

# **PEMANFAATAN BAKTERI UNTUK KESELAMATAN LINGKUNGAN**



## **ARTIKEL MIKROBIOLOGI LINGKUNGAN**

**Oleh:**

**Dr.Ir. I. Ketut Irianto M.Si**

**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS WARMADEWA  
2016**

## **BAB .I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Manfaat bakteri terhadap keselamatan lingkungan, merupakan salah satu bagian dalam mempelajari mikrobiologi lingkungan (enviromental microbiology), yakni ilmu yang mempelajari komposisi dan fisiologi dari komunitas mikroba di dalam lingkungan. Lingkungan yang dimaksudkan disini adalah tanah, air dan udara serta sedimen yang menutupi planet juga termasuk binatang dan tumbuhan yang mendiami area ini. Mikrobiologi lingkungan juga termasuk mempelajari mikroorganisme yang berada di dalam lingkungan buatan seperti bioreaktor (Anonimus, 2008a).

Adanya keprihatinan yang besar di antara masyarakat akan kualitas lingkungan telah membantu dicurahkannya minat yang kian besar untuk mempelajari ekologi mikroba. Sebagai contoh mikroorganisme memegang peranan yang menentukan dalam menguraikan sampah yang berasal dari manusia dan industri yang dibuang ke dalam air dan tanah. Mereka mampu melaksanakan daur ulang terhadap banyak macam bahan. Kualitas dan produktivitas perairan alamiah saling berkaitan, terutama dengan populasi mikroba. Udara bersih serta bebas debu mengandung sedikit mikroorganisme. Dengan demikian nyatalah bahwa penilaian terhadap kualitas lingkungan mempunyai kaitan yang rumit dengan flora mikroba yang ada (Pelezar dan Chan, 2005).

Beberapa mikroorganisme khususnya bakteri sangat berperan dalam pengelolaan lingkungan, sering hubungan simbiotik (baik positif maupun negatif) dengan organisme yang lain, dan hubungan ini mempengaruhi ekosistem. Salah satu contoh adalah simbiose mendasar adalah kloroplast, yang memungkinkan eukaryot mengadakan fotosintesis. Contoh kloroplast cyanobacteria endosimbiotik, sebuah kelompok bakteri yang berasal dari fotosintesis aerobik. Beberapa bagian teori merupakan penemuan bersamaan dengan suatu yang utama bergeser ke dekat atmosfer bumi, dari yang kurang atmosfer ke atmosfer yang kaya oksigen. Beberapa teori meluas bahwa pergerakan ke arah keseimbangan gas dapat mengakibatkan umur es global yang dikenal dengan Snowball bumi (Anonimus, 2008b). Mereka adalah tulang punggung dari semua ekosistem, tetapi terjadi banyak pada zone dimana cahaya tidak dapat mencapainya jadi fotosintesis tidak mungkin dalam memperoleh energi. Pada sctiap zone mikroba chemosynthetic menyediakan energi dan

karbon untuk organisme lain. Mikroba lain adalah sebagai pengurai, dengan kemampuannya mendaur ulang nutrisi dari sisa produk dari organisme lain. Mikroba ini memainkan peranan penting dalam siklus biogeochemical. Siklus nitrogen, siklus fosfor dan siklus karbon semuanya tergantung pada satu jalan atau yang lain. Contoh nitrogen menyusun 78% atmosfer planet adalah tidak dapat dicerna untuk banyak organisme, dan alur nitrogen ke dalam biosfer tergantung atas proses mikroba yang dikenai dengan fiksasi.

Menurut Budiyanto (2004), bakteri *Pseudomonas putida* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mampu mencerna minyak bumi pada kasus pencemaran air laut oleh pengeboran minyak pantai atau kecelakaan kapal pengangkut minyak. *Bacillus subtilis* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat pada limbah industri yang banyak mengandung logam berat. Biofilm (lapisan kumpulan mikroorganisme) juga berperan dalam pengelolaan air limbah atau limbah cair baik pada lagoon sistem (sistem kolam), *activated sludge system* (sistem lumpur aktif), *down flow sand filter system* (sistem filter pasir aliran ke bawah) dan *up flow sand filter system* (sistem aliran pasir ke atas). Salah satu fungsi biofilm tersebut adalah mendekomposisi protein menjadi amonia, nitrit dan nitrat.

Melalui perkembangan bioteknologi dan rekayasa genetika di masa yang akan datang, memungkinkan bakteri akan membawa beberapa sifat genetik dengan mentransfer gen yang dikehendaki untuk membuat sifat tumbuhan, manusia maupun hewan yang diinginkan dengan sifat dan karakteristik sesuai harapan manusia. Untuk hal ini diperlukan kajian lebih mendalam beberapa hasil penelitian dan informasi yang terkini. Keterbatasan informasi akan menyebabkan ketertinggalan ilmu pengetahuan maupun teknologi. Berdasarkan uraian di atas disimpulkan sebagai berikut :

1. Bakteri merupakan salah satu mikroorganisme sangat memegang peranan penting dan telah banyak dimanfaatkan untuk keselamatan lingkungan dari pencemaran lingkungan, serta berguna untuk menguraikan polutan, melalui proses biodegradasi dan bioremediasi.
2. Perkembangan bioteknologi memungkinkan bakteri melalui rekayasa genetika dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia sehingga bakteri dapat digunakan untuk mengatasi limbah minyak bumi, berguna dalam proses biogas, mengatasi logam berat, pengolahan limbah kaya protein, memproduksi hidrogen, mengatasi zat kimia pestisida dan menghasilkan produk yang bernilai lebih tinggi

