

UJI KAPASITAS BIOTRANSFORMASI PLANKTONIK  
BAKTERI LAUT DARI PERAIRAN WISATA  
PELABUHAN PERSTAKAAN UJUNG PANDANG



13-3-1999



PERPUSSTAKAAN PUSAT UNIV. HASANUDDIN	
Tgl. terima	13-3-1999
Asal dari	FAR. KELAUTAN
Banyaknya	1 (SATU) EKS.
Harga	HADIAH
No. Inventaris	99 05 1652
No. Sias	

FAKULTAS KELAUTAN DAN PERIKANAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
UJUNG PANDANG  
1998

**UJI BIODEGRADASI PETROLEUM OLEH BAKTERI LAUT DARI  
PERAIRAN SEBELAH BARAT  
PELABUHAN PERTAMINA UJUNG Pandang**

*OLEH*

**ANDI BUDI SETIAWAN**

91 22 010

Skripsi Sebagai Salah Satu  
Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana

pada

Jurusan Ilmu Kelautan  
**Universitas Hasanuddin**  
**Ujungpandang**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Sripsi : Uji Kapasitas Biodegradasi Petroleum oleh Bakteri Laut dari Perairan Sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Nama : Andi Budi Setiawan

Nomor Pokok : 91 22 010

Skripsi Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama

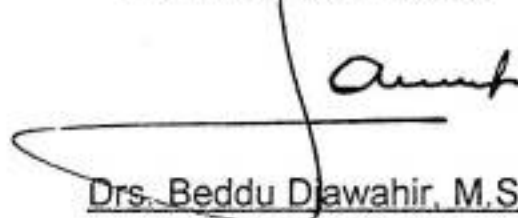
DR. Dirayah Rauf Husain, DEA.  
NIP : 131 570 872

Pembimbing Anggota



DR. Akbar Tahir, M.Sc.  
NIP : 131 802 894

Pembimbing Anggota



Drs. Beddu Dlawahir, M.S.  
NIP : 130 288 861

Diketahui Oleh :

Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan

Ketua Program Studi Ilmu Kelautan

Ir. Syamsu Alam, M.S.  
NIP : 131 257 414

DR. Ir. Ambo Tuwo, DEA.  
NIP : 131 658 840

Tanggal lulus: *28 Agustus 1998*

## RINGKASAN

ANDI BUDI SETIAWAN, 91 22 010. Uji Kapasitas Biodegradasi Petroleum Oleh Bakteri Laut dari Perairan Sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang ; (dibawah bimbingan Dr. Dirayah Rauf Husain, DEA, sebagai Pembimbing Utama, Dr. Akbar Tahir, M.Sc., dan Drs. Beddu Djawahir, M.S., sebagai Pembimbing Anggota).

Pemulihan perairan laut dari cemaran hidrokarbon sebagai dampak perkembangan sekitar industri, transportasi laut, serta pengeboran telah mendorong sejumlah upaya penanggulangan. Salah satu penanggulangan yang dianggap cukup efektif yakni pemanfaatan mikroba pengurai hidrokarbon yang lebih dikenal dengan istilah Bioremediasi.

Penelitian ini bertujuan menguji efektifitas bakteri laut dalam mendegradasi senyawa-senyawa karbon yang diperoleh dari perairan laut pelabuhan Pertamina Ujungpandang. Khusus penelitian ini dicobakan 3 jenis Petroleum (Handil, Sahara, dan X), yang mana satu sama lainnya memiliki perbedaan baik berdasarkan bentuk / viskositas maupun kandungan rantai poliklik (sifat volatilnya). Selanjutnya dari pengujian yang dilakukan akan diperoleh data kuantitatif maupun kualitatif.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga bulan Oktober 1997, yang meliputi persiapan penelitian, pengambilan sampel, dan analisis laboratorium yang terdiri dari uji pertumbuhan bakteri maupun uji biodegradasi berdasarkan analisis kuantitatif dan kualitatif. Percobaan dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Ilmu Kelautan dan Laboratorium Kimia Organik Sintesa, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan uji pertumbuhan bakteri diketahui ada perbedaan karakteristik dari bakteri yang diperoleh, baik dari perubahan warna kultur, nilai densitas optik, maupun bentuk kurva pertumbuhan selama waktu inkubasi.

Pada tahap uji biodegradasi berdasarkan analisis kuantitatif diketahui persentase biodegradasi cukup tinggi khususnya pada substrat jenis Handil (53,01 % -- 72,39 %), berikut jenis Sahara (40,23 % - 43,67 %) dan relatif lebih rendah diperoleh pada substrat jenis X yakni (19,00 % - 29,00 %). Berdasarkan analisis kualitatif dengan menggunakan peralatan kromatografi gas diperoleh tingkat pemutusan hampir terjadi pada seluruh rantai karbon yang tidak mengalami pemutusan dikarenakan tingginya konsentrasi kandungan senyawa hidrokarbon.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena atas limpahan Rahmat dan Taufik-Nyalah sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini berjudul "Uji Kapasitas Biodegradasi Petroleum oleh Bakteri Laut dari Perairan Sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang" disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar ke sarjana pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Universitas Hasanuddin, Ujungpandang.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ibu Dr. Dirayah R. Husain, DEA sebagai Pembimbing Utama, Bapak Dr. Akbar Tahir, M.Sc. dan Drs. Beddu D Nawahir, M.S. sebagai Pembimbing Anggota atas segala bimbingan, saran, petunjuk, dan nasehat yang telah diberikan selama ini sehingga skripsi ini dapat tersusun.

Ucapan terima kasih pula penulis sampaikan kepada Bapak Drs. Syarifuddin Liong yang telah memberikan petunjuk dalam kelancaran proses penelitian kami. Bapak dan Ibu Dosen, Staff pengelolah Program Studi Ilmu Kelautan yang telah banyak membantu selama penulis mengikuti studi perkuliahan.

Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada Yayasan Sekar Saji Nurantara yang telah memberikan bantuan dalam bentuk dana, yang mana telah banyak membantu dalam kelancaran penelitian penulis. Juga kepada rekan-rekan Mahasiswa Kelautan khususnya Crew '91, beserta Anti, Hasan, Lukman, Mursatim, Muis, dan rekan penelitian Ai, Hamiluddin, Suharman, Emi, Lili, dan Staff laboratorium Yai, Isyanta, dan Tenri. Terkhusus ucapan terima kasih yang setulusnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis haturkan kepada orang tuaku yang tercinta; Ibuanda Andi Raju dan Andi Rajeng serta Kakanda yang tercinta atas segala pengorbanan, doa restu dan semangat yang diberikan selama ini. Semoga ini semua mendapat pahala di sisi Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan dalam berbagai hal terutama dari segi penulisan maupun isinya, olehnya itu saran dan masukan yang konstruktif tetap kami terima dengan senang hati demi penyempurnaan selanjutnya.

Penulis berharap kiranya tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua orang yang membutuhkannya.

Ujungpandang, Maret 1999

Penulis

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Hipotesis.....	3
1.3 Tujuan dan Kegunaan.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Kehadiran Bakteri di Laut.....	4
2.2 Mikroorganisme Pendegradasi Hidrokarbon.....	5
2.3 Profil Hidrokarbon Minyak Bumi di Lingkungan Laut.....	7
2.3.1 Tipe Hidrokarbon Minyak Mentah.....	8
2.3.2 Hidrokarbon Alkana.....	9
2.3.3 Hidrokarbon Aromatik.....	10
2.4 Sumber-sumber Hidrokarbon pada Lingkungan Laut.....	10
2.4.1 Biogenik.....	11
2.4.2 Pirolitik.....	11
2.4.3 Diagenetik.....	11
2.4.4 Geokimia.....	11
2.4.5 Antropogenik.....	12
2.5 Distribusi dan Keberadaan Minyak Bumi dalam Perairan Laut.....	12
2.5.1 Hidrokarbon pada Lapisan Sedimen.....	13
2.6 Proses Transformasi Minyak Bumi dalam Lingkungan laut.....	14
2.7 Degradasi Hidrokarbon pada Lingkungan Perairan Laut....	16
2.8 Biodegradasi Hidrokarbon dan Mekanisme Biodegradasi Senyawa Hidrokarbon.....	20
2.9 Faktor-faktor yang Berpengaruh dalam Proses Bioremediasi.....	21
2.10 Kromatografi Gas.....	27
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.2.1 Alat-alat yang Dipergunakan dalam Penelitian.....	29
A. Peralatan Sampling.....	29
B. Peralatan untuk Analisis Mikrobiologi.....	29

C.	Peralatan untuk Analisis Kimia.....	30
3.2.2	Bahan-bahan yang Digunakan.....	31
3.3	Prosedur Kerja.....	32
3.3.1	Metode Sampling.....	32
3.3.2	Sterilisasi Alat.....	32
3.3.3	Pembuatan Air Laut Sintetik (ALS).....	33
3.3.4	Pembuatan Media Agar dengan Menggunakan Zat Kimia...	33
3.3.5	Pembuatan Larutan $\text{FeSO}_4$ dan $\text{PO}_4^{3-}$ .....	33
3.3.6	Teknik Penanaman Bakteri.....	33
A.	Tahap Prekultur.....	33
B.	Tahap Kultur.....	34
3.3.7	Analisis Biodegradasi Petroleum Berdasarkan Uji Kuantitatif dan Uji Kualitatif.....	34
A.	Analisis Biodegradasi Petroleum Secara Kuantitatif dengan Metode Ekstraksi.....	34
B.	Analisis Biodegradasi Petroleum Secara Kualitatif.... dengan Menggunakan Kromatografi Gas.....	35
3.3.	Analisa Data.....	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	36
4.2	Petroleum Sebagai Sumber Karbon.....	36
4.3	Seleksi dan Pembiakan Mikroba Pendegradasi Hidrokarbon	36
4.4	Pertumbuhan Bakteri pada Substrak Petroleum.....	39
4.4.1	Kultur dengan Substrak Petroleum Jenis Sahara.....	39
A.	Karakteristik Kultur Secara Visual.....	39
B.	Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri.....	48
C.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif.....	51
D.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas.....	52
4.4.2	Kultur dengan Substrak Petroleum Jenis Handil.....	54
A.	Karakteristik Kultur Secara Visual.....	54
B.	Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri.....	60
C.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif.....	63
D.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas.....	63
4.4.3	Kultur dengan Substrat Petroleum Jenis X.....	65
A.	Karakteristik Kultur Secara Visual.....	65
B.	Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri.....	70
C.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif.....	71
D.	Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas.....	71
4.4.4	Pertumbuhan Bakteri pada Media Padat.....	73

V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

NOMOR	Teks	Hal
1.	Hasil Pengamatan (Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis Sahara Selama Inkubasi pada Stasiun 1 dan 2 di Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	39
2.	Hasil Pengukuran Media Kultur dengan Menggunakan Spektrofotometer $\lambda = 610$ nm dengan Penambahan Petroleum Jenis Sahara dari sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	44
3.	Data Parameter Kimia-Fisika Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	47
4.	Hasil Analisis Biodegradasi (Kuantitatif) Petroleum Jenis Sahara dari Sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	51
5.	Hasil Pengamatan (Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis Handil Selama Inkubasi pada Stasiun 1 dan 2 di Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	54
6.	Hasil Pengukuran Media Kultur dengan Menggunakan Spektrofotometer $\lambda = 610$ nm dengan Penambahan Petroleum Jenis handil dari Sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	57
7.	Hasil Analisis Biodegradasi (Kuantitatif) Petroleum Jenis Handil dari Sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	63
8.	Hasil Pengamatan(Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis X Selama Inkubasi pada Stasiun 1 dan 2 di Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	68
9.	Hasil Pengukuran Media Kultur dengan Menggunakan Spektrofotometer $\lambda = 610$ nm dengan Penambahan Petroleum Jenis X dari Sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	69
10.	Hasil Analisis Biodegradasi (Kuantitatif) Petroleum Jenis Sahara dari Sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	71

## DAFTAR GAMBAR

NOMOR	Teks	Hal
1.	Bagan Peralatan Kromatografi Gas Cair.....	28
2.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Penegradasi Hidrokarbon (Sampel Sedimen).....	41
3.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Air).....	42
4.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Air).....	43
5.	Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri dengan Penambahan Petroleum Jenis Sahara dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	49
6.	Gambar Kromatografi dengan Petroleum Jenis Sahara.....	52
7.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Handil Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Air).....	58
8.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Handil Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Sedimen).....	59
9.	Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri dengan Penambahan Petroleum Jenis Handil dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	61
10.	Gambar Kromatogram dengan Petroleum Jenis Handil.....	64
11.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis X Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Air&Sedimen pada saat $T_0$ )....	66
12.	Perubahan Warna pada Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis X Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon (Sampel Air & Sedimen Setelah Inkubasi 2 Hari).....	67

13.	Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri dengan Penambahan Petroleum Jenis X dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	70
14.	Gambar Kromatografi dengan Petroleum Jenis X.....	72
15.	Perrtumbuhan Koloni Bakteri di Atas Media Agar Diperoleh dari Pelabuhan Pertamina Ujungpandang pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara.....	73
16.	Perrtumbuhan Koloni Bakteri di Atas Media Agar Diperoleh dari Pelabuhan Pertamina Ujungpandang pada Penambahan Petroleum Jenis Handil.....	74

### Lampiran

1.	Peta Lokasi Pengambilan Sampel pada Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.....	82
2.	Peralatan Shaker (Agitateur 74578) pada Proses Inkubasi.....	83
3.	Pengamatan Kurva Pertumbuhan pada Seperangkat Alat Spektrofotometer (Milton Roy Spectronik 1201).....	83
4.	Seperangkat Peralatan Reflux.....	84
5.	Penyaringan dengan Menggunakan Pompa Vakum (Buchii B-169).	84
6.	Proses Pemisahandengan Corong Pisah.....	85
7.	Proses Destilasi dengan Menggunakan Seperangkat Alat Rotavapor (Buchii R-144).....	85
8.	Peralatan Kolom Fraksinasi.....	86
9.	Seperangkat Peralatan Kromatografi Gas.....	86

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Laut merupakan lingkungan fisik paling menonjol di wilayah Indonesia yang kira-kira 70% tertutup oleh perairan. Ini sangat menguntungkan mengingat potensi laut yang besar, dan sekaligus sebagai sumberdaya pesisir jauh lebih banyak. Namun demikian ada beberapa daerah ekosistem perairan dalam lingkungan laut yang rentan terhadap pencemaran.

Salah satu permasalahan yang sedang diperdebatkan sampai saat ini adalah manusia sebagai penyebab timbulnya pencemaran di perairan laut. Mulanya laut dipandang sebagai tempat terakhir yang cocok untuk semua hasil buangan dan sisa-sisa industri oleh manusia tanpa berakibat membahayakan bagi kehidupan baik langsung maupun tak langsung. Namun sejalan dengan peningkatan penduduk yang diikuti dengan peningkatan industri, mengakibatkan makin banyaknya bahan-bahan yang bersifat racun yang dibuang ke laut dalam jumlah yang sulit untuk dikontrol secara tepat. Disisi lain keberadaan laut untuk dapat mendaur ulang sisa buangan tadi sangat terbatas. Hal ini memberikan dampak terganggunya keseimbangan ekosistem laut secara menyeluruh.

Salah satu bahan pencemar lingkungan yang sering melanda perairan laut adalah limbah hidrokarbon. Kehadiran limbah tersebut antara lain diakibatkan oleh tumpahan minyak yang berasal dari tempat pengeboran minyak lepas pantai, akibat kecelakaan tanker, aktifitas transportasi laut, kebocoran saluran pipa, serta kebocoran alami dari sumber minyak.

Dampak negatif yang paling dirasakan akibat pencemaran minyak di laut adalah merosotnya kualitas lingkungan atau ekosistem dan seluruh aspek yang berkaitan dengan perairan laut seperti rusaknya jaring-jaring

makanan, dan menurunnya kualitas air, serta mengurangi estetika dari laut itu sendiri.

Salah satu alternatif yang kini mulai ditempuh dalam penanggulangan pencemaran hidrokarbon adalah pemanfaatan mikroba mampu merubah profil senyawa hidrokarbon minyak bumi menjadi senyawa yang tidak berbahaya bagi kehidupan. Teknologi ini dikenal dengan nama **Bioremediasi**. Dengan teknologi tersebut disamping memerlukan biaya yang relatif kecil, jangka waktu yang relatif cepat, juga dampak toksisitasnya relatif tidak ada (Gunalan, 1993).

Zobell (1973) menyatakan, bahwa terdapat kurang lebih 70 species mikroba terbukti mampu mendegradasi hidrokarbon minyak bumi, diantaranya genera *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Cyanobacterium*, *Arthobacterium* dan *Pseudomonas* adalah yang paling dominan.

Penelitian yang telah dilakukan, (Bertrand, 1986) dikemukakan bahwa pada kondisi pertumbuhan yang optimal, tingkat biodegradasi relatif tinggi yaitu sekitar 90%. Dikelompokkan dari hidrokarbon yang terdegradasi yaitu hidrokarbon jenuh (92%), aromatik (85%), senyawa-senyawa polar (60%), dan bentuk aspaltenik (74%). Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Rambeliosari *et al* (1984) dalam Austin (1993), diperoleh tingkat biodegradasi yaitu sekitar 81% dengan perbandingan hidrokarbon jenuh (92%), aromatik (83%), senyawa polar (63%), dan aspaltenik (48%).

Pencemaran suatu perairan oleh hidrokarbon ini dapat mencapai distribusi yang luas oleh pengaruh dinamika laut dalam bentuk gelombang dan arus hingga mencapai daerah pantai secara akumulatif. Tumpahan polutan ini akan mengalami evaporasi, absorpsi, dan emulsifikasi yang dapat mencapai beberapa stratifikasi kedalaman perairan hingga lapisan sedimen. Berkaitan dengan usaha pemulihan kondisi perairan laut, maka pemilihan lokasi pengambilan sampel di sekitar perairan Pertamina menjadi salah satu

alternatif. Mengingat pada lokasi ini merupakan tempat penampungan/ bongkar muat minyak bumi yang tidak menutup peluang untuk menerima sejumlah besar tumpahan minyak bumi. Pada gilirannya akan menjadi habitat yang ideal untuk mikroba pendegradasi hidrokarbon.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dipandang perlu melakukan penelitian skala laboratorium untuk mendapatkan mikroba yang mampu mendegradasi hidrokarbon dengan mengetahui sejauh mana kapasitas pemutusan dari rantai karbon senyawa hidrokarbon dengan mengetahui sejauh mana kapasitas pemutusan dari rantai karbon senyawa hidrokarbon yang dicobakan. Sebagai suatu langkah awal dalam penanggulangan pencemaran hidrokarbon.

## **1.2 Hipotesis**

Bakteri yang diperoleh pada daerah cemaran hidrokarbon memiliki tingkat efektifitas yang tinggi dalam mendegradasi hidrokarbon.

## **1.3 Tujuan dan Kegunaan**

Penelitian ini bertujuan menguji efektifitas bakteri laut yang diperoleh dari perairan sekitar pelabuhan Pertamina Ujungpandang dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon (petroleum). Sedangkan kegunaannya memberikan data kuantitatif dan kualitatif dari hasil penguraian bakteri hidrokarbon, memberi masukan tentang kondisi dan keberadaan dari bakteri pendegradasi, serta bahan informasi bagi sejumlah institusi maupun peneliti selanjutnya.



## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kehadiran Bakteri di Laut

Salle (1961), mengatakan bahwa bakteri laut kebanyakan Gram negatif, berbentuk batang. Umumnya bakteri laut memiliki laju pertumbuhan yang sangat lambat dan koloninya kecil. Karakteristik yang mencolok dari sebagian besar bakteri laut yang dikultur adalah warna kuning hingga kecoklat-coklatan, merah muda dan hijau. Atlas dan Bartha (1985), mengemukakan bahwa bentuk bakteri laut mempunyai karakteristik yang khusus, yaitu lebih kecil daripada bakteri yang bukan bakteri laut. Umumnya berbentuk batang, aktif bergerak (motil) karena memiliki flagel, bersifat aerob, anaerobik fakultatif. Sedangkan bentuk kokus jarang dijumpai.

Bakteri laut dapat tumbuh pada konsentrasi nutrisi yang rendah di laut dan umumnya mempunyai toleransi suhu yang lebih besar, yaitu 5°C - 90°C dan dapat tahan terhadap tekanan hidrostatik yang tinggi.

Beberapa genera bakteri yang ditemukan di laut, yaitu yaitu yang paling dominan adalah species *Pseudomonas spp* atau *Vibrio spp*, *Flavobacterium spp*, *Desulfovibrio spp*, *Nitrococcus spp*, *Nitrosomonas spp*, *Nitrospina spp*, dan *Nitrobacter spp* (Lovelace, 1967 dalam Austin, 1993).

Namun bila ditinjau dari prosentase kepadatannya maka terdiri dari : 56% *Vibrio*, 18% *Pseudomonas*, 6% *flavobacterium*, dan berturut-turut *Spirillum*, *Achromobacter*, *Hypomicrobium*, *Cytopaga*, dan *Mycrocylus*. Sedangkan bakteri yang ditemukan pada sedimen laut umumnya bersifat Gram positif, misalnya *Bacillus sp*.

Bakteri yang hidup di bawah permukaan sedimen bersifat anaerobik yang umumnya adalah dari genus *Pseudomonas* (Schewan dalam Gibson,

1965). Selanjutnya Kovacs (1956) dalam Gibson (1965), mengidentifikasi bakteri heterotropik aerobik dalam empat grup besar yaitu bakteri oksidasi positif (*Pseudomonas spp*, *Aeromonas spp*, dan *Vibrio spp*), bakteri oksidasi negatif (*Enterobacteria ceae*), bakteri tak berpigmen (*Aeromobacter spp*, *Alcaligenes spp*) dan bakteri berpigmen kuning (*Flavobacterium spp*, *Cytophaga spp*).

Rhein (1991), menemukan adanya bakteri dan fungi yang dapat menguraikan selulosa, lignin, agar, dan khitin. Demikian juga mampu menguraikan hidrokarbon, phenol, dan beberapa bahan anorganik lain. Mikroorganisme yang berperan menguraikan senyawa-senyawa organik tersebut melibatkan proses enzimatik. Bahan organik yang telah diuraikan selanjutnya dimanfaatkan oleh organisme pelagik dan bentik. Hal ini memungkinkan terjadinya produksi sekunder yang dilakukan oleh bakteri heterotropik dan fungi, dan digunakan oleh organisme pelagik dan bentik dalam jaring makanan.

Mikroorganisme terdapat pada semua kedalaman, namun populasi terbesar ditemukan pada lapisan permukaan sediment (Pelczar, 1980). Selanjutnya Atlas dan Bartha (1985), menemukan populasi mikroba lebih besar di sepanjang pantai, akibat masuknya nutrisi berupa zat-zat organik dari daratan.

## **2.2 Mikroorganisme Pendegradasi Hidrokarbon**

Biodegradasi hidrokarbon oleh mikroorganisme telah ditemukan sejak tahun 1964 oleh Zobel. Sejak saat itu telah dikenal lebih dari 100 spesies dari 22 genus bakteri yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon (Bartha dan Atlas, 1977).

Bertrand dan Mille (1989) dalam Feriatra (1996), berhasil mengisolasi bakteri Gram negatif dengan prosentase yaitu 42,9% dari isolat aktif



bergerak, 64,3% berbentuk batang dan sisanya berbentuk bulat. Sebagian besar warna koloni yang ditemukan berwarna kekuning-kuningan.

Zobell (1973) dalam Austin (1988), menemukan adanya 70 genera mikroba, yang berupa 28 genera bakteri, 30 genera fungi dan 12 genera ragi dapat yang mampu mendegradasi hidrokarbon. Namun bakteri yang dianggap paling berperan dalam mendegradasi hidrokarbon. Bakteri-bakteri tersebut diantaranya adalah *Acinetobacterium*, *Actinomyces (mycelial)*, *Achromobacter*, *Brevibacterium*, *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Klebsiella aerogenes*, *Mikrococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Sphaerotilus natans* dan *Vibrio*. Sedangkan dari kelompok fungi yaitu genus *Candida*, *Cladosporium*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces*, *Torulopsis* dan *Trichosporium*.

Secara umum data mengenai keberadaan mikroba laut yang mampu mendegradasi hidrokarbon pada perairan Indonesia masih kurang diketahui, namun Thayib *et al*, (1977) dalam Hadi. J.K,(1977) mengemukakan bahwa mikroba pemecah minyak (Hidrokarbon klastik) yang ditemukan di perairan Teluk Jakarta termasuk genus *Arthobacteri*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus* dan *Bacillus*. Namun disimpulkan bahwa kepadatan bakteri yang tertinggi diperoleh di daerah sekitar pelabuhan yang tercemar oleh minyak.

Walker *et al.*, (1976) mengemukakan bahwa jumlah bakteri pengurai petroleum jauh lebih besar pada sedimen daripada kolom air. Begitu pula Grow *et al.*, (1976) menemukan bahwa pada permukaan sedimen lebih besar 10 - 100 kali daripada di kedalaman sedimen 10 cm. Linstrom *et al* (1991), yang mengadakan penelitian pada prince William Sound Alaska menemukan jumlah bakteri sekitar:  $96 - 24,9 \times 10^4$ / gr sedimen. Sedangkan Bartha (1986) yang melakukan penelitian pada Pulau Embiez Perancis menemukan jumlah

bakteri pada perairan tersebut berkisar antara  $1,2-1,8 \times 10^4/100$  ml sampel air.

Secara umum jumlah bakteri pengurai petroleum biasanya lebih besar pada daerah yang terpolusi daripada daerah yang tidak terpolusi oleh hidrokarbon, begitu pula sangat tergantung kepada kondisi iklim dan variasi musim (Colwell dan Walker, 1977).

### **2.3 Profil Hidrokarbon Minyak Bumi di lingkungan Laut**

Geyer (1985), mengemukakan dalam lingkungan laut terdapat berbagai jenis senyawa organik seperti asam-asam amino, karbohidrat, hidrokarbon biogenik. Hidrokarbon yang berasal dari bahan bakar, fosil asam karbon dan lain-lain.

Zat-zat organik yang berasal dari organisme mati akan digunakan kembali oleh organisme lain demi kelangsungan hidupnya (Lemigas, 1987). Sebagian dari zat-zat organik tersebut adalah senyawa hidrokarbon. Senyawa-senyawa ini hanya terdiri dari unsur-unsur karbon dan hidrokarbon seperti alkana, olefin dan aromatik. Senyawa hidrokarbon yang terdapat secara alamiah pada konsentrasi tertentu toksik terhadap sistem kehidupan (Geyer, 1980).

Hidrokarbon adalah senyawa kimia yang mengandung unsur-unsur hidrogen dan karbon, dapat berstruktur alifatik, alisiklik, atau aromatik. Senyawa kimia ini ditemukan sebagai komponen dasar sejumlah bahan kimia yang berbahaya dan beracun yang mencemari lingkungan, seperti petroleum, pestisida, pelarut, pewarna, dan creasote (Gunalan, 1993).

Minyak bumi merupakan campuran berbagai persenyawaan kimia yang terjadi secara alamiah dan mempunyai susunan kimia yang kompleks. Komponene utama dari minyak bumi adalah hidrokarbon dengan kadar 50 - 96%.

Minyak bumi merupakan campuran kompleks dari sekian ratus penyusun termasuk gas dan residu yang mana temperatur titik didihnya mencapai 400°C. Komponen minyak termasuk n-alkana, yang merupakan penguraian terbanyak (utama), iso-alkana, siklo alkana, aromatik, naftalen aromatik, heterocyclic (resin), dan asphalten. Selain itu minyak bumi juga mengandung unsur-unsur oksigen, belerang dan nitrogen serta mempunyai beberapa komponen lainnya.

Hidrokarbon minyak bumi dapat berupa gas, cair, dan padat dengan sifat kimia dan fisika berbeda satu dengan lainnya, tergantung pada kondisi organik asalnya. Oleh karena itu jarang dijumpai dua jenis minyak bumi yang mempunyai keseluruhan sifat yang sama (Jalaluddin, 1993).

Wilson dan Hunt (1975), menyatakan bahwa minyak mentah juga mengandung logam seperti nikel, vanadium, dan besi. Sedangkan menurut Posthuma (1977), menemukan bahwa produk minyak bumi mengandung 90% hidrokarbon, yang sisanya tersusun dari komponen-komponen oksigen, nitrogen dan sulfur. Prosentase karbon sekitar: 80 - 85%, hidrogen: 10 - 15%, sulfur: 0 - 10%, nitrogen: 0 - 1%, dan ditambah beberapa kandungan logam dengan presentase yang kecil seperti: vanadium, nikel, besi, natrium, calcium, cuivre, dan uranium.

### **2.3.1 Tipe Hidrokarbon dalam Minyak Mentah**

Untuk normal alkana yaitu dari CH<sub>4</sub> (metana) sampai diatas C<sub>60</sub> mempunyai rasio satu untuk ganjil/genap serta senyawa yang beraturan 5 atau 6 atom C, struktur cincin jenuh dengan berbagai alkil ada dalam minyak mentah.

Senyawa-senyawa aromatik meliputi struktur cincin C<sub>6</sub> seperti Benzen, dan campuran kompleks dari mono, di, tri dan tetra alkil benzen, naftalen dan

aromatik poliinti dengan substitusi multialkil, serta juga kadang-kadang terdiri dari naftenoaromatik.

### 2.3.2 Hidrokarbon Alkana

Senyawa-senyawa hidrokarbon parafin atau alkana merupakan komponen utama minyak bumi yang terdiri atas atom H dan C dengan rumus empirik  $C_nH_{2n+2}$ . Juga merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai sifat kimia yang relatif stabil.

