

1. BIODEGRADATION
2. OILS IR - PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

KK
TKD 08/01
Sup
6

TESIS

BIODEGRADASI MINYAK OLEH KAPANG YANG
DIISOLASI DARI PERAIRAN PANTAI
SURABAYA

PENELITIAN EKSPERIMENTAL LABORATORIS



MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

AGUS SUPRIYANTO

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

2001

TESIS
BIODEGRADASI MINYAK OLEH KAPANG YANG
DIISOLASI DARI PERAIRAN PANTAI
SURABAYA

PENELITIAN EKSPERIMENTAL LABORATORIS



AGUS SUPRIYANTO

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

2001

**BIODEGRADASI MINYAK OLEH KAPANG YANG
DIISOLASI DARI PERAIRAN PANTAI
SURABAYA**

PENELITIAN EKSPERIMENTAL LABORATORIS

TESIS

Untuk memperoleh Gelar Magister
dalam Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar
pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga

Oleh :

**AGUS SUPRIYANTO
NIM 099813035/M**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

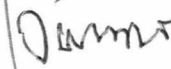
2001

TESIS INI TELAH DISETUJUI

TANGGAL 7 Februari 2001

Oleh :

Pembimbing Ketua



Prof. H.A. Soeparmo, M.Sc.
NIP. 130058170


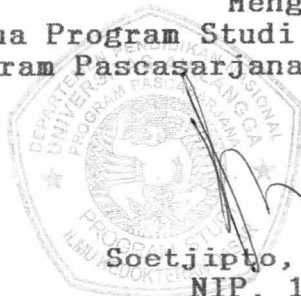
Pembimbing



Dr. Tini Surtiningsih, Ir, DEA.
NIP. 130870139

Mengetahui

Ketua Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar
Program Pascasarjana Universitas Airlangga



Soetjipto, dr, MS, Ph.D
NIP. 130687606

Telah diuji pada

Tanggal 14 Februari 2001

PANITIA PENGUJI TESIS

Ketua : Neneng K. Djinawi, dr, Sp.MK, M.Sc.

Anggota : 1. Prof. H.A. Soeparmo, M.Sc.
2. Dr. Tini Surtiningsih, Ir, DEA.
3. Prof. Dr. H. sarmanu, Drh, MS.
4. Arthur Pohan, dr, MS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Dari penyiapan rancangan sampai terselesaikannya penulisan tesis ini, penulis selalu mendapatkan bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya disertai ucapan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Airlangga yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti program pendidikan Pascasarjana di Universitas Airlangga Surabaya,
2. Dekan FMIPA Universitas Airlangga yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti program pendidikan Pascasarjana di Universitas Airlangga,
3. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Airlangga,
4. Direktur Pascasarjana Universitas Airlangga,
5. Ketua Minat Studi Mikrobiologi Klinik Pascasarjana Unair,
6. Ketua Program Studi Ilmu kedokteran Dasar Pascasarjana Universitas Airlangga,
7. Prof. Atasiati Idajadi, dr, Sp.MK (Alm), sebagai mantan Pembimbing Ketua yang penuh dengan kesabaran dan dedikasi senantiasa memberikan bimbingan dan tuntunan sampai terselesaikan tesis ini,

8. Prof. H.A. Soeparmono, M.Sc, sebagai Pembimbing Ketua yang dengan penuh kesabaran perhatian telah memberikan dorongan, bimbingan dan saran yang sangat berguna dalam penyusunan mulai dari proposal sampai selesainya tesis ini,
9. Dr. Tini Surtiningsih, Ir, DEA, sebagai Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan saran yang berharga hingga terselesainya tesis ini,
10. Prof. Dr. H. Sarmanu, Drh, MS, sebagai konsultan statistika yang telah memberikan bimbingan dan saran dalam analisis data.

Kepada semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu, baik yang telah membantu moril maupun materiil selama pelaksanaan penelitian sampai menyelesaikan tesis ini.

Semoga semua yang penulis sebutkan di atas selalu mendapatkan pahala yang setimpal dari Allah SWT dan selalu mendapat kelimpahan rahmat serta hidayahNya.

Penulis.

RINGKASAN

Minyak bumi terbentuk dari hasil dekomposisi tumbuhan dan hewan dengan usia jutaan tahun. Minyak bumi merupakan sumber senyawa hidrokarbon. Komposisi senyawa yang terkandung dalam minyak bumi berbeda-beda tergantung dari asal sumur minyak.

Keberadaan mikroorganisme pemecah minyak pada suatu perairan dapat dijumpai apabila pada perairan tersebut telah tercemar oleh minyak bumi. Dekomposisi petroleum dan produk petroleum secara mikrobiologis mempunyai keuntungan ditinjau dari segi ekonomi dan lingkungan. Hal ini disebabkan karena petroleum merupakan sumber yang kaya dengan bahan organik dan hidrokarbon, serta bahan-bahan tersebut dapat dipecah secara aerobik oleh berbagai mikroorganisme.

Selain bakteri, fungi juga mempunyai potensi dalam melakukan degradasi minyak. Fungi dapat memetabolisme hidrokarbon dari bahan bakar minyak serta fraksi-fraksinya baik secara utuh atau sebagian. Distribusi bakteri dan fungi pemakai hidrokarbon di dalam perairan laut tersebar ke seluruh dunia, tetapi populasinya sangat beragam tergantung kelimpahan limbah minyak.

Kelompok fungi yang dapat memecah hidrokarbon minyak, antara lain *Cladosporium resinae*, *Mucor*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Aspergillus* dan *Achromonium*. Golongan fungi filamentus yang dapat mendegradasi alifatik hidrokarbon

adalah *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Corollaspora*,
Dendryphiella, *Gliocladium*, *Lulworthia*, *Penicillium*,
Vericospora dan *Fusarium*.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan rancangan faktorial. Rancangan analisis data dilakukan dengan Anava klasifikasi dua arah dengan interaksi. Isolasi kapang dilakukan dengan dua cara, yaitu isolasi dengan media agar dan isolasi dengan media cair. Uji potensi biodegradasi minyak oleh isolat kapang dilakukan dengan prosedur : pertama-tama membuat perbanyakan kultur murni isolat kapang, kemudian pembuatan starter isolat kapang dan selanjutnya tiap isolat dilakukan uji potensi biodegradasi substrat minyak. Setelah tahapan penelitian tersebut dilakukan pengukuran penurunan kadar minyak dengan alat Oil Content Meter (Shimadzu).

Isolat kapang yang terkoleksi adalah dari genus *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium* dan *Cephalosporium*, dengan rata-rata hasil biodegradasi minyak yang dinyatakan dalam bentuk penurunan kadar minyak adalah sebagai berikut : *Fusarium*, menurunkan kadar minyak pelumas menjadi 84 ppm, solar 65 ppm dan minyak tanah 69 ppm; sedangkan *Cephalosporium*, mampu menurunkan kadar minyak pelumas 86,8 ppm, solar 60,2 ppm dan minyak tanah 56,4 ppm; dan kombinasi isolat kapang, dapat menurunkan kadar pelumas minyak 83,2 ppm, solar 54,2 ppm dan minyak tanah 52,8 ppm. Perlakuan tiap isolat kapang berpengaruh terhadap penurunan kadar minyak ($P < 0,05$), dan untuk perlakuan tiap jenis minyak menghasilkan perbedaan pada hasil biodegradasi minyak

($P < 0,05$) serta ada interaksi jenis minyak dan jenis isolat kapang terhadap hasil biodegradasi minyak ($P < 0,05$).

Penelitian ini dapat disimpulkan (1) kombinasi isolat mempunyai potensi tertinggi dalam biodegradasi minyak dibanding jenis isolat lainnya ($p < 0,05$) dan mampu menurunkan kadar minyak menjadi 63,400 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 36,6 %; (2) jenis minyak yang paling mudah mengalami biodegradasi adalah minyak tanah dengan penurunan kadar minyak menjadi 59,900 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 40,6 %; dan (3) terdapat interaksi jenis minyak dan jenis biakan dalam proses biodegradasi ($p < 0,05$). Interaksi tertinggi adalah minyak tanah dan kombinasi isolat dengan hasil biodegradasi sebesar 52,800 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 47,2 %. Dari hasil penelitian ini, maka peneliti menyarankan bahwa dalam melakukan biodegradasi minyak sebaiknya tidak menggunakan isolat kapang tunggal, melainkan menggunakan isolat gabungan.

ABSTRACT

The final of this research are (1) to know the difference of the potential of isolat in degrading oil, (2) to know the difference of the result of biodegradation in each kind of oil, (3) to know the interaction of kind of oil and kind of mold isolat in the process of oil degradation.

This is a laboratory experimental research using Factorial design. The data is analized using two ways Anava clasification with interaction. This research started with the isolations of mold taken from Surabaya beach. The isolations were done is two ways : using agar medium and using broth medium. To test the potential of oil degradation broth mineral and oil media are used. After making the isolat starter mold was submerged in the biodegradation medium again. Oil Content Meter is used to measure the level of oil degradation.

The result of this research includes :

1. the isolated mold are *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, and *Penicillium*.
2. the result of the test of oil degradation potential is as follows : *Fusarium*, lubricant 16 %, gasoil 35 %, and kerosen 31 %; *Cephalosporium* lubricant 13,8 %, gasoil 39,8 %, and kerosen 43,6 %; and combined isolate, lubricant 16,8 %, gasoil 45,8 %, and kerosen 47,2 %.

Keywords : isolate, mold, biodegradation, %, *Aspergillus*,

Fusarium, *Cephalosporium*, *Penicillium*, *Cladosporium*

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
SAMPUL DALAM	ii
PRASYARAT GELAR	iii
PERSETUJUAN	iv
PENETAPAN PANITIA	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
RINGKASAN	vii
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR FOTO	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Masalah Penelitian	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Minyak Bumi	5
2.2 Keberadaan Limbah Minyak Pada Perairan ...	9
2.3 Biodegradasi Minyak Oleh Kapang	13
2.4 Dampak Limbah Minyak	19
BAB 3 KERANGKA KONSEPTUAL PENELITIAN	23
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian	23
3.2 Kerangka Operasional Penelitian	25
3.3 Hipotesis Penelitian	26
BAB 4 METODE PENELITIAN	27
4.1 Rancangan Penelitian	27
4.2 Pengambilan Sampel	27
4.3 Variabel Penelitian	28
4.4 Bahan Penelitian	28
4.5 Alat Penelitian	29
4.6 Lokasi dan Waktu Penelitian	29
4.7 Prosedur Penelitian	29
4.7.1 Isolasi kapang	29
4.7.2 Perbanyakkan kultur murni isolat kapang ..	30
4.7.3 Pembuatan starter isolat kapang	31
4.7.4 Biodegradasi minyak oleh kapang	32
4.8 Analisis Data	33
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA	34
5.1 Hasil Isolasi Kapang	34
5.2 Kurva Pertumbuhan Kapang	36
5.3 Hasil Biodegradasi Minyak	39
5.4 Analisis Data	41

BAB 6 PEMBAHASAN	54
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN	62
7.1 Kesimpulan	62
7.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Hasil Isolasi dan Identifikasi kapang ..	34
Tabel 5.2 Pengukuran Berat Sel Kering dan Kerapat- an Optik dari <i>Fusarium</i>	36
Tabel 5.3 Pengukuran Berat Sel Kering dan Kerapat- an Optik dari <i>Cephalosporium</i>	37
Tabel 5.4 Pengukuran Berat Sel Kering dan Kerapat- an Optik Dari Kombinasi Isolat	37
Tabel 5.5 Hasil Biodegradasi Minyak Oleh Kapang ..	40
Tabel 5.6 Persentase Hasil Biodegradasi Minyak ...	41
Tabel 5.7 Uji Anava Klasifikasi Dua Arah Dengan Interaksi	42
Tabel 5.8 Rata-rata Hasil Biodegradasi Dengan jenis Isolat Yang Berbeda (<i>Fusarium</i> , <i>Cephalosporium</i> dan kombinasi)	42
Tabel 5.9 Rata-rata Hasil Biodegradasi Dengan Jenis Minyak Yang Berbeda (Pelumas, Solar dan Minyak Tanah)	43
Tabel 5.10 Rata-rata Hasil Biodegradasi Dengan Kombinasi Jenis Isolat dan Jenis Minyak	44

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 5.1 Kurva Pertumbuhan <i>Fusarium</i>	39
Gambar 5.2 Kurva Pertumbuhan <i>Cephalosporium</i>	39
Gambar 5.3 Kurva Pertumbuhan Kombinasi isolat	40
Gambar 5.4 Hasil Rata-rata Biodegradasi Minyak Oleh Isolat Kapang	41

DAFTAR FOTO

	Halaman
Foto 5.1 Sampel Air Laut Dari Perairan Pantai Surabaya	48
Foto 5.2 Koloni Kapang Hasil Isolasi Dengan Pelumas	48
Foto 5.3 Koloni Kapang Hasil Isolasi Dengan Minyak Tanah	49
Foto 5.4 Koloni Kapang Hasil Isolasi Dengan Solar	49
Foto 5.5 Kultur Murni Isolat Kapang	50
Foto 5.6 Suspensi Starter Isolat Kapang	50
Foto 5.7 Proses Biodegradasi Minyak Dengan Shaker Incubator	51
Foto 5.8 Mikroskopis <i>Fusarium</i> , Perbesaran 200 X ..	51
Foto 5.9 Mikroskopis <i>Cephalosporium</i> , Perbesaran 200 X	52
Foto 5.10 Mikroskopis <i>Aspergillus</i> , Perbesaran 200 X	52
Foto 5.11 Mikroskopis <i>Cladosporium</i> , Perbesaran 200 X	53
Foto 5.12 Mikroskopis <i>Penicillium</i> , Perbesaran 200 X	53

BAB 1

PENDAHULUAN



1. Latar Belakang Permasalahan

Perairan pantai Surabaya banyak dimanfaatkan untuk berbagai aktifitas manusia, antara lain : pelabuhan kapal, media perhubungan, tempat rekreasi, tempat pemukiman serta muara sungai baik sungai besar maupun sungai kecil (kanal). Adanya aktifitas manusia tersebut tidak menutup kemungkinan akan adanya pencemaran minyak pada perairan pantai Surabaya. Pencemaran minyak tersebut dapat berasal dari kegiatan pelabuhan kapal, lalu lintas transportasi laut, limbah minyak dari pemukiman penduduk atau aliran sungai yang membawa limbah minyak baik dari domestik maupun industri (Soewardiati, 1989; Haeruman, 1984; Ruyitno, 1991).

Minyak bumi terbentuk dari hasil dekomposisi tumbuhan dan hewan dengan usia jutaan tahun (Fessenden dan Fessenden, 1997). Minyak bumi merupakan sumber senyawa hidrokarbon. Komposisi senyawa yang terkandung dalam minyak bumi berbeda-beda tergantung dari asal sumur minyak (Fessenden dan Fessenden, 1997; Hein *et al.*, 1993).

Keberadaan mikroorganisme pemecah minyak pada suatu perairan dapat dijumpai apabila pada perairan tersebut telah tercemar oleh tumpahan minyak (Mulyono, 1991; Thayib, 1991; Ruyitno, 1991). Dikatakan pula bahwa besarnya kepadatan mikroorganisme pemecah minyak di permukaan perairan dapat

berbeda-beda. Jumlah tertinggi kepadatan mikroorganisme pemecah minyak dapat terlihat dengan jelas pada daerah di sekitar pelabuhan, di mana banyak dijumpai genangan minyak.

Di Indonesia, perkembangan penelitian kapang pemecah minyak belum begitu pesat jika dibandingkan dengan perkembangan penelitian bakteri pemecah minyak. Demikian juga tentang data lengkap mengenai penelitian kapang pemecah minyak yang diisolasi dari suatu perairan sungai maupun perairan pantai/laut belum tersedia. Oleh karena itu penelitian ini akan mengkaji kapang pemecah minyak yang diisolasi dari perairan pantai Surabaya.

Banyak penelitian tentang biodegradasi minyak oleh bakteri telah terungkap dan tersaji secara rinci, dan dinyatakan bahwa bakteri mempunyai potensi mendegradasi minyak. Penelitian ini mencari mikroorganisme alternatif selain bakteri yang mempunyai potensi mendegradasi minyak. Mikroorganisme alternatif tersebut adalah dari golongan kapang. Selain bakteri, fungi juga mempunyai potensi dalam melakukan degradasi minyak. Oleh karena itu dapat diduga bahwa kapang mempunyai potensi dalam melakukan biodegradasi minyak (Madgwick, 1986; Guthrie dan Perry, 1980; Mulyono, 1991; Connell dan Miller, 1995; Brock *et al.*, 1994).

Seperti telah diketahui bahwa adanya limbah minyak pada suatu perairan dapat terdiri atas berbagai jenis minyak, khususnya pencemaran oleh produk minyak bumi (Mulyono, 1991). Produk minyak bumi, antara lain bensin,

minyak solar, minyak pelumas, minyak tanah. Dengan adanya berbagai jenis minyak di dalam suatu perairan, maka jenis-jenis minyak tersebut dapat dipergunakan sebagai substrat pada proses isolasi kapang dari perairan pantai Surabaya. Pada penelitian ini akan dicoba tiga jenis produk minyak bumi untuk substrat isolasi kapang, yaitu minyak tanah, minyak pelumas dan minyak solar.

2. Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka dapat diajukan rumusan masalah penelitian sebagai berikut.

