, ion ortofosfat diendapkan atau diabsorbsi oleh jenis-jenis Al (III) dan Fe (III).

Dalam tanah bersifat basa ortofosfat dapat bereaksi dengan kalsium karbonat membentuk senyawa hidroksil yang tidak larut.



Pada umumnya karena terjadinya reaksi ini sedikit fosfor yang digunakan sebagai pupuk tercuci dari tanah. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya pencemaran dan penggandaan pupuk fosfat.

Kalium dalam tanah diperlukan dalam jumlah yang relatif tinggi untuk pertumbuhan tanaman. Kalium mengaktifkan beberapa jenis enzim dan memegang peranan penting di dalam keseimbangan air dalam tanaman. Hasil-hasil pertanian biasanya berkurang cukup besar pada tanah-tanah yang mengalami defisiensi kalium. Makin tinggi produktivitas tanaman, makin besar pula kalium yang dilepaskan dari dalam tanah. Bila pupuk nitrogen ditambahkan ke dalam tanah untuk meningkatkan produktivitas, pelepasan kalium akan diperbesar. Oleh karena itu, kalium akan menjadi hara pembatas di dalam tanah yang dipupuk cukup banyak oleh hara-hara lain.

Kalium adalah salah satu unsur yang terdapat dalam jumlah besar di kerak bumi yaitu sebesar 2,6 %. Sebagai contoh adalah yaitu senyawa rangkap K_2O , Al_2O_3 4SiO_2 .

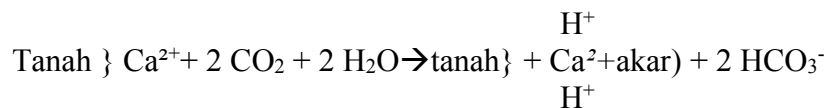
4.5 Peranan Air dalam Reaksi Asam-Basa dan “ION-EXCHANGE” dalam Tanah

Salah satu fungsi kimia yang lebih penting dari tanah adalah **pertukaran dari kation**. Kemampuan suatu sedimen atau tanah untuk menukar kation dinyatakan sebagai **kapasitas pertukaran kation** (“cation-exchange capacity” atau CEC), yaitu jumlah milliequivalen dari kation-kation monovalent yang dapat ditukar per 100 g tanah kering. Nilai CEF harus diukur pada kondisi yang konstan karena akan sangat bervariasi dengan kondisi tanah seperti pE dan pH. Kedua komponen tanah yaitu mineral dan bahan organik dari tanah melakukan pertukaran kation.

Mineral-mineral tanah liat atau Clay menukar kation karena adanya muatan negatif pada permukaan mineral tersebut, dihasilkan dari substitusi suatu atom dengan bilangan oksidasi rendah kepada bilangan oksidasi lebih tinggi, misalnya magnesium kepada aluminium. Bahan-bahan organik menukar kation karena adanya gugus karboksilat dan gugus fungsional lainnya. Humus merupakan komponen tanah yang mempunyai kapasitas pertukaran kation yang cukup

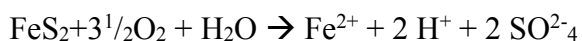
tinggi. Tanah yang subur mempunyai kapasitas menukar ion berkisar antara 300-400 meq/ 100 g dan untuk jenis tanah dengan lebih banyak bahan organik berkisar antara 10-30 meq/100 g.

Peristiwa pertukaran kation dalam tanah merupakan mekanisme dimana kalium, kalsium, magnesium, dan logam-logam mikro esensial menjadi tersedia bagi tanaman. Ketika ion-ion logam hara terserap oleh akar tanaman, ion hidrogen bertukar dengan ion-ion metal. Proses ini dengan adanya “leaching” dari kalsium, magnesium, dan ion-ion metal lainnya dari tanah oleh air yang mengandung asam karbonat cenderung membuat tanah menjadi asam.

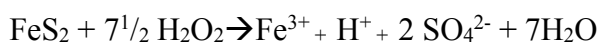


Tanah bertindak sebagai suatu buffer dan menahan perubahan pH.

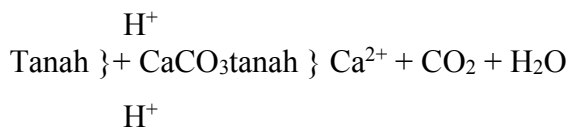
Oksidasi dari pirit dalam tanah menyebabkan pembentukan “asam sulfat tanah” yang disebut “Cat Clay” :



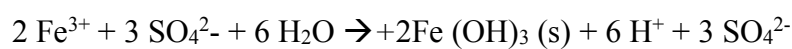
Telah banyak ditemui lapisan dari asam sulfat tanah dengan pH mencapai 3,0. Untuk mengetahui telah terjadi pembentukan asam sulfat tanah dapat dilakukan tes dengan pereaksi hidrogen peroksida (“peroxide test”), terhadap tanah yang mengandung FeS₂ dengan H₂O₂ 30 %,



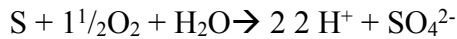
Kemudian dilakukan tes untuk keasaman dan sulfatnya. Bila hasil pengukuran menemukan pH dibawah 3,0 menunjukkan adanya pembentukan asam-sulfat tanah. Kebanyakan tanaman dapat tumbuh dengan baik pada pH hampir netral. Bila tanah menjadi terlalu asam untuk pertumbuhan optimum dari tanaman, dapat dilakukan dengan jalan menambahkan kalsium karbonat, CaCO₃, ke dalam tanah.



Dalam suatu lahan dengan curah hujan rendah, tanah akan cenderung menjadi sangat basa karena terdapatnya garam-garam seperti Na₂CO₃. tanah bersifat basa ini dapat dihilangkan dengan jalan menambahkan aluminium atau besi sulfat, yang melepaskan asam dalam proses hidrolisis :



Untuk menghilangkan sifat basa dari tanah bisa juga dilakukan dengan menambahkan belerang. Belerang yang ditambahkan kedalam tanah dioksidasi oleh bakteri sebagai mediator reaksi pembentukan asam sulfat:



Proses penurunan/penghilangan tambahan belerang diatas lebih ekonomis.

Sifat kebasaaan tanah dengan

4. 6 Permasalahan yang Dihadapi

Beberapa jenis bakteri dan bahan partikel kecil lainnya biasanya mencemari permukaan air dan tersaring oleh tanah sehingga air menjadi cukup bersih di dalam air tanah. Tetapi bilamana pencemarannya sangat berat dan melebihi kapasitas filtrasi tanah terhadap air yang tercemar, maka daya filtrasi tanah tersebut akan menurun. Daya filtrasi tanah ini terutama sangat bergantung pada jenis dan tipe tanahnya. Misalnya, pada tanah berpasir daya filtrasinya rendah.

Semua jenis tanah tidak efektif dalam menyaring virus patogen dan bahan kimia organik sintesis lainnya. Proses biodegradasi oleh bakteri terhadap buangan limbah organik terkadang tidak dapat mencapaiair tanah karena kurangnya oksigenterlarut di dalamnya, di samping itu kehidupan mikroorganisme sangat ber-kurang dalam air tanah. Bilamana air tanah mulai terkontaminasi biasanya sulit diencerkan karena pergerakan air tanah sangat lam-bat.Degradasi limbah organik tidak mudah terpecahkan dengan cepat sepertipada air permukaan karena air tanah hanya sedikit mengandung oksigen dan sangat sedikit komposisi bakteri pengurainya. Karena itu diperlukan waktu yang lama sekali (ratusan tahun) untuk membersihkan air tanah secara alamiah. Lambatnya limbah yang terdegradasi maupun nondegradasi akan me-nyebabkan kontaminasi air tanah menjadi permanen.

Karena air tanah mengalir sangat lambat, kontaminasi yang ditemukan hari ini dalam air sumur, mungkin merupakan akibat pencemaran yang terjadi beberapa tahun yang lalu. Di samping itu air sumur yang dideteksi sangat bersih hari ini mungkin terkontaminasi di kemudian hari, sebagai akibat pencemaran yang terjadi beberapa tahun yang lalu. Beberapa peneliti lingkungan berpendapat bahwa pencemaran air tanah merupakan hal yang sangat serius, problem

pencemaran air tanah yang ditemukan sekarang mungkin akan bertambah buruk pada masa yang akan datang.

4.7 Sumber Pencemaran Air Tanah

Air tanah dapat terkontaminasi dari beberapa sumber pencemar, baik lokal maupun regional. Dua sumber utama kontaminasi air tanah ialah terjadinya kebocoran bahan kimia organik dari penyimpanan bahan kimia dalam bunker yang disimpan dalam tanah, dan penampungan limbah industri yang ditampung dalam suatu kolam besar yang terletak di atas atau di dekat sumber air tanah. Perembesan minyak pelumas mobil dari suatu perbengkelan yang besar, pompa bensin, larutan pembersih dari suatu pabrik dan bahan-bahan kimia berbahaya yang tersimpan dalam gudang bawah tanah, sangat berperan dalam terjadinya kontaminasi air tanah sampai mencapai 40% dari sumber air tanah. Perembesan minyak satu galon per hari dapat mencemari air minum (asal air tanah) yang dikonsumsi 50.000 orang penduduk. Perembesan bahan polutan tersebut secara perlahan biasanya tidak diketahui atau tidak terdeteksi sampai terjadinya korban pada orang yang mengonsumsi air sumur yang bersangkutan.

4.8 Pengawasan dan Usaha Pencegahan

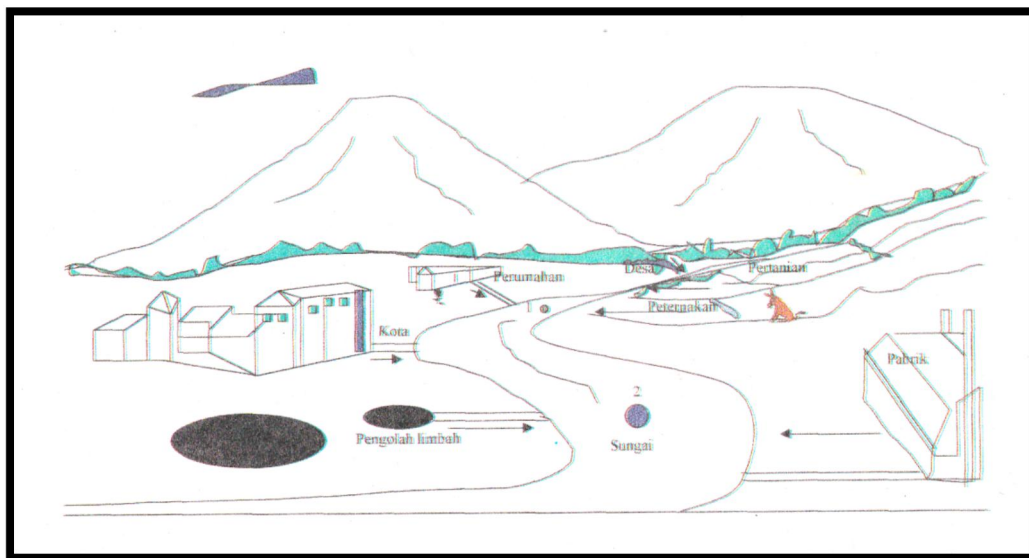
Dalam melakukan usaha pengawasan yang diikuti dengan usaha pencegahan pencemaran air, harus dititikberatkan pada pengontrolan sumber pencemarannya. Ada dua bentuk sumber pencemar, yaitu sumber pencemar utama (*point source*) dan sumber pencemar lainnya (*non-point source*). Sumber pencemar utama biasanya berasal dari sumber polusi yang menyebabkan pencemaran kadar tinggi, yaitu dari limbah pabrik maupun sarana pengolahan limbah. Sumber pencemar lainnya ialah sumber polusi dengan kadar pencemar relatif rendah yang berasal dari bermacam-macam sumber yang menyebar, misalnya dari lahan pertanian, rumah tangga, peternakan, dan sebagainya (Gambar 3.3).

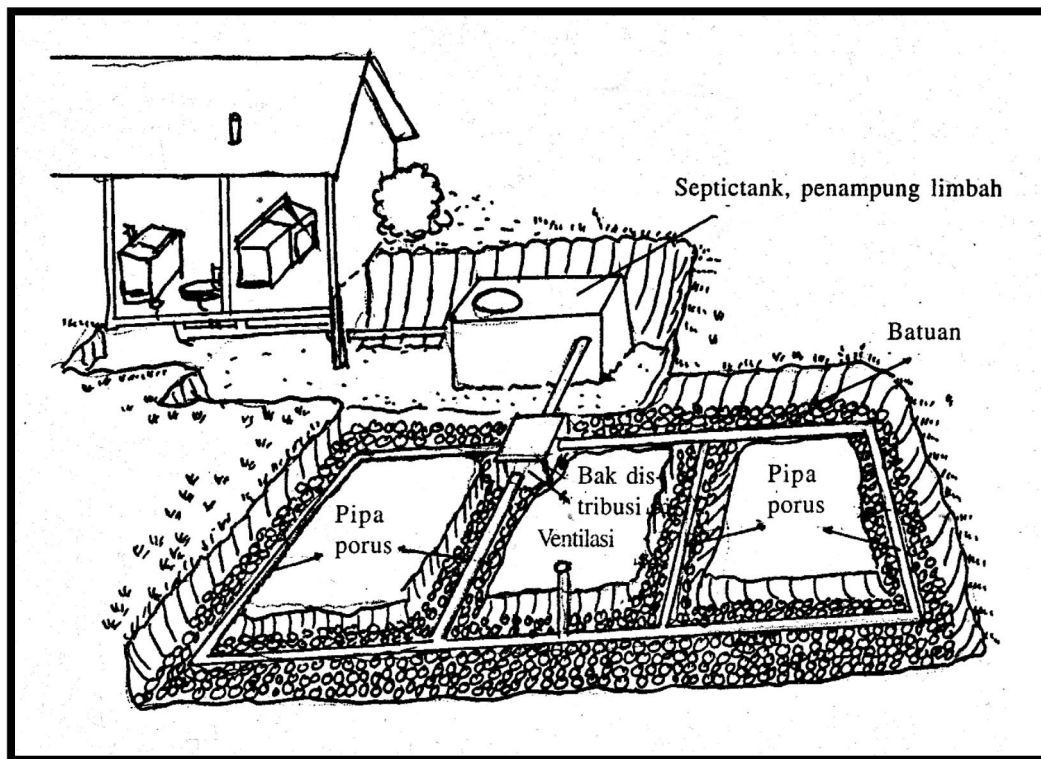
Usaha Pengontrolan dari Sumber Pencemar Utama (Point)

Sarana pengolahan limbah dalam kebanyakan negara yang sedang berkembang dan beberapa negara yang sudah maju terkadang tidak dilengkapi dengan perlakuan khusus. Pada

kebanyakan negara maju sarana pengolahan limbah dilengkapi dengan pemurnian air limbah yang melalui beberapa tingkat. Di daerah permukiman biasanya limbah yang berupa tinja ditampung dalam *septic tank*, setiap rumah mempunyai *septic tank* tersendiri. Limbah rumah tangga lainnya dibuang melalui selokan, terkadang limbah padat lainnya dibuang melalui selokan atau tempat sampah yang sering tidak terurus (Gambar 3.4).

