

**KAPASITAS BIODEGRADASI PETROLEUM OLEH BAKTERI LAUT
DARI PESISIRAN PELABUHAN PERTAMINA
UJUNG PANDANG**



SKRIPSI



PERPUSTAKAAN MIPA T UNIV. HASANUDDIN	
Tgl. terima	3 Maret 1999
Asal dari	Fakultas Kelautan
Jumlahnya	1 (satu) Eksp
Harga	Hadiah
No. Inventaris	99 05 1651
No. Riser	

Oleh

SUHARMAN

91 22 026

DR. DIRAYAH R. HUSAIN, DEA

(Pembimbing Utama)

DR. AKBAR TAHIR, M.Sc

(Pembimbing Anggota)

DRS. BEDDU DJAWAHIR, MS

(Pembimbing Anggota)

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
UJUNG PANDANG**

1998

**KAPASITAS BIODEGRADASI PETROLEUM
OLEH BAKTERI LAUT DARI PERAIRAN
PELABUHAN PERTAMINA UJUNG PANDANG**

Oleh :

SUHARMAN
91 22 026

SKRIPSI INI SEBAGAI SALAH SATU SYARAT
UNTUK MEMPEROLEH GELAR SARJANA
PADA
JURUSAN ILMU KELAUTAN

**FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDIN
UJUNGPANDANG
1998**

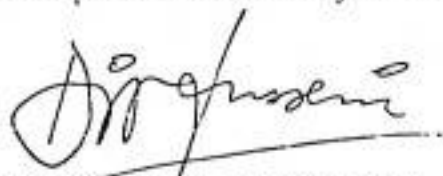
R. Suharman

Judul Skripsi : Kapasitas Biodegradasi Petroleum Oleh Bakteri Laut Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Nama Mahasiswa : Suharman

Nomor Pokok : 91 22 026

Telah Diperiksa dan diSetujui oleh :



Dr. Dirayah R. Husain, DEA
Pembimbing Utama



Dr. Akbar Tahir, M.Sc
Pembimbing Anggota



Drs. Beddu Jawahir, M.Si
Pembimbing Anggota

Diketahui Oleh :

Ir. Svamsu Alam Ali, MS
Dekan

Dr. Ambo Tuwo
Ketua Program Studi

Tanggal Lulus :

RINGKASAN

Suharman. 91 22 026. Kapasitas Biodegradasi Petroleum Oleh Bakteri Laut dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang (dibawah bimbingan : Dr. Dirayah R. Husain, DEA sebagai Pembimbing Utama, Dr Akbar Tahir, M.Sc dan Drs. Beddu Jawahir, M.Si sebagai Pembimbing Anggota).

Penelitian ini bertujuan untuk Menguji Kemampuan Bakteri Laut yang Diperoleh dari Perairan dan Sedimen Laut Pelabuhan Pertamina Ujungpandang dalam mendegradasi Petroleum. Bakteri yang diperoleh tersebut diharapkan dapat digunakan dalam upaya penanggulangan polutan minyak bumi dari lingkungan laut.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai Oktober 1997 yang meliputi persiapan penelitian, pengambilan sampel, pembuatan kultur dan pengujian kapasitas biodegradasi. Pengujian kapasitas biodegradasi secara kuantitatif dilakukan di laboratorium Bioteknologi Kelautan, sedang pengujian secara kualitatif dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas yang dilakukan di laboratorium Kimia Organik Sintesa FMIPA Universitas Hasanuddin, Ujungpandang.

Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri yang cukup aktif dalam medium Minima. Ini ditandai dengan adanya perubahan warna media kultur bakteri dari bening menjadi keruh dan akhirnya terbentuk warna khas yaitu warna kuning kecoklatan atau kemerahan untuk semua sampel serta adanya pengurangan jumlah petroleum pada permukaan media dan pada dinding erlenmeyer petroleum yang melekat sangat kurang sebagai indikasi bakteri yang berkembang mampu menghasilkan senyawa pengemulsi.

Dari Hasil pengurangan substrat pada awal inkubasi dan setelah akhir inkubasi setelah proses ekstraksi diperoleh hasil bahwa kapasitas biodegradasi terbesar dari ketiga jenis substrat yang dicobakan diperlihatkan oleh stasion I sampel air (51 % untuk substrat Sahara), stasion II Air (63 % untuk substrat Handil) dan stasion I Air (30 % untuk substrat "X"). Sedangkan prosentase biodegradasi terkecil diperlihatkan oleh stasion II sedimen (39 % untuk substrat Sahara), stasion I Sedimen (43 % untuk substrat Handil) dan stasion I Sedimen (8 % untuk substrat "X").

Hasil analisis kromatografi gas yang diperoleh dalam bentuk gambar menunjukkan bahwa pemutusan rantai karbon pada substrat Sahara stasion I Air fraksi alkana dapat terdegradasi seluruhnya sedangkan stasion II Sedimen hanya rantai karbon C_{18} yang terdegradasi. Pada substrat jenis Handil untuk stasion I Air fraksi alkana dapat terdegradasi seluruhnya kecuali pada rantai karbon C_{17} . Sedangkan untuk substrat jenis "X" fraksi alkana yang tidak terdegradasi pada stasion I Air adalah C_{17} dan C_{20} .

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Swt, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan skripsi yang berjudul **“Kapasitas Biodegradasi Petroleum Oleh Bakteri Laut dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang** dapat terselesaikan.

Penyusunan skripsi ini merupakan suatu rangkaian dari penelitian yang telah penulis lakukan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Dr. Dirayah R. Husain, DEA selaku Pembimbing Utama, Dr. Akbar Tahir, M.Sc dan Drs. Beddu Jawahir, M.Si selaku Pembimbing Anggota.
2. Seluruh staf dosen dan tata usaha jurusan Ilmu Kelautan yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
3. Rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dalam melakukan penelitian, terutama bagi rekan-rekan sesama peneliti dan seluruh angkatan 91.
4. Kedua orang tua atas semua bantuan material serta doa restu yang diberikan, dan tak lupa pula kepada saudara-saudaraku yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian studi di kelautan ini.
5. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan serta masih jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritikan dari pembaca sangat diharapkan demi penyempurnaan dan perbaikan skripsi ini.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembaca, khususnya rekan-rekan mahasiswa Ilmu Kelautan.

Ujungpandang, Juni 1998

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Kegunaan	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum Bakteri Laut	4
2.2. Profil Hidrokarbon Pada Lingkungan Laut	5
2.3. Distribusi Hidrokarbon n-Alkana	7
2.4. Keberadaan Hidrokarbon Dalam Sedimen Laut	9
2.5. Dampak Dan Upaya Penanggulangan Hidrokarbon	11
2.6. Peranan Dan Keuntungan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon	14
2.7. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Biodegradasi Hidrokarbon	15
2.8. Kurva Pertumbuhan	17
2.9. Kromatografi Gas	19

III. METODE PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2. Alat dan Bahan	25
3.3. Prosedur Kerja	28
3.4. Analisa Data	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Tinjauan Umum Lokasi Penelitian	32
4.2. Tahap Pertumbuhan Bakteri	34
4.3. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol Sahara	35
4.4. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol Handil	46
4.5. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol "X"	55
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Kurva Pertumbuhan Bakteri Pada Substrat Petroleum Sahara Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	40
2.	Hasil Kromatografi Gas Petroleum Sahara Yang Terdegradasi Oleh Bakteri Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	45
3.	Kurva Pertumbuhan Bakteri Pada Substrat Petroleum Handil Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	48
4.	Hasil Kromatografi Gas Petroleum Handil Yang Terdegradasi Oleh Bakteri Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	54
5.	Kurva Pertumbuhan Bakteri Pada Substrat Petroleum "X" Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	58
6.	Hasil Kromatografi Gas Petroleum "X" Yang Terdegradasi Oleh Bakteri Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	62

Lampiran

7.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) Pada Media Cair Yang Telah Ditambahkan Petroleum Sahara Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	67
8.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) Pada Media Cair Yang Telah Ditambahkan Petroleum Sahara Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	68
9.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) Pada Media Cair Yang Telah Ditambahkan Petroleum Handil Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	69
10.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) Pada Media Cair Yang Telah Ditambahkan Petroleum Handil Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	70
11.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) Pada Media Cair Yang Telah	

	Ditambahkan Petroleum "X" Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	71
12.	Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) Pada Media Cair Yang Telah Ditambahkan Petroleum "X" Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	72
13.	Peta Lokasi Pengambilan Sampel	73

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Data Parameter Fisika Kimia Perairan Instalasi Pelabuhan Pertamina Ujungpandang	33
2.	Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur Dan jumlah Petroleum Jenis Sahara Selama Masa Inkubasi	35
3.	Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petroleum Sahara	41
4.	Hasil Analisa Biodegradasi Secara Kuantitatif Terhadap Petroleum Sahara	42
5.	Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur Dan jumlah Petroleum Jenis Handil Selama Masa Inkubasi	46
6.	Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petroleum Handil	50
7.	Hasil Analisa Biodegradasi Secara Kuantitatif Terhadap Petroleum Handil	52
8.	Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur Dan jumlah Petroleum Jenis "X" Selama Masa Inkubasi	56
9.	Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petroleum "X"	59
10.	Hasil Analisa Biodegradasi Secara Kuantitatif Terhadap Petroleum "X"	60

Lampiran

11.	Hasil Pengukuran Density Optik (Spektrofotometer) Kultur Pada Dengan Substrat Petroleum Sahara	61
12.	Hasil Pengukuran Density Optik (Spektrofotometer) Kultur Pada Dengan Substrat Petroleum Handil	62
13.	Hasil Pengukuran Density Optik (Spektrofotometer) Kultur Pada Dengan Substrat Petroleum "X"	63

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Dalam dasawarsa terakhir ini banyak negara berkembang mendapat sorotan dunia oleh masalah pencemaran lingkungan. Indonesia yang merupakan negara berkembang dan juga negara kepulauan terbesar di dunia dengan sumber daya pesisir yang jauh lebih banyak dari negara-negara lainnya, sangat memerlukan suatu upaya untuk menjaga lingkungan laut dari bahan pencemar.

Eksplorasi, produksi, dan transportasi minyak bumi merupakan kegiatan yang sangat penting dari segi ekonomi namun juga merupakan sumber utama keberadaan minyak di lautan. Terdapatnya minyak pada perairan dan sedimen laut, disebabkan karena aktifitas produksi dan transportasi serta perputaran air yang ditimbulkan oleh gelombang dan arus yang akhirnya dengan adanya komponen lain dalam laut, seperti partikel-partikel tersuspensi yang mengikat butiran minyak sehingga berat minyak akan bertambah dan akhirnya tenggelam ke dalam dasar laut. Pada daerah-daerah pantai yang terlindung dari hempasan ombak dan arus yang kuat, misalnya pada daerah yang bersubstrat lumpur, minyak dapat bertahan dalam jangka waktu lama, dibandingkan pada daerah-daerah pantai yang terbuka dengan gelombang dan arus yang kuat minyak hanya bertahan kira-kira satu tahun (Sloan, 1993).

Terakumulasinya hidrokarbon (minyak bumi) pada lingkungan laut akan berdampak negatif terhadap kehidupan organisme, yaitu terganggunya ekosistem laut

dan seluruh aspek yang terkait dalam laut. Hal ini menyebabkan terganggunya siklus biologi biota laut, rantai makanan, kualitas air dan sedimen.

Melihat fenomena di atas mutlak dilakukan upaya penanggulangan tumpahan minyak bumi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Dalam hal ini metode yang telah dilakukan pada dasawarsa belakangan ini adalah penanggulangan secara kimia dan fisika. Tetapi kedua metode tersebut masih memiliki kekurangan yang mendasar yaitu dalam jangka waktu lama akan menimbulkan efek samping terhadap ekosistem. Alternatif yang tepat untuk mengatasi masalah pencemaran minyak di lautan, adalah dengan memanfaatkan bakteri perombak polutan yang dikenal dengan nama bioremediasi. Gunalan (1993) menyatakan bahwa bioremediasi dapat dilakukan melalui dua pendekatan. Pendekatan pertama adalah pemanfaatan bakteri alamiah perombak polutan setempat dengan cara memperbaiki kondisi pertumbuhan bakteri (peningkatan kadar hara dan nutrien). Pendekatan kedua berupa inokulasi di daerah kontaminasi dengan menggunakan inokulan bakteri perombak polutan yang diisolasi dan dibiakkan di laboratorium.

Pelabuhan Pertamina Ujungpandang sebagai lokasi pengambilan sampel merupakan tempat bongkar muat dan penampungan bahan bakar minyak. Daerah tersebut juga padat akan transportasi lalu lintas laut yang pada gilirannya sangat mendukung terdapatnya polutan hidrokarbon pada perairan dan sedimen laut.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dilakukan penelitian skala laboratorium untuk mendapatkan dan menguji kemampuan bakteri laut dalam mendegradasi hidrokarbon (minyak bumi).

1.2. Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan bakteri laut yang diperoleh pada perairan dan sedimen laut Pelabuhan Pertamina Ujungpandang dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon (minyak bumi).

Penelitian ini diharapkan berguna sebagai alternatif penanggulangan pencemaran hidrokarbon (minyak bumi) yang berwawasan lingkungan dan sebagai acuan dan informasi bagi peneliti selanjutnya.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian tentang Kapasitas Biodegradasi Petroleum oleh Komunitas Bakteri yang Diperoleh pada Perairan laut Pelabuhan Pertamina Ujungpandang ini dibatasi pada kapasitas biodegradasi bakteri yang diperoleh pada perairan laut terhadap substrat petroleum. Sebagai data penunjang, di lokasi dilakukan pengukuran terhadap suhu, salinitas, pH, kecerahan dan bau sedimen contoh.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Bakteri Laut

Bakteri laut menempati hampir semua wilayah perairan laut, tetapi populasi yang terbesar biasanya terdapat dalam air sepanjang atau dekat pantai dengan tidak menghiraukan sebaran suhu dan kedalamannya.

Suriawiria (1977) menyatakan bahwa keberadaan bakteri di sepanjang pantai jumlahnya lebih banyak, biasanya karena berhubungan dengan masuknya nutrisi yang berasal dari daratan. Pada kedalaman di bawah 200 meter, populasi bakteri makin bertambah dan setelah mencapai dasar laut jumlahnya lebih banyak lagi pada substrat yang berlumpur.

Bakteri laut mempunyai karakteristik yang khusus, umumnya lebih kecil daripada bakteri air tawar dan tanah. Bakteri laut umumnya berbentuk batang yang sebagian besar aktif bergerak (motil) karena mempunyai flagel. Sedangkan bentuk kokus sangat jarang dijumpai, keduanya bersifat aerob dan anaerob fakultatif (Atlas dan Bartha, 1985). Selanjutnya dikatakan bahwa beberapa bakteri laut akan mengabsorpsi partikel detritus dan tumbuh baik pada tempat yang kaya nutrisi. Umumnya bakteri laut mempunyai toleransi suhu yang rendah sampai 5 °C dan tahan terhadap tekanan hidrostatik yang tinggi.

Morfologi bakteri laut kebanyakan gram negatif, berbentuk batang dan pertumbuhannya sangat lambat dengan koloni yang kecil dan bersifat proteolitik dan

sakharolitik. Karakteristik dari sebagian besar bakteri laut yang menyolok adalah berwarna kuning, keoklat-coklatan, merah muda dan hijau (Salle, 1961).

Lovelace (1967) dalam Austin (1993), menemukan spesies bakteri laut yaitu 56% *Vibrio*, 18% *Pseudomonas*, 6% *Flavobacterium* dan berturut-turut *Sprillum*, *Achromobacter*, *Hypomicrobium*, *Cythopaga* dan *Mycrocylus*.

Zobel (1973) menyatakan bahwa terdapat kurang lebih 70 spesies bakteri yang dapat mendegradasi hidrokarbon (minyak bumi), diantaranya genera *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, *Brevibacterium*, *Cyanobacterium*, *Arthrobacterium* dan *Pseudomonas* adalah genus yang paling dominan.

Atlas dan Bartha (1975) menyatakan bahwa setiap spesies bakteri hanya dapat mendegradasi senyawa hidrokarbon tertentu dalam minyak bumi, misalnya *Pseudomonas methanica* hanya dapat mengoksidasi metana. Selanjutnya Atlas (1985) menyatakan bahwa beberapa jenis bakteri yang diketahui dapat mendegradsai hidrokarbon antara lain, yaitu *Corynobacterium sp.*, *Corynobacterium hidrocarboncalustus*, *Corynobacterium lepus*, *Mycobacterium vaccas*, *Mycobacterium rhodochrons*, *Micrococcus cerrificans*, *Micrococcus convolutum*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas cepaci*, *Pseudomonas oleovans*, *Candida tropical*, *Candida cloacea*, dan *Candida rugos*.

2.2. Profil Hidrokarbon Pada Lingkungan Laut

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 laut, seperti petroleum, pestisida, pelarut dan pewarna (Gunalan, 1995).

Hidrokarbon (minyak bumi) merupakan campuran beberapa persenyawaan yang terjadi secara alamiah dan mempunyai susunan kimia yang kompleks. Senyawa-senyawa tersebut terbentuk dari dekomposisi tumbuhan dan hewan laut yang telah mati jauh di bawah permukaan laut. Komponen utama dari minyak bumi ini adalah hidrokarbon dengan kadar 50% - 98%. Disamping itu jumlah senyawa organik yang mengandung oksigen, belerang, nitrogen dan bahkan logam-logam dalam jumlah kecil. Hidrokarbon (minyak bumi) dapat berupa gas, cair dan padat dengan sifat kimia dan fisik berbeda satu dengan lainnya, tergantung pada kondisi lapisan geologis tempat minyak bumi terdapat, misalnya temperatur dan komonen organik pada lapisan tersebut. Oleh karena itu jarang dijumpai dua jenis minyak bumi yang mempunyai keseluruhan sifat yang sama (Jalaluddin, 1993).

Geyer (1980) menyatakan bahwa dalam lingkungan laut terdapat berbagai jenis senyawa organik, seperti asam amino, karbohidrat, hidrogen biogenik, hidrogen-hidrogen yang berasal dari bahan bakar, fosil, asam amino dan lain-lain. Selanjutnya dikatakan bahwa minyak mentah adalah senyawa kompleks dari hidrokarbon yang terjadi secara alamiah dan pada konsentrasi tertentu mempunyai toksisitas terhadap sistem kehidupan.

Zat-zat organik yang berasal dari organisme mati akan digunakan kembali oleh organisme lain untuk kelangsungan hidupnya. Sebagian dari zat-zat organik tersebut adalah senyawa hidrokarbon yang terdiri dari unsur-unsur karbon dan hidrogen, seperti alkana, olefin dan aromatik (Lemigas, 1987).

Untuk tujuan analisis, khususnya penelitian mengenai biodegradasi, komposisi minyak bumi dibagi dalam 4 fraksi: fraksi jenuh, aromatik, senyawa-senyawa yang mengandung N, S dan O. Fraksi jenuh yang mengandung n-alkana sangat mudah mengalami degradasi (Foster dan Kaster, 1963 dalam A. Noor, 1993). Sedangkan fraksi jenuh yang mengandung alkana rantai bercabang dan siklo alkana sukar didegradasi oleh mikroorganisme pengurai.