1. Apakah isolat kapang yang terisolasi mempunyai potensi yang berbeda dalam mendegradasi minyak ?
2. Apakah dengan menggunakan jenis substrat minyak yang berbeda akan didapatkan hasil biodegradasi yang berbeda ?
3. Apakah ada interaksi jenis minyak dan jenis isolat kapang dalam proses biodegradasi ?

3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. untuk mengetahui perbedaan potensi tiap jenis isolat kapang yang terisolasi dalam mendegradasi minyak,
2. untuk mengetahui perbedaan hasil biodegradasi pada tiap jenis minyak,
3. untuk mengetahui interaksi jenis minyak dan jenis isolat kapang dalam proses biodegradasi.

4. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi ilmiah tentang jenis-jenis kapang pemecah minyak yang diisolasi dari perairan pantai Surabaya dan mengungkap potensi yang tertinggi dalam biodegradasi minyak oleh isolat-isolat kapang yang terkoleksi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

1. Minyak Bumi

Minyak bumi merupakan sumber hidrokarbon (Fessenden dan Fesseden, 1997; Hein *et al.*, 1993). Minyak bumi dikatakan sebagai sumber hidrokarbon karena pada dasarnya disusun oleh dua elemen, yaitu karbon dan hidrogen sehingga kombinasi antara hidrogen dan karbon disebut dengan hidrokarbon.

Menurut Fessenden dan Fessenden (1997); Hein *et al.* (1993) minyak bumi (petroleum) terbentuk dari peluruhan atau dekomposisi tumbuhan dan hewan yang berumur jutaan tahun, yang agaknya berasal dari laut. Minyak bumi mentah (minyak mentah) merupakan campuran rumit senyawa alifatik dan aromatik, termasuk pula senyawa sulfur dan nitrogen (1-6%). Dikatakan pula bahwa lebih dari 500 senyawa pernah terdeteksi dalam sampel minyak bumi dan komposisi minyak bumi dari satu sumur ke sumur minyak lainnya adalah berbeda-beda.

Hidrokarbon minyak bumi dapat digolongkan menjadi tiga kelas, yaitu : alkana, sikloalkana dan aromatik (Mulyono, 1991). Ditambahkan pula bahwa terdapat golongan lain yang disebut sebagai olefina yaitu merupakan kelas hidrokarbon tidak jenuh yang biasanya tidak terdapat di dalam minyak mentah (crude oil), tetapi bisa terdapat di dalam produk minyak bumi terutama yang dihasilkan dari pengolahan minyak

dengan proses perengkahan. Fessenden dan Fessenden (1997). Kata olefina berarti gas yang membentuk minyak dan terkadang olefina disebut alkena atau alkuna. Alkena merupakan suatu hidrokarbon yang mengandung satu ikatan rangkap, sedangkan alkuna mengandung satu ikatan ganda tiga. Senyawa hidrokarbon tersebut merupakan konstituen terbesar di dalam minyak bumi. Konsentrasinya dapat bervariasi antara 50-95% dan sisanya merupakan senyawa-senyawa non hidrokarbon misalnya : senyawa oksigen, senyawa belerang, senyawa nitrogen dan senyawa metal organik.

Menurut Guthrie dan Perry (1980), minyak bumi mengandung lima kelompok hidrokarbon, yaitu : alkana (parafin), parafin bercabang, sikloparafin, aromatik dan aspaltik. Keragaman hidrokarbon pada tiap minyak mentah dapat berbeda-beda dan bergantung pada tempat asalnya. Minyak mentah juga mengandung oksigen (< 3%), nitrogen (< 1%) dan sulfur (0,1-10%), serta mengandung sejumlah logam berat seperti : vanadium, nikel dan tembaga.

Menurut Hein *et al.* (1993), minyak bumi merupakan cairan kental hitam yang mengandung campuran hidrokarbon dengan sejumlah kecil nitrogen dan sulfur serta mengandung bahan organik lainnya. Minyak mentah dengan proses pengilangan minyak membentuk beberapa produk minyak bumi misalnya bensin, minyak tanah, bahan bakar diesel, bahan bakar jet, minyak pelumas, minyak pemanas, parafin wax, petroleum jelly, ter dan aspal. Beberapa contoh hasil fraksional distilasi minyak bumi, antara lain : fraksi gas dengan jumlah karbon 1-4; bensin dengan jumlah karbon 5-10;

minyak tanah dengan jumlah karbon 11-12; minyak gas dengan jumlah karbon 13-17 dan minyak gas berat dengan jumlah karbon 18-25 (Fessenden dan Fessenden, 1997).

Alkana, merupakan hidrokarbon dengan rumus molekul C_nH_{2n+2} (Mulyono, 1991; Hein *et al.*, 1993; Fessenden dan Fessenden, 1997). Alkana merupakan senyawa nonpolar dan alkana tidak larut dalam air serta semua alkana lebih ringan daripada air misalnya benzena dan minyak motor selalu mengapung di atas air. Menurut Mulyono (1991), jumlah atom karbon alkana berkisar antara 1 (misalnya metana) hingga 60 (misalnya n-heksakontana). Alkana rantai lurus sampai dengan butana adalah berbentuk gas pada temperatur kamar, sedangkan alkana C5-C17 berbentuk cair dan alkana rantai lurus dengan jumlah atom C 18 atau lebih adalah berupa zat padat (Fessenden dan Fessenden, 1997).

Alkana bercabang, merupakan suatu seri senyawa hidrokarbon alkana dengan struktur rantai bercabang juga terdapat di dalam minyak bumi, baik dalam seri isomerik maupun seri isofrenoid misalnya pristen, phitan, farnesan (Mulyono, 1991). Menurut Fessenden dan Fessenden (1997) rantai samping atau cabang pada alkana adalah suatu gugus alkil sebagai cabang dari suatu rantai induk. Pada alkana bercabang dapat pula mempunyai rantai samping bercabang tunggal, bercabang ganda atau mengandung substituen lainnya seperti nitro, fluoro, kloro, bromo atau iodo.

Sikloalkana, disebut juga sebagai naphtena terdiri atas senyawa-senyawa hidrokarbon dengan rantai jenuh melingkar disertai dengan atau tanpa substituen (Mulyono,

1991). Pada umumnya sikloalkana tersubstitusi terdapat dalam jumlah yang lebih banyak. Di samping sikloalkana dengan struktur sederhana (siklopentana dan sikloheksana) terdapat pula derivat-derivat polisiklik. Senyawa sikloalkana mempunyai titik didih lebih tinggi dibanding dengan senyawa alkana atau alkana bercabang dengan jumlah atom karbon yang sama. Ditambahkan pula oleh Hein *et al.* (1993) bahwa sikloalkana mempunyai formulasi umum C_nH_{2n} . Sikloalkana merupakan suatu senyawa hidrokarbon jenuh dan hanya mempunyai ikatan tunggal antar atom karbon.

Aromatik, terdiri atas campuran senyawa hidrokarbon yang sangat kompleks, termasuk di antaranya adalah senyawa aromatik dengan substitusi mono-, di-, dan polialkil (Mulyono, 1991). Seperti halnya sikloalkana, hidrokarbon aromatik ini juga mempunyai cincin sederhana (benzena, naphtalen) dan cincin berganda (polisiklik). Termasuk dalam kelas ini adalah senyawa naphteno-aromatik yaitu senyawa hidrokarbon yang mempunyai struktur campuran sikloalkana dan aromatik. Dijelaskan oleh Fessenden dan Fessenden (1997) bahwa untuk pertama kalinya benzena diisolasi pada tahun 1825 oleh Michael Faraday dari residu berminyak yang tertimbun dalam pipa induk gas di London. Pada dewasa ini sumber utama benzena, benzena tersubstitusi dan senyawa aromatik lainnya adalah terdapat pada petroleum.

Komposisi lainnya yang terkandung dalam minyak bumi, antara lain : senyawa nitrogen, belerang dan oksigen (Mulyono, 1991; Madgwick, 1986). Pada minyak bumi senyawa nitrogen dapat mencapai 1% dan pada umumnya terakumulasi

pada fraksi berat (atom C > 400). Senyawa nitrogen biasanya berbentuk senyawa basa misalnya senyawa piridin dan quinolin (Mulyono, 1991; Madgwick, 1986). Terdapat pula senyawa nitrogen yang bersifat asam misalnya indol, karbazol dan benzokarbazol. Senyawa nitrogen dapat pula terikat dengan logam seperti vanadium dan nikel porfirin. Senyawa belerang, terdiri atas campuran senyawa merkaptan (R-SH), sulfida (R-S-R), disulfida (R-S-S-R) dan senyawa-senyawa siklik (n-pentil merkaptan, thiophen, benzothiophen dan lain-lain). Senyawa oksigen, pada umumnya merupakan senyawa-senyawa phenol dan asam-asam karboksilat. Namun sering pula terdapat senyawa keton, ester dan anhidrid (Mulyono, 1995).

2. Keberadaan Limbah Minyak Pada Perairan

Di perairan Indonesia, pencemaran laut oleh minyak bumi akan terus meningkat dari hari ke hari jika pelaksanaan kegiatan eksplorasi minyak di laut tidak dilaksanakan secara hati-hati (Thayib, 1991). Pencemaran perairan pantai oleh minyak bumi dapat berasal dari kegiatan manusia sehari-hari, misalnya buangan rumah tangga, lalu lintas kapal (Ruyitno, 1991; Thayib, 1991). Dikatakan pula bahwa besarnya penyebaran kepadatan mikroorganisme pemecah minyak di permukaan perairan dapat berbeda-beda. Jumlah tertinggi kepadatan mikroorganisme pemecah minyak dapat terlihat jelas pada daerah di sekitar pelabuhan, di mana banyak dijumpai genangan minyak.

Limbah minyak yang sampai ke laut dapat merupakan tumpahan langsung dari daratan melalui pipa saluran

(Soewardiati, 1989). Dikatakan pula bahwa kota pelabuhan dapat merupakan pusat pemukiman dan industri, sehingga limbah dari area pemukiman maupun industri dapat langsung ditumpahkan ke laut tanpa melalui proses pengolahan limbah. Berbagai jenis limbah minyak dapat pula terbawa ke perairan laut melalui aliran sungai dan tersapu hujan.

Soewardiati (1989) menyatakan bahwa aktifitas di laut misalnya jasa angkutan laut dapat menyebabkan keberadaan limbah minyak pada perairan laut. Dikatakan pula bahwa kecelakaan di laut, kerusakan kapal, kebocoran tangker, pencucian kapal dan pengeboran minyak lepas pantai dapat menyebabkan keberadaan limbah minyak di laut cukup besar. Selain itu, buangan gas berbentuk hidrokarbon dari berbagai industri atau kendaraan bermotor melalui cerobong asap dapat kembali ke tanah atau perairan melalui curah hujan.

Senyawa-senyawa hidrokarbon yang terdapat di dalam lingkungan perairan merupakan campuran dari senyawa hidrokarbon fosil (minyak bumi) dan senyawa hidrokarbon biogenik (Mulyono, 1991). Dikatakan pula bahwa keberadaan hidrokarbon di dalam lingkungan perairan dapat melalui berbagai cara, yaitu : biosintesis, proses geokimia dan antropogenik. Beberapa jenis organisme darat dan laut dapat menghasilkan senyawa hidrokarbon melalui proses biosintesis maupun melalui proses transformasi dari senyawa prekursor yang terdapat di dalam makanannya. Senyawa hidrokarbon ini dapat memasuki lingkungan perairan melalui proses metabolisme atau melalui proses pembusukan dari jasad organisme tersebut.

Senyawa hidrokarbon yang berasal dari rembesan atau bocoran geologis diperkirakan sebesar 0,6 juta ton setiap tahun (Mulyono, 1991). Di samping itu senyawa hidrokarbon dapat berasal dari proses geokimia yaitu proses degradasi senyawa organik di dalam tanah atau sedimen serta berasal dari jatuhnya atmosfer akibat kebakaran hutan dan pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil.

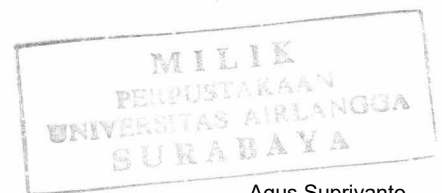
Sumber antropogenik berasal dari pengelolaan minyak bumi (pengeboran, transportasi, pengolahan dan lain-lain), karena kecelakaan atau kesengajaan (Mulyono, 1991). Lebih rinci dikatakan bahwa estimasi sumber asal dan banyaknya senyawa hidrokarbon minyak bumi yang masuk ke dalam lingkungan perairan laut berasal dari : rembesan/bocoran geologi sebesar 9,8%; produksi lepas pantai 1,3%; transportasi di laut 30%, kecelakaan di laut 4,8%; pengolahan 3,3%; atmosfer 9,9%; dan limbah kota, industri, sungai dan sebagainya 40,8%.

Guthrie dan Perry (1980) keberadaan hidrokarbon petroleum pada perairan laut dapat berasal dari terestrial dan laut itu sendiri. Limbah minyak dari terestrial, antara lain berasal dari : aliran sungai, atmosfer, pemukiman, limbah domestik, limbah industri dan pengilangan pantai, sedangkan limbah minyak dari aktifitas di laut, berasal dari tangker, operasi di terminal, kecelakaan tangker dan bukan tangker serta kebocoran.

Menurut Connell dan Miller (1995) hidrokarbon minyak bumi adalah pencemar utama di lautan dan dilepaskan ke

atmosfir dalam jumlah yang cukup banyak, khususnya yang berdekatan dengan daerah perkotaan. Hidrokarbon tersebar secara luas ke seluruh lautan, atmosfir dan lingkungan daratan. Dikatakan pula minyak bumi dipindahkan ke lingkungan dalam bentuk hidrokarbon sebesar 2,3% dari produk global minyak bumi dan tidak termasuk hidrokarbon yang dilepaskan karena pembakaran tidak sempurna atau terbentuk selama pembakaran. Lebih lanjut dikatakan bahwa prakiraan total emisi global dan buangan minyak bumi ke dalam lingkungan laut, sebagai berikut : emisi antropogenik hidrokarbon nonmethana ke atmosfir berjumlah 68 x 1 juta ton per tahun; berasal dari operasi laut, pengkilangan dan tumpahan akibat kecelakaan sebesar 2,2 x 1 juta ton per tahun dan berasal dari buangan terestrial sebesar 19,3 x 1 juta ton per tahun.

Menurut Connell dan Miller (1995) keberadaan senyawa hidrokarbon poliaromatik (PAH) di lingkungan terjadi melalui tiga jalur utama, yaitu (1) pirolisis bahan organik, (2) pelepasan dari bahan organik sedimen dan bahan bakar fosil dan (3) biosintesis oleh makhluk hidup. Pirolisis dan pembakaran tidak sempurna bahan organik menghasilkan PAH dalam produknya. Dikatakan pula bahwa produk minyak bumi mentah dan suling memperlihatkan keragaman yang besar dalam kandungan aromatik dan PAH, namun total hidrokarbon aromatik biasanya dalam kisaran 0,2 - 7,4 %. PAH dapat berada dalam air buangan misalnya cairan buangan perkotaan serta dalam buangan atmosferik dari pembakaran bahan bakar fosil.



3. Biodegradasi Minyak Oleh Kapang

Proses biodegradasi merupakan proses yang sangat penting artinya dalam pemulihan kembali lingkungan perairan yang tercemar oleh minyak bumi (Bartha, 1976 dalam Mulyono, 1991). Dikatakan pula bahwa beberapa jenis bakteri dan fungi dapat menggunakan minyak bumi sebagai sumber karbon atau energinya. Dijelaskan pula oleh Brock *et al.* (1994) bahwa dekomposisi petroleum dan produk petroleum secara mikrobiologis mempunyai keuntungan ditinjau dari segi ekonomi dan lingkungan. Hal ini disebabkan karena petroleum merupakan sumber yang kaya dengan bahan organik dan hidrokarbon, serta bahan-bahan tersebut dapat dipecah secara aerobik oleh berbagai mikroorganisme.

Bakteri dan fungi dapat mengoksidasi hidrokarbon dan dikenal sebagai agen utama dalam proses dekomposisi minyak dan produk minyak (Brock *et al.*, 1994). Dijelaskan pula bahwa berbagai jenis bakteri, kapang dan yeast dapat menunjukkan suatu dekomposisi hidrokarbon minyak secara oksidasi.

Menurut Connell dan Miller (1995), banyak mikroorganisme laut seperti bakteri dan jamur dapat memetabolisme hidrokarbon dari bahan bakar minyak serta fraksi-fraksinya baik secara utuh maupun sebagian. Distribusi bakteri dan jamur pemakai hidrokarbon di dalam perairan laut tersebar ke seluruh dunia, tetapi populasinya sangat beragam tergantung kelimpahan limbah minyak.

Menurut Pandia dkk. (1995) sebagian besar emulsi minyak akan mengalami degradasi melalui fotooksidasi spontan

dan oksidasi oleh mikroorganisme. Mikroorganisme merupakan jasad yang paling berperan dalam dekomposisi minyak di perairan laut. Senyawa hidrokarbon minyak akan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan karbon, serta daya penguraian senyawa hidrokarbon bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme.

Menurut Guthrie dan Perry (1980) telah diketahui lebih dari 100 tahun yang lalu bahwa mikroorganisme mampu mendegradasi hidrokarbon dan diperkirakan kira-kira 20% dari semua spesies mikroba yang diperiksa di laboratorium mempunyai kemampuan dalam mendegradasi hidrokarbon. Mikroba mampu memetabolisme semua jenis hidrokarbon. Dijelaskan pula bahwa senyawa n-alkana merupakan senyawa yang paling cepat didegradasi oleh mikroorganisme, sedangkan senyawa bercabang agak lambat didegradasi dan jumlah mikroorganisme yang mampu mendegradasi hidrokarbon aromatik sangat terbatas. Demikian halnya mikroorganisme yang dapat mendegradasi hidrokarbon alisiklik juga berjumlah sedikit.