Senyawa-senyawa parafin atau alkana merupakan fraksi paling banyak terdapat dalam minyak bumi, termasuk fraksi yang mudah menguap. Minyak bumi mengandung senyawa alkana yang mudah menguap sekitar 30% sehingga dengan terjadinya penguapan sifat fisiknya akan berubah, kerapatannya, viskositas, titik nyala dan sebagainya.

Wujud hidrokarbon alkana berkaitan dengan bobot molekulnya. Senyawa yang bobot molekul rendah  $C_1 \dots C_4$  berwujud gas pada suhu kamar, alkana rantai  $C_5 \dots C_{17}$  cair dan  $C_{18}$  ke atas adalah padat (Fessenden, 1989). Alkana merupakan senyawa nonpolar yang sifatnya mirip lemak yaitu tidak larut dalam air. Karena sifat nonpolar, normal alkana larut dalam pelarut nonpolar seperti benzen dan dietil eter. Bobot jenis, titik didih meningkat merut kenaikan bobot molekulnya (Stanley, 1981).

Sifat fisika lainnya yang sangat penting adalah viskositas dari hidrokarbon alkana menentukan kecepatan penyebaran minyak di laut. Sedangkan sifat kimianya adalah komposisi yang berbeda tergantung dari mana sumbernya. Komposisi akan menentukan kecepatan degradasi molekul. Makin panjang rantainya, makin sulit terdegradasi (NAS, 1975).

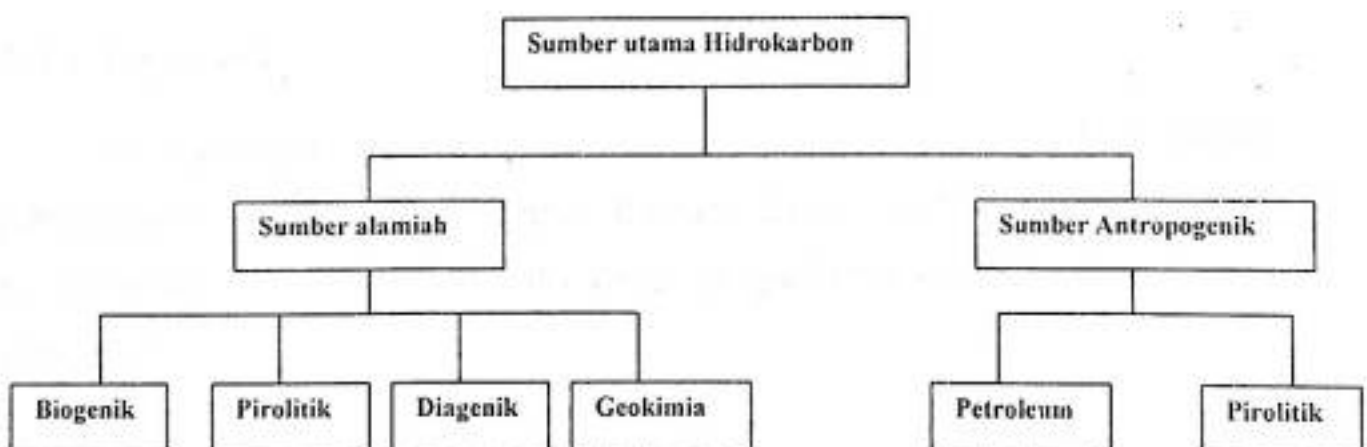
### 2.3.3 Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon poliaromatik telah diidentifikasi pada beberapa sedimen laut. Beberapa jenis hidrokarbon aromatik tersebut adalah naftalen, fluoranten, pyren, benzopiren (Farrington, 1970). Hidrokarbon aromatik lebih kompleks terdapat pada tempat-tempat yang biasanya mengandung konsentrasi hidrokarbon yang tinggi. Hal ini didukung oleh kompleksitas yang ekstrim dan range berat molekul di hidrokarbon jenuh. Konsentrasi hidrokarbon aromatik poliiinti di air dan sedimen dengan jumlah yang bervariasi.

Susan *et al.*, (1992), mengemukakan bahwa penguraian hidrokarbon poliaromatik (PAH) oleh mikroba dapat berlangsung dengan satu atau dua cara yaitu secara aerobik dan anaerobik. Pada proses tersebut mikroba dapat memanfaatkan poliaromatik sebagai sumber karbon dan energi. Bakteri yang memiliki kemampuan tersebut tergolong genus *Aeromonas*, *Alicalingenes*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Corynebacteria*, *Cyanobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardio*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, dan *Vibrio*.

### 2.4 Sumber-Sumber Hidrokarbon pada Lingkungan Laut

Sumber hidrokarbon di laut terbagi atas 2 bagian besar yaitu hidrokarbon alamiah dan hidrokarbon antropogenik. Berikut diagram Sumber-sumber hidrokarbon di laut.



#### **2.4.1 Biogenik**

Hidrokarbon biogenik adalah hidrokarbon yang dihasilkan dari metabolisme dan sintesis yang dilakukan oleh mikroorganisme, atau dengan mengkonversi senyawa-senyawa prekursor dalam makanannya. Hidrokarbon tersebut dilepaskan ke dalam laut atau sedimen dengan cara ekskresi atau autolisis oleh organisme hidup melalui dekomposisi organisme yang telah mati. Contohnya adalah konversi fitol menjadi pristan.

#### **2.4.2 Pirolitik**

Hidrokarbon pirolitik dapat berasal dari sumber alamiah yaitu hasil pembakaran vegetasi (hutan) yang selanjutnya terbawa oleh air hujan melalui saluran-saluran pembuangan ke laut. Hidrokarbon ini juga dapat berasal dari hasil pembakaran kendaraan bermotor yang beroperasi di lingkungan laut.

#### **2.4.3 Diagenetik**

Hidrokarbon diagenetik berasal dari proses kimia yang berlangsung dalam jangka waktu yang pendek.

#### **2.4.4 Geokimia**

Hidrokarbon geokimia terjadi melalui proses geologi seperti penyusunan minyak dari tanah bawah dasar laut dan pantai yang berlangsung dalam jangka waktu yang sangat lama sekali bahkan berjuta-juta tahun.

#### **2.4.5 Antropogenik**

Sebagian besar hidrokarbon ini berasal dari minyak bumi (hidrokarbon petroleum) dan produk destilat lainnya yang terbuang melalui aktifitas manusia. hidrokarbon tersebut dapat juga berasal dari partikel-partikel hasil pembakaran minyak kendaraan bermotor yang beroperasi dari lingkungan laut (Farrington, 1970).

#### **2.5 Distribusi dan Keberadaan Minyak Bumi dalam Perairan Laut**

Menurut Wardoyo (1974), minyak bumi yang tertumpah di perairan akan mengalami proses seperti penguapan, dissolusi, dispersi atau emulsifikasi, polimerisasi dan degradasi. Dari proses-proses tersebut sebagian minyak bumi akan menjadi gumpalan-gumpalan teer yang lambat laun terbawa ke pantai sehingga pantai menjadi tercemar. Seperti yang pernah terjadi ketika kapal tangker "Exxon valdez" mengalami kebocoran sehingga menyebabkan pencemaran pantai Gregne sepanjang 450 km .

Lebih dari 6500 juta ton petroleum tersebut terbuang di laut setiap tahunnya. Hal ini disebabkan antara lain oleh kecelakaan kapal, kebocoran kapal tanker, dan tumpahan selama operasi lepas pantai. Produk ini sangat berbahaya bagi organisme yang hidup di perairan yang tercemar oleh polutan ini (National Academy of Science, 1985).

Minyak cenderung menyebar dengan adanya kontak dengan air laut dan ini bertolak pada :

- a. Faktor-faktor abiotik termasuk evaporasi, dissolusi, dispersial, fotooksidasi, sedimentasi, sinking, dan
- b. Faktor-faktor biotik dan biodegradasi.

Semua parameter-parameter ini akan terjadi secara berkelanjutan dan kontribusi-kontribusi relatifnya lebih kuat (Bertrand, 1987).

Al Mallah, (1988) *dalam* Feliatra (1996), mengemukakan kecepatan menghilangnya petroleum pada perairan tersebut adalah merupakan fungsi dari beberapa proses, diantaranya komposisi kimia minyak tersebut, evaporasi, sedimentasi, fotooksidasi dan biodegradasi mikroba.

Hidrokarbon yang masuk ke lingkungan laut pertahunnya sekitar  $\pm 1,9 - 6,11 \times 10^6$  ton (Beastaal, 1977 *dalam* Austin, 1988 dan Johnston, 1980 *dalam* Austin, 1988).



### 2.5.1 Hidrokarbon Pada Lapisan Sedimen

Terjadi tumpahan minyak bumi atau peristiwa lain dapat menambah kadar hidrokarbon minyak bumi secara kuantitatif pada lingkungan laut. Ini menyebabkan berlangsungnya beberapa proses hingga akhirnya masuk ke dalam sedimen. Mula-mula mengalami emulsifikasi, evaporasi dan fotooksidasi. Proses ini tergantung juga pada keadaan laut itu sendiri, terutama aksi gelombang dan arus laut yang dapat mencampur maupun membawa minyak bumi hingga tersebar ke permukaan laut.

Proses kimia dan fisika secara cepat bekerja pada lapisan minyak sehingga sebagian dapat saja lenyap dari lingkungan dalam waktu beberapa hari, namun sebagian lagi akan mengalami emulsifikasi. Leahy dan Colwell (1990), mengemukakan bahwa dispersi hidrokarbon dalam kolom air dalam bentuk emulsi minyak dalam air akan meningkatkan dan diperluas pada daerah permukaan sehingga mudah pula terserang oleh mikroba.

Selanjutnya Cooney, J. (1984), *dalam* Leahy dan Colwell (1990) mengemukakan, bahwa terbentuknya emulsi seiring dengan produksi dan pelepasan biosurfaktan oleh mikroba, yang merupakan suatu proses penting dalam pengambilan hidrokarbon oleh bakteri dan jamur. Dijelaskan pula bahwa dari hasil penelitian diperoleh kultur campuran bakteri laut yang dapat



mendegradasi minyak mentah dengan efektif, juga menunjukkan aktivitas emulsifikasi yang kuat.

Emulsifikasi terjadi karena komponen minyak bumi yang banyak larut dalam air laut. Dengan terbentuk lapisan minyak yang tipis pada permukaan secara perlahan berputar oleh adanya gelombang dan arus dan akhirnya komponen lain dalam air yang mengikat butiran minyak sehingga berat minyak bumi tadi akan bertambah dan akhirnya tenggelam ke dalam dasar laut. butiran minyak bumi sekitar 20% dari partikulat minyak bumi dalam air laut ke dasar laut dalam faeces zooplankton

Penguraian hidrokarbon dari organisme meliputi lebih kurang 2% dari total mikroflora pada kondisi tak tercemar. Namun mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon akan bertambah banyak pada substrat sebagai akibat buangan minyak yang terus menerus. Sedangkan efektifitas biodegradasi dapat diketahui dari mikroba yang paling dominan pada substrat tersebut (Atlas, 1981. Zobell dan Prokup, 1966 dalam Austin, 1988). Dikemukakan juga bahwa kondisi yang telah dipulihkan koloni bakteri tanah berkisar  $10^2$  -  $10^8$  unit/gram sedimen dengan kemampuan untuk mendegradasi minyak parafin adalah kecil

## **2.6 Proses Transformasi Minyak Bumi dalam Lingkungan Laut**

Minyak bumi yang masuk ke lingkungan laut dari berbagai sumber mengalami transformasi dalam laut dengan melibatkan proses fisika, kimia, dan biologi meliputi proses penyebaran, penguapan, pelarutan, emulsifikasi, degradasi, fotooksidasi, dan sedimentasi (NAS, 1975).

### **Penyebaran**

Minyak bumi dan produk destilasinya yang terbuang ke laut menyebar dengan cepat yang dipengaruhi oleh angin, gelombang, arus, terutama sifat-sifat fisika dan kimia. Penyebaran minyak ini akan terbentuk lapisan tipis

sehingga terpecahkan oleh gelombang dan selanjutnya mengalami proses lain.

### Penguapan

Proses penguapan merupakan proses fisika dimana sangat tergantung pada titik didih dan berat molekul minyak bumi yang masuk ke laut. Hampir seluruhnya hidrokarbon dengan rentang kurang dari  $C_{12}$  ( $t. d < 250^{\circ}C$ ) akan teruapkan. Hidrokarbon rentang  $C_{15} - 25$  menunjukkan volatilitas terbatas dan banyak dan banyak yang tinggal dalam minyak. Sedangkan di atas  $C_{25}$  sangat sedikit yang hilang dari proses ini. Jika penguapan yang terjadi sangat kecil, molekul atau partikel-partikel yang tidak menguap akan membentuk agregat bergabung menjadi besar dan kemudian turun ke sedimen.

### Pelarutan

Pelarutan erat hubungannya dengan komposisi, struktur dan berat molekul senyawa. Kecepatan dari proses ini ditentukan oleh angin, keadaan laut, dan material minyak bumi (komposisi kimia, spesifikasi gravitasi, viskositas, dan sebagainya). Kelarutan senyawa hidrokarbon minyak bumi di dalam air rendah, tetapi karena air laut merupakan suatu lingkungan yang sangat luas, maka sejumlah minyak dapat larut.

### Emulsifikasi

Emulsifikasi terjadi disebabkan oleh banyaknya komponen minyak bumi yang tidak larut dalam air. Gerakan penyebaran sangat penting untuk formasi bentuk emulsi. Bentuknya tergantung pada perbandingan volume air atau minyak dan proses fisika, seperti guncangan dan lain-lain. Emulsi minyak dalam air disebarkan secara perlahan oleh aliran dan perputaran pada permukaan, khususnya pada laut berombak. Akhir dari emulsi ini,

semakin banyak air yang bergabung dari material padat lainnya dan kemudian bersama-sama turun ke lapisan sedimen.

### **Biodegradasi dan Fotooksidasi**

Biodegradasi merupakan proses alami yang sangat penting bagi penguraian minyak bumi oleh mikroorganisme setelah mengalami proses fisika dan kimia. Mikroorganisme secara aktif berada di lapisan batas antara minyak dan air. Adanya luas permukaan minyak di atas air kecil, sehingga proses degradasi dapat berlangsung lama. Pada proses ini minyak terdegradasi tidak sempurna atau tidak seluruhnya terdegradasi. Ini dikarenakan mikroorganisme hanya mendegradasi beberapa jenis senyawa hidrokarbon di dalam minyak.

### **Sedimentasi**

Minyak bumi yang akan mengalami sedimentasi memerlukan penambahan kerapatan yang cukup untuk turun ke lapisan sedimen. Selain itu adanya absorpsi minyak bumi oleh partikulat perairan juga akan mempercepat sedimentasi. Konstituen minyak bumi yang tahan terhadap proses degradasi akan membentuk suatu gumpalan-gumpalan. Dengan adanya gerakan air laut, gumpalan-gumpalan minyak akan turun ke dasar laut. Kemungkinan lain, dapat juga terbawa ke pantai sehingga disepanjang pantai akan ditemukan gumpalan-gumpalan minyak (NAS, 1975).

## **2.7 Degradasi Hidrokarbon pada Lingkungan Perairan Laut**

Upaya untuk mengeleminasi tumpahan minyak bumi yang masuk ke dalam perairan laut dapat dilakukan secara biologi, kimia, maupun fisika. Tetapi kedua cara yang terakhir, disamping memerlukan biaya yang relatif besar, juga dapat memberikan efek ekologis. Sedangkan pengendalian dengan cara biologis menunjukkan hasil yang lebih efisien (Prichard, 1991).

Usaha untuk memperoleh strain mikroba pendegradasi hidrokarbon dan pengembangan metode pembiakannya untuk pengolahan limbah tampaknya semakin pesat, sejak terjadinya musibah Torrey Canyon pada tahun 1967, dimana sejumlah besar minyak mentah tumpah di dekat pantai Inggris. Begitu pula kecelakaan kapal tangker yang terjadi setelahnya telah mendorong usaha-usaha yang ekstensif dari negara maju seperti Amerika dan Jerman untuk menemukan dan mengembangkan strain guna memusnahkan cemaran hidrokarbon (Hockenbull, 1980).

Tindakan-tindakan yang dapat dilakukan untuk menanggulangi tumpahan minyak ke dalam suatu perairan pada prinsipnya adalah menghilangkan minyak dari air. Namun demikian kadangkala upaya penanggulangan tumpahan minyak yang mencemari lautan ternyata bisa berdampak lebih mengerikan. Misalnya upaya penanggulangan tumpahan minyak, dengan penggunaan bubuk kimia yang ditebar. Begitu pula pengendapan tumpahan minyak dengan Calcium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), yang kadang diperoleh endapan anaerobik dan terbentuknya bahan-bahan kimia yang mengandung belerang.

Upaya lainnya lagi adalah dengan cara pembakaran dan penyedotan minyak dengan pompa, namun cara ini kurang efektif karena metode ini tidak menyelesaikan permasalahan pencemaran, secara tuntas karena minyak hanya dipindahkan menuju daratan saja.

Selain berbagai alternatif penanggulangan di atas dapat pula dilakukan dengan menggunakan inokulan mikroba sebagai pendegradasi hidrokarbon. Metode ini diharapkan mampu menguraikan senyawa-senyawa hidrokarbon yang bersifat toksik menjadi senyawa yang tidak berbahaya sehingga dapat mengurangi zat pencemar.

Secara biologis merupakan salah satu cara yang tepat, efektif dan hampir tidak ada pengaruh sampingan pada lingkungan karena tidak

menghasilkan racun ataupun blooming (peledakan jumlah bakteri). Mikroba yang memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon akan mati seiring dengan habisnya minyak mentah di sekitar perairan tersebut (Leahy dan Colwell, 1984).

Menurut Gunalan (1993), bahwa penanggulangan pencemaran dengan biodegradasi atau bioremediasi terbukti mampu menyelesaikan masalah pencemaran lingkungan secara tuntas, juga membuka peluang bisnis baru berupa penjualan inokulan mikroba perombak polutan. Bioremediasi pada dasarnya merupakan teknologi aplikasi, yang melibatkan proses mikrobiologis, dapat diandalkan untuk melenyapkan hidrokarbon petroleum dari lingkungan secara murah, dan aman. Sebagai langkah awal dalam menempuh metode ini terlebih dahulu dimulai dari rangkaian penelitian di laboratorium dan kemudian pelaksanaan terapan lapang. Jadi hasil percobaan laboratorium ini dijadikan sebagai dasar masukan terhadap penerapan bioremediasi di lapang.

Penerapan teknologi bioremediasi terutama dalam pengendalian daerah yang tercemar oleh hidrokarbon minyak bumi dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan yaitu :

- Stimulasi mikroba alami yang mampu mendegradasi polutan minyak bumi.
- Penambahan nutrien dan atau bahan pengemulsi ("feeding")
- Pemberian mikroba yang mampu mendegradasi polutan ("Seeding")

Breastall (1977) dalam Austin (1993), bahwa diperlukan sekitar 6-60 mg nitrogen dan 1 - 10 mg posfat untuk mendegradasi 1 gram minyak.

Penguraian maksimal terjadi pada suhu temperatur 25° - 37°C. Dampak temperatur yang dingin di laut bebas merupakan penyebab rendahnya kecepatan biodegradasi. Dari beberapa eksperimen laboratorium (Pritchard dan Starr, 1973 dalam Austin, 1993), dibuktikan bahwa untuk dapat menguraikan oktana sebanyak 16,2 - 57,1 mg dengan menggunakan metode kultur yang kontinyu.

Ramibeloari *et al* (1984) dalam Austin (1988), mengatakan bahwa populasi bakteri pendegradasi minyak mentah dari air laut dibutuhkan suplai besi, nitrogen dan fosfor. Didapatkan pula bahwa 81% biodegradasi minyak berlangsung pada keadaan temperatur 30°C, pH 8 dan suplai oksigen yang cukup. Selanjutnya bila inkubasi dilakukan 12 hari komponen aromatic, polar, asphalten berbanding antara 92%, 83%, 63% dan 48% dari total masing-masing.

Gunalan (1994), mengatakan bahwa proses mikrobiologis dapat ditingkatnya melalui : pemberian nutrien, stimulasi ketersediaan penerima elektron, dan penambahan surfactant, serta penambahan beberapa senyawa kimia pembantu, seperti : hara, dan penerima elektron anorganik utama, antara lain : oksigen, nitrat, sulfat, besi(III), dan karbon dioksida, yang diikutsertakan dalam pencepaian metabolisme mikrobiologis optimal selama proses bioremediasi berlangsung.

Berdasarkan agen dan proses biologis serta pelaksanaan rekayasa, bioremediasi dapat dibagi menjadi lima kelompok, yaitu (1) "phytoremediation", (2) "in situ bioremediation", (3) "ex situ bioremediation", (4) "bioaugmentation", (5) "surfactan-aided bioremediation" (Gunalan, 1994).

Berdasarkan tingkat biodegradasi telah diperoleh hasil penelitian bahwa pada kondisi pertumbuhan di bawah optimal, tingkat biodegradasi itu tinggi sekitar (85%). Dikelompok dari hidrokarbon yang diserang yaitu berkisar jenuh (92%), aromatik (85%), senyawa-senyawa polar (60%) dan bentuk-bentuk asphalten (74%). Pada biodegradasi tersebut telah diikuti oleh penambahan relatif dari pecahan-pecahan polar (41% setelah degradasi ) dan disertai pula dengan penurunan pecahan asphalten (Bertrand, 1987).

## 2.8 Biodegradasi Hidrokarbon dan Mekanisme Biodegradasi Hidrokarbon

Penguraian hidrokarbon pada hakekatnya dapat berlangsung dengan proses aerobik dan anaerobik. Pada kondisi aerobik, oksigen berperan sebagai elektron akseptor. memadainya sumber oksigen memungkinkan proses mineralisasi atau degradasi hidrokarbon dapat berlangsung.

Degradasi hidrokarbon dengan anaerobik, dimana mikroorganisme menggunakan elektron akseptor alternatif sebagai akibat tidak memadainya suplai oksigen. Diantaranya dengan sulfat, nitrat, besi (III), mangan (II) atau  $\text{CO}_2$ . Adanya kondisi demikian memungkinkan keberhasilan dalam mengisolasi mikroba hidrokarbon walaupun pencapaiannya tergolong kecil. Jadi adanya sejumlah elektron akseptor alternatif memungkinkan keberadaan dari mikroorganisme anaerobik. Pada penguraian ini ketersediaan bahan organik penting peranannya, berupa nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan pospor seperti posfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Susan *et al*, 1992).

Degradasi hidrokarbon petroleum secara anaerobik oleh mikroorganisme menunjukkan tingkat atau laju yang dapat diabaikan dan signifikansi ekologisnya secara umum dianggap minor. namun demikian dari hasil penelitian diketahui bahwa degradasi mikrobial terhadap senyawa aromatik oksida seperti benzoal dan senyawa aromatik halogen seperti halobenzoat, chlorofenol, dan polichlorinat biphenil berlangsung di bawah kondisi anaerob.

Bukti terbaru menunjukkan bahwa gabungan mikroba dari tanah atau lumpur mampu memetabolisme senyawa-senyawa aromatik baik yang tersubstitusi oleh alkil maupun yang tidak tersubstitusi, termasuk kedalamnya benzena, toluena, xylene, 1,3-dimetil benzen, acenaphthene, dan naptalena (Miheleie, J.R, (1988) dalam Leahy dan Colwell, 1990).

Husain *et al* (1997), mengemukakan mikroba yang tumbuh pada substrat yang mengandung senyawa hidrokarbon dapat mengekskresikan suatu senyawa hidrokarbon yang lebih dikenal dengan nama biosurfaktan,

yang mana senyawa tersebut ini sangat berpengaruh dalam proses/ mekanisme penguraian dari senyawa hidrokarbon. Dikemukakan pula bahwa mekanisme penguraian dari senyawa hidrokarbon oleh bakteri pengurai dapat berlangsung dengan 3 cara, yakni : cara pertama dimana bakteri mengeluarkan senyawa sekret metabolit yang mampu menurunkan tegangan permukaan dari senyawa hidrokarbon sehingga memungkinkan untuk terdegradasi. Cara ini lebih dikenal dengan istilah *emulsifikasi*. Selanjutnya cara kedua yakni bakteri mengeluarkan senyawa sekret metabolit yang memungkinkan bakteri untuk dapat melekat/ membungkus senyawa hidrokarbon membentuk gerombolan-gerombolan yang menyerupai anggur. Cara ini lebih dikenal dengan istilah *fenomena edderens*. Berikutnya secara proses *solubiliti* , dimana bakteri mengeluarkan senyawa sekret metabolit yang menyebabkan senyawa hidrokarbon memungkinkan untuk dapat menutupi seluruh permukaan daripada bakteri pengurai tersebut.

## 2.9 Faktor - Faktor Yang Berpengaruh Dalam Proses Bioremediasi

Beberapa faktor lingkungan akan sangat berpengaruh pada biodegradasi hidrokarbon (Leahy dan Colwell, 1990), yaitu: oksigen terlarut, suhu, nitrat, fosfat dan pH.

### a. *Oksigen terlarut*

Oksigen terlarut merupakan parameter yang penting pada biodegradasi petroleum (Atlas, 1981). Semakin tinggi konsentrasi oksigen maka tingkat biodegradasi juga meningkat..

Secara umum kebutuhan akan oksigen adalah sebesar 3,5 gr untuk mengoksidasi 1 gl petroleum, jadi dibutuhkan 320.000 liter air untuk mengoksidasi 1 liter minyak (Floodgate, 1979).

Bertrand (1987), mengemukakan bahwa degradasi hidrokarbon terjadi saat konsentrasi oksigen pada 8 ppm dan masih dapat diamati



pada 2-3 ppm. Dibawa konsentrasi oksigen yang sangat rendah (0,2 - 03 ppm), tidak ada degradasi yang dapat dideteksi setelah 60 hari inkubasi. Selanjutnya dikemukakan juga estimasi tingkat oksidasi dalam rangka penentuan tingkat degradasi minyak bergantung pada persediaan oksigen dan nitrogen.

Oksigen terlarut yang terdapat di laut cukup banyak, karena adanya gelombang dan arus yang mampu secara terus menerus menangkap oksigen dari atmosfer. Proses bioremediasi memerlukan sekurang-kurangnya 3 - 4 mg oksigen terlarut untuk oksigenasi sempurna satu milliliter hidrokarbon menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Suatu survei menunjukkan bahwa sampai pada kedalaman 60 meter dengan suhu  $20^\circ\text{C}$  masih terdapat 5,76 mg/l oksigen terlarut.

Menurut Cooney, J.J, (1984) dan Hambrick *et al.*, (1980) dalam Leahy dan Colwell (1990) mengemukakan bahwa katabolisme hidrokarbon alifatik, siklik, dan aromatik oleh bakteri dan jamur melibatkan oksidasi substrat dengan jalan oksigenasi. Dalam hal ini oksigenasi. Dalam hal ini oksigen diharapkan dapat membentuk molekul yang dibutuhkan. Dengan demikian yang cocok untuk kelangsungan oksidasi mikroba ini adalah kondisi aerobik. Selanjutnya menurut Von Wedel *et al.*, (1988) dalam Leahy dan Colwell (1990), menyatakan bahwa konsentrasi oksigen merupakan variabel laju/ tingkat pembatas dalam biodegradasi petroleum dalam tanah.

Kandungan oksigen yang selalu cukup merupakan hal yang penting untuk mendegradasi minyak pada lapisan permukaan dan di dalam kolom air bagian atas di laut terbuka. Demikian pula derajat turbulensi secara langsung mempengaruhi keberadaan oksigen baik secara dispersi fisik maupun secara emulsifikasi terhadap minyak. ( Friede (1972) dalam Zobell (1973)).

## b. Suhu

Friede et al (1972), dalam Zobel, (1973) mengemukakan bahwa Suhu di laut beragam antara 5°C sampai 20°C tergantung kondisi meteorologik dan letak geografis. Peningkatan suhu dapat mempercepat tingkat pertumbuhan dengan demikian dapat meningkatkan biodegradasi

Adanya kenaikan dalam temperatur juga menambah tingkat evaporasi dari komponen yang lebih mudah menguap dan beberapa komponen yang bersifat toksik (Atlas dan Bartha, 1981).

Seperti halnya organisme yang terdapat di lingkungan laut, pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh suhu. Diketahui bahwa bakteri laut mempunyai suhu pertumbuhan yang maksimum, minimum, dan optimum dalam kehidupannya.

Suhu mempengaruhi biodegradasi minyak bumi lewat efeknya terhadap komposisi fisik keadaan kimiawi minyak, laju metabolisme hidrokarbon oleh organisme dan komposisi komunitas mikroba.

Pengaruh temperatur terhadap proses biodegradasi dapat dibagi menjadi dua yaitu:

Pengaruhnya terhadap petroleum, pada temperatur rendah akan memperlambat volatilisasi komponen yang mempunyai berat molekul rendah, meningkatkan viskositas minyak, memperkecil penyebaran, emulsifikasi dan tingkat kelarutannya. Sedangkan pada temperatur tinggi petroleum akan mencair dan mempercepat proses degradasi. Pengaruh temperatur lainnya yaitu terhadap kondisi fisiologis mikroorganisme. Namun untuk biodegradasi hidrokarbon temperatur optimal berada pada 25 - 37°C (Atlas, 1981).

Pada suhu rendah, viskositas minyak meningkat, volatilisasi (proses penguapan) rantai alkana yang bersifat toksik menurun, dan solubilitas (kelarutan) air meningkat, menunda aksi biodegradasi (Atlas, R.M.,

1872). Laju degradasi umumnya menurun seiring dengan menurunnya suhu, hal ini diyakini sebagai hasil utama dari penurunan laju aktifitas enzimatik atau dikenal dengan efek "Q<sub>10</sub>".

