

9/17K  
1999  
0046

40

**PENGARUH PENAMBAHAN PUPUK OLEOFILIK  
TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI HETEROTROFIK  
DAN BAKTERI PEMECAH MINYAK DALAM PERAIRAN  
TERCEMAR MINYAK : EKSPERIMEN MESOKOSM**

Oleh  
**TITIK NURHIDAYATI**  
C 31.0629

**SKRIPSI**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana  
pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Institut Pertanian Bogor



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
1999**



Hal: Cetak (Printed) / Unstamped  
1. Diizinkan sebagai alat bantu belajar bagi mahasiswa dan dosen.  
2. Diperoleh dengan cara mendaftar ke bagian administrasi dan keuangan nomor:  
a. Pendaftaran masuk untuk mahasiswa baru, pendaftaran masuk kembali, pendaftaran masuk kembali, pendaftaran masuk kembali, pendaftaran masuk kembali.  
b. Pendaftaran tidak termasuk pendaftaran yang wajib IPB University.  
3. Dilarang mengizinkan dan menyalin ulang ke orang lain atau untuk tujuan lain tanpa izin IPB University.

*Yang tercinta.....*

*Murtini Tabrizi, bundaku  
Almarhum Mochammad Tabrizi, ayahku  
Pandawa limaku dan keluarga : Mas Totok - Teh' Acah,  
Mas Liliek - Mbak Nur, Mas Bambang - Mbak Lies,  
Mas Noer - Mbak Ririe dan Mas Roni - Mbak Astrie*

*Kepada merekalah karya ini kupersembahkan*



Halaman 10 dari 10 halaman  
1. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
2. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
3. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
4. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
5. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
6. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
7. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
8. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
9. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*  
10. Diambil dari: *Manajemen dan Organisasi*

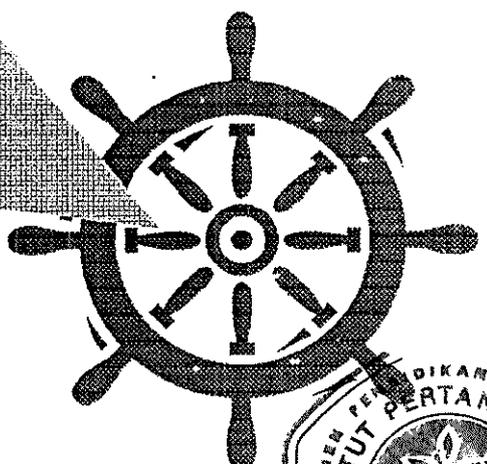


*Manusia sama sekali tidak memiliki alasan dan landasan untuk merasa cukup berpengetahuan atau bersikap congkak, entah kepada siapapun.*

*Persoalan terpenting pada manusia adalah menginsyafi seberapa gerangan tingkat ketelitian pandang yang dimiliki oleh para Malaikat serta betapa Maha teliti gerangan Allah .....*

*Adapun manusia yang hanya dipinjami sepersejuta tetes air dari Maha lautan ilmu-Nya cukuplah bekerja dan beribadah dengan hati jujur, selebihnya bersujud dan memelihara mulut.*

Emha Ainun Nadjib, 1997



# SKRIPSI

Judul : Pengaruh Penambahan Pupuk Oleofilik Terhadap Pertumbuhan Bakteri Heterotrofik dan Bakteri Pemecah Minyak dalam Perairan Tercemar Minyak : Eksperimen Mesokosm

Nama Mahasiswa : Titik Nurhidayati

Nomor Pokok : C31.0629

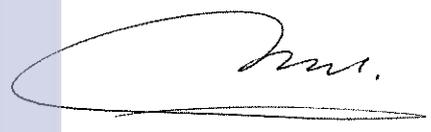
Program Studi : Ilmu Kelautan

Waktu Pelaksanaan : 7 – 20 September 1998

Menyetujui :  
I. Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Richardus F. Kaswadi, MSc  
Pembimbing I

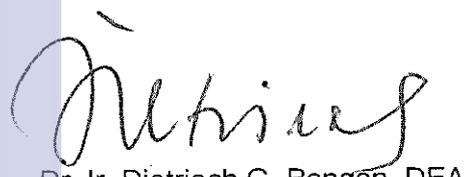


Dr. Ir. Tri Prartono, MSc  
Pembimbing II

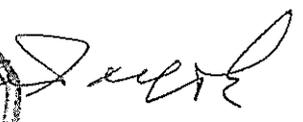
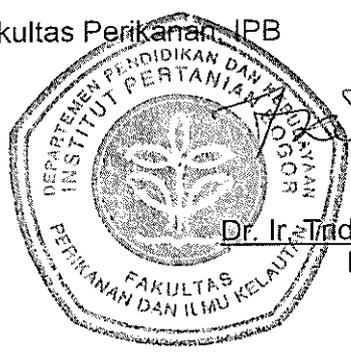


Ir. Yeti Darmayati, MSc  
Pembimbing III

II. Fakultas Perikanan, IPB



Dr. Ir. Dietrich G. Bengen, DEA  
Ketua Program Studi



Dr. Ir. Trioyo Kusumastanto, MS  
Pembantu Dekan I

Tanggal lulus : 27 Mei 1999

## RINGKASAN

(Titik Nurhidayati. C 31.0629. Pengaruh Penambahan Pupuk Oleofilik Terhadap Pertumbuhan Bakteri Heterotrofik dan Bakteri Pemecah Minyak dalam Perairan Tercemar Minyak : Eksperimen Mesokosm. Dibawah bimbingan Dr.Ir. Richardus Kaswadji, MSc., Dr.Ir. Tri Prartono, MSc dan Ir. Yeti Darmayati, MSc).

Berbagai kasus pencemaran minyak di laut sudah banyak terjadi yang mengakibatkan keseimbangan ekosistem menjadi terganggu. Salah satu alternatif untuk menanggulangi pencemaran minyak dapat dilakukan dengan pendekatan secara biologi dengan cara biodegradasi. Dalam hal ini digunakan aktivitas bakteri untuk mendegradasi minyak yang ada di perairan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan bakteri heterotrofik dan hidrokarbonoklastik akibat penambahan pupuk oleofilik dalam lingkungan mesokosm yang dicemari minyak. Selain itu akan dilihat fluktuasi beberapa parameter fisika-kimia perairan, seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut (DO), serta konsentrasi fosfat dan nitrat. Tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk melihat apakah penambahan pupuk oleofilik berpengaruh terhadap biota lain (fitoplankton) dengan menganalisa kandungan klorofil-a nya.

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 7 – 20 September 1998 di Perairan Teluk Pelabuhan Ratu dengan menggunakan teknik mesokosm. Terdapat empat mesokosm (A, B, C dan D) dengan volume total masing-masing  $\pm 5300$  liter air laut. Ke dalam setiap mesokosm dimasukkan minyak mentah dengan kadar 100 ppm. Perlakuan pada penelitian ini adalah dengan menambahkan masing-masing 3,2 ppm pupuk oleofilik pada mesokosm B, 10 ppm pupuk oleofilik pada mesokosm C dan 32 ppm pupuk oleofilik pada mesokosm D. Mesokosm A adalah mesokosm kontrol karenanya tidak diberi penambahan pupuk oleofilik. Sampel bakteri heterotrofik dan hidrokarbonoklastik diambil sebanyak lima kali, pada hari ke-0, ke-1, ke-2, ke-4 dan ke-8. Sedangkan pengambilan sampel air untuk analisa klorofil-a, nutrisi dan parameter fisika-kimia perairan dilakukan setiap hari, sebanyak 9 kali pengambilan, yakni pada hari ke-0 sampai hari ke-8.

Dari hasil analisa terhadap bakteri heterotrofik dan bakteri hidrokarbonoklastik didapatkan kecenderungan bahwa pada mesokosm kontrol populasi bakteri selalu lebih rendah dibandingkan dengan mesokosm perlakuan. Pada mesokosm A, populasi bakteri heterotrofik tertinggi mencapai  $4,167 \times 10^4$  sel/ml dengan laju pertumbuhan 1580 sel/jam. Pada mesokosm B, C dan D populasi bakteri heterotrofiknya berturut-turut  $28,37 \times 10^4$ ,  $26,57 \times 10^4$  dan  $97,7 \times 10^4$  sel/ml dengan laju pertumbuhan masing-masing adalah 10975,8 sel/jam, 10916,7 sel/jam, dan 40270,8 sel/jam. Pengamatan terhadap bakteri hidrokarbonoklastik menunjukkan bahwa jenis bakteri ini memiliki jumlah yang lebih kecil dibandingkan bakteri heterotrofik. Populasi bakteri hidrokarbonoklastik tertinggi pada mesokosm A, B, C dan D berturut-turut sebesar  $6,8 \times 10^3$  sel/ml,  $8,65 \times 10^3$  sel/ml,  $19,5 \times 10^3$  sel/ml dan  $24 \times 10^3$  sel/ml dengan laju pertumbuhan masing-masing adalah 37,5 sel/jam, 323 sel/jam, 787,5 sel/jam dan 246,9 sel/jam.



## RIWAYAT HIDUP



Gambar 1.1: Penulis skripsi

Penulis dilahirkan di Madiun, 6 Februari 1976 sebagai putri tunggal anak keenam dari enam bersaudara dari pasangan Bapak Mochammad Tabrizi dan Ibu Murtini Koenawi.

Penulis menempuh pendidikan dasar di MI Islamiah Madiun dan SD Negeri Kenayan 2 Tulungagung. Di kota yang sama penulis menyelesaikan pendidikan menengah, yakni di SMP N I Tulungagung dan SMA N I Tulungagung.

Pada tahun 1994 melalui jalur USMI penulis dinyatakan diterima sebagai mahasiswa Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan program studi Ilmu Kelautan sebagai bidang ilmu yang diminati. Untuk memperoleh gelar Sarjana penulis melaksanakan praktek lapang pada bulan Agustus 1997 dengan judul "Kandungan Klorofil-a Fitoplankton pada Lingkungan Berminyak dalam Mesokosm di Teluk Pelabuhan Ratu". Sebagai tugas akhir, dibawah bimbingan Dr. Ir. Richardus Kaswadji, MSc, Dr. Ir. Tri Prartono, MSc dan Ir. Yeti Darmayati, MSc penulis menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Penambahan Pupuk Oleofilik Terhadap Pertumbuhan Bakteri Heterotrofik dan Bakteri Pemecah Minyak dalam Perairan Tercemar Minyak : Eksperimen Mesokosm". Penulis dinyatakan lulus ujian skripsi Fakultas Perikanan dari Ilmu Kelautan dihadapan dosen penguji pada ujian sidang tanggal 27 Mei 1999.

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut Gusti Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan rahmat-Nya kepada penulis, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulisan skripsi “Pengaruh Penambahan Pupuk Oleofilik Terhadap Pertumbuhan Bakteri Heterotrofik dan Bakteri Pemecah Minyak dalam Perairan Tercemar Minyak : Eksperimen Mesokosm” ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan - FPIK, Institut Pertanian Bogor.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Dr. Ir. Richardus Kaswadji, MSc, Dr. Ir. Tri Prartono, MSc dan Ir. Yeti Darmayati, MSc selaku dosen pembimbing, yang dengan sabar telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Ir. Sigid Hariyadi, MSc dan Ir. R. Widodo, yang telah bersedia “menguji” penulis.
3. Seluruh staf Lembaga Oseonologi-LIPI, khususnya kepada Bapak Saedi, Bapak Djawadi, Bapak Mardanis, Drs. Sutomo, Bapak Santoso, Ir. Hamidah Razak, Bapak Irfan, Ir. Dwi, Mbak Gesti dan Mbak Elly yang telah banyak membantu penulis selama di lapangan.
4. Seluruh staf pengajar FPIK, khususnya Program Studi Ilmu Kelautan, yang telah memberikan bimbingannya selama penulis berkuliah.



5. Seluruh karyawan Perpustakaan Pusat IPB, Perpustakaan LON-LIPI, Perpustakaan FPIK-IPB, dan Perpustakaan Program Studi Ilmu Kelautan, yang membantu penulis mencari literatur yang diperlukan.
6. Bapak dan Ibunda Tabrizi, yang telah merawat dan mendidik penulis dalam naungan kasih sayang sejati.
7. Kakak-kakakku : Mas Totok & Teh Acah, Mas Lilik & Mbak Nur, Mas Bambang & Mbak Lies, Mas Noer & Mbak Ririe, Mas Roni & Mbak Astri serta sepupuku Joko Prayitno yang telah menjadi "keluarga kedua" bagi penulis dengan penuh pengertian dan kasih sayang.
8. Kak Rully, yang telah mengajarkan penulis akan arti ketabahan dan kedewasaan.
9. Teguh Supriyadi, Wahyudi dan Uki, teman seperjuangan dalam penelitian dan kepada Keluarga Pak Thomas atas semua bantuannya selama di Pelabuhan Ratu.
10. Keluarga di Bateng 9A (Desi, Evi, Ria, Mbak Asih, Mbak Wulan, dan semuanya) serta keluarga di Bateng 17 khususnya buat 'Ophie untuk semua kesabarannya.
11. Krono-kroniku di "Nine Room" : Eva 'Onyon', My stepmom 'Ane' dan lin 'Bimbo', serta Erna 'Kabul', yang telah mengajarkan arti *persahabatan*.
12. Teman-teman "Marine 31" : Hengky, Sulchan, Norman, .Rahmatia, Indra (plus Ema-nya), Ninik, dan semua yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya, penulis hanya bisa berharap semoga tulisan yang masih kurang sempurna ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi penulis dan seluruh peminat pengetahuan khususnya ilmu kelautan.