Menurut Madgwick (1986), mikroorganisme yang mampu mengoksidasi hidrokarbon minyak terdiri atas 30 genera bakteri dan fungi sebanyak < 200 spesies. Dari kelompok fungi yang dapat memecah hidrokarbon minyak, antara lain : *Cladosporium resinal*, *Mucor*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Aspergillus* dan *Achromonium*. Watkinson dan Morgan (1990) mengatakan bahwa golongan fungi filamentus yang mampu mendegradasi alifatik hidrokarbon adalah *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Corollaspora*, *Dendryphiella*, *Gliocladium*, *Lulworthia*, *Penicillium*, *Varicospora* dan *Fusarium*.

Menurut Pandia dkk. (1995), mikroorganisme yang dapat menyerang ikatan aromatik adalah jamur *Cunninghamella elegans* dan juga dapat melakukan metabolisme hidrokarbon seperti alkana C3-C32; alkena, aromatik, toluena, naftalena, antrasena, bifenil dan fenantrena. Dijelaskan pula oleh Cerniglia dan Crow (1981) bahwa fungi filamentus *C. elegans* mampu memetabolisme bifenil menjadi senyawa 4-hydroxybiphenyl dan juga *C. elegans* mampu mengoksidasi benzopyrene menjadi trans-9,10-dihydroxy-9,10-dihydrobenzo(a)pyrene, benzopyrene 1,6-quinone, 3hydroxybenzopyrene.

Barclay *et al.* (1995) menyatakan bahwa white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* mampu mendegradasi berbagai hidrokarbon aromatik polinuklir (PAH) seperti phenanthrene dan benzopyrene. White-rot fungi lainnya *Dichomitus squalens* dan *Pleurotus sp* mampu mendegradasi pyrene (Wiesche *et al.*, 1996). Dikatakan pula oleh Field *et al.* (1995) bahwa white-rot fungus *Bjerkandera sp* strain BOS55 mampu mengoksidasi anthracene dalam air atau campuran solvent aseton atau etanol.

Mekanisme biodegradasi minyak sangat beragam tergantung dari komposisi senyawa hidrokarbon yang dikandungnya. Pada umumnya hidrokarbon jenuh rantai lurus paling mudah terdegradasi diikuti oleh isoalkana, sikloalkana dan aromatik (Bartha, 1976 dalam Mulyono, 1991). Connell dan Miller (1995) mengemukakan bahwa mikroorganisme mampu mengoksidasi hidrokarbon aromatik mulai dari senyawa monosiklik sampai polisiklik meskipun biodegradasi struktur

cincin yang sangat terkondensasi tetap utuh.

Mekanisme umum oksidasi dari senyawa aromatik mencakup penggabungan kedua atom oksigen menjadi hidrokarbon aromatik dan pembentukan cis-dihidrodiol, kemudian diikuti dengan oksidasi lanjut menjadi senyawa jenis katekol (Gibson, 1977 dalam Connell dan Miller, 1995). Katekol dapat mengalami pemutusan enzimatik cincin benzena antara atau yang berdekatan dengan gugus karboksil. Oksidasi dapat berlanjut sampai habis atau berhenti pada berbagai metabolit teroksigenasi, misalnya asam salisilat, asam naftenat dan nafti-alkohol (Gibson, 1977 dalam Connell dan Miller, 1995).

Banyak mikroorganisme laut dan muara mampu mendegradasi fraksi-fraksi tertentu dari campuran hidrokarbon minyak bumi secara cepat, seperti n-alkana dan isoalkana. Alkana-alkana terdegradasi oleh oksidasi dari salah satu gugus metil terminal menjadi asam karboksilat dan kemudian degradasi bertahap, perlahan-lahan dengan konversi tuntas menjadi karbon dioksida dan air (Connell dan Miller, 1995). n-alkana dioksidasi paling mudah dan lajunya menurun dengan naiknya percabangan. Namun tampak bahwa laju degradasi berbagai fraksi sikloalkana dan PAH dapat teramat lambat dengan resultan pembentukan fraksi yang relatif persisten dan sukar diubah. Sebagai contoh, bensin yang berada dalam sedimen muara dapat terdegradasi selama 5 tahun setelah tumpahan (Sanders *et al.*, 1980 dalam Connell dan Miller, 1995).

Oksidasi alkana secara mikrobiologis akan melibatkan perubahan bentuk rantai CH_3 menjadi CO_2H (asam karbonat)

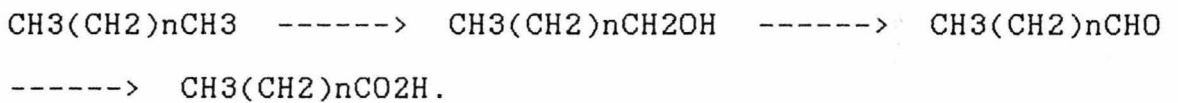
(Pandia dkk., 1995). Setelah pembentukan asam karboksilat, alkana akan mengalami oksidasi lebih lanjut yang disebut beta oksidasi. Daya penguraian senyawa hidrokarbon bervariasi. Pengaruh mikroorganisme besar sekali pada senyawa hidrokarbon yang mempunyai rantai lurus. Sedangkan pada hidrokarbon bercabang akan lebih lambat dibanding rantai lurus. Hal ini disebabkan karena percabangan rantai dapat menghambat beta oksidasi pada ujung rantai percabangan (Pandia dkk., 1995).

Berbagai jenis khamir, jamur dan bakteri mempunyai kemampuan mendegradasi alkana (Sudarmadji, 1989). Kelarutan alkana dalam medium air yang terbatas memerlukan mekanisme khusus untuk dapat dipergunakan dan ditransport ke tempat metabolismenya. Ada dua cara dalam metabolisme alkana oleh mikroorganisme (Sudarmadji, 1989; Madgwick, 1986).

1. Pemakaian lewat kontak langsung antara permukaan sel dengan tetes-tetes alkana. Banyak mikroorganisme pemakai alkana cenderung bergerombol pada senyawa hidrokarbon alkana dan membentuk gumpalan yang disebut sebagai flocks. Sebaliknya mikroorganisme yang bukan pemakai alkana tidak menunjukkan kecenderungan membentuk flocks. Pertumbuhan sel mikroorganisme alkana akan mendorong pembentukan dinding sel dan lipopolisakarida sehingga mudah menempel pada lemak dan menempel pada senyawa hidrokarbon. Adapula pada dinding sel timbul tonjolan seperti lendir yang berfungsi untuk menyerap alkana lalu bergerak melalui saluran ke arah retikulum endoplasmik untuk reaksi hidroksilasi.

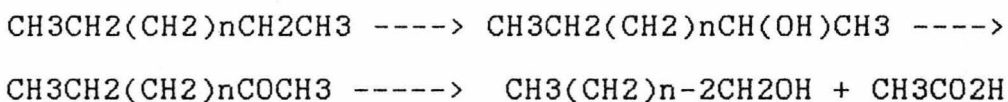
2. Pelarutan semu alkana sebelum dimetabolisme oleh sel. Alkana hanya dapat diasimilasi setelah adanya pelarutan, yaitu suatu proses yang dapat terjadi dengan adanya surfaktan yang dikeluarkan dari sel. Tetes-tetes besar alkana akan dipergunakan sebagai persediaan substrat menjadi tetes yang sangat kecil. Alkana dalam bentuk tetes kecil disebut dengan pelarutan semu.

Setelah penyerapan, alkana akan melewati proses oksidasi permulaan (Sudarmadji, 1989) :



Pada kebanyakan mikroorganisme, oksidasi ini terjadi pada 1 ujung saja (mono terminal). Oksidasi monoterminal dari alkana menjadi alkohol primer dikatalisis oleh enzim hidrosilase kompleks yang termasuk sistem rangkaian transport elektron.

Kemampuan memecah alkana pada atom C dekat ujung (subterminal) telah diamati pada beberapa mikroorganisme khususnya pada jamur (Sudarmadji, 1989) :



Alkana berantai panjang yang dihasilkan dari oksidasi alkana, pada akhirnya mengalami oksidasi menjadi asam lemak yang sesuai dengan alkohol pembentuknya melalui aldehyd. Reaksi ini dikatalisis oleh dehidrogenase. Alkohol rantai panjang kerjanya tergantung dari NAD dan enzim aldehyd dehidrogenase. Kerja enzim dipacu oleh alkana, alkohol

rantai panjang dan aldehyd. Kedua dehidrogenase terletak di dalam sel nampaknya berbeda-beda tergantung dari jenis mikroorganismenya, terdapat pada mitokondria, sitosol atau terikat pada membran.

Asam lemak yang terbentuk dari oksidasi alkana akan dipecah melalui beberapa jalur (Sudarmadji, 1989). Jalur utama yang umum dilalui adalah beta oksidasi dan alpha oksidasi. Dijelaskan pula oleh Madgwick (1986); Watkinson dan Morgan (1990) bahwa dekomposisi hidrokarbon melalui mekanisme yang analog dengan oksidasi asam lemak, yaitu melalui oksidasi terminal dan oksidasi subterminal. Pada oksidasi terminal kemudian dilanjutkan dengan omega oksidasi dan berakhir dengan beta oksidasi. Sedangkan oksidasi subterminal langsung berakhir dengan reaksi beta oksidasi.

4. Dampak Limbah Minyak

Pencemaran air oleh minyak sangat merugikan karena dapat menimbulkan hal-hal berikut (Pandia dkk., 1995).

1. Adanya minyak menyebabkan penetrasi sinar ke dalam air berkurang. Pada perairan yang tercemar akan mengalami pengurangan intensitas sinar sebesar 90%.
2. Konsentrasi oksigen terlarut menurun dengan adanya minyak, karena lapisan film minyak menghambat proses penetrasi oksigen ke dalam air.
3. Adanya lapisan minyak pada permukaan air akan mengganggu kehidupan burung air karena burung yang berenang dan menyelam bulu-bulunya akan ditutupi oleh minyak sehingga menjadi lekat.

4. Penetrasi sinar dan oksigen yang menurun dengan adanya minyak dapat mengganggu kehidupan tanaman laut.

Menurut Soewardiati (1989), pengaruh pencemaran minyak bumi di laut terhadap organisme menyebabkan :

- (1). toksisitas minyak bumi dapat menimbulkan kematian organisme dan dapat memasuki rantai makanan sehingga terjadi akumulasi zat toksik;
- (2). menurunnya kadar oksigen yang diperlukan oleh organisme. Permukaan air laut yang tercemar tertutup oleh lapisan minyak sehingga tidak terjadi pertukaran oksigen.

Menurut Connell dan Miller (1995), toksisitas letal minyak mentah dan bahan bakar minyak, antara lain :

- (1). minyak suling umumnya lebih beracun dari pada minyak mentah;
- (2). ikan dan hewan berkulit keras tampaknya termasuk yang paling peka terhadap minyak mentah maupun bahan bakar minyak, meskipun beberapa spesies relatif toleran terhadap minyak mentah seperti ikan sungai kepala kambing;
- (3). spesies intertidal pada umumnya lebih toleran, hal ini disebabkan karena kemampuannya mengisolasi diri dari pengurangan statis.

Wardhana (1995) mengungkapkan bahwa toksisitas hidrokarbon tergantung pada senyawa penyusun hidrokarbon tersebut. Pada umumnya senyawa hidrokarbon aromatik lebih

beracun dari pada hidrokarbon alifatik maupun hidrokarbon alisiklik. Dijelaskan pula bahwa hidrokarbon dapat menyebabkan iritasi pada membran mukosa dan jika masuk ke dalam paru-paru maka dapat menimbulkan luka di bagian dalam. Hidrokarbon aromatik khususnya PAH dikenal sebagai penyebab karsinogenik pada berbagai jenis hewan dan manusia (Guthrie dan Perry, 1980).

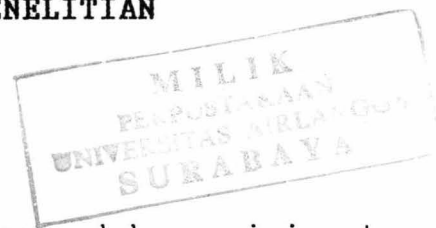
Mehlman (1992) menyatakan bahwa bahan bakar minyak (bensin) mengandung banyak komponen kimia dan beberapa di antaranya dapat menyebabkan karsinogenik seperti bensena, 1,3-butadiene, toluene, xylene, ethylbenzene, n-hexana, naphthalene, olefine dan lain sebagainya. Dijelaskan pula bahwa senyawa bensena merupakan komponen dari bensin dan produk petroleum lainnya yang secara signifikan dapat menyebabkan karsinogenik pada manusia dan hewan.

Menurut Lemaire *et al.* (1992), senyawa benzopyrene dapat menyebabkan intoksikasi pada organ ikan laut (*Dicentrarchus labrax*) dan menyebabkan hepatocarcinoma serta kanker gastrointestinal. Secara ultrastruktur, pada sel-sel hati terjadi suatu perubahan degeneratif serta retikulum endoplasmik terlihat membengkak. Sedangkan pada ultrastruktur intestinal menunjukkan perubahan bentuk sel-sel epitel intestinal dan inti sel terkadang berbentuk abnormal (Lemaire *et al.*, 1992).

Menurut Sutarti dkk. (1998), minyak pelumas bekas yang dikeluarkan dari peralatan biasanya dibuang begitu saja ke tanah, keselokan atau ke perairan. Keadaan ini dapat menimbulkan bahaya terhadap lingkungan karena beberapa

sebab, antara lain :

1. minyak pelumas bekas mengandung bahan berbahaya dalam jumlah banyak terutama logam berat Pb yang berbahaya bagi makluk hidup;
2. bila minyak pelumas bekas dibuang ke selokan atau aliran air lain, minyak pelumas sangat beracun. Minyak pelumas bekas pada kadar 1 ppm saja dapat berpengaruh merugikan terhadap biota air, sedangkan kalau konsentrasi dalam air sudah mencapai > 300 ppm akan menimbulkan akibat kronis terhadap ikan;
3. beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pencemaran air sungai oleh minyak bumi banyak disebabkan oleh minyak pelumas, yaitu sekitar 44 % dari seluruh pencemaran minyak;
4. penimbunan minyak pelumas di tanah akan menyebabkan tumbuhan di sekitarnya mati.

BAB 3**KERANGKA KONSEPTUAL PENELITIAN****1. Kerangka Konseptual Penelitian**

Minyak bumi terbentuk dari proses dekomposisi atau peluruhan fosil tumbuhan dan hewan yang berumur jutaan 3 tahun. Minyak bumi merupakan sumber hidrokarbon karena pada dasarnya disusun oleh 2 elemen, yaitu hidrogen dan karbon. Minyak bumi tersusun atas komponen : alkana, alkana bercabang, sikloalkana, olefina dan aromatik. Selain itu, tersusun pula oleh nitrogen, sulfur, oksigen dan logam. Komposisi senyawa yang terkandung dalam minyak bumi berbeda-beda tergantung dari asal sumur minyaknya. Produk dari minyak bumi, antara lain : bensin, minyak tanah, minyak pelumas, minyak diesel, bahan bakar jet, minyak pemanas dan aspal.

Keberadaan minyak bumi di lingkungan perairan dapat bersifat merugikan karena penetrasi sinar matahari yang masuk ke dalam perairan akan terhalang demikian juga dengan konsentrasi oksigen terlarut menurun dan minyak bumi dapat memasuki rantai makanan sehingga terjadi akumulasi zat toksik. Senyawa hidrokarbon aromatik lebih beracun dari pada hidrokarbon alifatik maupun hidrokarbon alisiklik. Hidrokarbon aromatik PAH dikenal sebagai penyebab karsinogenik pada manusia dan berbagai jenis hewan.

Keberadaan mikroorganisme pemecah minyak pada suatu perairan dapat dijumpai apabila pada perairan tersebut

terdapat limbah minyak. Penyebaran kepadatan populasi mikroorganisme pemecah minyak tergantung pada kelimpahan limbah minyak. Kandungan minyak pada perairan dapat berasal dari aktifitas manusia sehari-hari, baik yang berada di laut maupun terestrial dan hidrokarbon petroleum dapat juga berasal dari atmosfer yang kemudian turun terbawa oleh hujan.

Kapang merupakan salah satu mikroorganisme yang mampu mendegradasi hidrokarbon minyak. Hidrokarbon minyak tersebut digunakan oleh kapang sebagai sumber karbon/energi. Proses biodegradasi merupakan proses yang sangat penting artinya dalam pemulihan kembali lingkungan perairan yang tercemar oleh minyak bumi. Proses biodegradasi mempunyai keuntungan bila ditinjau dari segi ekonomi dan lingkungan.