Temperatur yang lebih tinggi akan meningkatkan laju metabolisme hidrokarbon hingga tingkat maksimum, khususnya pada kisaran 30<sup>o</sup> - 40<sup>o</sup>C ke atas, yang menyebabkan toksisitas membran hidrokarbon meningkat (Bossler dan Bartha, 1984 *dalam* Leahy dan Colwell, 1990).

Perbedaan iklim dan cuaca diharapkan akan memiliki populasi mikroorganisme "pemakan" hidrokarbon yang berbeda-beda, yang kemudian disesuaikan dengan temperatur terbuka. Cooney,(1985) *dalam* Leahy dan Colwell (1990), menyatakan bahwa temperatur musim dingin yang rendah merupakan faktor pembatas biodegradasi hidrokarbon poliaromatik dalam sedimen estuaria dan bagi sejumlah jenis hidrokarbon di danau berair tawar.

### c. **Nutrien**

Atlas dan Bartha (1981), mengemukakan bahwa dalam proses biodegradasi kebutuhan nutrisi merupakan hal yang sangat penting untuk mikroba. Keberadaan nutrisi biasanya terbatas di laut terbuka daripada di daerah pantai. Nitrogen adalah merupakan unsur penentu dalam mineralisasi dan penghasil biomassa dalam sintesis protein. Sedangkan fosfor tetap penting untuk memenuhi produksi ATP suatu sel mikroba.

Penambahan hara akan meningkatkan pertumbuhan dan proses degradasi hidrokarbon minyak bumi (Gunalan, 1993). Selanjutnya Feliatra (1996), menyatakan beberapa elemen nutrisi sering sebagai faktor pembatas dalam aktifitas biodegradasi petroleum. Karena elemen tersebut konsentrasinya rendah dalam perairan, terutama pada periode

kuatnya fotosintesa. petroleum mengandung beberapa sel nutrisi, tetapi sering dalam bentuk heterosiklik, atau dalam bentuk organometalik kompleks sehingga tidak bisa digunakan.

Binde dan Boss (1972), mengemukakan kebutuhan akan nitrat untuk pertumbuhan 3,2 mg/l dan fosfat sebanyak 0,6 mg/l. Selanjutnya menurut Atlas dan Bartha (1981), menemukan penambahan 10 m $\mu$ - nitrat dan 0,3 m $\mu$  dapat meningkatkan aktifitas biodegradasi dari 30% menjadi 70%.

#### d. *Salinitas*

Kebutuhan salinitas bagi bakteri laut merupakan suatu faktor yang menentukan pertumbuhan dan perkembangannya, karena konsentrasi kadar garam berhubungan erat dengan proses osmosis yang terjadi pada sel bakteri (Salle, 1966). Namun bakteri laut mempunyai toleransi yang berbeda-beda terhadap kadar garam.

Ajisebutu (1988), mengemukakan bahwa tingginya salinitas dapat mereduksi aksi enzim, pertumbuhan bakteri, dan emulsi petroleum.

Ward dan Brock (1978) dalam Leahy dan Colwell (1990), mengemukakan bahwa laju metabolisme hidrokarbon menurun seiring dengan peningkatan salinitas dalam kisaran 3,3-28,4 ‰ dan memberikan hasil berupa reduksi secara menyeluruh pada laju metabolik mikroba.

#### e. *Nilai pH*

Kebanyakan bakteri laut tumbuh baik pada kisaran pH 7,2 - 7,6. Bartha (1986), menemukan bahwa pada kondisi alkalin memberikan keuntungan untuk pertumbuhan bakteri hidrokarbon.

Verstrate *et al.*, (1976) dalam Leahy dan Colwell (1990), mengemukakan bahwa laju biodegradasi menurun secara signifikan ketika pH meningkat lebih jauh dari 8,5. selanjutnya hambrick *et al.*, (1980) dalam Leahy dan Colwell (1990), menemukan laju mineralisasi mikrobial terhadap oktadekane dan naftalena menjadi turun pada pH 5,0 dibanding dengan pH 6,5. Laju mineralisasi oktadekane meningkat lebih jauh ketika pH naik dari 6,5 hingga 8,0. Sedangkan laju mineralisasi untuk naftalena tidak demikian halnya.

#### f. **Jenis dan Jumlah Mikroorganisme**

Berbagai mikroorganisme yang mampu tumbuh pada minyak bumi telah diisolasi dari lingkungan laut. Mikroorganisme ini mampu mengoksidasi senyawa hidrokarbon. Mikroorganisme tersebut terdiri dari beberapa komunitas mikroba seperti *Pseudomonas*, *Algaligenes*, *micrococcus*, *Corynebacterium*, *Micobacterium*, *Nocardia*, *Penecillium* dan lain - lain.

Menurut Gunalan (1994), bahwa makin tinggi konsentrasi medium inokulasi maka semakin intensif perombakan hidrokarbon yang terjadi. Untuk berlangsungnya biodegradasi konsentrasi minimal 1000 sel/ml medium. Hal ini mensyaratkan mikroba perombak hidrokarbon harus mampu berkembangbiak dalam medium. Dan konsentrasi inokulum  $10^8$  sel/ml medium sudah pasti akan menghasilkan perombakan hidrokarbon.

#### g. **Komposisi dan Konsentrasi Minyak Bumi**

Tingginya biodegradasi petroleum pada suatu ekosistem sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia petroleum tersebut. Petroleum secara normal tersebar, membentuk lapisan tipis, tingkat penyebaran petroleum ditentukan pada permukaan petroleum yang menyediakan tempat untuk koloni mikroba.

Biodegradasi optimal akan berlangsung jika petroleum tersebut dalam bentuk terlarut atau mikroemulsi karena pada kondisi ini dapat memperbesar kontak permukaan antara petroleum dengan air laut yang akan menguntungkan transfer oksigen yang membawa elemen nutrisi untuk perkembangan mikroorganisme (Beatrand *et al*, 1993).

Foster dan Kaster (1963) dalam A. Noor (1994) mengemukakan bahwa fraksi jenuh yang merupakan salah satu komposisi minyak bumi yang mengandung senyawa hidrokarbon n-alkana dilaporkan sebagai fraksi yang sangat mudah mengalami degradasi. Akan tetapi fraksi jenuh yang mengandung alkana rantai bercabang dan sikloalkana sukar diserang oleh mikroorganisme pengurai.

## 2.10 Kromatografi Gas

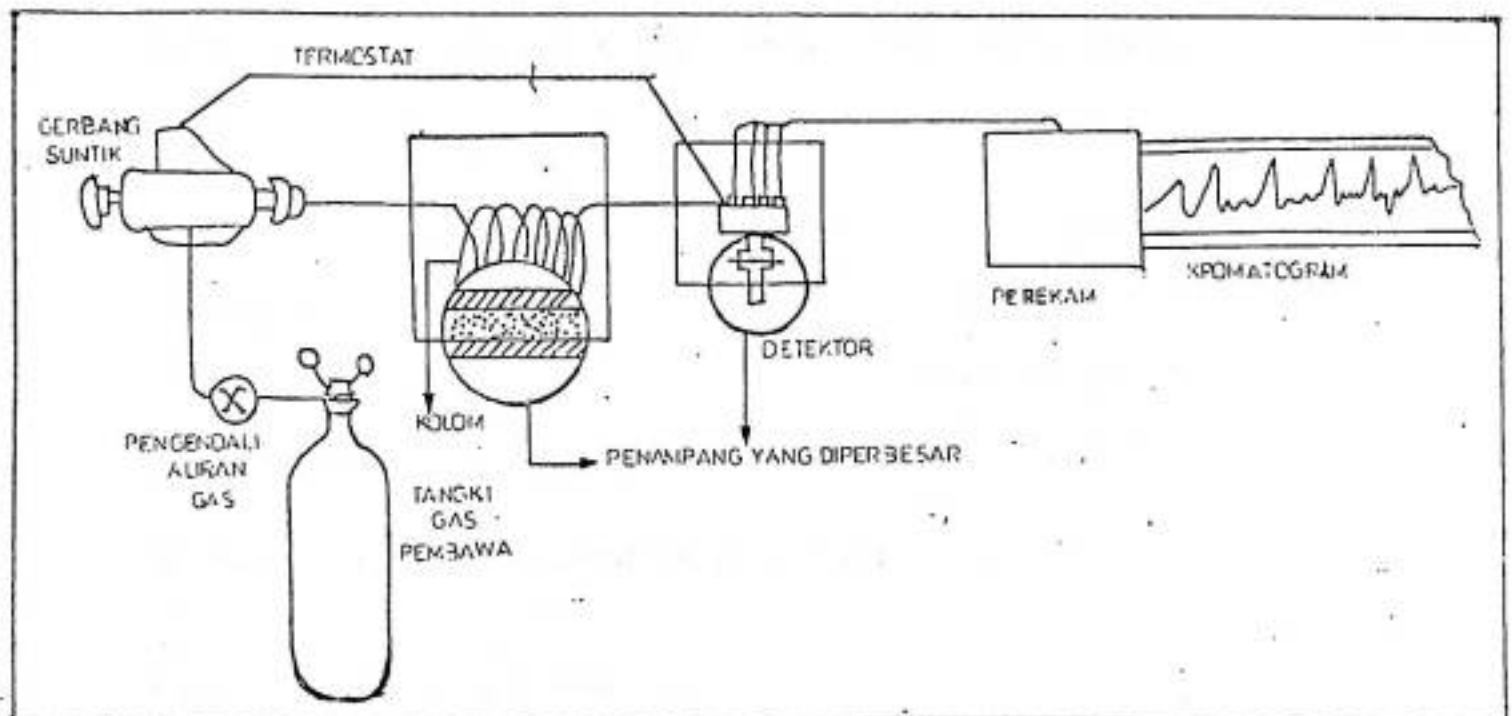
Kromatografi gas berguna pada seleksi hidrokarbon untuk mendeteksi pencemaran minyak. temperatur program kromatografi gas pada paket tersebut beraneka ragam, seperti diantaranya SCOT, PLOT, dan kolom wall-Coated yang dipergunakan pada analisa hidrokarbon dengan rantai karbon 21-23, 25-34, 37, 38, 44-47, 54, 59, 63-68, 70-72, 74-78, dan seterusnya. Kromatografi gas juga dapat berguna untuk menentukan kuantitas hidrokarbon dalam sampel.

Kromatografi gas merupakan suatu cara pemisahan senyawa-senyawa organik secara kuantitatif dan kualitatif. Prinsip pemisahannya adalah mengeluysikan arus gas secara fase gerak dan fase diam yang berbeda. Bila fase diamnya zat padat disebut kromatografi gas padat (KGP) dan fase diamnya gas cair dinamakan kromatografi gas cair (KGC). Prinsip kerja KGP adalah absorpsi (serapan) sedangkan pada KGC prosesnya adalah partisi. Proses pemisahannya dipandang sebagai rangkaian partisi dimana cuplikan yang ke dalam fase cair pada selang beberapa waktu akan teruapkan lagi. Fase gerak pada kromatografi zat cair berupa gas inert,

sedangkan fase diamnya adalah zat cair yang disapukan pada bahan penyangga yang inert

sensitifitas dan resolusi yang tinggi dari kromatografi zat cair, memungkinkan mampu mengidentifikasi senyawa-senyawa normal alkana dalam jumlah yang kecil. Salah satu sifat dari zat contoh yang dimanfaatkan dalam kromatografi gas ialah kelarutan dan sifat volatilnya.

Prinsip kerja KGC yaitu cuplikan diinjeksikan ke dalam injektor. adalah aliran gas dari pengangkut akan membawa cuplikan yang teruapkan masuk ke dalam kolom. Kolom akan memisahkan komponen-komponen dari cuplikan. kemudian komponen-komponen dideteksi oleh detektor menghasilkan sinyal yang dikonfersi oleh rekorder menjadi puncak kromatogram. Komponen campuran dapat diidentifikasi dengan menggunakan waktu retensi ( $t_r$ ). Waktu retensi menunjukkan berapa lama suatu senyawa tertahan dalam kolom. Waktu retensi ini diukur dari jejak recorder pada kromatogram. Skema sistem kromatografi gas sebagai berikut.



**Gambar 1. Bagan Peralatan Kromatografi Gas Cair**

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini berlangsung dari bulan Juni hingga Oktober 1997. Kegiatan yang dilakukan dalam jangka waktu tersebut meliputi: persiapan penelitian, pengambilan sampel, kultur, dan pengujian kapasitas bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon serta analisa data.

Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel yang berlokasi dari perairan sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang, Kotamadya Ujungpandang. Pengerjaan sampel meliputi uji pertumbuhan bakteri dan ekstraksi dilakukan di laboratorium Bioteknologi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin. Sedangkan analisis kualitatif dengan kromatografi gas dari fraksi hidrokarbon dilakukan di laboratorium Kimia Organik Sintesa, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat - Alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

###### A. *Peralatan Sampling*

- Botol Sampel
- Rak botol sampel
- Water Quality Checker
- Tustel
- Grap sample
- Kompas
- Ember (wadah)
- Pendingin (Termos)

###### B. *Peralatan Untuk Analisa Laboratorium*

###### \* *Kultur dan pembiakan mikroba*

- Gelas Piala
- Corong kaca



- Gelas ukur
- Tabung reaksi
- Cawan petri
- Object glass
- Enkass
- Autoklaf
- Oven
- Jarum Ose
- Sendok zat
- Steerer + magnetik
- Alat pemanas (plat listrik)
- Pipet ukur
- Botol Penicilin
- Spoit + Jarum
- Deck glass
- Mikroskop
- Gunting (pemotong)
- Bunsen
- Spatula
- Shaker
- Neraca
- Desikator

\* *Pengamatan pertumbuhan*

- Seperangkat alat spektrofotometer (Milton Roy Spectronic 1201)

**C. Peralatan untuk Analisis Kimia**

\* *Ekstraksi*

- Gelas piala
- Gelas ukur
- Corong kaca
- Pipet ukur
- Corong buchner
- Suction
- Corong pisah
- Elektromentel
- Pipet tetes
- Batang pengaduk
- Erlenmeyer
- Rotavapor Buchii R-144
- Pompa vakum
- Botol sampel
- Kondensor spiral (ball)

\* *Kromatografi*

- Erlenmeyer
- Botol sampel
- Stasis
- Gelas ukur

- Pipet ukur
- Pinset
- Rotavapor
- Seperangkat alat kromatografi gas

### 3.2.2 Bahan - Bahan Yang Digunakan

#### \* Kelengkapan

- Kapas
- Kain kasa
- Tissue
- Kertas keli
- Karet gelang
- Kertas pH
- Aluminium foil
- Alkohol
- Aquades
- Kertas saring
- Isolasi
- Kertas semilog

#### \* Zat - Zat Kimia

- NaOH 10 N (p.a)
- Chloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) (p.a)
- Kalium hidroksida (KOH) (p.a)
- Tris (Hydroksi methyl-Aminomethane)
- Metanol (Me OH) (p.a)
- NaCl (p.a)
- KCl (p.a)
- $\text{MgSO}_4$  (p.a)
- $\text{MgCl}_2$  (p.a)
- Aquades
- Alkohol 70%
- N-Heksana ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) (p.a)
- Silika gel 70-230 mesh (p.a)
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  (p.a)
- Aseton ( $\text{CH}_3\text{COOH}_3$ ) (p.a)
- Ferro sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) (p.a)
- Kalium pospat ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) (p.a)
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (p.a)
- $\text{NH}_4\text{Cl}$  (p.a)
- HCl 10 N (p.a)
- Bactopeptone (Difco)
- Ekstrak ragi (Difco)
- Bakto agar (Difco)
- Glass Wall
- Spritus

\* *Substrat*

- Petroleum (Jenis Sahara, Handil, dan X)

### **3.3 Prosedur Kerja**

#### **3.3.1. Metode Sampling**

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara visual dengan melihat sejumlah genangan limbah hidrokarbon pada permukaan perairan serta didasarkan pada kondisi oseanografi perairan. Sampel diambil pada 2 titik stasiun (dapat dilihat pada lampiran peta lokasi). Untuk pengambilan sampel sedimen (permukaan) digunakan alat "Grab sample" dengan kedalaman dari permukaan dasar berkisar kurang lebih 1 - 4 cm. Sedangkan untuk sampel air menggunakan alat "Cammerer Water Sample". Masing-masing sampel dimasukkan dalam botol steril. Setelah sampling, sampel disimpan pada suhu 4°C untuk menjaga kestabilan mikroba. Selanjutnya dianalisis di Laboratorium. Pada pengambilan sampel dilakukan pula pencatatan kondisi fisik dan kimiawi sebagai data penunjang diantaranya suhu, pH, warna dan bau dari sedimen, serta salinitas.

#### **3.3.2 Sterilisasi Alat**

Alat-alat yang terbuat dari gelas, kaca, dan bahan-bahan kelengkapan seperti kapas, kertas, disterilkan dengan menggunakan oven pada suhu 180°C dengan tekanan 4 Atm. Sterilisasi media dilakukan dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 2 Atm selama 15 menit. Sedangkan peralatan lainnya seperti botol sampel dicuci dan dibilas dengan alkohol 70 %.

**3.3.3 Pembuatan Air Laut Sintetik (ALS) dengan pH dan salinitas yang mendekati perairan Indonesia, yang terdiri dari sejumlah zat kimia sebagai berikut : (Husain et al, 1997).**

- NaCl	27 g/l	- MgCl <sub>2</sub>	5,08 g/l
- KCl	0,75 g/l	- CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1,47 g/l
- MgSO <sub>4</sub>	3,91 g/l	- NH <sub>4</sub> Cl	3,74 g/l
- Tris (Hydroksi methyl-aminomethane)			6,05 g/l

Atur pH ALS mendekati 7,8

**3.3.4 Pembuatan Media Agar dengan menggunakan zat kimia sebagai berikut :**

- Bactopepton	5 g/l	-Baktoagar	20 g/l
- Ekstrak Ragi	5 gr/l	-ALS	1 liter

**3.3.5 Pembuatan Larutan FeSO<sub>4</sub> dan PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>**

- FeSO <sub>4</sub>	0,02 g/l	- Aquades	1 liter
- K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,036 g/l		

**3.3.6 Teknik Penanaman Bakteri**

**A. Tahap prekultur**

- 1 gram sedimen disuspensikan ke dalam 10 ml ALS steril dan dikocok hingga homogen. Demikian halnya untuk 1 ml sampel air disuspensikan ke dalam 9 ml ALS steril.
- Ke dalam masing-masing erlenmeyer yang telah berisi ALS 100 ml ditambahkan larutan FeSO<sub>4</sub> dan K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> yang masing-masing berturut-turut sebanyak 0,2 ml dan 0,4 ml. Selanjutnya ke dalam media tersebut diinokulasikan 1 ml suspensi sedimen dan 1 ml hidrokarbon (petroleum) sebagai substrat. Setelah itu media prekultur tersebut dikocok secara

kontinyu dengan menggunakan alat pengocok. Selanjutnya diinokulasikan pada suhu 30°C - 32°C.

### **B. Tahap Kultur**

- Ke dalam masing-masing erlenmeyer yang telah berisi media ALS 100 ml ditambahkan larutan  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  dengan perbandingan 0,2 ml : 0,4 ml. Selanjutnya ke dalam masing-masing media tersebut diinokulasikan 1 ml suspensi mikroba yang diperoleh dari media prekultur dan ditambahkan pula 1 ml hidrokarbon (petroleum), lalu dihomogenkan kurang lebih 15 menit. Pertumbuhan diukur dengan spektrofotometer pada  $\lambda = 610 \text{ nm}$  dengan mengambil  $\pm 3 \text{ ml}$  media kultur sebagai pengamatan awal ( $T_0$ ). Bersamaan itu pula dilakukan penggoresan di atas cawan untuk mengetahui morfologi pertumbuhan bakteri. Pengukuran dan penggoresan dilakukan secara berulang setiap interval waktu pengamatan berdasarkan tingkat kekeruhan. Adapun media kultur selama inkubasi berlangsung, dikocok secara kontinyu dengan menggunakan alat pengocok "shaker".
- Bersamaan dengan tahap pengkulturan secara terpisah dibuat kultur lain untuk pengujian kapasitas biodegradasi.

### **3.3.7 Analisis Biodegradasi Petroleum Berdasarkan Uji Kuantitatif dan Uji Kualitatif**

#### **A. Analisis Biodegradasi Petroleum Secara Kuantitatif dengan metode Ekstrasi.**

- Timbangan sampel (kultur) sebelum diekstraksi sebanyak 25 ml.
- Sampel ditambahkan dengan  $\text{CHCl}_3$  dan  $\text{MeOH} - \text{KOH} 0,5 \text{ N}$  sebanyak 50 ml.
- Sampel direfluks selama 4 - 5 jam, kemudian didinginkan.
- Selanjutnya sampel yang telah direfluks disaring dengan menggunakan corong buchner.

- Selanjutnya filtrat dipisahkan dengan corong pisah sebanyak 3 kali (pada penyaringan kedua dan ketiga ditambahkan kloroform sebanyak 10 ml).
- Filtrat ditambahkan dengan  $MgSO_4$  dan disimpan selama 1 malam.
- Filtrat dievaporasi dengan rotavapor hingga kering lalu ditimbang beratnya.
- Sebelum dilakukan analisa kualitatif terlebih dahulu dilakukan pemisahan fraksi hidrokarbon dengan kolom fraksinasi.

***B. Analisis Biodegradasi Petroleum Secara Kualitatif Dilakukan dengan Menggunakan Kromatografi Gas.***

- Setelah sampel dipisahkan berdasarkan fraksi hidrokarbon yang dikandungnya, selanjutnya diinjeksi ke dalam kromatografi gas.

### **3.4 Analisa Data**

Nilai absorbansi dari hasil pengukuran spektrofotometer diplot pada kertas semilog (grafik) dalam bentuk kurva pertumbuhan. Sehingga dapat diketahui bentuk pertumbuhan dari setiap inokulum bakteri serta efektifitas bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon.

Presentase degradasi dari senyawa hidrokarban diperoleh dari hasil pengurangan substrat pada awal inkubasi dan setelah akhir inkubasi melalui proses ekstraksi.

Sedangkan hasil analisis kromatografi gas diperoleh berupa data kromatogram dalam bentuk "pik". Selanjutnya berdasarkan kromatogram perbandingan dapat diinterpretasikan pemutusan rantai karbon selama inkubasi berlangsung.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini sampel yang akan diteliti diperoleh dari perairan pelabuhan Pertamina Ujungpandang. Sebagaimana diketahui bahwa pelabuhan Pertamina Ujungpandang merupakan salah satu tempat aktifitas bongkar muat minyak bumi khususnya bagi kapal tanker. Disamping itu pelabuhan Pertamina Ujungpandang masih berada dalam area pelabuhan bongkar muat yang ramai akan lalu lintas pelayaran baik kapal barang maupun kapal penumpang, yang mana aktifitas ini secara langsung maupun tak langsung akan menghasilkan limbah yang mengandung senyawa hidrokarbon yang dapat mencemari lingkungan perairan.

Pada saat survey lapangan nampak bahwa lokasi pengambilan sampel nampak secara umum bersih, meskipun masih terlihat genangan berupa lapisan minyak yang mengapung pada permukaan air. Mungkin ini disebabkan oleh pola serta kecepatan arus yang kuat. Sedang pada permukaan dasar laut nampak sedimennya berupa lumpur yang berwarna hitam dengan bau menyengat (berbau sulfur). Namun hal ini tidak menjamin bahwa daerah ini belum mengalami suatu pencemaran.

Lemigas dan Cnexco (1982), menyatakan bahwa selat Makassar sangat potensial menerima sejumlah tumpahan minyak bumi. Hal ini dikarenakan ramainya lalu lintas transportasi minyak bumi oleh kapal-kapal tanker yang secara rutin (sekitar 100 - 150 kapal perbulannya) melewati perairan tersebut dengan muatan minyak kira-kira  $\pm 700.000$  ton.

Dengan terdapatnya lapisan minyak yang tersebar dipermukaan perairan pada kondisi tertentu dalam jumlah yang cukup banyak, cepat atau lambat akan terendapkan ke dasar perairan. Selanjutnya oleh aktifitas oseanografi yang cukup kuat maupun proses-proses lain tentunya akan

mempercepat laju pengendapan dari senyawa hidrokarbon tersebut ke dasar laut.

## **4.2 Petroleum Sebagai Sumber Karbon**

Pada penelitian ini telah dicobakan sejumlah jenis petroleum yang terdiri dari petroleum jenis Sahara, jenis Handil dan jenis X. komposisi dari ketiga jenis petroleum yang ditambahkan tidak diketahui secara pasti, namun secara visual nampak bahwa kandungan rantai karbon polisiklik yang dimiliki dapat menjadi ukuran perbedaan dari ketiga jenis petroleum diatas. Pada petroleum jenis X nampak viskositas (kekentalnya) lebih besar dibanding dengan kedua jenis petroleum lainnya yang cenderung lebih cair. Sedangkan perbedaan antara petroleum jenis Sahara dan Handil didasarkan akan kandungan rantai polisikliknya yang bersifat volatil. Dimana diketahui petroleum jenis Sahara memiliki rantai polisiklik yang lebih banyak. Ini dapat dibuktikan dengan mudahnya jenis Sahara terbakar bila didekatkan dengan api.

## **4.3 Seleksi dan Pembiakan Mikroba Pendegradasi Hidrokarbon**

Sebagai langkah awal dalam pengujian kapasitas biodegradasi dari bakteri-bakteri yang diperoleh dilakukan beberapa tahap pertumbuhan dan penyeleksian untuk memperoleh biakan populasi bakteri yang benar-benar memiliki kapasitas menguraikan hidrokarbon. Seleksi dan pembiakan dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap prekultur dan tahap kultur.

### ***a. Tahap Prekultur***

Tahap prekultur adalah merupakan tahap awal seleksi bakteri pendegradasi yang diperoleh dari sampel (air dan sedimen). Prekultur dilakukan mengingat pada pengambilan sampel kemungkinan terjadinya kontaminasi dengan udara luar dan air itu sendiri berpeluang bahwa bakteri



yang diperoleh dari sampel belum dapat dipastikan dengan jelas bahwa bakteri tersebut adalah bakteri pendegradasi hidrokarbon minyak bumi. Oleh karena itu sampel yang didapatkan terlebih dahulu ditumbuhkan pada media yang terdiri dari air laut sintetik (ALS), fosfat ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), ferrosulfat ( $\text{FeSO}_4$ ), dan Petroleum. Pada kondisi ini bakteri akan mengalami tahap penyeleksian, yang mana diharapkan hanya bakteri yang benar-benar mampu mendegradasi hidrokarbon yang mampu hidup. Inkubasi yang dilakukan berlangsung antara 4 - 10 hari, tergantung pada jenis petroleum yang digunakan sebagai substrat. Adanya perubahan warna media dari bening menjadi keruh menandakan bahwa bakteri yang dimaksud telah tumbuh dan dapat dipastikan bahwa bakteri tersebut adalah termasuk bakteri pendegradasi hidrokarbon. Dengan demikian tahap prekultur ini lebih dimaksudkan sebagai tahap penyeleksian terhadap bakteri yang akan dibiakan atau akan dijadikan sebagai inokulum.

Pada "prekultur", petroleum berperan sebagai sumber karbon, sedangkan  $\text{PO}_4^{-3}$ , dan  $\text{FeSO}_4$  sebagai sumber nutrisi yang turut mendukung pertumbuhan dari bakteri. Selama inkubasi berlangsung dilakukan pengadukan secara kontinyu dengan menggunakan "shakker". Hal ini untuk menyuplai oksigen dan agar penyebaran petroleum lebih merata. Dengan adanya petroleum yang menyebar secara merata maka ketersediaan petroleum bagi bakteri pun lebih besar.

### ***b. Tahap Kultur***

Pada tahap kultur inokulum bakteri diperoleh dari media "prekultur". Dalam hal ini "prekultur" bertindak sebagai inokulum yang diyakini bakteri-bakterinya memiliki kapasitas dalam menguraikan senyawa-senyawa hidrokarbon. Adapun metode pengujian pada tahap kedua ini relatif sama dengan pengerjaan pada "prekultur". Namun diperoleh bahwa waktu inkubasi/penumbuhan kultur ini relatif lebih cepat, dan proses penguraian

petroleum nampak juga lebih cepat dibanding dengan tahap prekultur. Hal ini kemungkinan disebabkan bahwa pada tahap "prekultur" inokulum bakteri jauh lebih sulit beradaptasi dengan kondisi lingkungan selama inkubasi berlangsung.

#### 4.4 Pertumbuhan Bakteri Pada Substrat Petroleum

Pada media pertumbuhan dengan menggunakan masing-masing jenis petroleum menampakkan adanya perbedaan warna dari masing-masing kultur selama inkubasi. Pada awal pertumbuhan ketiga jenis kultur (Handil, Sahara, dan X) memperlihatkan warna yang sama. Namun setelah beberapa hari berikutnya terjadi perubahan warna yang spesifik untuk setiap stasiunnya dapat dilihat pada (gambar 2, 3, 4, 7, 8, 11, & 12).

