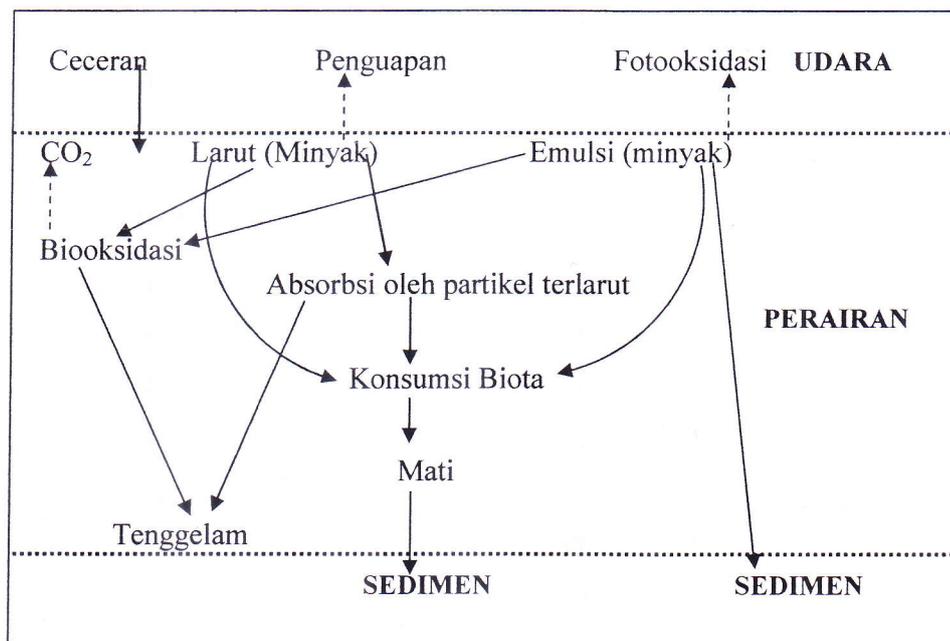


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Minyak

Minyak mentah atau *crude oil* berarti minyak yang belum dikilang (Koesoemadinata, 1980). Minyak mentah (*crude oil*) merupakan suatu campuran hidrokarbon yang kompleks dengan empat sampai duapuluh enam atau lebih atom karbon (Clark, 1986). Umumnya minyak bumi terdiri dari 80-85% unsur karbon, dan 15-20% unsur hidrogen, sedang unsur lain seperti oksigen, nitrogen dan belerang yang terdapat kurang dari 5%, ada yang mencapai 1% (Koesoemadinata, 1980). Menurut Udiharto (1996), minyak bumi maupun produknya merupakan campuran kompleks senyawa organik yang terdiri dari senyawa hidrokarbon (lebih dari 90%) dan sisanya adalah non hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa organik yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Senyawa tersebut dapat digolongkan dalam tiga kategori hidrokarbon yaitu alifatik, alisiklik dan aromatik, sedangkan senyawa non hidrokarbon terdiri dari belerang, nitrogen dan oksigen.

Minyak yang tumpah atau tersembur di laut, mula-mula akan mengambang dan kemudian menyebar dipermukaan laut. Proses tersebut tergantung pada sifat fisik kimia minyak dan keadaan lingkungan seperti tergambar pada Gambar 1. Proses pada Gambar 1, pertama proses mengambang sebagai lapisan minyak dipermukaan laut, kemudian akan menjadi emulsi antara minyak dan air, dan selanjutnya mengalami proses penguapan atau penguraian karena reaksi fotooksidasi.



Gambar 1. Proses Aliran Minyak Dalam Lingkungan Laut

Proses emulsifikasi merupakan sumber mortalitas bagi organisme. Proses tersebut merupakan penyebab terkontaminasinya sejumlah flora dan fauna di daerah tercemar. Proses evaporasi yaitu bagian molekul yang ringan akan menguap terbawa ke atmosfer yang umumnya gas ini beracun. Fraksi yang mudah menguap biasanya terdiri dari komponen yang mempunyai C15 (titik didih 270°C). Jumlah komponen tersebut dalam minyak mentah antara 20-50 %.