2.3. Distribusi Hidrokarbon n-Alkana

Dalam minyak bumi dikenal dua bentuk struktur parafin, yaitu yang memiliki rantai lurus dan rantai bercabang, misalnya: n-heptadekane ($n-C_{17}$) dan pristan (C_{19}).

n-Alkana adalah suatu kelas hidrokarbon yang merupakan komponen utama penyusun minyak mentah dengan rumus umum C_nH_{2n+2} . Senyawa-senyawa ini umumnya non-polar, mempunyai sifat yang mirip dengan lemak, yaitu tidak larut dalam air dan bobot jenis lebih rendah dari air sehingga senyawa ini disebut juga senyawa alifatis. Selain itu dikenal juga sebagai hidrokarbon parafin karena kurang reaktif dibandingkan alkena dan alkuna. Alkana rantai lurus dengan rantai karbon $C_1 - C_4$ berwujud gas pada temperatur kamar kamar; $C_5 - C_{17}$ berwujud cair dan C_{18} atau lebih adalah padat. Bobot jenis dan titik didih meningkat (sekitar $30\text{ }^\circ\text{C}$) seiring

dengan bertambahnya gugus metilen oleh karena sifat non-polarnya, n-alkana larut dalam pelarut non-polar atau sedikit polar, seperti benzena dietil eter (Ferrington dan Meyer, 1975).

Minyak mentah atau minyak alami adalah campuran yang kompleks senyawa hidrokarbon dan non-hidrokarbon dengan n-alkana sebagai fraksi utama. Minyak bumi terbentuk berjuta-juta tahun yang lalu oleh dekomposisi terhadap hewan dan tumbuh-tumbuhan yang berasal dari laut. Minyak bumi juga dikenal dengan nama petroleum (minyak batu) karena terkumpul dalam kantong-kantong lapisan batuan, berupa cairan kental berwarna hitam pekat (National Academy of Science, 1975). Lebih lanjut dikatakan bahwa kira-kira 500 senyawa pernah dideteksi dalam suatu cuplikan minyak bumi, dimana minyak bumi jenis ringan komponen utamanya adalah n-alkana dengan atom $C_{15} - C_{17}$. Contoh jenis minyak ini adalah "Arabian Light" dan "Iranian Light", sedangkan minyak bumi yang bobot jenis komponen utamanya adalah fraksi hidrokarbon yang titik didihnya tinggi.

n-Alkana dalam lingkungan laut menunjukkan distribusi bimodal yang khas yaitu campuran antara "Marine Autochthonous" (alkana dari lingkungan laut sendiri) dan "Terrestrial Allochthonous" (hidrokarbon yang berasal dari daratan) dengan sedikit komponen abiotik dan tidak ada komponen antropogenik. n-Alkana merupakan fraksi terbesar dari hidrokarbon jenuh dalam sedimen permukaan laut dangkal, baik organisme laut maupun terrestrial mensintesis n-alkana.

Sever (1971) mengemukakan bahwa distribusi hidrokarbon sangat menarik pada sedimen permukaan di daerah pesisir dan laguna teluk Meksiko. Ia menemukan rentang distribusi yang luas dari n-alkana C_{21} - C_{30} dengan dominasi n-alkana karbon ganjil, alkana bercabang iso- C_{17} dan C_{18} serta metil heptadekana.

Alkana bercabang, misalnya pristan paling banyak ditemukan pada beberapa jenis ikan. Selain itu juga terdapat alkana bercabang dan siklopropana. Kurangnya dominasi n-alkana ganjil/genap pada suatu lokasi dapat diartikan bahwa lebih banyak konsentrasi total hidrokarbon dalam suatu sampel sedimen permukaan (termasuk senyawa biogenik) yang ditentukan dengan berbagai teknik yang pada umumnya memiliki rentang 0,1 - 12 ppt (part per Thousand) dan biasanya kurang dari 1 ppt pada daerah sangat tercemar, kurang dari 100 ppm pada daerah pesisir yang tidak tercemar oleh petroleum.

2.4. Keberadaan Hidrokarbon Dalam Sedimen Laut

Jika terjadi tumpahan minyak atau peristiwa lain yang dapat menambah kadar hidrokarbon (minyak bumi) secara kuantitatif pada laut, maka beberapa proses yang dialami hingga akhirnya masuk ke dalam sedimen. Minyak bumi yang masuk ke dalam sedimen mula-mula mengalami emulsifikasi, evaporasi dan fotooksidasi. Proses ini tergantung juga pada keadaan laut, terutama adanya gelombang dan arus laut yang dapat mencampur maupun membawa minyak bumi hingga tersebar pada permukaan laut. Emulsifikasi terjadi karena komponen minyak bumi tersuspensi dalam air laut. Dengan terbentuknya lapisan minyak yang tipis pada permukaan laut,

secara perlahan berputar oleh adanya gelombang dan arus yang akhirnya karena adanya komponen lain dalam air yang mengikat butiran minyak sehingga berat minyak akan bertambah dan akhirnya tenggelam ke dalam dasar laut (N.A.S, 1975 dalam Jawahir, 1993).

Wicaksono (1987) menyatakan bahwa proses fisika, kimia dan biologi mempengaruhi karakteristik tumpahan minyak bumi di lingkungan laut. Proses kimia dan fisika secara cepat bekerja pada lapisan minyak sehingga dapat lenyap dalam waktu beberapa hari. Jika tumpahan dalam jumlah yang cukup besar akan sangat berbahaya karena proses emulsifikasi dalam air laut akan berlangsung dan mengendap ke dasar laut oleh proses sedimentasi.

Komposisi hidrokarbon pada sedimen yang telah terbentuk lama lebih bervariasi dibandingkan sedimen yang baru terbentuk. Pada sedimen yang telah terbentuk lama, biasanya mengandung campuran hidrokarbon yang sangat kompleks. Pada sedimen yang sama dimana terdapat hidrokarbon dan selalu berbeda dari profil hidrokarbon alifatik (Farrington et al, 1975).

Pada tempat-tempat yang mengandung konsentrasi hidrokarbon yang tinggi dan hidrokarbon aromatik ditemukan komposisinya lebih kompleks. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas yang ekstrim dan berat molekul hidrokarbon jenuh (Neff, 1985). Selanjutnya dikatakan bahwa konsentrasi hidrokarbon aromatik dalam air laut dan sedimen jumlahnya bervariasi. Sedimen dari daerah yang dekat dengan kegiatan

manusia dan industri dapat mengandung total konsentrasi hidrokarbon aromatik 100 ppm atau lebih.

Sumber antropogenik merupakan sumber utama dari hidrokarbon aromatik, baik dari bahan bakar fosil maupun pirolitik. Minyak bumi dan produk destilatnya merupakan campuran yang sangat kompleks dari senyawa-senyawa organik. n-Alkana adalah komponen terbesar, biasanya lebih dari 75% kandungan minyak bumi dan dapat mengandung 0,2% hingga 15% hidrokarbon aromatik, tergantung dari jenis minyak bumi tersebut (NAS, 1975).

2.5. Dampak dan Upaya Penanggulangan Hidrokarbon

Dampak negatif yang paling dirasakan akibat pencemaran minyak di laut adalah merosotnya kualitas lingkungan atau ekosistem dan seluruh aspek yang terkait di dalam laut tersebut.

Wardoyo (1974) menyatakan bahwa minyak bumi yang tumpah di laut akan mengalami proses, seperti: penguapan, disolusi, dispersi atau emulsifikasi dan biodegradasi. Pada proses-proses tersebut sebagian minyak bumi akan menjadi gumpalan-gumpalan yang lambat laun akan terbawa kepantai hingga pantai menjadi tercemar. Kecelakaan kapal tangker Exxon Valdez yang mengalami kebocoran sehingga menyebabkan pencemaran pantai Gregne sepanjang 450 Km.

Faktor fisika, kimia dan biologi sangat mempengaruhi toksisitas terhadap organisme laut dan habitat-habitatnya. Minyak bumi yang berada di atas perairan terbuka masalahnya tidak sefatal jika minyak sudah mencapai perairan pantai. Minyak

dalam air dapat bertahan selama beberapa bulan. Dan meskipun dalam kadar rendah minyak di dalam laut dapat mempunyai dampak letal bagi sumber daya hayati laut (Sloan, 1993).

U.S. Congress, Office of Technology Assessment (USOTA, 1991) menyatakan bahwa minyak yang masuk ke laut akan mengalami perubahan fisik, kimia maupun biologis. Proses pelapukan abiotik dari minyak bumi yang masuk ke dalam laut meliputi: evaporasi, disolusi, dispersi, oksidasi fotokimia, emulsifikasi minyak dan air (membentuk busa), absorpsi bahan-bahan partikel, penenggelaman dan sedimentasi. Sedangkan proses-proses biotik mencakup degradasi oleh mikroba dan pencemaran pada organisme. Proses tersebut berlangsung secara serentak dan mengubah ciri-ciri fisik dan kimia minyak. Minyak sebagai bahan organik merupakan sumber energi dan makanan bagi organisme tertentu melalui proses pelapukan dan degradasi.

Penanganan tumpahan minyak di perairan laut terbuka dengan segera untuk mencegah menuju ke pantai dan terakumulasi ke dalam sedimen laut merupakan strategi yang optimal dalam mengurangi dampak negatif. Pembersihan minyak dapat dilakukan dengan 3 cara (Wardoyo (1974), yaitu:

- a. Pembersihan secara mekanik, seperti penggunaan air panas bertekanan tinggi. Pembersihan dengan cara ini tergantung dari keadaan lingkungan sekitarnya, seperti jumlah minyak, cuaca dan konfigurasi pantai. Namun kegiatan pembersihan minyak dapat menimbulkan pengaruh positif dan negatif terhadap ekosistem.

- b. Pembersihan secara kimiawi, seperti penggunaan dispersan yang dapat mencegah minyak menjadi butiran-butiran besar yang kemudian meninggalkan lapisan tipis pada permukaan laut dan masuk ke dalam kolom air. Namun cara ini masih banyak kekurangannya dan dapat menimbulkan permasalahan baru terhadap lingkungan laut.
- c. Pembersihan secara biologis, yaitu menggunakan inokulan bakteri perombak polutan yang dapat mendegradasi hidrokarbon (minyak bumi). Cara ini merupakan metode penanggulangan pencemaran minyak yang murah dan berwawasan lingkungan.

Pengembangan teknik inokulan bakteri pendegradasi dalam sistem penanggulangan limbah hidrokarbon (minyak bumi) tampaknya semakin bertambah pesat. Terbukti akibat tenggelamnya kapal tanker Exxon Valdez yang menumpahkan minyak mentah sekitar 40 juta liter pada tahun 1989, telah diterapkan metode bioremediasi, cara ini merupakan pemanfaatan bakteri alamiah perombak hidrokarbon. Dengan demikian telah mendorong usaha-usaha yang ekstensif untuk mengembangkan kultur inokulum guna menghilangkan cemaran hidrokarbon. Kultur inokulum untuk pengolahan limbah dapat dibuat dalam bentuk yang bermacam-macam, yaitu bentuk kultur murni dan kultur campuran yang dapat berupa campuran seleksi maupun sebagai kultur yang tidak dispesifikasi. Bioremediasi (pemanfaatan bakteri perombak polutan organik dengan biaya yang relatif lebih murah dibandingkan metode kimia dan fisika (Gunalan, 1993).

Dalam konteks pantai yang terkena tumpahan minyak, Dunfor, *et al* (1991) menyimpulkan bahwa :

1. Pembersihan akan menimbulkan pengaruh yang berarti terhadap kerusakan sejumlah sumber daya alam.
2. Dalam titik lokasi tertentu kerusakan akibat kegiatan aktivitas pembersihan akan lebih meningkatkan kerusakan sumber daya alam daripada jika sisa minyak dibiarkan.
3. Secara sosial tingkat optimal dari aktivitas pembersihan biasanya akan lebih rendah daripada usaha teknis untuk meminimalkan kerusakan sumber daya alam.

2.5. Peranan dan Keuntungan Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

Penggunaan teknik biologi seluler dan molekuler telah dibuktikan bahwa kemampuan perombakan oleh bakteri perombak polutan berkaitan dengan kehadiran plasmid bakteri. Plasmid degradatif dengan peta fisik terlengkap yang telah dihasilkan adalah plasmid pJP4 pada *Alcaligenes eutrophus* JMP 134. Keberadaan plasmid tersebut telah memungkinkan bakteri inang memiliki berbagai gen penyandi enzim-enzim yang bertanggungjawab terhadap perombakan polutan organik (Perkins dan Lurquin, 1988).

Audus (1950) menyatakan bahwa studi mengenai perombakan polutan organik secara biologi pada lingkungan dengan biodegradasi herbisida 2,4-D (Dichlorophenoxyfetic acid) merupakan model yang paling klasik. Peranan mikroba

pada biodegradasi telah berhasil mendapatkan biakan murni *Bacterium globiforme* yang berkemampuan menggunakan 2,4-D sebagai sumber karbon tunggal.

Pengolahan limbah industri dengan proses biodegradasi (menggunakan inokulum bakteri) mempunyai beberapa keuntungan (poesponegoro, 1985) sebagai berikut:

- a. Memberi fleksibilitas dalam penentuan strain bakteri yang tepat bagi suatu proses pengolahan untuk menguraikan senyawa kimia atau limbah industri.
- b. Memberikan fleksibilitas dalam penentuan saat memulai suatu proses pengolahan yang dikehendaki.
- c. Proses pengolahan limbah menjadi produktif dan terkendali.
- d. Proses pengolahan limbah dapat lebih efektif dan efisien.
- e. Proses pengolahan limbah dapat lebih dipercepat.

2.7. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biodegradasi Hidrokarbon

Biodegradasi minyak bumi merupakan suatu proses yang lambat, dimana kecepatannya dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

a. Oksigen terlarut

Oksigen terlarut yang terdapat di laut cukup banyak, karena adanya gelombang dan arus yang mampu secara terus-menerus menangkap oksigen dari atmosfer. Proses biodegradasi memerlukan sekurang-kurangnya 3 - 4 mg oksigen terlarut untuk oksidasi sempurna 1 ml hidrokarbon menjadi CO_2 dan H_2O . Selanjutnya dikemukakan bahwa 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. Derajat turbulensi juga secara langsung mempengaruhi keberadaan oksigen baik secara dispersi fisik maupun secara emulsifikasi terhadap minyak. Dan jika air atau sedimen menjadi anoxic maka tingkat biodegradasi akan tereduksi nyata atau menyolok sekali.

b. S u h u

Suhu di laut beragam antara 5 °C samapai 20 °C tergantung kondisi meteorologis atau letak geografis. Untuk laut Asia Tenggara, suhu laut bisa mencapai 31 °C. Peningkatan suhu dapat mempercepat tingkat pertumbuhan, sehingga meningkatkan biodegradasi (Atlas dan Bartha, 1985). Adanya kenaikan temperatur juga menambah tingkat evaporasi pada komponen yang lebih mudah menguap terhadap beberapa komponen yang terdegradasi dan beberapa komponen yang bersifat toksok (Atlas dan Bartha, 1972).

c. Nutrisi

Atlas dan Bartha (1972) menyatakan bahwa dalam proses biodegradasi kebutuhan nutrisi merupakan hal yang sangat penting untuk bakteri. Keberadaan nutrisi biasanya terbatas di laut terbuka daripada di daerah pantai. Namun nitrogen dan fosfor yang minim jumlahnya di laut dibandingkan karbon, menjadi sangat efisien setelah terjadi tumpahan minyak ke dalam laut. Nitrogen adalah unsur penentu dalam mineralisasi dan penghasil biomassa dalam sintesa protein. Sedangkan fosfor tetap penting untuk memenuhi produksi ATP suatu sel bakteri.

Kondisi-kondisi yang mempengaruhi pencemaran minyak di lautan (Sloan, 1993) meliputi :

1. Tipe habitat yang terkena minyak
2. Tipe dan jumlah minyak bumi dan minyak bakar yang lebih ringan dan lebih mudah menguap serta beracun daripada minyak mentah yang lebih berat
3. Jenis organisme yang terkena minyak
4. Lama waktu minyak berada di atas permukaan laut sebelum mencapai pantai, memberikan kesempatan kepada minyak yang lebih mudah terbakar, beracun, berat molekul ringan untuk menguap sehingga dalam beberapa hari volume minyak dapat menurun sampai 50% sementara kepekatan minyak meningkat
5. Waktu (musim dan tahap hidup organisme) yang berkaitan dengan kerentanan organisme (telur dan larva lebih rentan daripada organisme dewasa)
6. Kondisi hidrologis (ombak dan arus), meteorologis (badai mempercepat penyebaran tumpahan minyak) dan klimatologis (minyak lebih beracun dan lebih cepat larut di perairan tropis yang lebih hangat)
7. Frekuensi dan jangka waktu kontak dengan minyak
8. Efektifitas tindakan-tindakan pembersihan

2.3. Kurva Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri dalam suatu sistem tertutup selalu mengikuti kurva pertumbuhan yang terdiri dari beberapa fase, yaitu:

- a. Fase adaptasi (Log)

Fase adaptasi yang juga dikenal sebagai fase Lag yaitu fase dimana pertumbuhan bakteri masih berusaha menyesuaikan diri dengan keadaan lingkungannya. Menurut Fardias (1989) bahwa pada fase ini belum terjadi pembelahan sel karena beberapa enzim mungkin belum disintesa. jumlah sel pada fase ini mungkin tetap, tetapi kadang-kadang menurun. Selanjutnya dikatakan bahwa lamanya fase ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya medium dan lingkungan pertumbuhan serta jumlah inokulum.

Hinselwood (1952) menyatakan bahwa kelambatan pertumbuhan bakteri pada kondisi ini disebabkan oleh penggunaan sel yang masih muda. Dikatan juga bahwa dalam inokulum harus ada penambahan konsentrasi nutrisi yang berlebih sehingga proses metabolisme lebih cepat sebelum terjadi pertumbuhan eksponensial.

b. Fase Pertumbuhan Eksponensial

Fase pertumbuhan ini merupakan fase dimana bakteri berkembang biak dengan cepat, hal ini disebabkan adanya ketersediaan sumber karbon dan sumber energi nutri yang cukup. Senez (1962) menyatakan bahwa dengan nutrisi yang lebih lengkap dapat menghasilkan pembelahan sel yang lebih cepat.

c. Fase Pertumbuhan Stasioner

Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Tidak adanya peningkatan pertumbuhan juga disebabkan adanya senyawa toksik seperti asam fermentasi yang terakumulasi (Hinselwood, 1952).

d. Fase Kematian

Fardias (1989) menyatakan bahwa pada fase ini sebagian populasi bakteri mulai mengalami kematian karena beberapa sebab, yaitu:

- Nutrien dalam medium sudah habis
- Energi cahaya dalam sel sudah habis.

2.8. Kromatografi Gas

Kromatografi gas merupakan suatu cara pemisahan senyawa-senyawa organik secara kualitatif. Prinsip pemisahannya adalah mengemulsikan arus gas sebagai fase gerak dan fase diam yang berbeda. Bila fase diamnya zat padat disebut Kromatografi Gas Padat (GKP) dan jika fase diamnya zat cair dinamakan Kromatografi Gas Cair (KGC). Prinsip kerja Kromatografi Gas Padat adalah adsorpsi (serapan) sedangkan Kromatografi Gas Cair prosesnya adalah partisi (Nair and Bonelli, 1988). Proses pemisahannya dipandang sebagai rangkaian partisi dimana cuplikan yang ke dalam fase cair pada selang beberapa waktu akan teruapkan lagi. Fase gerak pada kromatografi gas cair berupa gas inert, sedangkan fase diamnya adalah zat cair yang disapukan pada kolom penyangga yang inert. Sensivitas dan resolusi yang tinggi dari KGC memungkinkan mampu mengidentifikasi senyawa-senyawa n-alkana dalam jumlah yang kecil (ppb). salah satu sifat penting dari zat contoh yang dimanfaatkan dalam kromatografi gas adalah kelarutan dan sifat volatilnya.