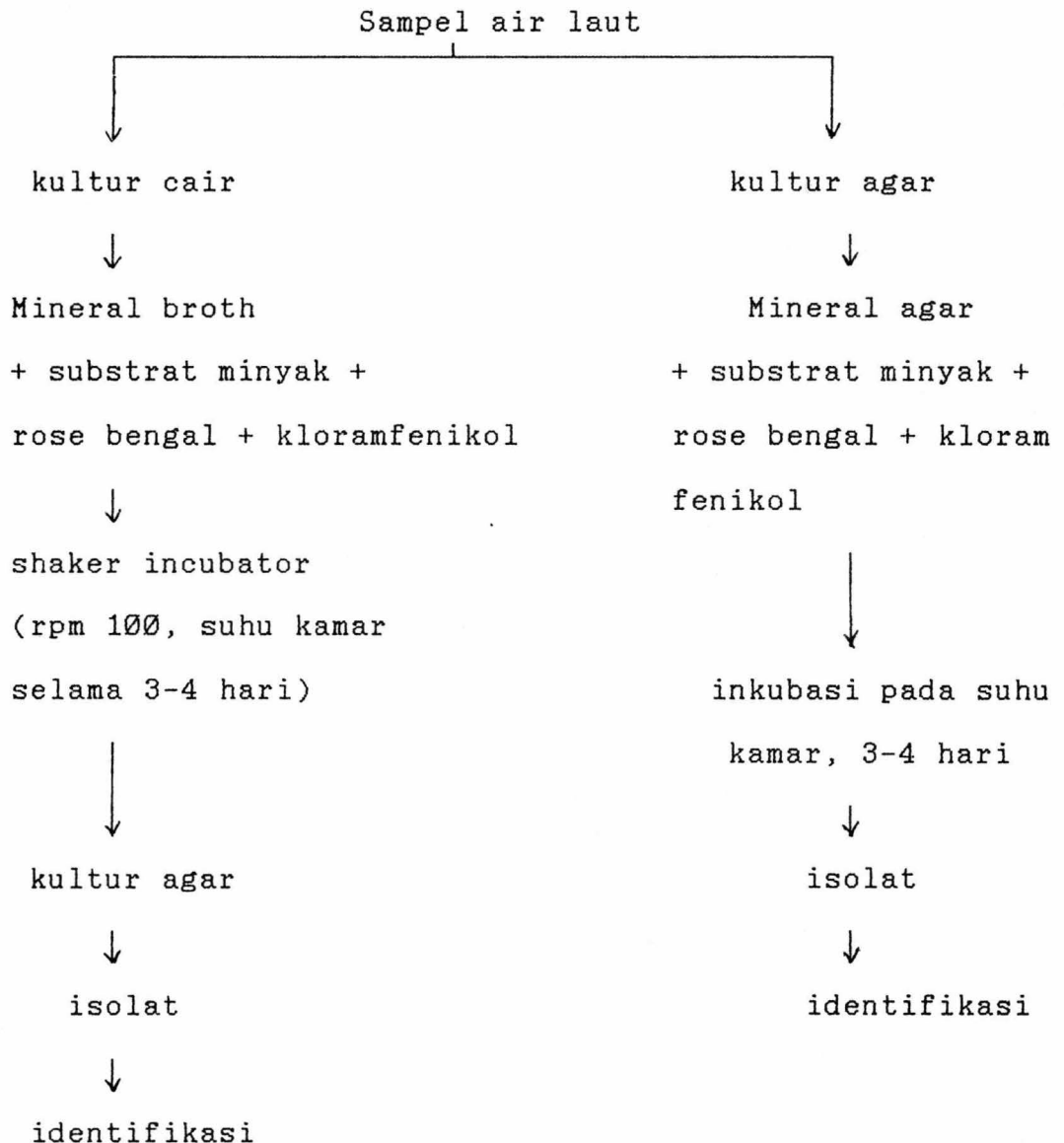
Mekanisme biodegradasi minyak sangat beragam tergantung pada komposisi hidrokarbon yang dikandungnya. Pada umumnya hidrokarbon jenuh rantai lurus paling mudah terdegradasi diikuti oleh isoalkana, sikloalkana dan aromatik. Mekanisme umum oksidasi dari senyawa aromatik mencakup penggabungan kedua atom oksigen menjadi cis-dihidrodiol diikuti dengan oksidasi lanjut membentuk katekol. Katekol dengan proses ensimatis memutus cincin benzena antara dan oksidasi dapat berlanjut hingga tuntas atau berhenti pada berbagai metabolit teroksigenasi.

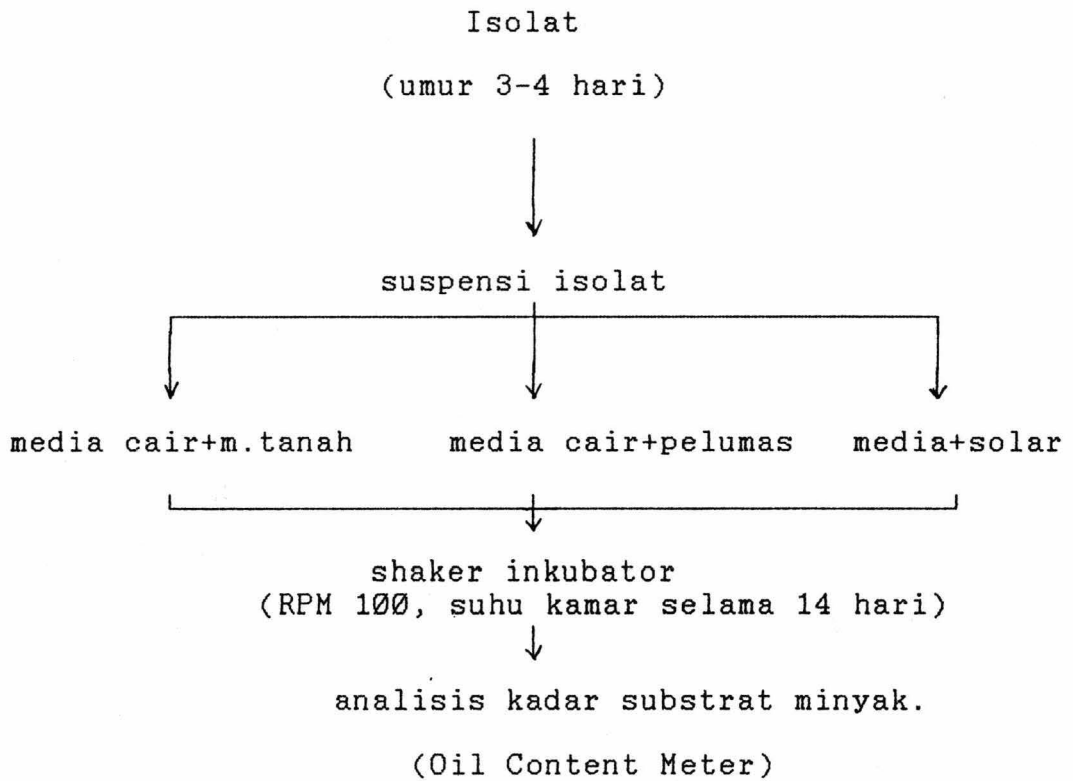
Biodegradasi senyawa alkana oleh oksidasi dari salah satu gugus metil terminal menjadi asam karboksilat kemudian dilanjutkan dengan proses oksidasi yang dikenal dengan beta oksidasi. dari proses oksidasi tersebut terjadi konversi

tuntas menjadi karbon dioksida dan air. Dengan demikian bahwa biodegradasi hidrokarbon minyak melalui mekanisme yang analog dengan oksidasi asam lemak yaitu melalui oksidasi terminal atau oksidasi subterminal dan berakhir dengan proses beta oksidasi.

2. Kerangka Operasional Penelitian

a. Isolasi kapang



b. Biodegradasi minyak**3. Hipotesis Penelitian**

Hipotesis yang dapat diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terdapat perbedaan penurunan kadar minyak pada proses biodegradasi oleh tiap jenis isolat kapang.
2. Terdapat perbedaan penurunan kadar minyak pada proses biodegradasi ditinjau dari parameter jenis minyak.
3. Terdapat interaksi jenis isolat kapang dan jenis minyak pada proses biodegradasi.

BAB 4

METODE PENELITIAN

1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Faktorial dengan dua kriteria, yaitu perbedaan jenis minyak dan perbedaan jenis kapang. Seluruh perlakuan diulang sebanyak lima kali.

Berdasarkan sifat permasalahannya, maka penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratoris.

2. Pengambilan Sampel

Sampel yang diperiksa adalah air laut yang diambil dari perairan pantai Surabaya, meliputi 3 stasiun : (1) perairan pantai timur (muara kali Wonokromo), (2). muara sungai kalimas, dan (3). perairan pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Tiap stasiun pengambilan sampel diambil 3 titik sampling dan tiap titik sampling diambil sampel air sebanyak 3 kali (Triplo).

Pengambilan sampel air laut dilakukan secara aseptik dengan menggunakan botol sampel steril. Botol sampel dimasukkan ke dalam badan air dengan kedalaman kira-kira 10 cm dari permukaan air dan sampel air yang terdapat di dalam botol sampel tidak terlalu penuh (diberi ruang kosong kira-kira 2 cm dari mulut botol) (Greenberg *et al.*, 1992). Sampel air yang diperoleh dibawa ke laboratorium Mikrobiologi Lingkungan FMIPA Unair dengan menggunakan *ice box* dan segera dilakukan pemeriksaan.

3. Variabel Penelitian

1. Klasifikasi variabel

Variabel terikat adalah penurunan kadar minyak.

Variabel bebas adalah jenis substrat minyak, jenis isolat kapang dan kombinasi isolasi

Variabel kendali adalah suhu, masa inkubasi dan umur biakan.

2. Definisi operasional variabel

Variabel terikat

Variabel terikat adalah penurunan kadar minyak hasil proses biodegradasi oleh kapang yang diukur dengan alat Oil Content Meter.

Variabel bebas

Variabel bebas terdiri atas berbagai jenis minyak (minyak tanah, minyak solar dan minyak pelumas) yang ditambahkan ke dalam media biodegradasi dan jenis kapang.

4. Bahan Penelitian

Media Mineral agar (modifikasi Czapek Agar) : NaNO_3 2 g, KCl 0,5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,5 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,01 g, K_2HPO_4 0,35 g, Agar 15 g, substrat minyak dan air laut 1000 ml; media Mineral cair (modifikasi Czapek Broth) : NaNO_3 2 g, KCl 0,5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,5 g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,01 g, K_2HPO_4 0,35 g, Substrat minyak dan air laut 1000 ml; larutan garam fisiologis, akuades, cotton blue, laktofenol blue, spiritus, alkohol, larutan rose bengal 0,35 %, larutan kloramfenikol 1%, minyak tanah, minyak pelumas dan minyak solar.

5. Alat Penelitian

Cawan petri, tabung reaksi, erlenmeyer, jarum ose, lampu spiritus, shaker incubator, pinset, inkubator, mikroskop, labu pisah, autoklaf, cabin inokulasi, spektonic 20, object glass, cover glass, botol sampling, ice box dan Oil Content Meter (merek Shimadzu).

6. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pengambilan sampel air adalah sepanjang perairan pantai Surabaya. Pemeriksaan dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Lingkungan FMIPA Unair. Waktu pengambilan sampel air dilakukan pada pagi hari (sekitar jam 08.00) dan lama penelitian adalah 5 bulan (Juli - November 2000).

7. Prosedur Penelitian

1. Isolasi kapang

Isolasi kapang dilakukan dengan dua metode.

a. Isolasi dengan media agar (Modifikasi Kiyohara, 1982).

1 ml sampel air diinokulasikan ke dalam petri kosong steril kemudian ditambahkan 1 ml larutan rose bengal 0,35 % dan 1 ml larutan kloramfenikol 1% (Darwis dan Sunarti, 1992). Media mineral agar sebanyak 15 ml (dengan suhu 45 C) ditambahkan 2 ml substrat minyak steril (minyak tanah, minyak solar, minyak pelumas) kemudian divortex. Setelah itu dituang ke petri secara hati-hati dan cepat. Petri tersebut dihomogenisasi dengan cara mengoyang (memutar) petri supaya suspensi tersebar merata. Setelah itu diinkubasikan pada suhu

kamar (30 C) selama 3-4 hari. Setelah ada pertumbuhan koloni kapang kemudian dilakukan pembuatan isolat. Isolat-isolat tersebut diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis (Frazier, 1986; Pitt and Hocking, 1985).

b. Isolasi dengan media cair (Mod.Ruyitno, 1991).

10 ml sampel air diinokulasikan ke dalam 90 ml media mineral cair, lalu diinkubasikan ke dalam shaker incubator pada suhu kamar selama 3-4 hari. Di dalam media tersebut ditambahkan substrat minyak steril (minyak tanah, minyak pelumas dan minyak solar) sebanyak 10 ml dan ditambahkan 5 ml larutan rose bengal 0,35 % dan 5 ml larutan kloramfenikol 1 %. Setelah masa inkubasi lalu diambil 1 ml suspensi dan diinokulasikan ke dalam petri kosong steril. Setelah itu dituangkan media mineral agar sebanyak 15 ml (dengan suhu 45 C), kemudian dihomogenisasi. Diinkubasikan pada suhu kamar selama 3-4 hari. setelah ada pertumbuhan koloni kapang lalu dilakukan pembuatan isolat. Isolat-isolat tersebut diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis (Frazier, 1986; Pitt and Hocking, 1985).

2. Perbanyak kultur murni isolat kapang

Perbanyak inokulum disesuaikan dengan kebutuhan pada saat penelitian. Adapun langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut.

1. Dibuat media mineral agar sebanyak 100 ml lalu

dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk hingga homogen.

2. Media tersebut dituangkan ke dalam 15 tabung reaksi dan diusahakan supaya volume seluruh tabung sama .
 3. Tabung reaksi tersebut ditutup dengan kapas lalu dilapisi dengan aluminium foil.
 4. Selanjutnya dilakukan sterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121 C selama 20 menit.
 5. Setelah sterilisasi, tabung reaksi diletakkan miring hingga media menjadi padat.
 6. Menginokulasikan 1 ose biakan isolat kapang yang telah diidentifikasi ke dalam tabung agar miring secara goresan.
 7. Menginkubasikan inokulum isolat kapang pada suhu kamar selama 3 - 4 hari.
3. Pembuatan starter isolat kapang

Besarnya biomassa kapang yang digunakan dalam pembuatan starter diukur berdasarkan berat sel kering kapang dari 1 ml suspensi biakan yang sudah diketahui nilai turbiditasnya (absorbansi). Prosedur pembuatannya sebagai berikut.

1. Mengambil 1 biakan miring dari 1 tabung reaksi.
2. Secara aseptik, dimasukkan 5 ml larutan garam fisiologis steril ke dalam tabung tersebut. Untuk melepaskan seluruh miselium isolat kapang digunakan jarum ose secara perlahan. Hal ini dilakukan untuk sejumlah tabung inokulum sesuai kebutuhan penelitian.
3. Suspensi biakan kapang tersebut dipindahkan ke dalam

- labu erlenmeyer, lalu diencerkan sampai volume 100 ml. Kemudian suspensi tersebut dihomogenkan dengan vortex.
4. Diambil 5 ml dari suspensi tersebut untuk diukur absorbansinya dengan menggunakan Spectonic 20. Hasil absorbansi yang diperoleh adalah OD = 0,4 pada panjang gelombang 600 nm.
 5. Dari suspensi biakan tersebut juga dilakukan pengukuran berat sel kering kapang. Diambil 10 ml suspensi biakan, dimasukkan ke dalam tabung sentrifuge, lalu disentrifugasi dengan kecepatan putar 3000 rpm selama 15 menit.
 6. Larutan yang jernih (supernatan) dibuang, lalu endapan (pelet) dalam tabung dikeluarkan kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 80 C selama 24 jam, lalu ditimbang dan dioven lagi pada temperatur yang sama selama 1 jam. Setelah itu ditimbang kembali hingga diperoleh berat yang konstan.
 7. Berat sel kering kapang yang diperoleh dari tahapan tersebut sebesar 0,0025 mg/ml.

4. Biodegradasi minyak oleh isolat kapang

Tiap isolat yang telah diidentifikasi lalu dilakukan uji potensi biodegradasi substrat minyak. Diinokulasikan suspensi starter isolat kapang sebanyak 10 ml ke dalam 100 ml media mineral broth dan ditambahkan 100 ppm substrat minyak. Kemudian diinkubasikan pada shaker incubator pada suhu kamar dengan 100 rpm selama 7 hari (Madgwick, 1986). Pekerjaan ini dilakukan untuk tiap jenis substrat minyak

(minyak tanah, minyak pelumas dan minyak solar). Setelah proses biodegradasi tersebut lalu dianalisis residu substrat minyak dengan menggunakan alat Oil Content Meter.

5. Pengukuran penurunan kadar minyak

Pengukuran penurunan kadar minyak menggunakan alat Oil Content Meter. Pertama-tama sampel diencerkan dengan larutan HCl pro analisis (p.a) (Merck) dengan perbandingan 1:1, lalu dihomogenisasi. Sebelum dilakukan pengukuran dengan alat Oil Content Meter, maka suspensi tersebut dilarutkan lagi dengan larutan CCL₄. Perbandingan suspensi sampel dengan larutan CCL₄ adalah 1:10. Setelah itu alat Oil Content Meter di-*Setting* seperti pada operasional alat spektrofotometer (spectronic 20). Kemudian suspensi sampel tersebut dituangkan ke dalam tabung khusus, lalu dimasukkan ke dalam alat Oil Content Meter dan akhirnya akan diperoleh hasil pengukuran kadar minyak.

8. Analisis Data

Untuk mengetahui perbedaan potensi biodegradasi minyak tiap isolat kapang, maka data yang diperoleh dilakukan analisis data dengan uji Anava klasifikasi dua arah dengan interaksi dan jika hasil analisis tersebut bermakna ($P < 0,05$) maka dilanjutkan dengan uji T.