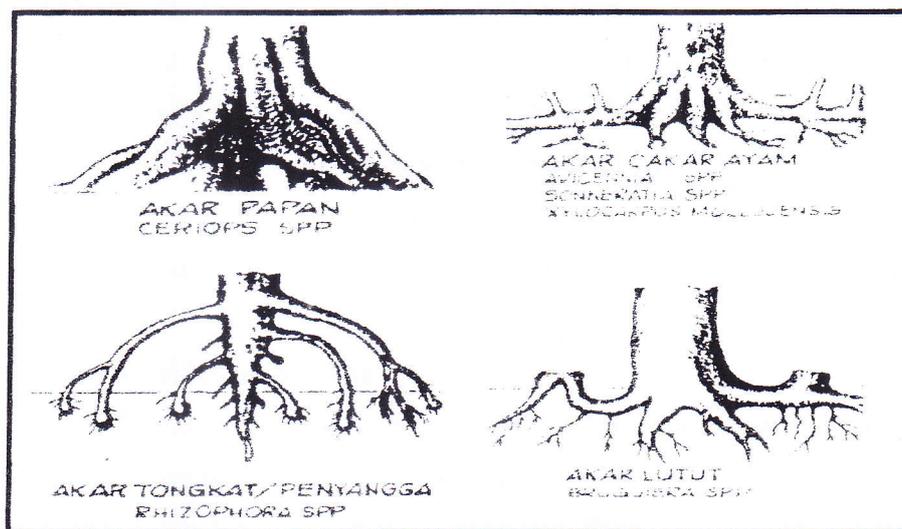
## 2.2. Ekosistem Mangrove

Mangrove berasal dari kata mangal yang menunjukkan komunitas suatu tumbuhan (Hoi Chaw, 1984 dalam Noor, 1994). Mangal merupakan sebutan suatu varietas komunitas pantai tropik yang didominasi oleh beberapa spesies tumbuhan yang khas, atau semak-semak yang mempunyai kemampuan tumbuh dalam perairan asin. Menurut Nontji (1993), hutan mangrove adalah tipe hutan yang khas yang terdapat disepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Diantara genera mangal yang penting adalah *Rhizophora*, *Avicennia*, *Bruguiera* dan *Sonneratia* (Nybakken, 1992). Definisi mangrove yang dapat diterima secara umum menurut Aksornkoe (1993), yang didasarkan pada sifat-sifat serta lokasi ditemukannya mangrove adalah : tumbuhan alopit yang tumbuh di daerah pasang surut sepanjang areal pantai. Diantara seluruh sistem makrofit laut, mangrove merupakan satu-satunya kelompok tumbuhan yang memiliki aerial biomassa. Mangrove ditemukan mulai dari daerah yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi sampai daerah setara ketinggian rata-rata air laut, terhampar mulai dari daerah tropis sampai beberapa daerah subtropis.

## 2.3. Struktur dan Adaptasi Mangrove

Adaptasi mangrove terhadap substrat lunak, yang tidak mampu menopang tumbuhan, terlihat pada sistem perakaran mangrove. Menurut Bengen (1999) sistem perakaran tersebut terbagi menjadi 4 tipe. Tipe pertama adalah sistem perakaran papan. Perakaran yang kokoh, yang sangat cocok untuk pada kondisi perbatasan antara daerah tergenang dengan daratan. Tipe yang kedua yaitu tipe cakar ayam bercabang. Cabang-cabang tiap cakar luas menyebar. Sepanjang cabang-cabang tumbuh sederet anak cabang berbentuk pensil yang tegak lurus menembus permukaan substrat (Gambar 2. ). Bentuk tersebut disebut pneumatofor, yang berfungsi sebagai jalan masuk oksigen yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Tipe ketiga adalah sistem perakaran penyangga ganda. Beberapa akar penyangga tumbuh dari batang tumbuh

menembus substrat, membentuk suatu struktur yang menyerupai kerangka payung (Gambar 2).



Gambar 2. Bentuk-bentuk Akar Pohon Mangrove (Bengen, 1999).