Dengan demikian dalam pengontrolan sumber pencemar utama (*point*) tersebut semua limbah cair ditampung dalam satu atau beberapa tempat penampungan dan kelompok dalam satu area (misalnya daerah industri atau perkotaan). Kemudian diadakan perlakuan bertahap, misalnya diendapkan dan kemudian didesinfeksi, baru dibuang. Dalam suatu lokasi daerah urban yang besar seperti kota mandiri atau suatu kompleks perumahan atau *real estate*, limbah cair dari perumahan, perkantoran, dan pabrik dialirkan dalam suatu sistem kerja (*network*) melalui pipa saluran limbah dan ditampung dalam sarana pengolahan limbah yang besar seperti pada Gambar 3.5.



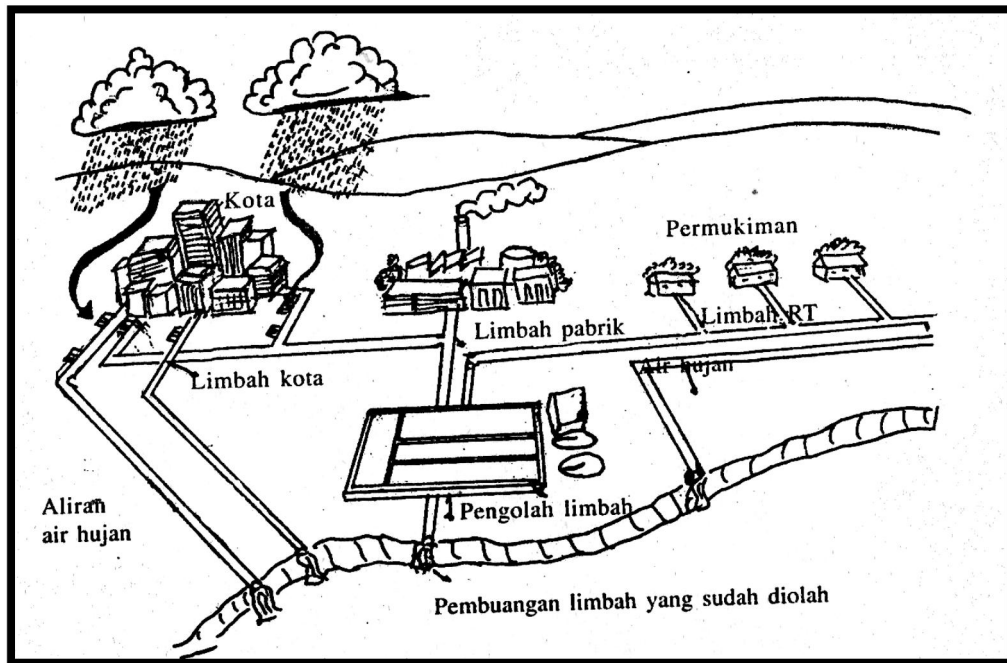


Gambar4. 3 Sistem Penampungan Limbah Cair dari Rumah Tangga dengan Metode *Septictank* yang dialirkan.

Permasalahan yang sering terjadi dalam sistem kombinasi saluran limbah tersebut, yaitu bila terjadi hujan yang lebat dan lama. Air yang mengalir akan melebihi kapasitas penampungan saluran tersebut 100 kali lebih besar dari pada yang dapat ditampung dalam sarana pengolahan limbah, sehingga kelebihan air yang meluber sebelum diolah akan masuk ke dalam air permukaan.

4.9 Pengontrolan Sumber Pencemar Lainnya

Pengontrolan sumber pencemar yang relatif kecil tetapi banyak lokasi, agak sulit dilakukan. Sumber pencemar seperti terjadinya erosi, pemakaian pupuk dan pestisida yang dilakukan petani, pengontrolannya dilakukan dengan sistem kampanye dan penerangan. Pengontrolan yang dilakukan untuk usaha pencegahan terjadinya erosi, misalnya dengan penanaman pohon (reboisasi) dan pengurangan penggunaan pupuk dan pestisida di lahan pertanian.



Gambar 4.4 Sistem jaringan pengolahan limbah dari suatu kota.

Dalam usaha pencegahan polusi yang berasal dari sumber *non-point* tersebut, terutama ditujukan pada para petani atau pengusaha pertanian dan peternakan, yang bertujuan mencegah mengalirnya pupuk pertanian ke dalam air permukaan yang digunakan penduduk. Petani disarankan agar mengurangi penggunaan pupuk yang terkadang terlalu berlebihan dan tidak bercocok tanam di lokasi lahan yang miring.

Ada beberapa cara pencegahan kontaminasi air permukaan oleh aliran air dari lahan pertanian.

- Sistem tanam digunakan tanpa pengolahan tanah sehingga memperlambat aliran larutan pupuk dan larutan tanah lumpur kedalam permukaan air.
- Lahan pertanian secara berkala ditanami kedelai atau tanaman yang dapat mengikat nitrogen (kacang-kacangan) sehingga mengurangi penggunaan pupuk nitrogen.
- Kepada petani disarankan supaya membuat daerah penyangga yang ditanami dengan tanaman keras dan permanen di antara lahan pertanian dengan aliran air permukaan.
- Petani disarankan agar mengurangi penggunaan pestisida

- e. atau tidak menggunakan pestisida sama sekali, dengan cara menggunakan sistem biologi kontrol, misalnya pemeliharaan burung hantu sebagai pemangsa hama tikus, dan pemeliharaan serangga pemangsa hama serangga lainnya.
- f. Dalam bidang peternakan, kepada peternak dianjurkan agar tidak memelihara ternak melebihi kapasitas kandang atau lahan yang tersedia.
- g. Kandang sebaiknya tidak berlokasi di lahan yang miring atau dekat sungai atau waduk yang airnya digunakan penduduk.
- h. Kotoran hewan dikumpulkan secara teratur untuk digunakan sebagai pupuk tanaman.

BAB V

KONSEP PENANGANAN PENCEMARAN

Sejalan dengan perkembangan Industri yang cepat dewasa ini dan di masa mendatang, maka pengembangan usaha pertanian, perkebunan dan industri pangan tentu tidak luput pula menjadi salah satu sumber pencemar lingkungan. Maka usaha pertanian, perkebunan dan Industri pangan berkewajiban melaksanakan upaya keseimbangan dan kelestarian sumber daya alam serta

pencegahan timbulnya kerusakan dan pencemaran terhadap lingkungan hidup sebagai akibat dari kegiatan yang dilakukannya.

Ada dua cara menangani limbah yaitu :

- (1) Pemberian perlakuan terhadap limbah agar limbah dapat dimanfaatkan kembali ("reuse") sebagai bahan mentah baru, produk baru, bahan bakar, makanan atau pupuk. Penanganan dengan cara ini disebut juga sebagai pemanfaatan limbah sebagai bahan mentah baru, bahan bakar, pakan atau pupuk. Penanganan dengan cara ini disebut juga sebagai pemanfaatan limbah.
- (2) Pemberian perlakuan terhadap limbah agar limbah semata-mata dapat dibuang dalam keadaan bebas bahaya pencemaran, tanpa usaha mengambil manfaat langsung dari padanya (kecuali manfaat tak langsung jangka panjang, berupa kelestarian lingkungan)

Sebenarnya, disamping kedua usaha seperti diutarakan, masih ada satu tahap usaha lagi didepannya, yaitu modifikasi proses. Sehingga usaha untuk mengendalikan bahaya limbah meliputi tiga kemungkinan tahapan, yaitu pertama-tama memodifikasi proses agar usaha produksi tersebut tidak atau sangat mengurangi timbulnya limbah. Jika modifikasi proses memang sudah tidak dapat lagi diterapkan barulah diambil usaha berikutnya ialah mengambil manfaat atas limbah yang timbul. Usaha tahap kedua ini dimaksudkan agar limbah masih memiliki nilai ekonomis dan mampu memberi keuntungan tambahan terhadap perusahaan, atau setidaknya agar biaya untuk mengeliminasi bahaya pencemaran oleh limbah dapat didanai dari limbah itu sendiri. Sedangkan yang ketiga, merupakan alternatif terakhir, bila bahaya pencemaran limbah memang harus diselenggarakan dengan dana tambahan yang memang sudah tidak dapat lagi untuk dihindarkan.

5.1 Penanganan limbah cair

Cara penanganan limbah cair yang relatif murah efisien yang kini banyak digunakan di negara industri ialah proses biologik dengan bantuan lumpur aktif ("Activated sludge"). Activated Sludge ialah kumpulan massa mikrobial yang terdiri dari bakteri, yeast, fungi, protozoa dan metazoa yang tercampur dengan lumpur dan bahan organik. Permukaan massa campuran

ini memiliki daya serap terhadap limbah, amat kuat. Selain dengan lumpur aktif, limbah cair biologik juga dapat diturunkan tingkat bahayanya dengan sistem trickling atau lagoon.

5.2 Penanganan limbah padat

Ada dua cara penanganan limbah padat tanpa usaha memanfaatkannya, yaitu:

1. Digunakan sebagai tanah pengisi/penimbun ("urug").

Cara ini telah lama digunakan dan relatif murah, misalnya untuk meninggikan daerah lembah atau jurang di tepi sungai atau pantai, atau menimbun daerah rawa, dan sebagainya. Tetapi banyak ahli yang merasa keberatan penanganan dengan cara ini karena telah melenyapkan kemungkinan pemanfaatan kembali bahan-bahan yang mungkin masih lebih bermanfaat.

2. Dengan dibakar terkendali ("incineration").

Pada cara ini limbah padat dibakar di suatu tempat yang dapat memungkinkan mengendalikan nyala apinya. Misalnya di tempat terbuka tanpa adanya kemungkinan menjalarnya api secara liar, atau di dalam lubang dalam tanah, atau di dalam bak yang dindingnya dilapisi tanah liat. Hasil akhir pembakaran ini ialah CO₂, H₂O dan gas-gas lain serta abu. CO₂ dan gas-gas lain yang terbentuk selama pembakaran dibiarkan terbang masuk ke atmosfer.

5.3 Penanganan limbah gas

Sedemikian jauh usaha pertanian, perkebunan dan industri pangan (yang umumnya berasal dari produk pertanian termasuk perkebunan, perikanan dan peternakan) tidak banyak menimbulkan limbah gas seperti misalnya industri kimia. Kebanyakan limbah gas dalam usaha tersebut hanyalah berupa uap air akibat proses pelayuan, pengeringan atau uap bekas yang di buang ke atmosfer. Cara yang paling murah ialah dengan memasang cerobong yang tinggi untuk membuang limbah gas ke atmosfer, di bawa dan diencerkan oleh gerakan udara (angin). Jika

limbah gas memungkinkan timbulnya gangguan di atmosfer, dapat diatasi dengan melulutkan gas tersebut dalam suatu larutan yang dapat mengendapkannya, yang untuk seterusnya dapat dipisahkan dan dibuang terlokalisasi.

1. Konsep Pemanfaatan Limbah

Untuk dapat memanfaatkan limbah pertama-tama perlu diketahui lebih dahulu sifat kimia dan fisika limbah. Atas dasar sifat tersebut dapat diperkirakan berbagai produk yang mungkin dihasilkan dari padanya. Produk yang dipilih didasarkan atas pertimbangan pasar termasuk perhitungan tekno-ekonominya. Sebagai contoh limbah tulang yang berasal dari pabrik pengolahan daging. Limbah ini memiliki sifat kimiawi (komposisi) yang terdiri atas sebagian besar protein (kolagen) di samping mineral (kalsium). Didasarkan atas sifat kimia tersebut tulang mempunyai potensi pemanfaatan untuk diolah sumber menjadi produk yang berfungsi sebagai protein. Itu ekstrak tulang dan protein hidrolisat disamping berupa tepung tulang yang merupakan sumber protein dan mineral. Dari manfaat tersebut selanjutnya dikaji produk mana yang memiliki prospek peminatan paling baik. Kemudian baru dipilih perlakuan terhadap limbah untuk mengubahnya menjadi produk yang dikehendaki. Pada dasarnya potensi pemanfaatan limbah dapat berupa : pangan, pakan, pupuk, sumber energi, bahan bangunan, pulp, bahan kimia, obat-obatan seperti tercantum dalam Tabel 7.