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

1. Hasil Isolasi Kapang

Hasil isolasi kapang dan identifikasi isolat kapang dari lokasi pengambilan sampel dengan tiap jenis minyak dapat dilihat pada tabel 5.1. Dari hasil isolasi dan identifikasi tersebut ditemukan jenis *Fusarium* dan *Cephalosporium*, lebih dominan dari jenis-jenis lainnya.

Tabel 5.1. Hasil isolasi dan identifikasi kapang

Lokasi	! Pelumas	! M. Tanah	! Solar
Pelabuhan	! <i>Fusarium</i> ! <i>Cephalosporium</i> ! <i>Cladosporium</i>	! <i>Penicillium</i> ! <i>Cephalosporium</i> ! <i>Fusarium</i>	! <i>Fusarium</i> ! <i>Aspergillus</i> ! <i>Cephalosporium</i>
Muara Kali- mas	! <i>Cephalosporium</i> ! <i>Fusarium</i> ! <i>Aspergillus</i>	! <i>Cephalosporium</i> ! <i>Fusarium</i>	! <i>Fusarium</i> ! <i>Aspergillus</i>
Muara Kali Wonokromo	! <i>Aspergillus</i> ! <i>Fusarium</i> ! !	! <i>Aspergillus</i> ! <i>Fusarium</i> ! <i>Cladosporium</i> !	! <i>Aspergillus</i> ! <i>Fusarium</i> ! <i>Cephalosporium</i> ! <i>rium</i>

Adapun karakteristik isolat kapang tersebut :

Aspergillus

Koloni umumnya cepat tumbuh, berwarna putih, hijau, coklat sampai hitam. Koloni bertekstur granuler halus sampai kasar. Konidiofora biasanya tidak berseptat dan tidak bercabang, mempunyai ujung konidiofora yang membengkak disebut vesikel. Konidia di dalam suatu rantai membentuk kolom yang kompak

disebut kolumnar. Konidia bersel tunggal, halus, berpigmen atau hialin.

Cephalosporium

Koloni tumbuh cepat, bertekstur seperti tepung halus berwarna hijau, keabu-abuan sampai coklat. Konidia berbentuk oval sampai lonjong dan mudah bertebaran di udara. Konidiofora tunggal, tidak berseptat dan di ujung konidiofora terdapat konidia yang bergerombol.

Fusarium

Koloni umumnya cepat tumbuh berwarna putih sampai krem atau dapat berwarna kekuningan. Tekstur koloni terlihat seperti bulu atau kapas. Konidiofora dapat bercabang. Mempunyai makrokonidia dan mikrokonidia. Makrokonidia biasanya berseptat, berbentuk fusiform sampai bulan sabit. Mikrokonidia biasanya bersel tunggal, berukuran lebih kecil berbentuk bulat, ovoid sampai melengkung.

Penicillium

Koloni bertekstur seperti beludru halus, berwarna putih, abu-abu sampai hijau. Konidiofora dapat tunggal atau dalam kelompok. Konodiofora muncul dari hifa substrat atau hifa aerial. Konidia tersusun seperti sapu atau tersusun atas rantai panjang, berbentuk bulat, elip atau silindris, berwarna hialin atau kehijauan dan berdinding halus atau kasar. Konidiofora hialin dan berdinding halus atau kasar. Fialida biasanya berbentuk labu (flask).

Cladosporium

Koloni biasanya tumbuh lambat, berwarna coklat kehijauan sampai coklat kehitaman. Tekstur koloni seperti beludru atau

tepung halus. Konidiofora terlihat tegak atau melengkung, dapat bercabang hanya pada ujungnya atau tidak bercabang. Konidia berwarna pucat sampai coklat tua kehijauan, berdinding halus hingga berduri. Konidia membentuk rantai, konidia di bagian bawah biasanya lebih besar, sedangkan konidia di bagian atas bersel tunggal dan dapat berbentuk elips, fusiform, ovoid sampai bulat.

2. Kurva Pertumbuhan Kapang

Hasil pengukuran berat sel kering dan kerapatan optik (OD) dari isolat kapang tertera pada tabel 5.2; tabel 5.3 dan tabel 5.4. Sedangkan kurva pertumbuhan dari isolat kapang tertera pada gambar 5.1; gambar 5.2 dan gambar 5.3.

Tabel 5.2. Pengukuran berat sel kering dan kerapatan optik dari *Fusarium*

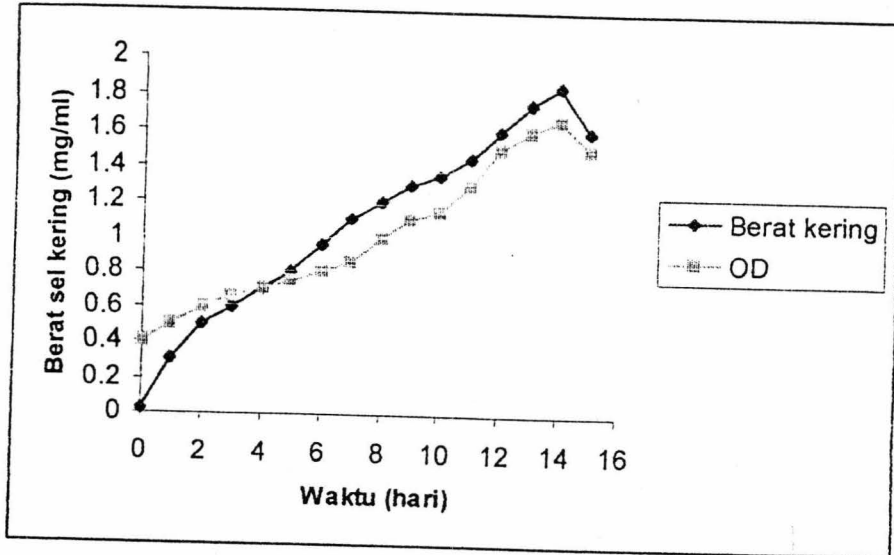
Waktu (Hari)	Kerapatan Optik (OD)	Berat Sel kering (mg/ml)
0	0,40	0,02
1	0,50	0,30
2	0,60	0,50
3	0,65	0,60
4	0,70	0,70
5	0,75	0,80
6	0,85	0,95
7	1,05	1,10
8	1,10	1,20
9	1,10	1,30
10	1,15	1,35
11	1,30	1,40
12	1,50	1,60
13	1,60	1,75
14	1,65	1,85
15	1,50	1,60

Tabel 5.3. Pengukuran berat sel kering dan kerapatan optik dari *Cephalosporium*

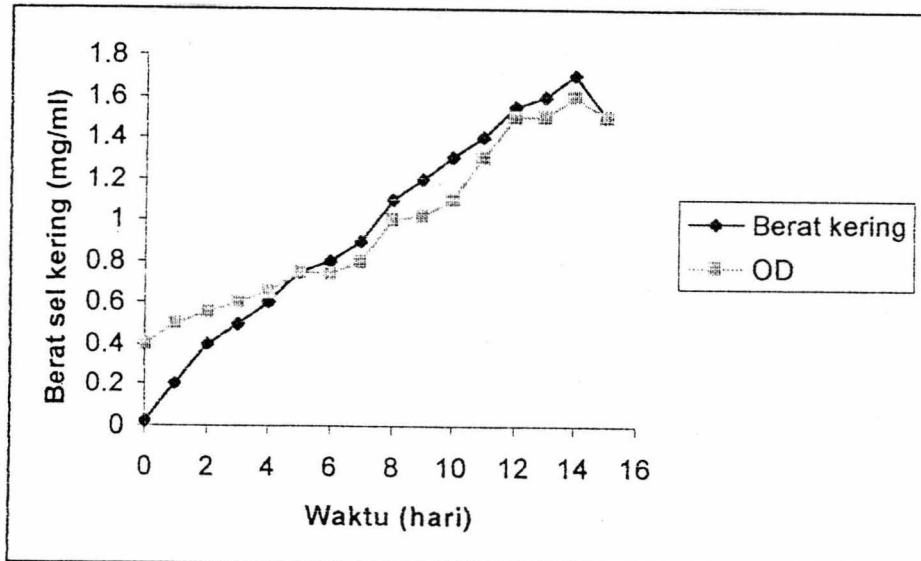
Waktu (Hari)	Kerapatan optik (OD)	Berat sel kering (mg/ml)
0	0,40	0,02
1	0,50	0,20
2	0,55	0,40
3	0,60	0,50
4	0,65	0,60
5	0,75	0,75
6	0,75	0,80
7	0,80	0,90
8	1,00	1,10
9	1,05	1,20
10	1,10	1,30
11	1,30	1,40
12	1,50	1,55
13	1,50	1,60
14	1,60	1,70
15	1,50	1,50

Tabel 5.4. Pengukuran berat sel kering dan kerapatan optik dari kombinasi isolat kapang

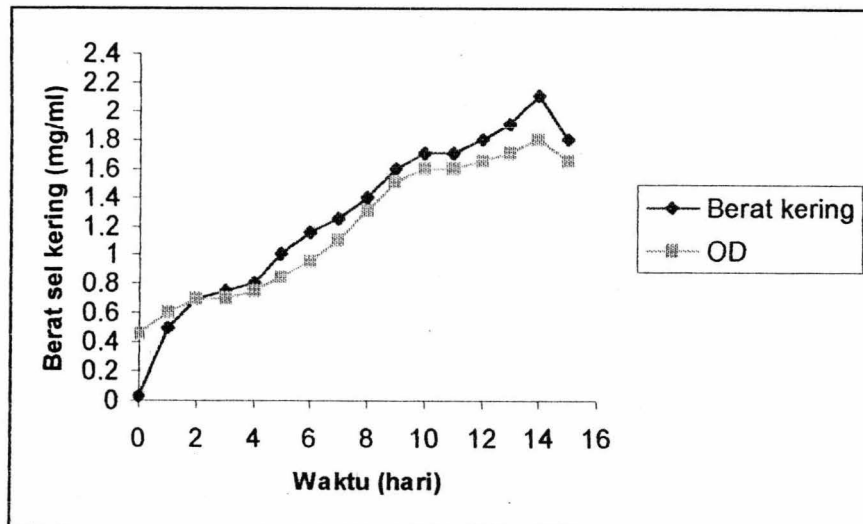
Waktu (Hari)	Kerapatan optik (OD)	Berat sel kering (mg/ml)
0	0,45	0,03
1	0,60	0,50
2	0,70	0,70
3	0,70	0,75
4	0,75	0,80
5	0,85	1,00
6	0,95	1,15
7	1,10	1,25
8	1,30	1,40
9	1,50	1,60
10	1,60	1,70
11	1,60	1,70
12	1,65	1,80
13	1,70	1,90
14	1,80	2,10
15	1,65	1,80



Gambar 5.1 Kurva pertumbuhan *Fusarium*



Gambar 5.2 Kurva pertumbuhan *Cephalosporium*



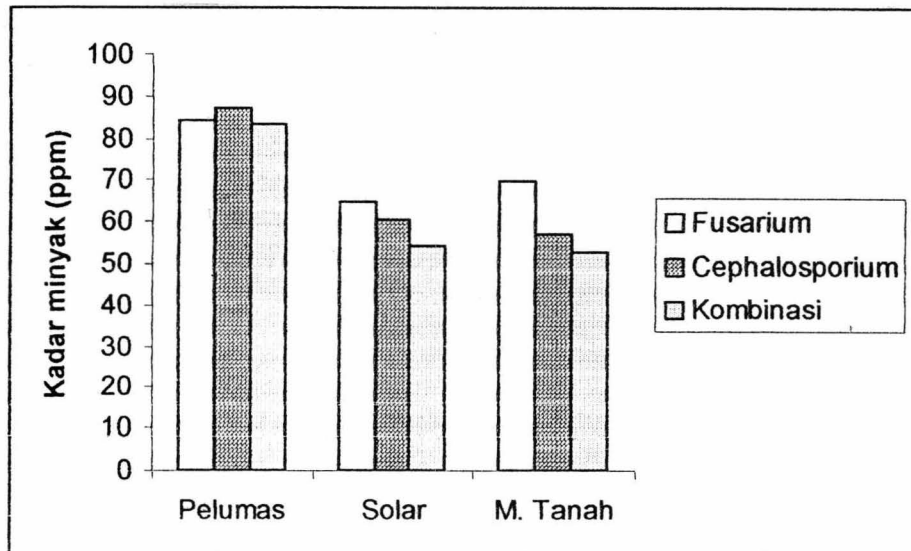
Gambar 5.3 Kurva pertumbuhan kombinasi isolat

3. Hasil Biodegradasi Minyak

Hasil rata-rata biodegradasi minyak oleh tiap isolat kapang (tabel 5.5) adalah sebagai berikut : *Fusarium* dapat menurunkan kadar pelumas 84 ppm, solar 65 ppm dan minyak tanah 69 ppm; *Cephalospoprium* mampu menurunkan kadar pelumas 86,8 ppm, solar 60,2 ppm dan minyak tanah 56,4 ppm; dan Kombinasi isolat kapang menurunkan pelumas 83,2 ppm, solar 54,2 ppm dan minyak tanah 52,8 ppm. Proses biodegradasi tersebut dilakukan pada masa inkubasi 14 hari. Secara ringkas data tersebut dapat dilihat pada gambar 5.4.

Tabel 5.5 Hasil biodegradasi minyak oleh kapang

Jenis biakan	Kadar minyak (ppm)		
	Pelumas	Solar	Minyak Tanah
<i>Fusarium</i>	85	63	69
	85	65	53
	75	66	73
	88	64	78
	87	67	72
rataan	84	65	69
<i>Cephalosporium</i>	86	62	61
	85	57	59
	87	51	51
	88	65	55
	88	66	56
rataan	86,8	60,2	56,4
Kombinasi isolat	82	50	49
	84	59	50
	82	53	52
	83	51	59
	85	58	54
rataan	83,2	54,2	52,8



Gambar 5.4 Hasil rata-rata biodegradasi minyak

Tabel 5.6 Persentase hasil biodegradasi minyak

Jenis biakan	Biodegradasi minyak (%)		
	! pelumas	solar	minyak tanah
<i>Fusarium</i>	! 15	37	31
	! 15	35	47
	! 25	34	27
	! 12	36	22
	! 13	33	28
rataan	----- 16	----- 35	----- 31
<i>Cephalosporium</i>	! 14	38	39
	! 15	43	41
	! 13	49	49
	! 12	35	45
	! 12	34	44
rataan	----- 13,2	----- 39,8	----- 43,6
Kombinasi isolat	! 18	50	51
	! 16	41	50
	! 18	47	48
	! 17	49	41
	! 15	42	46
rataan	----- 16,8	----- 45,8	----- 47,2

4. Analisis Data

Untuk mengetahui perbedaan hasil biodegradasi minyak oleh kapang, maka dilakukan uji Anava klasifikasi dua arah dengan interaksi. Di mana perlakuan tiap jenis isolat kapang berpengaruh terhadap hasil biodegradasi minyak ($P < 0,05$). Perlakuan jenis minyak yang berbeda juga berpengaruh terhadap hasil biodegradasi minyak ($P < 0,05$). Ada interaksi jenis isolat dan jenis minyak ($P < 0,05$). Tabulasi data tersebut tertera pada tabel 5.7.

Tabel 5.7. Uji Anava klasifikasi dua arah dengan interaksi.

Sumber	JK	db	RK	F	R	p
Antar A	644.577	2	322.289	13.859	0.079	0.000
Antar B	6,284.576	2	3,142.288	135.120	0,769	0.000
Inter AB	407.555	4	101.889	4.381	0.050	0.006
Dalam	837.197	36	23.255	--	--	--
Total	8,173.907	44	--	--	--	--

Hasil analisis varian klasifikasi dua arah dengan interaksi yang dilanjutkan dengan uji t pada perbedaan hasil biodegradasi ditunjukkan pada tabel 5.7, 5.8 dan 5.9.

Tabel 5.8 Rata-rata hasil biodegradasi dengan jenis isolat yang berbeda *Fusarium*, *Cephalosporium* dan Kombinasi

Jenis biakan	!	Rerata	Simpangan baku
<i>Fusarium</i> (A1)	!	72.667	10,293
<i>Cephalosporium</i> (A2)	!	67.800	14.551
Kombinasi (A3)	!	63.400	14.836

Hasil yang diperoleh dari uji t sebagai berikut :

1. A1-A2 : $t = 2.764$; $p = 0.009$
2. A1-A3 : $t = 5.262$; $p = 0.000$
3. A2-A3 : $t = 2.499$; $p = 0.016$

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa terdapat beda nyata

antar jenis isolat pada hasil biodegradasi ($p < 0.05$) dan jenis isolat kapang yang mempunyai potensi tertinggi adalah kombinasi isolat (A3) karena mampu menurunkan kadar minyak dari 100 ppm menjadi 63.400 ppm.

Tabel 5.9 Rata-rata hasil biodegradasi dengan jenis minyak yang berbeda (pelumas, solar dan minyak tanah)

Jenis minyak	!	Rerata	Simpangan baku
Pelumas (B1)	!	84.667	3.352
Solar (B2)	!	59.800	6.120
Minyak tanah (B3)	!	59.400	9.287

Hasil yang diperoleh dari uji t sebagai berikut :

1. B1-B2 : $t = 14.122$; $p = 0.000$
2. B1-B3 : $t = 14.349$; $p = 0.000$
3. B2-B3 : $t = 0.0227$; $p = 0.816$

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antara pelumas dengan solar; dan pelumas dengan minyak tanah ($p < 0.05$), akan tetapi tidak terdapat perbedaan nyata antar solar dengan minyak tanah ($p > 0.05$). Dari data tersebut menunjukkan bahwa minyak tanah merupakan jenis minyak yang paling mudah mengalami biodegradasi dari 100 ppm menjadi 59.400 ppm.