##### 4.4.1 Kultur Dengan Substrat Petroleum Jenis Sahara

###### a. Karakteristik Kultur Secara Visual

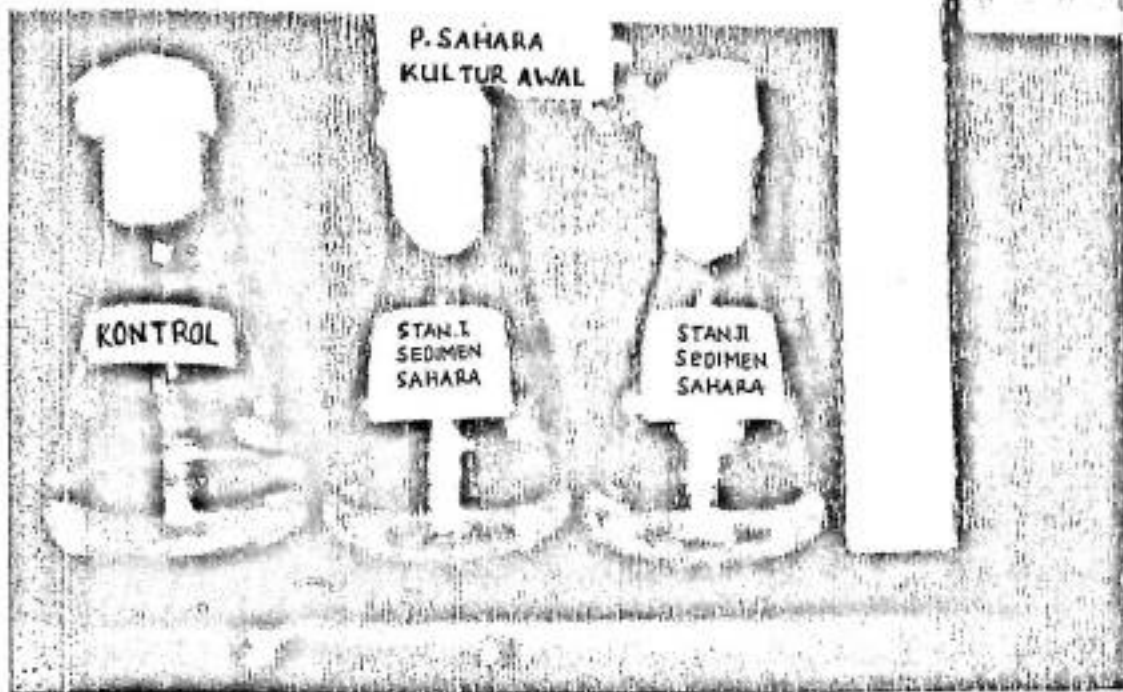
Pada kultur yang ditambahkan dengan substrat petroleum Sahara, nampak setelah beberapa hari inkubasi adanya warna khas seperti diantaranya warna coklat susu, putih keruh, putih keruh, putih susu, dan coklat kemerahan pada kultur dari semua sampel pengamatan (tabel 1).

Tabel 1. Hasil pengamatan (Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis Sahara Selama Inkubasi Pada stasiun 1 dan 2 di Perairan sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

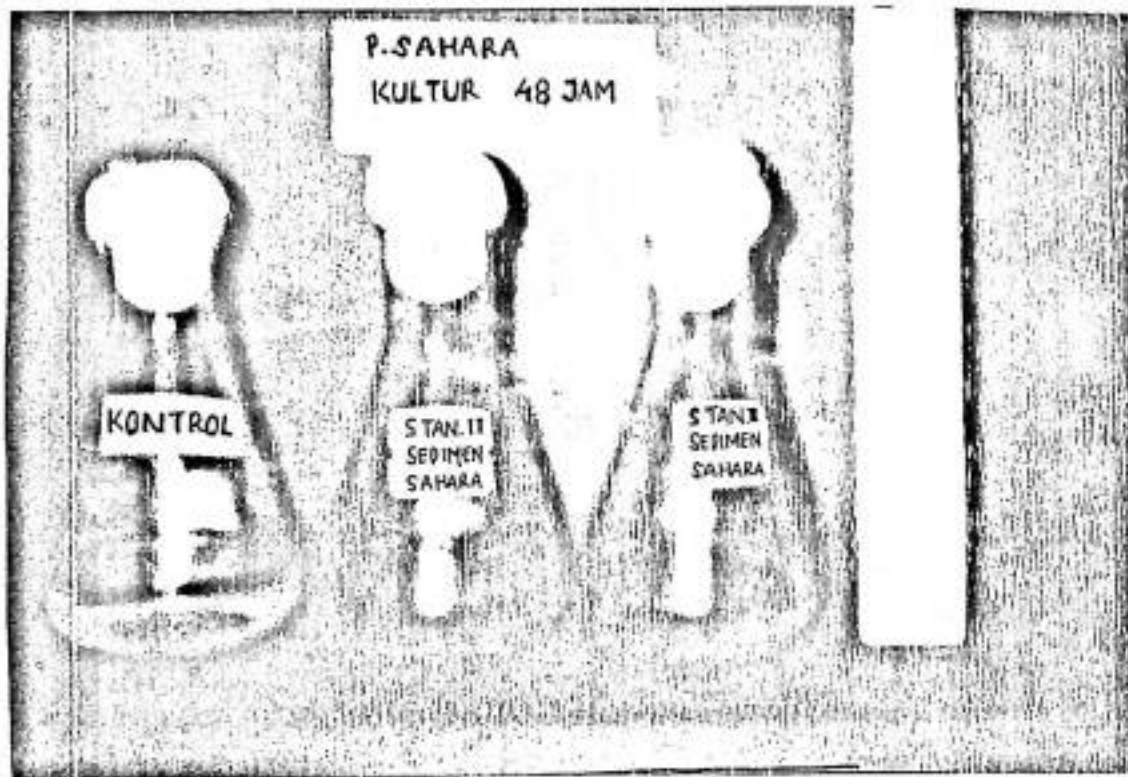
Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan	Petroleum Jenis Sahara
( AWAL )	I	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan
		Sedimen	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan
	II	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan

Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan	Petroleum Jenis Sahara
		Sedimen	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petroleum menyebar dipermukaan
(1 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±60 % / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Putih keruh
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum melekat di dinding tabung
	II	Air	Warna kultur	Putih susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±60 % / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Keruh / kemerahan
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum melekat di dinding tabung
(2 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±55 % / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Putih keruh
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum melekat di dinding tabung bersih
	II	Air	Warna kultur	Putih susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±50 % / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum melekat di dinding tabung
(4 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±45 % / dinding tabung bersih / Petroleum berwarna coklat
		Sedimen	Warna kultur	Putih / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum melekat di dinding tabung bersih
	II	Air	Warna kultur	Putih susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±50 % / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	±70 % / Petrol melekat di dinding tabung

A.



B.

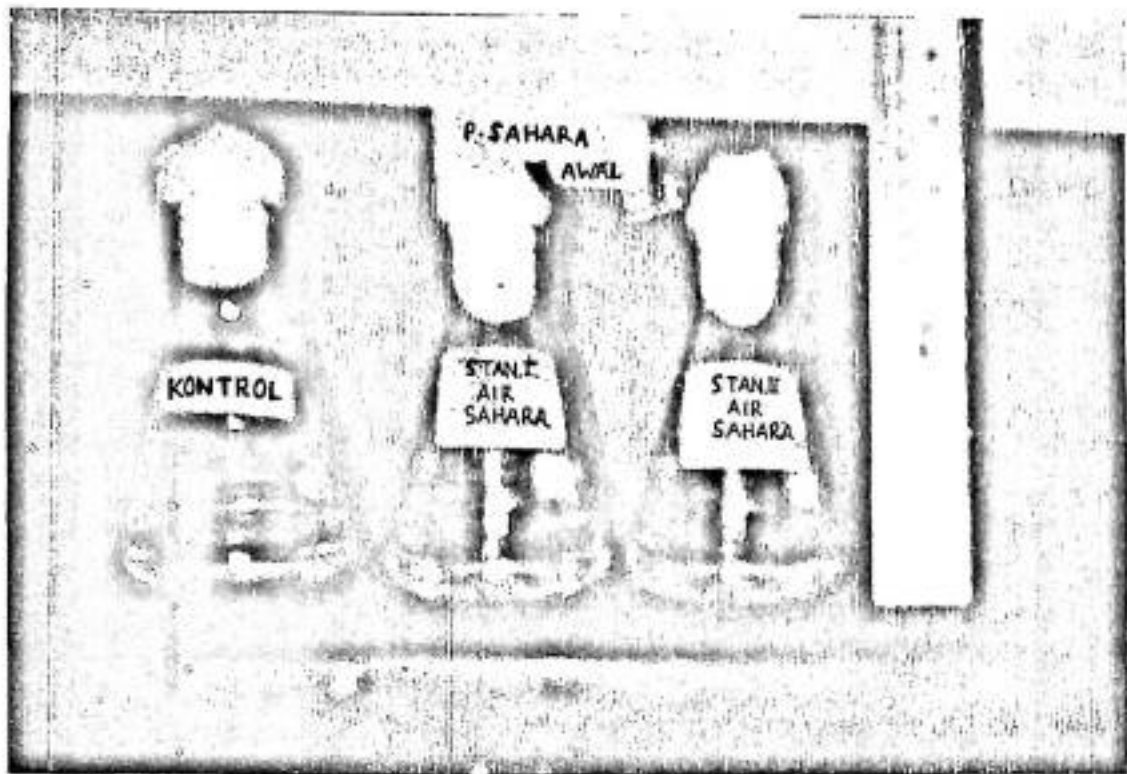


Gambar 2. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi hidrokarbon

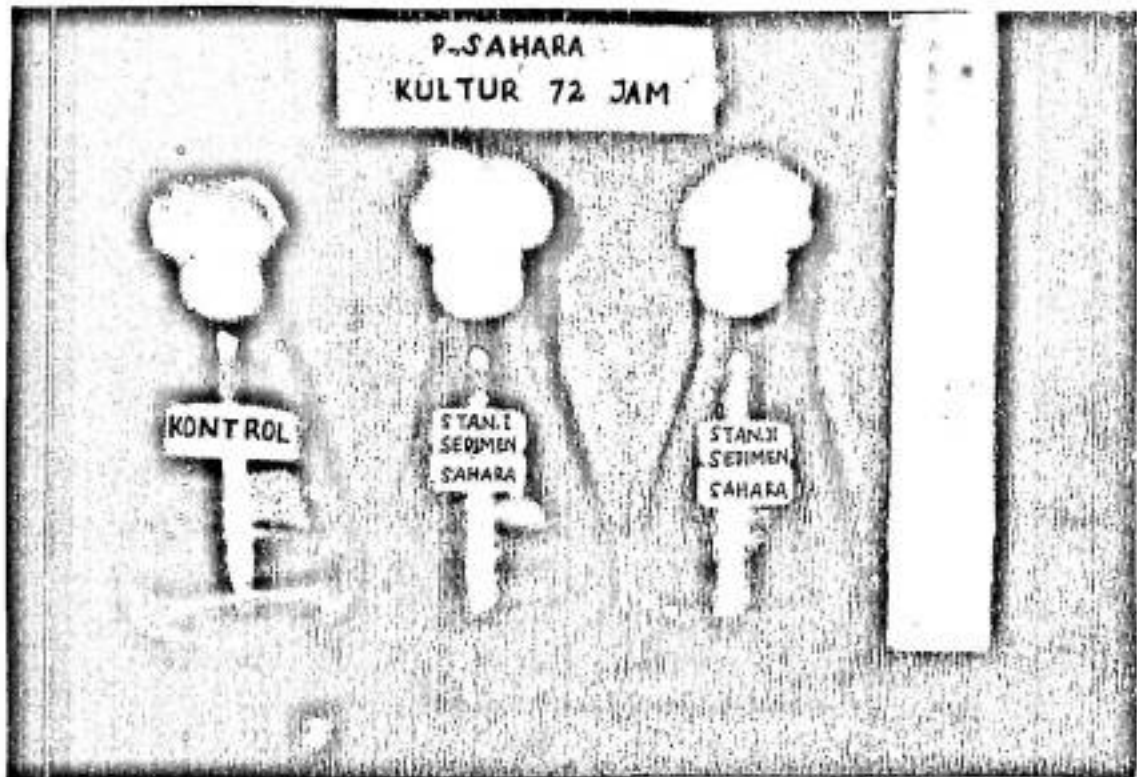
A. Sampel Sedimen pada Saat Pengamatan Awal

B. Sampel Sedimen Setelah Diinkubasi 2 Hari

A.



B.

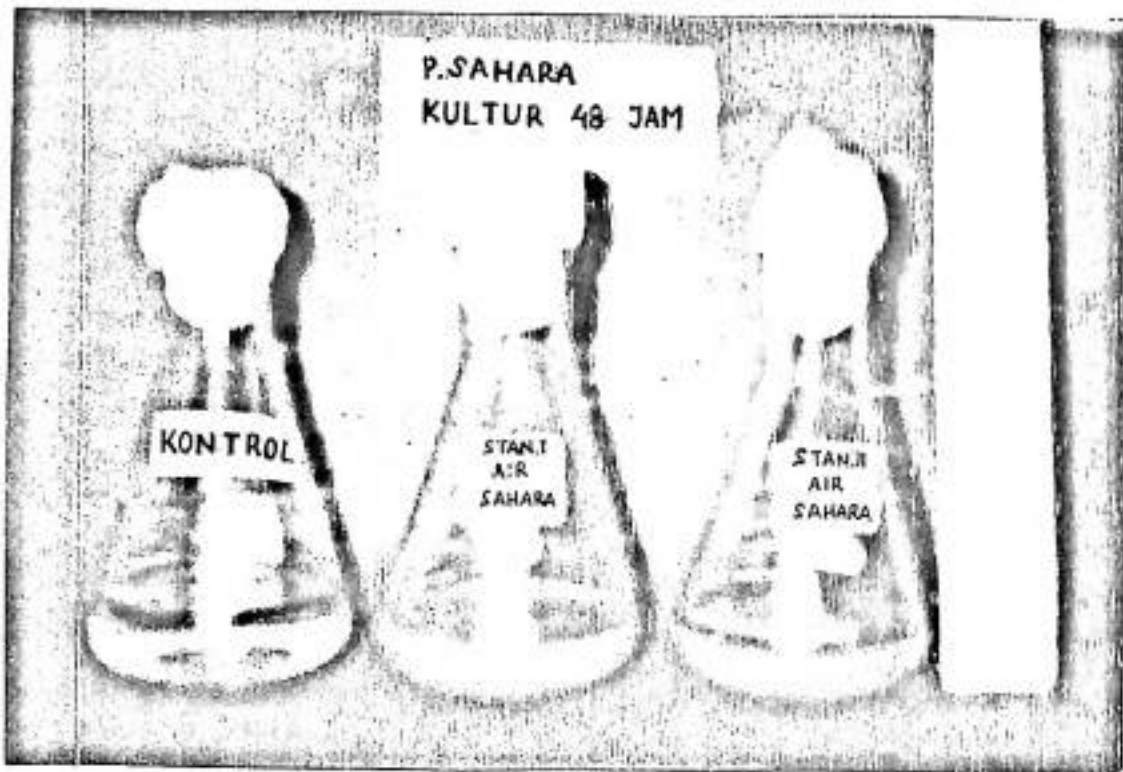


Gambar 3. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi hidrokarbon

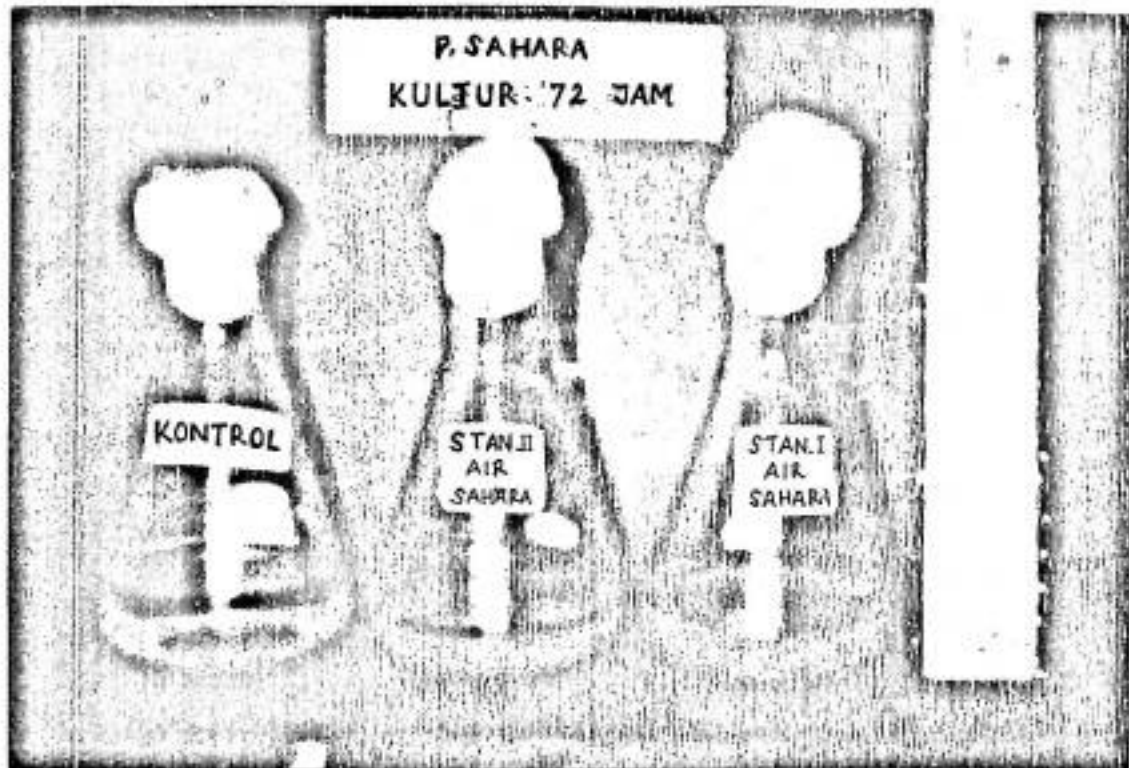
A. Sampel Sedimen Setelah Diinkubasi 3 Hari

B. Sampel Air Pada Saat pengamatan Awal

A.



B.



Gambar 4. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi hidrokarbon

A. Sampel Air Setelah Diinkubasi 2 Hari

B. Sampel Air Setelah Diinkubasi 3 Hari

Tabel 2. Hasil Pengukuran Media Kultur dengan menggunakan Spektrofotometer  $\lambda = 610 \text{ nm}$  dengan Penambahan Petrol Jenis Sahara dari sampel Stasiun 1 & 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs	Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs	
Air 1/UP	T1	09.00/17-08-97	0.048	Air 2/UP	T1	09.00/17-08-97	0.040	
	T2	13.00/17-08-97	0.137		T2	13.00/17-08-97	0.145	
	T3	17.00/17-08-97	0.217		T3	17.00/17-08-97	0.361	
	T4	21.00/17-08-97	0.374		T4	21.00/17-08-97	0.737	
	T5	05.00/18-08-97	0.536		T5	05.00/18-08-97	2.316	
	T6	09.00/18-08-97	0.837		T6	09.00/18-08-97	1.824	
	T7	13.00/18-08-97	1.044		T7	13.00/18-08-97	2.232	
	T8	17.00/18-08-97	1.662		T8	17.00/18-08-97	2.316	
	T9	21.00/18-08-97	2.208		T9	21.00/18-08-97	2.640	
	T10	05.00/19-08-97	2.700		T10	05.00/19-08-97	3.306	
	T11	09.00/20-08-97	2.097		T11	09.00/19-08-97	2.904	
	T12	09.00/20-08-97	1.842		T12	17.00/19-08-97	3.666	
	T13	17.00/20-08-97	2.466		T13	09.00/20-08-97	3.738	
	T14	01.00/21-08-97	3.168		T14	17.00/20-08-97	3.180	
	T15	13.00/21-08-97	2.223		T15	13.00/22-08-97	1.989	
	T16	13.00/22-08-97	2.774		T16	13.00/23-08-97	2.655	
	T17	13.00/23-08-97	2.898		T17	13.00/24-08-97	1.998	
	T18	13.00/26-08-97	2.925		T18	13.00/25-08-97	1.989	
	T19	13.00/29-08-97	3.204		T19	13.00/26-08-97	2.465	
				T20	13.00/26-08-97	2.970		
Sed.1/UP	T1	09.00/17-08-97	0.047	Sed.2/UP	T1	09.00/17-08-97	0.023	
	T2	13.00/17-08-97	0.140		T2	13.00/17-08-97	0.150	
	T3	17.00/17-08-97	0.187		T3	17.00/17-08-97	0.248	
	T4	21.00/17-08-97	0.250		T4	21.00/17-08-97	0.448	
	T5	05.00/18-08-97	0.307		T5	05.00/18-08-97	0.843	
	T6	09.00/18-08-97	0.321		T6	13.00/18-08-97	0.756	
	T7	13.00/18-08-97	0.462		T7	17.00/18-08-97	0.873	
	T8	17.00/18-08-97	0.540		T8	21.00/18-08-97	1.065	
	T9	21.00/18-08-97	0.627		T9	05.00/19-08-97	0.795	
	T10	05.00/19-08-97	0.423		T10	09.00/19-08-97	0.570	
	T11	09.00/19-08-97	0.522		T11	17.00/19-08-97	0.696	
	T12	17.00/19-08-97	0.455		T12	01.00/20-08-97	0.753	
	T13	01.00/20-08-97	0.558		T13	09.00/20-08-97	0.816	
	T14	09.00/20-08-97	0.501		T14	17.00/20-08-97	0.906	
	T15	17.00/20-08-97	0.663		T15	01.00/21-08-97	0.594	
	T16	01.00/21-08-97	0.723		T16	13.00/21-08-97	0.762	
	T17	13.00/21-08-97	0.666		T17	13.00/22-08-97	0.915	
	T18	13.00/22-08-97	0.672		T18	13.00/23-08-97	0.972	
	T19	13.00/23-08-97	0.720		T19	13.00/24-08-97	1.020	
	T20	13.00/24-08-97	0.642		T20	13.00/25-08-97	0.966	
	T21	13.00/25-08-97	0.741		T21	13.00/26-08-97	1.401	
	T22	13.00/26-08-97	0.828					
	T23	13.00/29-08-97	0.975					

Pada kultur dengan sampel sedimen dari stasiun 1 menampakkan perubahan warna yakni pada 1 hari inkubasi warna kultur menjadi putih keruh dengan densitas optik relatif rendah yakni  $\pm 0,321$ . Namun setelah beberapa hari inkubasi tidak nampak lagi perubahan warna yang berarti, hanya nampak adanya peningkatan densitas optik yaitu dari nilai absorbansi  $\pm 0,462$  hingga menjadi  $0,975$ . Sedangkan sampel sedimen dari stasiun 2 pada 1 hari inkubasi telah menampakkan warna kultur keruh kemerahan dengan densitas optik relatif tinggi (pekat) yakni  $\pm 0,843$ . Berbeda halnya pada kultur untuk sampel air dimana dengan waktu inkubasi yang sama menampakkan warna kultur yang menyerupai susu (sangat pekat), yakni pada stasiun 1 berwarna coklat susu sedangkan stasiun 2 berwarna putih susu (Gambar 4a & 4b). Masing-masing dari kultur sampel air untuk stasiun yang sama memiliki densitas optik yang tinggi yaitu pada 1 hari inkubasi untuk stasiun 1 nilai absorbansi  $\pm 0,837$  dan pada stasiun 2 nilai absorbansi  $\pm 1,824$ . Setelah beberapa hari densitas optik terus mengalami peningkatan yakni untuk stasiun 1 menjadi  $\pm 3,204$  dan untuk stasiun 2 menjadi  $\pm 2,970$ .

Secara visual nampak pada kultur sampel sedimen dari stasiun 1 dan 2 adanya sejumlah petroleum melekat pada dinding tabung. Bila dibandingkan antara kedua stasiun tersebut, nampak bahwa kultur dari stasiun 1 jumlah petroleum yang melekat pada dinding tabung jauh lebih banyak dibanding kultur dari stasiun 2 (Gambar 2b dan 3a). Sedang kultur dengan sampel air tidak ditemukan adanya petroleum yang melekat pada dinding tabung. Namun justru pada substrat tersebut petroleum terjadi perubahan warna yaitu pada kultur air dari stasiun 1 petroleum berubah menjadi warna keputih-putihan sedangkan pada stasiun 2 petroleum berubah menjadi warna coklat muda (gambar 4a & 4b). Demikian halnya dengan kecepatan dalam penguraian petroleum secara visual berjalan cepat



dibanding kultur dari sampel sedimen. Hal tersebut dapat saja disebabkan oleh bakteri pengemulsi yang menghasilkan (biosurfaktan) jauh lebih banyak pada kultur dari sampel air.

Biosurfaktan adalah suatu senyawa yang dihasilkan oleh bakteri yang dapat menurunkan tegangan permukaan antara air dan minyak, sehingga memungkinkan proses pencampuran antara keduanya. Husain *et al.*, (1997), mengemukakan bahwa mikroba yang tumbuh pada substrat yang mengandung senyawa hidrokarbon dapat mengekresikan senyawa yang dikenal dengan nama "biosurfaktan".

Peranan dari biosurfaktan dapat diketahui berdasarkan hasil penelitian dari Romibeosari *et al.*,(1984) dalam Austin (1988), yaitu bahwa pertumbuhan bakteri hidrokarbon menyokong produksi biosurfaktan yang dapat mengemulsi substrat. Sedangkan Verschuren dan vischer (1988) dalam Gunalan (1994) mengemukakan bahwa surfaktan dapat meningkatkan keberadaan polutan hidrofobik dalam larutan "aqueous" dan melepaskan ikatan polutan dengan partikel padat. Selanjutnya dikatakan bahwa senyawa ini dapat digunakan pada proses bioremediasi dan bahwa surfaktan dapat bersifat perombak oleh mikroba dan mampu berfungsi sebagai kosubstrat serta meningkatkan perombakan polutan.

Adanya perbedaan bakteri yang diperoleh dalam pengemulsi hidrokarbon pada stasiun 1 dan 2 ini dapat saja terjadi. Hal ini disebabkan pada stasiun 1 adalah merupakan daerah bongkar muat dari sejumlah kapal tanker. Bahwa pada tempat ini rutinitas pembongkaran minyak berlangsung setiap saat. Dengan demikian peluang terjadinya tumpahan minyak dari aktifitas bongkar muat tersebut akan lebih besar pula. Pada stasiun 2 masukan atau tumpahan minyak hanya dapat terjadi pada waktu tertentu, yakni pada saat pencucian tangki-tangki penampungan. Hal ini berarti

intensitas perolehan tumpahan minyak hanya berlangsung secara berkala dengan rentang waktu yang lama.

Bila ditinjau dari keadaan lokasi dan kondisi hidrografis dari kedua stasiun, diketahui bahwa kedua stasiun tersebut memiliki kondisi hidrografis yang relatif sama. Dimana baik kecepatan arus maupun keadaan gelombang tidak jauh berbeda.

Tabel 3. Data Parameter Fisika, Kimia Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Stasiun	Parameter		
	Kimia	Fisika	Lain-lain
I	Salinitas = 30,8 ‰ Konduktiviti = 47,7 ms/cm pH = 7,33	Kec. Arus = 0.167 m/s kedalaman = 15 m	Bau sedimen tajam (mengandung sulfur), warna hitam. Kondisi permukaan bersih lokasi stasiun tidak terlindung
II	Salinitas = 31,8 ‰ Konduktiviti = 48,5 ms/cm pH = 7,06	Kec. Arus = 0.161 m/s kedalaman = 13 m	Bau sedimen tajam (mengandung sulfur), warna hitam. Kondisi permukaan bersih lokasi stasiun tidak terlindung

Disamping itu lokasi pengamatan dari kedua stasiun berada pada lokasi yang tidak terlindung dari adanya sederetan pulau-pulau di depannya.

Collwel dan Leahy (1990), mengemukakan bahwa efek spesifik dari kontaminasi hidrokarbon berpengaruh terhadap komposisi maupun genetik mikroba. Hal mana menunjukkan ketergantungan kuat terhadap lingkungan dan kondisi lokal. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kondisi hidrografis perairan dapat berpengaruh langsung terhadap keberadaan dari komunitas bakteri baik komposisi maupun kapasitas penguraiannya dalam lingkungan perairan. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya bakteri

penghasil surfaktan dan karakteristik yang berbeda yang dimiliki oleh sejumlah komunitas bakteri yang ada pada sampel. Dapat pula dikarenakan adanya komposisi kimia yang berbeda dari kandungan setiap senyawa hidrokarbon minyak bumi yang digunakan sebagai substrat.

Berkaitan dengan komposisi hidrokarbon minyak bumi, menurut Jalaluddin (1993), bahwa minyak bumi merupakan campuran berbagai persenyawaan kimia yang terjadi secara alamiah dan mempunyai susunan kimia yang kompleks. Hidrokarbon minyak bumi dapat berupa gas, cair, dan padat dengan sifat kimia dan fisika yang berbeda satu dengan lainnya. Yang selanjutnya tergantung pada kondisi lapisan geologis tempat minyak bumi berasal. Oleh karena itu jarang dijumpai dua jenis minyak bumi yang mempunyai keseluruhan sifat yang sama.