Bogor, 2.Juni 1999

Titik Nurhidayati

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Tujuan penelitian.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Bakteri heterotrofik.....	4
2.2 Bakteri hidrokarbonoklastik .....	5
2.3 Kebutuhan akan nutrisi .....	6
2.4 Parameter fisika kimia perairan.....	8
2.4.1 Suhu.....	8
2.4.2 Kandungan oksigen terlarut.....	9
2.4.3 Derajat keasaman (pH).....	10
2.5 Klorofil-a.....	10
2.6 Teknik mesokosm .....	12
3. METODE PENELITIAN .....	15
3.1 Waktu dan lokasi penelitian.....	15
3.2 Bahan dan alat.....	15
3.3 Perangkat mesokosm .....	17
3.4 Metode pengukuran .....	20
3.5 Analisis sampel bakteri.....	21
3.5.1 Analisis bakteri heterotrofik.....	21
3.5.2 Analisis bakteri hidrokarbonoklastik .....	22
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Bakteri heterotrofik.....	26
4.2 Bakteri hidrokarbonoklastik .....	28
4.3 Parameter fisika kimia perairan.....	31
4.3.1 Suhu .....	31
4.3.2 Derajat keasaman(pH).....	31
4.3.3 Kadar oksigen terlarut.....	33
4.3.4 Fosfat.....	34
4.3.5 Nitrat.....	35
4.4 Klorofil-a.....	36
4.5 Pengaruh pupuk oleofilik terhadap pertumbuhan bakteri heterotrofik .....	40
4.6 Pengaruh pupuk oleofilik terhadap pertumbuhan bakteri .....	40



hidrokarbonoklastik .....	41
4.7 Hubungan parameter fisika kimia perairan terhadap pertumbuhan bakteri .....	42
5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	47
LAMPIRAN .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lokasi penelitian di Teluk Pelabuhan ratu .....	16
2. Perangkat mesokosm (tampak samping).....	18
3. Bagan apung mesokosm (tampak atas) .....	19
4. Analisa bakteri heterotrofik dengan metode TPC (WHO, 1977) .....	24
5. Analisa bakteri hidrokarbonoklastik dengan metode MPN (WHO, 1977) ....	25
6. Pola pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	27
7. Laju pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	29
8. Pola pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	30
9. Laju pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	31
10. Fluktuasi suhu pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm) .....	33
11. Fluktuasi pH pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm) .....	34
12. Fluktuasi kandungan oksigen terlarut pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	35
13. Fluktuasi kadar fosfat pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	36
14. Fluktuasi kadar nitrat pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm).....	38
15. Fluktuasi konsentrasi klorofil-a pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm ), C (10 ppm) dan D(32 ppm) .....	39



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perlakuan pada mesokosm .....	20
2. Komposisi pupuk yang ditambahkan dalam mesokosm .....	21
3. Parameter dan metode yang digunakan pada mesokosm .....	21





## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data bakteri heterotrofik dengan metode TPC .....	50
2. Data bakteri hidrokarbonoklastik dengan metode MPN .....	51
3. Jumlah dan laju pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A, B, C dan D .....	52
4. Jumlah dan laju pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm A, B, C dan D .....	52
5. Parameter fisika kimia perairan pada mesokosm A, B, C dan D .....	53
6. Contoh perhitungan unsur P dan N pada pupuk oleofilik yang ditambahkan pada mesokosm .....	54
7. Kandungan klorofil-a (mg/m <sup>3</sup> ) pada mesokosm A, B, C dan D .....	55
8. Contoh perhitungan laju pertumbuhan fitoplankton pada mesokosm A, B, C dan D .....	55
9. Analisis varian bakteri heterotrofik saat pengamatan H <sub>0</sub> .....	56
10. Analisis varian bakteri hidrokarbonoklastik saat pengamatan H <sub>0</sub> .....	56

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar belakang

Di laut pencemaran yang disebabkan oleh minyak relatif lebih sukar terurai dibandingkan dengan pencemaran yang disebabkan oleh bahan organik lain. Oleh karena itu pencemaran yang disebabkan oleh minyak akan dapat menyebabkan terganggunya difusi oksigen dari udara ke kolom air laut. Sebagai akibatnya akan terjadi kenaikan suhu air laut dan matinya biota tertentu karena rusaknya habitat sehingga keseimbangan ekosistem laut menjadi terganggu. Selain itu, cemaran minyak juga dapat secara langsung menyebabkan gangguan dalam proses fisiologis, antara lain cara makan dan ukuran jenis biota (Hutagalung, 1990).

Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan dalam menanggulangi pencemaran minyak di laut, yaitu dengan pendekatan fisika, kimia, dan biologi. Menurut Clark (1986) ada beberapa proses penanggulangan secara fisika, misalnya dengan "floating boom". Pendekatan ini dapat dilakukan jika pencemaran minyak terjadi di sungai atau danau namun kurang efektif jika diterapkan di laut. Secara kimia penambahan zat-zat kimia seperti dispersan dapat dimaksudkan untuk menanggulangi pencemaran minyak. Cara ini lebih efektif jika dispersan yang ditambahkan disemprotkan dari udara. Ada juga pendekatan secara kimia dilakukan dengan penggunaan zat kimia yang menyebabkan minyak dapat berubah menjadi gel. Gel itu dapat dengan mudah digulung seperti menggulung karpet. Namun kesulitan yang dihadapi adalah jika laut mengandung bahan kimia lain yang dapat menyebabkan perlakuan yang ditambahkan tidak efektif lagi.

Dari ketiga pendekatan itu tampaknya pendekatan secara biologi dengan cara biodegradasi adalah paling menjanjikan untuk mengatasi pencemaran minyak

di Indonesia (Fu Li, 1995 dalam Ruyitno, 1997). Hal ini disebabkan penanganan secara biologi ini memiliki efek negatif yang relatif kecil terhadap lingkungan perairan. Di samping itu karena aktivitas mikroba dalam proses degradasi membutuhkan suhu yang relatif tinggi maka kondisi ini nampak cocok diterapkan di perairan tropis seperti wilayah Indonesia. Namun demikian proses biologi ini dihadapkan pada keterbatasan tingkat pertumbuhan bakteri yakni sangat tergantung pada ketersediaan nutrisi. Perlu diketahui bahwa di lingkungan laut nutrisi merupakan faktor pembatas (*biolimiting factor*). Untuk itu studi tentang upaya mengaktifkan pertumbuhan bakteri yang dapat mendegradasi minyak di perairan menjadi sangat penting dilakukan.

Peningkatan biodegradasi cemaran minyak dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu dengan menanam bakteri yang sudah diadaptasikan dengan habitat minyak dan menambahkan pupuk yang diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri pemecah minyak dalam lingkungan perairan yang tercemar minyak. Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan metode yang kedua. Cara kedua dipilih karena diharapkan tingkat keberhasilannya akan lebih baik jika dibandingkan dengan penanaman bakteri baru (Ruyitno, 1997).

Secara umum penelitian tentang cemaran minyak banyak dilakukan dalam skala laboratorium dan skala lapangan. Akan tetapi kedua sistem ini memberikan perbedaan-perbedaan karakteristik. Dalam skala laboratorium hasilnya tidak mencerminkan keadaan yang sebenarnya di alam. Sedangkan penelitian langsung di lapangan, dengan faktor-faktor lingkungan yang sulit dikendalikan, memberikan hasil yang kurang memuaskan. Seringkali hasil penelitian di laboratorium kurang sesuai dengan penerapannya di lapangan. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan teknik Mesokosm (*Marine Enclosed Ecosystem Experiment*). Keuntungan dari









Dari hasil penelitian Udiharto (1992), telah didapatkan kultur campuran yang didominasi oleh *Pseudomonas sp* yang berpotensi memakan minyak. Dalam air laut yang tercemar minyak bumi tanpa penambahan unsur lain, kultur tersebut dapat berperan dalam degradasi minyak. Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa nitrogen merupakan unsur pembatas dalam pertumbuhannya. Dalam media tersebut kemudian diperkaya unsur nitrogen, menunjukkan degradasi hidrokarbon dimana penguraian senyawa parafinik lebih besar dari senyawa aromatik (Udiharto, 1995).

Dalam lingkungan hidrokarbon selama proses biodegradasi berlangsung, mikroorganisme yang telah teradaptasi di dalamnya akan tumbuh dan berkembang biak dengan ditandai oleh adanya pertambahan sel. Hal ini menunjukkan adanya produksi biomassa yaitu akumulasi dari massa sel dimana sebagian besar massa tersusun oleh protein. Dengan demikian aktivitas mikroba tidak hanya menurunkan kadar polutan dari minyak tetapi juga memberikan nilai tambah berupa protein (Udiharto, 1995).

### 2.3 Kebutuhan akan nutrisi

Baik bakteri heterotrofik maupun bakteri hidrokarbonoklastik, terdistribusi secara alamiah di lingkungan. Salah satu faktor penting yang menentukan distribusi bakteri di laut adalah ketersediaan nutrisi (Carlucci, 1974).

Di laut, konsentrasi nutrisi (nitrat dan fosfat) umumnya rendah jika tidak ada masukan limbah. Fosfat dan nitrat dapat berasal dari berbagai sumber, misalnya dari limbah buangan rumah tangga, deterjen, sisa-sisa pupuk pertanian dan dari materi biologi. Fosfat dan nitrat pada konsentrasi yang rendah merupakan unsur pembatas bagi organisme akuatik (Guthrie *et al.*, 1975).

Menurut Parsons *et al.* (1984) nutrisi di laut jumlahnya melimpah, namun unsur N, P dan Fe biasanya dalam jumlah sedikit. Oleh sebab itu ketiga nutrisi tersebut merupakan faktor pembatas untuk pertumbuhan fitoplankton. Walaupun unsur N dan P keberadaannya dalam suatu perairan sangat terbatas, namun unsur tersebut diperlukan dalam jumlah banyak oleh alga dan tumbuhan lainnya. Guthrie *et al* (1975) mengatakan bahwa bakteri heterotrofik dan jamur memiliki laju penyerapan nitrogen yang lebih tinggi dari alga dalam kultur campuran.

Pada perairan yang tercemar minyak, sehingga membentuk lapisan minyak, akan tersedia massa karbon untuk pertumbuhan mikroorganisme. Namun umumnya konsentrasi nitrat dan fosfat menjadi pembatas bagi laju degradasi hidrokarbon oleh mikroorganisme (Atlas,1992).

Penelitian yang dilakukan oleh Beastall (1977) dalam Austin (1988) membuktikan bahwa penambahan nutrisi dapat menstimulasi biodegradasi cemaran minyak oleh bakteri. Dalam hal ini Beastall telah menghitung jumlah nitrogen dan fosfor yang diperlukan dalam mendegradasi minyak. Ditemukan bahwa untuk mendegradasi 1 gram minyak diperlukan 6-60 mg nitrogen dan 1-10 mg fosfor. Selain itu dikatakan bahwa proses degradasi akan berlangsung secara optimum pada kisaran suhu 25 – 37 °C.

Karena konsentrasi unsur N dan P di laut umumnya rendah, maka agar biodegradasi hidrokarbon dapat berlangsung, diperlukan nutrisi tambahan bagi mikroba hidrokarbonoklastik. Terdapat tiga jenis pupuk yang telah diuji dapat dijadikan nutrisi tambahan dalam lingkungan yang tercemar minyak (hidrokarbon). Ketiga jenis pupuk tersebut adalah pupuk campuran N dan P, pupuk custemblem dan pupuk oleofilik (Ruyitno, 1997).



Pupuk oleofilik dapat mensuplai nitrat dan fosfat bagi mikroba hidrokarbonoklastik untuk memicu biodegradasi cemaran hidrokarbon minyak (Atlas,1992). Remsen *et al.* (1974) menyatakan bahwa pupuk oleofilik mengandung urea yang merupakan sumber nitrogen bagi kebanyakan mikroorganisme di perairan.

## 2.4 Parameter fisika kimia perairan

Keberadaan hidrokarbon minyak yang mencemari perairan akan hilang akibat aktivitas degradasi oleh mikroorganisme. Proses degradasi tersebut dipengaruhi oleh faktor abiotik lingkungan yang meliputi faktor fisika dan kimia perairan. Faktor abiotik tersebut dapat mempengaruhi laju pertumbuhan mikroba hidrokarbonoklastik dan aktivitas enzim yang akan menentukan laju biodegradasi minyak (Atlas, 1992). Faktor abiotik yang mempengaruhi laju degradasi meliputi ketersediaan oksigen, nutrisi anorganik, pH dan suhu lingkungan (Austin, 1988).

### 2.4.1 Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter penting bagi kehidupan organisme perairan, karena dapat mempengaruhi keseimbangan konsentrasi oksigen terlarut, aktivitas kimia dan biologi dalam air (Mahida, 1986 *dalam* Muslimin, 1991). Menurut Pipes (1966) *dalam* Komarawidjaja (1995) proses biodegradasi limbah oleh mikroba akan lebih efisien pada suhu sekitar 30<sup>0</sup>C, bahkan bakteri heterotrof yang sudah diadaptasikan pada suhu tertentu, pada suhu ini menghasilkan proses biodegradasi yang optimum.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Beastall (1977) *dalam* Austin (1988) ditemukan kisaran suhu optimum untuk proses biodegradasi hidrokarbon, yaitu 25 - 37 <sup>0</sup>C. Karena itu pada lingkungan laut yang terbuka yang bersuhu dingin, laju biodegradasi berjalan sangat lambat.



### 2.4.2 Kandungan oksigen terlarut

Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter terpenting yang menentukan apakah perubahan-perubahan biologis dari suatu zat pencemar akan berlangsung secara aerobik atau anaerobik. Ketersediaan oksigen merupakan faktor penting untuk proses degradasi dalam air maupun tanah (Muslimin, 1991).

Pada perairan yang tercemar minyak, minyak akan terapung di atas permukaan air membentuk lapisan film karena bobot jenis minyak lebih kecil dari air. Hal ini akan mengganggu difusi oksigen ke dalam air dan perairan akan mengalami kekurangan oksigen.

Perairan yang kandungan bahan organiknya sangat banyak akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen terlarut. Dampak inilah yang dinyatakan oleh Abel (1989) sebagai dampak yang paling berbahaya. Hal ini terjadi karena oksigen dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk merombak bahan-bahan senyawa lain yang lebih sederhana sambil diperoleh energi untuk kehidupannya. Bila keadaan ini berlangsung lama akan menyebabkan perairan menjadi anaerobik, sehingga organisme aerobik akan mengalami kematian. Menurut Eckenfelder (1989) kasus di atas akan bertambah berat karena bahan organik juga menyebabkan meningkatnya bahan padatan tersuspensi yang dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintetik.

Proses degradasi hidrokarbon merupakan proses yang membutuhkan oksigen (aerobik). Oleh karena itu ketersediaan oksigen sangat penting, karena jika kondisi perairan anaerobik proses degradasi tidak dapat berlangsung (Austin, 1988). Hal ini didukung oleh pendapat Atlas (1992) yang menyatakan bahwa kondisi aerobik dibutuhkan oleh mikroba untuk mengoksidasi hidrokarbon di lingkungan.