Tabel 5.10 Rata-rata hasil biodegradasi dengan kombinasi jenis isolat dan jenis minyak

Kombinasi	!	Rerata	Simpangan baku
A1B1	!	84.000	5.196
A1B2	!	65.000	1.581
A1B3	!	69.000	9.513
A2B1	!	86.000	1.304
A2B2	!	60.200	6.221
A2B3	!	56.400	3.847
A3B1	!	83.200	1.304
A3B2	!	54.200	4.087
A3B3	!	52.800	3.962

Hasil yang diperoleh dari uji t sebagai berikut :

A1B1 - A1B2 : $t = -6.230$; $p = 0.000$

A1B1 - A1B3 : $t = -4.918$; $p = 0.000$

A1B1 - A2B1 : $t = 0.918$; $p = 0.632$

A1B1 - A2B2 : $t = -7.803$; $p = 0.000$

A1B1 - A2B3 : $t = -9.049$; $p = 0.000$

A1B1 - A3B1 : $t = -0.262$; $p = 0.790$

A1B1 - A3B2 : $t = -9.771$; $p = 0.000$

A1B1 - A3B3 : $t = -10.000$; $p = 0.000$

A1B2 - A1B1 : $t = 6.230$; $p = 0.000$

A1B2 - A1B3 : $t = 1.311$; $p = 0.195$

A1B2 - A2B1 : $t = 7.148$; $p = 0.000$

A1B2 - A2B2 : $t = -1.574$; $p = 0.121$

A1B2 - A2B3 : $t = -2.820$; $p = 0.008$

A1B2 - A3B1 : $t = 5.967$; $p = 0.000$

A1B2 - A3B2 : $t = -3.541$; $p = 0.001$

$$A1B2 - A3B3 : t = -4.000; p = 0.001$$

$$A1B3 - A1B1 : t = 4.918; p = 0.000$$

$$A1B3 - A1B2 : t = -1.311; p = 0.195$$

$$A1B3 - A2B1 : t = 5.836; p = 0.000$$

$$A1B3 - A2B2 : t = -2.885; p = 0.007$$

$$A1B3 - A2B3 : t = -4.131; p = 0.000$$

$$A1B3 - A3B1 : t = 4.656; p = 0.000$$

$$A1B3 - A3B2 : t = -4.853; p = 0.000$$

$$A1B3 - A3B3 : t = -5.312; p = 0.000$$

$$A2B1 - A1B1 : t = -0.918; p = 0.632$$

$$A2B1 - A1B2 : t = -7.148; p = 0.000$$

$$A2B1 - A1B3 : t = -5.836; p = 0.000$$

$$A2B1 - A2B2 : t = -8.721; p = 0.000$$

$$A2B1 - A2B3 : t = -9.967; p = 0.000$$

$$A2B1 - A3B1 : t = -1.180; p = 0.244$$

$$A2B1 - A3B2 : t = -10.689; p = 0.000$$

$$A2B1 - A3B3 : t = -11.148; p = 0.000$$

$$A2B2 - A1B1 : t = 7.803; p = 0.000$$

$$A2B2 - A1B2 : t = 0.574; p = 0.121$$

$$A2B2 - A1B3 : t = 2.885; p = 0.007$$

$$A2B2 - A2B1 : t = 8.721; p = 0.000$$

$$A2B2 - A2B3 : t = -1.246; p = 0.219$$

$$A2B2 - A3B1 : t = 7.541; p = 0.000$$

$$A2B2 - A3B2 : t = -1.967; p = 0.054$$

$$A2B2 - A3B3 : t = -2.426; p = 0.019$$

A2B3 - A1B1 : t = 9.049; p = 0.000

A2B3 - A1B2 : t = 2.820; p = 0.008

A2B3 - A1B3 : t = 4.131; p = 0.000

A2B3 - A2B1 : t = 9.967; p = 0.000

A2B3 - A2B2 : t = 1.247; p = 0.219

A2B3 - A3B1 : t = 8.787; p = 0.000

A2B3 - A3B2 : t = -0.721; p = 0.518

A2B3 - A3B3 : t = -1.180; p = 0.244

A3B1 - A1B1 : t = 0.262; p = 0.790

A3B1 - A1B2 : t = -5.967; p = 0.000

A3B1 - A1B3 : t = -4.656; p = 0.000

A3B1 - A2B1 : t = 1.180; p = 0.244

A3B1 - A2B2 : t = -7.541; p = 0.000

A3B1 - A2B3 : t = -8.787; p = 0.000

A3B1 - A3B2 : t = -9.508; p = 0.000

A3B1 - A3B3 : t = -9.967; p = 0.000

A3B2 - A1B1 : t = 9.771; p = 0.000

A3B2 - A1B2 : t = 3.541; p = 0.001

A3B2 - A1B3 : t = 4.853; p = 0.000

A3B2 - A2B1 : t = 10.689; p = 0.000

A3B2 - A2B2 : t = 1.967; p = 0.054

A3B2 - A2B3 : t = 0.721; p = 0.518

A3B2 - A3B1 : t = 9.508; p = 0.000

A3B2 - A3B3 : t = -0.459; p = 0.653

A3B3 - A1B1 : t = 10.230; p = 0.000

A3B3 - A1B2 : t = 4.000; p = 0.001

A3B3 - A1B3 : t = 5.312; p = 0.000

A3B3 - A2B1 : t = 11.148; p = 0.000

A3B3 - A2B2 : t = 2.426; p = 0.019

A3B3 - A2B3 : t = 1.180; p = 0.244

A3B3 - A3B1 : t = 9.967; p = 0.000

A3B3 - A3B2 : t = 0.459; p = 0.653

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata pada kombinasi jenis isolat dengan jenis minyak ($p < 0.05$), kecuali pada kombinasi A1B1-A2B1; A1B2-A1B3; A1B3-A1B2; A2B1-A3B1; A2B1-A3B1; A1B1-A3B1; A1B2-A2B2; A2B1-A1B1; A2B2-A1B2; A2B2-A2B3; A2B3-A2B2; A2B3-A3B3; A3B1-A2B1; A2B2-A3B2; A2B3-A3B2; A3B1-A1B1; A3B2-A2B2; A3B2-A3B3; A3B3-A3B2; A3B2-A2B3; dan A3B3-A2B3 tidak menunjukkan perbedaan nyata ($p > 0.05$). Dari rata-rata hasil biodegradasi interaksi jenis minyak dan jenis isolat tertinggi adalah A3B3.

Berikut beberapa foto hasil penelitian :