Prinsip kerja Kromatografi Gas Cair yaitu cuplikan diinjeksikan ke dalam injektor. Adanya aliran gas dari gas pengangkut akan membawa cuplikan yang teruapkan masuk ke dalam kolom.

Peralatan Penting Kromatografi Gas adalah :

A. Gas Pembawa

Bagian ini yang menyebabkan suatu senyawa bergerak melalui kolom KG ialah volatilitas senyawa dan aliran gas dalam ml/menit. Gas pembawa ditempatkan pada selinder bertekanan tinggi, biasanya 150 atm. Pemilihan gas pembawa disesuaikan dengan detektor yang digunakan. Nitrogen, Helium, Argon dan Karbondioksida adalah gas yang sering dipakai karena tidak reaktif (Gritter *et al.*, 1991).

Gas-gas yang dipakai sebagai pengangkut harus memenuhi syarat-syarat:

- Inert, tidak bereaksi dengan contoh, pelarut dan material kolom
- Murni dan mudah diperoleh
- Sesuai dengan detektor
- Mengurangi difusi gas (Hardjono, 1991).

B. Pengaturan Aliran Tekanan

untuk menjamin tekanan yang masuk dalam kolom, maka sebelum ke ruang injeksi dipasingi pengatur aliran gas dan tekanan. Sehingga diperoleh laju aliran gas yang tetap untuk mengemulsi komponen campuran. Pengaturan ini disebut pengatur dragger. Kecepatan gas akan mempengaruhi efisiensi kolom yang pada umumnya 75 ml/mwnit untuk kolom berdiameter 1/4 inchi dan 25 ml/menit untuk kolom berdiameter 1/8 inchi (Hardjono, 1991).

C. Ruang Injeksi

Contoh yang akan dikromatografikan dimasukkan ke dalam ruang suntik (injeksi) berupa lubang tertutup septum karet. Jumlah yang sering diinjeksi sangat sedikit yaitu sekitar 0,2 - 20 μ l. Ruang suntik harus dipanaskan tersendiri (terpisah dari kolom) pada suhu 15 $^{\circ}$ C lebih tinggi dari suhu kolom maksimum (Gritter, 1991).

D. Kolom

Kolom merupakan jantung kromatografi gas, yang bentuknya dapat lurus, bengkok, berbentuk V atau W dan kumparan atau spiral. Bentuk umum adalah komponen yang terbuat dari:

- Tembaga
- Plastik (teflon)
- Baja (stainles steel)
- Aluminium dan glass

Ada dua jenis kolom dalam kromatografi gas yaitu kolom kemas dan kolom kapiler. Kolom kemas terdiri dari fase cair yang tersebar pada permukaan penyangga yang inert dan terdapat dalam tabung berdiameter 1 - 3 mm (Gritter, 1991). Fase diam hanya dapat dilapiskan pada penyangga yang menghasilkan fase terikat. Fase ini dilapiskan pada dinding kolom dan dapat dicampur dengan sedikit penyangga inert yang sangat luas permukaan efektif. Kolom kapiler dibuat dari silikat yang dilelehkan untuk menghilangkan ion logam dari permukaan dari permukaan bagian dalam pipa kaca kapiler.

Padatan berfungsi mengikat fase diam, umumnya zat berupa tanah diatom yang telah dipanaskan atau dikeringkan. Dalam KG fase diamnya adalah zat cair dimana pemisahan komponen-komponen cuplikan terjadi. Prinsip kerjanya adalah partisi antara fase cair dan fase gerak (gas). Persyaratan untuk fase cair yang baik:

- Cuplikan harus menunjukkan koefisien distribusi yang berbeda
- Cuplikan harus mempunyai kelarutan tertentu dalam pelarut (fase cair)
- Fase cair harus mempunyai tekanan uap yang sangat rendah pada suhu tinggi
- secara kimia harus stabil dan inert
- Harus tersebar baik pada pelarut organik yang mempunyai titik didih rendah

(Hardjono, 1991).

E. Detektor

Detektor di tempatkan pada ujung KG, untuk menghasilkan gas yang keluar dan memberikan data pada rekorder. Ada 3 jenis detektor yang dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa organik yang diukur berdasarkan perbedaan sifat-sifat molekul, yaitu:

1. Detektor hantaran panas

Prinsip kerjanya berdasarkan pada kenyataan bahwa tempat yang panas akan kehilangan panas pada kecepatan yang bergantung pada komposisi gas disekitarnya. Detektor hantaran panas terbuat dari kotak besi yang didalamnya terdapat filamen listrik. Aliran gas yang mengalir melalui kotak dapat menerima panas sehingga

molekul-molekul gas mengenai filamen yang panas dan memantulkan kembali dengan naiknya tenaga kinetik.

2. Detektor ionisasi nyala

Elektroda bermuatan ditempatkan pada nyala. Cuplikn yang terurai menjadi ion meningkatkan daya hantar dan arus listrik. Arus ini diperkuat dan direkam. Flame Ionization Detector mengukur jumlah atom karbon dan bukan jumlah mol yang diukur pada Thermal Conductivity Detector.

3. Detektor penangkap elektron

Electron Cupture Detector (ECD) terdiri dari sumber radioaktif yang ditempatkan pada dua elektroda bermuatan. Ketika gas pembawa ditambah metana mengalir ke elektroda, gas akan terionkan oleh sumber radioaktif dan menghasilkan arus listrik. Jika dalam aliran gas pembawa terdapat cuplikan, cuplikan akan menangkap elektron ini sehingga mengurangi arus listrik. Penurunan arus ini diperkuat dan direkam, karena beberapa gugus fungsi merupakan penangkap elektron yang lebih efesien dari gugus fungsi lainnya, maka ECD lebih peka terhadap jenis senyawa tertentu (Gritter et al, 1991).

F. Rekorder

Respon detektor digambarkan dalam rekorder berdasarkan pada potensial dalam bentuk plot dan voltase dengan waktu (Gritter et al, 1991)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini berlangsung pada bulan Juni sampai Oktober 1997, dimana dalam jangka waktu ini tahapan kegiatan meliputi persiapan, pengambilan sampel, pembuatan kultur, pengujian kapasitas bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon serta analisa data.

Penelitian ini diawali dengan pengambilan sampel yang berlokasi di perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang, Kota Madya Ujungpandang. Pengerjaan sampel (pertumbuhan bakteri dan ekstraksi) dilakukan dilaboratorium Bioteknologi Ilmu Kelautan Universitas Hasanuddin. Sedangkan analisa data secara kualitatif dengan kromatografi gas dilakukan di laborotoprium Kimia Organik Sintesa, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Peralatan sampling

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| - Botol sampel | - Grap sampel |
| - Rak botol sampel | - Kompas |
| -Water Quality Checker | - Ember |
| - Tustel | - Pendingin (thermos) |

b. Peralatan untuk analisa mikrobiologi

* Alat untuk kultur dan pembiakan bakteri

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| - Gelas piala | - Erlenmeyer |
| -Gelas ukur | - pipet ukur |
| - Tabung reaksi | - Spoit + Jarum |
| - Cawan petri | - Deck glass |
| - Objek glass | - Pengaduk kaca |
| - Enkas | - Mikroskop |
| - Autoklaf | - Guntung |
| - Oven | - Bunsen |
| - Jarum oze | - Spatula |
| - Sendok Zat | - Shekker |
| - Steirer + magnetik | - Neraca |
| - Alat pemanas (plat plastik) | - Desikator |

* Alat pengamatan pertumbuhan

- Spectrofotometer (Milton Roy Spectronic 1201)

c. Peralatan untuk analisis kimia

* Alat untuk Ekstraksi

- | | |
|---------------|-------------------------|
| - Gelas piala | - pipet tetes |
| - Gelas ukur | - Batang pengaduk |
| - corong kaca | - erlenmeyer |
| - Pipet ukur | - Rotavapor Buchi-R-144 |

- Corong buchner
- Suction
- Corong pisah
- Elektromantel
- * Alat Kromatografi
- Erlenmeyer
- Botol sampel
- Pipet ukur
- Pinset
- Pompa vakum
- Botol sampel
- Kondensor spiral (ball)
- Statis
- Gelas ukur
- Rotavapor
- Alat kromatografi gas

3.2.2 Bahan-Bahan yang Digunakan

- Kapas
- Kain kasa
- Tissue
- Kertas keli
- Karet gelang
- Isolasi
- Aluminium foil
- Kertas pH
- Kertas semilog
- Kertas saring
- Kertas label
- Lem kertas

* Zat-Zat Kimia

- NaOH 10 N (p.a)
- CHCl₃ (p.a)
- KOH (p.a)
- H₂SO₄ (p.a)
- Aseton (CH₃COOH) (p.a)
- FeSO₄ (p.a)

- CaCl₂ 2H₂O (p.a)
- K₂HPO₄ (p.a)
- Tris (Hydroksi methyl-Aminomethane) (C₄H₁₁NO₃) (p.a)
- Metanol (MeOH) (p.a)
- HCl 10 N (p.a)
- NaCl (p.a)
- Baktopepton (Difco)
- KCl (p.a)
- Ekstrak ragi (Difco)
- MgSO₄ (p.a)
- Bakto agar (Difco)
- MgCl₂ (p.a)
- Silika gel 70 - 230 mesh (p.a)
- Aquades
- Glass wall
- Alkohol 70 %
- Spritus
- N-Heksan (C₈H₁₈) (p.a)
- NH₄Cl (p.a)

* Substrat yang digunakan

- Petroleum (Jenis Sahara, Handil dan Jenis "X")

3.3 Prosedur Kerja

1. Metode Sampling

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara visual dan didasarkan kondisi lingkungan. Sampel diambil pada dua titik stasiun (lihat peta). Untuk pengambilan sampel sedimen digunakan alat "Grab Sample". Sedangkan untuk sampel air digunakan alat "Cammerer Water Sample". Masing-masing sampel yang terambil dimasukkan ke dalam botol steril kemudian disimpan dalam termos es pada suhu 4 oC untuk menjaga kestabilan bakteri. Selanjutnya sampel dianalisa dilaboratorium.

2. Sterilisasi Alat

Alat-alat yang terbuat dari gelas atau kaca disterilkan dengan menggunakan oven pada suhu 180 oC selama 2 jam. Sedangkan alat-alat yang terbuat dari plastik disterilkan dengan menggunakan alkohol 70 %. Demikian pula alat yang terbuat dari logam dipijarkan langsung dengan api selama +_ 30 detik.

3. Pembuatan air laut sintetik (ALS) dengan pH dan salinitas yang mendekati perairan Indonesia (Husain et al, 1997), komposisinya sebagai berikut:

- NaCl	27 gr/l
- KCl	0,75 gr/l
- MgSO ₄	3,91 gr/l
- MgCl ₂	5,08 gr/l
- CaCl ₂ 2H ₂ O	1,47 gr/l
- NH ₄ Cl	3,74 gr/l
- Tris	6.55 gr/l

pH diatur dengan HCl 10 N sampai 7,8

4. Pembuatan media cair dengan menggunakan bahan:

- Baptopepton 5,00 gr/l
- Yeast extract 5,00 gr/l

5. Pembuatan media agar dengan menggunakan bahan:

- Baptopepton 5,00 gr/l

- Yeast extract 5,00 gr/l
- Bapto agar 20,00 gr/l

6. Pembuatan larutan FeSO₄ dan K₂HPO₄

- FeSO₄ 0,02 gr/l
- K₂HPO₄ 0,036 gr/l

7. Pembuatan media minima

- 100 ml air laut sintetik (ALS), dimasukkan ke dalam erlenmeyer (250 ml) dan ditambahkan 1 gram petroleum (Sahara, Handil dan X)
- Selanjutnya semua media disterilkan pada temperatur 120 oC selama 20 menit pada tekanan 2 atm.

8. Teknik penanaman bakteri

- gram sedimen disuspensikan ke dalam 10 ml ALS (Air Laut Sintetik) steril dan dikocok.
- Ke dalam masing-masing erlenmeyer yang telah berisi media minima ditambahkan larutan FeSO₄ dan K₂HPO₄ masing-masing sebanyak 2 ml dan 4 ml.
- Lalu ke dalam masing-masing media minima tersebut diinokulasikan 1 ml suspensi sedimen dan diinkubasi pada suhu 30 - 32 oC.

Jika telah menampakkan pertumbuhan bakteri, selanjutnya dengan menggunakan erlenmeyer dilanjutkan pembuatan kultur untuk pengujian kapasitas biodegradasi, yaitu ke dalam 25 ml media minima ditambahkan larutan FeSO₄ dan

K₂HPO₄ sebanyak 2 ml dan 4 ml. Selanjutnya diinokulasikan 1 ml kultur lalu diinkubasi selama 15 hari.

9. Teknik ekstraksi Hidrokarbon dan analisa biodegradasi petroleum secara kualitatif

* Teknik Ekstraksi Hidrokarbon

- Sampel 25 ml yang telah diinkubasi selama 15 hari disiapkan.
 - Sampel ditambahkan dengan CHCl₃ dan Metanol serta KOH 0,5 N sebanyak 50 ml.
 - Kemudian sampel direflux selama kira-kira 4 - 5 jam.
 - Sampel yang telah direflux disaring dengan menggunakan corong Bucher.
 - Filtrat dipisahkan dengan corong pisah sebanyak 3 kali (pada penyaringan kedua dan ke tiga) ditambahkan kloroform sebanyak 10 ml.
 - Filtrat yang telah dipisahkan di evaporasi kemudian ditimbang beratnya.
- *Analisa biodegradasi secara kualitatif dilakukan dengan menggunakan alat kromatografi gas.
- Setelah sampel dipisahkan berdasarkan fraksi hidrokarbon yang dikandungnya, selanjutnya diinjeksi ke dalam kromatografi gas.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum Lokasi Penelitian

Instalasi Pertamina Ujungpandang secara geografis terletak di pesisir pantai bagian Utara Kota Madya Ujungpandang. Lokasi tersebut terletak antara perusahaan pabrik terigu di bagian Barat dan Basis Angkatan Laut di bagian Selatan.

Perusahaan minyak ini merupakan salah satu pemasok minyak utama di kotamadya Ujungpandang dan sekitarnya, sehingga aktivitas pemasukan bahan bakar minyak dari kapal-kapal tangker ke instalasi ini cukup padat. Banyaknya kebutuhan minyak yang harus disediakan oleh perusahaan ini sehingga diperkirakan kira-kira 5 buah kapal tangker yang berlabuh di dermaga instalasi pertamina (lokasi pengambilan sampel) untuk memasok bahan bakar minyak dan kira-kira 3 buah kapal yang berlabuh di dermaga tongkang (lokasi pengambilan sampel) untuk memuat bahan bakar minyak ke daerah-daerah lain.

Padatnya aktivitas kapal laut yang berlabuh di kedua dermaga tersebut, baik pada saat pengisian ke instalasi oleh kapal-kapal tangker maupun pada saat pengisian dari instalasi ke kapal-kapal tongkang, menyebabkan tidak amannya perairan disekitarnya oleh tumpahan minyak. Selain itu pada bagian Barat lokasi pengambilan sampel terletak pabrik terigu yang limbah hasil produksi dan pembangkit turbin di buang ke laut. Sedang pada bagian Selatan terdapat basis angkatan laut yang memiliki beberapa buah kapal-kapal perang menyebabkan perairan sekitarnya tercemar oleh minyak.

Adanya aktivitas-aktivitas pada kedua perusahaan ini ditambah dengan aktivitas diperairan Pertamina sendiri, menyebabkan perairan sekitar lokasi pengambilan sampel sangat rawan dari cemaran hidrokarbon. Dengan kondisi perairan yang cukup tenang disebabkan adanya barrier penghalang pada bagian luar menyebabkan tumpahan minyak yang ada pada lokasi pengambilan sampel dapat bertahan cukup lama jika tidak dilakukan pembersihan dan akhirnya akan turun ke dasar perairan. Pengamatan secara visual perairan lokasi pengambilan sampel, berwarna keruh yang disebabkan banyaknya bahan-bahan organik yang terlarut akibat buangan dari pabrik terigu, basis angkatan laut, limbah rumah tangga dan dari instalasi Pertamina. Sedangkan sampel sedimen yang terambil di sekitar dermaga tongkang berupa lumpur, berwarna hitam pekat dan berbau sulfur.

Kondisi hidrografis pada kedua stasiun pengamatan relatif sama, dimana perairan cukup tenang.

Tabel 1. Data Parameter Fisika Kimia Perairan Instalasi Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Stasiun	Kimia	Fisika	Keterangan
I	Salinitas = 31 ‰	Kedalaman = 15 m	Air berwarna keruh
	Suhu = 28,2 °C		Sedimen berbau sulfur
	pH = 7,06		Sedimen berwarna hitam pekat
II	Salinitas = 31,4	Kedalaman 15 m	Air keruh
	Suhu = 28,3 °C		sedimen berwarna hitam pekat
	pH = 7,16		Sedimen berbau sulfur

4.2. Tahapan Pertumbuhan Bakteri

4.2.1. Tahap Prekultur

Sampel yang diambil pada lokasi penelitian, baik sampel air maupun sampel sedimen tidak menutup kemungkinan mengandung beragam jenis bakteri didalamnya. Maka dilakukanlah tahapan pembuatan media prekultur yang bertujuan untuk mendapatkan sejumlah jenis bakteri pendegradasi hidrokarbon. Bakteri tersebut diharapkan hanya mampu hidup dengan memanfaatkan sumber karbon yang ada sebagai sumber energinya. Pemiakan bakteri pada media prekultur ini dilakukan selama + 3 hari atau setelah media menampakkan adanya perubahan warna keruh sebagai indikasi bakteri pendegradasi hidrokarbon telah tumbuh. Selanjutnya bakteri yang telah tumbuh tersebut dipindahkan ke dalam media kultur yang bahan dan komposisinya sama dengan media prekultur. Perlakuan ini dilakukan pada ketiga jenis petrol yang berbeda.

4.2.2. Tahap Kultur

Tahap kultur merupakan kelanjutan dari tahap prekultur, dimana pada tahap ini bahan dan komposisinya sama dengan tahap prekultur. Dan juga tahap ini diharapkan bakteri yang berkembang di dalam media adalah populasi bakteri pendegradasi hidrokarbon. selanjutnya tahap kultur ini dilakukan beberapa pengamatan mengenai karakteristik bakteri yang berkembang seperti: Pengamatan visual perubahan warna

media yang terjadi, pengukuran density optik, kurva pertumbuhan, masa generasi dan pengukuran kapasitas biodegradasi secara kuantitatif dan kualitatif.