Kebutuhan konsentrasi oksigen terlarut bagi biodegradasi menurut Pipes (1966) dalam Komarawidjaja (1995) adalah sebesar 1mg/l, meskipun pada konsentrasi < 1 mg/l proses biodegradasi masih dapat berlangsung. Senghas (1985, dalam Komarawidjaja, 1995) menyatakan bahwa konsentrasi oksigen yang dibutuhkan untuk aktivitas biodegradasi minimum 0,72 mg/l.

Ketika kandungan oksigen di dalam air habis digunakan untuk proses oksidasi bahan-bahan organik dan suplai oksigen terhambat, maka kondisi perairan akan menjadi anaerobik. Pada kondisi tersebut bahan-bahan organik akan mengalami proses fermentasi membentuk asam-asam organik yang dapat menurunkan pH.

#### 2.4.2 Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain aktivitas biologis. Keasaman dan faktor-faktor yang mempengaruhi ion  $H^+$  dalam air belum diketahui secara jelas. Pada perairan alam yang tidak terkontaminasi, pH merupakan fungsi dari konsentrasi karbonat, bikarbonat dan asam-asam bebas yang mudah terdisosiasi. Pengaruh pH terhadap bakteri biasanya terjadi pada aktivitas enzimnya, dimana penguraiannya sangat sensitif terhadap perubahan pH. Pertumbuhan bakteri memiliki kisaran pH optimum 6 – 9 (Sterritt, 1988).

#### 2.5 Klorofil-a

Klorofil-a adalah salah satu pigmen fotosintesa yang paling penting bagi tumbuhan yang ada di perairan khususnya fitoplankton. Ada tiga macam klorofil yang dikenal yaitu klorofil-a, klorofil-b, dan klorofil-c. Di samping itu ada beberapa jenis pigmen fotosintesa yang lain seperti karoten dan xantofil. Dari pigmen-pigmen tersebut klorofil-a merupakan pigmen paling umum terdapat pada fitoplankton, yang



mencapai maksimum, fitoplankton akan tumbuh lagi. Pertumbuhan fitoplankton menandakan perairan yang tercemar mulai pulih kembali. Sedikit demi sedikit nilai kandungan terlarut akan meningkat hingga diperoleh nilai seperti keadaan semula (Suriawiria, 1986 *dalam* Muslimin, 1991).

Sehubungan dengan kebutuhan nutrisi bagi pertumbuhan fitoplankton, kisaran  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{NO}_3^-$  yang optimum masing-masing adalah 0,09 – 1,80 ppm dan 0,9 – 3,5 ppm. Senyawa  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{NO}_3^-$  merupakan faktor pembatas bila kadarnya di bawah 0,009 ppm dan 0,1 ppm (Mackenthum, 1969 *dalam* Sanusi, 1993).

## 2.6 Teknik mesokosm

Selama akhir dekade ini telah diterapkan berbagai teknik penelitian ekosistem untuk mempelajari pengaruh polutan pada ekologi laut. Di Indonesia, berbagai metode penelitian cemaran minyak telah dilakukan di antaranya penelitian di lapangan maupun dalam skala laboratorium

Banyak masalah-masalah biologi, ekologi, dan cabang biologi yang lain tidak dapat terjawab hanya melalui penelitian laboratorium. Untuk itu para ahli mencari suatu teknik yang dapat menjembatani antara keadaan di laboratorium dan keadaan nyata di alam. Suatu teknik yang kemudian dikembangkan ternyata dapat memenuhi harapan peneliti. Teknik baru tersebut adalah suatu sarana eksperimental di dalam suatu ekosistem yang tertutup, yang dikategorikan ke dalam eksperimental ekologi atau *Marine Ecosystem Enclosed Experiment (MEEE)*. Teknik tersebut kemudian lebih populer dengan sebutan mesokosm. Lingkungan tertutup tersebut biasanya merupakan suatu lingkungan yang dibatasi oleh plastik tipis, sehingga perbedaan suhu yang terjadi antara di dalam dan di luar mesokosm sangat kecil (Sutomo, 1997).

Mesokosm merupakan salah satu pendekatan interdisipliner yang baik untuk mempelajari perubahan, siklus dan kelakuan suatu material di laut. Menurut State Oceanic Administration (1989), dalam menerapkan teknik ini beberapa persyaratan yang harus diikuti adalah sebagai berikut :

- i) harus ada organisme yang mempunyai dua jenjang trofik di dalamnya,
- ii) volume air tertutup harus cukup besar agar organisme hidup normal dalam satu siklus hidup,
- iii) kemampuan reproduksi dalam perubahan struktur dan tingkah laku ekosistem tertutup harus dibuat sebaik-baiknya,
- iv) perkembangan normal ekosistem tidak terganggu oleh pengambilan contoh,
- v) percobaan harus dilakukan dalam wilayah laut yang tidak tercemar,
- vi) kondisi lingkungan dalam ekosistem tertutup harus serupa dengan lingkungan di luarnya,
- vii) laboratorium analisa dan daerah pengamatan harus dibuat sedekat mungkin.

Menurut Ruyitno (1990) adanya mesokosm sebagai pendekatan baru di dalam mempelajari ekosistem laut telah banyak menunjukkan keuntungan. Keuntungan-keuntungan tersebut adalah :

1. Mengurangi perbedaan antara hasil yang diperoleh dengan teknik mikrokosm (percobaan simulasi laboratorium) dengan survei di alam (keadaan sebenarnya).
2. Mudah untuk mengontrol berbagai macam faktor lingkungan dan dapat dilakukan berbagai penelitian berkali-kali dengan berbagai ulangan. Oleh karena itu studi mengenai transfer dan transformasi bahan kimia di dalam suatu ekosistem dan

dampaknya terhadap ekosistem tersebut, atau studi untuk menduga efek polutan di dalam suatu ekosistem dapat lebih mudah dilakukan.

Namun demikian Parsons (1981) *dalam* Ruyitno (1990) juga mengemukakan adanya dua kerugian yang prinsip dalam mesokosm, yaitu :

1. Tidak ada turbulensi dalam kolom air mesokosm,
2. Karena mesokosm itu terisolasi maka dalam jangka panjang akan terjadi penurunan keragaman jenis di dalam kolom airnya.

Dari uraian tersebut di atas nyatalah bahwa mesokosm merupakan salah satu metode yang menjembatani antara penelitian di laboratorium dan lapangan. Pada umumnya penelitian di laboratorium hanyalah mempelajari interaksi dua jenjang trofik, sehingga tidak mencerminkan keadaan sebenarnya di alam. Sedangkan penelitian lapangan pada umumnya memerlukan biaya mahal tetapi kebenaran hasilnya kadang-kadang masih diragukan.





### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan lokasi penelitian

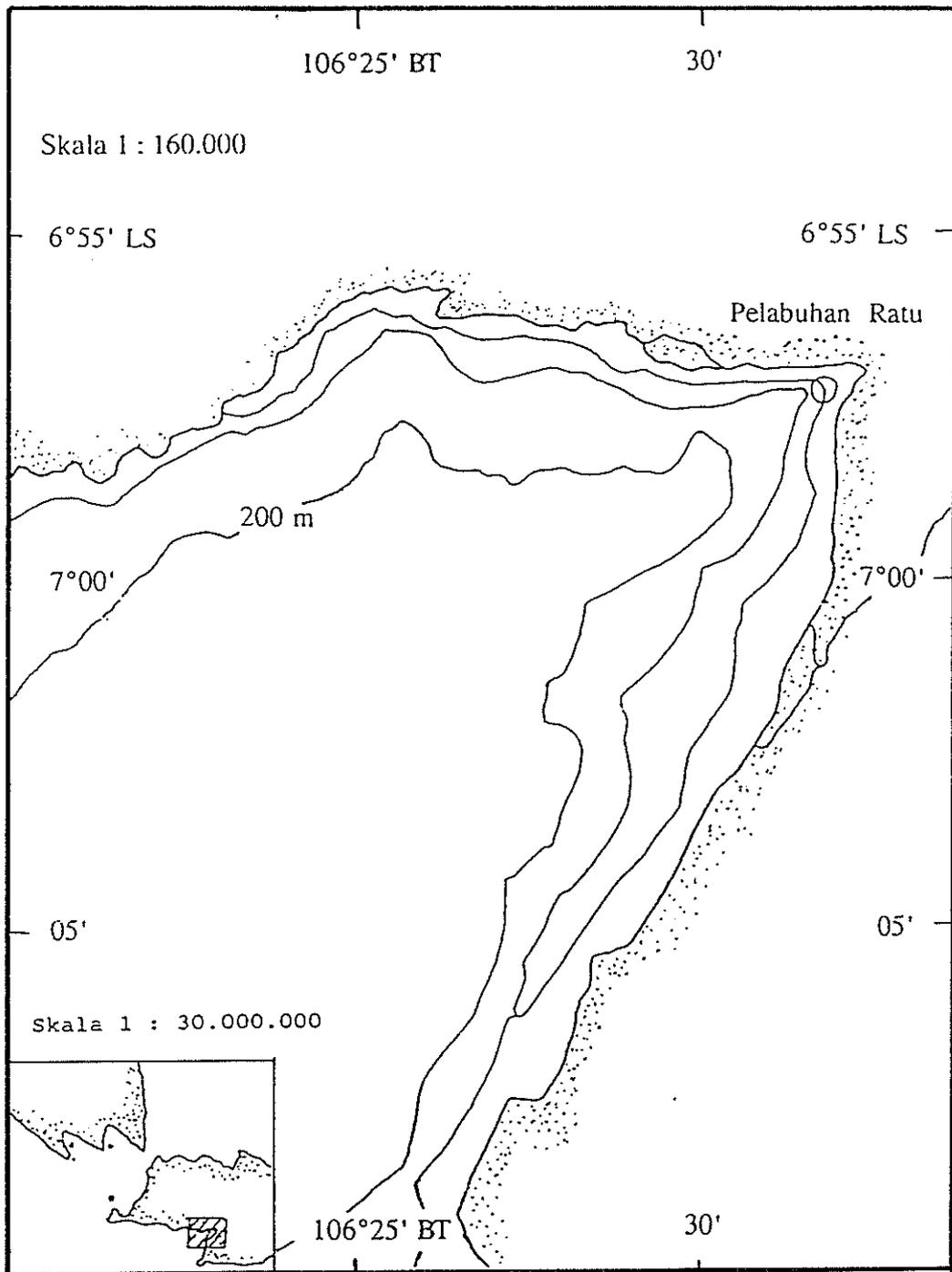
Penelitian ini berlangsung dari tanggal 7 September – 20 September 1998, dengan menggunakan teknik mesokosm. Kegiatan ini terdiri dari kegiatan di lapang dan kegiatan di laboratorium. Kegiatan lapang dilaksanakan di perairan Teluk Pelabuhan Ratu (Gambar 1), sedangkan kegiatan analisisnya dilaksanakan di laboratorium lapang yang jaraknya kurang lebih 1000 meter dari stasiun lokasi pengambilan sampel.

Kegiatan lapang yang dilakukan di stasiun penelitian berupa pemasangan perangkat mesokosm, pemberian perlakuan pada mesokosm, pengambilan sampel air, pengukuran suhu, dan pH (derajat keasaman) perairan. Kegiatan laboratorium lapang mesokosm meliputi analisa untuk penentuan kadar nutrien, kadar oksigen terlarut, kandungan klorofil-a dan perhitungan jumlah bakteri.

#### 3.2 Bahan dan alat

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian adalah : Minyak mentah SEMOGA, pupuk oleofilik, pereaksi untuk analisa fosfat ( $H_2SO_4$ , indikator fenolftalen dan pereaksi campuran yang terdiri dari  $H_2SO_4$ , kalium antimoniltartat, amonium molibdat, asam askorbik), pereaksi untuk analisa nitrat (amonium klorida, larutan sulfanilamid, NED dihidroklorida), pereaksi Winkler ( $MnCl_2$ ,  $NaOH-KI$ ,  $HCl$  dan larutan kanji), magnesium karbonat dan aseton 90% untuk analisa klorofil-a, medium untuk menumbuhkan bakteri heterotrofik, dan medium penumbuh bakteri hidrokarbonoklastik.

Hasil Cipta Berdaya Lingkungan Hidup  
1. Di dalam lingkungan sebagai alat untuk mencari informasi dan pengetahuan sumber  
2. Berfungsi untuk alat komunikasi geografis, sosial, politik, ekonomi, kesehatan, pertanian, perikanan, peternakan, industri, jasa, dan lain-lain  
3. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
4. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
5. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
6. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
7. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
8. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
9. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian  
10. Berfungsi untuk mencari informasi yang ada di sekitar lokasi penelitian