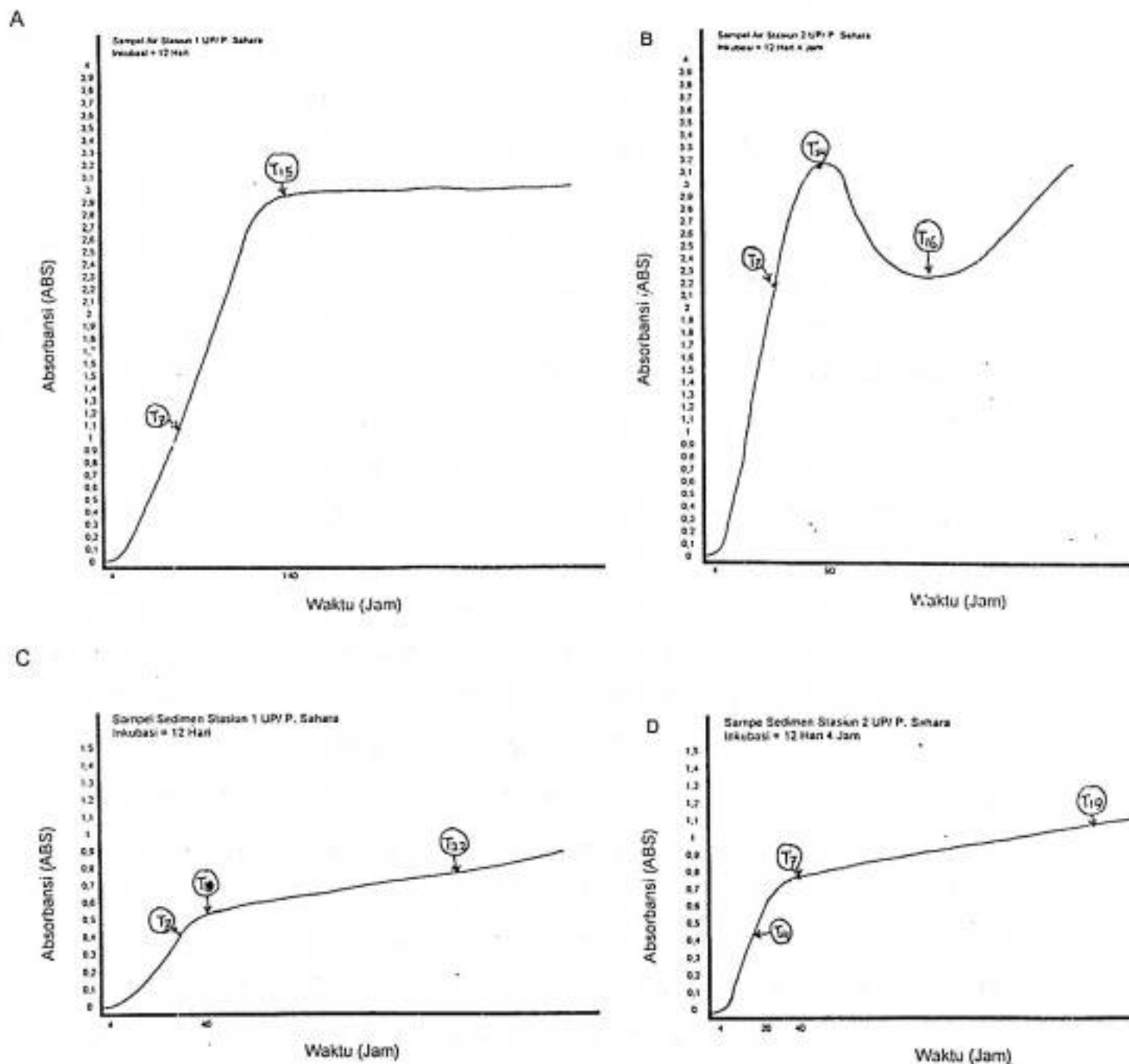
Proses penguraian hidrokarbon minyak bumi berlangsung tidak secara keseluruhan. Bahwa mikroorganisme hanya mendegradasi beberapa jenis senyawa hidrokarbon di dalam minyak bumi dengan urutan sebagai berikut: sebagian atau seluruh senyawa n-alkana, hanya sedikit senyawa alkana dengan rantai bercabang, sikloalkana, dan aromatik dengan jumlah cincin rendah. Begitu pula kecepatan biodegradasi tergantung pada kondisi pertumbuhan mikroorganisme.

#### ***b. Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri***

Dari hasil pengukuran kultur bakteri dengan menggunakan metode spektrometer pada  $\lambda=610$ , diperoleh kurva pertumbuhan yang berbeda untuk setiap stasiun (Gambar 5).

Pengamatan pada sampel air stasiun 1 memberikan kurva pertumbuhan yang terlihat jelas perbedaannya dengan kurva pertumbuhan dari stasiun 2. Dimana bentuk pertumbuhan komunitas bakteri pada stasiun 1 lebih mengikuti kurva pertumbuhan ideal yakni bentuk pertumbuhan sigmoid, yang berarti bahwa komunitas bakteri pada stasiun 1 memiliki kecepatan pertumbuhan yang relatif sama dalam selang waktu tertentu (Gambar 5a). Dari kurva tersebut juga memberi indikasi bahwa pada fase

tersebut pertumbuhan berimbang antara tingkat kematian dan tingkat pertumbuhan dari inokulum bakteri.



Gambar 5. Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri Pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara Dari Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

- A. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- B. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- C. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- D. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Kurva pertumbuhan pada sampel air dari stasiun 2 terlihat adanya garis cekungan yang terjadi setelah fase perlambatan, yang secara teoritis seharusnya fase setelah fase perlambatan (akhir fase eksponensial) adalah fase stasioner. Namun yang terjadi justru pada fase stasioner terjadi cekungan (Gambar 5b). Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa faktor yang kemungkinan terjadi selama proses pengkulturan, diantaranya terjadinya defisit oksigen maupun nutrisi sehingga otomatis dapat menyebabkan terjadi kematian atau penurunan pertumbuhan secara drastis. Disamping itu dapat pula disebabkan adanya bakteri yang menghasilkan produk metabolik yang bersifat toksik bagi populasi bakteri lainnya. Substansi ini memungkinkan pula represi terhadap kerja sistem sintesis enzim, mengakibatkan berhentinya transkripsi kode genetik dari gen-gen tertentu sehingga pembentukan enzim baru terhenti sama sekali. Selanjutnya dapat pula disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan seperti perubahan pH yang tajam sebagai akibat hasil metabolisme sel (Schlegel, 1994). Kemudian kurva tersebut terlihat adanya kenaikan pertumbuhan bakteri setelah mengalami kematian yang sangat drastis, hal ini dapat dikarenakan adanya pemanfaatan nutrisi baru yang mampu diinduksi oleh enzim baru yang mampu merombak sel bakteri yang telah mati.

Hasil pengukuran kurva pertumbuhan untuk sampel sedimen dari stasiun 1 dan 2 ada kecenderungan mirip satu sama lainnya (Gambar 5c & 5d). Dimana diperoleh kurva pertumbuhan tidak nampak fase stasioner melainkan fase linear. Adanya pemunculan fase pertumbuhan semacam ini telah dibuktikan oleh beberapa ahli (Husain *et al.*, 1997). Selanjutnya dijelaskan pula bahwa diperolehnya bentuk kurva pertumbuhan dengan fase linear dapat dikarenakan masih tersedia cukup substrat yang memungkinkan untuk tumbuh setelah terlebih dahulu mengalami fase perlambatan yang disebabkan oleh berbagai faktor penghambat pertumbuhan. Namun secara rasio perbandingan nilai pembelahan sel lebih dominan dibanding sel yang mengalami kematian.

Pengamatan densiti optik (DO) dari stasiun 1 dan 2 diperoleh nilai yang relatif sama dan cukup tinggi. Hal ini memberikan gambaran akan tingginya kepadatan pada komunitas bakteri dari setiap stasiun. Sampel sedimen dari stasiun 2 mengalami pencapaian fase perlambatan (fase akhir eksponensial) jauh lebih cepat dibanding sampel lainnya (Gambar 5). Dimana dengan waktu yang relatif singkat yakni 40 jam telah mengalami fase perlambatan dibanding sampel lainnya yang relatif lebih lama. Ini dapat diprediksikan bahwa stasiun 2 sedimen lebih efektif dalam proses degradasi senyawa hidrokarbon. Pada fase perlambatan ini dianggap proses pertumbuhan sudah mulai stabil atau sedikit terhambat dikarenakan berkurangnya sumber nutrisi defisit sumber karbon yang dapat digunakan oleh bakteri untuk proses pertumbuhannya. Meskipun demikian walaupun secara visual petroleum masih ada, namun ini bergantung kembali pada kemampuan bakteri untuk menguraikan hidrokarbon yang masih tersisa. Sebagaimana diketahui bahwa tidak semua komponen petroleum hidrokarbon mampu diuraikan secara sempurna oleh bakteri pendegradasi hidrokarbon.

### *c. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif*

Jumlah hidrokarbon petroleum yang habis terdegradasi oleh bakteri pendegradasi hidrokarbon setelah 15 hari dapat dilihat pada tabel 4. Dari hasil ekstraksi diperoleh berat ekstrak bahan organik (EBO) bervariasi tiap stasiunnya.

Tabel 4. Hasil Analisis Biodegradasi (Kuantitatif) Petroleum Jenis Sahara dari sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Stasiun	Sampel	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Persentase Biodegradasi
I	Air	0.87	0.51	41.37 %
	Sedimen	0.87	0.62	28.37 %
II	Air	0.87	0.49	43.67 %
	Sedimen	0.87	0.52	40.23 %

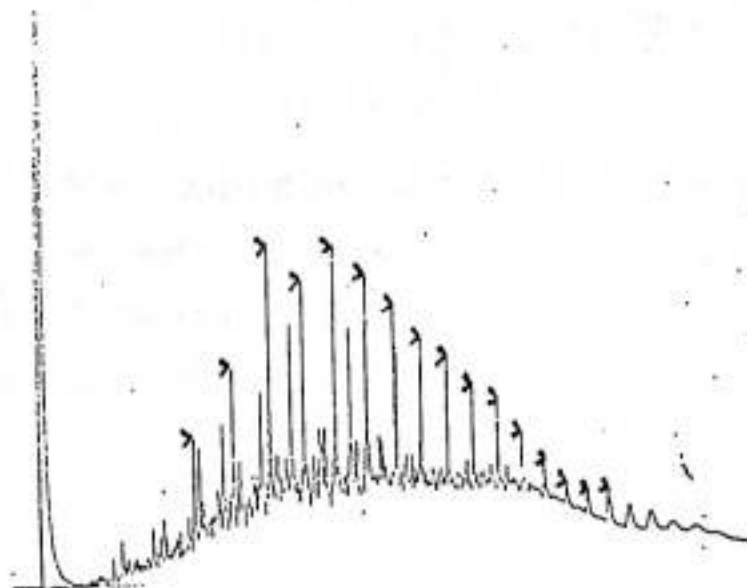
Pada sampel air dari stasiun 1 diperoleh presentase biodegradasi sebesar 41,37% Demikian halnya pada stasiun 2 diperoleh presentase biodegradasi yang relatif sama yakni sebesar 43,67%. Sedangkan pada sampel sedimen dari stasiun 1 terdapat perbedaan nilai yang menonjol yakni pada stasiun 1 presentase biodegradasi sebesar 28,67% sedangkan stasiun 2 sebesar 40,23%. Adapun perbedaan perolehan nilai persentase biodegradasi dapat saja disebabkan oleh kapasitas mikroba yang berbeda. Begitu pula dari cara mengemulsi hidrokarbon dan hal tersebut telah dijelaskan sebelumnya pada pengamatan secara visual di depan.

Ekstrak yang diperoleh dalam bentuk residu dilanjutkan dengan analisis kromatografi fase gas cair. Namun sebelumnya terlebih dahulu dilewatkan pada kolom fraksinasi untuk memisahkan fraksi alkana dan aromatik. Namun pemisahan tersebut diambil hanya dari fraksi alkana saja. Hal ini mengingat alat yang digunakan hanya dapat mendeteksi fraksi rantai karbon alkana saja.

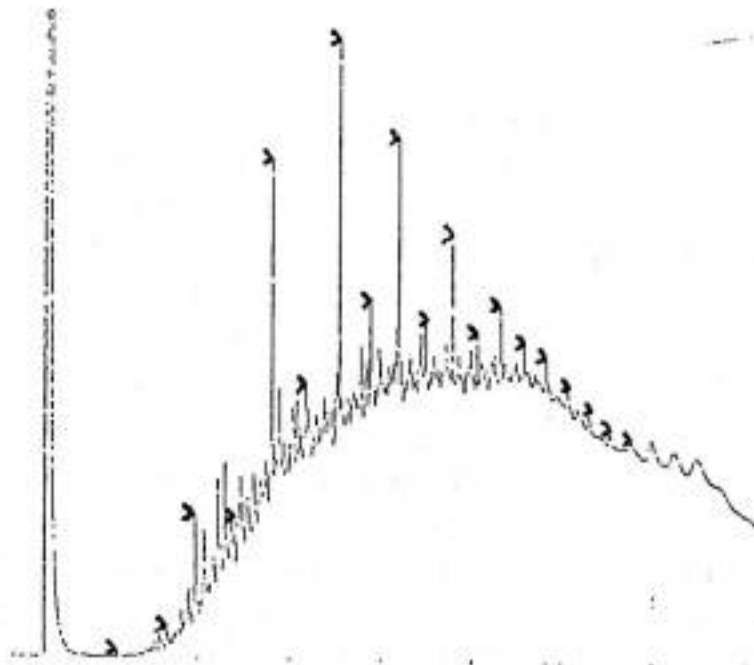
#### ***d. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas***

Hasil ekstraksi bahan organik yang diperoleh selanjutnya diinjeksikan masuk ke dalam kromatografi gas. Untuk hal tersebut kami memilih sampel el air stasiun 1 dan 2. Hasil kromatogram yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 6.

A.

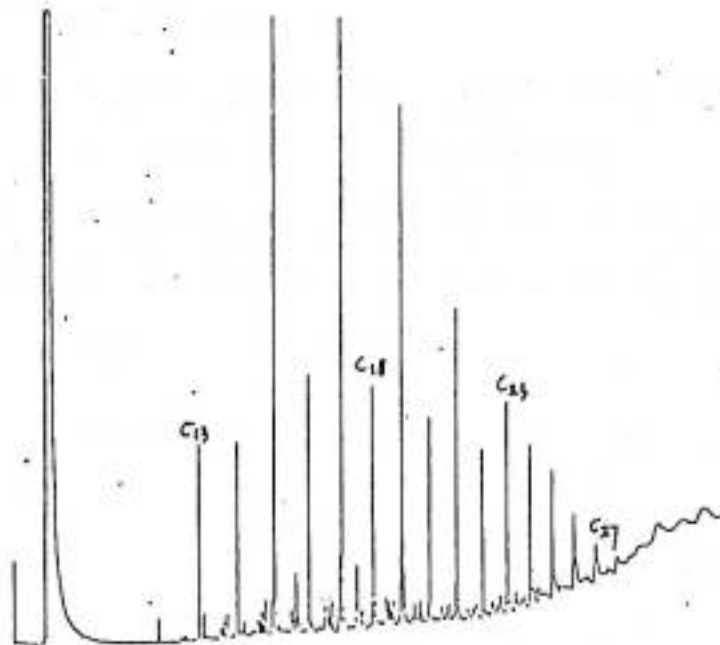


B



Ket : ➤ : Mengalami pemutusan

C.



Gambar 6. Kromatogram dengan Substrat Petroleum Jenis Sahara

A. Sampel Air Stasiun 1

B. Sampel Air Stasiun 2

C. Kontrol Substrat Jenis Sahara



Bila dibandingkan dengan kromatogram dari kontrol untuk jenis Sahara menunjukkan bahwa komunitas bakteri yang berasal sampel air stasiun 1 mampu memutuskan semua rantai karbon alkana yang terdeteksi. Berdasarkan kromatogram tersebut terlihat bahwa pemutusan dimulai dari rantai karbon C<sub>12</sub> hingga C<sub>29</sub>. Sedangkan sampel air dari stasiun 2, pemutusan rantai karbon berlangsung pada C<sub>13</sub> hingga C<sub>27</sub>. Terdapatnya pemutusan pada seluruh rantai karbon alkana dapat disebabkan oleh kapasitas yang sama dari populasi bakteri pada kedua stasiun, baik stasiun 1 maupun stasiun 2. Hal ini khususnya nampak dalam penyerangan dan pemutusan rantai karbon. Meskipun nampak bahwa sampel air stasiun 1 kapasitas biodegradasi dari populasi-populasi bakterinya lebih kuat. Hal ini terlihat dari kemampuan bakteri pendegradasi untuk dapat memutuskan hingga pada rantai karbon C<sub>29</sub>. Dengan kata lain komposisi senyawa-senyawa hidrokarbon yang terdapat pada substrat jenis Sahara, khususnya fraksi alkananya mampu diputuskan secara keseluruhan.

#### 4.4.2 Kultur Dengan Substrat Petroleum Jenis Handil

##### a. Karakteristik kultur secara visual

Pada kultur dengan substrat handil setelah beberapa hari inkubasi menunjukkan pula warna-warna yang spesifik (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil pengamatan (Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis Handil Selama Inkubasi Pada stasiun 1 dan 2 di Perairan sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan	Petroleum Jenis Sahara
(AWAL)	I	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan
		Sedimen	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan
	II	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petrol menyebar dipermukaan
		Sedimen	Warna kultur	Bening

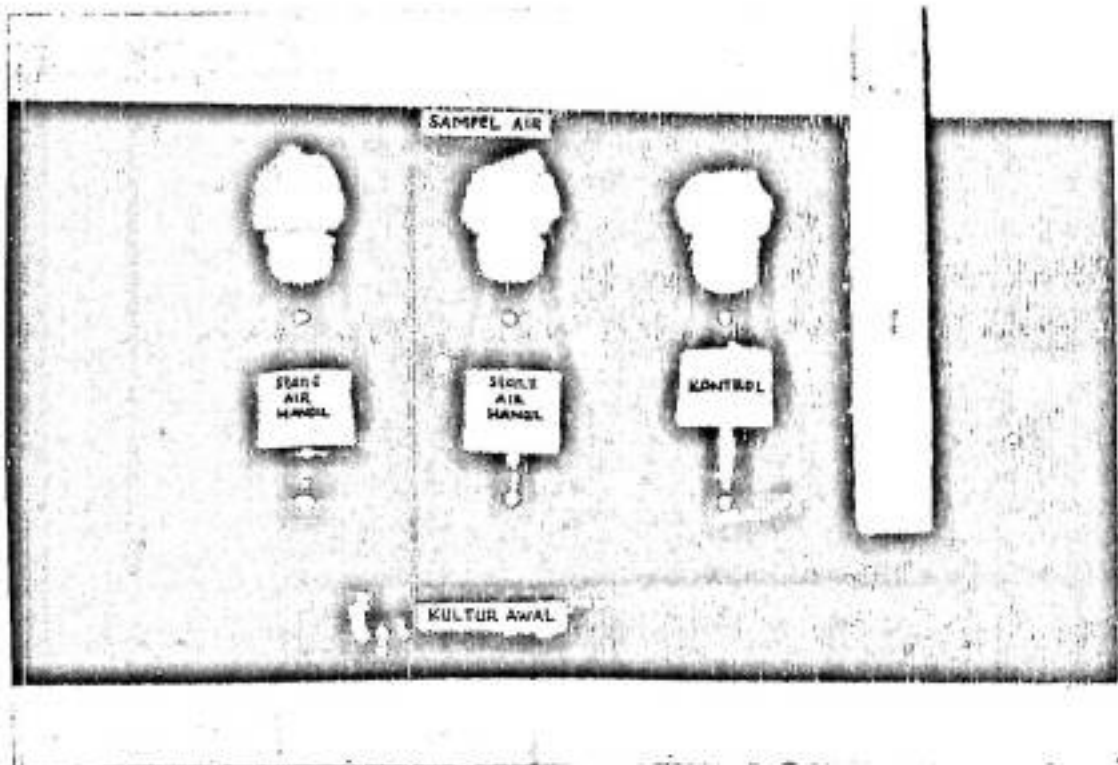
Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan	Petroleum Jenis Sahara
			Jumlah Petroleum	$\pm 100\%$ / Petrol menyebar dipermukaan
(1 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 60\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 70\%$ / dinding tabung bersih
	II	Air	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 75\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 75\%$ / dinding tabung buram
(2 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 50\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 65\%$ / dinding tabung bersih
	II	Air	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 70\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 70\%$ / dinding tabung buram
(4 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat susu / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 45\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 60\%$ / dinding tabung bersih
	II	Air	Warna kultur	Kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 65\%$ / dinding tabung bersih
		Sedimen	Warna kultur	Coklat kemerahan / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	$\pm 50\%$ / dinding tabung buram

Warna media pertumbuhan yang menonjol diantaranya sampel air dari stasiun 1 nampak warna media coklat susu dengan nilai DO lebih besar yakni  $\pm 2,961$ . Sedangkan untuk sampel air stasiun 2 diperoleh warna kultur coklat dengan nilai DO yang cenderung meningkat dari  $\pm 1,542$  ke  $\pm 2,196$ . Demikian halnya pada sampel sedimen dari stasiun 1, dimana warna media adalah kemerahan dengan nilai DO yang relatif kecil yakni sebesar  $\pm 2,136$ . Sedangkan untuk sampel sedimen stasiun 2 diperoleh warna kultur coklat dengan nilai DO sangat besar yakni  $\pm 5,103$ . Adanya perubahan warna kultur dapat dilihat pada gambar 7 & 8.

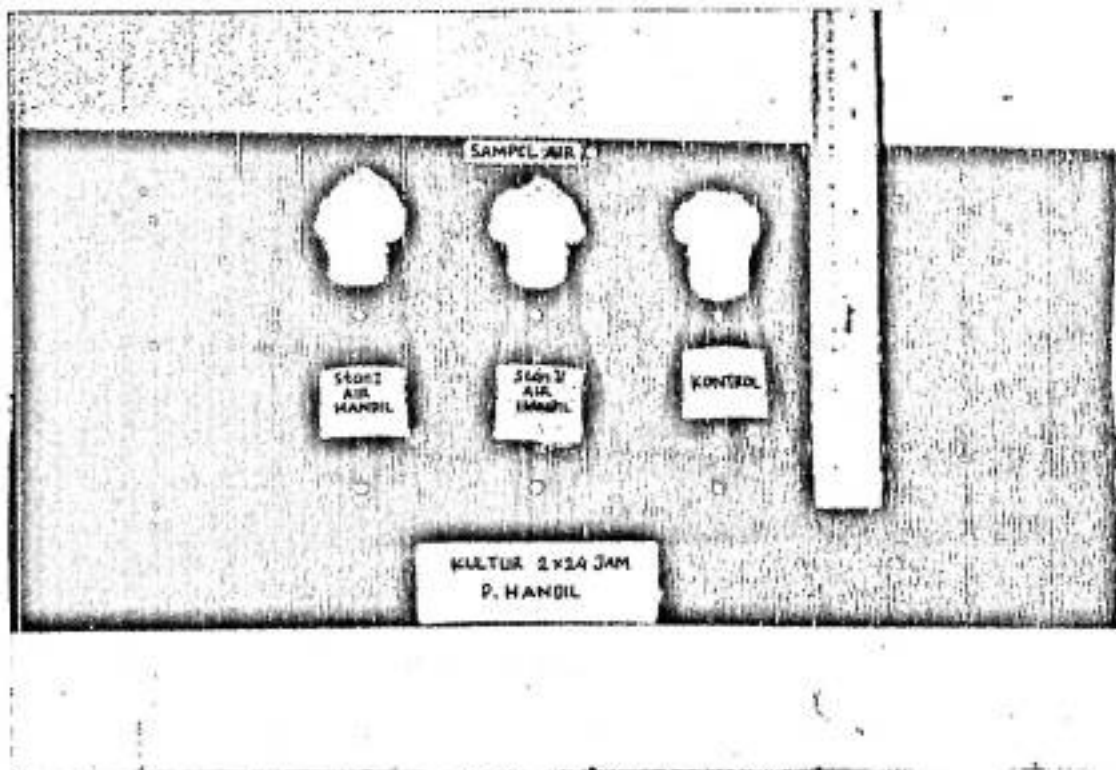
Tabel 6. Hasil Pengukuran Media Kultur dengan menggunakan Spektrofotometer  $\lambda = 610 \text{ nm}$  dengan Penambahan Petrol Jenis Handil dari sampel Stasiun 1 & 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs	Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs
Air 1/UP	T0	03.00/02-09-97	0.023	Air 2/UP	T0	03.00/02-09-97	0.283
	T1	07.00/02-09-97	0.163		T1	11.00/02-09-97	0.238
	T2	11.00/02-09-97	1.797		T2	08.00/03-09-97	0.278
	T3	23.00/02-09-97	2.296		T3	16.00/03-09-97	0.693
	T4	16.00/03-09-97	2.619		T4	24.00/03-09-97	1.030
	T5	08.00/03-09-97	2.295		T5	08.00/04-09-97	1.689
	T6	08.00/04-09-97	2.079		T6	08.00/05-09-97	0.978
	T7	16.00/05-09-97	2.952		T7	08.00/06-09-97	1.218
	T8	08.00/06-09-97	2.196		T8	08.00/08-09-97	1.218
	T9	08.00/08-09-97	2.457		T9	12.00/09-09-97	1.542
	T10	12.00/09-09-97	2.655		T10	12.00/11-09-97	1.248
	T11	12.00/10-09-97	2.637		T11	08.00/12-09-97	1.176
	T12	20.00/12-09-97	2.349		T12	20.00/12-09-97	1.449
	T13	08.00/13-09-97	2.520		T13	08.00/13-09-97	1.542
	T14	08.00/15-09-97	2.223		T14	08.00/15-09-97	1.431
	T15	08.00/16-09-97	2.925		T15	08.00/16-09-97	1.857
T16	08.00/22-09-97	2.961	T16	08.00/22-09-97	2.196		
Sed.1/UP	T0	03.00/02-09-97	0.042	Sed.2/UP	T0	08.00/10-09-97	0.085
	T1	11.00/02-09-97	0.139		T1	12.00/10-09-97	0.095
	T2	08.00/03-09-97	0.151		T2	12.00/11-09-97	1.029
	T3	16.00/03-09-97	0.366		T3	08.00/12-09-97	1.350
	T4	08.00/04-09-97	0.471		T4	08.00/13-09-97	2.253
	T5	16.00/04-09-97	0.954		T5	08.00/15-09-97	2.475
	T6	08.00/05-09-97	0.816		T6	08.00/16-09-97	3.060
	T7	16.00/05-09-97	0.747		T7	08.00/17-09-97	3.771
	T8	08.00/06-09-97	0.945		T8	08.00/18-09-97	5.040
	T9	08.00/08-09-97	2.010		T9	09.00/19-09-97	5.139
	T10	12.00/09-09-97	1.572		T10	08.00/20-09-97	5.103
	T11	12.00/11-09-97	0.872				
	T12	08.00/12-09-97	1.110				
	T13	20.00/12-09-97	1.560				
	T14	08.00/13-09-97	1.392				
	T15	08.00/15-09-97	1.362				
	T16	08.00/16-09-97	1.338				
T17	08.00/22-08-97	2.136					

A.



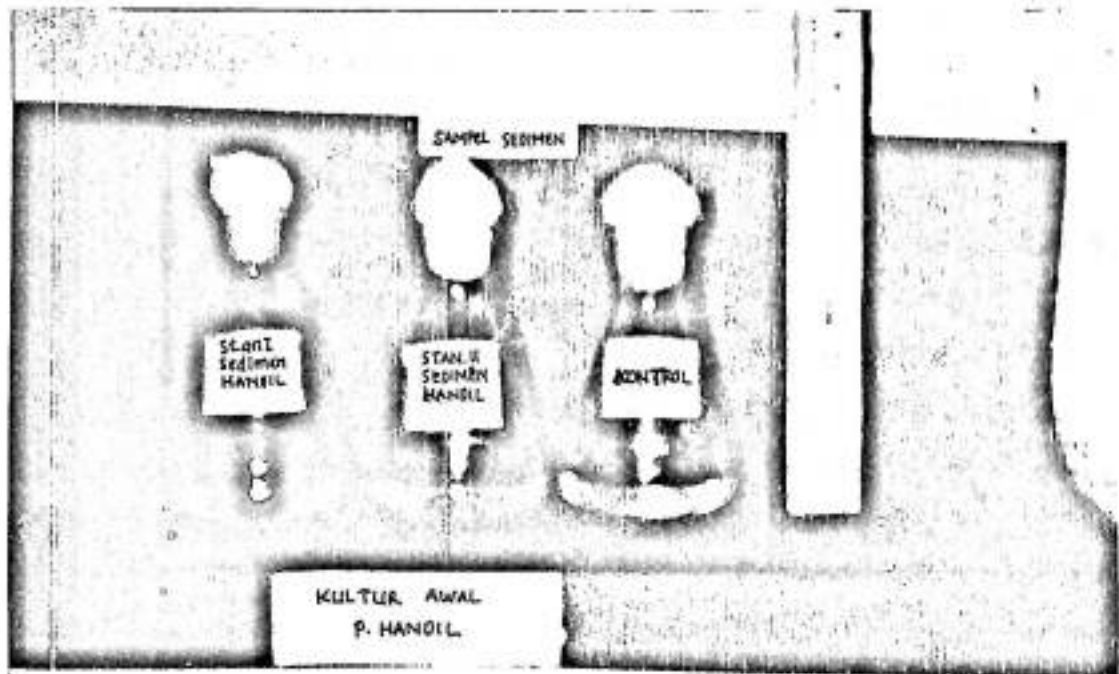
B.