4.3. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol Sahara

4.3.1. Karakteristik Kultur secara Visual

Proses perkembangan bakteri pendegradasi hidrokarbon dalam media kultur campuran pada selang waktu 17 jam dengan pengamatan secara visual memperlihatkan adanya peningkatan pertumbuhan bakteri yang ditunjukkan dengan meningkatnya kekeruhan air media. Berikut ini disajikan tahapan perubahan warna kultur setelah beberapa hari masa inkubasi.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur dan Jumlah Petroleum Jenis Sahara Selama Masa Inkubasi

Masa Inkubasi	Stas	Sampel	Pengamatan Kultur
Awal	I	Air	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
		sedimen	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
	II	Air	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
		Sedimen	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
1 x 24 jam	I	Air	Agak Keruh dan 90 % petrol dipermukaan
		Sedimen	Keruh dan 85 % petrol dipermukaan
	II	Air	Agak keruh dan 95 % petrol dipermukaan
		Sedimen	Agak keruh dan 95 % petrol dipermukaan
2 x 24 jam	I	Air	Putih keruh dan 80 % petrol dipermukaan
		sedimen	Putih keruh dan 75 % petrol dipermukaan
	II	Air	Agak kuning dan 80 % petrol dipermukaan
		sedimen	Putih keruh dan 80 % petrol dipermukaan
3 x 24 jam	I	Air	Agak kuning dan 70 % petrol dipermukaan
		sedimen	Putih Keruh dan 65 % petrol dipermukaan
	II	Air	Kuning terang dan 60 % petrol dipermukaan
		sedimen	Putih keruh dan 65 % petrol dipermukaan

Stasiun I & II air dan stasiun I & II sedimen dengan pengamatan secara visual menunjukkan adanya perubahan warna media sesuai dengan komunitas bakteri yang berkembang dalam media tersebut (Gambar 2 & 3). Pada selang waktu 34 jam pada stasiun I & II sed dan stasiun I air media kultur menampakkan warna keruh keputihan, yang berarti bahwa populasi bakteri yang berkembang dalam media ketiga stasiun tersebut adalah relatif sama. Sedangkan pada stasiun II air pada selang waktu yang sama media kultur menampakkan warna kuning muda. Selanjutnya pada selang waktu 42 jam keadaan media kultur pada stasiun I sed menampakkan warna kekuningan. Pada stasiun II air media kultur menampakkan warna kuning kecoklatan sebagai indikasi bakteri penghasil pigmen kuning coklat telah mendominasi media tersebut. Sedang pada stasiun I air dan II sed warna media tetap menampakkan warna putih keruh. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada selang waktu ini, pada St I sed dan St II air aktivitas bakteri pendegradasi hidrokarbon cukup tinggi dalam menghasilkan senyawa-senyawa pengemulsi (emulsan). Karena pada kedua stasiun ini sekitar 70 - 80 % dinding tabung bersih yang berarti bahwa peranan bakteri dalam menghasilkan zat-zat pengemulsi cukup tinggi. Bakteri yang tumbuh pada substrat hidrokarbon dapat menghasilkan biosurfaktan yang dapat mengemulsi substrat dan juga dapat menyebabkan turunnya tegangan permukaan antara minyak dengan air sehingga memungkinkan terjadinya pencampuran antara keduanya. Husain (1997) mengemukakan bahwa bakteri yang tumbuh pada substrat yang mengandung senyawa

hidrokarbon dapat mengekresi senyawa-senyawa pengemulsi yang dikenal dengan nama Biosurfaktan.

Setelah beberapa hari inkubasi warna media kultur semuanya telah berubah menjadi warna kuning kecoklatan. Perubahan warna pada setiap media tersebut semakin lama perubahan warna menjadi kuning kecoklatan sampai pada akhir pengukuran. Sebagai mana yang dikemukakan Gunalan (1993) bahwa dalam proses biodegradasi dapat menyebabkan ledakan populasi bakteri dan setelah proses perombakan total maka bakteri secara perlahan akan kembali menuju keseimbangan lingkungan.

4.3.2. Karakteristik Kurva Pertumbuhan

Kurva pertumbuhan bakteri dari keempat stasiun pengamatan (gambar 4) secara umum memperlihatkan alur pertumbuhan tanpa didahului fase adaptasi dan tetapi langsung menampilkan alur pertumbuhan eksponensial/logaritma. Hal ini terjadi karena bakteri terlebih dahulu dibiakkan dalam media prekultur kemudian dipindahkan dalam media kultur yang selanjutnya diukur. Hal ini sesuai pernyataan A.A Syamsuriputra (1997) bahwa bila populasi bakteri yang sedang mengalami fase logaritma/eksponensial dipindahkan ke dalam medium baru dengan komposisi nutrisi dan kondisi lingkungan yang sama, maka dalam medium baru populasi bakteri tersebut akan langsung mengalami fase logaritma dan tidak mengawali pertumbuhannya dengan fase adaptasi dan fase pertumbuhan dipercepat.

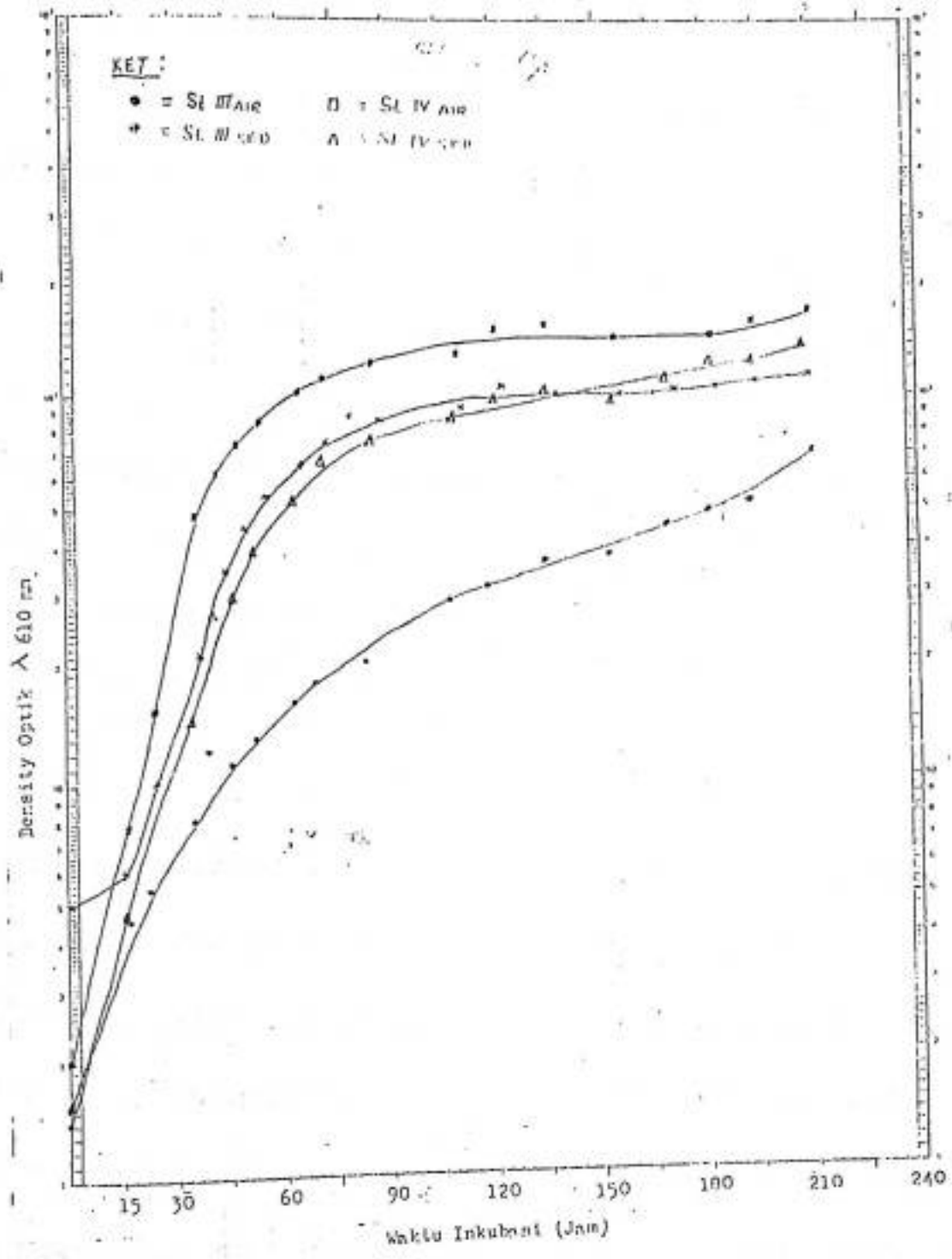
Pada gambar 4. nampak bahwa karakter pertumbuhan komunitas bakteri pada keempat stasiun pengamatan pada prinsipnya memperlihatkan bentuk yang relatif sama, yaitu adanya fase pertumbuhan eksponensial kemudian diikuti fase pertumbuhan yang cenderung linear.

Adanya persamaan bentuk kurva pertumbuhan pada stasiun I & II sedimen dan stasiun II air menunjukkan indikasi bahwa bakteri yang tumbuh dan berkembang dengan baik yang ada dalam sampel tersebut adalah relatif sama. Berdasarkan pengamatan visual pada sampel ketiga stasiun tersebut pada selang waktu 42 jam telah menunjukkan warna yang sama yaitu kuning kecoklatan. Pada selang waktu 0 - 54 jam menampilkan pola pertumbuhan eksponensial yaitu dari nilai densitas optik (DO) = 0,051 - 0,552 pada stasiun I sedimen dan stasiun II air nilai DO = 0,021 - 0,807 serta stasiun I sed nilai DO = 0,015 - 0,386. Pada kisaran waktu ini menunjukkan bahwa bakteri memperoleh nutrisi yang cukup sebagai sumber energi untuk proses metabolisme. Sedang sumber karbon diperoleh dari hasil perombakan hidrokarbon minyak bumi. Hal ini sesuai yang dikemukakan (.....) bahwa tahap pertumbuhan eksponensial atau logaritma terinci oleh kecepatan pembelahan maksimum yang bersifat spesifik untuk tiap jenis bakteri serta tergantung kondisi lingkungannya. Setelah selang waktu 110 - 210 jam pertumbuhan populasi bakteri sudah memperlihatkan pada kondisi yang statis atau fase yang cenderung linear. Pada fase ini pertumbuhan sel masih tetap berlangsung, akan tetapi karena ketersediaan

nutrisi yang sudah mulai berkurang menyebabkan alur pertumbuhan tidak secepat pada fase pertumbuhan eksponensial.

Sedangkan kurva pertumbuhan stasiun I air memperlihatkan bentuk yang berbeda dari ketiga stasiun pengamatan lainnya. Bakteri dari stasiun ini pada selang waktu 0 - 210 jam hanya memperlihatkan fase pertumbuhan eksponensial. Hal ini menunjukkan aktivitas bakteri dalam media ini relatif lambat sehingga sumber nutrisi dan karbon yang tersedia dalam media sangat cukup untuk melakukan aktivitas pembelahannya sampai pada tahap pengukuran akhir. Pengamatan visual pada kultur bakteri dari stasiun ini, menampakkan bahwa setelah selang waktu 86 jam warna media tetap memperlihatkan warna putih keruh sedang pada ketiga media lainnya pada selang waktu 41 jam telah memperlihatkan warna kuning kecoklatan.

Berikut ini disajikan gambar kurva pertumbuhan pada ke-4 sampel pengamatan terhadap petrol sahara.



Jambar 4. Kurva Pertumbuhan Populasi Bakteri pada Substrat Petroleum Sahara dari Peairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

4.3.3. Masa Generasi Bakteri

Masa generasi adalah waktu yang diperlukan oleh populasi bakteri atau spesies bakteri untuk memperbanyak sel/individunya. Lamanya waktu yang diperlukan oleh bakteri untuk membelah adalah berlainan antara satu spesies dengan komunitas bakteri dan antara satu spesies dengan spesies lainnya serta antara satu komunitas dengan populasi bakteri lainnya. Berikut ini disajikan masa generasi komunitas bakteri berdasarkan jenis substrat yang diberikan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petrol Sahara

STAIUN	SAMPEL	MASA GENERASI (JAM)
I	Air	21
	Sedimen	12
II	Air	10
	Sedimen	12

Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa masa generasi yang diperlukan oleh populasi bakteri untuk membelah/memperbanyak selnya dalam media yang diberikan petrol jenis sahara adalah berbeda pada keempat stasiun pengamatan. Masa generasi pada keempat stasiun tersebut masing-masing Stasiun I air = 21 jam; St II air = 10 jam; St I sed = 12 jam; dan St II sed = 12 jam. Pada stasiun III air menampakkan waktu generasi yang cukup lama dibandingkan ketiga stasiun pengamatan lainnya. Hal ini menunjukkan indikasi bahwa komunitas bakteri yang berkembang pada stasiun I air didominasi oleh bakteri yang memiliki masa generasi yang panjang. Sedangkan pada stasiun II air, St I sedimen; dan St II sedimen masa generasi bakteri yang

berkembang menampakkan waktu yang hampir sama. Lamanya waktu generasi yang diperlukan oleh populasi bakteri pada stasiun I air untuk membelah, sebagai mana yang digambarkan pada kurva pertumbuhan terlihat bahwa pada stasiun ini alur pertumbuhannya menampakkan grafik yang terus meningkat naik hingga pada akhir pengukuran. Hal ini berkaitan dengan kondisi hidrografis lokasi pengambilan sampel dan komunitas bakteri yang berkembang dalam media stasiun I air.

4.3.4. Analisis Secara Kuantitatif

Untuk menentukan tingkat degradasi hidrokarbon oleh populasi bakteri, maka di bawah ini disajikan hasil ekstraksi petrol sahara yang terdegradasi oleh populasi bakteri.

Tabel 4. Hasil Analisa Biodegradasi Secara Kuantitatif terhadap Petrol Sahara

Stasiun	Sampel	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Porsentase Biodegradasi
I	Air	1,00	0,49	51,00 %
	Sedimen	1,00	0,56	44,00 %
II	Air	1,00	0,53	47,00 %
	Sedimen	1,00	0,61	39,00 %

Berdasarkan tabel 4. di atas terlihat bahwa jumlah petroleum yang terdegradasi oleh komunitas bakteri secara umum hampir sama pada keempat stasiun pengamatan. Walaupun terlihat bahwa pada stasiun I air kemampuan bakteri dalam mengkomsumsi hidrokarbon lebih besar dibandingkan ketiga stasiun lainnya yang kemampuan biodegradasinya kurang dari 50 %. Data tersebut di atas secara keseluruhan

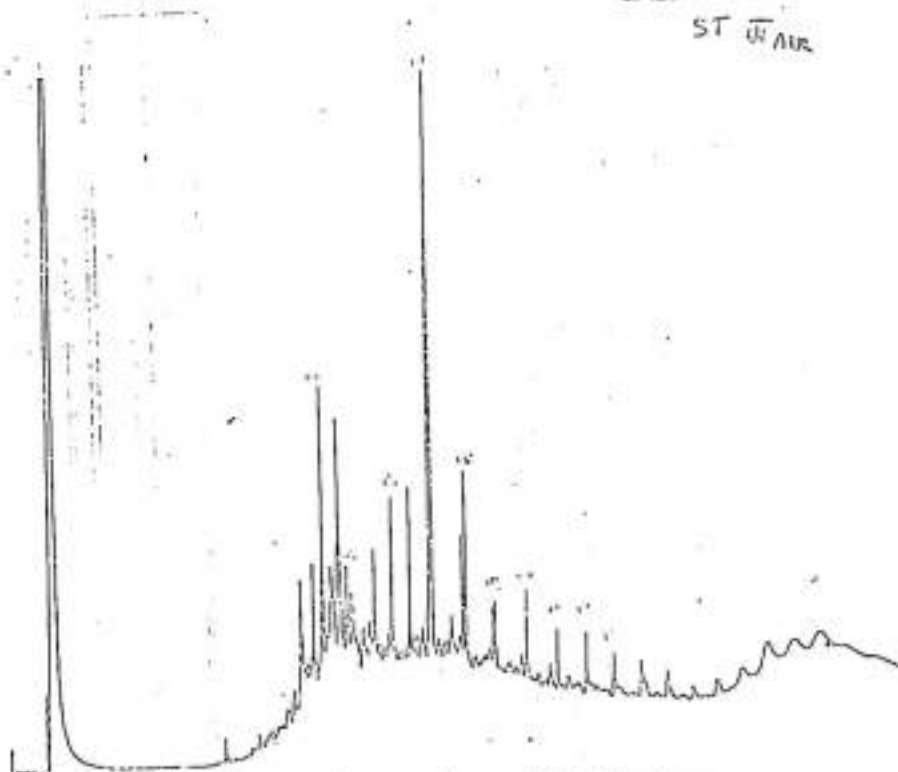
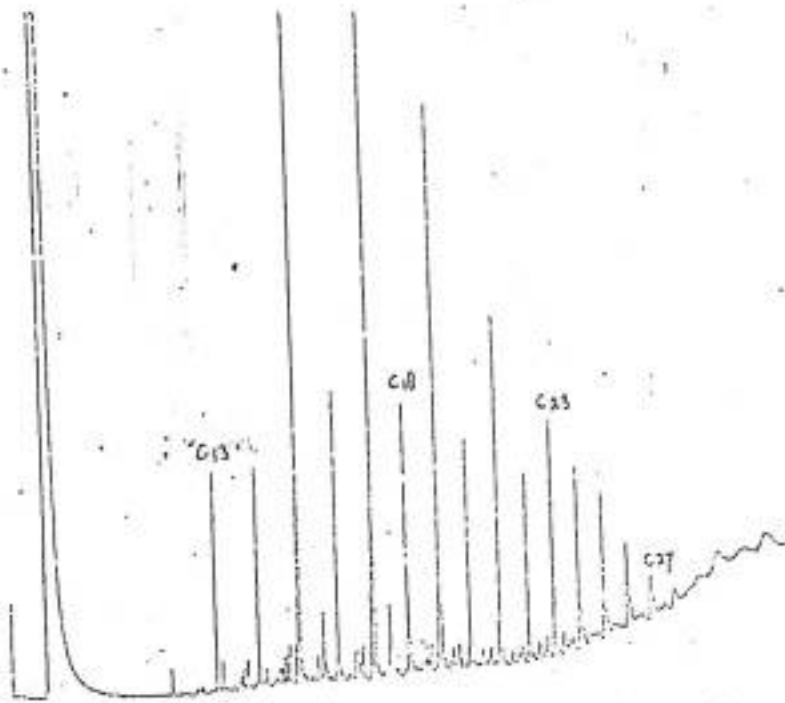
menunjukkan indikasi bahwa populasi bakteri yang berkembang dalam media tersebut mempunyai kemampuan yang relatif sama dalam memanfaatkan hidrokarbon petroleum sebagai sumber energi. Sedangkan tingginya tingkat biodegradasi pada St I air dibandingkan stasiun lainnya, sebagaimana terlihat pada gambar kurva pertumbuhan yang memperlihatkan alur pertumbuhan yang terus meningkat naik sampai akhir pengukuran sebagai indikasi bahwa bakteri pada St I air terus bertambah sehingga efektifitas bakteri juga tinggi dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi . .

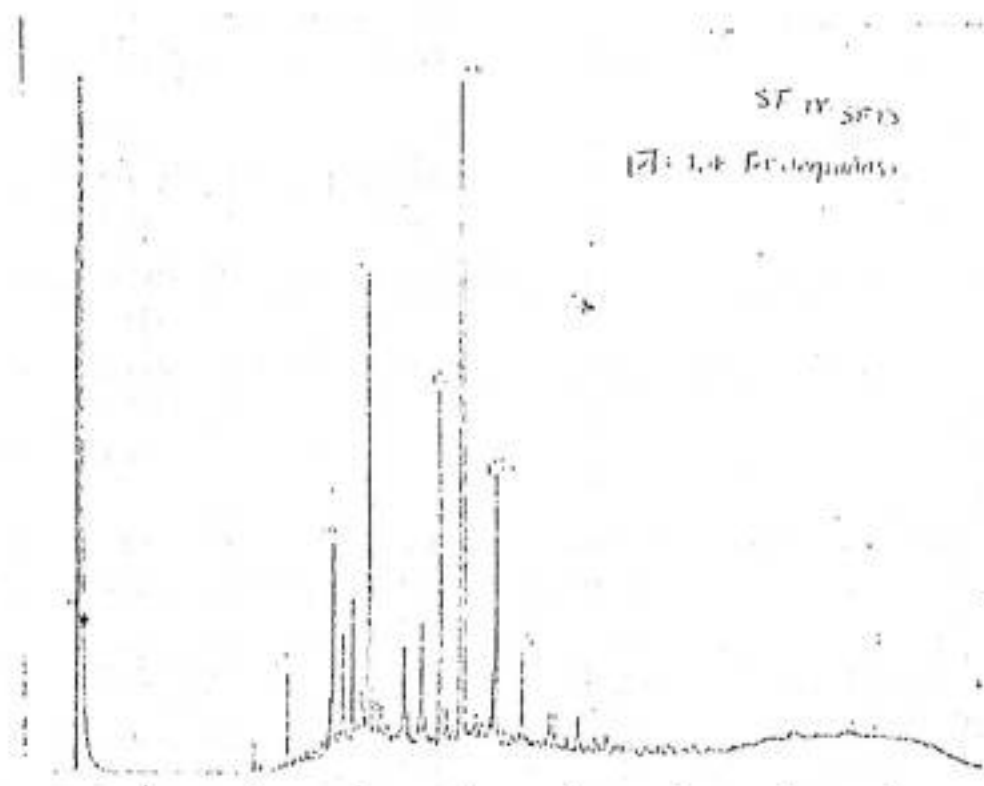
4.3.5. Analisis Biodegradasi Secara Kualitatif

Berdasarkan hasil Kromatografi Gas kultur dengan substrat petroleum sahara, diperoleh hasil bahwa n-alkana yang terdapat dalam petrol tersebut sebagian besar dapat terdegradasi oleh komunitas bakteri yang terdapat dalam media kultur. Pada petroleum sahara stasiun I air n-alkana yang diputuskan adalah C_{13} - C_{23} . Terdegradasinya seluruh n-alkana pada stasiun ini sebagai indikasi bahwa kemampuan populasi bakteri yang terdapat dalam media ini cukup besar untuk memutus rantai karbon n-alkana yang terkandung dalam petroleum sahara. Sedangkan pada St II sedimen n-alkana yang terputus oleh alat kromatogram adalah C_{13} - C_{22} kecuali pada rantai karbon C_{18} . Tidak mempunya komunitas bakteri dalam media St II sedimen memutuskan rantai karbon C_{18} disebabkan konsentrasi dan komposisi kimia yang

terkandung dalam senyawa tersebut serta kemampuan bakteri mengurai substrat. Hasil kromatografi gas petrol sahara disajikan pada gambar di bawah ini (Gambar 5).

KONTROL PETROL JENIS SAHARA





Gambar 5. Hasil Kromatografi Gas Petrol Saham Yang Terdegradasi Oleh Bakteri Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

4.4. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol Handil

4.4.1. Karakteristik Kultur Secara Visual

Kultur yang ditambahkan dengan substrat petroleum handil, setelah beberapa hari inkubasi menampilkan tahap perubahan warna yang khas, seperti yang nampak pada gambar 6 dan 7.

Tabel 5. Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur dan Jumlah Petroleum Jenis Handil Selama Masa Inkubasi

Masa Inkubasi	Stas	Sampel	Pengamatan Kultur
Awal	I	Air	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
		sedimen	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
	II	Air	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
		Sedimen	Bening dan petrol menyebar dipermukaan
2 x 24 jam	I	Air	Kuning dan 80 % petrol dipermukaan
		Sedimen	Keruh dan 85 % petrol dipermukaan
	II	Air	Kuning dan 80 % petrol dipermukaan
		Sedimen	Agak keruh dan 90 % petrol dipermukaan
3 x 24 jam	I	Air	Merah kecoklatan dan 60 % petrol dipermukaan
		sedimen	Putih keruh dan 75 % petrol dipermukaan
	II	Air	Kuning kecoklatan dan 65 % petrol dipermukaan
		sedimen	Agak kuning dan 70 % petrol dipermukaan

Pada pengamatan visual nampak adanya perubahan warna kultur pada media substrat handil. Pada saat T_0 (awal kultur) media kultur dalam erlenmeyer berwarna bening untuk semua stasiun pengamatan. Dan setelah T_3 yaitu selang waktu 43 jam, warna media pada stasiun I air berubah menjadi warna kuning kemerahan. Pada stasiun II air berwarna kekuningan, sedang pada stasiun I & II sedimen warna media berubah menjadi warna putih keruh. Perubahan warna yang ditampakkan pada

keempat media tersebut memperlihatkan bahwa pada interval waktu 43 jam Komunitas bakteri yang berkembang dalam media erlenmeyer tersebut menampilkan komunitas yang berbeda-beda untuk setiap stasiun pengamatan kecuali pada stasiun I & II sedimen adalah sama.

Stasiun I & II air yang secara berturut-turut memperlihatkan kultur warna kuning kemerahan dan agak kekuningan pada selang waktu 43 jam, sebagai indikasi bahwa populasi bakteri pendegradasi yang berkembang dalam kedua media ini adalah populasi bakteri yang mampu menghasilkan pigmen kuning dan merah. Sedangkan pada stasiun I dan II sedimen pada selang waktu 43 jam media menampilkan warna putih keruh.

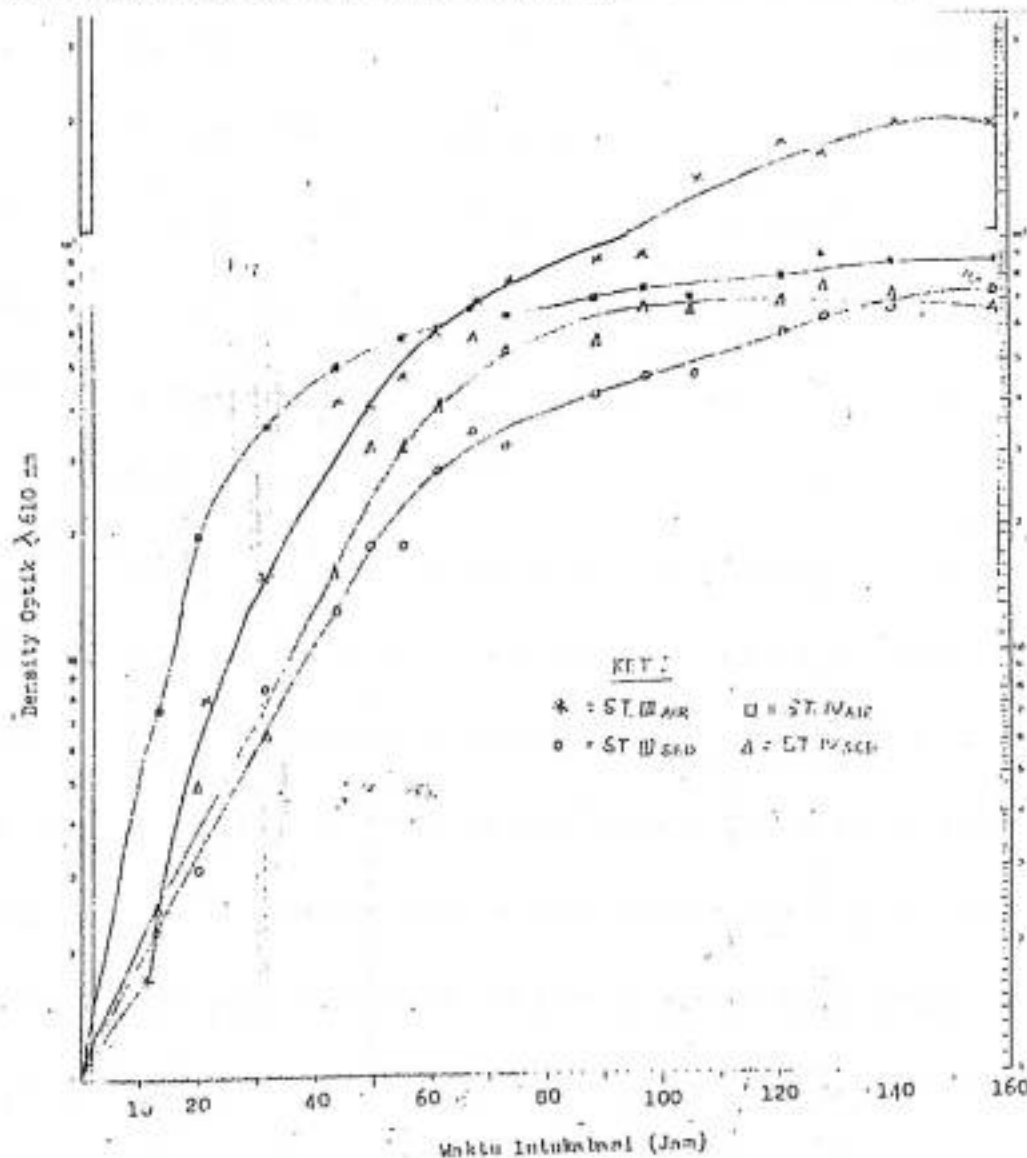
Warna kultur pada setiap pengambilan sampel untuk pengukuran densitas optik, selalu mengalami perubahan warna. Dimana pada selang waktu 74 jam untuk semua sampel stasiun pengamatan, media kultur menampilkan perubahan warna yang menyolok. Bahwa selang waktu ini, warna media pada stasiun I air telah berubah menjadi warna coklat kemerahan. Sedangkan sampel dari stasiun II air media berwarna kuning kecoklatan. Stasiun II sedimen media berwarna agak kekuningan dan stasiun I sedimen media tetap berwarna putih keruh.

Adanya penampakan warna yang khas pada keempat sampel percobaan pada interval waktu yang berbeda, menunjukkan indikasi bahwa adanya keragaman populasi bakterimpada tiap sampel dalam menguraikan substrat petroleum tersebut. Sedangkan pengamatan visual pada dinding tabung erlenmeyer sebagian besar dinding

tabung bersih dari petroleum. Hal ini menunjukkan indikasi bahwa komunitas bakteri mampu menghasilkan senyawa-senyawa pengemulsi yang menyebabkan turunnya tegangan permukaan sehingga memungkinkan bercampurnya air dengan petroleum.

4.4.2. Karakteristik Kurva Pertumbuhan

Bakteri perombak hidrokarbon minyak bumi yang diinokulasikan ke dalam erlenmeyer perlakuan dengan media kultur, hasil pertumbuhannya dengan menggunakan spektrofotometer disajikan pada gambar di bawah ini (Gambar 8).



Gambar 8. Kurva Pertumbuhan Populasi Bakteri pada Substrat Petrol Handil dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

Gambar kurva pertumbuhan tersebut memperlihatkan bahwa stasiun I & II air pada fase eksponensial menampakkan aktivitas pertumbuhan bakteri pendegradasi hidrokarbon yang hampir sama. Aktivitas pertumbuhan bakteri sangat cepat dibandingkan pada stasiun I & II sedimen. Nampak pula terlihat bahwa pada selang waktu $T_3 = 43$ jam tingkat density optik yang terukur untuk stasiun I air = 0,447 dan stasiun II air = 0,488 serta stasiun I sed = 0,141 dan stasiun II sed = 0,113. Berdasarkan data densitas optik di atas menunjukkan bahwa aktivitas populasi bakteri pendegradasi hidrokarbon yang terdapat dalam sampel air aktivitasnya lebih aktif dari pada bakteri yang terdapat dalam sampel sedimen. Secara visual nampak pula bahwa selang waktu 43 jam perubahan warna pada sampel air menunjukkan warna kuning sedang pada sampel sedimen menampakkan warna putih keruh. Selang waktu $T_8 = 74$ jam aktivitas pertumbuhan bakteri pada sampel air telah sampai pada puncak fase eksponensial.

Aktifnya proses pembelahan bakteri pendegradasi hidrokarbon pada fase eksponensial dan selang waktu 0 - 74 jam sebagai indikasi bahwa bakteri mampu memanfaatkan nutrisi dan sumber karbon yang ada sebagai sumber energi dalam meakukan proses metabolisme. Sedangkan pada sampel sedimen stasiun I dan II pada selang waktu 0 - 74 jam terlihat aktivitas pertumbuhan bakteri lebih lambat jika dibandingkan pada sampel air. Walaupun ketersediaan nutrisi dan sumber karbon yang terdapat dalam media tersebut cukup dan sama pada sampel air tetapi bakteri

yang berkembang lambat dalam mengkomsumsi hidrokarbon yang merupakan sumber makanan utama bakteri yang terdapat dalam media tersebut.

Pada selang waktu 74 - 160 jam kurva pertumbuhan pada keempat stasiun pengamatan telah memperlihatkan fase pertumbuhan lambat yang diikuti dengan fase pertumbuhan yang cenderung linear, dimana penambahan populasi bakteri pada fase ini sudah memperlihatkan kondisi yang statis sebagai indikasi bahwa aktivitas bakteri dalam proses biodegradasi terhadap senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi sudah mulai berkurang dan ketersediaan nutrisi juga sudah mulai berkurang. Sedang pada sampel stasiun I air pada fase linear aktivitas pertumbuhan bakteri masih terlihat meningkat walaupun lambat sampai akhir pengukuran, hal ini mungkin karena adanya bakteri pendegradasi yang terdapat dalam media ini yang mampu mendegradasi senyawa-senyawa karbon yang lebih sulit terdegradasi oleh bakteri-bakteri yang terdapat dalam media lainnya.

4.4.3. Masa Generasi Bakteri

Di bawah ini disajikan masa generasi yang diperlukan oleh bakteri untuk membelah dari satu sel menjadi dua sel dan seterusnya.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petrol Handil

STAIUN	SAMPEL	MASA GENERASI (JAM)
I	Air	10
	Sedimen	12
II	Air	6
	Sedimen	11

Tabel 6. di atas menampilkan waktu generasi populasi bakteri dalam media substrat Handil pada St I air = 10 jam; St II air = 6 jam; St I sed = 12 jam; dan St II sed = 11 jam. Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa pada stasiun II air masa generasi yang diperlukan oleh komunitas bakteri untuk memperbanyak selnya cenderung lebih pendek dibandingkan komunitas bakteri dari ketiga stasiun lainnya. Hal ini menunjukkan indikasi bahwa komunitas bakteri yang berkembang pada stasiun II air memiliki aktifitas pertumbuhan sangat tinggi. Sebagaimana terlihat pada grafik kurva pertumbuhannya pada selang waktu 24 jam tingkat densitas optiknya (DO) yang terukur sudah mencapai 0,195, sedang pada stasiun lainnya pada selang waktu di atas 40 jam tingkat density optiknya (DO) baru mencapai rata-rata 0,190. Hal ini juga dimungkinkan karena pada lokasi stasiun II air merupakan daerah yang berbatasan antara dermaga tongkang Pertamina Ujungpandang dengan basis AL serta terdapatnya muara pembuangan limbah rumah tangga yang mengalirkan sejumlah bahan besar organik ke laut.

4.4.4. Analisa Biodegradasi Secara Kuantitatif

Tingkat biodegradasi hidrokarbon minyak bumi oleh populasi bakteri secara kuantitatif terhadap substrat petrol handil disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Hasil Analisa Biodegradasi secara Kuantitatif Terhadap Substrat Petrol Handil

Stasiun	Sampel	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Porsentase Biodegradasi
I	Air	1,00	0,56	44,00 %
	Sedimen	1,00	0,57	43,00 %
II	Air	1,00	0,37	63,00 %
	Sedimen	1,00	0,55	45,00 %

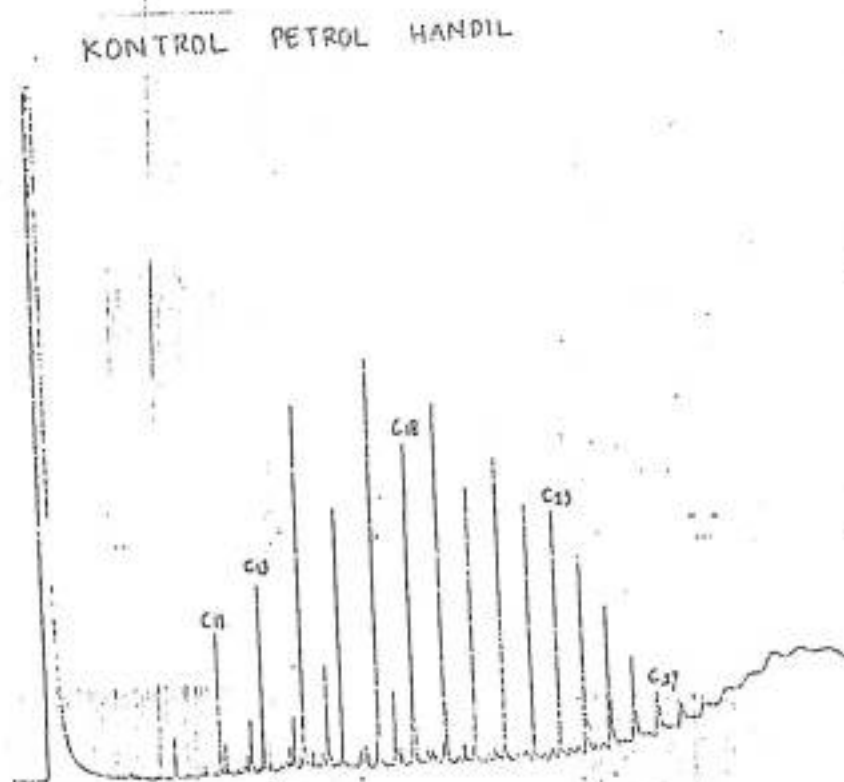
Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa pada St I & St II Air serta St I & St II sedimen berat hidrikarbon yang terdegradasi oleh populasi bakteri masing-masing 0,44%; 0,63 %; 0,43 % dan 0,45 %. Dengan masa inkubasi selama 15 hari, hasil di atas memperlihatkan bahwa pada St I & St II sed serta St II air tingkat biodegradasi secara kuantitatif hampir mencapai 50 %. Hal ini menunjukkan indikasi bahwa komunitas bakteri pada ke-3 sampel tersebut mempunyai kemampuan populasi bakteri dalam mengoksidasi senyawa hidrokarbon cenderung sama. Indikasi ini juga terlihat pada pengukuran pertumbuhan dari komunitas bakteri dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 610 nm. Bahwa pada akhir pengukuran tingkat densitas optik pada ke-3 sampel tersebut masing-masing St I sed = 0,730; St II sed = 0,664 dan St II air = 0,826. Hal ini berarti bahwa kepadatan komunitas bakteri yang berkembang dalam ke-3 sampel ini juga hampir sama. Sedangkan pada St II air tingkat biodegradasi lebih tinggi dibandingkan ke-3 sampel lainnya yaitu sekitar 0,63%. Hal ini berarti bahwa dengan jumlah nutrisi dan sumber karbon yang sama, populasi bakteri yang terdapat dalam media St II air mempunyai kemampuan yang