Keterangan gambar: o : stasiun penelitian  
▨ : lokasi penelitian

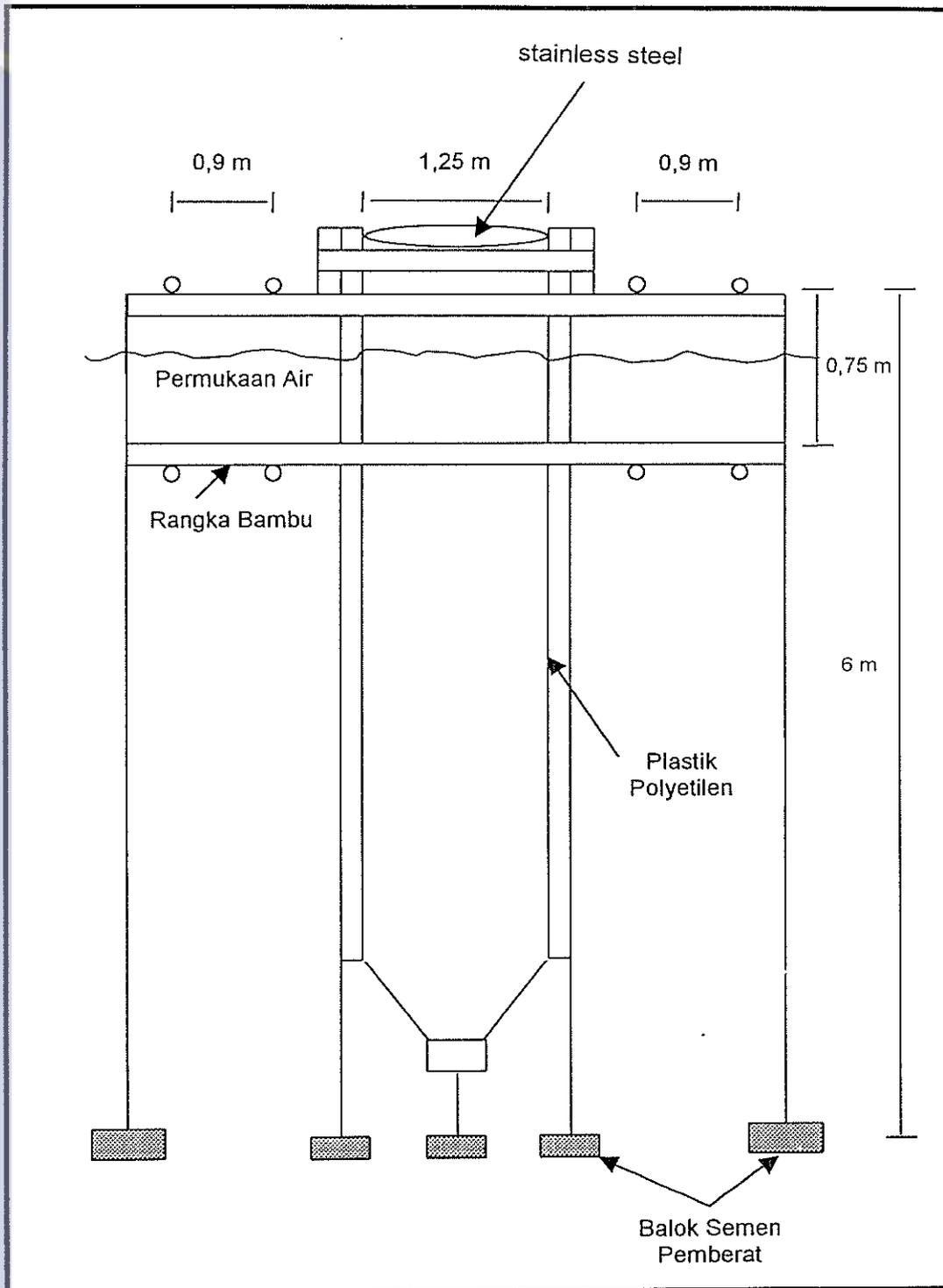
Gambar 1. Lokasi penelitian di Teluk Pelabuhan ratu

Sebagai medium penumbuh bakteri heterotrofik digunakan Marine Agar E 2216 (55.1 gram dalam 1 liter aquadest), sedangkan medium untuk bakteri hidrokarbonoklastik digunakan campuran yang komposisinya terdiri dari 0.01 g/l yeast ekstrak, 0.1 g/l  $K_2HPO_4$ , 0.1 g/l  $KNO_3$  dan aquadest (WHO, 1977).

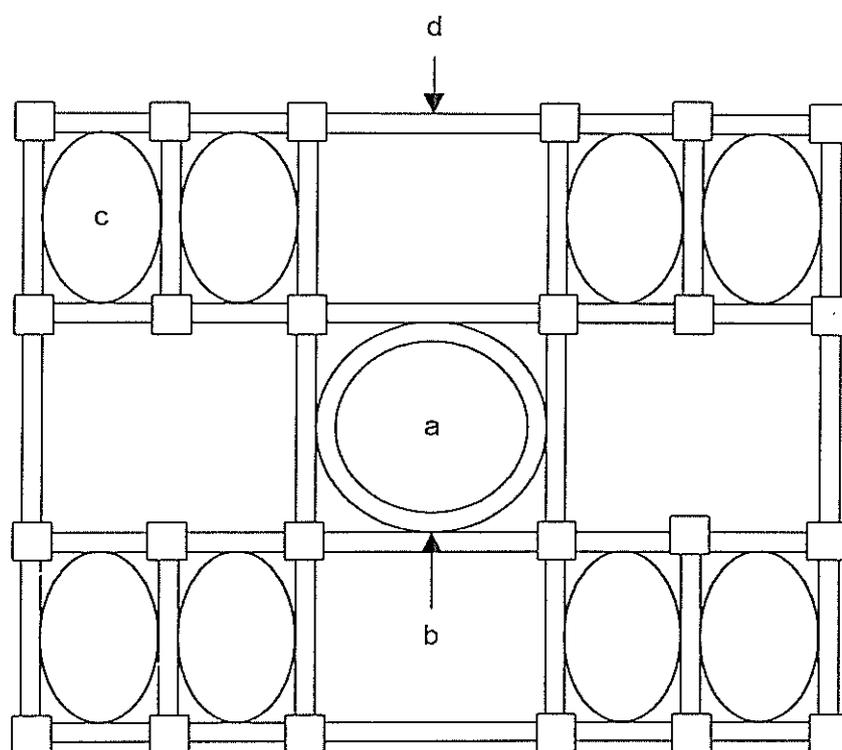
Alat-alat yang dipergunakan adalah 4 buah mesokosm, alat untuk uji mikrobiologis (botol sampel, autoklaf, oven, cawan petri, tabung reaksi, lampu bunsen, *quebeec coloni counter*, pipet bergaris dan kapas), SCTmeter VSI model 33, pH meter ORION model 250 A, buret digital (*Jensons digitrate* 25 ml) dan spektrofotometer. Spektrofotometer untuk analisa kandungan nutrien (nitrat dan fosfat) dan analisa klorofil-a digunakan spektrofotometer merk *Shimadzu* UV-1201 V.

### 3.3 Perangkat mesokosm

Peralatan yang digunakan untuk mesokosm terdiri dari kantong polietilen, rangka bambu, rangka *stainless steel* dan drum plastik. Drum plastik berfungsi sebagai pengapung dan kantong polietilen yang di bagian luarnya dilapisi dengan plastik tebal tidak transparan, berwarna biru diberi rangka *stainless steel* berlaku sebagai penampung air laut. Untuk menghindari guncangan maupun pergerakan alat tersebut yang disebabkan oleh ombak dan arus maka pada tiap rangka *stainless steel* dipasang jangkar, sedangkan pada bagian bawah diklem dan dipasang pemberat semen. Empat kantong polietilen masing-masing berdiameter 1,25 meter dan panjang 6 meter dipasang di tempat yang terpisah pada jarak 15 meter dengan kedalaman lokasi rata-rata 10 meter. Konstruksi mesokosm dan bagan apungnya dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Keempat kantong mesokosm tersebut kemudian diisi air laut dari lokasi tersebut masing-masing sebanyak  $\pm$  5300 liter.



Gambar 2. Perangkat mesokosm (tampak samping)



- Keterangan Gambar :
- a. Kantong mesokosm
  - b. Kerangka stainless steel
  - c. Drum plastik
  - d. Rangka bambu

Gambar 3. Bagan apung mesokosm (tampak atas)

Kantong-kantong mesokosm yang telah berisi air laut ini dibiarkan satu malam, dengan tujuan agar kondisi mesokosm stabil. Perlakuan selanjutnya pada keempat mesokosm dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan pada mesokosm

Mesokosm 1 (A)	Mesokosm 2 (B)	Mesokosm 3 (C)	Mesokosm 4 (D)
100 ppm Crude Oil	100 ppm Crude Oil + 3.2 ppm pupuk oleofilik	100 ppm Crude Oil + 10 ppm pupuk oleofilik	100 ppm Crude Oil + 32 ppm pupuk oleofilik

Crude oil (minyak mentah) yang digunakan adalah minyak mentah SEMOGA 38,0<sup>o</sup>API yang diproduksi oleh PT Exspan Sumatera, Indonesia. Konsentrasi minyak 100 ppm adalah konsentrasi minyak setelah dimasukkan ke dalam mesokosm. Pupuk oleofilik yang digunakan dibuat sendiri dengan komposisi terdiri dari urea [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], asam oleat ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ ) dan kalium difosfat [ $\text{K}(\text{PO}_4)_2$ ] dengan perbandingan 1 : 1 : 1. Jumlah unsur nitrogen (N), karbon (C) dan fosfor (P) yang terkandung dalam pupuk oleofilik yang ditambahkan dalam mesokosm dapat dilihat pada Tabel 2. Konsentrasi pupuk oleofilik yang ditambahkan pada mesokosm B, C dan D masing-masing sebesar 3.2 pm, 10 ppm dan 32 pm. Besarnya konsentrasi ini mengacu pada penelitian sebelumnya dimana dari ketiga konsentrasi tersebut didapatkan perbandingan yang paling bagus untuk meningkatkan pertumbuhan bakteri.

### 3.4 Metode pengukuran

Parameter yang diukur adalah kepadatan bakteri hidrokarbonoklastik dan heterotrofik, kadar nutrien (nitrat dan fosfat), kandungan klorofil-a dan parameter fisika kimia perairan. Secara rinci parameter-parameter yang diukur tertera pada Tabel 3.



Tabel 2. Komposisi pupuk yang ditambahkan dalam mesokosm

Komposisi pupuk	Jumlah yang ditambahkan dalam mesokosm (ppm)		
	B (3.2 ppm po)	C (10 ppm po)	D (32 ppm po)
CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	1.07	3.33	10.67
K(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.07	3.33	10.67
C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	1.07	3.33	10.67
Jumlah N nominal	0.50	1.55	4.98
Jumlah P nominal	0.30	0.92	2.94
Jumlah C nominal	0.82	2.55	8.17

po = pupuk oleofilik

Tabel 3. Parameter dan metode yang digunakan pada mesokosm

Parameter yang diukur	Satuan	Metode analisis yang digunakan	Alat	Lokasi
Fisika kimia perairan	°C	Pembacaan skala	SCT	Insitu
1. Suhu	-	Potensiometrik	PH-meter	Insitu
2. PH		elektroda hidrogen		
3. Oksigen terlarut	ppm	Metode Winkler	Buret digital	Laboratorium
Nutrien	ppm	Spektrofotometrik	Spektrofotometer	Laboratorium
4. Fosfat	ppm	(Parsons <i>et al</i> , 1984)		
5. Nitrat				
Biologi	sel/ ml	Most Probable Number (WHO, 1977)	Tabel MPN	Laboratorium
6. Bakteri hidrokarbonoklastik	sel/ml	Total Plate Count (WHO, 1977)	<i>Qeubec coloni counter</i>	Laboratorium
7. Bakteri heterotrofik				
8. Klorofil-a	mg/m <sup>3</sup>	Spektrofotometric	Spektrofotometer	Laboratorium

Pengambilan sampel air untuk analisa klorofil-a, nutrien dan parameter kualitas perairan dilakukan setiap hari pada pukul 08.00., sebanyak 9 kali pengambilan yakni pada hari ke-0 sampai hari ke-8. Pengambilan sampel air untuk analisa klorofil-a sebanyak 500 ml, sampel air untuk nutrien (fosfat dan nitrat) masing-masing adalah 300 ml, dan untuk analisa kandungan oksigen terlarut 100 ml, sedangkan untuk analisa bakteri heterotrofik maupun hidrokarbonoklastik masing-masing adalah 300 ml. Jadi total air yang diambil tiap kali pengambilan sampel adalah sebanyak 1800 ml. Untuk analisa bakteri heterotrofik dan hidrokarbonoklastik, sampel air diambil sebanyak 5 kali pada hari ke-0, hari ke-1, ke-2, ke-4 dan ke-8. Pengambilan sampel hari ke-0 adalah pengambilan sampel sebelum keempat mesokosm diberi penambahan minyak mentah dan pupuk oleofilik.

### 3.5 Analisis sampel bakteri

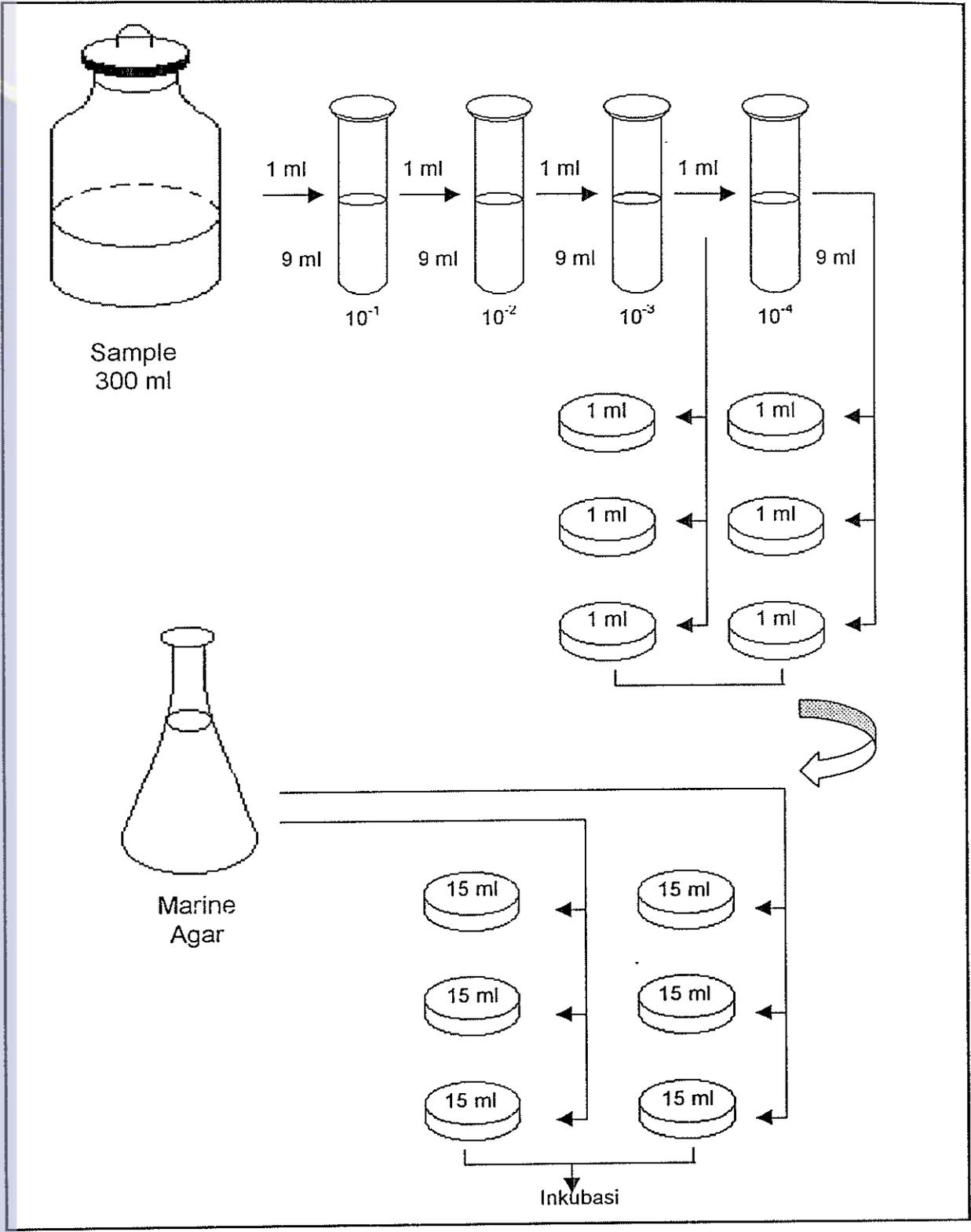
#### 3.5.1 Analisis bakteri heterotrofik