Foto 5.1 Sampel air laut dari perairan pantai Surabaya

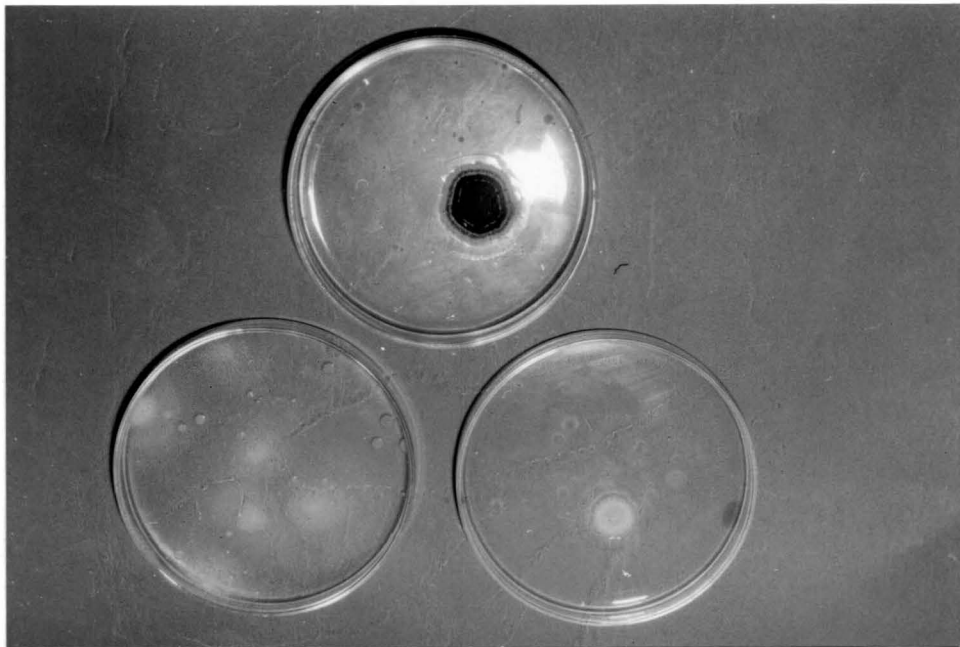


Foto 5.2 Koloni kapang hasil isolasi dengan pelumas

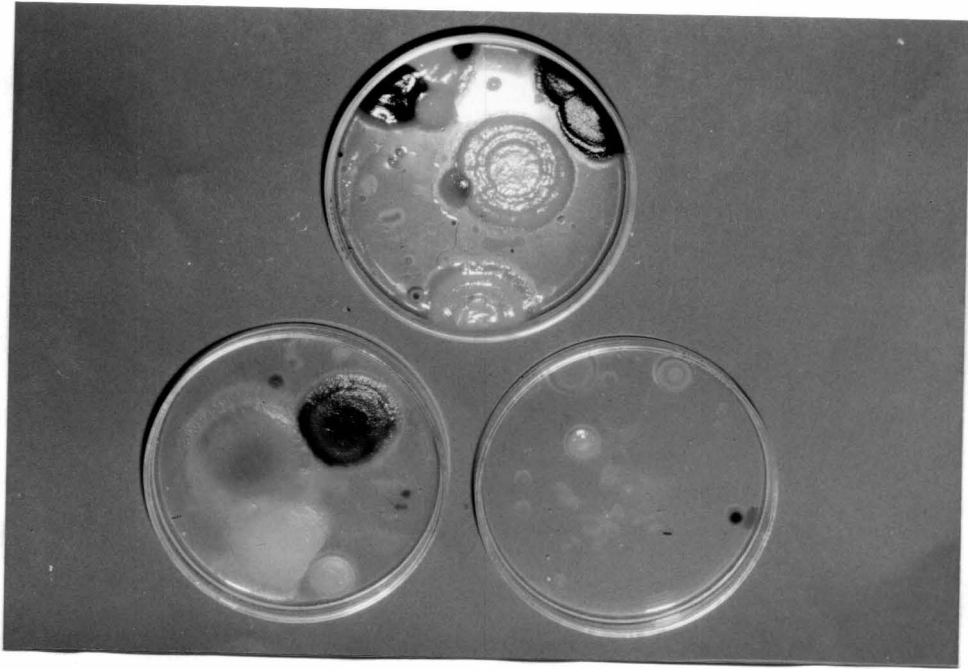


Foto 5.3 Koloni kapang hasil isolasi dengan m. tanah

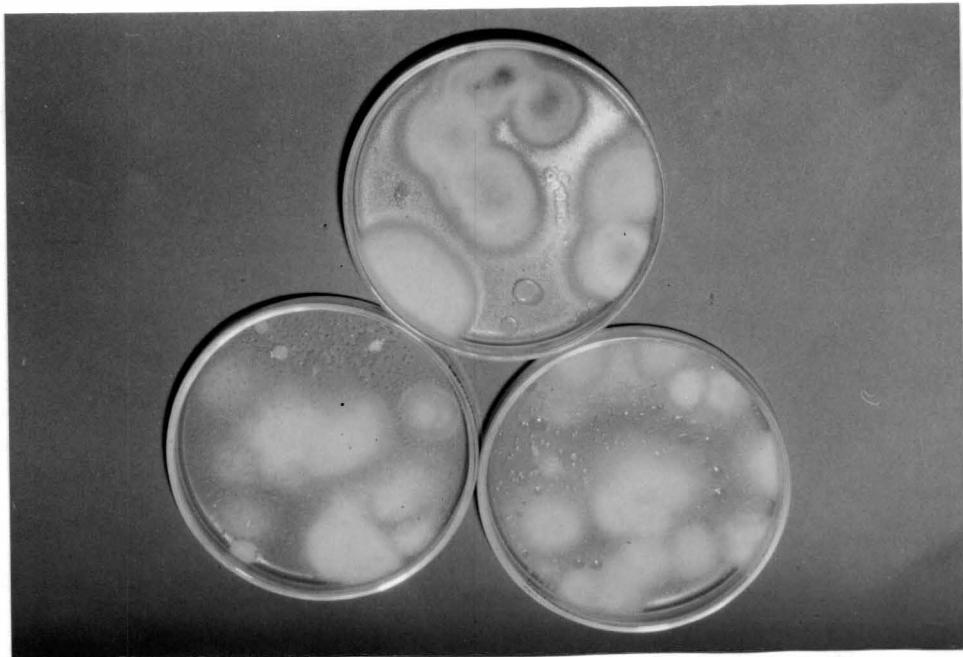


Foto 5.4 Koloni kapang hasil isolasi dengan solar



Foto 5.5 Kultur murni isolat kapang



Foto 5.6 Suspensi starter isolat kapang



Foto 5.7 Proses biodegradasi dengan shaker incubator

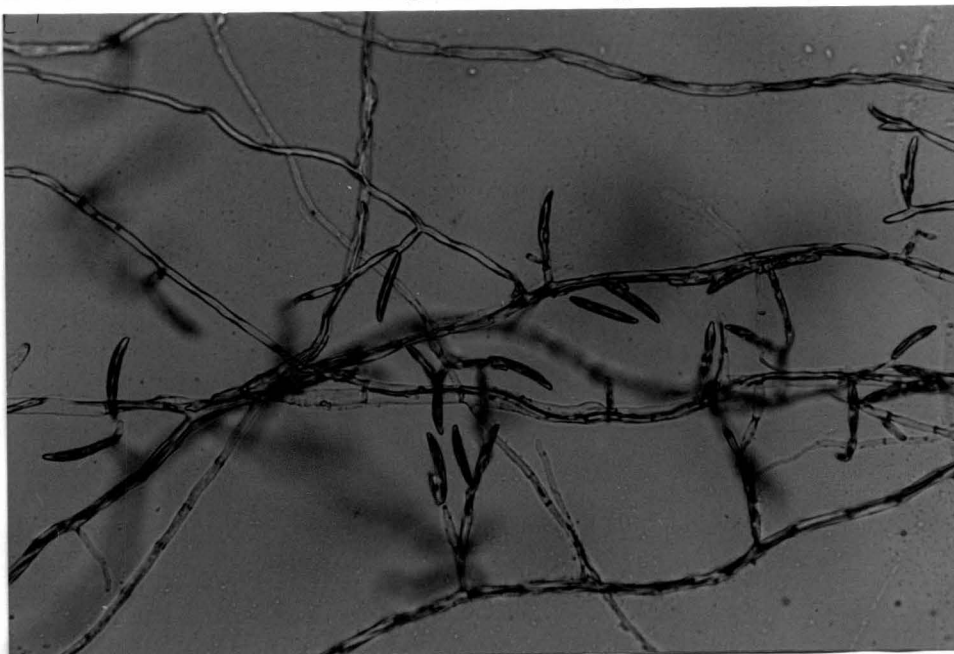


Foto 5.8 Mikroskopis *Fusarium*, perbesaran 200 X

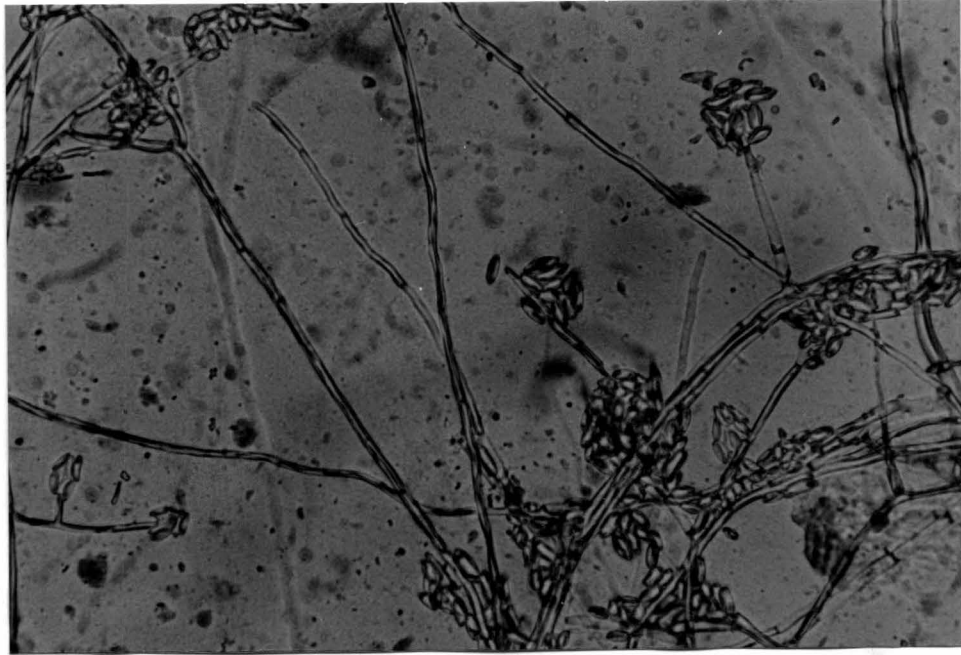


Foto 5.9 Mikroskopis *Cephalosporium*, perbesaran 200 X

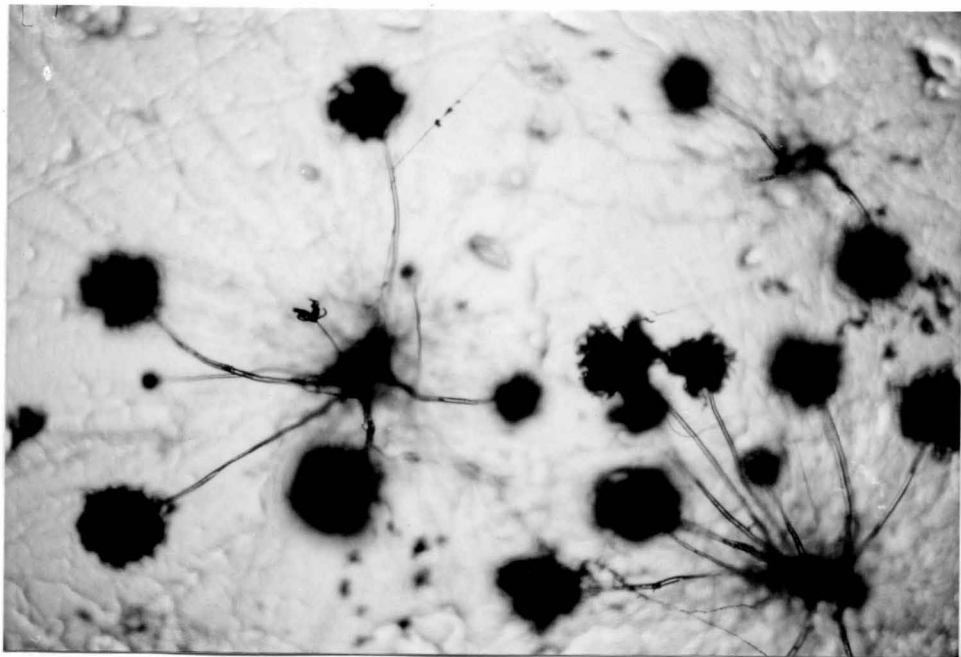


Foto 5.10 Mikroskopis *Aspergillus*, perbesaran 200 X



Foto 5.11 Mikroskopis *Cladosporium*, perbesaran 200 X

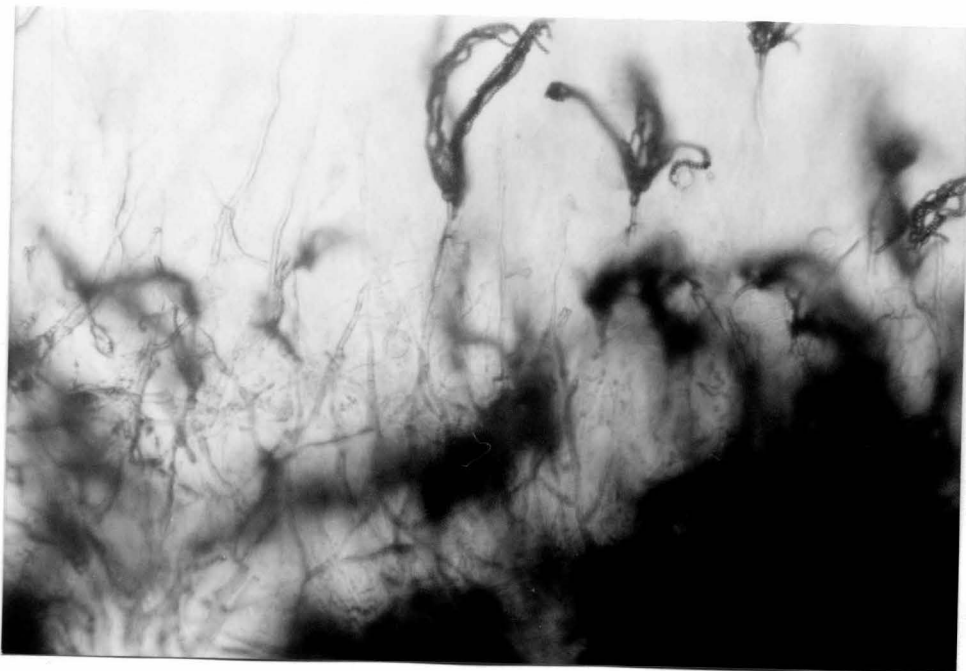


Foto 5.12 Mikroskopis *Penicillium*, perbesaran 200 X

BAB 6

PEMBAHASAN

Dari hasil isolasi dan identifikasi diperoleh 5 macam isolat, yaitu *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Cladosporium*, *Penicillium* dan *Aspergillus* (lebih rinci lihat tabel 5.1.). Isolat kapang yang diperoleh dari perairan pantai Surabaya termasuk jenis kapang yang dapat mendegradasi minyak. Seperti yang dikemukakan oleh Madgwick (1986) bahwa jenis kapang yang dapat mendegradasi bahan bakar minyak, antara lain *Cladosporium resinae*, *Mucor*, *Penicillium*, *Cephalosporium*, *Aspergillus* dan *Achromonium*. Dijelaskan pula oleh Watkinson and Morgan (1990) bahwa golongan fungi filamentus yang mampu mendegradasi alifatik hidrokarbon adalah *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Corollospora*, *Dendryphiella*, *Gliocladium*, *Lulworthia*, *Penicillium*, *Varicospora* dan *Fusarium*. Dari ulasan tersebut, maka keenam macam isolat kapang yang diperoleh dari perairan pantai Surabaya tergolong kapang pendegradasi minyak.

Dari kelima macam isolat kapang yang terkoleksi, maka pada penelitian ini tidak semua isolat kapang tersebut dipakai untuk proses biodegradasi minyak, melainkan hanya 2 macam isolat kapang yaitu genus *Fusarium* dan *Cephalosporium*. Kedua macam isolat kapang tersebut dipakai dalam proses biodegradasi minyak karena menunjukkan pola pertumbuhan yang dominan pada tahap isolasi.

Perlakuan kombinasi isolat kapang (*Fusarium* dan

Cephalosporium) dalam media biodegradasi minyak diharapkan mampu menurunkan kadar minyak yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan isolat tunggal dan diharapkan adanya suatu sinergisme antara kedua macam isolat tersebut. Dasar dari pengkombinasian isolat kapang bahwa kehidupan mikroorganisme pada habitat alami selalu hidup secara bersama dari berbagai jenis mikroba (Dwidjoseputro, 1990).

Dari pengamatan pola atau kurva pertumbuhan mulai hari ke 0 hingga hari ke 15 menunjukkan adanya kenaikan berat sel kering maupun kerapatan optik (OD) (lihat tabel 5.2; tabel 5.3 dan tabel 5.4). Kenaikan tersebut menunjukkan adanya suatu peningkatan jumlah populasi isolat kapang di dalam media biodegradasi. Hal ini berarti bahwa isolat kapang (*Fusarium*, *Cephalosporium* maupun kombinasi keduanya) menggunakan substrat minyak untuk pertumbuhannya. Pernyataan ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Madgwick (1986) bahwa fraksi hidrokarbon C9 - C16 berperan sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan fungi dan beberapa jenis nutrisi lainnya yang terdapat dalam minyak seperti sulfur, CO₂, O₂, nitrogen dan fosfor sebagai nutrisi pelengkap.

Produk minyak bumi tersusun dari senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon tersebut merupakan konstituen terbesar di dalam minyak bumi dan konsentrasinya dapat bervariasi antara 50 - 95 % serta sisanya merupakan senyawa non hidrokarbon seperti belerang, senyawa nitrogen, senyawa oksigen dan senyawa metal organik (Fessenden dan Fessenden, 1997). Senyawa Hidrokarbon minyak bumi dapat digolongkan, antara lain alkana, sikloalkana dan aromatik. Akan tetapi

produk minyak bumi yang dihasilkan melalui proses perengkahan biasanya dapat dijumpai golongan kelas hidrokarbon tidak jenuh (alkena atau alkuna) yang disebut dengan olefina (Mulyono, 1991; Fessenden dan Fessenden, 1997).

Kurva pertumbuhan isolat kapang *Fusarium*, *Cephalosporium* dan kombinasinya menunjukkan awal fase log terjadi pada hari ke 0 dan berakhir pada hari ke 14, sedangkan pada hari ke 15 telah menunjukkan fase stasioner (lihat gambar 5.1; gambar 5.2 dan gambar 5.3). Berdasarkan kurve pertumbuhan tersebut maka proses biodegradasi minyak pada penelitian ini dihentikan pada hari ke 14. Hal ini disebabkan karena pada fase stasioner tidak lagi menunjukkan adanya peningkatan jumlah populasi kapang. Dengan demikian bahwa substrat minyak yang terdapat di dalam media biodegradasi tidak dapat digunakan sebagai sumber karbon atau energi untuk peningkat-an jumlah populasi kapang.

Proses biodegradasi minyak juga terkait dengan suatu ensimatis dan produk ensim yang optimal berada pada akhir fase log. Menurut Crueger dan Crueger (1986) bahwa produk ensim merupakan salah satu produk metabolit primer dan semua produk metabolit primer berada pada fase log. Dijelaskan pula bahwa produk ensim yang optimal berada pada akhir fase log. Ditambahkan pula oleh Moat (1976) bahwa pertumbuhan sel dengan meningkatnya biomassa sel terjadi pada fase log dan pertumbuhan sel tersebut sangat terkait dengan proses metabolisme maupun ensimatis.

Dengan meningkatnya biomassa kapang (*Fusarium*,

Cephalosporium dan kombinasinya) pada ke 3 jenis minyak (pelumas, solar dan minyak tanah) menunjukkan bahwa isolat kapang tersebut dapat tumbuh dan mampu menggunakan ke 3 jenis minyak untuk pertumbuhannya. hal ini disebabkan karena kemungkinan pada ke 3 jenis minyak tersebut terdapat suatu gugus senyawa yang sama sehingga dapat digunakan sebagai sumber karbon/energi. Gugus senyawa hidrokarbon yang biasanya dapat didegradasi oleh kapang adalah gugus alifatik hidrokarbon (Watkinson and Morgan, 1990).

Dari hasil biodegradasi minyak oleh isolat kapang menunjukkan suatu penurunan kadar minyak. Kadar minyak awal proses biodegradasi masing-masing jenis minyak adalah 100 ppm dan pada akhir proses biodegradasi mengalami penurunan kadar minyak : *Fusarium*, pelumas 84 ppm, solar 65 ppm dan minyak tanah 69 ppm; *Cephalosporium*, pelumas 86,8 ppm, solar 60,2 ppm dan minyak tanah 56,4 ppm dan kombinasi isolat, pelumas 83,2 ppm, solar 54,2 ppm dan minyak tanah 52,8 ppm. Hal tersebut menunjukkan bahwa isolat kapang dapat memetabolisme senyawa hidrokarbon minyak. Hal ini sesuai dengan pendapat Connell dan Miller (1995) bahwa mikroorganisme seperti jamur dapat memetabolisme hidrokarbon dari bahan bakar minyak serta fraksi-fraksinya baik secara utuh maupun sebagian. Dijelaskan pula oleh Pandia dkk. (1995) bahwa minyak akan mengalami degradasi melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme dan senyawa hidrokarbon minyak akan digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan karbon serta daya penguraian senyawa hidrokarbon bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme.

Penurunan kadar minyak pada media biodegradasi menunjukkan bahwa isolat kapang mampu memetabolisme substrat minyak. Menurut Bartha (1976) dalam Mulyono (1991) bahwa mekanisme biodegradasi minyak sangat tergantung dari komposisi senyawa hidrokarbon yang dikandungnya. Pada umumnya hidrokarbon jenuh rantai lurus paling mudah terdegradasi diikuti oleh isoalkana, sikloalkana dan aromatik. Dijelaskan pula oleh Connell dan Miller (1995) bahwa n-alkana dioksidasi paling mudah dan lainnya menurun dengan naiknya percabangan. Namun tampak bahwa laju degradasi berbagai fraksi sikloalkana dan PAH dapat amat lambat dengan resultan pembentukan fraksi yang relatif persisten dan sukar diubah.

Dijelaskan pula oleh Pandia dkk. (1995) bahwa oksidasi alkana secara mikrobiologis akan melibatkan perubahan bentuk rantai CH_3 menjadi CO_2H (asam karbonat). Setelah pembentukan asam karboksilat, alkana akan mengalami oksidasi lebih lanjut yang disebut beta oksidasi. Menurut Sudarmadji (1989) bahwa kemampuan memecah alkana pada atom C dekat ujung (subterminal) telah diamati pada berbagai mikroorganisme khususnya jamur. Di mana alkana rantai panjang yang dihasilkan dari oksidasi alkana, pada akhirnya mengalami oksidasi menjadi asam lemak yang sesuai dengan alkohol pembentukannya melalui aldehyd. Reaksi ini dikatalis oleh enzim dehidrogenase. Alkohol rantai panjang kerjanya tergantung dari NAD dan enzim aldehyd dehidrogenase. Kerja enzim dipacu oleh alkana, alkohol rantai panjang dan

aldehid. Kedua dehidrogenase tersebut terletak di dalam sel dan tampaknya berbeda-beda tergantung dari jenis mikroorganisme, misalnya ada yang terdapat pada mitokondria, sitosol atau terikat pada membran.

Lebih lanjut dijelaskan oleh Sudarmadji (1989) bahwa asam lemak yang terbentuk dari oksidasi alkana akan dipecah melalui beberapa jalur. Jalur utama yang umum dilalui adalah beta oksidasi dan alpha oksidasi. Ditambahkan oleh Madgwick (1986), Watkinson and Morgan (1990) bahwa dekomposisi hidrokarbon melalui mekanisme yang analog dengan oksidasi asam lemak, yaitu melalui oksidasi terminal dan oksidasi sub terminal. Pada oksidasi terminal kemudian dilanjutkan dengan omega oksidasi dan berakhir dengan beta oksidasi, sedangkan oksidasi sub terminal langsung dengan reaksi beta oksidasi. Dijelaskan pula oleh Connell dan Miller (1995) dalam senyawa alkana terdegradasi melalui oksidasi pada salah satu gugus metil terminal menjadi asam karboksilat dan kemudian degradasi bertahap, perlahan-lahan dengan konversi tuntas menjadi karbon dioksida dan air.

Dari hasil analisis data menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara jenis minyak dan juga ada beda antar jenis biakan (isolat). Adanya beda nyata pada perlakuan jenis minyak disebabkan karena antar jenis minyak kemungkinan mempunyai komposisi penyusun hidrokarbon yang berbeda. Seperti yang dikemukakan oleh Mulyono (1991) bahwa proses biodegradasi tergantung dari komposisi senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam jenis minyak. Dijelaskan oleh Sutarti dkk. (1998) bahwa minyak pelumas merupakan campuran

dari berbagai jenis hidrokarbon dan bahan kimia dengan komposisi yang sangat bervariasi. Komponen utama minyak pelumas terdiri atas bahan dasar pelumas dan bahan tambahan (aditif). Bahan dasar pelumas terdiri atas campuran beberapa hidrokarbon yang mempunyai jumlah atom antara 25 - 35, bahkan sampai 40 atom setiap olekul. Jenis hidrokarbon yang biasa terdapat di dalam minyak pelumas adalah normal parafin, isoparafin, sikloparafin, aromatik dan campuran alifatik-aromatik.

Menurut Nasution dan Jasjfi (1998), umumnya komponen solar terdiri atas hidrokarbon distilasi langsung dari minyak bumi. Senyawa hidrokarbon tersebut meliputi hidrokarbon jenuh, hidrokarbon tidak jenuh (aromatik dan olefina) serta senyawa nonhidrokarbon (sulfur, nitrogen dan oksigen). Komponen minyak tanah mempunyai jumlah karbon 11 - 12 dan mempunyai titik didih 205 - 260 C (Fessenden dan Fesseden, 1997; Sutarti dkk., 1998). Dari ulasan tersebut menunjukkan bahwa komposisi atau komponen penyusun ke 3 jenis minyak adalah berbeda. Dengan demikian hasil proses biodegradasi dari ke 3 jenis minyak oleh isolat kapang dapat menunjukkan hasil yang berbeda.

Adanya beda pada perlakuan jenis isolat (*Fusarium*, *Cephalosporium* dan kombinasi) disebabkan karena tiap isolat kapang mempunyai kemampuan dan lintasan reaksi yang berbeda. Hal tersebut sesuai dengan yang diungkapkan oleh Pandia dkk. (1995) bahwa daya pendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bervariasi tergantung pada jenis mikroorganismenya. Dijelaskan pula oleh Ratledge (1990) bahwa kebanyakan mikroorganismenya

mempunyai lintasan reaksi metabolisme hidrokarbon minyak melalui oksidasi terminal, akan tetapi hanya mikroorganisme tertentu seperti *Aspergillus*, *Fusarium* dan *Bacillus* mempunyai jalur lintasan reaksi melalui oksidasi subterminal. Dengan demikian bahwa tiap mikroorganisme mempunyai kemampuan dan jalur lintasan reaksi yang berbeda dalam mendegradasi minyak sehingga akan menunjukkan hasil biodegradasi yang berbeda pula.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Selaras dengan tujuan, hipotesis serta hasil penelitian yang telah dilakukan, maka pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kombinasi isolat mempunyai potensi tertinggi dalam biodegradasi minyak dibanding jenis isolat lainnya ($p < 0,05$) dan mampu menurunkan kadar minyak menjadi 63,400 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 36,6 %.
2. Jenis minyak yang paling mudah mengalami biodegradasi adalah minyak tanah dengan penurunan kadar minyak menjadi 59,900 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 40,6 %.
3. Terdapat interaksi jenis minyak dan jenis isolat dalam proses biodegradasi ($P < 0,05$). Interaksi tertinggi adalah minyak tanah dan kombinasi isolat dengan hasil biodegradasi sebesar 52,800 ppm atau dengan persentase biodegradasi minyak 47,2 %.