Dari akar-akar penyangga utama tumbuh akar-akar penyangga sekunder yang menembus substrat, dan dari akar-akar penyangga sekunder dapat tumbuh akar-akar penyangga tersier. Pada sistem perakaran penyangga ganda tidak ditemukan pneumatofor, tetapi terdapat lentisel (Koesoebiono, 1996). Lentisel berfungsi sebagai lubang untuk melewatkan udara. Tipe keempat adalah akar lutut, yang terdapat pada *Bruguiera sp.*

Selain adaptasi morfologi pada akar, mangrove juga beradaptasi secara fisiologi. Untuk mencegah masuknya garam ke dalam jaringan tumbuhan, akar mangrove mempunyai mekanisme mencegah masuknya garam. Pada daun mangrove juga terdapat kelenjer garam yang berfungsi mengekskresikan garam (Koesoebiono, 1996).

#### 2.4. Pengaruh Pencemaran Minyak Terhadap Mangrove

Mangrove dapat berkembang pada tempat yang tidak terdapat gelombang (gerakan air minimal). Hal tersebut menyebabkan partikel sedimen yang halus cenderung mengendap dan berkumpul di dasar. Gerakan air yang lambat, lebih diperlambat oleh mangrove dengan bentuk-bentuk akarnya yang khas. Faktor fisik lain selain gerakan air dan bentuk akar adalah pasang surut. Setiap kondisi geografi tertentu mempunyai tipe pasang surut tertentu pula (Nybakken, 1992). Keadaan ekosistem mangrove di atas merupakan perangkap yang baik bagi lapisan minyak mengambang dan selanjutnya menekan tumbuhan pada ekosistem tersebut (Clark, 1986).

Pengaruh minyak terhadap sistem perakaran mangrove adalah pada permukaan tanaman (sedimen, kulit kayu, akar penyangga, pneumatofor) yang berfungsi dalam pertukaran CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> akan tertutup minyak. Hal tersebut menurunkan kadar oksigen dalam ruang akar 1-2% dalam waktu dua hari (Clark, 1986). Limbah minyak dapat menurunkan kecepatan penguraian sampah daun (ICTCN, 1983 dalam Hastuti, 1994).

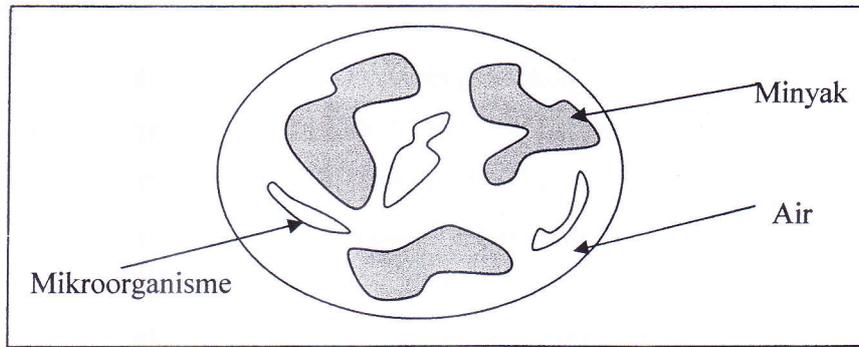
Limbah minyak juga akan menghambat proses terjadinya bibit mangrove. Fraksi minyak yang bersifat toksik akan menembus substrat dasar, tertinggal dan mengendap pada sedimen. Jika bibit mangrove terlapisi minyak, maka proses germinasi akan rusak (Clark, 1986).

## 2.5. Jenis-jenis Bakteri Pemecah Minyak

Bartha dan Atlas dalam Atlas (1981) mencatat 22 genera bakteri, 1 genus alga dan 14 genera fungi yang merupakan mikroorganisme pemakai hidrokarbon minyak bumi. Semua mikroorganisme tersebut di isolasi dari lingkungan laut. Penelitian Bossert dan Bartha (1984 dalam Udiharto, 1996), menunjukkan dari 22 genera bakteri yang hidup di lingkungan minyak bumi, isolat yang mendominasi terdiri dari beberapa genera yaitu : *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium* dan *Pseudomonas*. Biodegradasi hidrokarbon aromatik seperti fenol, naftalen didominasi oleh bakteri jenis *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter* dan *Bacillus* (Alexander, 1977). LEMIGAS menemukan kultur campur hasil isolasi dari air buangan industri yang mampu mendegradasi limbah minyak didominasi oleh *Pseudomonas sp* (Udiharto, 1996).