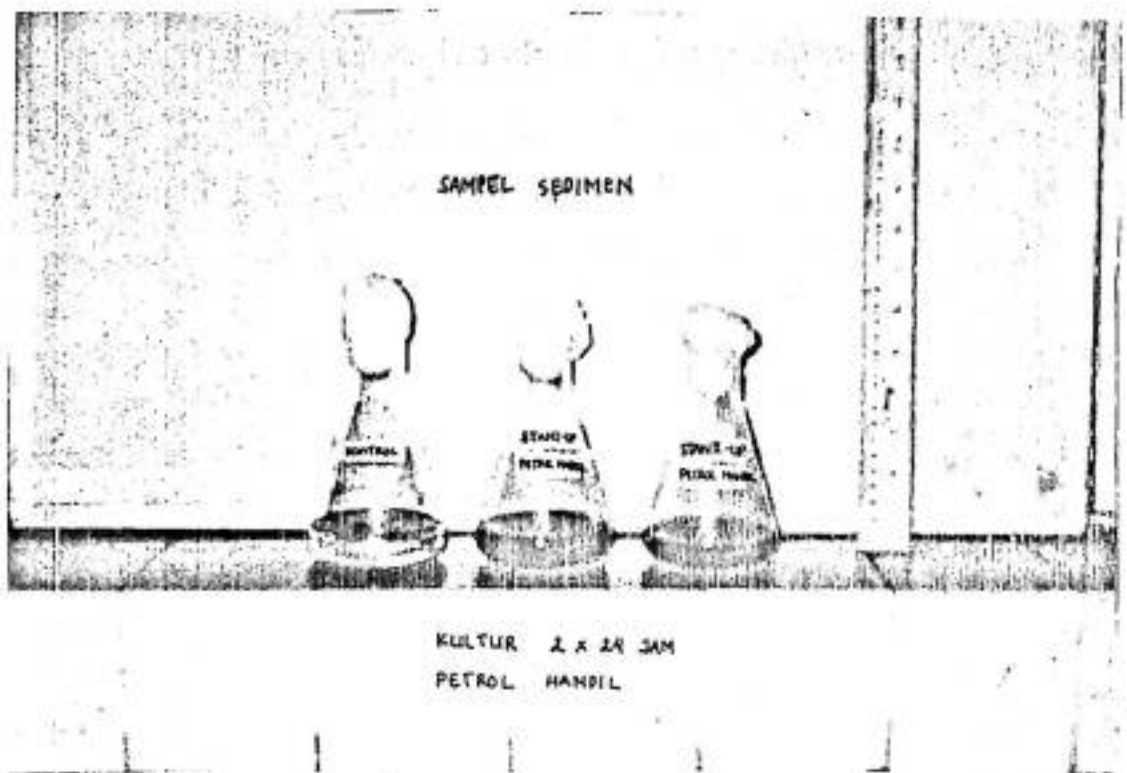
Gambar 7. Perubahan Warna Kultur Media Cair dengan Penambahan Petroleum Jenis Handil Sebagai Indikasi Adanya Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon.

- A. Sampel Sedimen pada Saat Pengamatan Awal
- B. Sampel Sedimen Setelah Diinkasi 2 Hari

A.



B.



Gambar 8. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis Handil Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

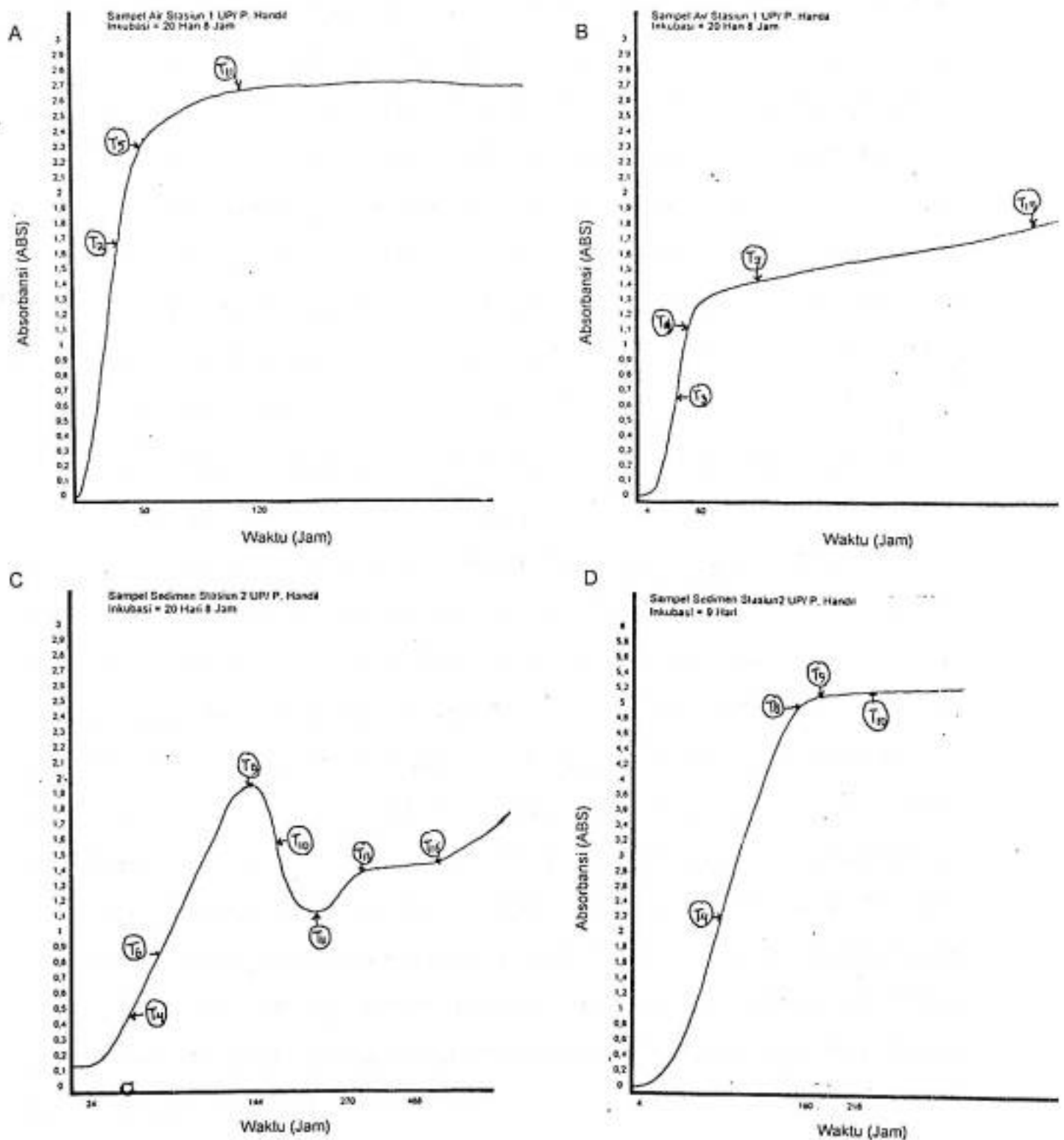
- A. Sampel Sedimen pada Saat Pengamatan Awal
- B. Sampel Sedimen Setelah Diinkasi 2 Hari

Namun secara garis besarnya perbedaan warna kultur dan nilai DO yang bervariasi untuk setiap stasiun dapat disebabkan adanya perbedaan karakteristik dan kapasitas dari bakteri yang diperoleh.

Secara visual pada kultur sampel air dari stasiun 1 dan 2 tidak menampakkan adanya petroleum yang melekat pada dinding tabung (dinding tabung nampak bersih). Hal ini menandakan bahwa proses emulsifikasi oleh bakteri pengemulsi berlangsung cepat. Dibuktikan pada substrat petroleum yang juga mengalami perubahan warna dari semula berwarna kehitaman menjadi berwarna coklat susu pada stasiun 1, sedang pada stasiun 2 berwarna putih kecoklatan ( 7a, & 7b). Bila dibandingkan dengan kultur sedimen dari khususnya untuk stasiun 2 pada dinding tabung nampak buram setelah inkubasi 2 hari ( 8a, & 8b). Sebaliknya pada stasiun 1 dinding tabung nampak agak bersih. Hal ini memberi indikasi bahwa kapasitas penguraian oleh bakteri pada stasiun 1 dan 2 memiliki perbedaan yang jelas khususnya dalam mengemulsi senyawa-senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam petroleum.

#### ***b. Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri***

Kurva pertumbuhan dari sampel baik stasiun 1 maupun 2 memiliki karakter yang berbeda satu sama lainnya (gambar 9).



Gambar 9. Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri Pada Penambahan Petroleum Jenis Handil Dari Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

- A. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- B. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- C. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- D. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang



Pada sampel air untuk stasiun 1, kurva pertumbuhan berbentuk sigmoid. Adanya kurva pertumbuhan model tersebut umumnya sering ditemukan pada kultur sistem tertutup, meskipun pada kurva pengamatan tidak ditemukan fase kematian. Hal ini sesuai yang dikemukakan oleh Schlegel (1994), bahwa pengkulturan statis dimana sepanjang pengkulturan tidak diadakan penambahan nutrisi atau penyaluran dapat dinyatakan secara grafik dengan logaritma jumlah sel hidup terhadap waktu. Dengan kekhasan mempunyai bentuk sigmoid dan dapat dibedakan dalam beberapa tahap pertumbuhan yang muncul secara teratur.

Kultur dari sedimen stasiun 1 menunjukkan kurva pertumbuhan yang menyerupai kurva pertumbuhan dari sampel air stasiun 2 untuk substrat jenis Sahara, bahwa pada fase stasionernya terdapat cekungan. Diperolehnya kurva pertumbuhan semacam itu sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya yakni disebabkan oleh adanya beberapa faktor diantaranya defisit suplai oksigen, terdapatnya hasil metabolisme dari bakteri tertentu yang justru bersifat toksik bagi populasi bakteri lainnya. Namun dapat juga disebabkan oleh faktor-faktor lain yang perlu diuji secara kimiawi. Sedangkan pada sampel air untuk stasiun yang sama kurva pertumbuhannya menyerupai kurva pertumbuhan sampel sedimen. Dimana pada fase stasionernya mengalami fase linear. Hal ini terjadi mengingat kemampuan penguaraian dari setiap bakteri berbeda, disamping itu pula komposisi kandungan petroleum sangat pula menentukan dan berpengaruh terhadap perolehan kurva tersebut.

### C. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif

Persentase biodegradasi dari hasil ekstraksi untuk petroleum jenis Handil dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis (Kuantitatif) Biodegradasi Petroleum Jenis Handil dari sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

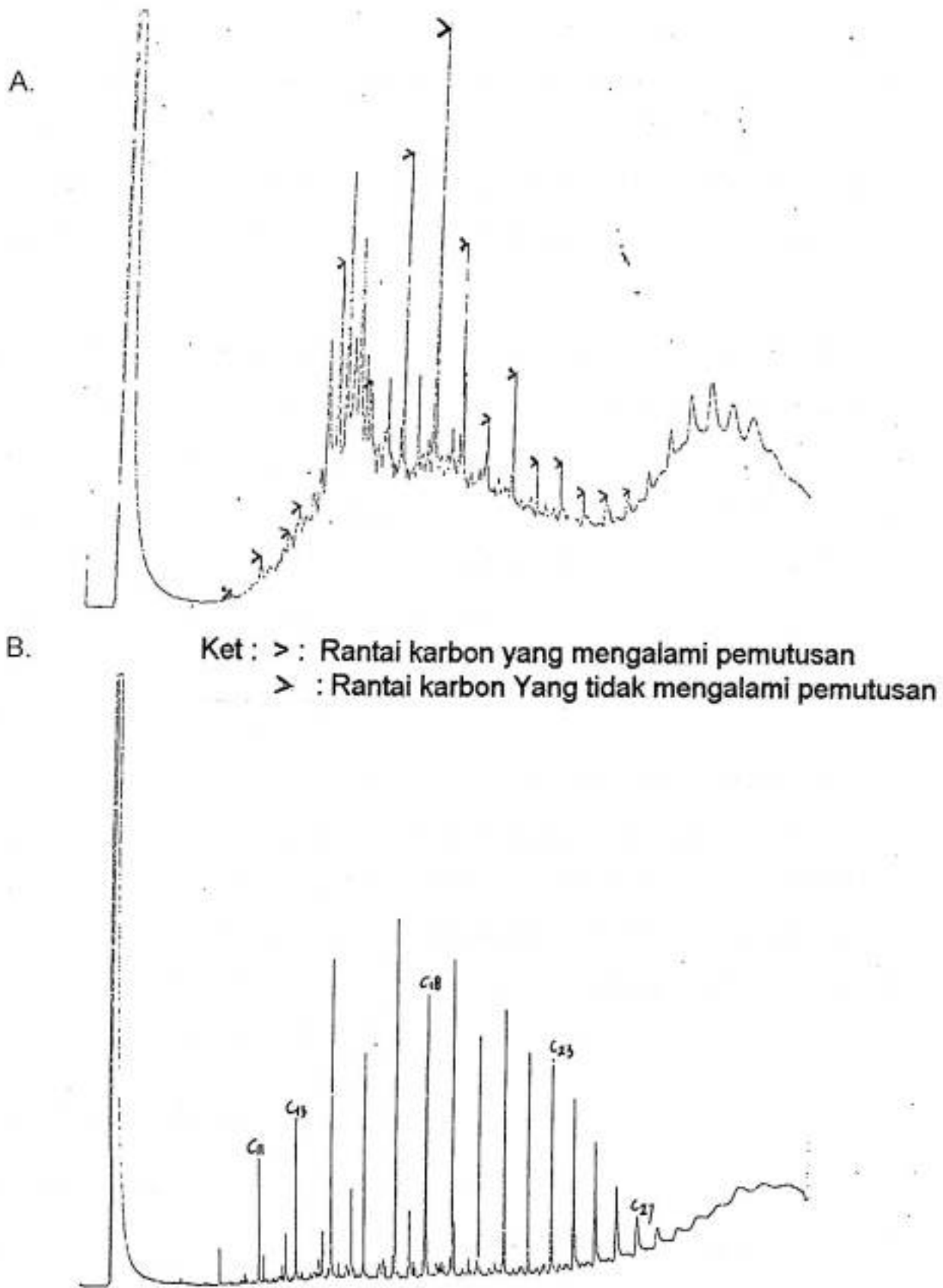
Stasiun	Sampel	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Persentase Biodegradasi
I	Air	0.83	-	-
	Sedimen	0.83	0.39	53.01 %
II	Air	0.83	0.61	26.51 %
	Sedimen	0.83	0.23	72.39 %

Pada sampel sedimen stasiun 1 nilainya sebesar 53,01%. Sedangkan pada stasiun 2 diperoleh nilai presentase biodegradasi sebesar 72,39%. Pada sampel air stasiun 1 tidak diperoleh nilai EBO sehingga tidak diketahui presentase biodegradasinya. Hal ini diakibatkan terjadinya kerusakan pada sampel yang akan diekstraksi. Sedangkan untuk stasiun 2 diperoleh nilai sebesar 26,51%.

Perolehan nilai presentase biodegradasi yang cukup tinggi pada sampel sedimen baik stasiun 1 maupun 2 dapat dikarenakan tingginya kepadatan pada masing-masing media penumbuhan. Hal ini ditandai dengan tingginya nilai DO, sehingga secara berkaitan akan mempengaruhi kapasitas dari populasi bakteri tersebut dalam menguraikan substrat.

### d. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas

Selanjutnya cuplikan yang diinjeksikan masuk ke dalam kromatografi gas yakni dari sampel sedimen stasiun 1. Hasilnya dapat dilihat pada (Gambar 10).



Gambar 10. Kromatogram dengan Substrat Petroleum Jenis Handil

A. Sampel Sedimen Stasiun 1

B. Kontrol Substrat Handil

Bila dibandingkan dengan kromatogram dari kontrol untuk jenis Handil menunjukkan bahwa komunitas bakteri yang berasal dari sampel sedimen stasiun 1 diketahui memiliki kemampuan dalam memutuskan rantai karbon alkana hampir secara keseluruhan ( $C_6 - C_{28}$ ), kecuali pada rantai karbon ( $C_{18}$ ).

Ada kemungkinan rantai karbon ( $C_{18}$ ) tidak mengalami pemutusan, namun secara keseluruhan rantai karbon fraksi alkana dapat diputuskan. Dengan demikian kemungkinan rantai karbon ( $C_{18}$ ) juga mengalami pemutusan, namun mengingat konsentrasi dari karbon ( $C_{18}$ ) cukup tinggi yang terkandung pada substrat sehingga nampak seolah rantai karbon tersebut tidak mengalami pemutusan. Jadi dengan penambahan waktu inkubasi yang relatif lebih lama lagi (di atas 15 hari), memungkinkan rantai karbon ( $C_{18}$ ) barulah nampak terputus.

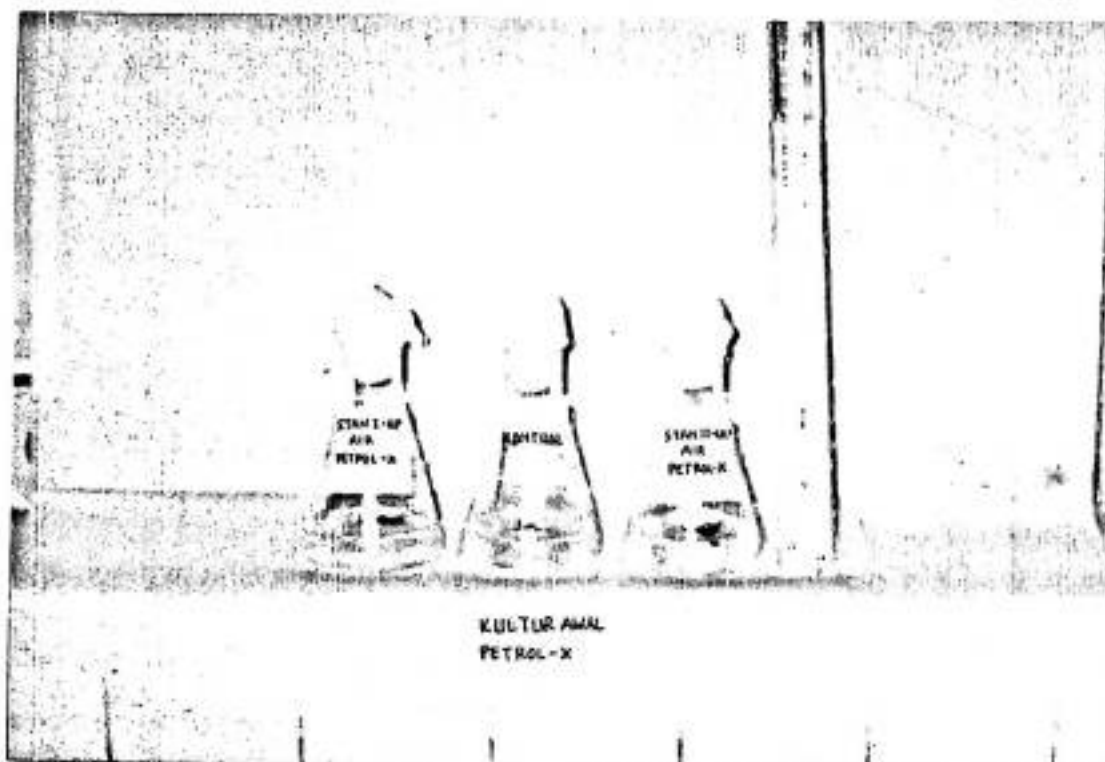
Tingginya kemampuan pemutusan rantai karbon dari fraksi alkana yang terkandung dalam substrat dapat erat hubungannya dengan tingginya keragaman populasi bakteri pada stasiun tersebut yang mempengaruhi tingkat penyerangan dan pemutusan rantai karbon. Disamping itu kondisi substrat baik sifat fisik maupun komposisi kimiawi yang dikandung sangat menentukan tinggi rendahnya tingkat pemutusan.

#### **4.4.3. Kultur dengan Substrat Petrol Jenis X**

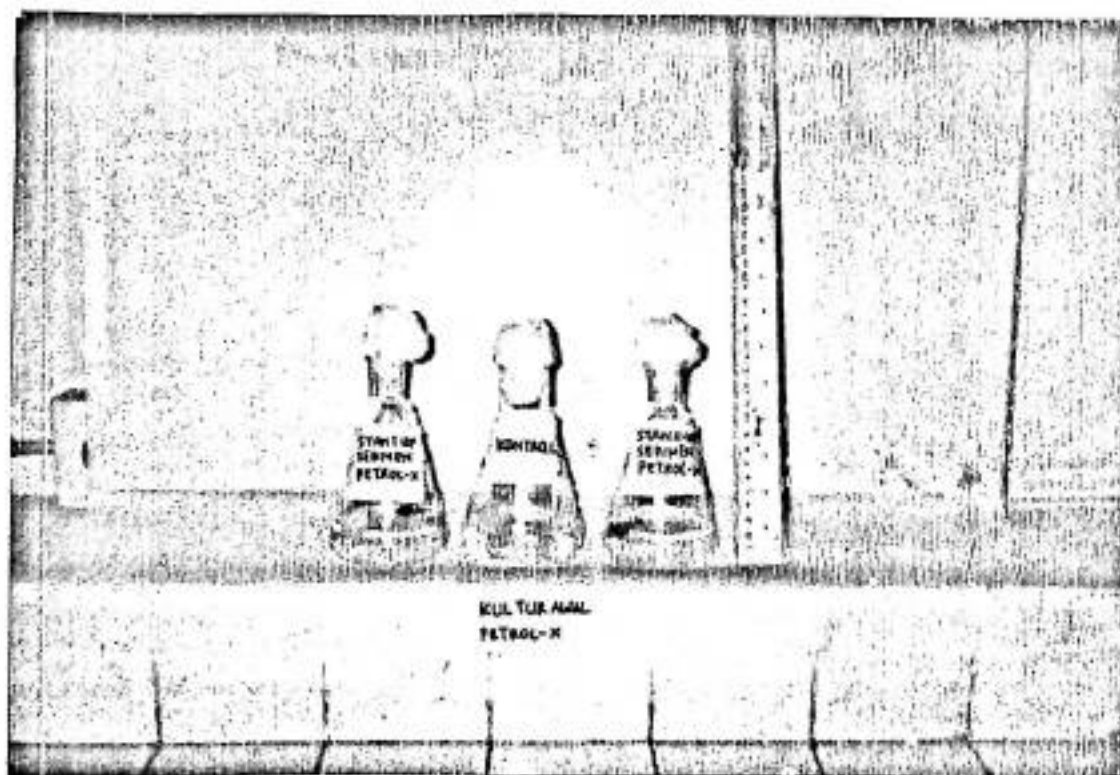
##### **a. Karakteristik Kultur yang Nampak Secara Visual**

Pada Pengamatan kultur awal dengan substrat petrol jenis X memperlihatkan warna hampir sama satu dengan lainnya, dimana terdapat gumpalan hitam pada permukaan media (gambar 11 a & 11 b).

A.



B.

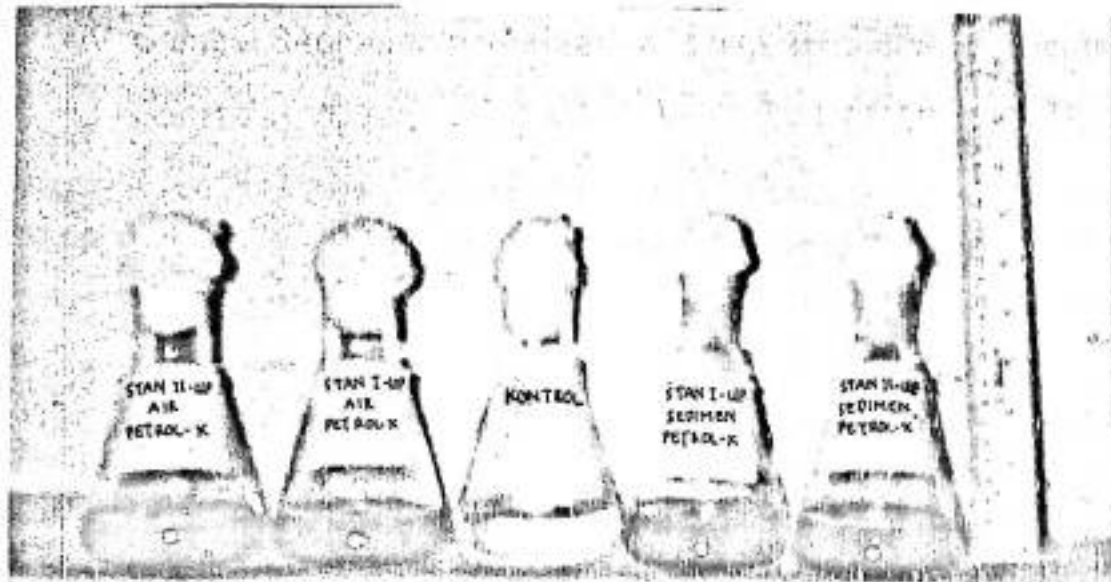


Gambar 11. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis X Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

- A. Sampel Air pada Saat Pengamatan Awal
- B. Sampel Sedimen Saat Pengamatan Awal

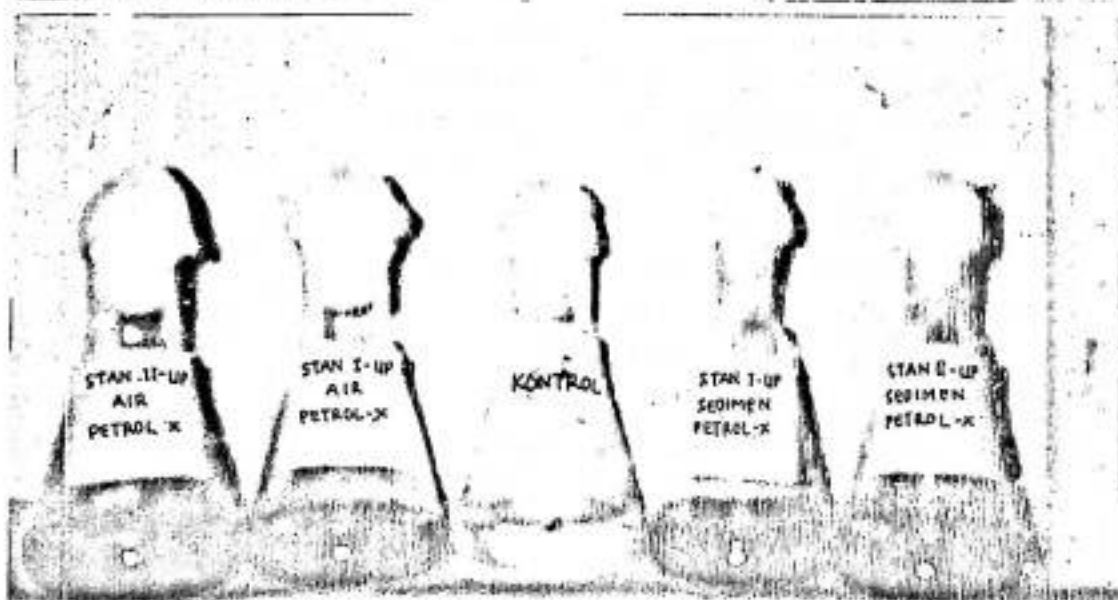
Setelah inkubasi 2 hari maka media tersebut menampakkan pula perubahan yang khas (Gambar 12).

A.



KULTUR 2 x 24 JAM  
PETROL X

B.



KULTUR 4 x 24 JAM  
PETROL - X

Gambar 12. Perubahan Warna Kultur Media Cair pada Penambahan Petroleum Jenis X Sebagai Adanya Indikasi Pertumbuhan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

A. Sampel Sedimen dan Air Setelah Inkubasi 2 Hari

B. Sampel Sedimen dan Air Setelah inkabasi 4 Hari

Bila dibandingkan antara sampel stasiun 1 & 2 baik sampel air maupun sampel sedimen dengan perolehan warna berbeda satu dengan lainnya (Tabel 8).

Tabel 8. Hasil pengamatan (Visual) Perubahan Warna Kultur dan Jumlah (Kuantitas) Petroleum Jenis X Selama Inkubasi Pada stasiun 1 dan 2 di Perairan sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan	Petroleum Jenis X
(Awal)	I	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petroleum menggumpal
	Sedimen	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petroleum menggumpal
	II	Air	Warna kultur	Bening
			Jumlah Petroleum	±100 % / Petroleum menggumpal
Sedimen	Air	Warna kultur	Bening	
		Jumlah Petroleum	±100 % / Petroleum menggumpal	
(1 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	±60 % / Petroleum menggumpal
	Sedimen	Air	Warna kultur	Kekuningan / keruh
			Jumlah Petroleum	±80 % / Petroleum menggumpal
	II	Air	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	±85 % / Petroleum menggumpal
Sedimen	Air	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh	
		Jumlah Petroleum	±80 % / Petroleum menggumpal	
(2 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±77 % / Petroleum menggumpal
	Sedimen	Air	Warna kultur	Kekuningan / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum menggumpal
	II	Air	Warna kultur	Coklat kemerahan / keruh
			Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum menggumpal
Sedimen	Air	Warna kultur	Coklat kemerahan / sangat keruh	
		Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum menggumpal	
(4 x 24)	I	Air	Warna kultur	Coklat / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum menggumpal
	Sedimen	Air	Warna kultur	Kuning / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±75 % / Petroleum menggumpal
	II	Air	Warna kultur	Keruh kecoklatan / sangat keruh
			Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum menggumpal
Sedimen	Air	Warna kultur	Coklat tua / sangat keruh	
		Jumlah Petroleum	±70 % / Petroleum menggumpal	

Pada petroleum jenis X memiliki perbedaan secara fisik dengan petroleum jenis Handil dan Sahara. Namun warna media yang diperoleh cukup spesifik yakni coklat tua, coklat muda, serta kuning tua dengan kepekatan densiti optik yang relatif tinggi yaitu berkisar  $\pm 2,316$  hingga  $\pm 4,578$  setelah inkubasi 4 hari (Tabel 9).