## **BAB. II**

### **BAKTERI SEBAGAI AGENS PENYELAMATAN LINGKUNGAN**

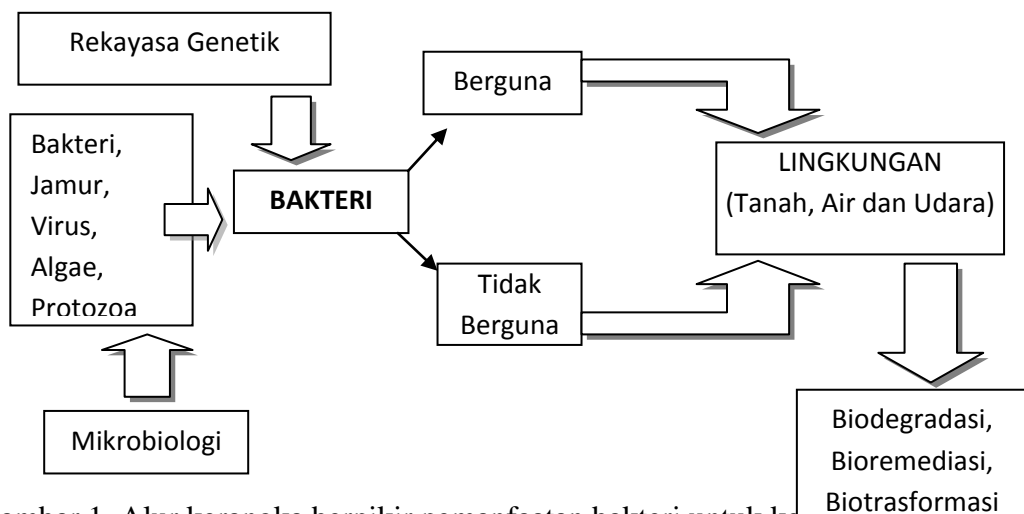
Seberapa jauh bakteri telah dimanfaatkan sebagai agens penyelamat lingkungan yang bermanfaat untuk kelangsungan hidup umat manusia. Dipilihnya bakteri sebagai penekanan dalam tulisan ini, karena bakteri telah banyak digunakan dan telah banyak diteliti yang sangat bermanfaat bagi keselamatan lingkungan. Juga penulis ingin mengetahui temuan terbaru dibidang bakteriologi lingkungan. Seperti manfaat bakteri terhadap mengurangi polutan, bakteri sebagai biocleaner (biogas, mengatasi limbah minyak bumi, limbah logam berat, pengelolaan limbah kaya protein, mengurangi parachlorophenol, memproduksi hidrogen) dan manfaat dalam memproses limbah.

#### **2. 1 Kelompok mikroorganisme**

Mikroorganisme yang terdiri dari organisme hidup yang berukuran sangat mikroskopis. Dunia mikroorganisme terdiri dari lima kelompok organisme yakni : bakteri, protozoa, virus, algae dan jamur mikroskopis (Pelczar dan Chan, 2007). Salah satu mikroorganisme ini adalah bakteri yang banyak dikenal baik karena berakibat negatif pada manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan juga berpengaruh positif; yakni dapat digunakan untuk kesejahteraan umat manusia, khususnya dalam pembahasan ini adalah bermanfaat untuk keselamatan lingkungan. Lingkungan yang dimaksudkan disini adalah tanah, air dan udara (Pelczar dan Chan, 2005). Pengetahuan tentang mikrobiologi lingkungan sangat membantu dalam memecahkan masalah. Mikrobiologi lingkungan adalah studi tentang fungsi dan keragaman mikroba pada lingkungan alaminya. Termasuk studi tentang ekologi mikroba, siklus nutrisi mediasi-mikrobialnya, geomikrobiologi, keragaman mikroba dan bioremediasi (Anonimus, 2008f). Adapun alur kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1.

Perkembangan teknologi khususnya bioteknologi melalui rekayasa genetik dapat memanfaatkan mikroorganisme khususnya bakteri dari yang tidak berguna, menjadi berguna dalam menyelamatkan lingkungan. Bakteri dapat digunakan sebagai agens biodegradasi (menguraikan senyawa yang berbahaya menjadi tidak berbahaya bagi lingkungan) (Anonimus, 2008c), bioremediasi (proses menggunakan mikroorganisme, bakteri, jamur, tanaman hijau atau

enzimnya untuk mengembalikan kondisi lingkungan alami yang dirubah oleh kontaminan ke kondisi aslinya) (Anonimus, 2008a). Bioremediasi dan biotransfomnasi adalah metode yang sangat mengejutkan secara alami terjadi, keragaman katabolik mikroba untuk mendegradasi, agens pembawa (transform) atau akumulasi kisaran senyawa yang sangat besar termasuk hidrokarbon (contoh minyak), polychlorinated biphenyls (PCBs), polyaromatic hydrocarbons (PAHs), substansi pharmaceutical, radionuclides dan metal. Mengurangi polusi secara luas dan limbah lingkungan adalah mutlak dibutuhkan untuk mendukung perkembangan yang berkelanjutan komunitas sosial kita dengan dampak lingkungan yang rendah. Proses biologi memainkan peranan dalam merombak kontaminan dan mengambil keuntungan darinya dengan memanfaatkan mikroba untuk menguraikan dan merubah setiap komponen yang berbahaya (Diaz, 2008).



Gambar 1. Alur kerangka berpikir pemanfaatan bakteri untuk kelestarian lingkungan



## 2.2 Bakteri yang digunakan untuk mengurangi polutan

Mikroorganisme yang telah direayasa dapat digunakan untuk menggantikan suatu proses produksi sehingga hanya menghasilkan polutan sedikit mungkin. Beberapa contoh adalah produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipida yang menggunakan mikroorganisme akan menghasilkan limbah produksi lebih sedikit jika dibandingkan dengan produksi enzim, vitamin, karbohidrat dan lipida yang menggunakan tumbuhan. Penggunaan *Bacillus thuringiensis* sebagai bioinsektisida dan penggunaan *Bacillus subtilis* sebagai bio-fosfor (Budiyanto, 2004).

Penggunaan bakteri sebagai pengganti insektisida sintetis dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus keracunan bagi serangga berguna (non target) (Soesanto, 2006). Telah diteliti dampak residu herbisida yang tertahan di dalam tanah dapat diuraikan dengan bantuan mikrobiologi dalam tanah khususnya bakteri. Penggunaan herbisida 2,4-D dengan konsentrasi nisbi 100% selama 10 hari menjadi kira-kira 10% (Pelczar dan Chan, 2005). Isolat *Acinetobacter* yang diambil dari lingkungan mampu mendegradasi dengan kisaran yang luas senyawa aromatik. Rute utama untuk stadium akhir asimilasi metabolit adalah lewat catechol atau protocatechuate (3,4- dihydroxybenzoate) dan lintas beta-ketoadipate (Anonimus, 2008a).