Di antara berbagai cara pemanfaatan tersebut yang antara lain cukup menarik ialah usaha untuk memproduksi komoditas baru dan sistem penataan usaha produksi dalam daur paksaan. Untuk diolah menjadi komoditas lain dapat dihasilkan antara lain beraneka ragam produk asam organik, alkohol, bahan pewarna, antibiotik, vitamin dan berbagai senyawa berguna lainnya, akan tetapi tidak setiap limbah dapat memanfaatkan demikian. Pemanfaatan limbah ke arah ini memerlukan penelitian yang lebih spesifik. Contoh yang klasik ialah pemanfaatan tetes, yang mulanya hanya diproduksi menjadi alkohol, kini dapat diproduksi menjadi beraneka ragam produk lain misalnya menjadi MSG, SCP, ragi, asam sitrat dan berbagai vitamin. Polimer karbohidrat akan makin terbuka pemanfaatannya bila telah berhasil dirombak dulu menjadi gula sederhana. Dari gula sederhana ini kemudian dapat dilanjutkan produksinya menjadi berbagai macam senyawa kimia dan makanan/minuman. Proses pemecahan polimer karbohidrat menjadi gula ini sekarang telah banyak dikembangkan dengan bantuan mikrobial. Bahan pewarna minuman kemungkinan dapat diproduksi pula dari limbah industri pangan. Zat warna minuman Fanta grape misalnya, adalah merupakan pemanfaatan

kulit buah anggur yang diisolasi zat warnanya. Asam sitrat, kini tidak lagi diproduksi dari tetes, karena komodori tetes sudah

Tabel 5.1 Potensi pemanfaatan limbah organik

Jenis pemanfaatan	!	Cara pemanfaatan
1. Bahan makanan	!	a. Biomass mikrobial
	!	b. Makanan fermentasi
	!	c. Mnuman
	!	d. Mushroom
	!	e. Protein
	!	f. Minyak Goreng
2. Pakan ternak	!	a. Langsung di campurkan
	!	b. Dengan diperlukan pendahuluan, fisika, kimia atau mikrobial
	!	c. Biomass mikrobial
	!	d. Silase
3. Pupuk	!	a. Langsung digunakan sebagai pupuk
	!	b. Kompas
	!	c. Sebagai sisa produksi biogas
4. Energi	!	a. Biogas mikrobial
	!	b. Alkohol
	!	c. Dibakar langsung
5. Bahan bangunan	!	– Batu bata, boards, panel
6. Pulp	!	a. Kertas
	!	b. Karton
	!	c. Bahan pembungkus
	!	d. Bahan pengisi(filter)
7. Bahan kimia	!	a. Alkohol
	!	b. Asam-asam organik
	!	c. Zat warna
	!	d. Polisakarida
8. Bahan obat-obatan	!	a. Antibiotik
	!	b. Vitamin
	!	c. Metabolit-metabolit lain

Semakin mahal, Sekarang bahan sisa padat (serat) hasil pengolahan tapioka (aci) dapat diolah menjadi asam sitrat dengan bantuan suatu strain *Aspergillus niger*.

Di samping itu limbah juga dapat dimanfaatkan dengan mendaur-ulangkannya dalam proses itu sendiri. Misalnya pada pembotolan bir, air yang digunakan untuk mendinginkan botol setelah pasteurisasi akan meningkat suhunya. Air ini dapat di daur-ulang untuk pemanasan pendahuluan botol menjelang pasteurisasi. Konsep ini dapat diterapkan juga misalnya terhadap udara panas dan uap air yang timbul dalam proses produksi.

Limbah juga dapat dimanfaatkan dalam Pola Produksi dengan Daur Paksaan. Seperti diketahui dalam ekosistem yang seimbang, tiap limbah yang ditimbulkan oleh suatu kehidupan ternyata dapat menjadi bahan baku bagi kehidupan lainnya. Bertitik tolak pada kenyataan tersebut dapatlah diciptakan ekosistem paksaan dalam sistem usaha produksi kita, terutama bila mengolah bahan biologik. Yaitu dengan menggunakan Pola produksi dalam Daur Paksaan. Dengan pola ini tiap usaha produksi tidak boleh berhenti hanya dengan satu titik produksi. Melainkan harus diciptakan titik-titik produksi lainnya untuk mengolah limbah yang timbul pada usaha produksi sebelumnya. Keseluruhan konsep tersebut akan dibahas secara lebih rinci dalam bab-bab selanjutnya.

BAB. VI

PENGOLAHAN BUANGAN SECARA MIKROBIOLOGIS

Prinsip penanganan limbah dalam perlakuan baik secara fisik, kimia maupun biologi hingga air keluaran (efluen) yang dihasilkan tidak mengganggu kelestarian lingkungan. Dalam pelaksanaan pengolahan limbah, dasar pemurnian secara fisik, kimia dan biologis diterapkan secara terpadu dan saling melengkapi, sehingga proses pemurnian air limbah menjadi efisien. Perlakuan fisik misalnya : skrining atas dasar ukuran partikel untuk pemisahan bahan/partikel yang besar dengan alat penyaring; pengapungan untuk pemisahan partikel yang mengapung seperti lilin, lemak dan minyak; sedimentasi untuk partikel kecil yang berdensiti lebih besar. Perlakuan secara fisik umumnya dikerjakan sebagai perlakuan awal sedangkan perlakuan kedua atau ketiga dalam klarifikasi, tergantung dari kualitas air limbah yang diproses. Perlakuan kimiawi misalnya : pemisahan partikel tersuspensi dan juga pengurangan fosfor dan besi dengan penambahan kimia seperti kapur flokulan atau pengendap aluminium, bila bahan terlarut yang dipisahkan tergumpal akan mudah dipisahkan secara sedimentasi atau penyaringan. Pemisahan kimiawi yang lain yaitu dengan perlakuan karbon aktif, dengan alat penukar ion ataupun dengan disinfeksi. Perlakuan biologi didasarkan atas peran aktivitas mikroorganisme dan ini umumnya diberikan pada tahapan kedua proses pemurnian air limbah terutama terhadap penghilangan senyawa organik terlarut dalam air limbah yang sulit dipisahkan baik secara fisik maupun kimia.

Bioremediasi adalah menggunakan mikroorganisme dan komponen biologi untuk menetralkan tanah dan air tercemar menjadi zat-zat yang tidak berbahaya bagi lingkungan atau kesehatan manusia. Komponen biologi yang digunakan dapat berupa enzim, sel-sel mikroba, atau tanaman, adalah proses dalam bioremediasi oleh xenobiotik yang diubah menjadi substansi tidak beracun. Suatu senyawa yang telah didegradasi tidak berarti dipecah menjadi produk yang bebas dari sifat beracun. Bioremediasi yang aman efisien dan ramah lingkungan yaitu tidak memerlukan biaya yang mahal bila dibandingkan dengan cara-cara fisik lainnya, dan bioremediasi memerlukan peralatan yang sederhana.

Salah satu kerugian penggunaan bioremediasi, jika limbah dengan konsentrasi tinggi seringkali memerlukan stimulasi pertumbuhan bagi mikroorganisme bioremediator. Pada

prinsipnya semua senyawa-senyawa alami dapat diuraikan (*biodegraded*) oleh mikroba. Salah satu istilah *xenobiotik* menunjukkan suatu senyawa buatan (sintetis) yang merupakan senyawa asing dalam sistem biologis dan mengandung struktur dan ikatan-ikatan yang tidak dijumpai pada sistem biologis. Senyawa ini sering merupakan senyawa buatan manusia yang resisten atau *rekalsitran* pada proses biodegradasi dan atau dekomposisi. Xenobiotik kemungkinan dapat berbentuk polimer, gas, *poliklorinated*, atau senyawa polibromida, atau pestisida. **Mineralisasi** biasanya diartikan dekomposisi suatu xenobiotik menjadi ion anorganik dan karbon dioksida. Hal ini terjadi hampir pada semua keadaan karena menghasilkan produk akhir yang biasanya tidak bersifat toksik.

Molekul rekalsitran adalah molekul dan penguraian bahan organik (**humus**), senyawa poliaromatik (tanin dan lignin), mikroorganisme persisten (endospora dan fungi kaya melanin), molekul sintetis (fungisida, nematisida, herbisida, insektisida), polihalogen bifenil (pelarut mudah terbakar), plastik, dan deterjen. Rentang persistensi xenobiotik mulai hari sampai ke tahun. Ada dua pendekatan secara umum pada bioremediasi, yakni:

1. Modifikasi lingkungan, misalnya dengan meningkatkan potensial aktivitas mikroorganisme melalui fertilisasi dan aerasi.
2. Penambahan mikroorganisme yang cocok dan terpilih. Bioremediasi dapat dikerjakan dengan dua cara yaitu *in situ* atau *ex situ*.

Ada beberapa keuntungan bioremediasi dibandingkan dengan pengolahan limbah secara konvensional. Hasil produk akhir pada bioremediasi umumnya bersifat tidak beracun, jika terjadi proses mineralisasi yang lengkap. Aktivitas biologi lain akibat proses bioremediasi relatif tidak mengganggu.

Bahan-bahan yang digunakan perlakuan terbatas karena bersifat toksik atau rekalsitran. Bioremediasi hanya terbatas pada tempat yang tercemar saja. Xenobiotik tergantung pada faktor intrinsik dan populasi mikroba serta faktor ekstrinsik yang tidak dapat dipisahkan. Bila lingkungan terlalu panas, terlalu dingin, terlalu basah, terlalu kering, terlalu asam, atau terlalu basa, proses bioremediasi berjalan sangat lambat atau bahkan terhenti secara total. Bioremediasi terbatas karena perlakuan waktu.

6.1 Metabolisme, Kometabolisme, dan Bioremediasi

Bioremediasi berdasarkan pada metabolisme mikroorganisme. Xenobiotik dapat membantu sebagai substrat pertumbuhan mikroorganism medan energi atau dapat berfungsi sebagai kometabolisme. Xenobiotik mendukung pertumbuhan mikroba jika mengalami metabolisme. Xenobiotik menjadi sumber C, N, S, dan energi. Jika xenobiotik ditambahkan ke dalam tanah, maka populasi mikroba menjadi meningkat Mikroorganisme dengan pertumbuhan khusus pada xenobiotik dapat diisolasi dengan media perbenihan.

Xenobiotik kemungkinan mengalami perubahan yang tidak membantu sebagai sumber nutrisi. Hal ini dinamakan **kometabolisme**. Mikroorganisme tidak menggunakan energi dari reaksi transformasi dan membutuhkan substrat lain untuk pertumbuhannya. Hal ini biasanya menghasilkan suatu perubahan yang sederhana yang dapat menurunkan atau meningkatkan toksisitas xenobiotik. Tidak terjadi pertumbuhan dan perkembangan populasi akibat substrat yang ditambahkan. Lalu degradasi konstan dan tergantung faktor-faktor pengatur penambahan populasi. Dalam hal ini kita tidak dapat mengisolasi kometaboliser sebagai *enrichment*. Xenobiotik yang mengalami kometabolisme biasanya relatif persisten. Untuk mempercepat degradasi kita harus menggunakan suatu substrat yang analog. Misalnya, *bifhenyl* ditambahkan untuk meningkatkan populasi mikroorganisme yang berfungsi sebagai kometabolisme PCB (*polychlorinated biphenyl*) dan anilin dapat ditambahkan untuk meningkatkan kometabolisme dari dikloroanilin.

6.2 Bioremediasi Pencemaran Minyak Tanah

Penggunaan bioremediasi telah diterapkan dalam mengatasi pencemaran minyak tanah. Perusahaan eksplorasi minyak *Exxon Valdez*, mengalami kecelakaan akibat tumpahnya minyak pada 24 Maret 1989 di Alaska, Pendekatan fertilisasi nampaknya sukses memindahkan minyak dari pantai Alaska secara mekanis, Caranya adalah dengan menstimulasi sejumlah kecil mikroba (genus *Pseudomonas*) untuk mendegradasi hidrokarbon pada minyak. Eksperimen dengan bioremediasi ini telah berhasil dilakukan oleh U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*). Sekarang telah dikembangkan perusahaan dengan modal ventura yang dikhususkan untuk mempelajari strain-strain mikroba khusus untuk degradasi minyak yang mencemari tanah dan air. Telah dihasilkan *Pseudomonas* pendegradasi hidrokarbon untuk melakukan

bioremediasi kontaminan yang telah tercemar. Pada musim dingin, mereka mencampurkan pendegradasi hidrokarbon yang berasal dari mikroba psikrofilik.

Degradasi hidrokarbon tidak sepenuhnya bersih, oleh karena itu bioremediasi merupakan cara yang potensial untuk meremidiasikan tanah yang tercemar bahan-bakar. Walaupun remiditasi minyak tanah pada permukaan tanah kemungkinan telah berkurang akibat penguapan.

6.3 Bioremediasi Pencemaran Gas-gas Buangan

Bioremediasi udara adalah bukan merupakan sesuatu yang diperkirakan banyak orang, tetapi dapat dilakukan dan umumnya penggunaannya praktis (Bohn, 1977 dalam Coyne, 1999). Untuk memindahkan senyawa-senyawa volatil digunakan biofilter, trickel filter, dan bioscrubber. Dengan scrubber dapat memindahkan H_2S , dimetil sulfida, terpena, gas-gas organosulfur, etil benzena, tetrakloroetilena, dan klorobenzena. Penyerapan gas-gas tersebut dengan menggunakan **biofilm**. Biofilter alamiah dapat memakai bahan kompos, tanah, kulit kayu. Limbah gas yang difiltrasi dengan diserap melalui biodegradasi menjadikan bahan-bahan biofilter penuh dengan komunitas mikrobial.