Analisis perhitungan bakteri heterotrofik dilakukan dengan metode TPC (*Total Plate Count*) dengan prosedur sebagai berikut (WHO, 1977) :

- a. Medium Marine agar E 2216 dicairkan dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer.
- b. Medium disterilisasi dengan autoklaf pada suhu  $121^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit pada tekanan 1 atm. Derajat keasaman (pH) diatur sekitar 7.6.
- c. Tabung-tabung reaksi yang akan digunakan diisi dengan larutan buffer fosfat sebanyak 9 ml.
- d. Sampel air yang akan diencerkan dimasukkan ke dalam tabung reaksi 1 sebanyak 1 ml (merupakan pengenceran  $10^{-1}$ ) dan diaduk rata, kemudian dari







Gambar 4. Analisa bakteri heterotrofik dengan metode TPC (WHO, 1977)



- b. Tabung yang berisi medium disterilisasi dengan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C pada tekanan 1 atm.
- c. Sampel air diambil sebanyak 0.1 ml, 1 ml dan 10 ml dan dimasukkan ke dalam tabung-tabung reaksi yang sesuai yang telah disterilisasi. Selanjutnya ditambahkan 2 ml crude oil (steril) untuk sampel air 10 ml dan 1 ml crude oil (steril) untuk sampel air 0.1 dan 1 ml.
- d. Sampel diinkubasi pada suhu ruangan selama ± 14 hari. Jika diantara air dan crude oil terdapat lendir putih maka tabung positif. Tabung yang positif dan negatif dicatat dan dibandingkan dengan tabel MPN sistem 3 tabung (WHO, 1977).

Untuk menentukan konstanta laju pertumbuhan bakteri heterotrofik dan bakteri hidrokarbonoklastik dipergunakan rumus (Setiadi dan Tjondronegoro 1989) :

$$\text{Laju pertumbuhan } (\mu) = \frac{N_b - N_a}{t_b - t_a}$$

dimana :

$N_b$  = jumlah bakteri pada saat b

$N_a$  = jumlah bakteri pada saat a (sebelum pengamatan  $N_b$ )

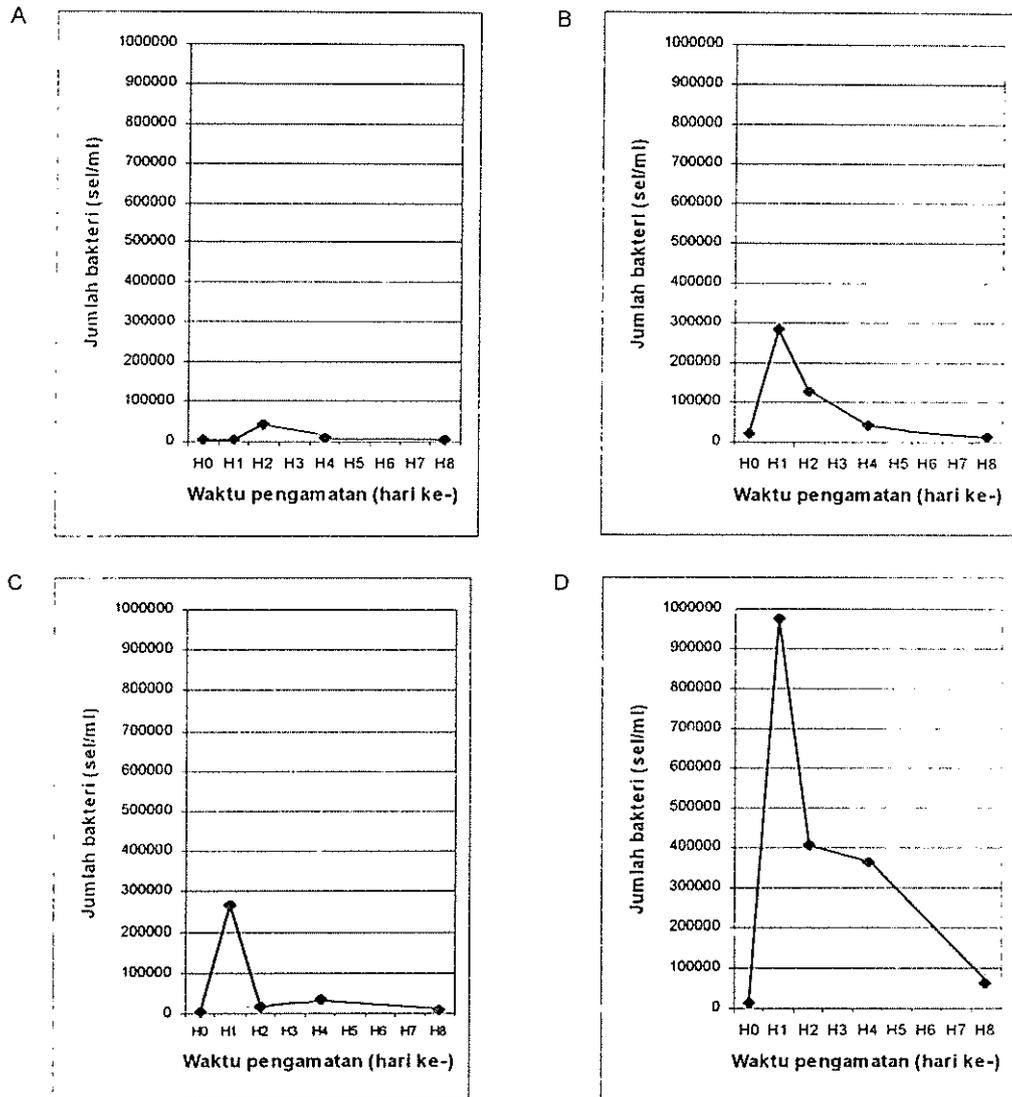
$t_b$  = waktu uji saat b (jam)

$t_a$  = waktu uji saat a (jam)

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Bakteri heterotrofik

Populasi bakteri heterotrofik pada keempat mesokosm berkisar antara  $3,67 \times 10^3$  –  $977 \times 10^3$  sel/ml. Secara keseluruhan pola pertumbuhan bakteri heterotrofik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm) selama pengamatan

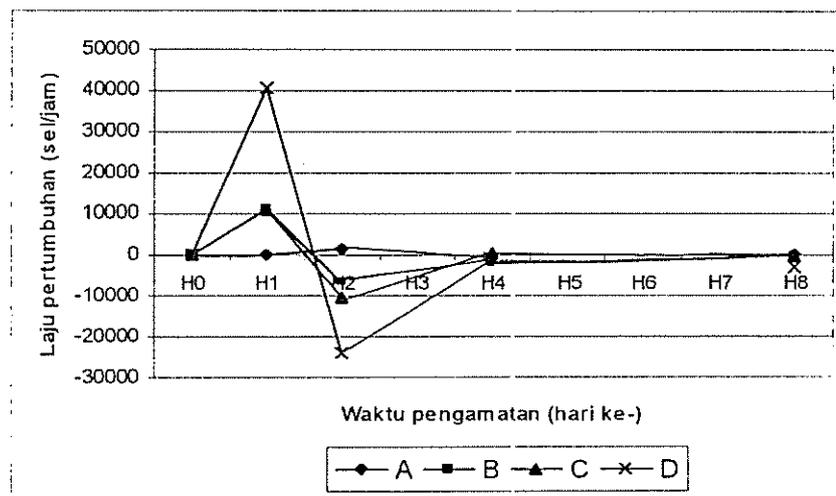
Pada pengamatan H0 terlihat bahwa kepadatan populasi awal bakteri heterotrofik pada keempat mesokosm menunjukkan nilai yang berbeda, sebagai contoh pada mesokosm A, B, C dan D masing-masing memiliki jumlah bakteri heterotrofik 3800 sel/ml, 20250 sel/ml, 3670 sel/ml dan 10500 sel/ml. Namun dengan menggunakan analisis varian (Anova) pada taraf nyata 95% menunjukkan bahwa kepadatan awal populasi bakteri heterotrofik saat pengamatan H0 tidak berbeda nyata (Lampiran 9).

Perlu diketahui bahwa pada mesokosm ini telah ditambahkan pupuk dengan konsentrasi yang berbeda, kecuali pada mesokosm A (kontrol). Hal ini diperkirakan memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan bakteri heterotrofik pada masing-masing mesokosm (lihat sub bab 4.5). Pada mesokosm A, populasi bakteri heterotrofik tertinggi mencapai  $4,167 \times 10^4$  sel/ml. Jumlah ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan ketiga mesokosm lainnya. Pada mesokosm B, C dan D populasi bakteri heterotrofik tertinggi dicapai saat pengamatan H1 yang jumlahnya berturut-turut adalah  $28,37 \times 10^4$ ,  $26,57 \times 10^4$  dan  $97,7 \times 10^4$  sel/ml.

Dengan kondisi populasi yang berbeda dari waktu ke waktu pada setiap mesokosm, hal ini berarti bahwa laju pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm berbeda. Secara umum laju pertumbuhan bakteri heterotrofik berkisar antara 340.2 – 40270.8 sel/jam, dimana laju terendah terdapat pada mesokosm C. Pada saat populasi bakteri heterotrofik mencapai populasi tertinggi, laju pertumbuhan pada mesokosm A, B, C dan D berturut-turut adalah 1580, 10975.8, 10916.7 dan 40270.8 sel/jam (Gambar 7).

Disamping telah terjadi pertumbuhan pada bakteri, nampak terlihat pula adanya kematian populasi bakteri heterotrofik dengan laju kematian berkisar antara 2.1 – 23888.8 sel/jam. Laju kematian terendah terjadi pada mesokosm A saat

pengamatan H0 – H1, sebaliknya laju kematian tertinggi saat pengamatan H4 - H8 pada mesokosm D.



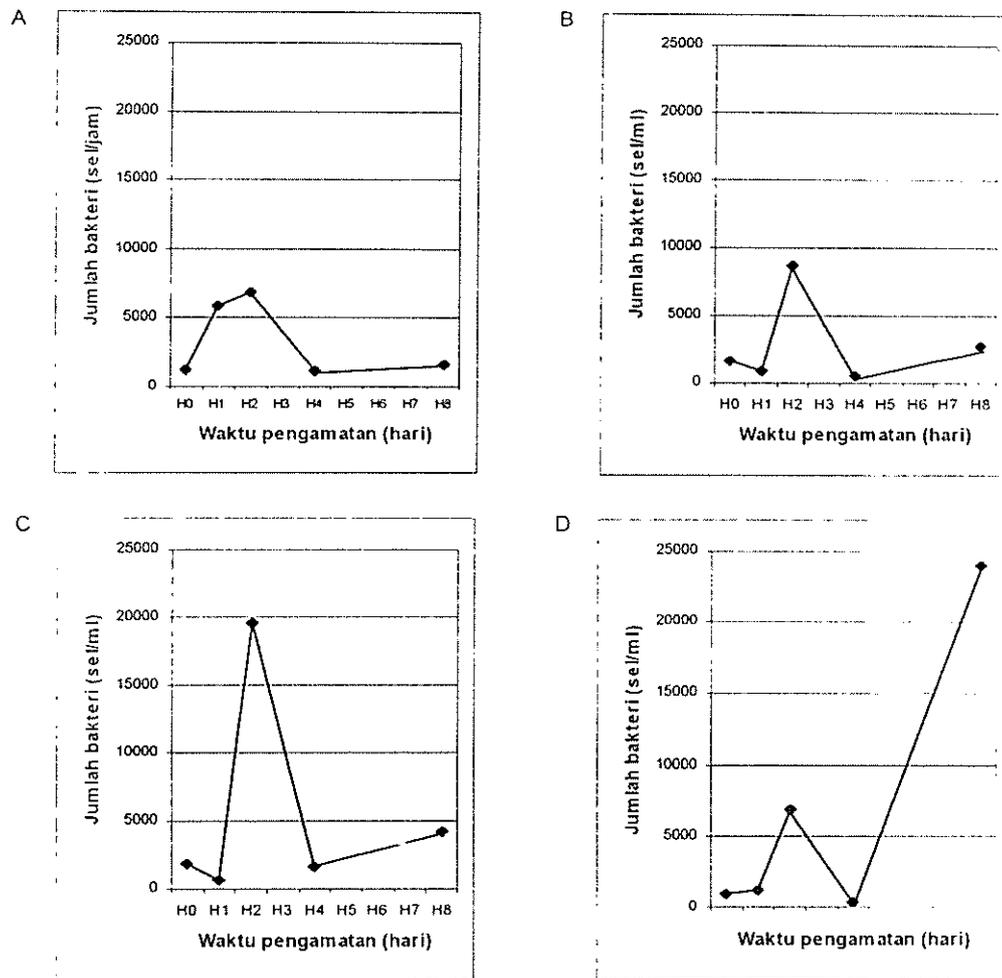
Gambar 7. Laju pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

Dengan memperhatikan pola pertumbuhan dan kematian bakteri heterotrofik ini, nampak terdapat indikasi ketidakmampuan bakteri dalam mempertahankan hidupnya lebih dari satu hari. Hal ini juga terlihat tidak terdapat pertumbuhan pada pengamatan hari-hari berikutnya. Mengingat pertumbuhan bakteri sangat ditentukan oleh faktor pendukung lingkungan termasuk kebutuhan nutrisi dan faktor kualitas lingkungan air lainnya, maka diduga faktor-faktor ini mempunyai peranan penting terhadap laju pertumbuhan bakteri.