Bakteri juga bermanfaat sebagai bioremediasi. Bioremediasi adalah proses yang menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, jamur, tanaman hijau atau enzimnya untuk mengembalikan lingkungan alami yang berubah akibat kontaminan ke kondisi asalnya. Bioremediasi dikerjakan untuk kontaminan tanah yang spesifik, yakni degradasi hidrokarbon diklorinasi oleh bakteri. Contoh banyak pendekatan umum dalam hal membersihkan tumpahan minyak dengan penambahan pupuk nitrat atau sulfat ke fasilitas dekomposisi dari minyak mentah dengan bakteri indo/eksogenous (Anonimus, 2008d).

Secara alami kejadian bioremediasi dan fitoremediasi telah digunakan berabad-abad lamanya. Contoh desalinasi lahan pertanian dengan fitoekstraksi merupakan tradisi yang lama. Teknologi bioremediasi menggunakan mikroba dilaporkan oleh George M. Robinson. Mereka bekerja di daerah petrolium untuk Santa Maria, California selama 1960. Teknologi bioremediasi secara umum dapat diklasifikasikan menjadi *in situ* atau *ex situ*. Bioremediasi *in situ* termasuk perlakuan material kontaminan di tempat. Sebaliknya *ex situ* termasuk berpindah material

kontaminan ke tempat yang lain yang diperlakukan. Contoh bioremediasi adalah *bioventing*, *biofarming*, *bioreactor* *composting* *bioaugmentation*, dan *rhizofiltration*.

Menurut Burhan (2005) ada dua metode dalam bioremediasi yakni :

1. Penggunaan nutrisi untuk mendorong pertumbuhan dan meningkatkan aktifitas bakteri yang ada didalam tanah atau air. Penguraian secara alami hidrokarbon adalah dipercepat oleh penambahan pupuk (kadang-kadang pelacakan metal dan mikronutrisi lain seperti mikroorganisme). Jadi menyediakan sumber nitrogen dan fosfor yang mungkin pembatasan dalam lingkungan alami.
2. Penambahan bakteri baru ke lokasi polusi. Utamanya aplikasi bioremediasi menggunakan mikroorganisme secara alami untuk membersihkan limbah, walaupun secara rekayasa genetik mikroorganisme diuji. Kadang-kadang melalui produk yang dihasilkan dari mikroba yang menguraikan limbah dapat menggunakan untuk aplikasi. Contoh methana dihasilkan oleh beberapa mikroorganisme selama sulfur, limbah yang dihasilkan selama produksi kenas. Methana dapat ditangkap dan digunakan sebagai sumber energi.

Meagher (2000), menyatakan tidak semua kontaminan mudah diperlakukan dengan bioremediasi menggunakan mikroba. Contoh logam berat yakni cadmium dan timah tidak siap diserap dan ditangkap oleh organisme. Asimilasi metal yakni merkuri ke dalam rantai makanan dapat bertambah buruk, Fitoremediasi berguna dalam keadaan ini, karena tanaman alami atau tanaman transgenik mampu bioakumulasi toksin ini pada bagian di atas tanah, yang kemudian dapat dipanen untuk dipindahkan. Logam berat pada biomass yang dipanen selanjutnya dapat dikonsentrasikan melalui pengabuan atau didaur kembali untuk manfaat industri.

Pengurangan polutan dan limbah dari lingkungan adalah mutlak membutuhkan pengertian kita yang relatif penting menggunakan langkah berbeda dan mengatur jaringan kerja untuk perubahan karbon secara terus menerus khususnya pada lingkungan dan terlebih lagi bahan serta cepat mengembangkan teknologi bioremediasi dan proses biotransformasi (Diaz, 2008).

Pendekatan rekayasa genetik dalam merancang organisme spesifik untuk bioremediasi sangat potensial (Lovley, 2003). Bakteri *Deinococcus radiodurans* (diketahui organisme sangat radioresistent) telah dimodifikasi untuk dipakai dan mencerna toluen dan ion merkuri dari limbah radioaktif (Brim, *et al.*, 2000).



Proses bioremediasi dapat dimonitor secara langsung melalui pengukuran *Oxidation Reduction Potential* atau redoks pada tanah atau air tanah, bersama dengan pH, suhu, kandungan oksigen, konsentrasi aseptor/donor elektron dan konsentrasi produk yang terurai (contoh karbon dioksida). Tabel 1 menunjukkan penurunan laju penguraian secara biologi seperti fungsi potensial redoks (Anonimus 2008d).

Tabel 1. Beberapa proses, reaksi dan potensial redoks dalam memonitoring bioremediasi (Anonimus, 2008d)

Proses	Reaksi	Potensial Redoks (Eh dalam mV)
Aerobik :	$O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$	600 ~ 400
Anaerobik :		
Denitrifikasi	$2NO_3^- + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 +$	500 ~ 200
Reduksi mangan IV	$MnO_2 + 2e^- + 4H^+ \rightarrow Mn^{2+} +$ $2H_2O$	400 ~ 200
Reduksi besi III	$Fe(OH)_3 + e^- + 3H^+ \rightarrow Fe^{2+} + 3H_2O$	300 ~ 100
Reduksi sulfat	$SO_4^{2-} + 8e^- + 10H^+ \rightarrow H_2S +$ $4H_2O$	0 ~ - 150
Fermentasi	$2CH_2O \rightarrow CO_2 + CH_4$	-150 ~ -220

Dibutuhkan sampel cukup pada lokasi sekitar kontaminasi agar mampu menentukan contour sama dengan potensial redoks. Contouring biasanya dilakukan menggunakan software khusus, contoh menggunakan interpolasi Kriging. Kalau semua pengukuran potensial redoks menunjukkan aseptor elektron telah digunakan, pengaruhnya sebagai indikator untuk aktivitas total mikroba. Analisis penguraian juga diperlukan untuk menentukan kapan level kontaminan dan produk penguraiannya telah direduksi ke bawah batas pengaturan.

### 2.3 Bakteri sebagai organisme pembersih (biocliner) `

Bakteri yang direkayasa dapat digunakan sebagai organisme pembersih (biocliner) jenis polutan (limbah) yang dimungkinkan menghasilkan bahan yang lebih bernilai ekonomi. Penguraian limbah dilakukan secara bersama-sama oleh bakteri aerob dan anaerob. Bakteri pengurai (dekomposer) memerlukan oksigen, nitrogen dan fosfor untuk melakukan kegiatannya. Bahan ini diambil dari lingkungan dan bahan mentah yang mengandung unsur tersebut dalam berbagai bentuk persenyawaan seperti amonium, nitrat, dan pospat (Bidiyanto. 2004).