6.4 Bioremediasi Limbah Sub Permukaan

Dapatkah kita kerjakan bioremediasi limbah sub permukaan? Bioremediasi *in-situ* kemungkinan dapat dilaksanakan pada tempat-tempat tersebut. Bioremediasi mikrobial secara khemis pada sumber mata air dan air tanah sub permukaan terbatas oleh avaiabilitas oksigen. Suatu larutan dipompakan oksigen (O_2) atau dilarutkan dalam larutan H_2O_2 , Dekomposisi H_2O_2 menjadi O_2 didukung pada metabolisme aerobik. Konsentrasi yang sering digunakan adalah 100 ppm. Metode tersebut menggunakan bioremediasi BTEX (benzena, toluen, etil benzena, xilena). BTEX terdiri kontaminan dengan cincin aromatik yang mensyaratkan oksigen untuk memecah cincin ortho- dan meta-. Pada saat yang sama oksigen dipompakan ke dalamnya dengan udara atau perlakuan H_2O . Nutrien dapat ditambahkan untuk mempercepat pertumbuhan alamiah mikroorganisme yang berperan dalam bioremediasi. Untuk limbah-limbah khusus, pencampuran mikroorganisme khusus secara simultan ditambahkan untuk proses bioremediasi dengan perbenihan. Untuk senyawa yang kometabolisme, misalnya TCE (tri kloroetilena), metana dapat ditambahkan bersama injeksi untuk menstimulasi pertumbuhan methanotrof yang dapat kometabolisme dengan TCE (Chapelle, 1993 dalam Coyne, 1999).

6. 5 Biotreatment Logam

Apakah mungkin untuk bioremediasi logam? Fitoremediasi dengan menggunakan tumbuhan untuk bioremediasi suatu lingkungan tercemar. Tipe-tipe tumbuhan yang digunakan untuk mengatasi kontaminasi logam-logam berat seperti timbal (Pb), merkuri (Hg) atau selenium (Se). Tumbuhan *Astragalus (loco weed)* sebagai contoh dapat mengumpulkan cemaran Se dalam jaringannya. Indian mustard dapat mengumpulkan Pb pada jaringannya. Tumbuhan tersebut dipanen, jaringannya dan kemudian jaringannya dibakar dan logam bersama abu, sehingga volume lebih sedikit dan dapat disimpan pada alat penyimpanan bahan-bahan berbahaya.

Logam-logam yang secara kimiawi dapat ditransformasi lebih mudah menjadi bentuk yang dapat menyesuaikan dengan potensial redoks lingkungan. Kromium (VI) Cr^{6+} dapat larut dalam air dan bersifat toksik yang tinggi. Jika kromium (VI) direduksi menjadi Cr^{3+} , maka senyawa tersebut menjadi kurang larut dan kurang toksik. Arsenik (III) As^{3+} bila teroksidasi menjadi As^{5+} , akan membuat lebih mudah presipitasi dengan kapur dan fosfat. Mangan dapat teroksidasi menjadi Mn^{4+} sehingga presipitasi sebagai larutan mangan oksida. Dalam suatu lingkungan non asam, oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} menyebabkan ion hidroksida mengalami presipitasi. Dalam keadaan anaerobik lingkungan yang kaya dengan sulfat SO_4^{2-} direduksi menjadi bentuk S^2 yang tidak dapat larut dalam logam-logam sulfida.

6. 6 Teknologi Enzim

Bioremediasi dan detoksifikasi terjadi karena eksoenzim (Bollag dan Liu, 1990 dalam Coyne, 1999). Enzim tidak dipengaruhi oleh inhibitor dari metabolisme mikroorganisme dan mempunyai fungsi yang bermacam-macam pada kondisi lingkungan yang didukungnya. Enzim efektif pada konsentrasi substrat rendah dan aktif karena kehadiran toksin dan predator mikroba. Enzim mempunyai substrat yang spesifik dan tidak berdifusi melalui membran sel ketika enzim tersebut bekerja. Penggunaan ekstrak enzim dan pemurnian enzim sangat mahal. Beberapa enzim juga membutuhkan kofaktor. Beberapa enzim bersifat imobilized, dan enzim ini lebih resisten untuk didegradasi dari pada enzim-enzim bebas.

Beberapa eksoenzim yang digunakan untuk bioremediasi adalah esterase, acylamidase, fosfatase, liase, lipase, protease, dan fenol oksidase. Peroksidase dapat mengoksidasi aromatik fenolik atau bentuk radikal amina, dan kemudian bereaksi menjadi bentuk polimer. Polimer-

polimer ini tidak larut dan dapat dipindahkan dengan filtrasi. Lakkase mengkatalisis reaksi yang sama dengan peroksidase, Enzim lakkase, peroksidase, dan tirosinase mengkatalisis oksidasi reaksi senyawa organik ke zat organik yang fain. Toksisitas senyawa-senyawa yang terikat menjadi menurun, dan kemungkinan menjadi hilang.

6.8 Biodegradasi

Biodegradasi adalah penguraian atau perombakan secara biologis. Suatu senyawa ditentukan oleh sifat dan susunan bahan, dimana pada umumnya senyawa organik mempunyai sifatcepat terdegradasi dan senyawa anorganik mempunyai sifat lambat terdegradasi, Tetapi di lingkungan alami, biodegrabilitas ditentukan oleh beberapa faktor antara lain, faktor biotik (bentuk, sifat jasad) dan faktor abiotik (bentuk, sifat kadar air, susunan media, dan lain sebagainya) dari bahan.

Tabel 6.1Skema Umum Penguraian Zat Organik dalam Air Limbah oleh Mikroba

Substrat dan Per-senyawaan nitrogen organik lainnya	Produk Akhir yang Mewakili	
	Keadaan Anaerobik	Keadaan Aerobik
Protein dan persenyawaan nitrogen organik lainnya	Asam amino Amonia Nitrogen Hidrogen S Metana Karbendioksida Hidrogen Alkohol Asam organik Indol	Asam amino Amonia → nitrit → Nitrat H ₂ S → asam sulfat Alkohol → CO ₂ dan H ₂ O Asam organik
Karbohidrat	Karbendioksida Hidrogen Alkohol Asam lemak Persenyawaan netrat	Alkohol → CO ₂ dan H ₂ O Asam lemak
	Asam lemak + gliserol Karbendioksida Hidrogen Alkohol Asam lemak rendah	Alkohol → CO ₂ dan H ₂ O Asam lemak

Limbah domestik, umumnya tersusun senyawa organik dan limbah non domestik, umumnya tersusun senyawa anorganik mempunyai kandungan yang berbeda-beda. Sehingga

penggunaan mikroba dalam biodegradasi limbah memerlukan penelaahan sehubungan dengan sifat dan bentuk substrat, bentuk jasad yang berperan di dalamnya. Hal ini disebabkan keseluruhan proses biodegradasi berlangsung secara enzimatik.

Proses biologis atau mikrobiologis merupakan proses alamiah yang bersifat dinamis dan kontinu selama faktor-faktor yang berhubungan dengan kebutuhan jasad hidup di dalamnya terpenuhi. Berbagai cara telah dicoba untuk mempercepat waktu proses serta meningkatkan hasil proses. Di samping faktor-faktor abiotik yang menyertai ditingkatkan, salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan sistem simba. **Sistem** simba yakni suatu sistem simbiosis kehidupan di antara dua atau lebih jasad selama proses biologis atau mikrobiologis.

Sistem simba yang diterapkan ternyata dapat menguntungkan dilihat dari segi waktu hasil, efisiensi dan stabilitas penggunaan bahan baku selama proses dibandingkan dengan sistem tunggal yang hanya menggunakan satu jenis biakan yang berperan dalam proses. Proses mikrobiologi memegang peranan dalam pengolahan buangan dan purifikasi air. Secara efektif proses ini berkembang karena hasilnya dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia secara langsung. Fermentasi merupakan salah satu contoh proses mikrobiologis yang telah dikenal sejak lama. Proses fermentasi merupakan proses himpunan metabolisme banyak sel mikroba.

Sistem **monokultur** (biakan tunggal mikroba) memiliki dapat mendatangkan kerugian, karena proses berjalan tidak lancar dan hasil sampingnya akan merugikan pada proses berikutnya. Keuntungan monokultur adalah mudah dalam pengontrolannya karena hanya berhubungan dengan satu jenis mikroba saja. Sedangkan dengan **polikultur (sistem simba)**, karena ada rangkaian proses antara biakan satu dengan biakan lainnya, maka kemungkinan besar hasil sampingan yang membahayakan kelompok jasad lainnya akan tergunakan. Kerugiannya, pengontrolan sulit karena tiap-tiap jenis biakan mempunyai sifat dan bentuk yang berbeda atau kemungkinan adanya interaksi yang menghasilkan persaingan. Contohnya adalah pembuatan biogas dan kompos.

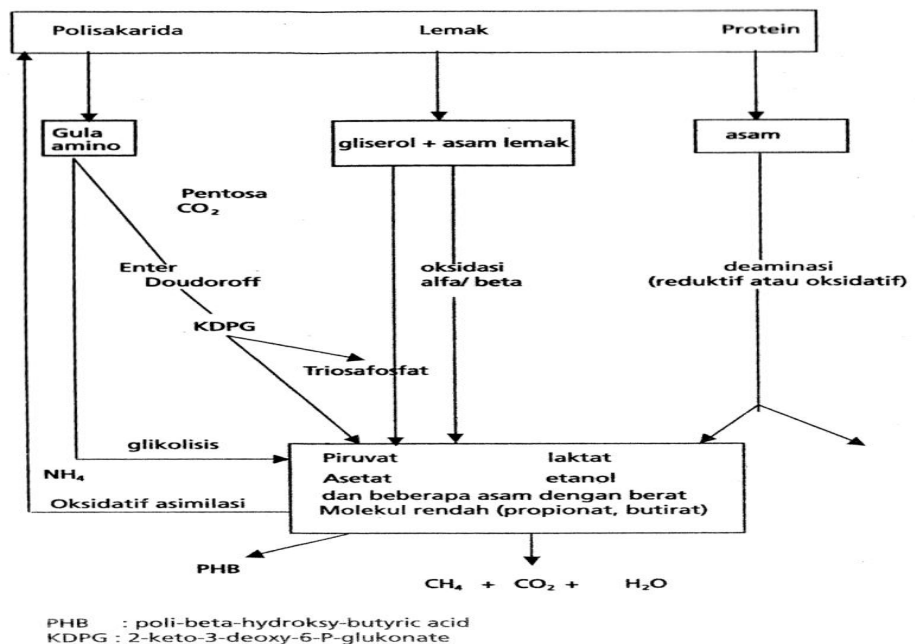
Aktivitas simbiosis antara berbagai kelompok mikroorganisme yang terdapat dalam limbah dapat dijelaskan sebagai berikut. Bakteri dan sebagian fungi mempunyai kemampuan melakukan degradasi terhadap senyawa organik dan senyawa anorganik, sehingga menghasilkan ion-ion NO_3^- , SO_4^{2-} , dan lain sebagainya. Senyawa yang terbentuk merupakan sumber nutrisi untuk kelompok mikroba, lainnya terutama mikroalga. Dengan adanya sinar matahari mikroalga melakukan fotosintesis yang akan menghasilkan massal alga dan oksigen. Massal alga

mengandung lemak, karbohidrat, protein, dan beberapa vitamin yang sangat bermanfaat bagi kelangsungan proses dan kehidupan makhluk hidup yang lain (misalnya ikan). Oksigen diperlukan oleh bakteri dan fungi untuk menguraikan senyawa-senyawa dalam buangan atau limbah. **Kilberg** tahun 1972 dari Stockholm memelopori **sistem simba (polikultur)** dalam proses industri untuk menghasilkan PST (protein sel tunggal) dengan memanfaatkan dua jenis ragi, yakni *Endomycopsis fibuligera* dan *Candida utilis*. *Endomycopsis fibuligera* mempunyai kemampuan merubah sumber karbohidrat (dalam bentuk tepung atau buangan organik) menjadi gula, sedangkan *Candida utilis* menggunakan gula sebagai sumber karbon dan energi untuk memproduksi masa sel.

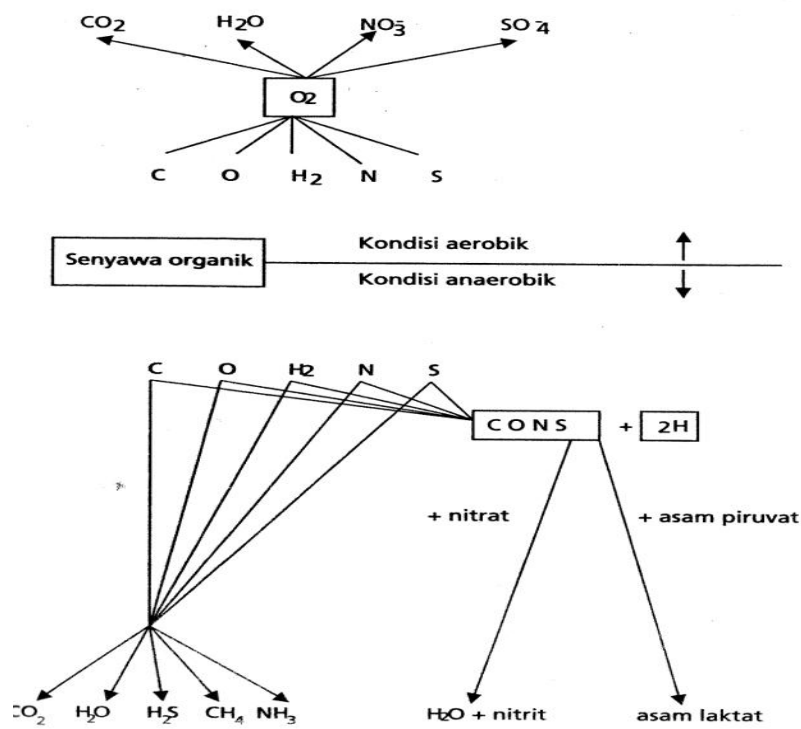
1) Penguraian Materi

Penguraian materi berlangsung berdasarkan reaksi enzimatik. Faktor-faktor lingkungan berperan penting dalam proses biodegradasi. Penguraian senyawa organik dapat melalui proses **fermentasi**. Polisakarida, lemak, dan protein pada tahap pertama akan dirubah menjadi senyawa yang lebih sederhana, misalnya gula, gliserol, asam lemak, dan asam amino. Selanjutnya, berlanjut ke proses secara anaerobik dan proses secara aerobik. Pada proses anaerobik dihasilkan metana, karbon dioksida, air, dan amoniak.