## 2.6. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Biodegradasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses biodegradasi minyak adalah factor fisika-kimia dan factor biologi. Faktor fisika-kimia adalah komposisi kimia minyak, kondisi fisik minyak, konsentrasi minyak, suhu, oksigen, nutrisi, salinitas, tekanan, aktivitas air dan pH, sedangkan faktor biologi adalah kemampuan mikroorganisme itu sendiri. Umumnya mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon minyak dilingkungan adalah bakteri dan kapang (Leahy dan Colwell, 1990). Menurut Udiharto (1996), factor-faktor pendukung kegiatan tersebut antara lain kandungan air, pH, suhu, nutrisi yang tersedia dan ada tidaknya material toksik.



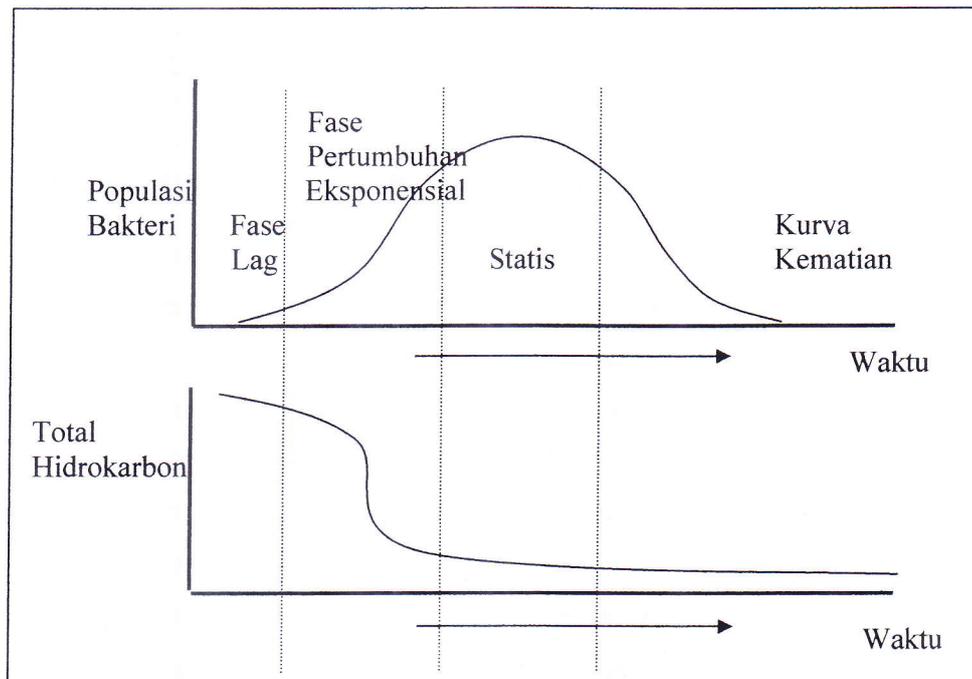
Gambar 3. Mikroorganisme Pada Interfase Minyak dan Air

Dalam proses ini, kandungan air sangat penting untuk hidup, tumbuh, dan aktivitas metabolic dari mikroorganisme. Tanpa air, mikroorganisme tidak dapat hidup dalam limbah minyak. Mikroorganisme, termasuk bakteri, hidup aktif pada interfase antara minyak dan air (Gambar 3).

Faktor nutrisi yang diperlukan antara lain karbon sebagai sumber energi untuk aktivitasnya. Sumber karbon didapatkan dari hidrokarbon minyak. Nutrisi dapat juga terbentuk nitrogen dan fosfor (Udiharto, 1996).

## 2.7. Hubungan Dekomposisi Hidrokarbon dengan Jumlah Bakteri

Gambar 4 menunjukkan dekomposisi hidrokarbon berhubungan dengan populasi bakteri.