7.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, maka peneliti menyarankan bahwa dalam melakukan biodegradasi minyak sebaiknya tidak menggunakan isolat kapang tunggal, melainkan menggunakan isolat gabungan (kombinasi isolat).

DAFTAR PUSTAKA

- Barclay, C.D. G.F Farquhar and R.L. Legge. 1995. Biodegradation Polynuclear Aromatic Hydrocarbons By *Phanerochaete chrysosporium*. J. Applied Microbiol Biotechnol 42 : 958-963.
- Brock, T.D, M.M.T. Madigan, J.M. Martinko and J. Parker. 1994. Biology of Microorganisms 7th ed. Prentice-Hall International, Inc. Baltimore. pp : 666-669.
- Cerniglia, C.E, and S.A. Crow. 1981. Metabolism of Aromatic Hydrocarbons By Yeasts. J. Archives of Microbiology 129 : 9 - 13.
- Connell, D.W and G.J. Miller. 1995. Chemistry And Ecotoxicology of Pollution. Wiley-Interscience Publication. Baltimore. pp : 272-293.
- Crueger, W and A. Crueger. 1985. Biotechnology : a Textbook of Industrial Microbiology. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, MA. 01375. pp : 161-181.
- Darwis, A.A dan T.C. Sunarti. 1992. Pertunjuk Laboratorium Teknologi Mikrobial. PAU Bioteknologi Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hlm : 40-57.
- Dwidjiseputro, D. 1990. Dasar-dasar Mikrobiologi. Penerbit Djambatan. Jakarta.
- Fessenden, R.J and J.S. Fessenden. 1997. Organic Chemistry 3th ed. Wadsworth, inc. Belmont, California 94002. pp : 86-107; 451-521.
- Field, J.A, F. Boelsma, H. Baten and W.H. Rulkens. 1995.

- Oxidation of Anthracene In Water/Solvent Mixtures By The White-rot Fungus, *Bjerkandera sp.* Strain BOS55. J. Appl. Microbiol Biotechnol 44 :234-240.
- Frazier, W.C. 1986. Food Microbiology. Mc.Graw-Hill Book Company. New York. pp : 2-24.
- Greenberg, A.E., L.S. Clesceri and A.D.E. Aton. 1992. Standard Methods 18 Ed. For The Examination of Water And Waste Water. American Water Works Association Water Environmental Federation. USA.
- Gupta, J.S. 1981. Textbook of Fungi. Oxford And IBH Publishing Co. New Delhi. pp : 232-248.
- Guthrie, F.E and J.J. Perry. 1980. Introduction To Environmental Toxicology. Elsevier North Holland, Inc. New York. pp : 198-209; 329-340.
- Haeruman, J.Js. 1984. Debar Alam Sekitar. Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Jakarta. Hlm : 1-25.
- Hein, M,L.M. Best, S.Pattison and S.Arena. 1993. Introduction To Organic and Biochemistry. Brooks/Cole Publishing Company Pacific Grove. California. pp : 21-79.
- Kiyohara, H.K, Nagao and K. Yana. 1982. rapid Screen For Bacteria Degrading Water-insoluble, Solid Hydrocarbon on Agar Plates. J. Applied and Environmental Microbiology 43 : 454-357.
- Kohlmeyer, J and E. Kohlmeyer. 1979. Marine Mycology. Academic Press. New York. pp : 7-21.
- Lemaire, p, J.Berhaut, S.l. Govy and M. Lafaurie. 1992.

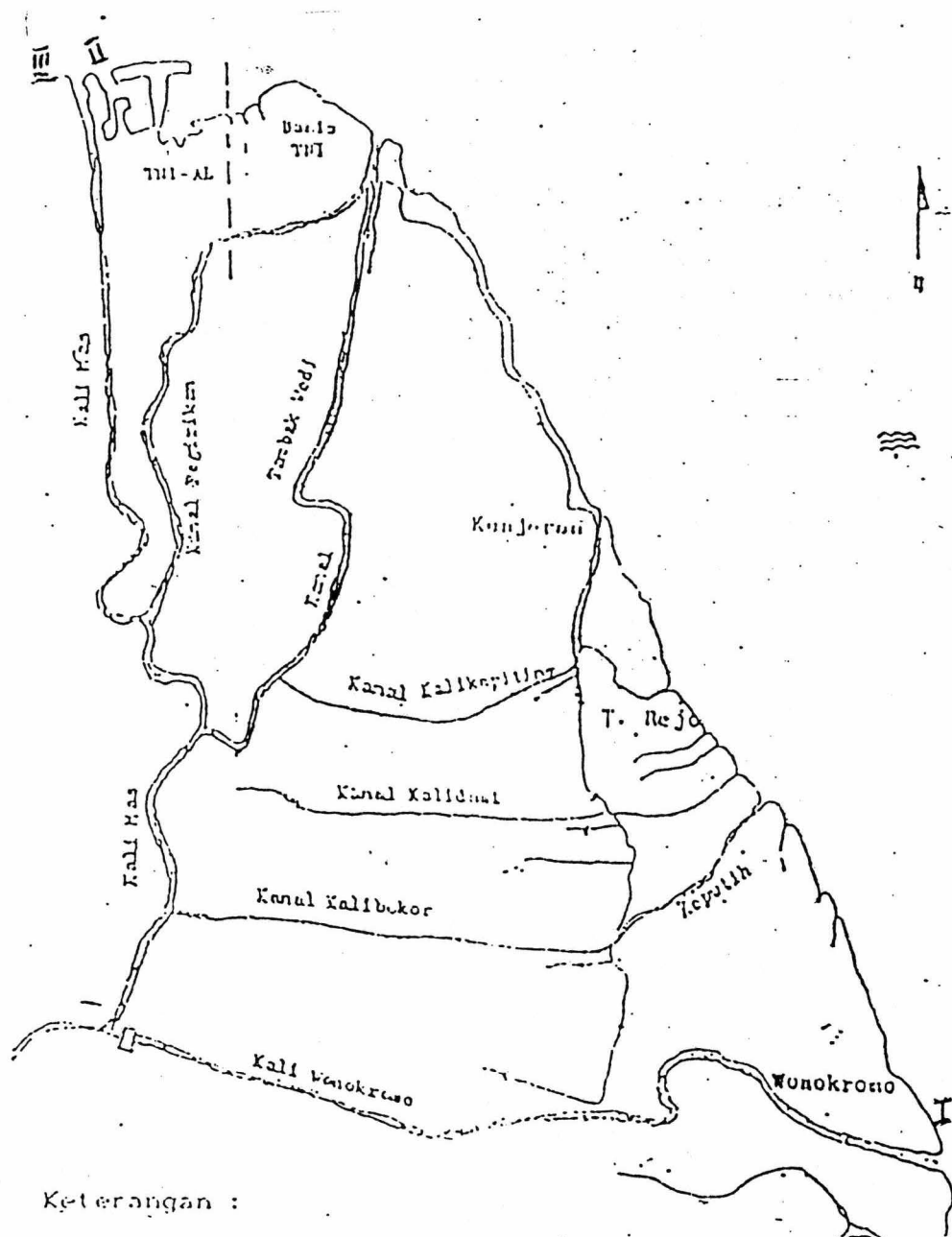
- Ultrastructural Changes Induce By Benzo(a)pyrene In Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Liver and Intestine: Importance of The Intoxication Route. J. Environmental Research 57 : 59-72.
- Madgwick, J. 1986. Aspects of The Microbiological Decomposition of Materials. University of New South Wales, school of Biotechnology. pp : 83-97.
- Mehlman, M.A. 1992. Dangerous and Cancer-Causing Properties of Products and Chemicals In The Oil Refining And Petrochemical Industry. J. Environmental research 59: 238-249.
- Moat, A.G. 1976. Microbial Physiology. John Willey And Sons. New York.
- Morgan, P and R.J. Watkinson. 1994. Biodegradation of Components of Petroleum. Kluwer academic Publishers. Dordrecht, Boston, London. pp : 1-23.
- Mulyono, M. 1991. Hidrokarbon Di dalam Lingkungan Perairan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi. Lemigas. Jakarta. Hlm : 1-33.
- Nasution, A.S dan E. Jasjti. 1998. Pembuatan Komponen Solar Di Kilang ASEAN. Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 31 No. 3. Hal. 12-19.
- Nazir, M. 1988. Metode Penelitian Edisi ketiga. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Pandia, S, A.Husin dan Z. Masyithah. 1995. Kimia Lingkungan. Ditjen Pendidikan Tinggi Depdikbud. Jakarta. Hlm : 20-126.
- Pitt, J.I and A.D Hocking. 1985. Fungi and Food Spoilage.

- Academic Press. Sydney. pp : 23-331.
- Ratledge, C. 1990. Physiology of Biodegradative Microorganisms Kluwer Academic Publisher. London.
- . 1994. Biochemistry of Microbial Degradation. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London.
- Rivai, H. 1995. Asas pemeriksaan Kimia . UI-Press. Jakarta. Hlm : 295-317.
- Ruyitno, 1991. Pengantar Praktikum Bakteri Pencemar Di Suatu Perairan. Puslitbang Oseanologi LIPI. Jakarta. Hlm : 1-25.
- Soewardiati. 1989. Pengetahuan Lingkungan. Depdikbud IKIP Negeri. Surabaya. Hlm : 132-220.
- Sudarmadji, S. 1989. Biosintesis Dan Degradasi Lipida. PAU Bioteknologi UGM. Yogyakarta. Hlm : 1-81.
- Sudjana. 1992. Metode Statistika. Tarsito. Bandung.
- Sutarti, M., R.N. Rahayu dan Rahartri. 1998. Pemurnian Kembali Minyak Pelumas Bekas. Pusat Dokumentasi Dan informasi Ilmiah LIPI. Jakarta. Halaman 2-21.
- Thayib, S. 1991. Mikrobiologi Laut. Puslitbang Oseanologi LIPI. Jakarta. Hlm : 1-18.
- Wardhana, W.A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Penerbit Andi offset. Yogyakarta. Hlm : 50-83.
- Watkinson, R.j and P. Morgan. 1990. Physiology of Alifatic Hydrocarbon-Degrading Microorganisms. J. Biodegradation I : 79-92.
- Webster, R., M.Pacey, T. Winchester, P. Johnson and S. Jezequel. 1998. Microbial Oxidative Metabolism of Diclofenac: Production of 4'-hydroxydiclofenac Using

Epiccocum nigrum IMI354292. J. App.Microbiol Biotechnol.
49 : 371-376.

Wiesche, C, R.Martens and F. Zadrazil. 1996. Two-step
Degradtion of Pyrene By White-rot Fungi And Soil
Microorganisms. J. Appl. microbiol Biotechnol. 46 : 653-
659.

Lokasi pengambilan sampel air



Keterangan :

- (1), perairan pantai timur (muara kali Wonokromo)
- (2). muara sungai kalimas
- (3). perairan pelabuhan Tanjung Perak

Cetakan Ke - 1 / 1

Paket : SPS (Seri Program Statistik)
Modul : Anava 6 (Pilihan)
Program : Analisis Variansi 2-Jalur (Anava AB)
Edisi : Sutrisno Hadi dan Seno Pamardiyanto
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Versi IBM/IN, Hak Cipta (c) 1993 Dilindungi UU

Nama Pemilik : Nugrohowati
Nama Lembaga : Program S3 Pasca Sarjana - UNAIR
A l a m a t : Surabaya
=====

Nama Peneliti : AGUS SUPRIYANTO
Nama Lembaga : PROGRAM PASCASARJANA
Tgl. Analisis : 06 - 02 - 2001
Nama Berkas : 16

Nama Jalur Klasifikasi A : JENIS BIAKAN
Nama Klasifikasi A 1 : FUSARIUM
Nama Klasifikasi A 2 : CEPHALOSPORIUM
Nama Klasifikasi A 3 : KOMBINASI ISOLAT

Nama Jalur Klasifikasi B : MINYAK
Nama Klasifikasi B 1 : PELUMAS
Nama Klasifikasi B 2 : SOLAR
Nama Klasifikasi B 3 : MINYAK TANAH

Nama Ubahan Taut X : BIODEGRADASI

Jalur Klasifikasi A = Rekaman Nomor : 1
Jalur Klasifikasi B = Rekaman Nomor : 2

Ubahan Taut X = Rekaman Nomor : 3

Cacah Kasus Semula : 45
Cacah Data Hilang : 0
Cacah Kasus Jalan : 45

** TABEL DATA : 16 (sambungan)

Kasus	A	B	X	Kasus	A	B	X
1	1	1	85	41	3	3	49
2	1	1	85	42	3	3	50
3	1	1	75	43	3	3	52
4	1	1	88	44	3	3	59
5	1	1	87	45	3	3	54
6	1	2	63				
7	1	2	65				
8	1	2	66				
9	1	2	64				
10	1	2	67				
11	1	3	69				
12	1	3	53				
13	1	3	73				
14	1	3	78				
15	1	3	72				
16	2	1	86				
17	2	1	85				
18	2	1	87				
19	2	1	88				
20	2	1	88				
21	2	2	62				
22	2	2	57				
23	2	2	51				
24	2	2	65				
25	2	2	66				
26	2	3	61				
27	2	3	59				
28	2	3	51				
29	2	3	55				
30	2	3	56				
31	3	1	82				
32	3	1	84				
33	3	1	82				
34	3	1	83				
35	3	1	85				
36	3	2	50				
37	3	2	59				
38	3	2	53				
39	3	2	51				
40	3	2	58				

(bersambung)

Cetakan Ke - 1 / 1

** TABEL STATISTIK INDUK

Sumber	n	ΣX	ΣX^2	Rerata	SB
A1	15	1090	80690	72.667	10.293
A2	15	1017	71917	67.800	14.551
A3	15	951	63375	63.400	14.836
B1	15	1270	107684	84.667	3.352
B2	15	897	54165	59.800	6.120
B3	15	891	54133	59.400	9.287
A1B1	5	420	35388	84.000	5.196
A1B2	5	325	21135	65.000	1.581
A1B3	5	345	24167	69.000	9.513
A2B1	5	434	37678	86.800	1.304
A2B2	5	301	18275	60.200	6.221
A2B3	5	282	15964	56.400	3.847
A3B1	5	416	34618	83.200	1.304
A3B2	5	271	14755	54.200	4.087
A3B3	5	264	14002	52.800	3.962
Total	45	3058	215982	67.956	13.630

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

Cetakan Ke - 1 / 1

** TABEL RANGKUMAN ANALISIS VARIANSI 2-JALUR

Sumber	JK	db	RK	F	R ²	p
Antar A	644.577	2	322.289	13.859	0.079	0.000
Antar B	6,284.576	2	3,142.288	135.120	0.769	0.000
Inter AB	407.555	4	101.889	4.381	0.050	0.006
Dalam	837.197	36	23.255	--	--	--
Total	8,173.907	44	--	--	--	--

Cetakan Ke - 1 / 1

** UJI-t ANTAR A

=====

Sumber	X
A1-A2	2.764
p	0.009
A1-A3	5.262
p	0.000
A2-A3	2.499
p	0.016

=====

p = dua-ekor.

** UJI-t ANTAR B

=====

Sumber	X
B1-B2	14.122
p	0.000
B1-B3	14.349
p	0.000
B2-B3	0.227
p	0.816

=====

p = dua-ekor.

** MATRIKS UJI-t INTER AB

A,B	1,1	1,2	1,3	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3
1,1	0.000	6.230	4.918	-0.918	7.803	9.049	0.262	9.771	10.230
p	1.000	0.000	0.000	0.632	0.000	0.000	0.790	0.000	0.000
1,2	-6.230	0.000	-1.311	-7.148	1.574	2.820	-5.967	3.541	4.000
p	0.000	1.000	0.195	0.000	0.121	0.008	0.000	0.001	0.001
1,3	-4.918	1.311	0.000	-5.836	2.885	4.131	-4.656	4.853	5.312
p	0.000	0.195	1.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
2,1	0.918	7.148	5.836	0.000	8.721	9.967	1.180	10.689	11.148
p	0.632	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.244	0.000	0.000
2,2	-7.803	-1.574	-2.885	-8.721	0.000	1.246	-7.541	1.967	2.426
p	0.000	0.121	0.007	0.000	1.000	0.219	0.000	0.054	0.019
2,3	-9.049	-2.820	-4.131	-9.967	-1.246	0.000	-8.787	0.721	1.180
p	0.000	0.008	0.000	0.000	0.219	1.000	0.000	0.518	0.244
3,1	-0.262	5.967	4.656	-1.180	7.541	8.787	0.000	9.508	9.967
p	0.790	0.000	0.000	0.244	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000
3,2	-9.771	-3.541	-4.853	-10.689	-1.967	-0.721	-9.508	0.000	0.459
p	0.000	0.001	0.000	0.000	0.054	0.518	0.000	1.000	0.653
3,3	-10.230	-4.000	-5.312	-11.148	-2.426	-1.180	-9.967	-0.459	0.000
p	0.000	0.001	0.000	0.000	0.019	0.244	0.000	0.653	1.000

p = dua-ekor.