Beberapa jenis senyawa organik yang dihasilkan oleh pabrik, khususnya dalam bentuk senyawa organik, sukar atau sangat lambat sekali diuraikan oleh mikroorganisme. Senyawa yang demikian dinamakan rekalsitran, misalnya plastik, hidrokarbon, pestisida, deterjen, dan lain sebagainya. Untuk bahan-bahan demikian maka proses degradasinya dikenal dengan bioremediasi.



Gambar 6.1 Proses Degradasi Senyawa Organik (Tahap 1)



Gambar 6.2 Proses Degradasi Senyawa Organik (Tahap 2)

2) Biogas

Proses fermentasi dengan hasil akhir biogas (gas bio) berjalan di dalam kondisi anaerobik. Sehingga dari senyawa organik (CHONS) yang diproses, sebagian kecil akan dicadangkan untuk pembentukan sel atau biomassa baru (protoplasma), sedang sebagian besar berbentuk sumber energi, yang umumnya dikenal dengan hasil buangan (umumnya berbentuk asam organik, alkohol dan sebagainya). Tetapi dengan kehadiran hasil buangan yang berfungsi sebagai sumber energi, maka proses metabolisme lanjutan akan terjadi seperti semula, serta di dalam hasil buangan selanjutnya akan di dapat CH₄ (metan) disamping CO₂.

Fermentasi metan sangat penting di dalam siklus karbon serta siklus lainnya yang sejenis, karena didalamnya telah terjadi proses perombakan senyawa organik menjadi gas (CO₂ dan CH₄). Pada umumnya untuk senyawa-senyawa organik di dalam kondisi anaerobik akan mudah atau dapat didegradasi. Tahap-tahap proses fermentasi secara anaerobik dengan menghasilkan gas metan menurut **Hitte**(1975) adalah: 1) fermentasi di dalam stadium asam; 2) regresi di dalam stadium asam; dan 3) fermentasi di dalam stadium basa. Mekanisme dari reaksi yang ada adalah:

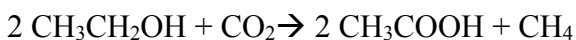
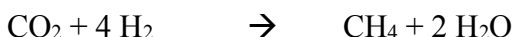
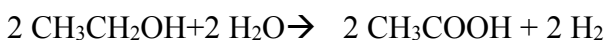
- **Non metanogenik;** dengan hidrolisis:

Protein-----→ asam amino

Polisakarida-----→ monosakarida

Lemak-----→ gliserol dan asam lemak

- **Metanogenik**



Ada 3 kelompok mikroba yang berperan dalam proses degradasi karbohidrat secara anaerobik, yakni: 1) **Kelompok bakteri fermentatif:** *Streptococcus*, *Bacteroides*, dan beberapa *Enterobacteriaceae*; 2) **Kelompok bakteri asetogenik:** *Methanobacillus*, *Desulfovibrio*; 3) **Kelompok Bakteri metan:** *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanosarcina*, dan *Methanococcus*. Hasil dari proses ini menghasilkan gas metana dan proses simbiosis di dalamnya. Dominasi proses fermentasi metana dilakukan oleh *Methanobacterium* dengan spesies *Methanobacterium formicium*, *Methanobacterium omelianski*, *Methanobacterium sohngei*,

Methanobacterium suboxydans, *Methanobacterium nazei*, *Methanobacterium vanielli*, *Methanobacterium methanicus*, dan *Methanobacterium barkerri*.

3). Biofilter

Kemampuan sekelompok mikroba dalam menguraikan bahan-bahan organik dan bahan anorganik sudah diketahui sejak lama. Kehadirannya secara alami akan didapatkan pada .HI danau, air selokan, air sungai, lautan atau pun tempat-tempat lain yang berair dan daratan yang lembab. Sedangkan kehadirannya secara buatan terdapat pada tempat atau bejana pengolahan air buangan, misalnya dalam kolam oksidasi, kolam stabilisasi, trickling filter dan lain sebagainya. Pada umumnya bentuk dan sifat kehidupan mikroba adalah bebas, yang tidak terikat oleh substrat ataupun bagian dari makhluk hidup lainnya.

Ada sekelompok mikroba lainnya yang hidup bersimbiosis di sekitar akar tanaman, baik tanaman pada habitat tanah atau air, yang kehadirannya secara khas tergantung pada akar tersebut, kelompok mikroorganisme tersebut umumnya dinamakan mikroba rhizosfer. Banyak dari jenis mikroba rhizosfer yang mempunyai kemampuan untuk melakukan penguraian terhadap benda-benda organik atau benda anorganik yang terdapat pada air buangan. Sehingga kehadirannya di air digunakan untuk pengolahan buangan.

Beberapa tanaman, khususnya yang berada di air atau berhabitat di air mempunyai kelompok mikroorganisme rhizosfer yang dapat dimanfaatkan untuk mengolah buangan. Beberapa jenis tanaman berdasarkan habitatnya dibagi menjadi:

1. Kelompok tanaman mengambang atau mengapung(*floating plants*). Kelompok ini misalnya *Eichornia crassipes*(eceng gondok), *Lemna minor* (kayambang), *Azolla pinnata* (paku air), *Spirodella polyrrhiza* (ki apu) dan lain sebagainya.
2. Kelompok tanamandidalamair(*submerged plants*).Kelompok ini misalnya *Elodia*, *Ceratophyllum*, *Hydrilla*, danlain sebagainya.
3. Kelompok tanaman amfibius (*amphibious plants*). Misalnya *Typhadomingensis* (wawalingian),*Ipomoeaaquatica* (kangkung), *Limnocharis flava* (genjer), *Nosturtium officinale* (selada air), dan lain sebagainya.

Biofilter sebagai salah satu cara dalam pengolahan buangan dengan tanaman yang memiliki rhizosfer mempunyai kemampuan:

- Menurunkan BOD (Kebutuhan Oksigen Biokimia) atau COD (Kebutuhan Oksigen Kimia) air buangan;
- Meningkatkan nilai DO (Kelarutan Oksigen) air buangan;
- Menguraikan bahan-bahan organik dan anorganik dalam air buangan;
- Mereduksi beberapa jenis ion logam, seperti Na^+ , Mg^{2+} yang terkandung dalam air payau;
- Perubahan nilai pH pada air buangan; dan
- Penurunan kandungan logam berat, misalnya Pb, Hg, dan Zn dalam air buangan.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan biofilter dalam pengolahan buangan yang mengandung bahan-bahan berbahaya khususnya logam berat karena akibat penguraian **mikroorganisme rhizosfer**. Hasil penguraian oleh mikroba rhizosfer dihisap oleh akar tanaman dalam bentuk akumulasi (timbunan) bahan berbahaya dalam bagian dalam tanaman. Hal ini akan sangat berbahaya ke kesehatan manusia, bila tanaman tersebut kemudian dimakan hewan, dan hewan yang telah makan dikonsumsi oleh manusia. Oleh karena itu, penggunaan sistem biofilter harus dianalisis dengan uji hayati, misalnya **esai biologis**.

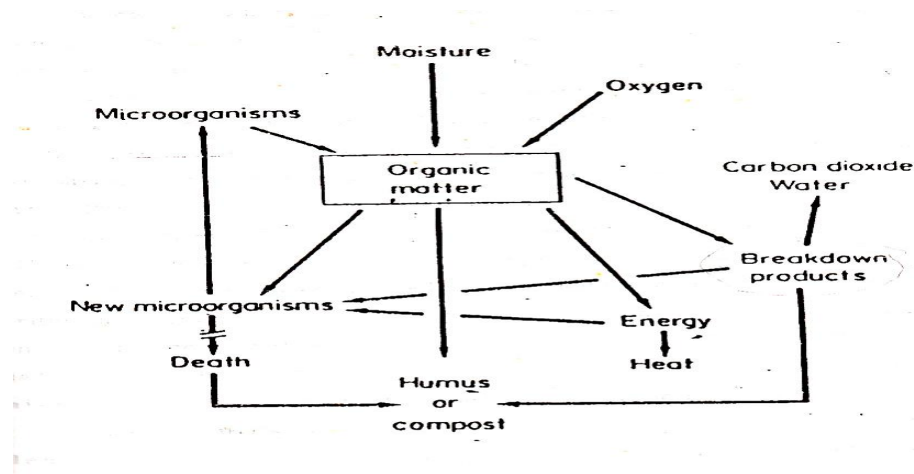
4) Tangki Septik

Salah satu cara buangan adalah dengan menggunakan tangki septik. Dengan cara pengolahan ini, buangan masuk ke dalam bejana atau tangki akan mengendap, terpisah antara benda cair dan benda padat. Benda padatan yang mengendap di dasar tangki dalam keadaan tanpa udara, akan diproses secara anaerobik oleh bakteri sehingga kandungan organik dalam limbah akan terurai. Akibatnya setelah waktu tertentu, umumnya tangki tersebut penuh, dan isinya dikuras/ dikeluarkan, maka terdapat sisa padatan yang sudah tidak berbau lagi. Masalahnya adalah cairan setelah benda padatan dikeluarkan. Hal ini karena di dalam cairan tersebut masih mungkin mengandung mikroba patogen. Salah satu pemecahan adalah dengan menggunakan resapan, untuk mengalirkan cairan setelah benda padatnya dipisahkan. Diharapkan air yang keluar dari tangki septik melalui resapan telah aman bila dibuang ke lingkungan.

BAB VII

SISTEM PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN PENGKOMPOSAN

Pengkomposan adalah dekomposisi bahan organik oleh populasi campuran mikroorganisme dalam keadaan panas, lembab dan lingkungan yang aerob. Sejumlah besar limbah organik diproduksi oleh alam dan selanjutnya akan terdekomposisi oleh aktivitas mikroorganisme. Degradasi ini terjadi secara lambat dipermukaan tanah, suhu sedang dan kondisi yang aerob. Proses dekomposisi alami ini dapat dipercepat dengan mengumpulkan limbah menjadi suatu tumpukan sehingga panas yang timbul dapat mempercepat proses dekomposisinya, usaha ini diterapkan dalam proses pengkomposan. Limbah pertanian yang dapat dikomposkan bervariasi dari limbah yang sangat heterogen campuran senyawa organik dan anorganik maupun yang homogen seperti kotoran ternak, residu tanaman pangan maupun lumpur buangan air limbah. Selama proses pengkomposan sebagian besar kebutuhan oksigen terpenuhi dan bahan organik terdekomposisi menjadi produk yang stabil seperti asam humus, air dan CO₂. Suatu perimbangan dalam usaha menaikkan produksi pertanian ialah dengan menaikkan kesuburan tanah, dan suatu cara untuk meningkatkan struktur dan kesuburan tanah adalah pemberian asam humus kedalam tanah.



Gambar 7.1 Diagram Proses Pengkomposan

Proses pengkomposan melibatkan interaksi antara limbah organik, mikroorganisme, uap air dan oksigen. Limbah organik akan mengandung flora populasi campuran mikroorganisme yang berasal dari udara, air dan tanah. Bila Kadar air limbah mencapai level tertentu sedangkan aerasinya cukup maka aktivitas mikroba yang ada menjadi cepat. Disamping oksigen dan air, mikroorganisme perlu pula karbon, nitrogen, fosfor, kalium dan unsur kehidupan yang lain yang umumnya dapat terpenuhi oleh komposisi limbah. Sewaktu mikroba melakukan proses dekomposisi limbah, mikroba mengalami perbanyakan sel dan membebaskan O_2 , air, bahan organik inestetik dan juga energi. Sebagian energi digunakan untuk proses metabolisme dan sebagian lainnya dibebaskan dalam bentuk panas. Hasil akhir pengkomposan berupa mikroorganisme (hidup atau mati), humus dan mineral.

Limbah organik merupakan campuran dari gula, protein, lemak hemiselulosa, selulosa, lignin dan mineral dengan kadar masing-masing yang sangat bervariasi seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 7.2 Komposisi Limbah Pertanian

Fraksi	% berat kering	
	Tanaman	Kotoran hewan
1. Senyawa larut dalam air (gula, pati, asam, amino, urea, garam, amonium)	5 - 30	2 - 20
2. Senyawa larut dalam alkohol/eter (lemak, minyak, lilin, resin)	5 - 15	1 - 3
3. Protein	5 - 40	5 - 30
4. Hemiselulosa	10 - 30	15 - 25
5. Selulosa	15 - 60	15 - 30
6. Lignin	5 - 30	10 - 25
7. Mineral (abu)	1 - 13	5 - 20

Komposisi kotoran hewan tergantung pada jenis hewan dan komposisi pakannya, sedangkan komposisi limbah tanaman tergantung pada umur, jenis dan lingkungan pertumbuhannya. Pada tanaman muda terutama tersusun dari bahan larut dalam air dan mineral, sedangkan pada tanaman yang lebih tua senyawa dengan berat molekul besar seperti hemiselulosa, lignin dan selulosa mendominasi komposisinya. Proses pengkomposan mencakup biodegradasi limbah dan sintesa sel mikroba. Dalam hal ini kunci keberhasilan terletak pada kemampuan sel mendegradasi senyawa organik. Senyawa dengan berat molekul kecil dan larut dalam air akan dengan mudah melewati membran sel, sedangkan senyawa organik yang bermolekul besar tidak dapat terserap oleh sel tanpa melalui pemecahan terlebih dahulu. Dalam hal ini mikroba mengekskresikan enzim yang mampu menghidrolisa polimer organik menjadi senyawa sederhana (terutama gula) sehingga dapat dicerna oleh sel. Percobaan pengkomposan terhadap jerami menunjukkan adanya kehilangan berat kering lebih dari 50% selama 60 hari proses pengkomposan.