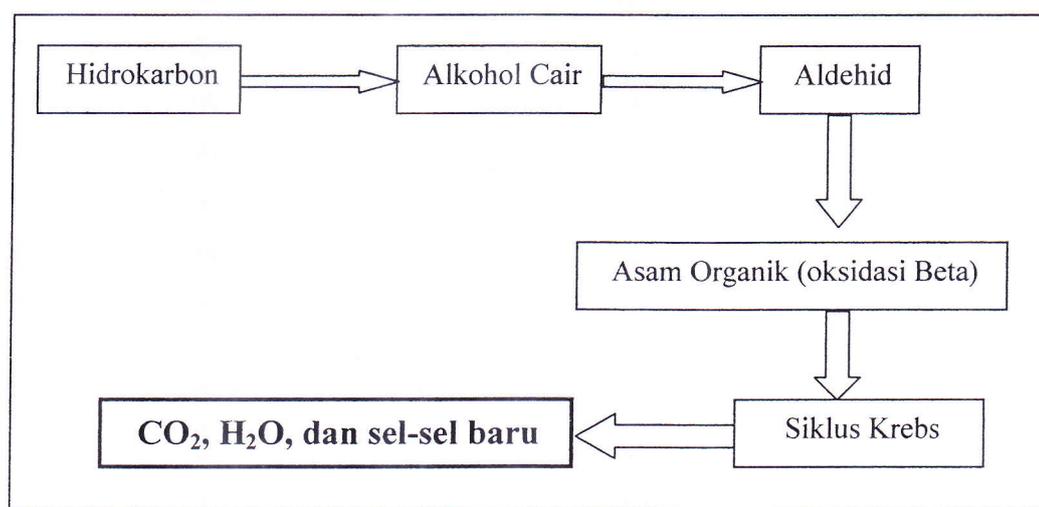


Gambar 4. Hubungan Kurva Pertumbuhan Bakteri dengan Total Hidrokarbon

## 2.8. Proses Biodegradasi

Mikroorganisme termasuk bakteri menggunakan hidrokarbon minyak bumi untuk pertumbuhannya dengan memotong hidrokarbon alifatik, olefin, aromatik dan naftalen. Secara umum n-alkana yang mudah dan cepat terdegradasi adalah C<sub>12</sub>-C<sub>18</sub>.

Senyawa dalam bentuk isoalkana pada umumnya tidak dapat atau sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Untuk senyawa yang mengandung logam, akan didegradasi oleh mikroorganisme. Untuk senyawa yang mengandung logam, akan didegradasi jika molekulnya mengandung rantai bercabang cukup panjang, yaitu minimal 3-4 atom karbon. Degradasi hidrokarbon aromatik menghasilkan produk metabolisme. Mula-mula produk tersebut berupa katekol, selanjutnya pemecahan ring katekol dapat melalui satu atau dua jalan, tergantung kepada jenis mikroorganisme atau jenis medianya (Udiharto, 1992).



Gambar 5. Biodegradasi Hidrokarbon dan Intermediet yang dihasilkan

Proses biodegradasi hidrokarbon oleh bakteri dan intermediet yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 5 (Mechea, 1991). Satu molekul inducer menstimulasi satu mikroorganisme untuk memproduksi satu enzim. Enzim tersebut menyebabkan oksidasi awal dari hidrokarbon dan menghasilkan satu molekul alkohol. Kemudian satu molekul inducer menstimulasi satu mikroorganisme untuk memproduksi enzim yang lain yang menyebabkan satu oksidasi dari alkohol untuk menghasilkan satu aldehid. Selanjutnya satu molekul inducer menstimulasi satu mikroorganisme untuk memproduksi enzim yang lain yang menyebabkan satu oksidasi dari aldehid yang menghasilkan asam lemak organik, dan seterusnya. Alkohol-alkohol dan aldehid-aldehid tersebut adalah pelarut organik (*solvent*), sedangkan asam

lemak organik tersebut beraksi sebagai surfaktan. Substansi yang tertuang pada Gambar 5 dapat diterangkan dengan suatu proses oksidasi yang ada pada Gambar 5.