Tabel 9. Hasil Pengukuran Media Kultur dengan menggunakan Spektrofotometer  $\lambda = 610$  nm dengan Penambahan Petrol Jenis X dari sampel Stasiun 1 & 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs	Sampel	Pengamatan	Jam/Tanggal	Nilai Abs
Air 1/UP	T0	10.00/29-09-97	0.035	Air 2/UP	T0	10.00/29-09-97	0.054
	T1	14.00/30-09-97	0.023		T1	14.00/30-09-97	0.043
	T2	14.00/02-10-97	1.293		T2	14.00/02-10-97	0.554
	T3	10.00/03-10-97	0.963		T3	10.00/03-10-97	3.264
	T4	10.00/04-10-97	1.902		T4	10.00/04-10-97	3.654
	T5	14.00/09-10-97	2.298		T5	14.00/09-10-97	4.074
	T6	14.00/10-10-97	2.316		T6	14.00/10-10-97	4.500
Sed.1/UP	T0	10.00/29-09-97	0.030	Sed.2/UP	T0	10.00/29-09-97	0.036
	T1	14.00/30-09-97	0.037		T1	14.00/30-09-97	0.025
	T2	14.00/02-10-97	0.471		T2	14.00/02-10-97	2.556
	T3	10.00/03-10-97	3.324		T3	10.00/03-10-97	2.460
	T4	10.00/04-10-97	3.360		T4	10.00/04-10-97	2.874
	T5	14.00/09-10-97	3.930		T5	14.00/09-10-97	4.140
	T6	14.00/10-10-97	4.578		T6	14.00/10-10-97	4.080

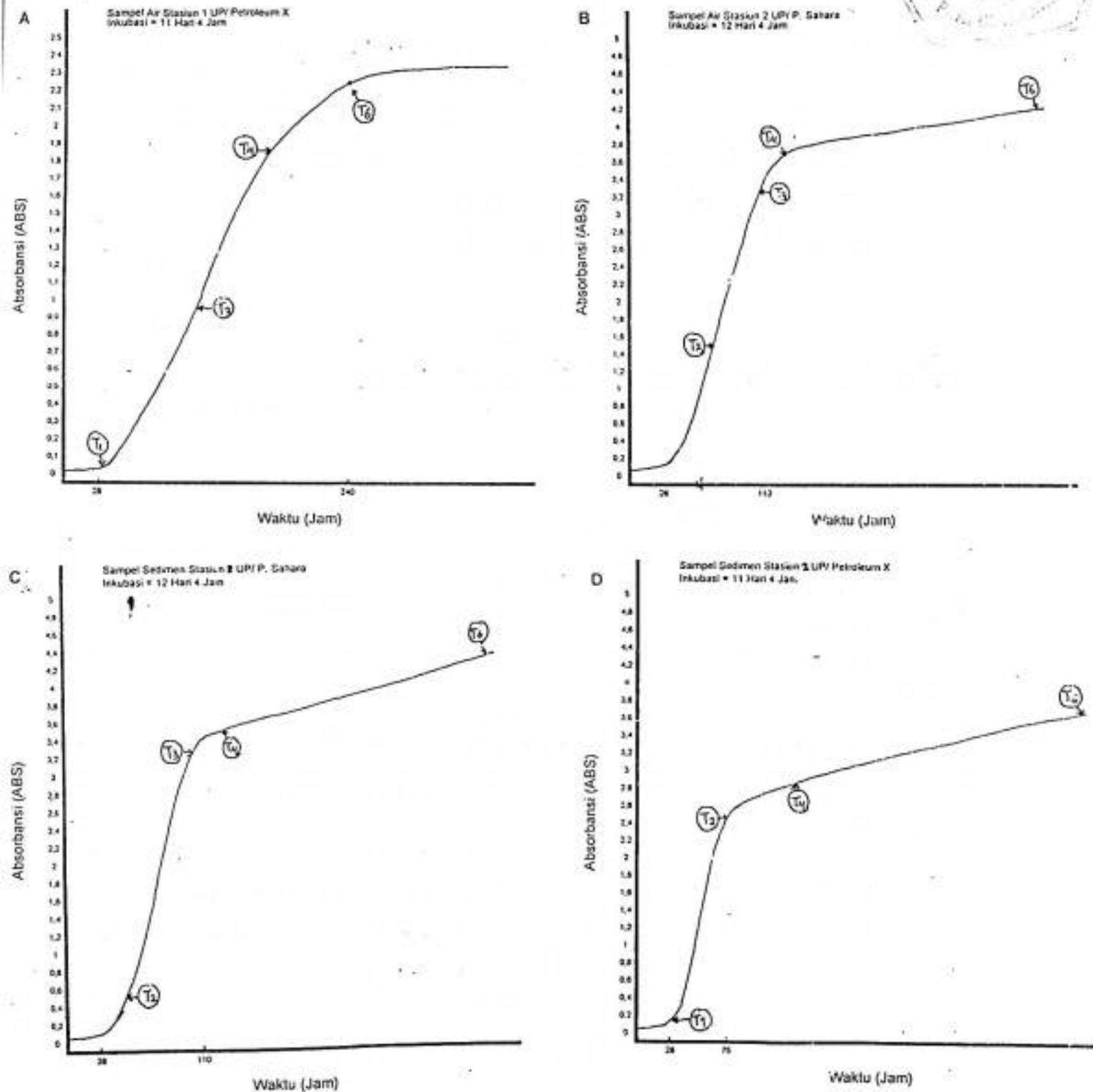
Adanya perolehan tersebut tidak terlepas dari sejumlah faktor penyebab sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya. Perbedaan kultur warna erat kaitannya dengan karakteristik bakteri dari setiap stasiun.

Dari pengamatan terlihat pula pengurangan petroleum tidak berjalan secepat pengurangan petroleum jenis Handil dan Sahara. Ini dapat dikarenakan sifat fisik petroleum yang menggumpal (kental) menyebabkan luas serangan bakteri pun terbatas. Cooney, J (1984) dalam Leahy dan Colwell (1990), mengemukakan bahwa dispersi hidrokarbon dalam kolom air dalam bentuk emulsi minyak dalam air meningkat dengan perluasan daerah permukaan minyak sehingga mudah terserang oleh mikroba.



## b. Kurva Pertumbuhan Kultur Bakteri

Pada kurva pertumbuhan dengan penambahan substrat jenis petroleum X terdapat kemiripan satu dengan yang lainnya (gambar 13).



Gambar 13. Kurva Pertumbuhan Komunitas Bakteri Pada Penambahan Petroleum Jenis X Dari Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

- A. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- B. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Air Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- C. Kurva Pertumbuhan Stasiun 1 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang
- D. Kurva Pertumbuhan Stasiun 2 dari Sampel Sedimen Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Dengan substrat petroleum jenis X secara umum nampak kurva pertumbuhan pada fase stasionernya berbentuk garis linier. Adapun penyebab terjadinya kurva ini telah dijelaskan sebelumnya. Kemiripan antara kurva pertumbuhan setiap sampel pada masing-masing stasiun dapat disebabkan adanya karakter yang sama dari populasi bakteri dalam mendegradasi substrat petroleum X. Namun efektifitas dalam penguraiannya berlangsung cepat pada sampel sedimen stasiun 2 (Gambar 13D). Pencapaian fase perlambatan hanya membutuhkan waktu sekitar 75 jam dibandingkan dengan stasiun lain yang membutuhkan waktu yang relatif lebih lama, yaitu di atas dari 90 jam hingga 200 jam.

### **C. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kuantitatif**

Hasil ekstraksi diketahui persentase biodegradasi untuk petroleum jenis X relatif hampir sama satu dengan lainnya untuk masing-masing stasiun (Tabel 10).

Tabel 10. Hasil Analisis (Kuantitatif) Biodegradasi Petroleum Jenis X dari sampel Stasiun 1 dan 2 pada Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

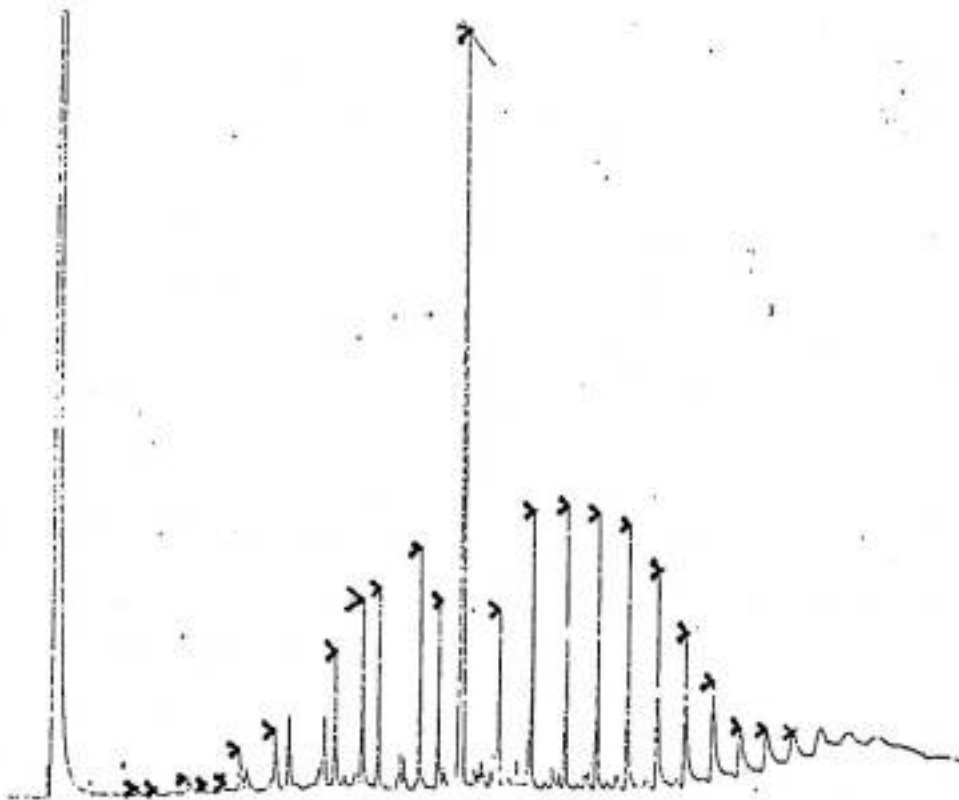
Stasiun	Sampel	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Persentase Biodegradasi
I	Air	1.00	0.81	19.00 %
	Sedimen	1.00	0.78	22.00 %
II	Air	1.00	1.71	29.00 %
	Sedimen	1.00	0.80	20.00 %

Adapun nilai persentase biodegradasi berkisar antara 19% - 29% dari total substrat yang diberikan. Nilai-nilai tersebut masih erat kaitannya dengan kondisi substrat, luas daerah serangan, komposisi kimia, serta kapasitas bakteri pendegradasi untuk setiap stasiun.

### **d. Analisis Biodegradasi Berdasarkan Uji Kualitas**

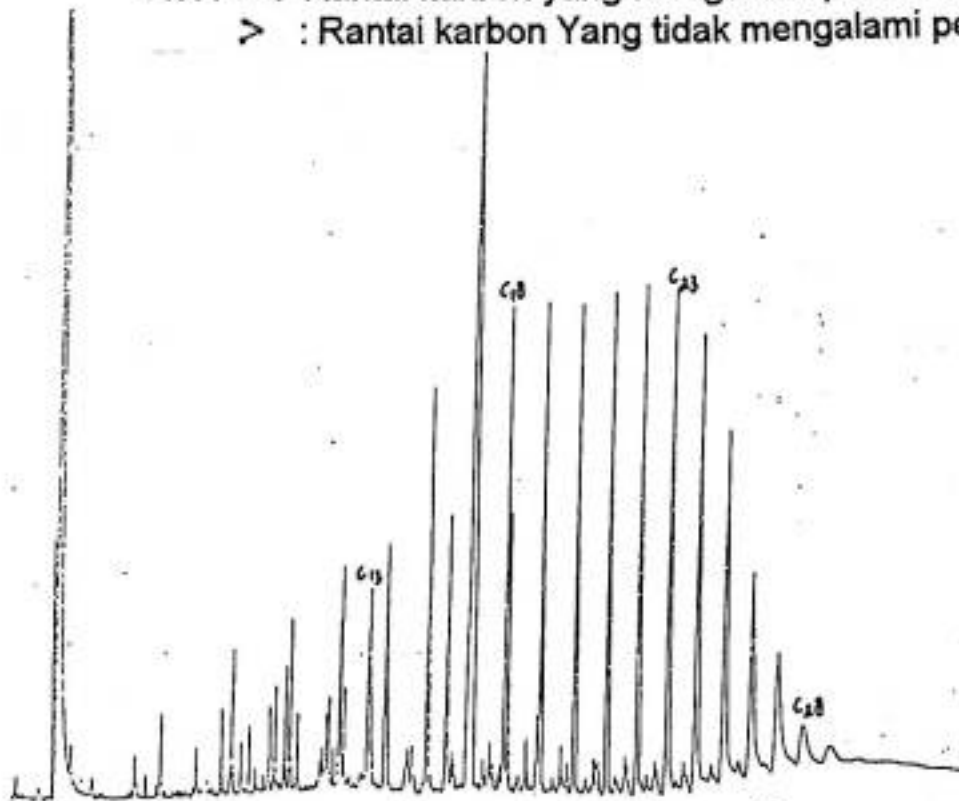
Selanjutnya cuplikan/ sampel diinjeksikan pada kromatografi gas dengan substrat jenis X yakni sampel sedimen stasiun 1. Hasil dapat dilihat pada gambar 14.

A.



Ket : > : Rantai karbon yang mengalami pemutusan  
> : Rantai karbon yang tidak mengalami pemutusan

B.



Gambar 14. Kromatogram dengan Substrat Petroleum Jenis X

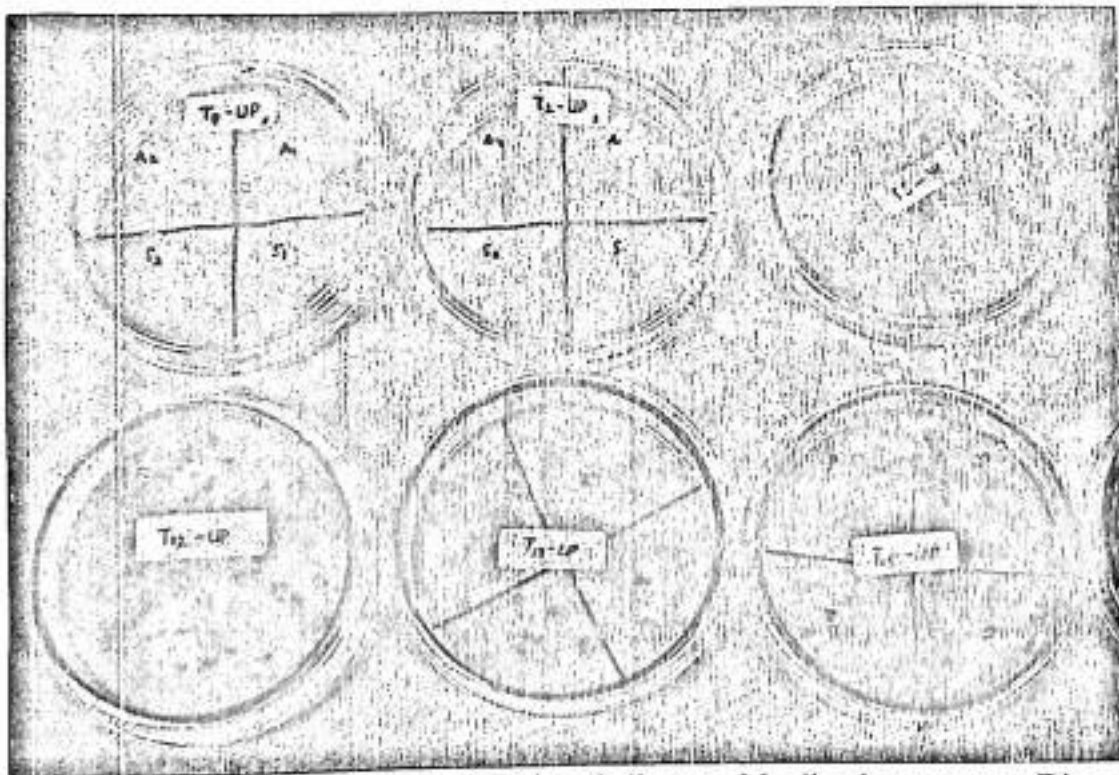
A. Sampel Sedimen Stasiun 1

B. Kontrol Substrat X

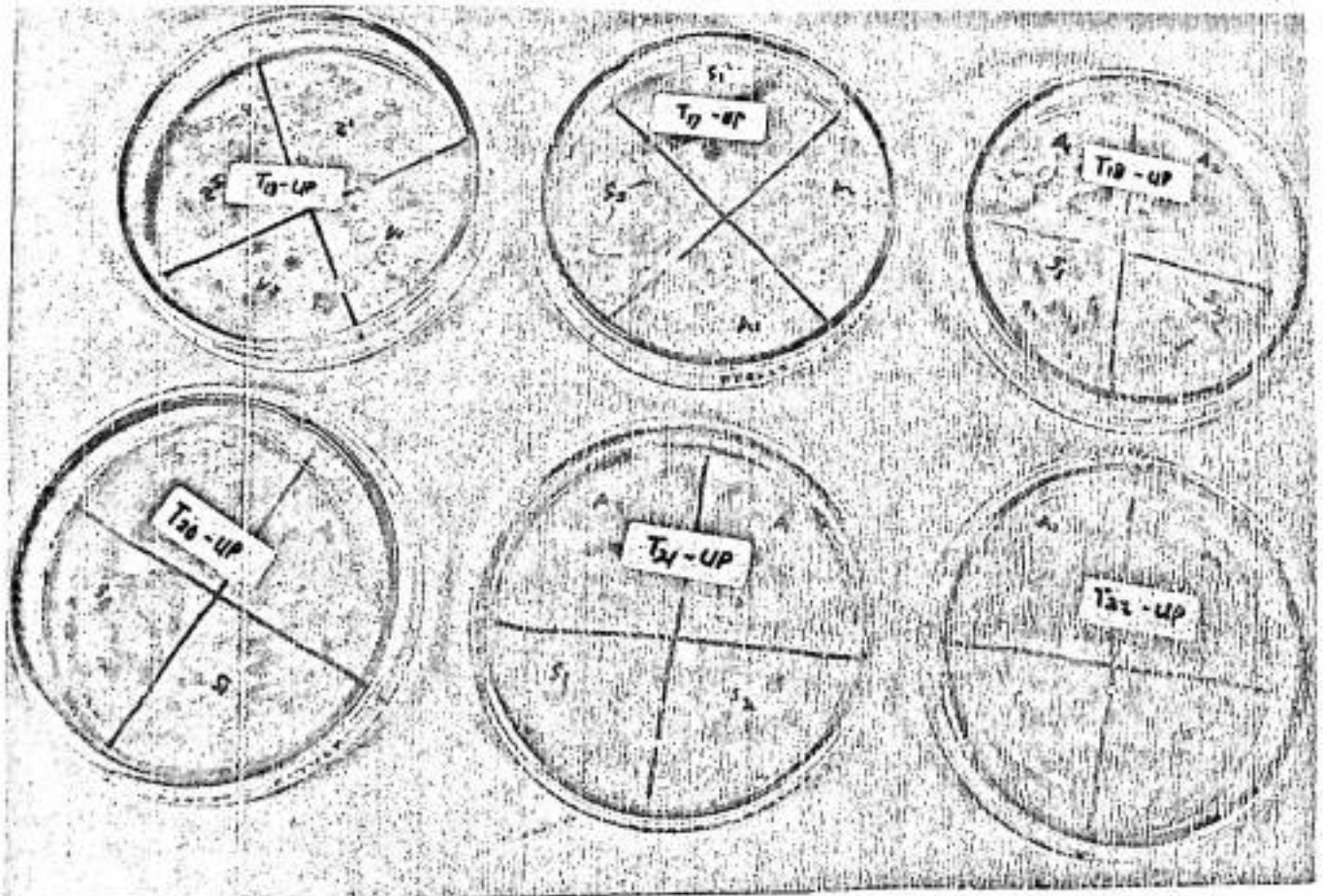
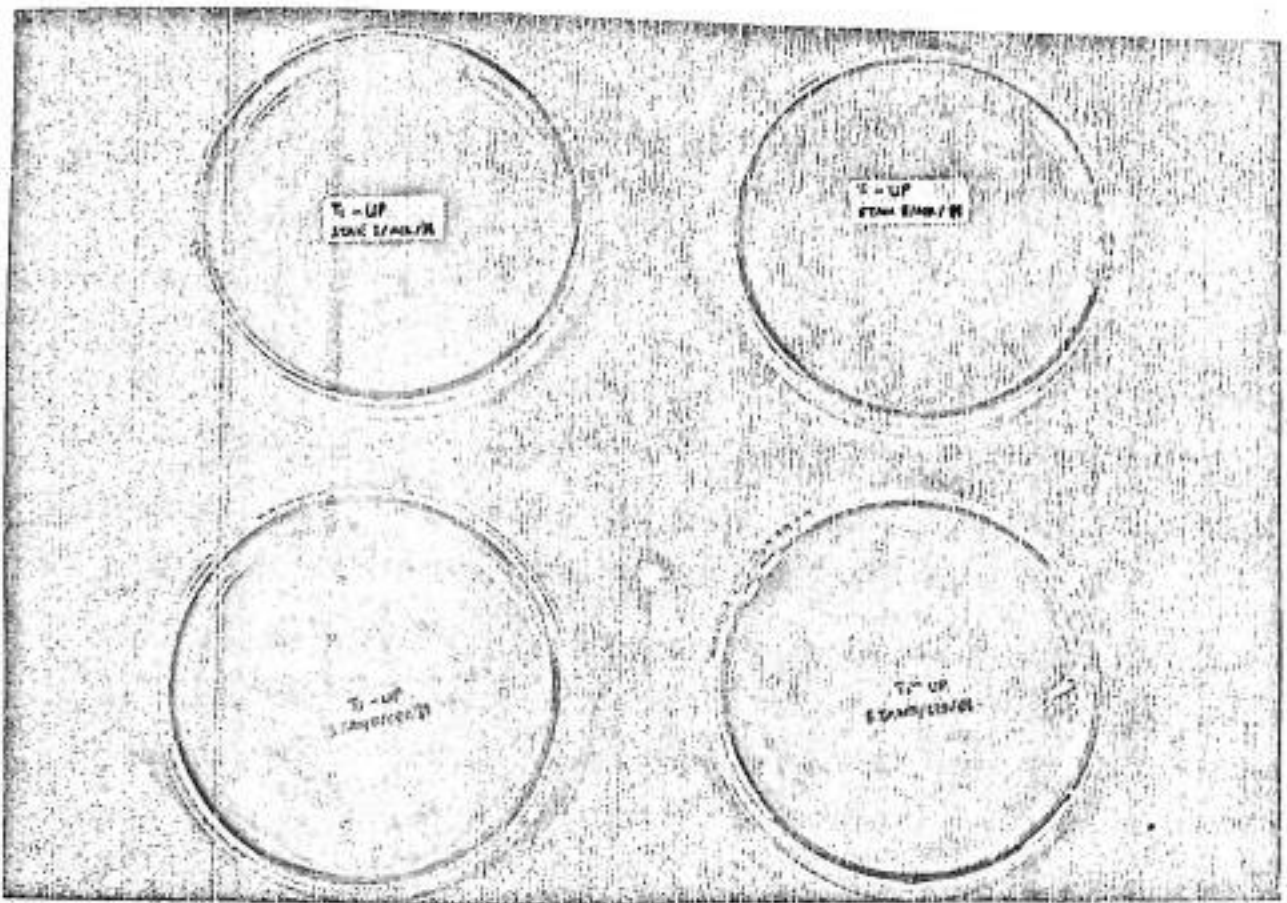
Bila dibandingkan dengan kromatogram kontrol substrat jenis X menunjukkan bahwa komunitas bakteri yang berasal dari stasiun 1 umumnya mampu memutuskan hampir seluruh rantai karbon fraksi alkana yaitu C5 - C28 kecuali pada rantai karbon C13. Tidak terjadinya pemutusan rantai karbon C13 masih berkaitan dengan konsentrasi dan komposisi kandungan senyawa hidrokarbon yang terdapat pada substrat (petroleum). Namun secara garis besar rantai karbon fraksi alkana untuk petroleum jenis X terjadi pemutusan.

#### 4.4 Pertumbuhan Bakteri pada Media Agar Padat

Pertumbuhan koloni bakteri di atas media agar diperoleh sejumlah koloni yang berwarna kecoklatan, putih kekuningan, serta ditemukan pula koloni yang berwarna kuning dan orange. Disamping itu berlangsung pula pertumbuhan koloni bakteri pada media agar padat yang telah diberikan substrat (petroleum) pada permukaannya (Gambar 15). Pada pertumbuhan tersebut diperoleh koloni yang menyerupai koloni sebelumnya (tanpa substrat petroleum). Namun lebih didominasi koloni putih dengan karakteristik agak berlendir.



Gambar 15. Pertumbuhan Koloni Bakteri di atas Media Agar yang Diperoleh dari Perairan Sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang pada Penambahan Petroleum Jenis Sahara



Gambar 16. Pertumbuhan Koloni Bakteri di atas Media Agar yang Diperoleh dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang pada Penambahan Petroleum Jenis Handil

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Sampel yang diperoleh dari 2 stasiun (air dan sedimen) ditumbuhkan pada substrat (petroleum Handil, Sahara dan X) diperoleh hasil sebagai berikut :
  - Terjadi perubahan warna yang spesifik yakni : putih keruh, coklat susu, putih susu, coklat kemerahan dan kuning.
  - Nilai densiti optik (DO) yang bervariasi yaitu untuk jenis Sahara (DO) tertinggi 3,20 pada sampel air stasiun 1 dan (DO) terendah 0,975 pada sampel sedimen stasiun 1; untuk jenis Handil (DO) tertinggi 5,103 pada sampel sedimen stasiun 2 dan (DO) terendah 2,136 pada sampel sedimen stasiun 1; untuk jenis X (DO) tertinggi 4,578 pada sampel sedimen stasiun 1 dan (DO) terendah 2,316 pada sampel air stasiun 1.
2. • Adanya perbedaan karakteristik pertumbuhan dari bakteri yang diperoleh dari setiap stasiun, nampak pada bentuk kurva pertumbuhan diantaranya ditemukan dalam bentuk fase stasioner, cekung dan linear.
  - Pertumbuhan komunitas bakteri pada kultur dengan substrat petroleum X lebih stabil dibanding dengan substrat lainnya.
3. Hasil analisis biodegradasi petroleum diperoleh sebagai berikut :
  - Berdasarkan uji kuantitatif, persentase biodegradasi cukup tinggi, khususnya pada substrat jenis Handil yakni 53,01% - 72,39% dan jenis Sahara 40,23% - 43,67%. Sedangkan substrat jenis X peroleh persentase biodegradasi relatif lebih rendah yakni 19,00% - 29,00%.
  - Berdasarkan uji kualitatif, tingkat pemutusan rantai karbon dari masing-masing stasiun bervariasi. Tingkat pemutusan hampir pada seluruh rantai hidrokarbon fraksi alkana, walaupun diketahui ada pula beberapa rantai karbon yang tidak mengalami pemutusan dikarenakan tingginya konsentrasi kandungan senyawa hidrokarbon pada petroleum yang dicobakan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa sampel bakteri yang diperoleh dari perairan sebelah Barat Pelabuhan Pertamina Ujungpandang memiliki tingkat efektifitas dan kualitas yang relatif tinggi dalam pemutusan rantai karbon yaitu fraksi alkana. Untuk itu disarankan melakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui kapasitas pemutusan rantai karbon fraksi aromatik dari substrat petroleum yang digariskan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajisesebutu S.O., 1988. *Effect of sodium chloride on biodegradation of crude oils by two species of Aeromonas*. Appl Microbiol Biotechnol. 28: 203-208.
- Austin, B., 1993. *Marine microbiology*. Departement of Brewing and Biology Sciences Heriot-Watt University. Cambridge University Press.
- Atlas, R. M., 1981. *Microbial degradation of petroleum hydrokarbon*. An Enviromental Perspective. Microbiological Revies 45:180-209.
- Atlas, R. M., 1985. *Mikrobal ecology fundamental and aplikasions*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 563p.
- Bartha, R., 1986. *Biotechnology of petroleum pollutant biodegradation*. Microb Ecol. 12: 155-172.
- Bertrand, J. C., 1987. *The potential application of bisulfactants in combatting hydrocarbon pollution in marine environments*. Centre d' Oceanologie de Marseille (OSU), URA 41., Campus de Luminy 163, Rte de Luminy, Case 910, 13288 Marseille Cedex 9.
- Evans, dan S. Hutabarat., 1985. *Pengantar oceanografi*. UI-Press. Jakarta.
- Farrington, J. W., John M. Tead, dan Patrick L. Parker., 1970. *Petroleum hidrokarbon*.
- Feriatra., 1995. *Biodegradasi petroleum oleh bakteri di perairan Dumai, Selat Malaka*. Kumpulan Makalah Seminar Maritim Indonesia. Konvensi Nasional Pembangunan Benua Maritim Indonesia dalam Rangka Mengaktualisasikan Kawasan Nusantara.
- Fessenden, R. J., dan Joan, S. Fessenden., 1989. *Kimia organik*. Jilid I,ed. III. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Flodgate, G. D., 1979. *Nutrien limitation*. 107-118. In:A.W. Bourquin and P.H. Pritchard (ed). Proceedings workshop, microbial degradation of pollutants in marine environment EPA 66019-79-012. Environment reseach laboratory Gulk-Bruze. Flor.