Menurut McLeod dan Eltis (2008), menjelaskan tentang biodegradasi aerobik dari polutan. Mereka menyatakan sejumlah perkembangan data genomik bakteri yang menyediakan peluang tidak ada bandingannya untuk pengertian genetika dan dasar molekuler bagi degradasi polutan organik. Diantaranya adalah senyawa aromatik dipelajari dari studi genomik *Burkholderia xenovorans* LB400 dan *Rhodococcus* sp. strain RHAI. Studi ini telah membantu pengertian tentang katabolisme bakteri, adaptasi fisiologi non-katabolik terhadap senyawa organik, dan evolusi dari genom bakteri yang besar. Pertama lintas metabolik dari phylogenetik dari isolat berbeda sangat mirip dengan semua organisasi. Jadi awalnya tercatat pada *Pseudomonas*, sejumlah besar lintas “aromatik peripheral” berkisar alami dan senyawa xenobiotik ke dalam jumlah terbatas dari lintas aromatik sentral. Haider dan Rabus (2008) juga menjelaskan biodegradasi anaerobik dari polutan dengan mempelajari urutan genom secara lengkap menentukan lamanya bakteri mampu mendegradasi polutan secara anaerobik. Contoh genom ~4.7 Mb dari *Aromatoleum aromaticum* strain EbN1 pertama ditentukan untuk pendegradasi hidrokarbon secara anaerobik (menggunakan toluen atau etilbenzena sebagai substrat). Urutan genom yang diungkapkan kira-kira 2 lusin gen cluster (termasuk beberapa paralog) coding untuk jaringan katabolik kompleks untuk degradasi anaerobik dan aerobik dari senyawa aromatik. Bentuk urutan genom dasar untuk studi secara detail pada regulasi lintas dan struktur enzim. Selanjutnya dari bakteri pendegradasi hidrokarbon secara anaerobik baru-baru ini dilengkapi untuk reduksi besi spesies *Geobacter metallireducens* dan reduksi perchlorat *Dechloromonas aromatica*. Tetapi hal ini belum dipublikasi secara formal. Genom lengkap juga ditentukan untuk bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon halogenasi secara anaerobik melalui halo-respirasi : genom ~1.4 Mb dari *Dehalococcoides ethenogenes* strain 195 dan *Dehalococcoides* sp. Strain CBDBI dan genom ~5,7 Mb dari *Desulfotobacterium hafniense* strain Y51. Karakteristik semua bakteri ini adalah keberadaan gen multiple paralogous untuk reduksi dehalogenasi, mengimplikasikan spektrum dehalogenasi lebih luas organisme ini dari yang diketahui sebelumnya.

## **2.4 Penggunaan Bakteri untuk Mengatasi Limbah Minyak Bumi**

Bakteri juga telah dimanfaatkan untuk mengatasi limbah minyak bumi di daerah kilang minyak (terutama kilang minyak lepas pantai atau pada kecelakaan kapal pengangkut minyak bumi). Golongan *Pseudomonas*, seperti *Pseudomonas putida* mampu mengkonsumsi hidrokarbon

yang merupakan bagian utama dan minyak bumi dan bensin. Gen yang mengkode enzim pengurai hidrokarbon terdapat pada plasmid rekombinan dikultur dalam jerami dan dikeringkan. Jerami berongga yang telah berisi kultur bakteri kering dapat disimpan dan digunakan jika diperlukan. Pada saat jerami ditaburkan di atas tumpahan minyak, mula-mula jerami akan menyerap minyak itu menjadi senyawa yang tidak berbahaya dan tidak menimbulkan polusi. Bakteri ini juga digunakan untuk membersihkan limbah minyak di pabrik pengolahan daging (Budiyanto, 2004).

Biodegradasi minyak oleh bakteri perombak petroleum, sebagai contoh peranan bakteri dalam memperbaiki lingkungan. Dalam kondisi tertentu organisme hidup (utamanya bakteri, ragi, kapang dan jamur berfilamen) dapat merubah atau memetabolisme berbagai senyawa yang ada dalam minyak, proses secara kolektif ini disebut dengan biodegradasi minyak. Biodegradasi mempengaruhi tumpahan minyak dan rembesan permukaan. Telah dicatat lebih dari 30 tahun yang lalu. Akumulasi minyak dangkal (suhu 80 °C)(Anonimus, 2008e).

Biodegradasi secara teratur merombak tumpahan dan rembesan minyak melalui metabolisme dari berbagai senyawa yang ada pada minyak (Bence *et al.*, 1996). Ketika biodegradasi terjadi pada sisa minyak, secara dramatis prosesnya mempengaruhi kandungan cairan minyak (Anonimus, 2008e) dan mempengaruhi nilai serta produksibilitas dari akumulasi minyak. Bentuk biodegradasi minyak sebagai berikut :

- Muncul viscositas minyak (yang menurunkan produksibilitas minyak)
- Menurunkan gravitasi api minyak (yang menurunkan nilai produksi minyak)
- Menaikkan kandungan asphalthen (relatif untuk kandungan hidrokarbon jenuh dan aromatik)
- Menaikkan konsentrasi metal tertentu
- Menaikkan kandungan sulfur
- Menaikkan asiditas minyak
- Menambah senyawa yakni asam karboksilat dan fenol.

Sebagai contoh sepernagkat hubungan secara generik dari Oklahoma (Anonimus, 2008e) terlihat berikut perubahan biodegradasi seperti Tabel 2. Kalau dilihat pada degradasi berat gravitasi API kecil, kandungan sulfur, vanadium dan nikel tinggi pada pasir tar, tetapi lebih kecil dari pada biodegradasi sedang. Sedangkan kandungan minyak jenuh pada biodegradasi berat terkecil.