## 2.9. Bioremediasi

### 2.9.1. Definisi

Bioremediasi adalah aplikasi dari prinsip-prinsip proses biologi untuk perlakuan pada *groundwater*, tanah dan *sludge* yang terkontaminasi oleh limbah bahan kimia berbahaya dan beracun ( *a specific hazardous compound* ) (Cookson, 1995). Menurut Citroreksoko (1996) bioremediasi adalah proses bahan organik berbahaya didegradasi secara biologis menjadi senyawa lain misalnya CO<sub>2</sub>, metan, air, garam organik, biomassa dan hasil samping yang sedikit lebih sederhana dari senyawa semula. Proses ini didasarkan pada siklus karbon yaitu dengan pendaurulangan bentuk senyawa organik dan anorganik melalui reaksi oksidasi dan reduksi. Bioremediasi dapat dilakukan langsung pada lingkungan tercemar (*in situ*) dengan menggunakan biota atau mikroflora yang ada pada lingkungan tersebut, atau diluar lingkungan tercemar (*ex situ*), yaitu dengan menggunakan inokulan yang dapat mendegradasi cemaran kontaminan organik. Salah satu bioremediasi *ex situ* yaitu dengan menambahkan kultur bakteri terhadap medium yang terkontaminasi. Hal ini disebut bioaugmentasi (Mechea, 1991 ; Citroreksoko, 1996).

### 2.9.2. Bioremediasi pada Limbah Minyak

Aplikasi bioremediasi sangat luas dan seringkali tidak dapat dilakukan oleh metode fisika ataupun kimia. Beberapa contoh aplikasinya adalah pembersihan air tanah, rehabilitasi air tanah tercemar, pengolahan limbah cair, dan pengolahan tumpahan minyak di laut (Rosenberg, 1993 dalam Citroreksoko, 1996).

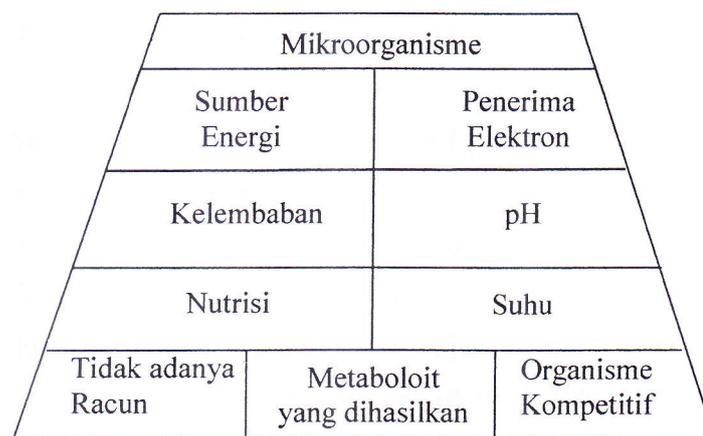
### 2.9.3. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Bioremediasi

Proses bioremediasi bergantung pada kemampuan organisme yang digunakan dan sistem yang dioperasikan pada 24 jam perhari dan tujuh hari perminggu. Proses ini bekerja optimal pada pH dan suhu tertentu, serta tersedianya nutrisi dan oksigen yang dibutuhkan organisme (Citroreksoko, 1996). Menurut Cookson (1995), bioremediasi membutuhkan beberapa faktor seperti yang terlihat pada Gambar 6. Biaya sarana dan operasional bioremediasi bergantung pada pemasukan dan kuantitas senyawa organik yang ada, kondisi lokasi, volume bahan yang diproses, dan target yang akan dicapai. Biaya utama dari bioremediasi ini terutama digunakan untuk memindahkan cairan atau tanah ke bioremediator,

penyediaan oksigen dalam sistem aerobik, dan pemberian nutrisi yang dibutuhkan (Cookson, 1995).

#### 2.9.4. Kelebihan dan Kelemahan Bioremediasi

Kelebihan bioremediasi diantaranya dapat dilaksanakan di lapangan (*in situ*), mencegah kerusakan lingkungan seminimal mungkin, memperkecil biaya transport, menghilangkan limbah secara permanent, memperkecil kerugian jangka panjang dan dapat dikombinasikan dengan teknik perlakuan lain (Citroreksoko, 1996). Tetapi menurut Citroreksoko (1996) juga, sistem biologi seringkali membutuhkan biaya investigasi yang lebih mahal.



Gambar 6. Faktor-faktor yang Diperlukan untuk Bioremediasi (Citroreksoko, 1996).