#### 4.2 Bakteri hidrokarbonoklastik

Hasil pengamatan terhadap bakteri hidrokarbonoklastik menunjukkan bahwa jenis bakteri ini memiliki jumlah yang lebih kecil jika dibandingkan dengan jumlah bakteri heterotrofik. Populasi bakteri hidrokarbonoklastik pada keempat mesokosm berkisar antara  $3 \times 10^2$  –  $240 \times 10^2$  sel/ml, sedangkan populasi bakteri heterotrofik

berkisar antara  $3.67 \times 10^3$  –  $977 \times 10^3$  sel/ml. Pola pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada keempat mesokosm dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pola pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm) selama pengamatan

Pola pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada setiap mesokosm berbeda, kecuali pada mesokosm B dan C yang memiliki pola relatif sama, yaitu populasi tertinggi dicapai pada pengamatan H2. Populasi bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm B dan C masing-masing adalah  $8.65 \times 10^3$

mesokosm A meningkat dengan laju pertumbuhan 197.9 sel/jam. Sedangkan pada mesokosm B dan C terlihat menurun dengan laju kematian berturut-turut sebesar 29.2 dan 50 sel/jam, sedangkan pada mesokosm D bakteri hidrokarbonoklastik sedikit meningkat dengan laju pertumbuhannya 10.4 sel/jam (Gambar 9). Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh penambahan pupuk oleofilik terhadap pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik (lihat sub bab 4.6).

### 4.3 Parameter fisika kimia perairan

Parameter fisika kimia perairan ini diamati untuk melihat kondisi lingkungan dimana bakteri heterotrofik dan hidrokarbonoklastik tumbuh selama periode penelitian. Adapun parameter yang diamati meliputi suhu, pH, kandungan oksigen terlarut dan kandungan nutrisi (fosfat dan nitrat).

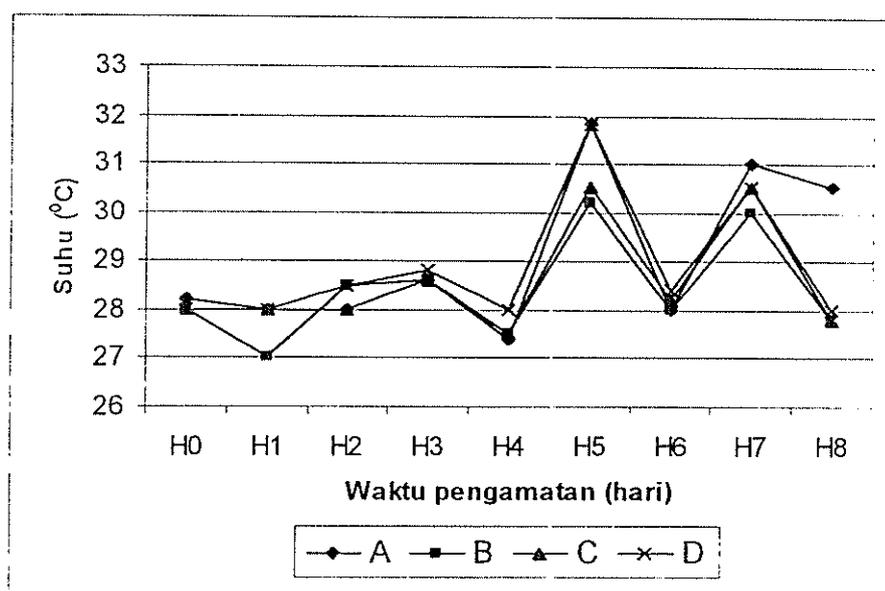
#### 4.3.1 Suhu

Pada keempat mesokosm, suhu yang terukur berkisar antara 27 – 31.8°C, dan umumnya selama pengamatan suhu pada keempat mesokosm memiliki pola yang relatif sama (Gambar 10). Hal ini berarti bahwa perubahan yang terjadi dalam mesokosm mendapatkan pengaruh yang sama dari lingkungan di luar mesokosm. Mengingat tempat penempatan keempat mesokosm tersebut terpisah satu sama lainnya, maka diperkirakan kondisi di perairan tersebut cukup homogen dan menunjukkan kondisi suhu yang relatif alami. Dengan demikian fluktuasi suhu yang terjadi dapat disebabkan karena pengaruh lingkungan yang terjadi pada wilayah tersebut secara umum.

Suhu pada keempat mesokosm masih dalam kisaran suhu optimum yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri, maupun untuk melangsungkan proses



degradasi hidrokarbon minyak. Beastall (1977) dalam Austin (1988) melaporkan bahwa kisaran suhu optimum untuk proses biodegradasi adalah antara 25 – 37°C.



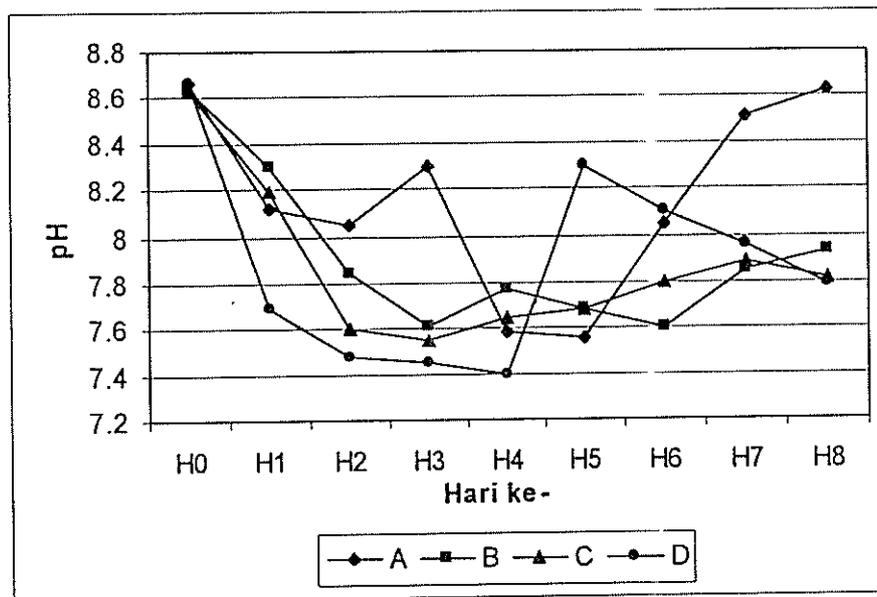
Gambar 10. Fluktuasi suhu pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

#### 4.3.2 Derajat keasaman (pH)

Kisaran nilai pH pada keempat mesokosm adalah antara 7.4 – 8.67 (Gambar 11). Berdasarkan gambar tersebut nampak bahwa fluktuasi pH pada keempat mesokosm relatif sama, yaitu pH tinggi pada awal pengamatan, rendah pada pengamatan H3 – H4 dan meningkat lagi sampai akhir pengamatan. Nilai-nilai yang relatif tinggi umumnya terjadi pada setiap pengamatan dalam mesokosm A, sedang nilai-nilai pH terendah diperoleh pada mesokosm D.

Penurunan dan peningkatan pH pada mesokosm diperkirakan karena pengaruh polutan yang ada. Sebagai catatan bahwa pada setiap mesokosm telah ditambahkan cairan minyak. Adanya proses degradasi minyak ini diduga akan memberikan sumbangan karbon dioksida dalam air yang berarti akan menambah

asam pada perairan. Pengamatan terhadap proses biodegradasi bakteri telah diamati oleh Udiharto (1992) dimana menunjukkan adanya penurunan pH pada media yang mengandung minyak. Walaupun demikian pengaruh asam dari proses degradasi ini kemungkinan hanya menurunkan sedikit terhadap nilai pH, karena air laut memiliki sistem buffer yang baik. Mengacu pada penelitian Sterritt (1988), kisaran pH yang terukur masih dalam kisaran optimum untuk pertumbuhan bakteri.



Gambar 11. Fluktuasi pH pada mesokosm A (0 ppm), B (3.2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

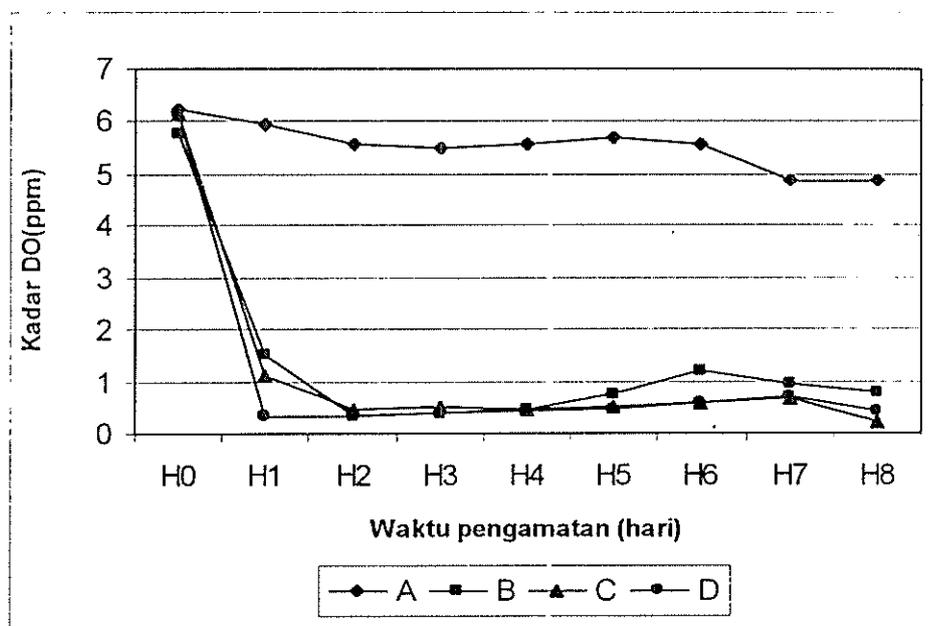
#### 4.3.3 Kadar oksigen terlarut (DO)

Hasil pengukuran nilai DO pada keempat mesokosm berkisar antara 0.22 – 6.22 ppm (Gambar 12). Kadar oksigen terlarut pada mesokosm A terlihat berbeda, dimana kadar oksigen terlarutnya relatif lebih tinggi dan cukup stabil pada setiap pengamatan jika dibandingkan dengan ketiga mesokosm lainnya.

Pada mesokosm B, C dan D telah terjadi penurunan yang sangat tajam saat pengamatan H0 – H1, kemudian menjadi relatif stabil dengan kandungan oksigen

yang rendah. Perbedaan fluktuasi nilai DO antara mesokosm A dengan mesokosm lainnya diperkirakan terkait dengan proses degradasi minyak oleh bakteri. Kemungkinan lain adalah adanya hambatan terhadap proses difusi oksigen pada lapisan permukaan air, karena warna plastik mesokosm yang tidak transparan sehingga akan menghambat proses fotosintesis fitoplankton. Tidak adanya turbulensi pada mesokosm juga menyebabkan kandungan oksigen menurun.

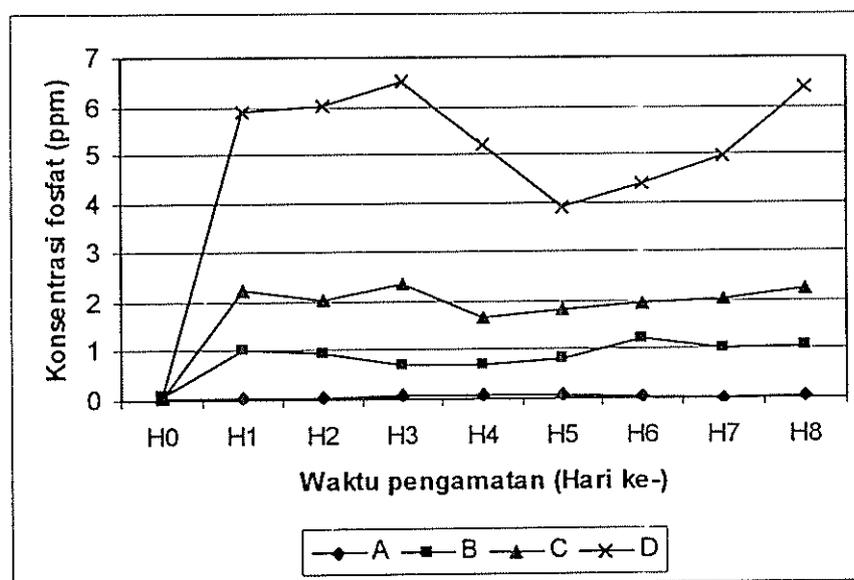
Kandungan oksigen terlarut pada mesokosm B, C dan D masih dalam kisaran yang dapat ditolerir oleh mikroorganisme untuk respirasinya. Hal ini karena nilainya  $> 0.1$  mg/l (Gaudy dan Gaudy, 1980 dalam Komarawidjaja, 1995). Namun mengacu pada pendapat Senghas (1985) dalam Komarawidjaja (1995) kandungan oksigen terlarut saat pengamatan H1 – H8 pada mesokosm C dan D diperkirakan kurang dari kandungan minimum yang dibutuhkan untuk aktivitas biodegradasi.



Gambar 12. Fluktuasi kandungan oksigen terlarut pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

#### 4.3.4 Fosfat

Hasil pengamatan terhadap kadar fosfat pada keempat mesokosm menunjukkan fluktuasi yang relatif sama yaitu terjadi peningkatan dari H0 – H1 dan selanjutnya menunjukkan konsentrasi yang stabil hingga akhir penelitian (Gambar 13). Peningkatan fosfat tidak terjadi pada mesokosm A, karena dalam mesokosm ini tidak ditambahkan pupuk.