Tabel 2. Kandungan bahan pada minyak yang tidak didegradasi, biodegradasi sedang, dan biodegradasi berat (Anonimus, 2008e)

		<b>Gravitasi API</b>	<b>Sulfur (wt%)</b>	<b>Vanadium (ppm)</b>	<b>Nikel (ppm)</b>
Tanpa degradasi minyak		32	0,6	30,6	16,4
Biodegradasi minyak sedang		12	1,6	224	75,1
Biodegradasi berat (pasir tar)		4	1,5	137,5	68,5

		Jenuh	Aromatik	Polar	Asphaltene
Tanpa degradasi minyak		55%	23%	21%	2%
Biodegradasi minyak sedang		25%	21%	39%	14%
Biodegradasi (pasir tar)	berat	20%	21%	41%	21%

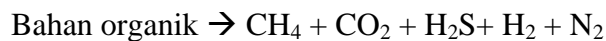
Minyak petroleum mengandung senyawa aromatik yang beracun terhadap semua bentuk kehidupan. Polusi yang berat pada lingkungan akibat minyak menyebabkan gangguan ekologi. Lingkungan laut adalah tidak bernilai sejak ada tumpahan minyak dan laut terbuka menjadi buruk dan sukar dihilangkan. Terlebih lagi polusi akibat ulah manusia, jutaan ton minyak petroleum memasuki lingkungan laut setiap tahun dari rembesan secara alami. Disamping toksisitasnya, bagian yang perlu dipertimbangkan dari minyak petroleum memasuki sistem laut adalah dibatasi oleh aktivitas degradasi hidrokarbon oleh kumpulan mikroba, khususnya yang baru-baru ini diteliti hydrocarbonoclastic bacteria (HCB). *Alcannivorax borkumensis* adalah HCB pertama mempunyai urutan genomnya (Martin et al., 2008).

## 2.5 Manfaat Bakteri dalam Produksi Biogas

Limbah rumah tangga, pertanian dan industri yang diuraikan oleh bakteri kelompok mentanogen dapat menghasilkan biogas yang sebagian besar berupa metana. Biogas (metana) dapat terjadi dari penguraian limbah organik yang mengandung protein, lemak dan karbohidrat. Pembentukan biogas berlangsung melalui suatu proses fermentasi anaerobik atau tidak berhubungan dengan udara bebas. Proses fermentasi merupakan suatu reaksi oksidasi-reduksi di dalam sistem biologis yang menghasilkan energi, dimana sebagai donor dan aseptor elektronnya digunakan senyawa organik. Fermentasi anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul lain selain oksigen sebagai aseptor elektron. Fermentasi anaerobik menghasilkan biogas yang terdiri dari metana (50-70%), karbondioksida (25-45%), sedikit hidrogen, nitrogen dan hidrogen sulfida (Budiyanto, 2004).

Ada tiga tahap dalam pembuatan biogas yaitu :

- a. Tahap pertama adalah reduksi senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh bakteri hidrolitik. Bakteri ini bekerja pada suhu 30-40°C kelompok mesophilik dan suhu antara 50° - 60°C untuk kelompok termophilik. Tahap penama ini berlangsung dengan pH antara 6-7.
- b. Tahap kedua adalah perubahan senyawa sederhana menjadi asam organik yang mudah menguap seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat dan lain-lain. Dengan terbentuknya asam organik maka pH akan terus menurun, namun pada waktu yang bersamaan terbentuk buffer yang dapat menetralkan pH. Bakteri pembentuk asam organik tersebut di antaranya adalah *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Escherichia* dan *Aerobacter*.
- c. Tahap ketiga adalah konversi asam organik menjadi metana, karbondioksida dan gas lain seperti hidrogen sulfida, hidrogen dan nitrogen.



Konversi ini dilakukan oleh bakteri metan seperti :

*Methanobacterium omelianskii*, *M. Sohngenei*, *M. Suboxydans*, *M. Propionicum*, *M. Formicum*, *M. Rimunantium*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanococcus vannielli* dan *Methanococcus mazei*.

## 2.6 Penggunaan Bakteri untuk Mengatasi Limbah Logam Berat

Limbah pabrik yang banyak mengandung logam berat dapat dibersihkan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan logam berat sebagai nutrisi atau hanya menyerap (immobilisasi). Bakteri yang dapat digunakan antara lain : *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Bacillus subtilis*. *Thiobacillus ferrooxidans* mendapat energi dari senyawa anorganik seperti besi sulfida dan menggunakan energi untuk membentuk bahan yang berguna seperti asam fumarat dan besi sulfat. *Bacillus subtilis* memiliki kemampuan mengikat beberapa logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Al, dan Fe dalam bentuk nitrat. Logam tersebut di atas dapat dilarutkan kembali setelah bakterinya dibuat lisis. Logam tersebut dapat digunakan kembali oleh industri logam. Kemampuan remobilisasi (pelarutan kembali) logam disini untuk Pb dapat mencapai 79%, Cd dapat mencapai 67% dan Ni hanya dapat mencapai 17%. Keberhasilan ini dipengaruhi oleh larutan remobilisasi (seperti NaOH atau Ca), bahan pengekstraksi (seperti asam nitrat) (Budiyanto, 2004).

## 2.7 Penggunaan Bakteri dalam Pengolahan Limbah yang Kaya Protein

Limbah yang kaya protein jika terdekomposisi oleh bakteri dekomposer akan menghasilkan nitrat, nitrit dan amonia. Ketiga hasil dekomposisi ini dapat mengakibatkan permasalahan lingkungan dan kesehatan. Nitrit jika bereaksi dengan senyawa amine akan menjadi senyawa nitrosamin yang merupakan senyawa karsinogenik pada lambung. Untuk mengatasi hal tersebut harus ditambahkan bakteri dinitrifikan yang telah direkayasa seperti *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus lichemiformis*, *Pseudomonas denitrifikasi*, *Pseudomonas stutzeri*, *Micrococcus denitrificans* dan *Thiobacillus denitrificans*. Bakteri mengubah nitrat menjadi nitrogen bebas yang tidak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Denitrifikasi ini dapat terjadi dalam filter pasir aliran ke atas (*moving bed upflow sand flow sand filter*) maupun filter pasir aliran ke bawah (*moving bed down flow sand filter*). Denitrifikasi dalam filter pasir aliran ke atas ini telah digunakan di Gainne4sville dan Amberden (industri pengolahan air limbah rumah tangga dan industri). Penambahan ethanol sebagai sumber karbon tambahan sebanyak 3,3 - 3,5 g CH<sub>3</sub>OH/g NO<sub>3</sub>-Neq dengan *hydraulic loading rate bed/d* akan menghasilkan kinerja denitrifikasi menjadi baik sehingga nitrogen efluen akan baik (1,0 g/m<sup>3</sup>) dengan waktu yang dibutuhkan selama 13 jam (Budiyanto, 2004).