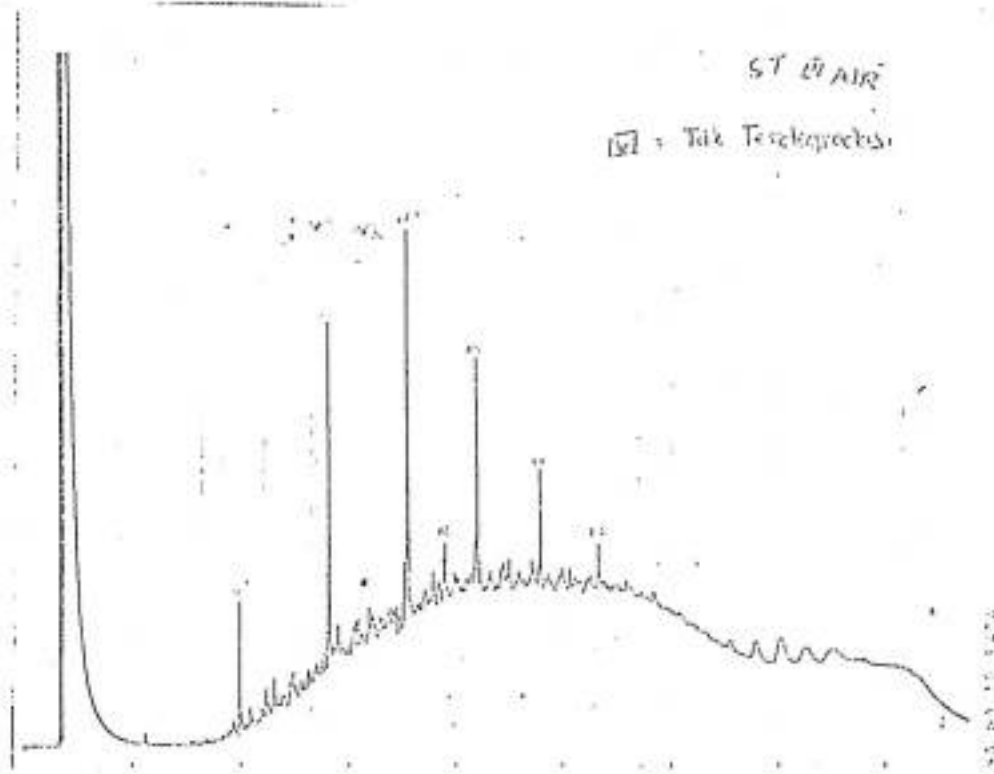
lebih besar dalam mengoksidasi senyawa-senyawa yang sulit terdegradasi oleh populasi bakteri yang terdapat pada ke-3 sampel lainnya. Hal ini juga terlihat dengan tingginya nilai Density optik yang terukur pada St II air.

Dengan melihat fenomena tersebut di atas menunjukkan bahwa besarnya hidrokarbon yang mengalami proses degradasi, tergantung pada kepadatan dan kemampuan populasi bakteri yang terdapat pada setiap stasiun pengamatan.

4.4.5. Analisis Biodegradasi Secara Kualitatif

Petrol Handil pada Stasiun I air yang diinjeksikan ke dalam Kromatografi Gas jika dibandingkan dengan hasil kromatogram kontrol Handil, diperoleh hasil yaitu rantai karbon fraksi alkana dapat diputuskan seluruhnya ($C_{11} - C_{23}$) kecuali pada rantai karbon C_{17} . Tidak terputusnya C_{17} berhubungan dengan sifat kimia dan konsentrasi senyawa tersebut serta kemampuan komunitas bakteri menguraikan substrat. Berikut disajikan hasil kromatografi gas petroleum jenis Handil (Gambar 9).





Gambar 9. Hasil Kromatografi Gas Petrol Mandil Yang Terdegradasi Oleh Bakteri Dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang.

4.5. Karakteristik Kultur Pada Substrat Petrol "X"

4.5.1. Karakteristik Kultur secara Visual

Bakteri perombak hidrokarbon yang diinokulasikan ke dalam erlenmeyer yang berisi media minima dengan substrat berupa petrol "X", secara umum menampilkan tahap perubahan warna yang sama untuk semua stasiun (Gambar 10 & 11). Pengamatan visual yang dilakukan pada kultur setelah selang waktu 73 jam inkubasi menampilkan warna agak kekuningan pada keempat sampel percobaan. Terjadinya penampakan warna yang hampir sama pada keempat sampel percobaan, sebagai indikasi bahwa pada selang waktu ini populasi bakteri yang berkembang adalah relatif sama. Petrol "X" adalah merupakan minyak bumi yang masih berupa padatan/sangat kental sehingga kandungan senyawa-senyawa yang ada pada petrol lebih stabil karena wujudnya lebih kental dan tidak sama dengan petrol handil dan sahara yang lebih encer.

Secara visual (Gambar 10 & 11) pada dinding tabung erlenmeyer tidak ditemukan adanya petrol "X" yang melekat. Hal ini berkaitan dengan sifat fisik dari substrat tersebut yang merupakan gumpalan dan juga adanya komunitas bakteri yang menghasilkan senyawa pengemulsi.

Keterangan perubahan warna kultur selama masa inkubasi disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 8. Hasil Pengamatan Visual Perubahan Warna Kultur Petroleum Jenis "X" Selama Inkubasi Diperairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

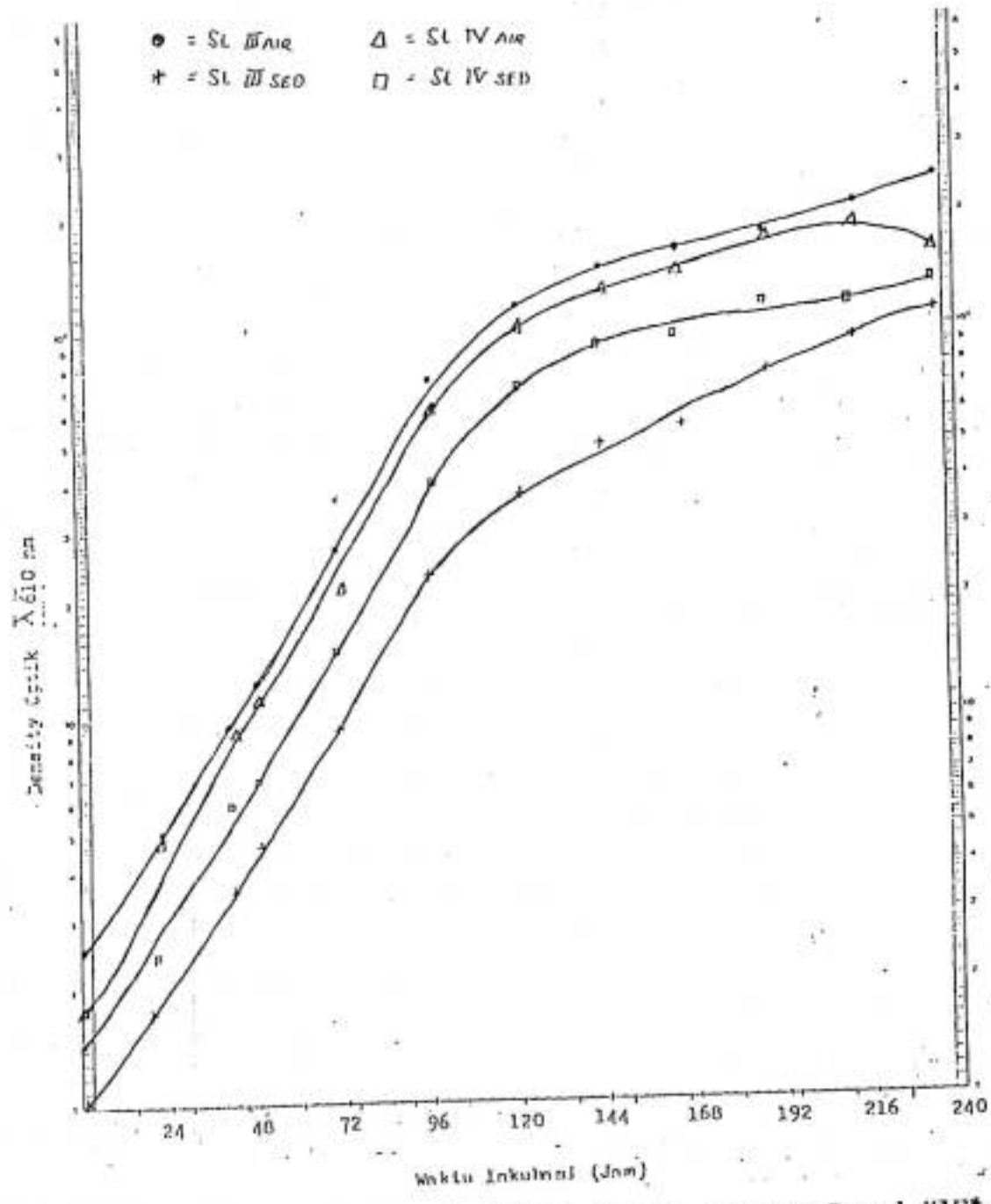
Lama Inkubasi (Jam)	Stasiun	Sampel	Pengamatan Kultur
Awal	I	Air	Bening dan 100 % petrol menggumpal
		Sedimen	Bening dan 100 % petrol menggumpal
	II	Air	Bening dan 100 % petrol menggumpal
		sedimen	Bening dan 100 % petrol menggumpal
73 Jam	I	Air	Kuningan dan 70 % Petrol menggumpal
		sedimen	Kekuningan dan 80 % petrol menggumpal
	II	Air	Kekuningan dan 80 % petrol menggumpal
		Sedimen	Kekuningan dan 85 % petrol menggumpal
145 Jam	I	Air	Kuning Kecoklatan dan 60 % petrol menggumpal
		Sedimen	Kuning kecoklatan dan 75 % petrol menggumpal
	II	Air	Kuning kecoklatan dan 70 % petrol menggumpal
		sedimen	Kuning kecoklatan dan 75 % petrol menggumpal

4.5.2. Karakteristik Kurva Pertumbuhan

Berdasarkan gambar 12. terlihat bahwa kurva pertumbuhan bakteri pendegradasi hidrokarbon pada keempat sampel pengamatan menampakkan alur pertumbuhan yang hampir sama sebagai indikasi bahwa populasi bakteri yang berkembang pada keempat media ini adalah relatif sama. Sedang adanya tingkat nilai density optik yang berlainan, dapat disebabkan karena beberapa faktor antara lain petrol "X" ini merupakan padatan yang kental sehingga keberadaannya dalam media kultur tidak merata di atas permukaan media minima tetapi berupa gumpalan-gumpalan di atas permukaan media minima.

Bentuk kurva pertumbuhan dari substrat jenis "X" sama halnya pada petrol handil dan sahara, dimana kurva pertumbuhannya tidak menampakkan fase adaptasi atau fase pertumbuhan awal, karena bakteri pendegradasi hidrokarbon telah ditumbuhkan terlebih dahulu dalam media prekultur selama \pm 3 hari (setelah menampakkan pertumbuhan bakteri dengan adanya perubahan warna media). Pada kurva pertumbuhan ini terlihat bahwa pada selang waktu 0 - 121 jam terjadi pertumbuhan secara eksponensial pada keempat stasiun pengamatan. Akan tetapi pada keempat stasiun pengamatan ini menunjukkan tingkat nilai densitas optik (DO) yang berbeda-beda. Bahwa pada stasiun I air DO = 1,195; stasiun II air DO = 1,041; stasiun I sedimen DO = 0,361 dan stasiun II sedimen DO = 0,679. Tingginya nilai density optik (DO) pada stasiun I air menunjukkan indikasi bahwa pada stasiun ini komunitas bakteri yang berkembang aktif dalam mengkonsumsi persediaan nutrisi dan sumber karbon sehingga menyebabkan pembelahan sel bakteri berlangsung secara cepat dibandingkan sampel lainnya. Sedang pada selang waktu 192 - 240 jam semua sampel menampakkan fase pertumbuhan linear sebagai indikasi bahwa aktivitas bakteri dalam proses biodegradasi terhadap senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi sudah mulai berkurang dan ketersediaan nutrisi juga mulai berkurang.

Pada gambar kurva pertumbuhan di bawah (Gambar 12) terlihat bahwa dengan substrat yang berbeda pada selang waktu 48 jam telah menunjukkan nilai densitas optik yang cukup tinggi antara sampel air dan sampel sedimen.



Gambar 12. Kurva Pertumbuhan Populasi Bakteri pada Substrat Petrol "X" dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

4.5.3. Masa Generasi Bakteri

Masa generasi adalah waktu yang diperlukan oleh populasi bakteri atau spesies bakteri untuk memperbanyak sel/individunya. Lamanya waktu yang diperlukan oleh bakteri untuk membelah adalah berlainan antara satu spesies dengan populasi bakteri dan antara satu spesies dengan spesies lainnya serta antara satu populasi dengan populasi bakteri lainnya. Berikut ini disajikan masa generasi populasi bakteri berdasarkan jenis substrat yang diberikan.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Masa Generasi Bakteri Pada Substrat Petrol "X"

STAIUN	SAMPEL	MASA GENERASI (JAM)
I	Air	24
	Sedimen	50
II	Air	30
	Sedimen	41

Masa generasi bakteri dalam media yang diberi petrol "X" masing-masing St III air = 24 jam; St IV air = 30 jam; St III sedimen = 50 jam; dan St IV sedimen = 41 jam. Berdasarkan data ini terlihat adanya keragaman waktu generasi populasi bakteri yang berkembang dalam setiap media kultur. Keragaman ini mungkin disebabkan keadaan fisik petrol "X" yang berupa gumpalan dan tidak meratanya sebaran substrat dalam media, sehingga populasi bakteri yang berkembang dalam setiap media tidak mampu memanfaatkan atau mendapatkan sumber karbon dari petrol tersebut secara maksimal.

4.5.4. Analisis Biodegradasi secara Kuantitatif

Prosentase biodegradasi yang diperoleh dengan menggunakan substrat jenis petroleum "X" disajikan pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil analisa biodegradasi secara kuantitatif substrat petroleum "X"

Stasiun	Sampel	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Porsentase Biodegradasi
I	Air	1,00	0,70	30,00 %
	Sedimen	1,00	0,92	8,00 %
II	Air	1,00	0,75	25,00 %
	Sedimen	1,00	0,86	14,00 %

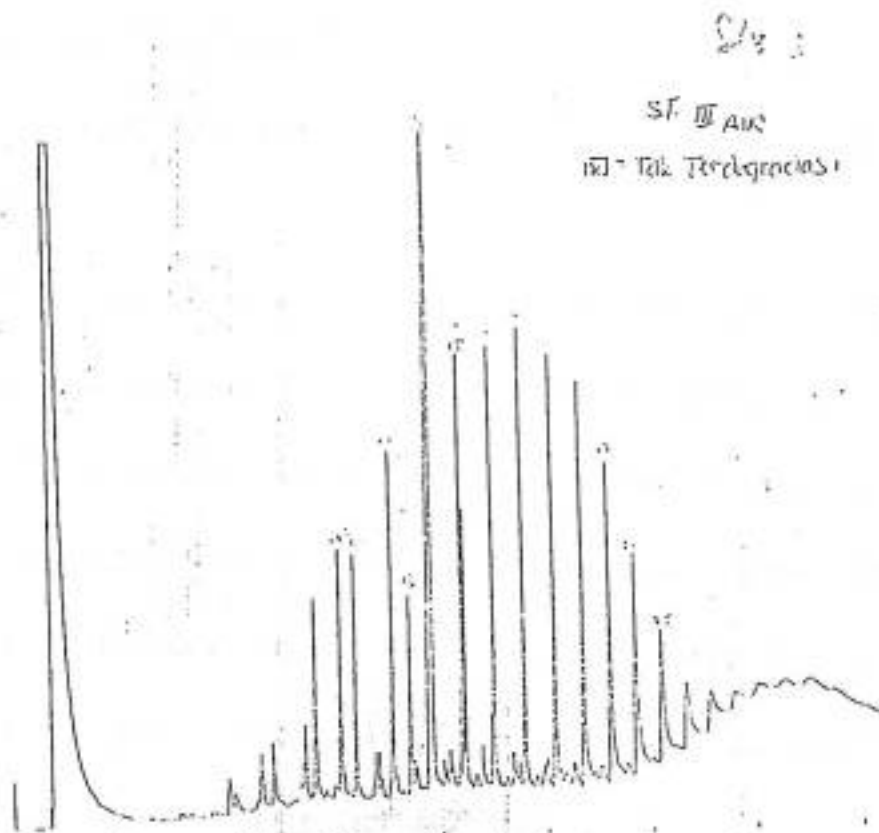
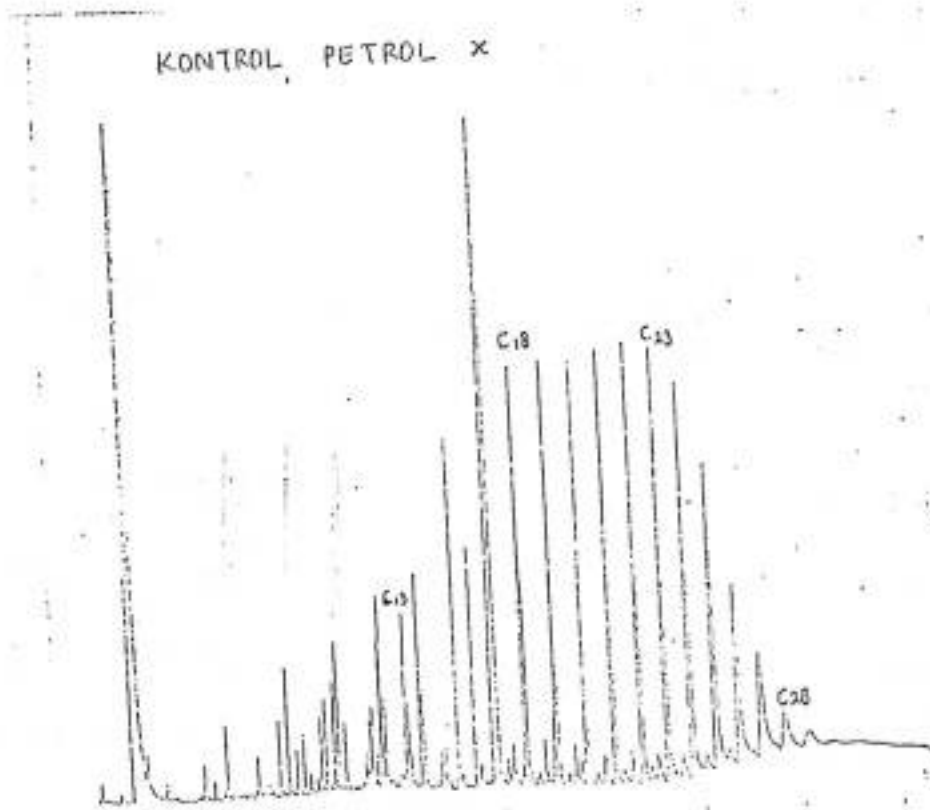
Dari data tersebut di atas terlihat bahwa prosentase biodegradasi oleh komunitas bakteri sangat bervariasi, yaitu St I air = 30 %; St I sedimen = 8 %; Stasiun II air = 25 % dan St II sedimen = 14 %. Prosentase biodegradasi yang diperoleh dengan substrat jenis "X" relatif jauh lebih rendah dibandingkan substrat Sahara dan Handil. Rendahnya tingkat biodegradasi pada jenis petrol "X" disebabkan karena jenis petrol ini tingkat viskositasnya tinggi dan berupa gumpalan-gumpalan serta tidak menyebar rata pada permukaan air media, sehingga walaupun pada petrol ini terdapat senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi oleh populasi bakteri, akan tetapi wujudnya berupa gumpalan akan sulit bagi bakteri untuk mengoksidanya. Sebagaimana yang dikemukakan Bertrand dan Mille (1988) bahwa biodegradasi optimal akan berlangsung jika petroleum tersebut dalam bentuk terlarut atau mikroemulsi karena pada kondisi ini dapat memperbesar kontak permukaan antara petroleum dengan air

yang akan menguntungkan transfer oksigen yang membawa elemen-elemen nutrisi untuk perkembangan mikro organisme.