Gambar 13. Fluktuasi kadar fosfat pada mesokosm A (0 ppm), B (3.2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

Pada mesokosm B, C dan D peningkatan unsur P adalah karena pengaruh penambahan pupuk oleofilik dengan konsentrasi berbeda yaitu berturut-turut 0,30 ppm, 0,92 ppm dan 2,94 ppm (Tabel 2). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa saat pengamatan H1 pada mesokosm B, C dan D didapat konsentrasi 1,01, 2,23 dan 5,89 ppm. Hal ini berarti bahwa peningkatan konsentrasi fosfat lebih tinggi dari penambahan yang diberikan. Faktor lain yang dapat menyumbang fosfat dalam mesokosm adalah diduga berasal dari hasil dekomposisi organisme, baik fitoplankton maupun zooplankton dan juga mungkin dari hasil degradasi hidrokarbon

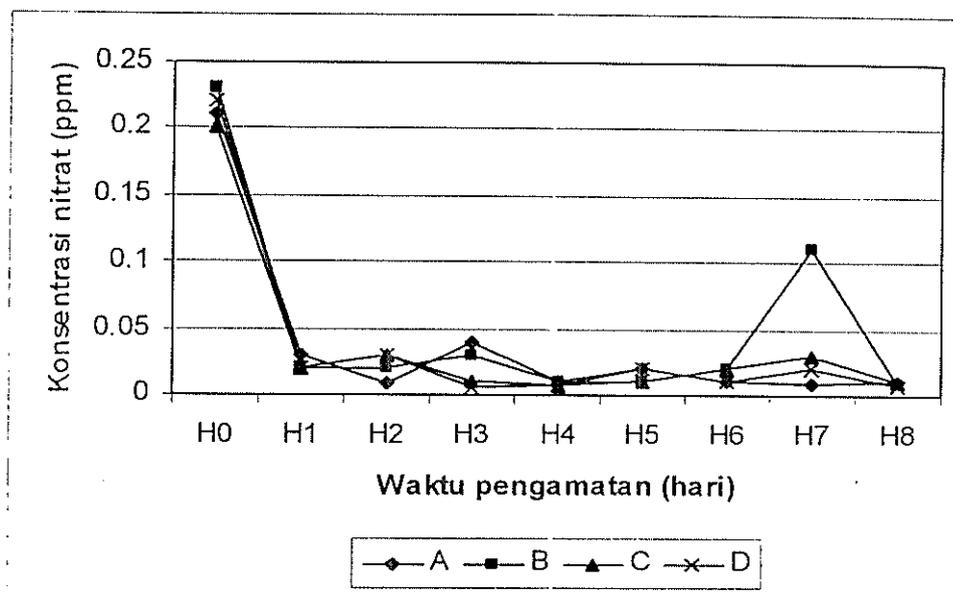
minyak oleh bakteri hidrokarbonoklastik. Hal ini seperti dikemukakan oleh Kennish (1990) dimana dekomposisi fitoplankton dan zooplankton dapat memberikan sumbangan fosfat dalam air. Demikian pula Stanley (1992) mengatakan bahwa kandungan fosfat dapat berasal dari hasil degradasi hidrokarbon minyak.

Kadar fosfat pada mesokosm A selama pengamatan H1 – H8 berkisar antara 0.02 – 0.07 ppm. Pada mesokosm B, C dan D masing-masing memiliki kadar fosfat antara 0.70 – 1.21 ppm, 1.68 – 2.35 ppm dan 3.91 – 6.39 ppm. Kecuali hasil pengamatan fosfat di mesokosm D, kadar fosfat relatif stabil. Keadaan ini dapat menunjukkan bahwa pemanfaatan fosfat nampak relatif sedikit. Penurunan kadar fosfat saat pengamatan H4 – H5 diduga selain dimanfaatkan oleh fitoplankton, fosfat juga dibutuhkan dalam proses kimia perairan seperti adsorpsi fosfat pada partikel tersuspensi walaupun proses ini masih perlu kajian lebih lanjut.

#### 4.3.5 Nitrat

Berbeda dengan fosfat, konsentrasi nitrat selama pengamatan pada keempat mesokosm mengalami penurunan yang tajam saat pengamatan H1 dan selanjutnya relatif stabil pada konsentrasi rendah (Gambar 14). Jika dikaitkan dengan penambahan pupuk oleofilik yang masing-masing sebesar 0.50 ppm pada mesokosm B, 1.55 ppm pada mesokosm C dan 4.98 ppm pada mesokosm D (Tabel 2), jelas bahwa penambahan unsur N tidak banyak pengaruhnya dalam meningkatkan konsentrasi unsur N dalam mesokosm.

Penurunan kadar nitrat mengindikasikan bahwa unsur N diduga lebih intensif dimanfaatkan. Hal ini berarti ada dugaan bahwa unsur N mungkin lebih cepat terpakai atau lebih banyak dibutuhkan dibandingkan dengan unsur P. Namun jika diasumsikan bahwa peningkatan populasi bakteri akan mempercepat pemanfaatan



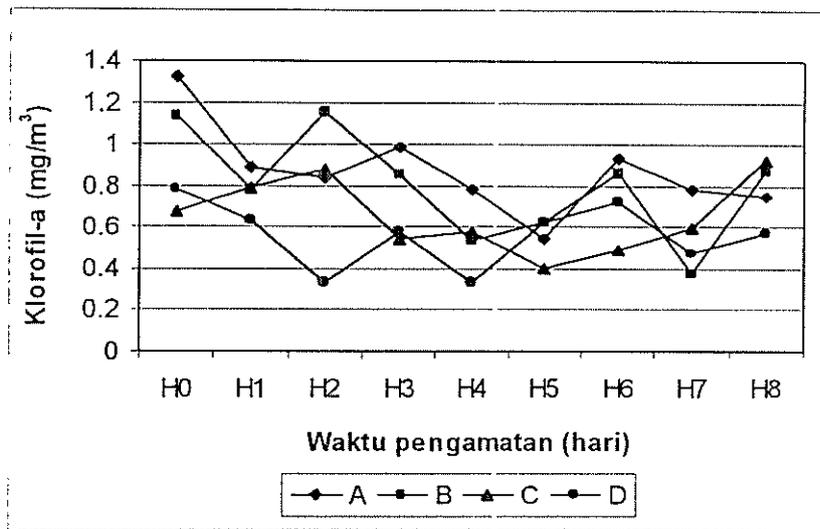
Gambar 14. Fluktuasi kadar nitrat pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

unsur N oleh bakteri dalam mesokosm, maka pada mesokosm A penurunan unsur N mungkin tidak disebabkan oleh pemanfaatan bakteri, tetapi oleh fitoplankton. Namun demikian aktivitas fitoplankton juga bukan merupakan faktor dominan, mengingat bahwa kandungan klorofil-a tidak menunjukkan peningkatan secara terus menerus (lihat sub bab 4.4). Kemungkinan lain adalah nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam perairan dipakai senyawa oksidator pengganti, mengingat kondisi oksigen terlarut yang rendah pada keempat mesokosm. Jadi terdapat kemungkinan bahwa penurunan nitrat yang besar adalah akibat reduksi nitrat, walaupun dalam air laut proses reduksi biasanya didominasi oleh sulfat.

#### 4.4 Kandungan klorofil-a

Hasil pengamatan terhadap kandungan klorofil-a menunjukkan pola yang sangat fluktuatif. Kandungan klorofil-a hasil pengamatan berkisar antara 0.54 – 1.32

mg/m<sup>3</sup> pada mesokosm A, 0.37 – 1.15 mg/m<sup>3</sup> pada mesokosm B, 0.40 – 0.92 mg/m<sup>3</sup> pada mesokosm C dan 0.33 – 0.78 mg/m<sup>3</sup> pada mesokosm D (Gambar 15).



Gambar 15. Fluktuasi kandungan klorofil-a pada mesokosm A (0 ppm), B (3,2 ppm), C (10 ppm) dan D (32 ppm)

Hasil pengamatan pada mesokosm A menunjukkan bahwa setelah diberi perlakuan minyak kandungan klorofil-a langsung menurun. Hal ini mengindikasikan banyak fitoplankton yang mati akibat tumpahan minyak. Banyaknya fitoplankton yang mati saat pengamatan H1 pada mesokosm A, B dan D berturut-turut sebesar 43%, 35% dan 15% (cara perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 8), sedangkan pada mesokosm C saat pengamatan H1 terlihat ada pertumbuhan fitoplankton sebesar 12%.

Setelah penambahan minyak dan pupuk oleofilik (pengamatan H1 – H8) fluktuasi kandungan klorofil-a tidak terlihat jelas kecenderungannya. Namun secara umum terjadi penurunan kandungan klorofil-a pada A, B dan C yang terlihat dari kematian fitoplankton sebesar 2%, 4% dan 1%. Pada mesokosm D, terlihat pola kecenderungan pertumbuhan fitoplankton saat pengamatan H1 – H8 sebesar 1%.



Pada mesokosm A yang merupakan mesokosm tanpa penambahan pupuk nampak terdapat peningkatan populasi bakteri walaupun sedikit yaitu saat pengamatan H2. Hal ini menunjukkan minyak diperkirakan dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri. Menurut Carlucci (1974) minyak merupakan salah satu substrat yang diperlukan oleh bakteri heterotrofik dalam pertumbuhannya. Namun demikian hasil penelitian ini masih menunjukkan bahwa nutrisi merupakan faktor yang sangat penting bagi pertumbuhan bakteri heterotrofik.

Pada Gambar 6 juga ditunjukkan bahwa umumnya setelah pengamatan H1, populasi bakteri menurun. Pada uraian sebelumnya disebutkan bahwa pertumbuhan bakteri sangat tergantung dari ketersediaan nutrisi. Oleh karena itu dengan adanya penurunan bakteri maka nutrisi menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan bakteri. Hal ini cukup konsisten dengan ketersediaan nitrat yang rendah. Namun jika dikaitkan dengan ketersediaan fosfat maka nampak kadar fosfat masih mencukupi bagi pertumbuhan bakteri. Dalam hal ini ketersediaan nitrat diperkirakan merupakan faktor penting jika dibandingkan fosfat.

Faktor lain yang diduga berpengaruh terhadap penurunan populasi bakteri heterotrofik adalah adanya kompetisi. Menurut Kennish (1990) kompetisi antar bakteri bisa terjadi. Kompetisi ini bisa bersifat sesama bakteri (intraspesifik) atau dengan bakteri jenis lain (interspesifik). Namun demikian kualitas kompetisi ini masih memerlukan penelaahan lebih lanjut.

#### **4.6 Pengaruh pupuk oleofilik terhadap pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik**

Pola pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada keempat mesokosm memiliki kecenderungan yang berbeda, kecuali pada mesokosm B dan C yang memiliki profil yang relatif sama (Gambar 8). Seperti pada kasus bakteri heterotrofik,



peningkatan bakteri hidrokarbonoklastik juga terjadi meskipun pada waktu yang lebih lambat (H2). Dengan perbedaan waktu tersebut, nampak seperti terjadi perubahan komposisi bakteri yang hidup dalam mesokosm.

Pada uraian sebelumnya disebutkan bahwa pupuk merupakan faktor penting dalam pertumbuhan bakteri heterotrofik. Hal ini juga terlihat pada kasus bakteri hidrokarbonoklastik. Bakteri hidrokarbonoklastik mengalami peningkatan populasi dengan laju yang berbeda, dimana laju pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada keempat mesokosm merupakan fungsi dari penambahan pupuk (Gambar 9).

Dengan memperhatikan keberadaan nitrat dan fosfat, jelas bahwa nitrat nampak relatif penting keberadaannya. Nitrat diperairan perlu diperhatikan dari segi fungsinya, apakah nitrat berperan sebagai nutrisi atau sebagai oksidator kedua dalam mengoksidasi bahan organik melalui proses dekomposisi. Penelitian Udiharto (1995) menunjukkan bahwa unsur nitrogen merupakan unsur pembatas bagi *Pseudomonas* sp dalam aktivitasnya mendegradasi minyak. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan nitrogen oleh bakteri belum dapat dipastikan untuk kebutuhan nutriennya. Keberadaan nitrat lebih bersifat umum yang diperlukan untuk proses oksidasi pada kondisi anaerob. Hal ini cukup memberikan alasan terhadap penurunan nitrat yang tidak diikuti dengan penurunan fosfat.

#### 4.7 Hubungan parameter fisika kimia perairan dengan pertumbuhan bakteri

Pada dasarnya peranan faktor fisika kimia perairan sangat penting terhadap pertumbuhan bakteri. Berdasarkan hasil pengamatan terlihat adanya perubahan yang cukup menarik pada pengamatan oksigen, fosfat dan nitrat. Seperti diketahui bahwa dalam penelitian ini medium penelitian relatif tertutup, karena itu hubungan dengan lingkungan lain menjadi terbatas. Kondisi ini ditambah dengan adanya







hidup antar organisme. Namun kualitas kompetisi yang terjadi dalam mesokosm masih memerlukan pengkajian lebih lanjut.

## 5.2 Saran

- 1 Dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui jenis bakteri yang ditemukan selama pengamatan.
- 2 Warna plastik yang melapisi kantong polietilen mesokosm berwarna transparan sehingga tidak mempengaruhi proses oksigenasi.
- 3 Air yang diisi ke dalam mesokosm tidak hanya berasal dari permukaan saja, namun dapat mewakili lapisan air sesuai dengan kedalaman mesokosm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abel, P.D. 1989. *Water Pollution Biology*. Ellis Horwood Limited. John Wiley and Sons. New York.
- Austin, B. 1988. *Marine Microbiology*. Cambridge University Press. USA.
- Atlas, R.M. 1992. *Petroleum Microbiology*. In : Lederberg, J (ed). *Encyclopedia of Microbiology Vol 3*. Academic Press, Inc. New York.
- Carlucci, A.F. 1974. *Nutrients and Microbial Response to Nutrients in Seawater*. In : Colwell, R.R dan Morita, R.Y (ed). *Effect of The Ocean Environment on Microbial Activities*. University Park Press. Baltimore – London – Tokyo.
- Clark, R.B. 1986. *Marine Pollution*. Clarendon Press. Oxford.
- Eckenfelder, W.W. 1989. *Industrial Water Pollution Control*. Mc.Graw Hill Book Company. New York.
- Guthrie, R., R.S. Cherry dan F.L. Singleton. 1975. *Effects of Nitrate and Phosphate Concentration on Natural Aquatic Bacterial Populations*. In : *Water Resources Bulletin Vol. 11, No. 6*. American Water Resources Association. New York.
- Hutagalung, H.P. 1990. *Pengaruh Minyak Mineral Terhadap Organisme Laut*. Dalam : *Majalah Oseana Vol. XV*. LON-LIPI. Jakarta.
- Kennish, M. 1990. *Ecology of Estuaries Volume II : Biological Aspects*. CRC Press. USA.
- Komarawidjaja, W. 1995. *Aktivitas Mikroba Aerob Pada Pengolahan Limbah Secara Biologis Industri Tekstil P.T. UNITEX*. Tesis (Tidak Dipublikasikan). Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Muslimin, L. 1991. *Peranan Bakteri dalam Menurunkan Kandungan Bahan Organik Air Limbah Pabrik Gula Tebu Melalui Simulasi di Laboratorium*. Disertasi (Tidak Dipublikasikan). Program Pasca Sarjana. IPB. Bogor.
- Parsons, T.R., M. Takahashi dan B. Hargrave. 1984. *Biological Oceanographic Processes*. Pergamon Press. Oxford.
- Remsen, C., Edward J. Carpenter dan B. W. Schroeder. 1974. *The Role of Urea in Marine Microbial Ecology*. In : Colwell, R.R dan Morita, R.Y (ed). *Effect of The Ocean Environment on Microbial Activities*. University Park Press. Baltimore – London – Tokyo