Barnum (2005) menyatakan sering mikroorganisme yang berasal dari dalam bumi, setelah diinokulasi (zat kimia dapat menghambat pertumbuhan mikroba itu sendiri). Contoh resin, dan senyawa aromatik seperti penta-, tetra-, dan naphtheno- aromatik, adalah sangat tahan terhadap biodegradasi. Banyak hidrokarbon aromatik mengandung lebih banyak cincin lima mendegradasi lambat dan beberapa tidak untuk semuanya. Perbandingan umur paruh, senyawa cincin lima, memiliki umur paruh 200-300 minggu; pyrine senyawa cincin empat 34 » 90 minggu; senyawa cincin dua naphthalene terlihat hanya 2,4 - 4,4 minggu. Pelarut hidrokarbon yang dichlorinasi tinggi tidak mampu mendegradasi melalui populasi mikroba secara alami. Kenyataan jumlah atom halogen langsung mempengaruhi kecepatan pendegradasian; banyak halogen pada molekul, degradasi lebih lambat. Efektivitas perlakuan membutuhkan bakteri yang direkayasa genetik untuk menangani bentuk spesilik dari polutan. Untuk masa mendatang banyak produk mikroba dari bioteknologi akan mampu untuk bioremediasi, termasuk biaya lebih efektif dan ramah lingkungan bagi perubahan senyawa beracun.

## **2.8 Penggunaan Bakteri dalam Produksi Hidrogen**

Telah dikembangkan penanganan limbah oleh mikroorganisme yang dapat menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan untuk kepentingan industri sebagai bahan bakar alternatif. Proses ini dilakukan oleh bakteri penghasil enzim hidrogenase seperti *Clostridium butyrium*. Bakteri ini dimobilkan (dihentikan gerakannya) pada suatu filter penyaring limbah cair yang mengandung gula dari pabrik alkohol. Bakteri ini akan mencernakan dan menggunakan gula serta mampu menghasilkan gas hidrogen yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar yang tidak menimbulkan polusi (Budiyanto, 2004)

Akibat kemajuan industri pada masa yang akan datang, diperkirakan jenis polutan berupa senyawa kimia akan muncul dengan jumlah banyak. Hal ini akan menimbulkan masalah karena polutan tersebut lebih cenderung tetap tinggal di lingkungan tempat tinggal kita. Kenyataan ini mendorong para ahli rekayasa mikroorganisme untuk terus mengembangkan pola kombinasi bakteri dan enzim yang mampu membersihkan limbah kimiawi.

## **2.7 Penggunaan Bakteri untuk Mendegradasi Zat Kimia**

Pada pertengahan tahun 1960an beberapa mikroorganisme telah diselidiki memiliki kemampuan untuk mendegradasi pestisida, herbisida dan beberapa zat kimia organik. Sekarang banyak spesies bakteri diketahui mengoksidasi senyawa dengan kisaran luas. Strain *Pseudomonas*, paling banyak adalah bakteri tanah, mendegradasi lebih dari 100 senyawa organik. Bakteri menggunakan senyawa kimia sebagai sumber karbon dan memetabolisme senyawa menggunakan enzim dari lintas biodegradatif. Gen mengedocoding enzim dari lintas metabolik dapat muncul kembali pada kromosom atau plasmid atau keduanya. Plasmid mengcoding enzim ini biasanya besar dari 50 sampai 200 kb, dan dapat diisolasi dan dipelajari di laboratorium (Barnum, 2005).

Komponen yang paling banyak dari pestisida adalah DDT adalah zat kimia yang arimafik halogenasi. Zat kimia yang berisi elemen halogen astatin, bromin, chlorin, fluorin atau iodin adalah polutan yang penuh resiko terlihat pada lokasi limbah beracun. Banyak halogen adalah zat kimia industri yang penting, contoh pelarut pembersih kering karbon tetraklorida dan Insulasi PCB (Polychlorinated biphenyl) (Anonimus, 2008g) pada peralatan elektrik, adalah carcinogenic dan beracun terhadap ikan dan rumput liar. Senyawa halogen juga terjadi secara alami pada