4.5.5. Analisis Biodegradasi Secara Kualitatif

Berdasarkan hasil Kromatografi Gas pada ketiga jenis petrol perlakuan, diperoleh hasil bahwa n-alkana yang terdapat dalam petrol tersebut sebagian besar dapat terdegradasi oleh populasi bakteri yang terdapat dalam media kultur.

Petrol jenis "X" yang diinjeksikan ke dalam kromatografi gas diperoleh hasil sebagai berikut yaitu rantai karbon n-alkana yang terputus adalah $C_{11} - C_{27}$ dan rantai karbon yang tidak tereputus adalah $C_{17} - C_{20}$. Tidak terdegradasinya rantai karbon tersebut, disamping konsentrasinya cukup tinggi dalam petrol "X" juga karena sulitnya didegradasi oleh populasi bakteri dalam media Stasiun I air disebabkan bentuk petrol ini sangat kental sehingga bakteri hanya mampu mendegradasi rantai karbon yang terdapat pada bagian permukaan/terluar dari petrol tersebut sedang bagian dalam gumpalan petrol ini sangat sulit didegradasi oleh bakteri. Di bawah ini disajikan hasil Kromatografi Gas Petrol "X" (Gambar 13).



Gambar 13. Hasil Kromatografi Gas Jenis Petrol "X" Yang Terdegradasi Oleh Bakteri dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :

- Secara umum tahapan perubahan warna kultur yang ditampakkan oleh populasi bakteri pada keempat stasiun pengamatan terhadap jenis petroleum sahara, handil dan petroleum jenis "X" adalah bening, putih keruh, kuning, merah kecoklatan dan kuning kecoklatan.
- Tingkat pertumbuhan yang optimum pada ketiga jenis petroleum perlakuan (sahara, handil dan jenis "X") diperlihatkan oleh stasiun I air. Sedangkan tingkat pertumbuhan minimum bakteri ditampakkan pada kurva pertumbuhan sampel sedimen.
- Hasil perhitungan masa generasi yang diperlukan oleh bakteri untuk membelah dari satu sel menjadi dua sel dan seterusnya terhadap jenis petroleum Sahara dan jenis "X" pada stasiun I air masa generasinya pendek yaitu sekitar 21 dan 24 jam sedangkan pada petroleum jenis handil, bakteri yang berkembang pada stasiun II air memiliki masa generasi paling pendek yaitu 6 jam. Sedangkan masa generasi bakteri yang paling lama terhadap ketiga jenis petroleum perlakuan diperlihatkan oleh bakteri dalam kultur stasiun II sedimen.

- Tingkat persentase biodegradasi secara kuantitatif pada keempat sampel pengamatan terhadap ketiga jenis petroleum perlakuan rata-rata cukup tinggi, yaitu untuk petroleum sahara antara 39 % - 51 %; petroleum jenis handil antara 43 % - 63 %; dan petroleum jenis "X" antara 8 % - 30 %.
- Hasil injeksi ke dalam kromatografi gas diperoleh hasil tingkat biodegradasi secara kualitatif, dimana diperlihatkan pada alat kromatogram bahwa semua n-alkana pada stasiun I air yang diberi petrol sahara dapat didegradasi oleh bakteri yang berkembang dalam kultur. Sedangkan pada petrol jenis handil dan "X" terdapat beberapa n-alkana yang tidak terdegradasi.

5.2. S a r a n

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka penulis menyarankan :

- Penelitian ini masih perlu dilanjutkan dengan mengamati pengaruh tingkat biodegradasi terhadap parameter-parameter fisika dan kimia.
- Penelitian mengenai analisis tingkat biodegradasi secara kualitatif terhadap hidrokarbon aromatik masih perlu dilakukan untuk mengetahui perbandingannya dengan n-alkana.
- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menentukan langkah strategis dalam penanggulangan cemaran hidrokarbon di lingkungan laut dan juga untuk menghilangkan sisa-sisa minyak yang melekat pada tabung penampungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atlas, R.M., 1984. Petroleum Microbiology. Macmillan Publishing Company A Division of Macmillan, Inc. New York.
- Atlas, R.M and Bartha, R., 1985. Microbial Ecology. Fundamental and Applications. Addition-Wesley Publishing Company. London.
- Audus, L.J., 1950. The Biological Detoxication of 2,3-D Diphenoxyacetic Acid in Soil: Isolation of Efectif Organism Nature.
- Austin, B., 1993. Marine Mycrobiology. Combridge University Press.
- Dunfor, et al., 1991. Linkage Between Oil Spill Removal Activities and Natural Resource Damages. American Petroleum Institute, Washington, D.C, U.S.A.
- Dirayah, R.H. et al., 1997. Morphological Adaptation of Pseudomonas Nautica Strain 617 to Growth on Eocosane and Mode of Eicosane up Take Letters an Applied Microbiology.
- Evans dan Hutabarat., 1985. Pengantar Oceanografi. UI-Press Jakarta.
- Farrington, et al., 1975. Hydrocarbons in The Marine Environment. Burlington Hause.
- Faediaz, S., 1992. Polusi Air dan Udara. Kerja Sama Pusat antar Universitas Pangan dan Gizi. Institute Pertanian Bogor.
- Geyer, R., 1985. Marine Environment Pollution Hydrocarbons. Elseiver Scientivic Publishing Company. New York.
- Gunalan., 1993. Penerapan Bioremediasi Untuk Melenyapkan Polutan Organik Dari Lingkungan. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya Palembang.
- Gunalan., 1995. Penerapan Bioremediasi Pada Pengolahan Limbah dan Pemulihan Lingkungan Tercemar Polutan Hidrokarbon Petroleum. Makalah Seminar Nasional Mikrobiologi Kelautan dan Bioremediasi. PERMI. Ujungpandang.
- Jalaluddin, N.M., 1993. Laporan Pelaksanaan Kursus Singkat Analisis Pencemaran Perairan Laut. Staf Akademik Perguruan Tinggi Negeri, Kawasan Timur Indonesia. Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- Jawahir, B., 1993. Studi Pencemaran Hidrokarbon Petroleum di Sekitar Pantai Desa Langa (Selat Makassar), Kabupaten Pinrang. Sulawesi Selatan.

- Lemigas. Nomor2., 1987. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi. Jakarta. Buletin.
- National Academy of Science (NAS), 1975. Petroleum in The Environment, Washington, DC.
- Neff, J.m., 1985. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Eds), Fundamentals of Aquatic Toxicology Methods And Applications, New York: Chemsphere Publishing Cooperation.
- Noor, A., 1993. Beberapa Aspek Kimia Mikrobiologi dalam Penanggulangan Pencemaran Minyak Bumi dalam Lingkungan Laut. Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.
- Poesponegoro, M., 1985. Pengembangan Inokulan Untuk Pengolahan Limbah Industri dengan Proses Biologis. Publishing Kimia Terapan LIPI. Kimia Indonesia. Wahana Komunikasi Ilmiah Populer.
- Syamsuriputra.A.A., 1997., Pertumbuhan Sel. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Bandung.
- Sloan, N.A., 1993. Berbagai Dampak Minyak Terhadap Sumberdaya Laut. Proyek Environmental Management Development in Indonesia dan Kantor Menteri Negara Lingkungan hidup.
- Suriawiria, V., 1977. Mikrobiologi Air Pengolahan Buangan Secara Mikrobiologi. Laporan Hasil Penelitian, Institut Teknologi Bandung.
- USOTA., 1991. Bioremediation for Marine Oil Spillsbackground Paper. U.S. Goverment Printing Office, Washington, D.C. U.S. A.
- Wardoyo, S., 1974. Pengolahan Kualitas Air. Departemen tata Produksi Pertanian, Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor.
- Wicaksono, W., 1974. Kegiatan Industri Minyak Bumi Di Lepas Pantai dan Laut Dalam. Lembaga Publikasi Lemigas, Jakarta.
- Zobel., 1973. Microbial Degradation of Oil. Present Status Problem and Perspectives. Aerm DC 7 Meyers. Sp. Publication No. LSU.

Tabel 11. Hasil Pengukuran Kultur Dengan Menggunakan Spektrofotometer Pada Petroleum Jenis Hendil

Tanggal	Jam	ST. III Air	ST. III Sed	ST. IV Air	ST. IV Sed
13-9-97	17.00	0,010	0,008	0,009	0,010
14-9-97	05.00	0,017	0,021	0,075	0,032
	12.00	0,079	0,034	0,195	0,067
15-9-97	12.00	0,447	0,131	0,468	0,159
	18.00	0,390	0,180	0,483	0,312
16-9-97	24.00	0,435	0,100	0,491	0,313
	06.00	0,726	0,279	0,597	0,392
	12.00	0,699	0,348	0,664	0,574
	19.00	0,780	0,315	0,609	0,509
17-9-97	11.00	0,819	0,414	0,678	0,471
	19.00	0,844	0,462	0,789	0,666
18-9-97	04.00	1,503	0,453	0,687	0,639
	19.00	1,887	0,544	0,798	0,675
19-9-97	02.00	1,573	0,657	0,909	0,801
	14.00	2,142	0,644	0,852	0,798
20-9-97	10.00	1,1858	0,730	0,826	0,664

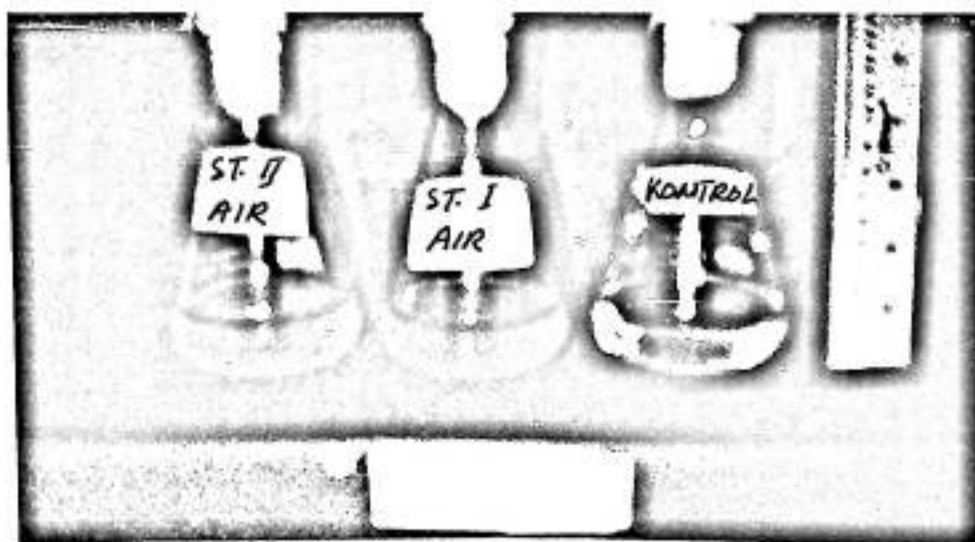
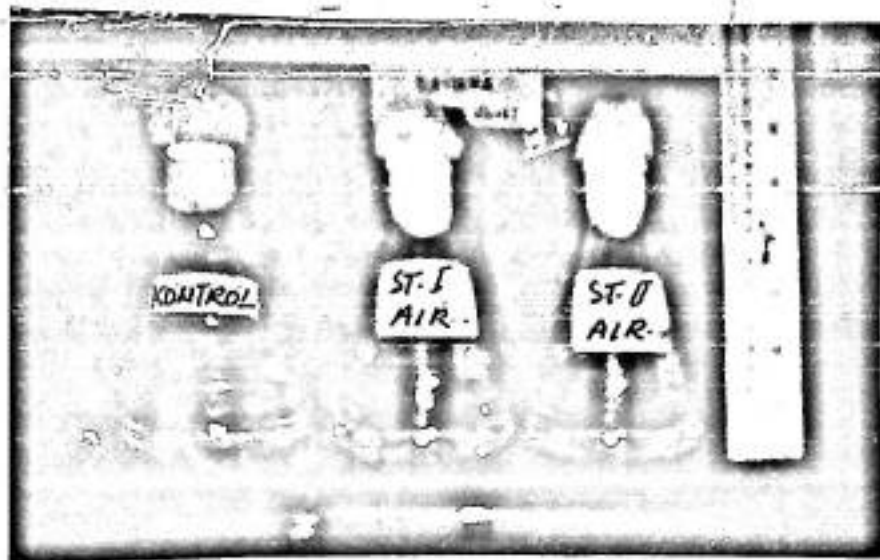
Tabel 12. Hasil Pengukuran Kultur Dengan Menggunakan Spektrofotometer Pada Petroleum Jenis "X"

Tanggal	Jam	ST. III Air	ST. III Sed	ST. IV Air	ST. IV Sed
1-10-97	16.00	0,022	0,030	0,017	0,014
2-10-97	12.00	0,051	0,025	0,048	0,020
3-10-97	16.00	0,107	0,041	0,092	0,062
3-10-97	16.00	0,129	0,082	0,103	0,069
4-10-97	17.00	0,213	0,162	0,188	0,146
5-10-97	17.00	1,129	0,208	0,612	0,401
6-10-97	17.00	1,195	0,364	1,041	0,679
7-10-97	17.00	1,416	0,609	1,201	0,832
8-10-97	14.00	1,533	0,566	1,314	0,917
9-10-97	15.00	1,724	0,779	1,612	1,176
10-10-97	14.00	2,120	0,938	1,831	1,102
11-10-97	14.00	2,532	1,104	1,517	1,285

Tabel 13. Hasil Pengukuran Kultur dengan Menggunakan Spektrofotometer Pada Petroleum Jenis Sahara

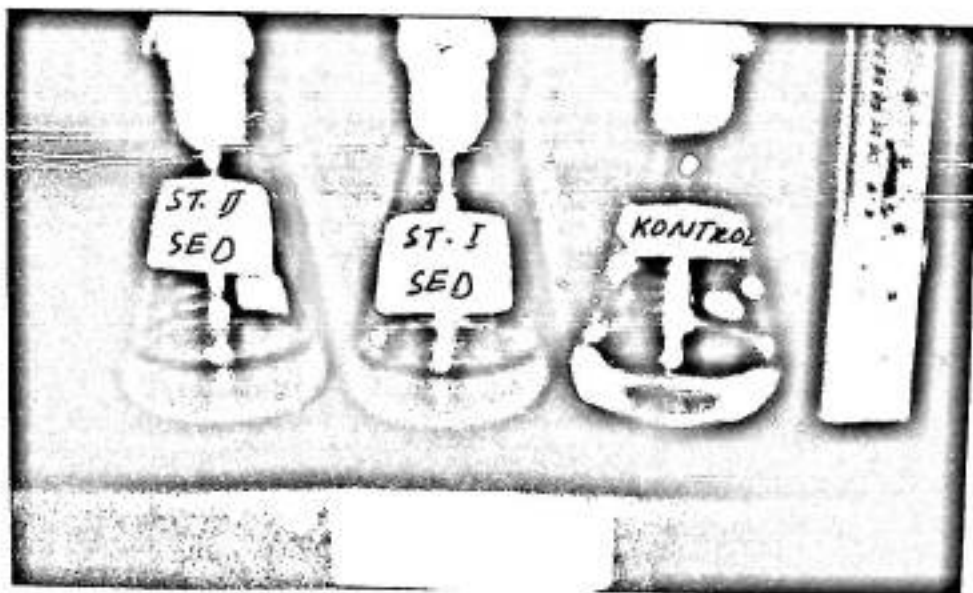
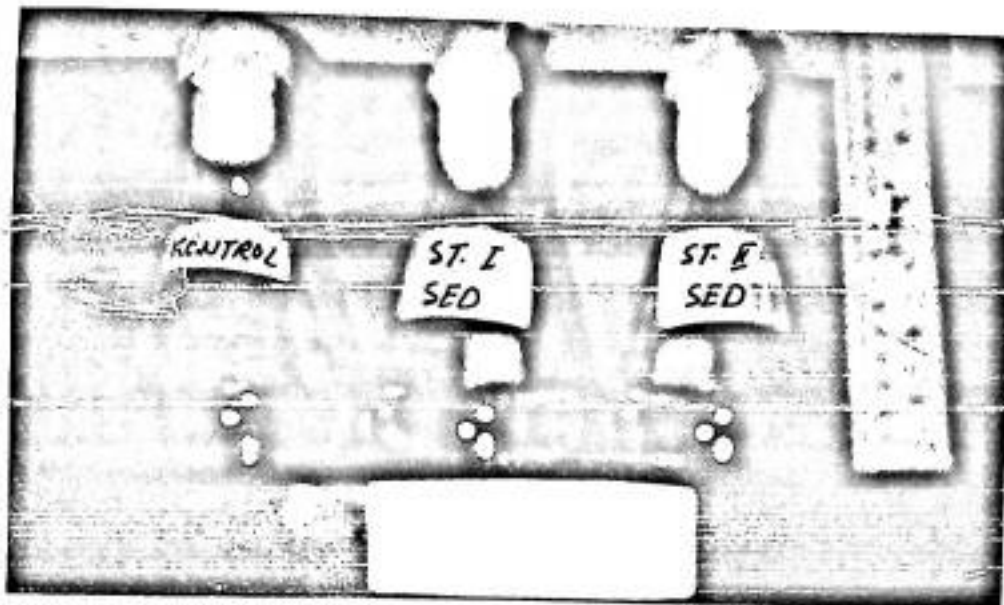