Pengkomposan merupakan proses mikrobiologi yang dinamis dan melibatkan aktivitas suksesi campuran mikrobial yang masing-masing menyesuaikan dengan kondisi lingkungan yang relatif selalu berubah. Studi mikroflora jasad biologis yang berperan dalam proses pengkomposan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7.3 Organisme yang berperan dalam proses pengkomposan

Organisme	Genus	Jumlah/gram
Mikroflora	Bakteri	$10^8 - 10^9$
	Aktinomiset	$10^5 - 10^8$
	Jamur	$10^4 - 10^6$
	Ganggang	10^4
	Virus	-
Mikrofauna	Protozoa	$10^4 - 10^5$
Makroflora	Jamur	
Makrofauna	Semut, insek, cacing, serangga, dsb.	

Setiap jenis mikroflora terdiri dari beberapa spesies yang dapat mencapai 2000 jenis bakteri dan 50 jenis jamur. Setiap spesies dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa sub kelompok atas dasar suhu pertumbuhannya. Sebagai contoh spesies yang menginginkan suhu dibawah 20°C dikenal sebagai psikrofil, sedangkan mesofil menghendaki 20°C - 40°C dan termofil diatas 40°C . Mikroflora, makroflora dan makrofauna yang aktif pada tahap akhir

pengkomposan bersifat mesofil. Beberapa spesies bakteri inampu membentuk spora yang tahan terhadap suhu tinggi sehingga dapat bertahan selanjut proses pengkomposan berlangsung. Aktinomiset tumbuh sangat lambat tetapi dapat bertahan hidup pada suhu tinggi.

Segera setelah suhu tertinggi tercapai selama proses pengkomposan, suhu kemudian menurun dan dibarengi dengan pertumbuhan berbagai jenis makrofauna. Banyak diantara makrofauna yang ada memberikan kontribusi dalam memecah tumpukan kompos menjadi bahan yang berukuran lebih kecil sehingga mudah digunakan oleh mikroflora yang ada.

Bila limbah organik dikumpulkan membentuk suatu tumpukan untuk dikomposkan, efek insulasi bahan akan mengakibatkan kenaikan suhu selama proses pengkomposan. Secara umum, ditinjau dari perubahan suhu yang terjadi, proses pengkomposan akan melalui empat tahap yang berupa tahap mesofil, termofil, penurunan suhu dan pematangan (maturasi). Pada awal pengkomposan, suhu tumpukan ada disekitar 15 - 25°C tergantung suhu udara disekitarnya, dan suasana pH sedikit asam. Selama tahap mesofil, mikroflora akan tumbuh secara cepat sehingga suhu dapat naik mencapai 40°C dan masa menjadi bersifat lebih asam. Suhu akan naik terus sehingga strain mikroba yang termofil mengambil alih mikrofloranya, dan pH menjadi naik akibat pembebasan amonia hasil degradasi protein. Pada suhu mendekati 60°C aktivitas jamur yang termofil terhenti, dan proses diteruskan oleh aktinomiset dan bakteri berspora, dalam hal ini kecepatan reaksinya mulai menurun, hingga kecepatan generasi panas akan setara dengan kehilangan panas pada tumpukan kompos. Hal ini kemudian mengakhiri tahap termofil dan bahan sudah mendekati stabil serta bahan yang mudah dicerna seperti karbohidrat, protein dan lemak telah terdegradasi dan pada keadaan ini tumpukan menjadi "tidak" berbau lagi. Pada saat proses pendinginan berlangsung, jamur dan aktinomiset akan menyerang polisakarida rantai panjang seperti hemiselulosa dan selulosa menjadi gula sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai jenis mikroba dan saat itu suhu menjadi sama dengan suhu sekitarnya. Pada saat berikutnya tercapai tahap maturasi dengan pembebasan energi yang kecil dan juga kehilangan berat sangat kecil, dan pada keadaan ini akan memberi kesempatan kepada makroflora dan makrofauna menyerang tumpukan kompos tersebut. Pada keadaan itu juga antagonisme antar mikroorganisme terjadi, dan reaksi kimia kompleks juga terjadi antara residu lignin, limbah yang terdegradasi serta protein mikroba yang mati menghasilkan asam humus. Setelah proses maturasi selesai (beberapa

inkubasi) limbah tidak akan mengalami proses anaerob, tidak terjadi kenaikan suhu serta tidak menyerap nitrogen tanah. Dan bahan akhir ini yang dikenal sebagai humus atau kompos.

7.1 Faktor Proses Pengkomposan

Pengkomposan limbah organik merupakan proses dinamik dan kompleks. Parameter pH, suhu dan ketersediaan nutrisi bagi mikroba selalu berubah atas fungsi waktu selama proses pengkomposan. Sebagai akibatnya, jumlah dan jenis mikroflora yang aktif juga selalu berubah. Kecepatan perubahan limbah menjadi kompos sangat tergantung dari beberapa faktor yang saling terkait. Beberapa parameter proses yang saling berkaitan tersebut di antaranya adalah ukuran partikel, ketersediaan nutrisi, struktur fisik limbah, kelembaban, aerasi, agitasi, pH dan ukuran tumpukan. Sangat dianjurkan untuk mengadopsi kondisi operasi agar proses dapat berlangsung secara efisien.

a. Separasi limbah :

Penggunaan utama kompos adalah untuk pupuk tanah pertanian. Dengan demikian kompos harus memiliki kadar bahan organik tinggi dan mineral yang rendah. Untuk limbah yang mengandung gelas, logam, plastik dsb. harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum diproses. Cara separasi ini dapat dilakukan dengan alat mekanis.

b. Ukuran

Ukuran partikel yang kecil akan memperbesar luas permukaan yang diserang oleh mikroba, dan mengakibatkan kecepatan pengkomposan yang lebih tinggi. Akan tetapi partikel yang terlalu kecil akan melekat satu sama lain sehingga densitasnya menjadi tinggi dan rongga udaranya kecil dan akibatnya menghambat proses pengkomposan. Untuk komprominya pengaturan ukuran partikel perlu diperhatikan dan umumnya pemotongan mencapai 12,5 - 50 mm dianggap optimal dan setelah proses selesai ukuran partikel menjadi rata-rata 2,5 mm.

c. Nutrien

Mikroorganisme yang berperan dalam pengkomposan membutuhkan sumber karbon, nitrogen dsb. untuk keperluan sintesa sel baru. Sebegitu jauh diketahui bahwa nutrisi yang dibutuhkan sudah terdapat pada limbah yang diproses, namun demikian untuk memperoleh proses yang lancar perlu diperhatikan kuantitas C, H dan F yang mempunyai rasio tertentu. Dengan pendokohan koruposisi sel mikroorganisme dan imbalanced reaksi perubahan substrat menjadi mikroorganisme diperoleh harga yang dianjurkan untuk proses pengkomposan yaitu rasio C/N =

30 - 35/1 dan rasio C/p = 75-50/1 pada awal prosesnya. Penyesuaian rasio C/N dan C/P tersebut dapat dilakukan melalui pencampuran berbagai jenis limbah sehingga rasio dapat dicapai.

d. Bahan tambahan

Bahan tambahan berupa : inokulum mikroorganisme pernah dianjurkan untuk mempercepat proses pengkomposan, namun hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan inokulum kurang nyata dalam mempercepat proses.

e. Kadar air

Air sangat diperlukan dalam proses pengkomposan terutama untuk transpor bahan dari dan ke mikroorganisme. Percobaan menunjukkan bahwa kadar air dibawah 30% menurunkan kecepatan pengkomposan, tetapi sebaliknya air yang terlalu tinggi akan mengganggu penetrasi oksigen. Optimum kadar air proses pengkomposan ada disekitar 50 - 60%. Perlu diperhatikan bahwa selama proses terjadi penguapan air sehingga kadar air optimal harus tetap dijaga.

f. Aerasi

Oksigen sangat esensiil untuk metabolisme mikroba aerob pada proses pengkomposan. Udara dapat diberikan pada tumpukan kompos dengan berbagai cara misal dengan difusi alami, dengan pengadukan tumpukan. atau dengan penghembusan udara melalui kompresor. Penghembusan udara akan mengusir CO₂ dan uap air serta mendinginkan tumpukan kompos. Kebutuhan oksigen maksimum pada tahap termofil. Penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aerasi 6-19 mg O₂/jam.gram masa kompos dapat digunakan. Kecepatan udara terlalu tinggi akan mengeringkan dan mendinginkan massakompos.

g. Agitasi

Agitasi akan membantu proses aerasi, akan tapi agitasi terlalu besar akan mendinginkan masa dan menghambat aktivitas tahap termofil oleh aktinomiset. Dianjurkan pengadukan dilakukan hanya 3-4 kali selama proses.

h. Pengendalian Derajat Keasaman (pH)

Proses pengkomposan menunjukkan adanya perubahan pH secara alami. Penelitian menunjukkan bahwa pengendalian pH dengan penambahan basa/asam tidak efektif dan tidak diperlukan.

7.2 Produksi Panas

Selama proses dapat terjadi kenaikan suhu hingga 80-90°C, sedangkan suhu optimum untuk pengkomposan dikehendaki sekitar 55 - 60°C. Pengaturan suhu dapat dilakukan dengan pengaturan ukuran tumpukan. Proses dengan aerasi difusi udara sekitarnya memerlukan ukuran tinggitumpukan 1,5 m dan lebarnya 2,5 m. secara keseluruhan parameter proses pengkomposan dicantumkan pada tabel berikut :

Tabel 7.4 Parameter Pengkomposan

Parameter	Harga yang dianjurkan
- rasio C/N	30 - 35/1
- rasio C/P	75 - 150/1
- ukuran partikel	12,5 mm untuk agitasi 50 mm untuk aerasi alami
- Kadar air	50 - 60%
- Kecepatan aerasi	0,6 - 1,8 m ³ udara/hari - kg
- Suhu	55 - 60°C
- Agitasi	tidak terlalu sering diaduk
- pH	tidak perlu dikendalikan
- Ukuran tumpukan	1,5 m (tinggi), 2,5 m (lebar) panjang tidak ditentukan

7.3 Penerapan Proses Pengkomposan

Telah berabad-abad praktek pengkomposan limbah organik dilakukan oleh petani diberbagai negara. Pengembangan proses akhir-akhir ini dituntut karena makin banyaknya kualitas limbah organik yang diproduksi dalam sistem pertanian dan industri yang maju.

a. Bahan dasar kompos: Berbagai jenis limbah organik yang

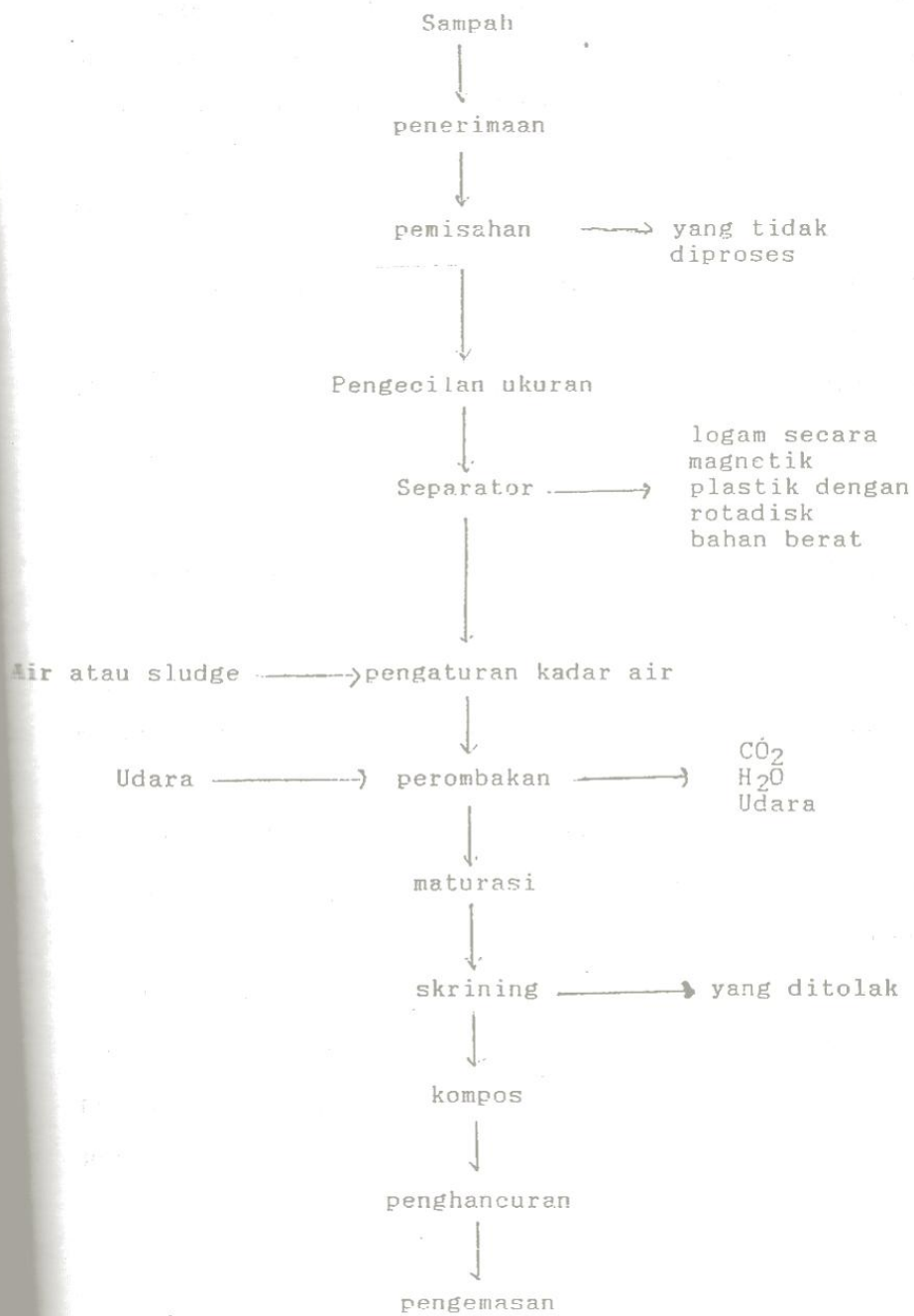
dapat digunakan untuk produksi kompos adalah limbah pertanian dan limbah aktivitas manusia sehari-hari. Komposisi beberapa limbah yang dapat dikomposkan diantaranya tercantum pada tabel berikut.