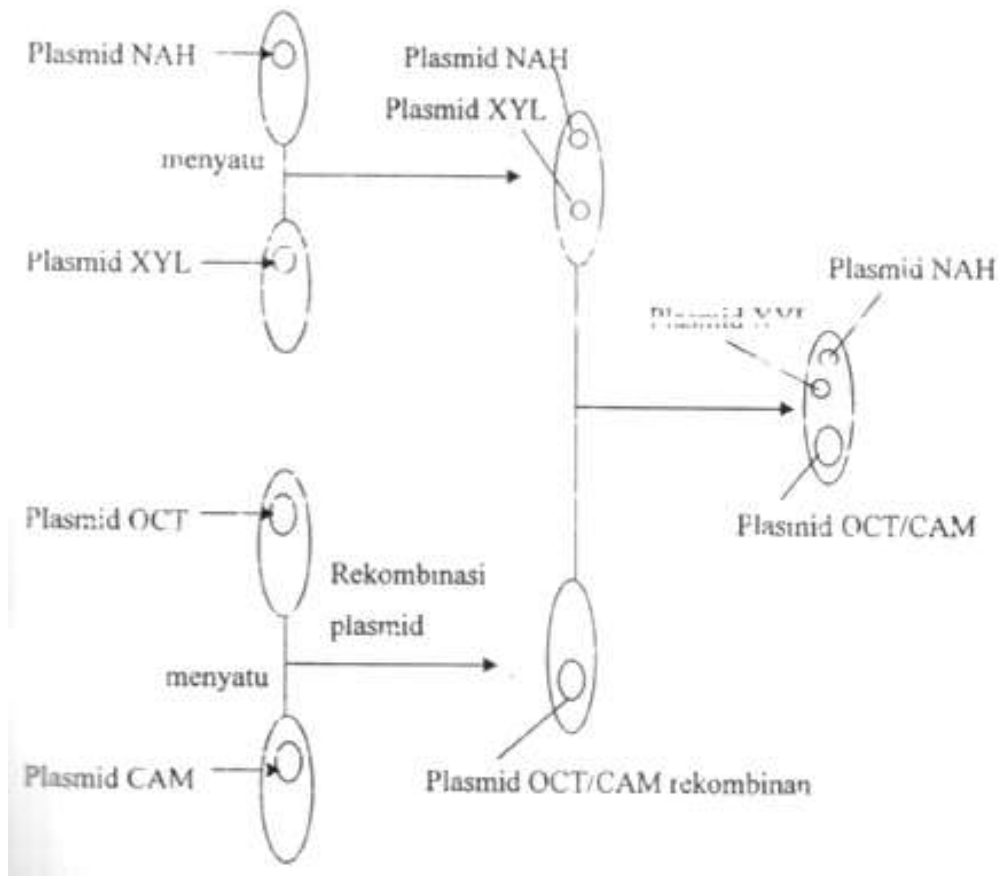


lingkungan, banyak mengandung chlorin. Lebih banyak 200 senyawa halogen dihasilkan oleh algae, bakteri dan bunga karang (Barnun, 2005).

Dehalogenasi adalah proses perombakan halogen, mengkonversi banyak zat kimia aromatik halogen menjadi zat kimia yang tidak beracun. Dehalogenasi terjadi melalui reaksi enzimatik, menggunakan dioksigenase, yang memperbanyak halogen pada cincin benzena dengan grup hidroksil. Enzim yang sama dapat mentransformasi senyawa aromatik halogen juga mengkonversi hidrokarbon aromatik polisiklik (Anonimus, 2008h) menjadi zat kimia yang lain yang tidak beracun seperti catechol atau protocatechuat (Barnum, 2005).

Lintas degradasi sering plasmid disandi; contoh satu plasmid dapat menyandi enzim memecah toluena dan xylene, sebaliknya kedua plasmid menyandi sebuah gen yang mendegradasi herbisida 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid). Melalui transfer plasmid menyandi enzim untuk lintas degradasi spesifik ke dalam mikroorganisme penerima, berbagai zat kimia dapat didegradasi.

Rekayasa mikroorganisme yang pertama dengan kemajuan degradatif yang diturunkan oleh Ananda Chakrabarty dan temannya tahun 1970an. Mereka mentransfer plasmid ke dalam strain bakteri yang dapat mendegradasi beberapa senyawa dalam petroleum (Gambar 2). Chakrabarty mendapatkan patent di AS untuk rekayasa genetik mikroorganisme. Walaupun strain bakteri tidak pernah dikomersialisasi atau digunakan membersihkan tumpahan minyak. Perkembangan mikroba pengurai minyak secara nyata dicapai (Barnum, 2005).



**Gambar 2.** Produksi degradasi-camphor, naphthalena, xylene, dan octana strain bakteri (berturut-turut CAM, NAH, XYL dan OCT) melalui rekombinasi plasmid selama penyatuan dari beberapa strain bakteri (Bamiun, 2005).

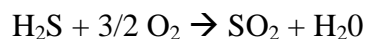
Bakteri dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* mempunyai kemampuan untuk mengubah fosfat yang tidak tersedia bagi tanaman (tidak larut) menjadi bentuk fosfat yang larut sehingga dapat digunakan oleh tanaman. Hal ini karena bakteri mensekresikan asam organik misalnya asam format, asam asetat, asam propionat, asam laktat, asam glikolat, asam fumarat dan asam suksinat. Senyawa ini dapat menurunkan pH tanah sehingga melarutkan fosfat yang terikat. Beberapa anion hidroksi mengkelasi (cheloate) kalsium dan besi sehingga menyebabkan pelarutan dan penggunaan fosfat semakin efektif (Yowono, 2006).

## **2.8 Bakteri untuk Memproses Limbah Tertentu untuk Menghasilkan Produk Bernilai Lebih Tinggi**

Limbah organik potensial untuk menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dekomposisi limbah organik akan menghasilkan beberapa gas yang dapat mencemari udara, tanah dan air. Gas tersebut antara lain sebagai berikut :

### **a. Kelompok senyawa sulfur**

Dekomposisi air kelapa oleh mikroorganisme akan menghasilkan  $H_2S$  yang cepat berubah menjadi  $SO_2$  dengan reaksi sebagai berikut



Disamping gas  $H_2S$  bersifat iritan bagi paru-paru, gas ini juga mempunyai efek melumpuhkan pusat pernafasan, sehingga kematian disebabkan oleh terhentinya pernafasan. Hidrogen disulfida juga bersifat korosif terhadap metal dan dapat menghitamkan berbagai material.  $SO_2$  dikenal sebagai gas yang tidak berwarna. Pada konsentrasi 6-12 ppm akan bersifat iritan kuat bagi kulit dan selaput lendir.  $SO_2$  dalam keadaan rendah menyebabkan spasme temporer otot polos pada bronkhilioli. Spasme ini akan menjadi lebih hebat dalam keadaan dingin. Pada konsentrasi lebih besar akan menyebabkan terjadinya produksi lendir di saluran pernafasan bagian atas. Jika kadar semakin tinggi, maka akan menyebabkan terjadinya peradangan yang hebat pada selaput lendir yang disertai paralisis silia dan kerusakan (desquamasi) lapisan epitelium.  $SO_2$  dengan konsentrasi lebih rendah (6-12 ppm) dengan pemaparan berulang kali akan menyebabkan hiperplasia dan metaplasia sel epitel. Metaplasia ini dapat berkembang menjadi kanker. Pengaruh  $SO_2$  pada hewan menyerupai pengaruh  $SO_2$  pada manusia. Pengaruh  $SO_2$  pada tumbuhan tampak terutama pada daun menjadi putih atau terjadi

nekrosis, daun yang hijau dapat berubah menjadi kuning atau berbecak putih. Sulfur dioksida akan dioksidasi menjadi sulfur trioksida melalui proses fotokimia dan katalis. Cairan yang ada akan membah sulfur trioksida menjadi asam sulfat. Dampak sulfur dioksida akan semakin tinggi dalam bentuk asam sulfat (Budiyanto, 2004).