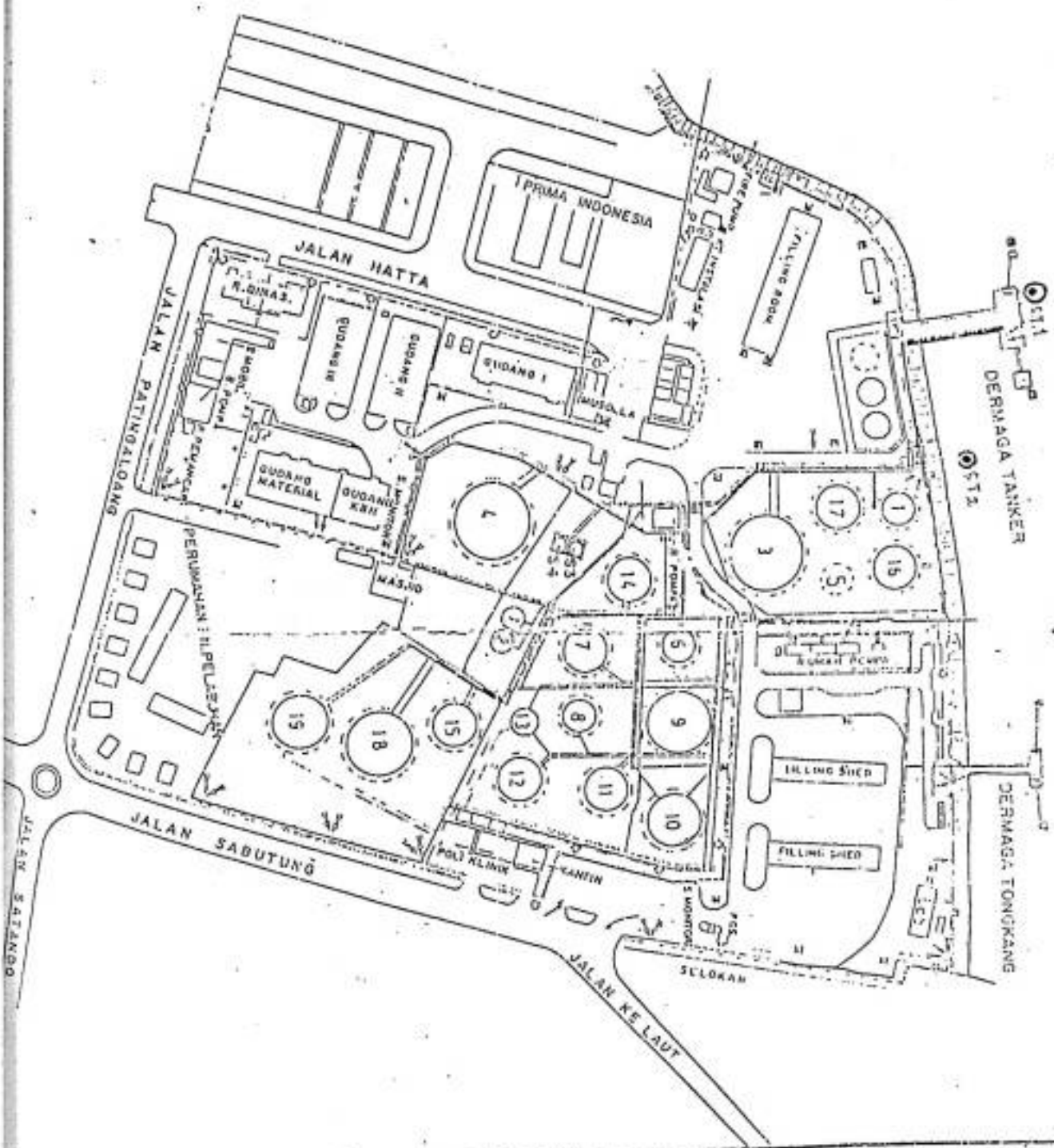


- Gibbs, C. F., Pugh, K. B., dan Andrwe, A. R., 1972. *Quantitative studies in marine biodegradation of oil. II effect temperature*. Proc. A. Soc. london. 188: 83-94.
- Gibson, D. M., M. S, Hendric., N. C. Houston and G. Hobbs. 1980. *The identification of some gram negatif heterotrophic aquatic bakteri*. Torry Research Station. 135 Abbey Borrd Aberden, Scotland.
- Gilbert, P. D dan Higgins, I. J., 1978. *The microbial degradation of crude minerals oil at sea*. J. Gen Microbiol. 108: 63-70.
- Grow, S. A, Cook, W. L. Ahearn, D. G., 1976. *Microbial population in coastal surface slicks*. In J. M. Sharpley and A. M. Kaplan (eds) Proceeding of the third Internatio Biodegradation Symposium. London.
- Gunalan, 1993. *Penerapan bioremidiasi untuk melenyapkan polutan organik dari lingkungan*. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Geyer, R., 1980. *Marine environmental pollutions hydrocarbons*. Elseiver Scientivic Publishing Company. New York.
- Hadi, O. K dan Rugitno., 1991. *Status pencemaran laut di Indonesia dan teknik pemantauannya*. Lembaga Pengetahuan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi. Jakarta, hal 37 - 69.
- Huckenhull, D. J., 1980. *Inoculum developmen with partikul reference*. Academic Press, Ney York.
- Husain, D. R., Grountx, M., Bezae, C., Gilawiez, M.Z., Bertrant, J.C., 1997. *Morphological adaptasion of pseudomonas nanhca strain 617 to growth on eicosane and mode of eicosane uptake*. Letters on Applied Mikrobiology.
- Jalaluddin, N. M., 1993. *Laporan pelaksanaan kursus singkat analisis pencemaran perairan laut*. Staf Akademi Perguruan Tinggi Negeri. Kawasan Timur Indonesia. Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- Jawahir, B., 1993. *Studi pencemaran hidrokarbon petroleum di sekitar pantai desa Langga (Selat Makassar), Kab. Pinrang. Sulawesi Selatan.*(Tesis)

- Leahy, J.G. and Colwell, R.R., 1990. *Mikrobial degradation of hydrocarbons in the environment*, Mikrobial Rev., 54: 305-315.
- Lemigas., 1987. *Pusat penelitian dan pengembangan teknologi minyak dan gas bumi*. Jakarta. Buletin.
- Lemigas dan Cnexco., 1981. *Occurrence of tar pollution along shore in Indonesia*.
- Linstrom, J. E., R. C. Prince., J. C. Clarc., 1991. *Microbial populations and hydrokarbon biodegradation potentials in fertilized shoeline sediment affeted by the TV exxon valdez oil spill*. appl and Environ Mikrobiol.
- National Academy of Sciences., 1975. *Petroleum in the marine environment*. Washington DC.
- Noor, Alfian ., 1994. *Study mengatasi pencemaran minyak bumi di laut dengan mikronutrisi penyubur biota pengkomsumsi hidrokarbon*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin. Ujungpandang.
- Posthuma, J., 1977. *The composition of petroleum*. Rapp p-v Reun cons int. Explor. Mer. 171: 7-16.
- Pritchard, P. H., 1991. *Bioremediation as a tecnology; experience with the exxon valdez oil spill*. J. Hazardous Materials, 28; 359-361.
- Rhein, G. H., 1991. *Aquatic microbiology*. Institute of Marine Science University of Kiel Germany. 175 - 236.
- Rontani, J.F., Bonin, P. and Giusti, G., 1987. *Mechanistic study of interactions between photo-oxydation and biodegradation of nonylbenzene in seawater*. Mar. Chem., 22:1-12
- Salle, A. J., 1961. *Fundamental priciples of profesor of bacteriology*. University of California. Los Angeles. Mc Grow-Hi; Book Company, Inc. New York.
- Sanseverino, J., Graves, D. A., Leavitt, M. E., and Gupta, S. K. *Aromatic hydrokarbon in coke waste*, p 345-372. In L.W. Donald and D.J. Trantolo (eds), *Remediation of Harzrdous Waste Contaminated Soils*. Mercel Dekker, Inc., New York.

- Soegiarto, A., 1973. *Aspek penelitian dalam pencegahan dan penanggulangan pencemaran laut*. Lembaga Oseanologi Nasional LIPI. Jakarta.
- Schlegel., Hans. G., 1994. *Mikrobiologi umum*. Gadjah Mada University. Pers Yogyakarta.
- Stanley, H. Pine., J. B. Hendrikson. Donal, J. P., George, S. H., 1981. *Kimia organik I*.
- Susan, C.W. et al, 1992. *Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (pah<sub>s</sub>): A. Review*. Institute of Environmental and Biological Sciences, Lancaster University, Lancastes.
- Wardoyo, S., 1974. *Pengolahan kualitas air*. Departemen Tata Produksi Pertanian. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor.
- Walker, J. D and Colwell, R.R., 1976. *Measuring the potential activity of hydrocarbon-degrading bacteria*. Appl. Environ. Microbiol. 31: 189-197.
- Wilson, E. B. and M.J. Hunt, 1985. *Petroleum in the environment. commision on natural resourcs*. Research Counsil National Academy of Science. Washintong D. C.
- Zobell, C. E. And Upham, H. C., 1944. *A List of marine bacteria including description of sixty new species*. Bull Scripps Inst. Oceanog., Univercity California., S 239-293.
- Zobell., 1973. *Microbial degradation of oil*. Present Status Problem and Perspectives. Aerm DC 7 Meyers sp. Publication NO. LSU.

# LAMPIRAN



**PERTAMINA**  
 UPPD  
 UJUNG PANDANG

KETERANGAN :

● LOKASI PENELITIAN

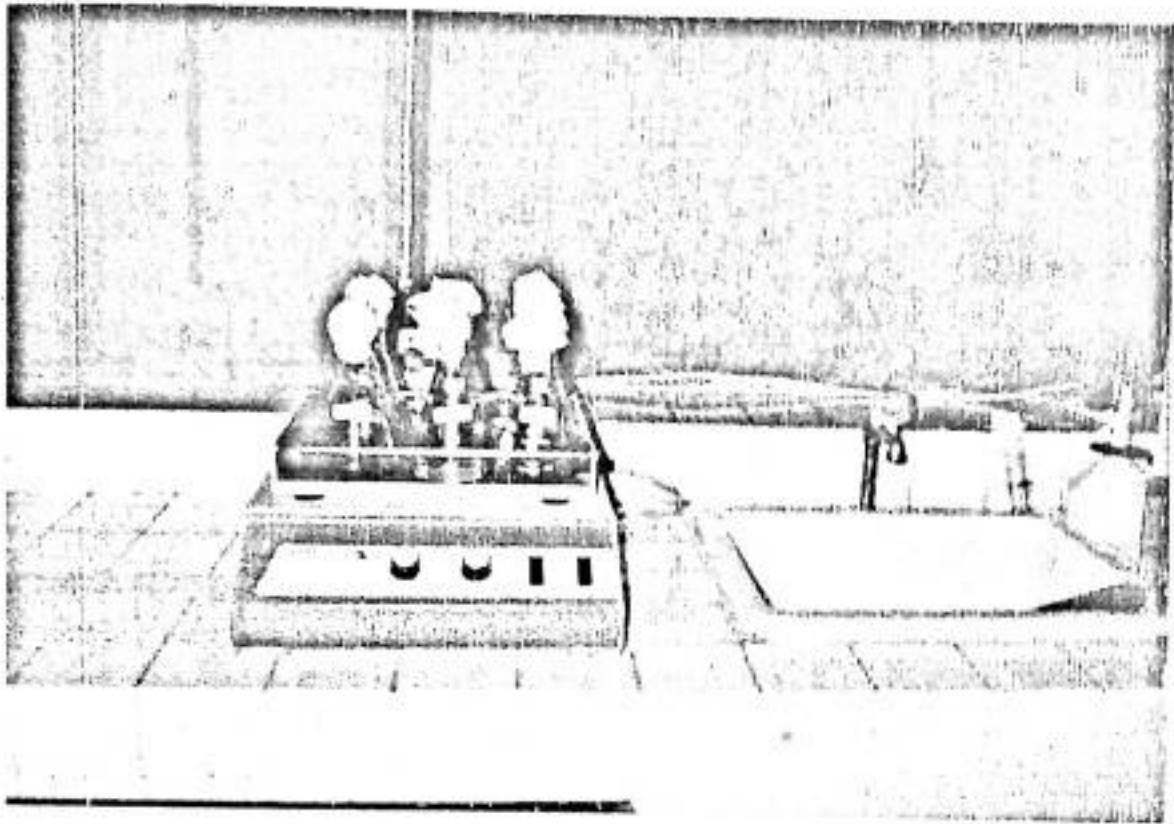
○ STAGIUM PENGAMBILAN SAMPEL

SUMBER :

INSTALASI BBM UJUNG PANDANG

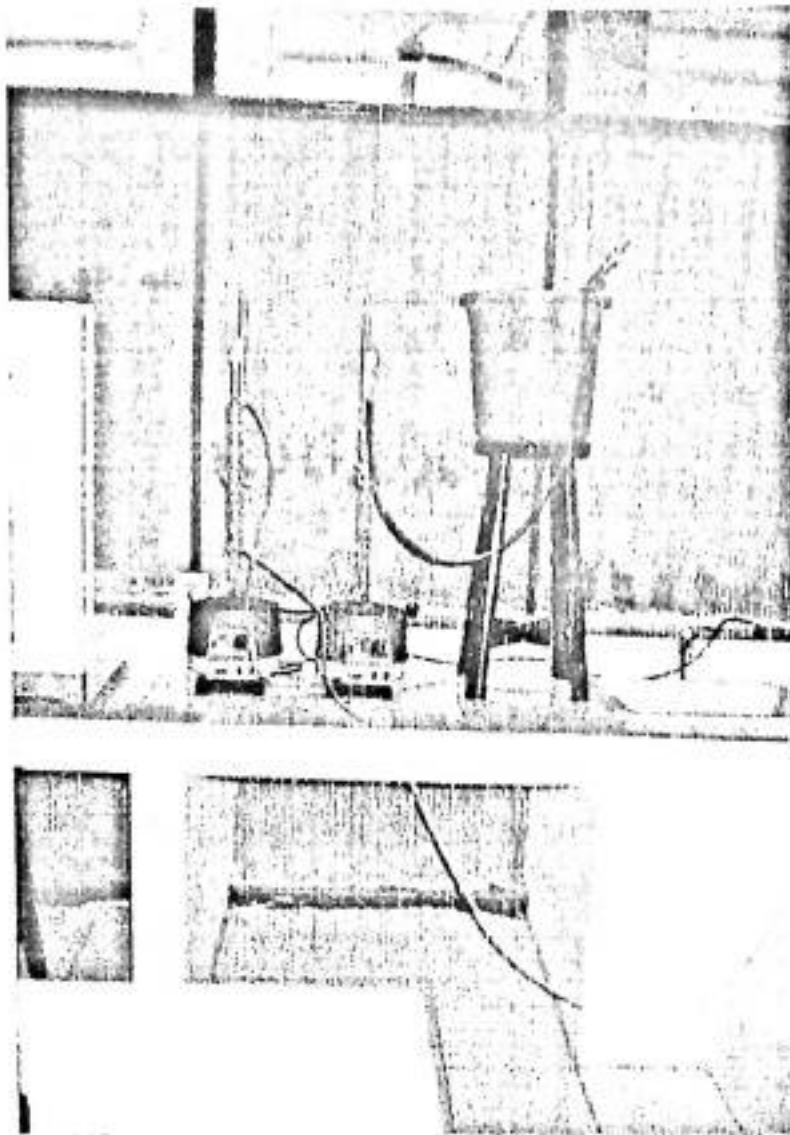
NAMA GAMBAR :

LOKASI PENELITIAN

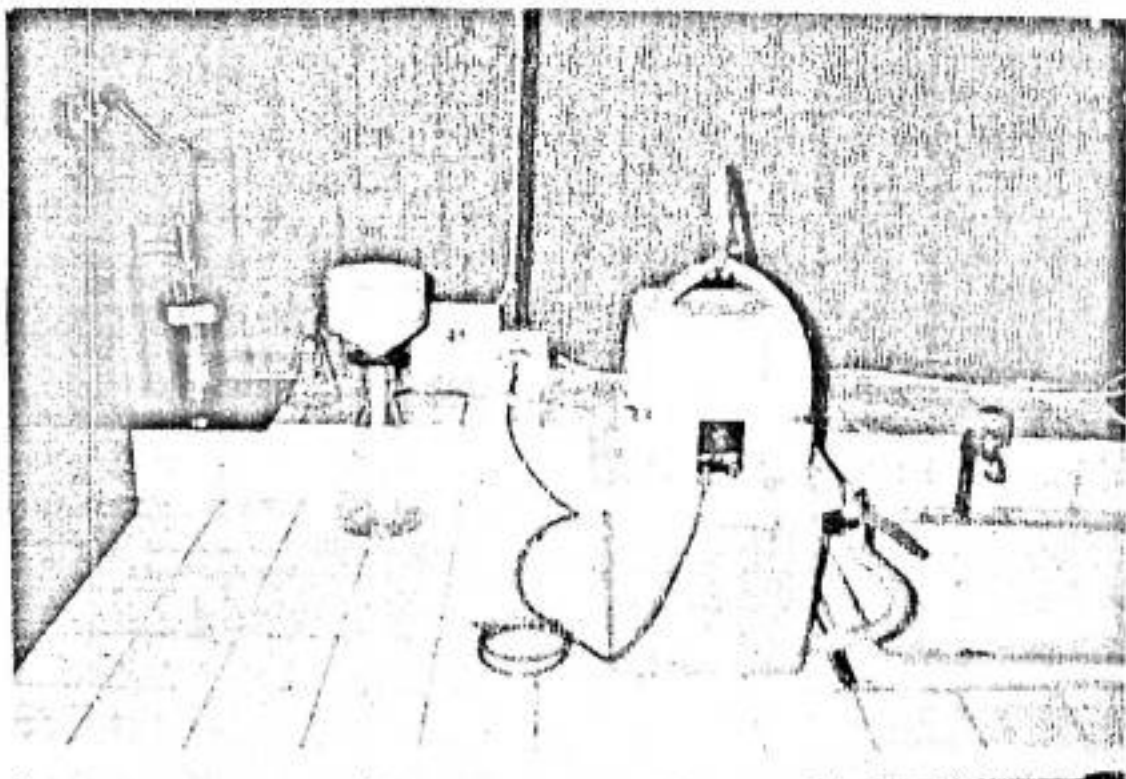


Gambar 17. Peralatan Shekker (Agitateur 74578) pada Proses Inkubasi

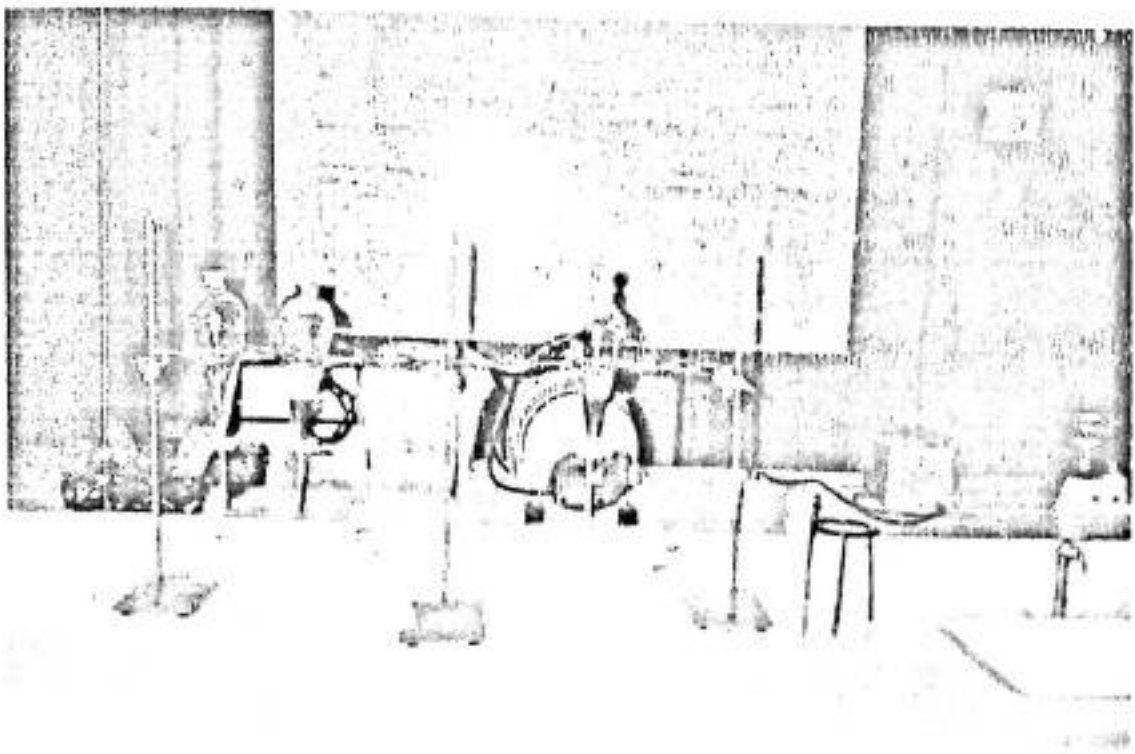
Gambar 18. Seperangkat Alat Spektrofotometer (Milton Roy Spectronik 1201) pada Pengamatan Kurva Pertumbuhan



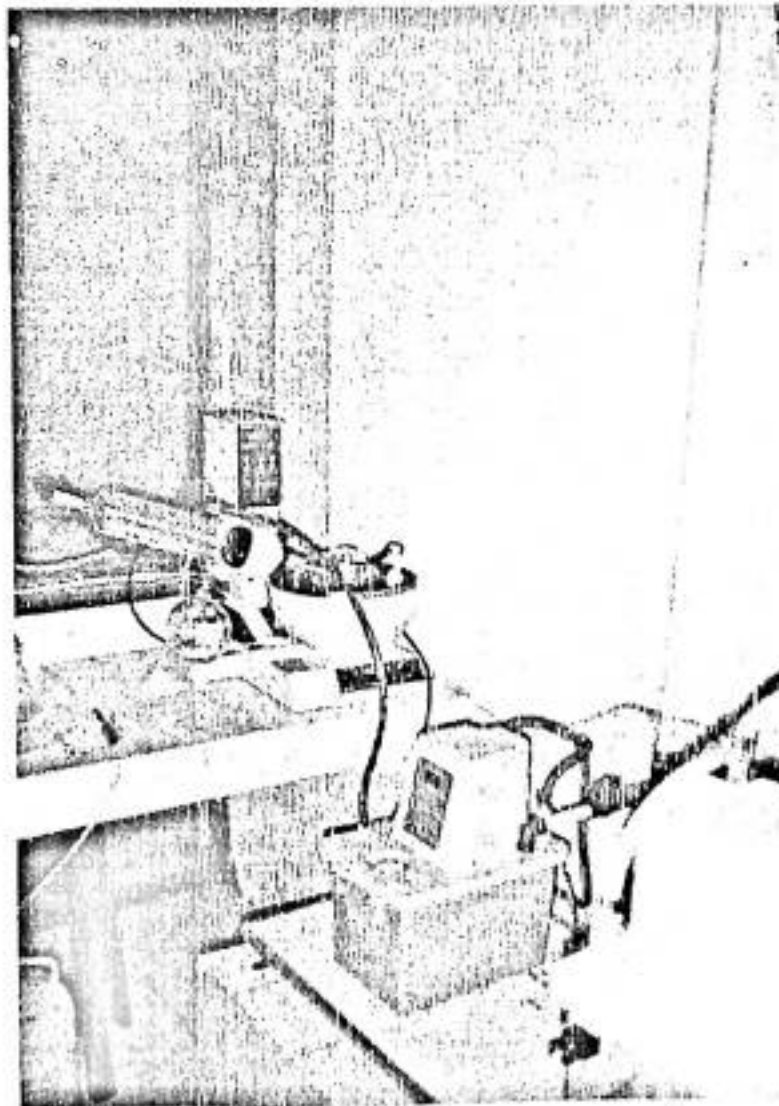
Gambar 19. Seperangkat Peralatan Reflux



Gambar 20. Penyaringan dengan Menggunakan Pompa Vakum (Buchii B-169)

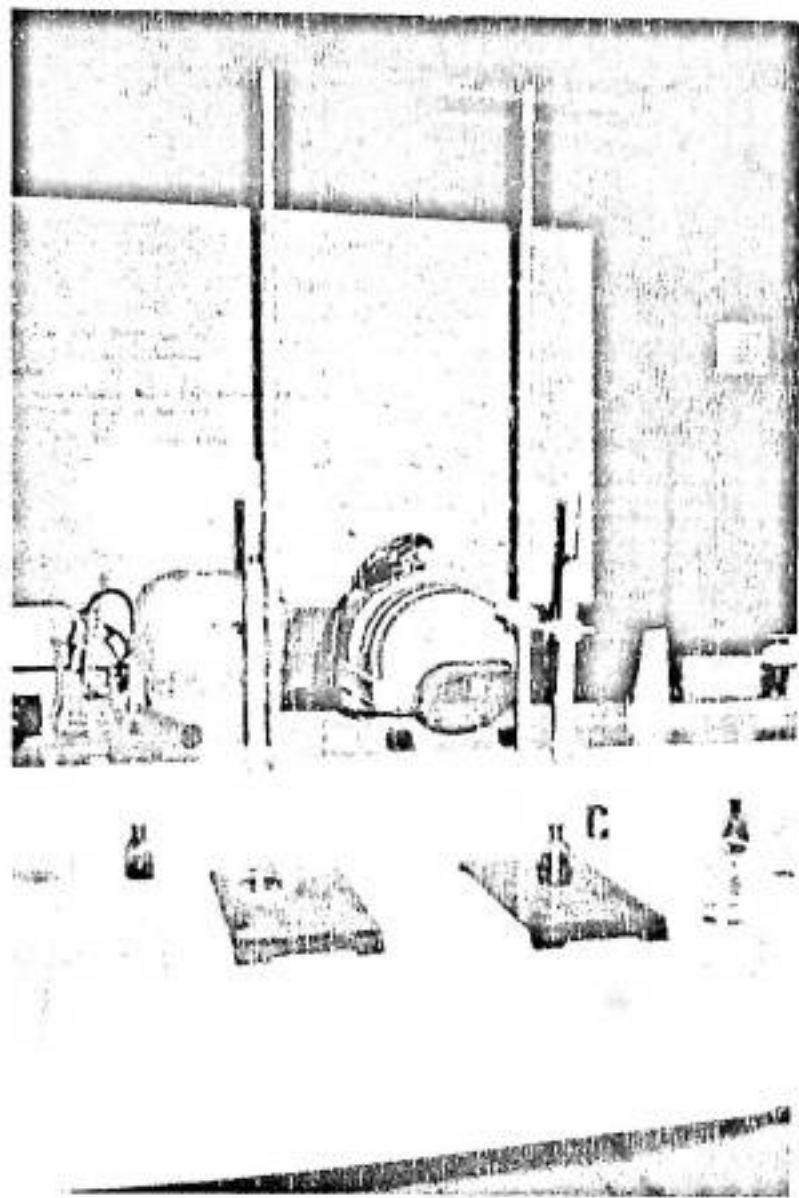


Gambar 21. Proses Pemisahan dengan Corong Pisah

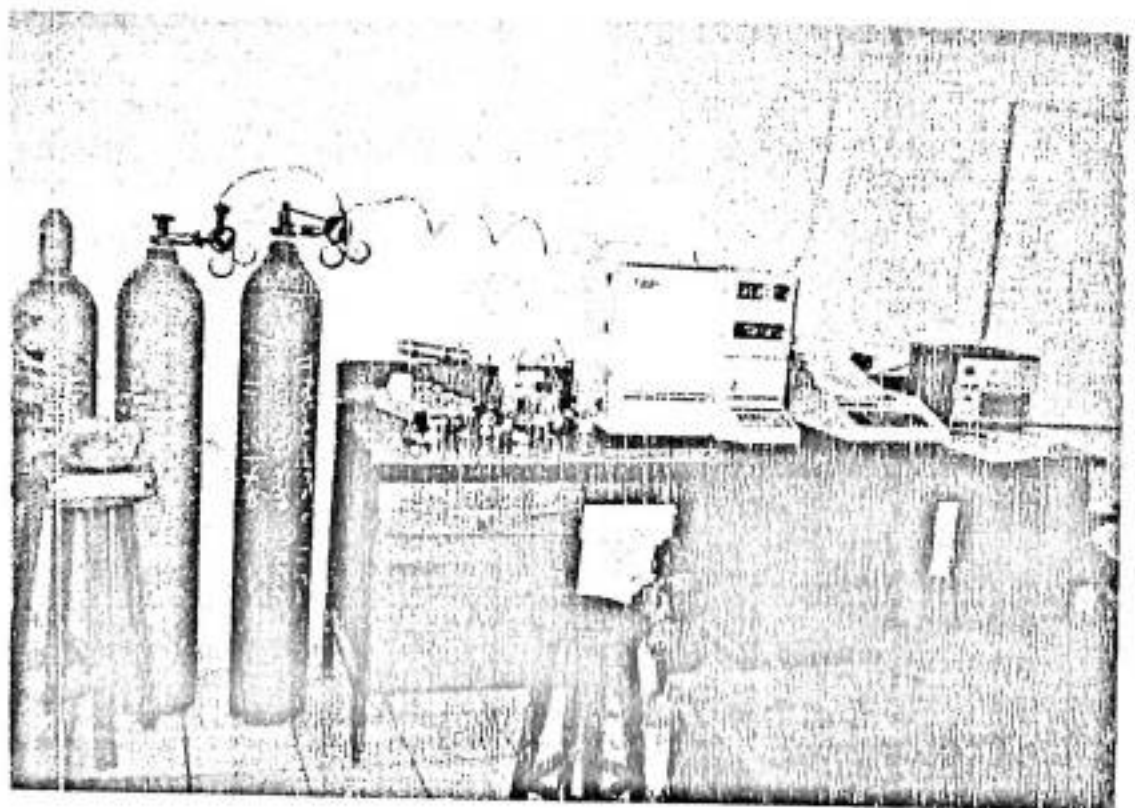


Gambar 22. Seperangkat Alat Rotavapor (Buchii R-144) pada Proses Destilasi





Gambar 23.. Pemisahan Fraksi Hidrokarbon dengan Kolom Fraksinasi



Gambar 24. Seperangkat Peralatan Kromatografi Gas - Cair