- Ruyitno. 1990. Mengenal Mesokosm. *Dalam* : Majalah Oseana Vol XV, Nomor 3. LON – LIPI. Jakarta.
- Ruyitno. 1997. Pengaruh Minyak dan Pupuk terhadap Pertumbuhan Biota Kecil. *Dalam* : Hasil-hasil Penelitian Oseanologi Tahun 1996-1997. Puslitbang Oseanologi – LIPI. Jakarta.
- Saeni, M.S. 1989. Kimia Lingkungan. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sanusi, H. 1993. Karakteristik Kimia dan Kesuburan Perairan Teluk Pelabuhan Ratu (Tahap I – Musim Barat). Fakultas Perikanan. IPB. Bogor.
- Setiadi, D dan P. Tjondronegoro. 1989. Dasar-dasar Ekologi. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Staley, J.T. 1992. Heterotrophic Microorganisms. In : Lederberg, J (ed) Encyclopedia of Microbiologi Vol. 2. Academic Press, Inc. San Diego – New York – Boston – London – Sydney – Tokyo – Toronto.
- State Oceanic Administration. 1989. Marine Ecosystem Enclosed Experiment and its Applications. China International Advanced Training Course of MEEE. Third Institute of Oceanography. People's Republic of China. Xiamen. China.
- Sterritt, R.M. 1988. Microbiology for Environmental and Public Health Engineers. E & FN Spon. London – New York.
- Susilo, S. 1997. Konsentrasi Klorofil-a sebagai Penduga Produktivitas Primer Perairan. Fakultas Perikanan. IPB. Bogor.
- Sutomo, AB. 1997. Kondisi Fitoplankton dan Zooplankton dalam Mesokosm di Teluk Pelabuhan Ratu. *Dalam* : Hasil-hasil Penelitian Oseanologi Tahun 1996-1997. Puslitbang Oseanologi – LIPI. Jakarta.
- Tanaka, Nobuhiko., Masumi Nakanishi dan Hajime Kadota. 1974. Nutritional Interrelation between Bacteria and Phytoplankton in a Pelagic Ecosystem. . *In* : Colwell, R.R dan Morita, R.Y (eds). Effect of The Ocean Environment on Microbial Activities. University Park Press. Baltimore – London – Tokyo.
- Udiharto. 1995. Peran Bakteri Dalam Degradasi Minyak dan Pemanfaatannya dalam Penanggulangan Minyak Buangan. *Dalam* : Proceeding Diskusi Ilmiah VIII Hasil Penelitian LEMIGAS. Jakarta.
- WHO (World Health Organization). 1977. Guidelines for Health Related Monitoring of Coastal Water Quality. Regional Office for Europe. Copenhagen.



# LAMPIRAN



Lampiran 1. Data bakteri heterotrofik dengan metode Total Plate Count (TPC)

Waktu Mesokosm	Hari Ke-0 (x 1000/ml)			Hari Ke-1 (x 1000/ml)			Hari Ke-2 (x 1000/ml)			Hari Ke-4 (*)			Hari Ke-8 (x 1000/ml)							
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
A1	0	5	1	3.8	5	0	3.75	70	20	30	41.67	2	12	15	7	3	11	5	5.67	
A2	5	2	6		0	4	1	50	30	50		2	10	1		6	3	6		
B1	7	16	0	20.25	488	431	379	283.67	104	174	239	125.17	2	2	2	4.17	10	10	15	12.17
B2	42	16	0		114	121	169		54	62	118		8	6	5		5	15	18	
C1	2	4	2	3.67	411	147	308	265.67	16	12	35	16.17	4	0	1	3.25	13	15	7	9.2
C2	7	4	3		223	213	292		13	11	10		2	0	6		4	0	7	
D1	2	9	2	10.5	623	836	1300	977	215	15	246	403.67	16	69	68	36.33	39	37	57	61.33
D2	10	16	24		1238	1380	485		359	287	1300		13	15	37		112	91	32	

Keterangan (\*) = Pada pengamatan hari ke-4 data A1 dan A2 x 1000/ml ; B1 - D2 x 10000/ml



**Lampiran 3. Jumlah dan laju pertumbuhan bakteri heterotrofik pada mesokosm A, B, C dan D**

Mesokosm Hari ke-	A		B		C		D	
	Jumlah bakteri (sel/ml)	Laju pertumbuhan (sel/jam)						
H0	3800	0	20250	0	3670	0	10500	0
H1	3750	-2,1	283670	10975,8	265670	10916,7	977000	40270,8
H2	41670	1580	125170	-6604,2	12170	-10395,9	403670	-23888,8
H4	7000	-722,3	41700	-1739	32500	340,2	363300	-841
H8	5670	-13,9	12170	-307,6	9200	-242,7	61330	-3145,5

**Lampiran 4. Jumlah dan laju pertumbuhan bakteri hidrokarbonoklastik pada mesokosm A, B, C dan D**

Mesokosm Hari ke-	A		B		C		D	
	Jumlah bakteri (sel/ml)	Laju pertumbuhan (sel/jam)						
H0	1150	0	1600	0	1800	0	950	0
H1	5900	197,9	900	-29,2	600	-50	1200	10,4
H2	6800	37,5	8650	323	19500	787,5	6800	233,3
H4	1050	-119,8	450	-170,8	1550	-374	300	-135,4
H8	1550	5,2	2650	23	4100	26,6	24000	246,9

Lampiran 5. Parameter fisika kimia perairan pada mesokosm A, B, C dan D selama pengamatan

Parameter yang diukur	Meso kosm	Pengamatan hari ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	A	28,2	28,0	28,0	28,6	27,4	31,8	28,0	31,0	30,5	
	B	28,0	27,0	28,5	28,6	27,5	30,2	28,0	30,0	27,8	
	C	28,0	28,0	28,0	28,6	27,5	30,5	28,2	30,5	27,8	
	D	28,0	28,0	28,5	28,8	28,0	31,8	28,4	30,5	28,0	
pH	A	8,67	8,12	8,05	8,30	7,58	7,56	8,05	8,51	8,63	
	B	8,64	8,30	7,84	7,61	7,77	7,68	7,60	7,85	7,93	
	C	8,63	8,19	7,60	7,55	7,65	7,68	7,80	7,89	7,82	
	D	8,67	7,69	7,48	7,45	7,40	8,30	8,10	7,96	7,79	
DO (ppm)	A	6,22	5,92	5,55	5,47	5,57	5,69	5,56	4,88	4,88	
	B	5,79	1,51	0,33	0,35	0,47	0,74	1,20	0,95	0,77	
	C	6,14	1,10	0,46	0,48	0,47	0,49	0,57	0,64	0,22	
	D	6,13	0,31	0,34	0,36	0,39	0,43	0,58	0,68	0,42	
Fosfat (ppm)	A	0,06	0,06	0,04	0,07	0,07	0,07	0,03	0,02	0,03	
	B	0,07	1,01	0,92	0,70	0,70	0,80	1,21	1,02	1,04	
	C	0,06	2,23	2,02	2,35	1,68	1,85	1,94	2,03	2,24	
	D	0,07	5,89	6,04	6,50	5,19	3,91	4,41	4,96	6,39	
Nitrat (ppm)	A	0,21	0,03	0,008	0,04	0,01	0,02	0,01	0,009	0,01	
	B	0,23	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,11	0,009	
	C	0,20	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	
	D	0,22	0,02	0,03	0,005	0,01	0,02	0,01	0,02	0,007	

### Lampiran 6. Contoh perhitungan unsur P dan N pada pupuk oleofilik yang ditambahkan pada mesokosm

Komposisi pupuk oleofilik yang digunakan terdiri dari urea  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , asam oleat ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ ) dan kalium difosfat  $[\text{K}(\text{PO}_4)_2]$  dengan perbandingan 1 : 1 : 1. Urea mengandung unsur N dan kalium difosfat mengandung unsur P. Jumlah unsur nitrogen (N) dan fosfor (P) yang ditambahkan pada mesokosm B, C dan D dapat dilihat pada tabel di bawah.

Komposisi pupuk	Jumlah yang ditambahkan dalam mesokosm (ppm)		
	B (3.2 ppm po)	C (10 ppm po)	D (32 ppm po)
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	1.07	3.33	10.67
$\text{K}(\text{PO}_4)_2$	1.07	3.33	10.67
Jumlah N	0.50	1.55	4.98
Jumlah P	0.30	0.92	2.94

#### Contoh perhitungan :

##### - Pada mesokosm B

$$\begin{aligned} \text{Unsur N pada urea (ppm)} &= \text{BA. N} / \text{BM CO}(\text{NH}_2)_2 \times [\text{CO}(\text{NH}_2)_2] \\ &= 2(14) / 12 + 16 + 2(14) + 4(1) \times 1.07 \\ &= 0.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Unsur P pada K}(\text{PO}_4)_2 \text{ (ppm)} &= \text{BA. P} / \text{BM K}(\text{PO}_4)_2 \times [\text{K}(\text{PO}_4)_2] \\ &= 2(32) / 40 + 2(32) + 8(16) \times 1.07 \\ &= 0.30 \end{aligned}$$

##### - Pada mesokosm C

$$\begin{aligned} \text{Unsur N pada urea (ppm)} &= \text{BA. N} / \text{BM CO}(\text{NH}_2)_2 \times [\text{CO}(\text{NH}_2)_2] \\ &= 2(14) / 12 + 16 + 2(14) + 4(1) \times 3.33 \\ &= 1.55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Unsur P pada K}(\text{PO}_4)_2 \text{ (ppm)} &= \text{BA. P} / \text{BM K}(\text{PO}_4)_2 \times [\text{K}(\text{PO}_4)_2] \\ &= 2(32) / 40 + 2(32) + 8(16) \times 3.33 \\ &= 0.92 \end{aligned}$$

##### - Pada mesokosm D

$$\begin{aligned} \text{Unsur N pada urea (ppm)} &= \text{BA. N} / \text{BM CO}(\text{NH}_2)_2 \times [\text{CO}(\text{NH}_2)_2] \\ &= 2(14) / 12 + 16 + 2(14) + 4(1) \times 10.67 \\ &= 4.98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Unsur P pada K}(\text{PO}_4)_2 \text{ (ppm)} &= \text{BA. P} / \text{BM K}(\text{PO}_4)_2 \times [\text{K}(\text{PO}_4)_2] \\ &= 2(32) / 40 + 2(32) + 8(16) \times 10.67 \\ &= 2.94 \end{aligned}$$

### Lampiran 7. Kandungan klorofil-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) pada mesokosm A, B, C dan D selama pengamatan

Meso-kosm	Pengamatan hari ke-									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1.32	0.89	0.83	0.98	0.78	0.54	0.93	0.78	0.74	
B	1.13	0.78	1.15	0.85	0.53	0.62	0.86	0.37	0.87	
C	0.67	0.79	0.88	0.54	0.58	0.40	0.49	0.59	0.92	
D	0.78	0.63	0.33	0.58	0.33	0.62	0.72	0.47	0.57	

### Lampiran 8. Contoh perhitungan laju pertumbuhan fitoplankton pada mesokosm A, B, C dan D

Laju pertumbuhan fitoplankton dapat dihitung dari kandungan klorofil-a nya, dengan menggunakan persamaan regresi linear  $y = a + bx$ ,

dimana  $y$  = konsentrasi klorofil-a saat pengamatan ke  $h-x$

$x$  = hari pengamatan (0, 1, 2, 3, ..., 8)

$a$  = konstanta

$b$  = laju pertumbuhan fitoplankton atau laju kematian fitoplankton (jika bernilai negatif)

Persentase laju pertumbuhan atau laju kematian fitoplankton didapatkan dengan nilai laju pertumbuhan/kematian dikalikan 100%.

Contoh :

- \* Pada mesokosm A saat pengamatan  $H_0 - H_1$  untuk menghitung laju kematian fitoplankton akibat penambahan minyak, dengan memasukkan data konsentrasi klorofil-a sebagai variabel tak bebas ( $y$ ) dan hari pengamatan sebagai variabel bebasnya ( $x$ ) didapatkan persamaan  $y = 1.32 - 0.43x$ . Dari persamaan tersebut didapatkan laju kematian fitoplankton sebesar 0.43 atau 43%.

## Lampiran 9. Analisis varian bakteri heterotrofik saat pengamatan H0

## Analysis of Variance

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	3	469.7917	156.5972	1.9107	.1604
Within Groups	20	1639.1667	81.9583		
Total	23	2108.9583			

Multiple Range Tests: Duncan test with significance level .05

The difference between two means is significant if  
 $MEAN(J) - MEAN(I) \geq 6.4015 * RANGE * \sqrt{1/N(I) + 1/N(J)}$   
 with the following value(s) for RANGE:

Step	2	3	4
RANGE	2.95	3.09	3.20

- No two groups are significantly different at the .050 level  
 Homogeneous Subsets (highest and lowest means are not significantly different)

Subset 1

Group	Grp 1	Grp 3	Grp 4	Grp 2
Mean	3.1667	3.6667	10.5000	13.5000

## Lampiran 10. Analisis varian bakteri hidrokarbonoklastik saat pengamatan H0

## Analysis of Variance

Source	D.F.	Sum of Squares	Mean Squares	F Ratio	F Prob.
Between Groups	3	92.5000	30.8333	.4518	.7300
Within Groups	4	273.0000	68.2500		
Total	7	365.5000			

Multiple Range Tests: Duncan test with significance level .05

The difference between two means is significant if  
 $MEAN(J) - MEAN(I) \geq 5.8417 * RANGE * \sqrt{1/N(I) + 1/N(J)}$   
 with the following value(s) for RANGE:

Step	2	3	4
RANGE	3.93	4.02	4.03

- No two groups are significantly different at the .050 level

Homogeneous Subsets (highest and lowest means are not significantly different)

Subset 1

Group	Grp 4	Grp 1	Grp 2	Grp 3
Mean	9.5000	11.5000	16.0000	18.0000