Tanggal	Jam	ST. III Air	ST. IV Air	ST. III Sed	ST. IV Sed
20-8-97	23.00	0,014	0,021	0,091	0,015
21-8-97	16.00	0,046	0,076	0,059	0,040
21-8-97	22.00	0,064	0,152	0,104	0,047
22-8-97	10.00	0,083	0,485	0,210	0,147
22-8-97	16.00	0,123	0,607	0,357	0,265
22-8-97	22.00	0,117	0,729	0,442	0,234
23-8-97	05.00	0,134	0,807	0,552	0,386
23-8-97	16.00	0,164	0,962	0,649	0,519
24-8-97	24.00	0,189	1,134	0,755	0,731
24-8-97	13.00	0,197	1,152	0,781	0,743
25-8-97	13.00	0,311	1,230	0,825	0,864
26-8-97	24.00	0,312	1,524	1,176	1,290
26-8-97	15.00	0,390	1,530	1,092	1,029
27-8-97	11.00	0,339	1,245	0,954	0,891
28-8-97	02.00	0,465	1,047	1,059	1,143
28-8-97	14.00	0,513	1,281	1,029	1,215
29-8-97	02.30	0,483	1,566	1,074	1,152
29-8-97	18.00	0,762	1,635	1,170	1,374



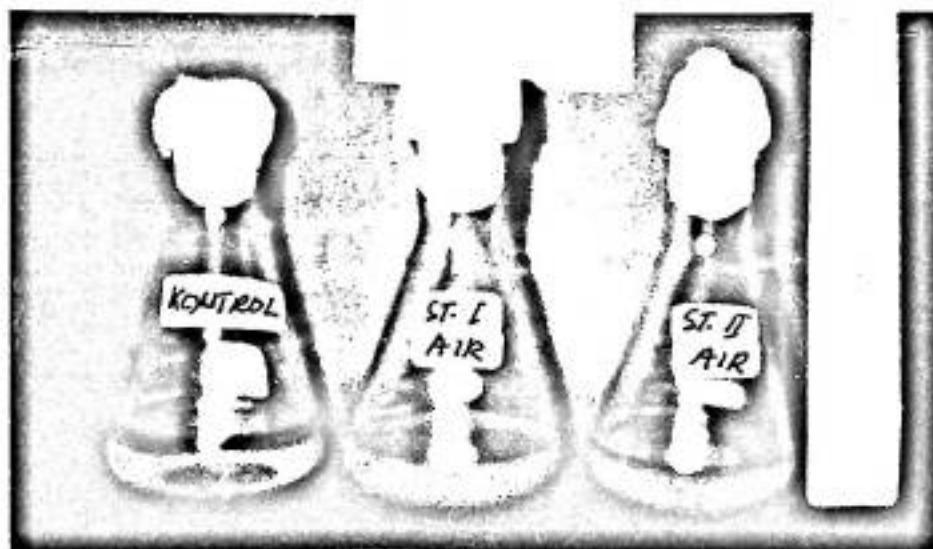
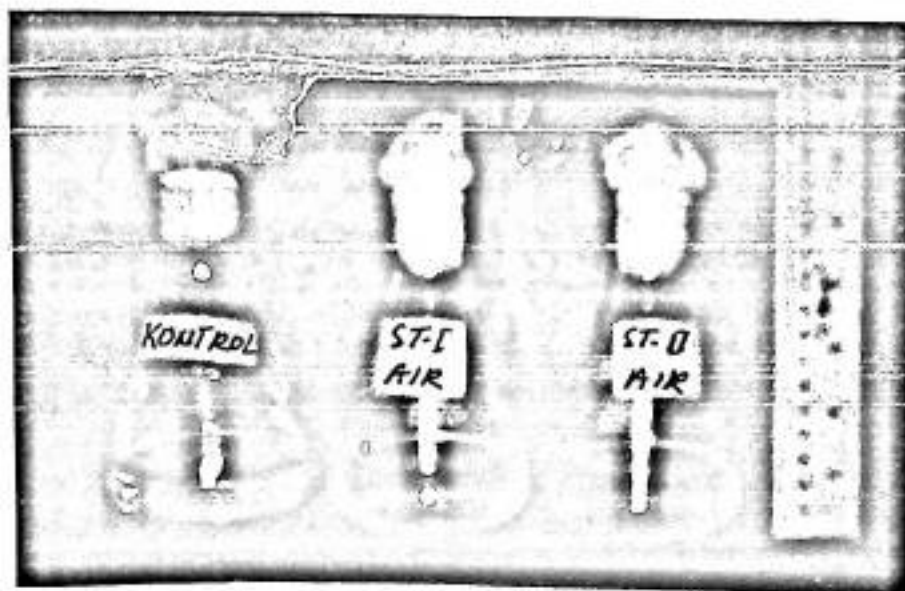
Gambar 7. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum Sahara dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat T_0
- B. Setelah inkubasi 48 jam



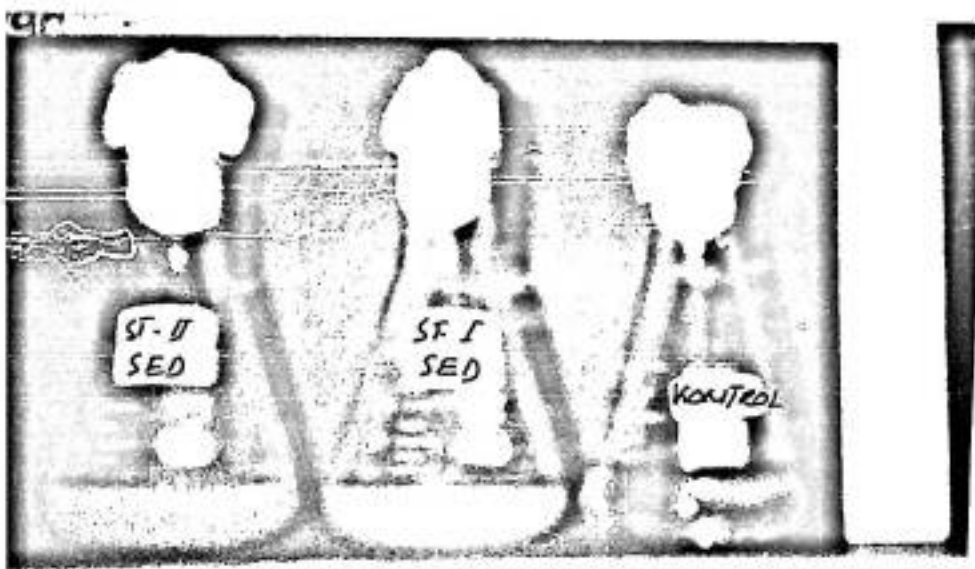
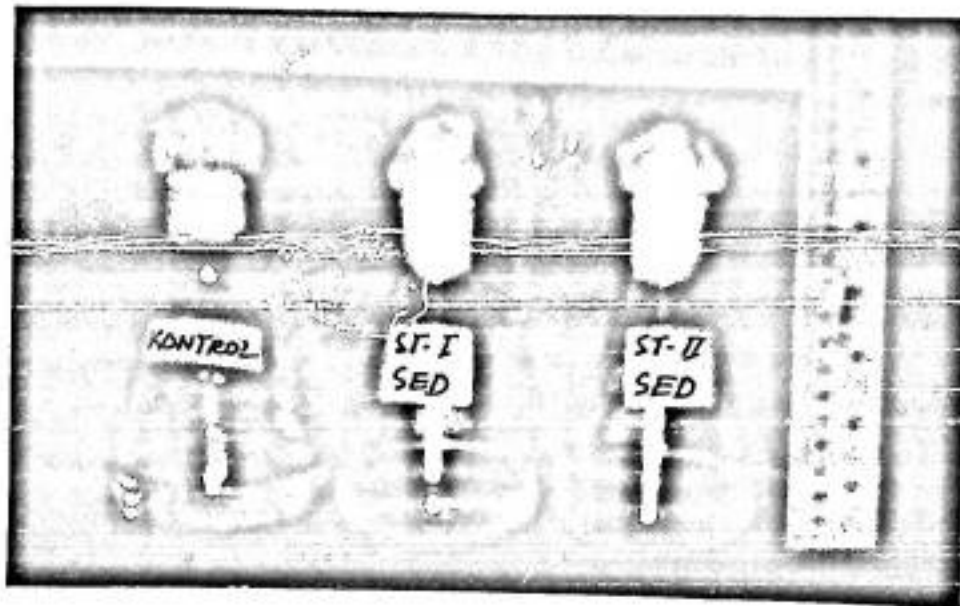
Gambar 8. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum Sahara dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat T_0
- B. Setelah inkubasi 48 Jam



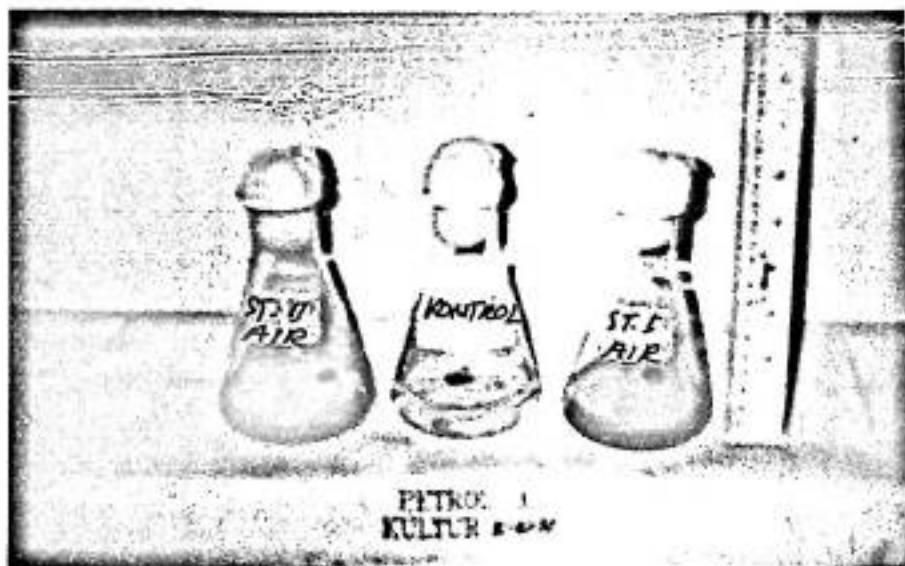
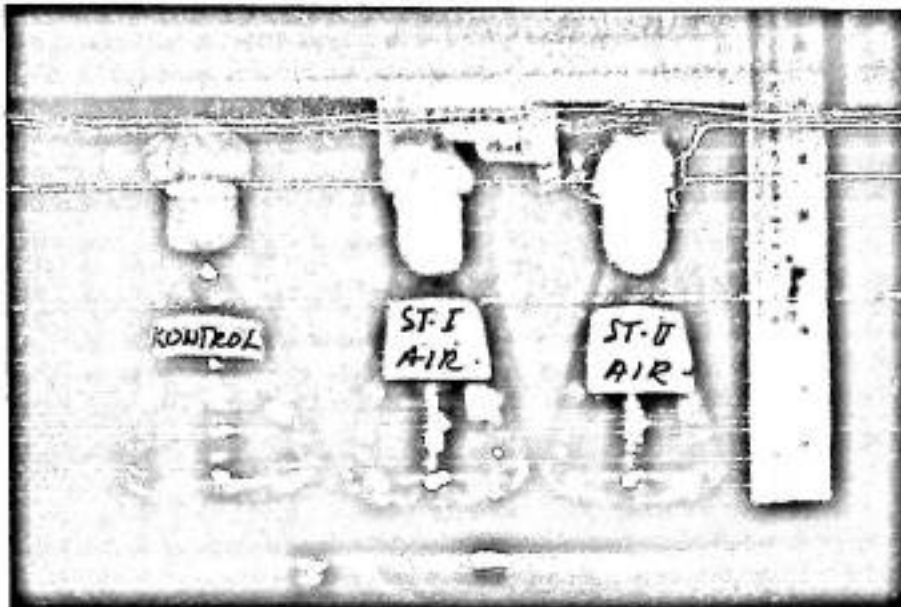
Gambar 9. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum Handil dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat T_0
- B. Setelah inkubasi 48 jam



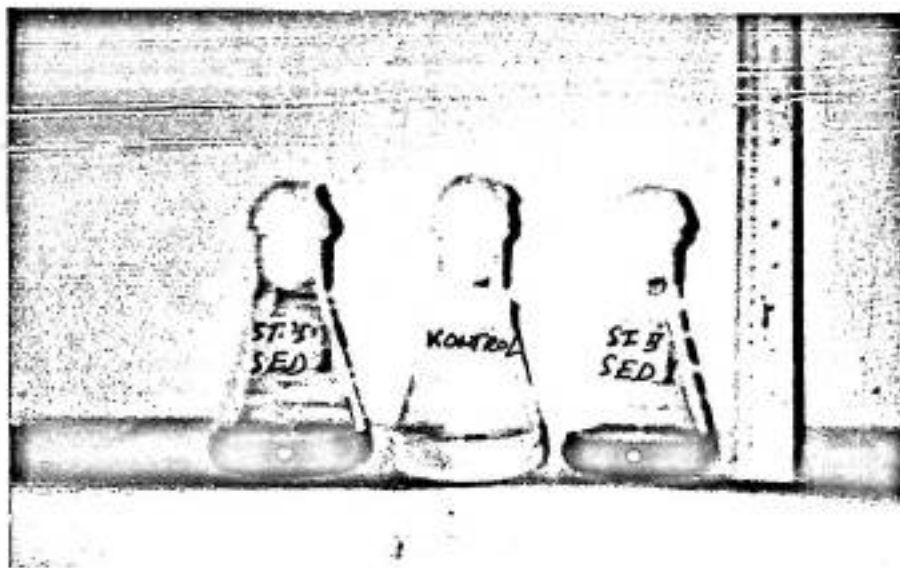
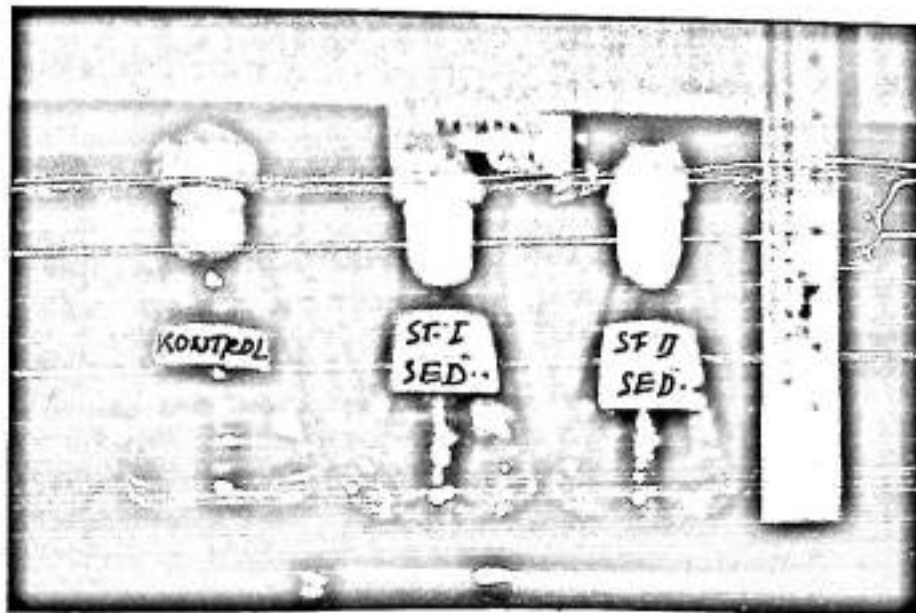
Gambar 10. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum Handil dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat To
- B. Setelah inkubasi 48 Jam



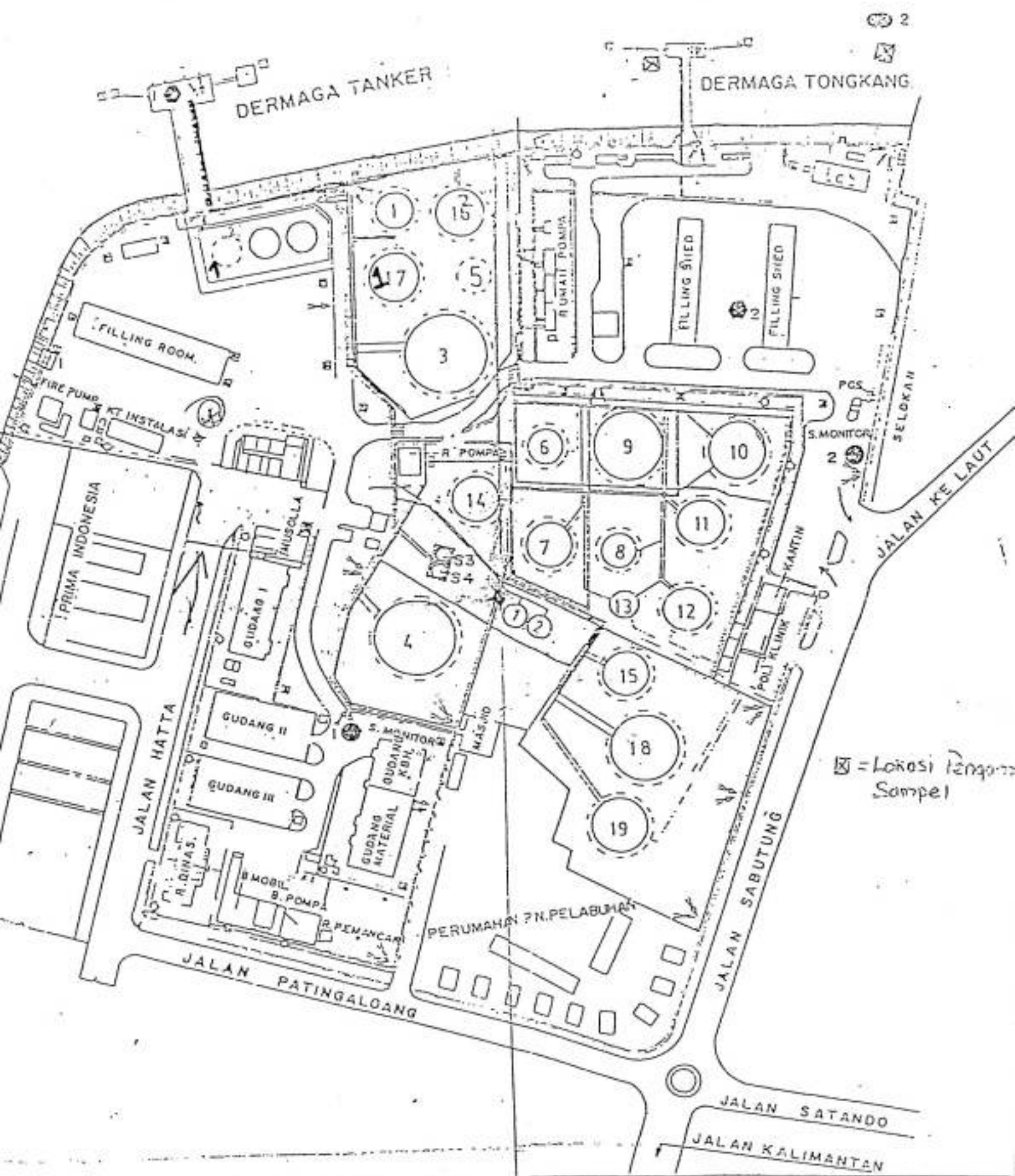
Gambar 11. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Air) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum jenis "X" dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat T_0
- B. Setelah inkubasi 6 hari



Gambar 12. Pertumbuhan Bakteri (Sampel Sedimen) pada Media Cair yang Telah Ditambahkan Petroleum jenis "X" dari Perairan Pelabuhan Pertamina Ujungpandang

- A. Pada saat T_0
- B. Setelah inkubasi 6 hari



Gambar 13. Peta Lokasi Pengambilan Sampel