**b. Kelompok senyawa nitrogen**

Dekomposisi limbah organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan NO (nitrogen oksida), nitrit dan nitrat. Nitrogen oksida merupakan gas yang toksik bagi manusia. Efek yang terjadi tergantung pada dosis serta lamanya pemaparan yang diterima seseorang. Konsentrasi nitrogen oksida yang berkisar antara 50-100 ppm dapat menyebabkan radang paru-paru bila terkena beberapa menit saja. Pada fase ini seseorang akan dapat sembuh kembali dalam waktu 6-8 minggu. Pada konsentrasi 150-200 ppm dapat menyebabkan pemaparan brokhioli yang disebut dengan *bronchiolitis fibrosis obliterans* yang dapat mengakibatkan meninggal dunia dalam waktu 3-5 minggu setelah pemaparan. Konsentrasi lebih dari 500 ppm dapat mematikan dalam waktu 2-10 hari. Hal ini sering dialami petani memasuki gudang makanan ternak (silo) dimana terjadi akumulasi gas nitrogen oksida. Oleh karenanya penyakit paru-paru ini dikenal dengan *silo filter disease*. Nitrat dan nitrit dalam jumlah besar dapat menyebabkan diare campur darah, konvulsi, koma dan bila tidak tertolong akan menyebabkan kematian. Keracunan kronis akan menyebabkan depresi umum, sakit kepala dan gangguan mental. Nitrit terutama akan beraksi dengan hemoglobin membentuk methemoglobin (metHB). Dalam jumlah yang melebihi normal metHB akan menimbulkan methemoglobinaemia. Pada bayi bila ini terjadi akan kekurangan oksigen, mukanya tampak membiru. Residu nitrit dalam limbah jika bereaksi dengan senyawa amin akan menjadi nitrosamin suatu bahan karsinogenik (Budiyanto, 2004).

**c. Kelompok senyawa karbon**

Dekomposisi limbah organik oleh mikroorganisme akan menghasilkan gas hidrokarbon. Kebanyakan hidrokarbon yang didapat melalui dekomposisi salah satunya adalah metan. Meskipun hidrokarbon merupakan gas yang toksik bagi manusia, tetapi dalam situasi udara bebas tidak menimbulkan masalah serius. Limbah pertanian dengan bantuan bakteri dapat dibuat produk bahan pangan yang bernilai lebih baik. Air kelapa dengan bantuan

*Acetobacter xylinum* dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *nata de coco*. Limbah cair pabrik tahu dengan bantuan bakteri *Acetobacter xylinum* dapat digunakan sebagai bahan pembuat *nata de soya* dan kulit nenas dengan bantuan bakteri yang sama juga dapat digunakan sebagai bahan membuat *nata de pina*. Dengan bantuan bakteri *Laciobacillus casei* air kelapa dapat dibuat minuman anti diare. Gula (molase) dengan bantuan bakteri *Corynebacterium glutamicum* dapat digunakan, sebagai bahan pembuatan asam giutamat, suatu banan dasar pembuatan vetsin dan citarasa yang lainnya (Budiyanto, 2004).

Bakteri *Acetobacter xylinum* termasuk kelompok bakteri asam asetat, yang melalui proses oksidasi metil alkohol dapat menghasilkan asam asetat. Asam asetat inilah yang bertimngsi sebagai penekan pertumbuhan mikroorganisme lainnya, terutama mikroorganisme yang bukan asidofilik. *Acetobacter xylinum* tidak dapat menghasilkan amilase, tetapi dapat menghasilkan disakaridase spesifik seperti sukrase. Bakteri ini tidak patogen pada manusia dan hewan, tetapi dapat menyebabkan penyakit pada nenas. *Acetobacter* sp. Merupakan salah satu bakteri yang mampu mensekresi selulose dalam medium pertumbuhannya. Kode genetika yang menyandi pembentukan cellulose syntase, enzim yang dibutuhkan dalam sintesis selulose adalah gen *acsAB*, di samping gen *acsC* dan *a.csD*. Enzim tersebut akan mengkatalisis pembuatan selulosa dari glukose 6-fosfat dengan ikatan 1,4 b glikosidik sehingga sulit dihidrolisis kecuali dengan enzim selulase (Budiyanto, 2004).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus, 2008a. Environmental Microbiology. Wikipedia, the free encyclopedia.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_microbiology](http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_microbiology). Disitir tanggal 12 September 2008. 4 h.
- Anonimus, 2008b. Microbial Ecology. Wikipedia, the free encyclopedia.  
[http://en.wikipediaorg/wiki/Microbial\\_ecology](http://en.wikipediaorg/wiki/Microbial_ecology). Disitir tanggal 12 September 2008. 2 h.
- Anonimus, 2008c. Microbial Biodegradation. Wikipedia, the free encyclopedia.  
[http://e.wikipediaorg/wiki/Microbial\\_biodegradation](http://e.wikipediaorg/wiki/Microbial_biodegradation). Disitir tanggal 17 September 2008. 6 h.

- Anonimus, 2008d. Bioremediation. Wikipedia, the free encyclopedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioremediation>. Disitir tanggal 17 September 2009. 7 h.
- Anonimus, 2008e. Oil Biodegradation-Bacterial Alteration of Petroleum. OilTracer :  
 Servis:Exploration: Oil Biodegradation Bacterial Alteration of Petroleum.  
<http://www.oiltracers.com/oilbiodegradation.html>. Disitir, 13 September 2008. 11 h.
- Anonimus, 2008i Microbiology. Wikipedia, the free encyclopedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Microbiology>, Disitir tanggal 17 September 2008. 11 h.
- Anonimus, 2008g. Polychlorinated biphenyls (PCBs). Wikipedia, the Bree encyclopedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Polychlorinatedgbiphenyls>. Disitir tanggal 17 September 2008.
- Anonimus, 2008h. Hydrocarbon. Wikipedia, the free ecyclopedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrocarbon>. Disitir tanggal 17 September 2008.
- Bamum, S. R.t2005. Biotechnology An Introcuption. Edition 2. Miami University. ISBN 0-534-49296-7. USA. p. : 323.
- Bence, K.A. Kvenvolden and M.C. Kennicutt, 1996. Organic Geochemistry Applied to  
 Environmental after the Axxon Valder Oil Spill - areview : Organic Geochemistry, 24: 7-42.
- Brim, H., Mc Farlan SC, Fredrickson JK, Minton KW, Zhai M, Wackeit LP and Daly MJ. 2000.  
 Engineering Deinococcus Radiodurans for Metal Remediation in Radioactive Mixed  
 Waste Environments, Nature Biotechnology. I8 (1): 85-90.