Tabel 7.5 Bahan Dasar Kompos

Bahan	Kadar N (% berat kering)	rasio C/N
Urine	15 - 18	0,8
Darah	10 - 14	3
Kotoran ternak	5,5 - 6,5	6 - 10
Rumput	4	20
Tulang	4	8
Sampah	1,1	34
Jerami	0,6	80
Daun	0,4	45
Sekam	0,4	45

b. Pelaksanaan proses skala besar

Sejauh ini ada sekitar 30 macam pelaksanaan proses pengkomposan telah dianjurkan untuk mengolah berbagai jenis limbah padat, namun sarana yang diperlukan dari berbagai macam proses tersebut adalah sejenis. Proses dengan kapasitas mengolah 200 - 500 ton limbah per hari telah dilakukan di Skandinavia dan Hongkong. Sainpah yang mau diolah ditebarkan pada lantai beton (yang darat digeser), kemudian sampah dilewatkan pada alat pengecil ukuran, pemisahan bahan yang tidak dibutuhkan seperti gelas, logam dan plastik, dan kemudian diatur kadar airnya. Secara skematis pelaksanaan proses dapat dilihat pada skema berikut



Gambar 7.1 Diagram Operasional Proses Pengkomposan

e. Pengkomposan Sludge

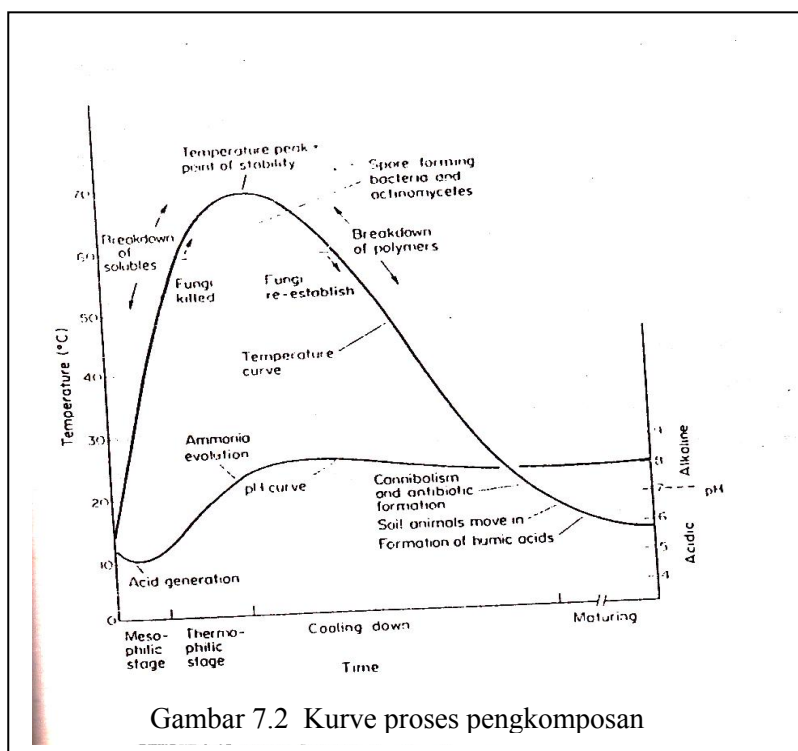
Pengkomposan dapat bermanfaat untuk perlakuan sludge sebelum digunakan untuk pertanian maupun reklamasi tanah. endapan sludge umumnya berkadar air 65-85% dan ini dapat dicampurkan pada sampah yang dikoinpcskan.

e. Pengkomposan bahan organik lainnya

Pengkomposan jeram, kotoran ternak dan residu tanaman. lainnya telah dikerjakan oleh petani. Dalain hal ini pencampuran bahan-bahan perlu dilakukan untuk menyesuaikan rasio C/N ataupun C/P.

f. Waktu proses dan yield kompos:

Kecepatan proses biologis tergantung da.ri l-ionuisi prosesnya. Sampah yang diproses memerlukan waktu 9-12 bulan untuk dapatnenghasil kan kompos yang baik tetapi der.gan meman ipu lasikondisi prosey, dapat dipercepat mer.jadi 3 bulan. prosentase bahan yang terdekomposisi ada sekitar 40-60%bahan kering, dan hal ini sangat tergantung dari kondisi prosesnya pula. Secara umum produk yisd kompos ada disekitar 40-50%. Komposisi kompos yang dihasilkan dapat bervariasi. Sebagai contoh tabel berikut merupakan harga mendekati komposisi kompos dari sampah kota dan sampah pertanian.



Gambar 7.2 Kurve proses pengkomposan

Tabel 7.6 Komposisi Kompos

Substansi	% berat kering
Bahan organik	2,5 - 80
Karbon	8 - 50
Nitrogen	0,4 - 3,5
P ₂ O ₅	0,3 - 3,5
K ₂ O	0,5 - 1,8
CaO	7,0 - 1,5
	<----- sampah kota
	-----> sampah pertanian

Penggunaan kompos dipakai untuk penggemburan dan penyuburan tanah pekarangan/pertanian

BAB VIII

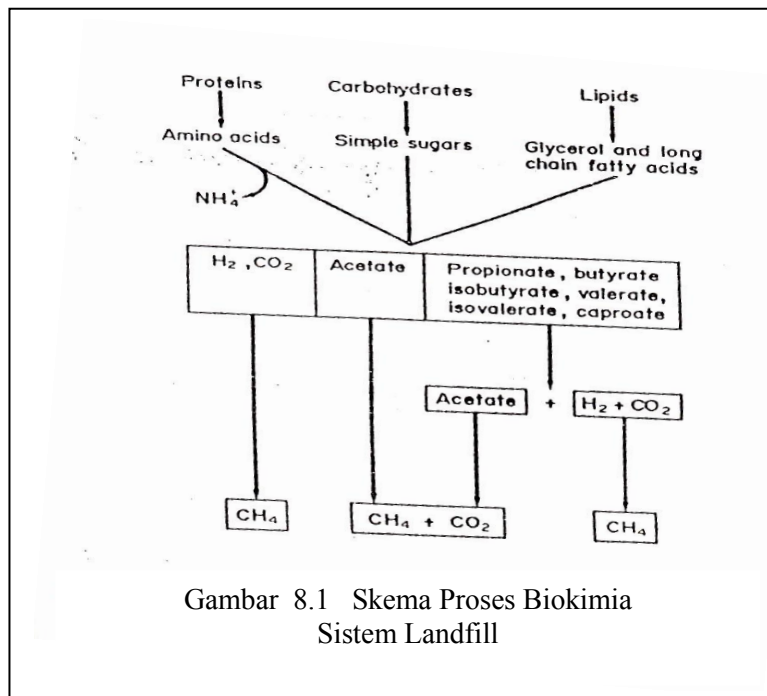
SISTEM PENIMBUNAN TANAH (LANDFILL)

Pembuangan limbah organik padat ke permukaan tanah tidak dianjurkan karena alasan kesehatan maupun estetika. Pembuangan secara terkendali dapat dilakukan terhadap limbah organik padat dengan sistem landfills. Limbah di dpositkan kedalam tanah dalam bentuk lapisan dengan kedalaman 1,8 m limbah, kemudian 0,2 m tanah sampai beberapa lapisan 1 limbah/tanah. Beberapa cara dapat memperkecil kemungkinan limbah ke dalam tanah yaitu:

- 1) kebakaran
- 2) Lalat, burung, serangga
- 3) hembusan angin dan
- 4) tersebarnya bau.

Pada kondisi ini limbah organik terfermentasi menghasilkan campuran gas metan dan CO₂. Pada saat hujan air akan melarutkan senyawa yang akibatnya mengatimulasi dekomposisi limbah oleh mikroba. Peran sistem landfill didasarkan pada kenyataan di Inggris dan Amerika bahwa 89 - 95% berat sampah rumah tangga diperlakukan dengan sistem ini. Landfill dapat dikonstruksikan dengan membuat lubang yang besar ditanah dan kemudian secara bertahap ditimbun sampah dan tanah secara ber lapis-lapis seperti yang dikemukakan diatas. Penggunaan sistem landfill pada daerah yang berpenduduk padat perlu beberapa pertimbangan seperti :

- 1) kemungkinan terpolusinya air tanah dan air permukaan oleh limbah, sehingga perlu manajemen yang baik untuk dapat melaksanakan system landfill.
- 2) kemungkinan adanya peledakan gas (methan) yang terbentuk selama proses dekomposisi limbah.
- 3) kematian tanaman akibat gas (methan).



Gambar 8.1 Skema Proses Biokimia Sistem Landfill

8.1 Bio degradasi dalam sistem landfill

Kondisi aerob terjadi secara terbatas dalam sistem landfill, kemudian setelah oksigen yang ada terpakai maka proses anaerob berlangsung secara cepat menghasilkan gas methan dan CO_2 sebagai produk akhir metabolisme senyawa karbon. penelitian terhadap peranan senyawa organik dalam sistem landfill difokuskan pada cairan dan gasnya. Senyawa asam lemak volatil merupakan hasil antara, dan seringkali merupakan produk dari metabolisme senyawa karbon. Dapat mengetahui pula bahwa proses degradasi dalam sistem landfill didominasi oleh senyawa karbohidrat 90-95% sedangkan lemak dan protein hanya mencapai 5-10%.

Metabolisme protein diawali dengan hidrolisa membentuk peptida dan asam amino menyebabkan terbentuknya senyawa karbositat rantai pendek, CO_2 dan NH_3 . Dominasi asam amino ini merupakan sumber utama percabangan rantai asam isobutirat dan isovalerat, namun kadar kedua asam lemak ini sangat kecil (500 mg/L) dibanding dengan asam lemak rantai lurus lainnya. Pengamatan lainnya pada landfill yang sudah berlangsung 6 tahun dan aktif menghasilkan gas methan diketahui bahwa kadar isovalerat dan isobutirat berfluktuasi antar 0-150 mg/L, dan ini menandakan adanya dinamika produksi dan penggunaan kedua jenis asam ini. Penelitian juga menunjukkan bahwa kadar NH_4^+ bervariasi antara 0-1000 mg/l.

Selulosa merupakan bahan utama karbohidrat yang terdapat pada sampah. Bahan selulosa ini tersusun dari lignin, hemiselulosa dan selulosa yang berbeda dalam kemudahannya untuk didegradasi oleh mikroba. Basic selulosa, hemiselulosa dan lignin sekitar 75 : 15 : 15 atau 74-79): (4-9) : 17 tergantung dari asal dan jenis sampahnya. Degradasi selulosa menyebabkan naiknya kadar glukosa dan selobiosa dalam sistem landfill. Gula tersebut akan segera difermentasi dengan cepat menghasilkan H_2 , CO_2 , asetat, butirat, propionat, valerat dan kaproat. Etanol hanya dipakai pada keadaan tertentu saja sedangkan adanya laktat, sulisinat, dan format belum pernah dilaporkan ada dalam sistem landfill. Cairan yang dihasilkan dalam sistem landfill mengandung 3800 mg/L asetat, 1600 mg/L propionat 3500mg/L butirat, 2100 mg/L valerat dan 3700 mg/L kaproat. Disamping itu juga dijumpai 145 mg/L isobutirat dan 70 mg/L isovalerat yang berasal dari metabolisme protein. Kadar asam lemak volatil yang terlalu tinggi (40.000 mg/L dapat menghambat pembentukan gas metan dan reduksi sulfat. Kadar gas metan dan reduksi sulfat. Kadar sulfat pada sampah dapat mencapai 200 - 3000 mg/L bila reduksi sulfat dapat berlangsung baik, kadar sulfat dapat turun menjadi 50 mg/L dan pada keadaan ini asam lemak menjadi sangat rendah dan produksi gas metan tinggi.

Ada empat faktor yang mempengaruhi pembentukan cairan dari sistem landfill yaitu

- 1) kadar air awal sampah
- 2) Volume air hujan pada daerah landfill
- 3) jumlah cairan yang dibuang ke daerah sistem landfill dan
- 4) komposisi dan densitas sampah yang diolah diproses dalam sistem landfill.

Komposisi cairan yang dihasilkan dalam sistem landfill sebagai berikut.

Tabel 8.1 Komposisi Cairan dalam Sistem Landfill	
Komponen	Kadar mg/L
Total karbon organik	250 - 28.000
pH	3,7 - 8,5
NH_4	0 - 1106
NO_3	0,2 - 10,3
PO_4	6,5 - 85
SO_4	1 - 1558
Cl	4,7 - 2467
K	28 - 3700
Na	0 - 7700
Mg	17 - 15.600

8.2 Faktor yang mempengaruhi fermentasi dalam landfill

a. Kadar air

Air sangat berperan pada reaksi hidrolik dalam hal konformasi struktur makromolekul proses metabolisme dan tekanan turgor sel. Bila air yang tersedia rendah akan menurunkan kecepatan aktivitas mikroba dan waktu yang menjadi panjang. dalam hal ini air juga berperan sebagai pemberi fasilitas untuk transfer nutrien, penghambat, enzim maupun sel mikroba. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kecepatan produksi gas metan dapat dinaikkan bila kadar air diatur lebih besar dari 30%.

b. Suhu

Pengaruh suhu pada fermentasi anaerob menunjukkan bahwa suhu optimum untuk proses mesofil = 42°C sedangkan untuk termofil = 60°C. Namun dalam aplikasi praktis sistem landfill, suhu antara 40-45°C perlu dipertahankan walaupun pada suhu ini kurang sesuai untuk aktivitas termofil.

c. Ukuran partikel

pengamatan menunjukkan bahwa pengecilan ukuran partikel sampah yang akan diproses dalam sistem landfill dari 25 cm menjadi 2,5 cm dapat meningkatkan 4,4 kali lipat produksi gas, akan tetapi gas yang dihasilkan terutama CO₂. Pengecilan ukuran dapat memberi fasilitas lebih dalam hal kontak antara mikroba dan substratnya. Inisiasi produksi metan dapat dilakukan dengan menginokulasi bakteri methan dari sludge proses metanogenesis.

d. Derajat Keasaman (pH)

Tingkat keasaman optimum untuk sistem landfill berkisar antara pH 6,8-7,5 namun secara praktis pengendalian proses pada pH 6-8 cukup memadai. Kecepatan pembentukan metan dari asetat, propionat dan butirat dihambat pada pH dibawah 6.

8.3 Pengendalian proses fermentasi sistem landfill

Tujuan utama pengendalian fermentasi dalam sistem landfill adalah

- 1) untuk menjamin terlaksananya produksi gas metan
- 2) menaikkan kecepatan dekomposisi sampah
- 3) menaikkan kualitas cairan yang dihasilkan

Bila tujuan ini dapat dicapai maka langkah berikutnya adalah mengusahakan pengaruh kerusakan lingkungan seminimal mungkin, serta mengusahakan penggunaan gas metan sebagai sumber energi. Dalam hal ini pengendalian kadar air sangat menentukan. Strategi pengendalian pH dengan CaCO_3 serta penggunaan inokulum bakteri metanogenik telah banyak dilakukan dan secara laboratorium terbukti bermanfaat. Pengendalian kadar air dengan menambah air untuk input sistem landfill yang dapat berasal dari air tanah, air permukaan, dan air hujan.

KESIMPILAN

Pencemaran sangat berbahaya terhadap ekosistem lingkungan termasuk kehidupan manusia, apabila tidak ditangani dengan benar. Pencemaran diakibatkan bahan buangan dari suatu aktivitas manusia, Pencemaran dapat dilihat dari perubahan fisik, kimia, dan biologi akibat bahan buangan diatas ambang batas suatu kehidupan. Pencemaran bisa berupa bahan padat, bahan cair dan bahan gas tergantung dari sumber bahan pencemar. Penanganan limbah harus dilakukan dengan teknologi yang ramah lingkungan. Hasil proses teknologi pengolahan limbah diharapkan dapat dimanfaatkan kembali (recycling).

DAFTAR PUSTAKA

- Almuneef, M., Memish, Z.A., 2003. Effective medical waste management: It can be done. *American Journal of Infection Control*, Vol.31, No.3, pp.188-192.
- Alvin-Ferraz, M.C.M., Afonso, S.A.V. 2003., incineration of different types of medical wastes: *Emission factors for particulate matter and heavy metals*. *Environmental Science & Technology*, Vol.37, No. 14, pp. 3152-3157.
- Askarian, M., Vakili, M., Kabir, G. (2004). *Results of a hospital waste survey in private hospitals in Fars province, Iran*. *Waste Management*, Vol.24, No.4, pp. 347-352.
- Badan Standar Nasional, 2004. *Air dan air limbah-Bagian 22*. Cara uji nilai permanganat secara Titrimetri SNI 06-6989.22-2004.
- Barek, J., Cvaka, J., Zima, J., Meo, M.D., Laget, M., Michelon, J., Castegnaro, M. (1998). Chemical degradation of wastes of antineoplastic agents: amifostine, azathioprine, asparaginase and thiotepa. *The Annals of Occupational Hygiene*, Vol.42, No.4, pp. 259-266.

- Badan Standar Nasional, 2006. *Cara uji mikrobiologi- bagian 1: penentuan coliform dan Escheria coli pada produk perikanan*. SNI 01-2332.1-2006
- Britton G. 1994. *Radioactive Emulsion From Coal Tired Station Central Electricity*. Gematery Board.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) 2001. *Laporan Tingkat Penggunaan pupuk anorganik di Bali. disampaikan pada seminar nasional BPTP seluruh Indonesia*. Balai pengkajian teknologi pertanian 2001.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) 2005. *Laporan Data Pembangunan Daerah Bali 2005*. Departemen Dalam Negeri Pemerintah Propinsi Bali 2005
- Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi (BPPT). 2009. *Sistem Pengelolaan Limbah Cair*. Bandung. Penerbit Persatuan Insinyur Teknik.
- Budiyanto M.A.K. 2004. *Mikrobiologi Terapan*. Diterbitkan oleh Universitas Muhammadiyah Malang. 266 h.
- Barnum, S.R. 2005. *Biotechnology An Introduction*. Edition 2. Miami University. ISBN 0-534-49296-7. USA p : 323.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal), 2009 Laporan Tingkat Daya Dukung lingkungan . Propinsi Bali
- Britton G. 2004. *Radioactive Emulsion From Coal Tired Station Central Electricity*. Gematery Board.
- Champman, D. 1996. *Water Quality Assesment*. London : E & EN Spon.
- Chang, Y. 1995 Centralized incineration treatment of infectious waste for regional hospital in Taiwan. *Waste Management & Research*, Vol.13, pp. 241-257
- Chitnis, V., Chitnis, S., Chitnis, S., Patil, S., Chitnis, D, 2003. *Solar disinfection of infections biomedical waste: A new approach for developin countries*. The Lancet (North American Edition), Vol. 362, No. 9392, pp. 1285-1286 (2003).
- Chitnis, V., Chitnis, S., Patil, S., Chitnis, D, 2003.. Treatment of discarded blood units: Disinfetion with hypochlorite/formalin versus steam sterilization. *Indian Journal of Medical Microbiology*, Vol.21, No.4, pp.265-267 (2003).
- Chitnis, V., Vaidya, K., and Chitnis, D.S, 2005. Biomedical waste in laboratory medicine: Audit and management. *Indian Journal of Medical Microbiology*, Vol.23, No. 1, pp. 6-13
- Caldwell,B. 2001. *How can organik vegetable growers increase soil organik matter without overloding the soil with nutrients*. *Small farmer s journal*. Vol. 25, No 3 p. P 223 – 23.
- Darmono, 2001. *Lingkungan hidup dan Pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia.
- Duncan Mara dan Sandy Cairneross 1994. *Pemanfaatan Air Limbah dan Ekskreta*, Penerbit ITB Bandung.
- Dahuri, R., N.S. Putra, Zairon dan Sulistiono. 2003. *Metode dan Teknik Analisis Biota Perairan*. PPLH. Lembaga Penelitian, Bogor. IPB.
- Direktorat Jendral PPM &PLP, Depkes.1996. Pedoman teknis sanitasi

(penyehatan)Pengelolaan di Rumah Sakit Jakarta.

- Depkes RI, 1993a. *Petunjuk Teknis Pengendalian Pencemaran Air Edisi I*, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Depkes RI, 2005b. Laporan Dampak pencemaran industry di Daerah Bali. Departemen kesehatan Republik Indoneisia propinsi Bali.
- Diaz, E. 2008. *Microbial Degradation, Bioremediation and Biotransformation*. ISBN : 978-1-904455-17-2. Disitir tanggal 17 September 2008. 8h.
- Entjang, I., 1997. *Ilmu Kesehatan Masyarakat*, Bandung: Penerbit PT Citra Aditya Bakti.
- Fair, G.M., J.C Geyer and D.A. Okun, 1966. *Wastewater Engineering*. New York. John Wiley & Sons.
- Fardiaz, S. 1993. *Analisis Mikrobiologi Pangan*, Jakarta: PT Raja grafindo Persada.
- Firngadi, S. 1995. *Komunitas Hewan Makrobentos yang Terdapat di Sungai Samin*. Purwokerto. UNSOED.
- Ghozali, M. 1992. *Pengelolaan Limbah Cair Secara Biologi*. Suatu Kajian yang Berwawasan Lingkungan. Seminar Metodologi Prakiraan Dampak Lingkungan dalam Analisis Dampak Lingkungan IPB-Bogor.
- Gunawan, T. 2000. *Rancangan sistem Teknologi pengolahan limbah cair*. Surakarta. Program Pasca Sarjana Ilmu Lingkungan UNS.
- Garin, 2008. *Kumpulan Teknologi Pengolahan Limbah*, Majalah Bulanan Iksalindo Edisi XVIII. Yogyakarta.
- Giyatmi, 2003. *Efektivitas pengolahan limbah cair Rumah Sakit Dokter Sarjito Yogyakarta terhadap pencemaran radioaktif*. Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Departemen Pertanian, 2010. *Warta Pertanian*. Direktorat Tanaman Pangan Jakarta
- Emmanuel, E, Blanchad, JM., Keck, G., Perrodin, Y 2001. *Effects of Hospital Wastewater on aquatic Ecosystem XXVIII*. Congerreso Interamericano de Ingeria Sanitaria Ambiental Cancun. Mexico.
- Fardiaz, S., 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: PT Gramedia.
- Fardiaz, S. 1993. *Analisis Mikrobiologi Pangan*, Jakarta: PT Rajagrafindo Persada.
- Fairchild, G.I., D.A.J. Barry, M.J. Goss, A.S. Hamill, P. Lafrance, P.H. Milburn, R.R. Simard., and B.J. Zebarth. 2000. *Groundwater Quality*. In *The Health of Our Water Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Ed. Coote, D.R. and Gregorich, L.J. Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada. Publ. 2020/E.
- Gegner, L. 2002. *Organic Alternatives to Treated Lumber*. NCAT/ATTRA, Fayetteville, AR.
- Harker, D.B., P.A. Chambers, A.S Crowe, G.L. Fairchild, and E. Kienholz. 2000. Understanding Water Quality. In *The health of Our Water Toward Sustainable Agriculture and Agri-Food Canada*. Publ. 2020/E.
- Hendricky, C., R. Lambert, X. Sauvenier and A. Peeters, 2005. *Sustainable nitrogen management in agriculture : An action programe towards protecting water resources in*

- Alwoon Religon (Belgium)*. Paper presented on OECD Workshop on Agriculture and Water : Sustainability, Markets and Policies. Australia.
- Heider J. And R, Rabus. 2008. *Genomic Insights in The Anerabic Biodegradation of Organic Pollutans*. Microbial Degradaton. Genomic and Molecular Biologuy. Caister Academic Press.
- Kusnoputranto H. 1997. *Air Limbah dan Ekstrata Manusia*, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Jakarta.
- Jaya dkk. 1994. *Pedoman Analisis Kualitas Air dan Tanah Perairan Payau*. Jepara. Balai Budi Daya Air Payau.
- Kumar, G.A., Kumar, S., Sabumon P.C., 2006. "Preminary Study of Physico-Chemical Treatment Options for Hospital Wastewater". *Journal of Environmental Management*. Vollore Tamil Nadu. India.
- Kienholz, 2000. E. F. Croteau, G.L. Fairchild, G.K. Guzzwell, D.I. Masse, and T.W. van der Gulik. 2000. Water Use. *In The health of Our Water Toward Sustainable Agriculture in Canada*. Ed. Coote, D.R. and Gregorich, L.J. Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada. Publ. 2020/E.
- Kusnoputranto H. 1997. *Air Limbah dan Ekstrata Manusia*, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Jakarta.
- Lovley, DR. 2003. *Cleaning up with genomic, applying molecular biology to bioremediation*, Nature Reviws, Microbiology.
- Lestari, D.E., Utomo, S.B., Sunarko, Virkyanov, 2008. *Pengaruh Penambahan Biosida Pengoksidasi Terhadap Kandungan Klorin untuk Pengendalian Pertumbuhan Mikroorganisme pada Air Pendingin Sekunder RSG-Gas*. Pusat Rektor Serba Guna-BATAN. Kawasan Puspitek Serpon. Tangerang. Banten.
- Mikkelsen, R I., 2000 Nutrien management for organic farming case study. *Journal of natural Recourcelife science Education*. Vol 20.p.88-92.
- Mulvaney, R I., S A Khan , R G.Hoef and H M Brown, 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduce the need for nitrogen fertilisastion. *Soil science Society of amerika journal* Vol 65.p1164-1172.
- Martin, F.R.J. A. Bootsma, D.R. Coote, B.G. Fairley., L.J. gregorich, J. Lebedin, P.H. Milburn, B.J. stewart, and T.W. van der Gulik. 2000. Canada,s Rural Water Recources. *In The healt of Our Water Toward Sustainable Agricuture in Canada* Ed. Coote, D.R. and Gregorich, L.J. Research Branch Agriculture and Agri-Food Canada. Publ. 2020/E.
- Meagler, R.B. 2000. Phytoeremediation to Toxi Elemental and Organic Pollutants. *Current Opinion In Plant Biology* 3 (2) : 153-162.
- McLeod MP and Eltis LD. 2008. *Genomic Insights Into the Aerobic Pathways for Degradation of Organic Pollutants, Microbial Biodegradation* : Genomic and Molecular Biology. Caister Academic Press.
- Murachman, B. 2005a. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair*. Jakarta: PT Cosolindo Persada.

- Murachman, B. 2005b. *Teknologi Pengolahan Limbah dengan Sistem Lumpur Aktif*. Jakarta: PT Cosolindo Persada.
- Nugroho, R. 1996. *Laporan Pengelolaan Limbah Cair Pulp Terhadap Kualitas Air*. Surabaya.
- Perkins, Henry., C. 1990. Dalam Journal, *Water Polution Colorado*. Amerika Serikat.
- Proowse, G.A. `1996. *The Important of The Chemistry of the Water to the* mcleodd dan Eltis, 2008.