

**PENGARUH SEDIMEN TERCEMAR MINYAK TERHADAP
PERTUMBUHAN MIKROALGA *Pavlova* sp.**

SKRIPSI

**AMKIELTIELA
0606069552**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN BIOLOGI
DEPOK
JULI 2010**

**PENGARUH SEDIMEN TERCEMAR MINYAK TERHADAP
PERTUMBUHAN MIKROALGA *Pavlova* sp.**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

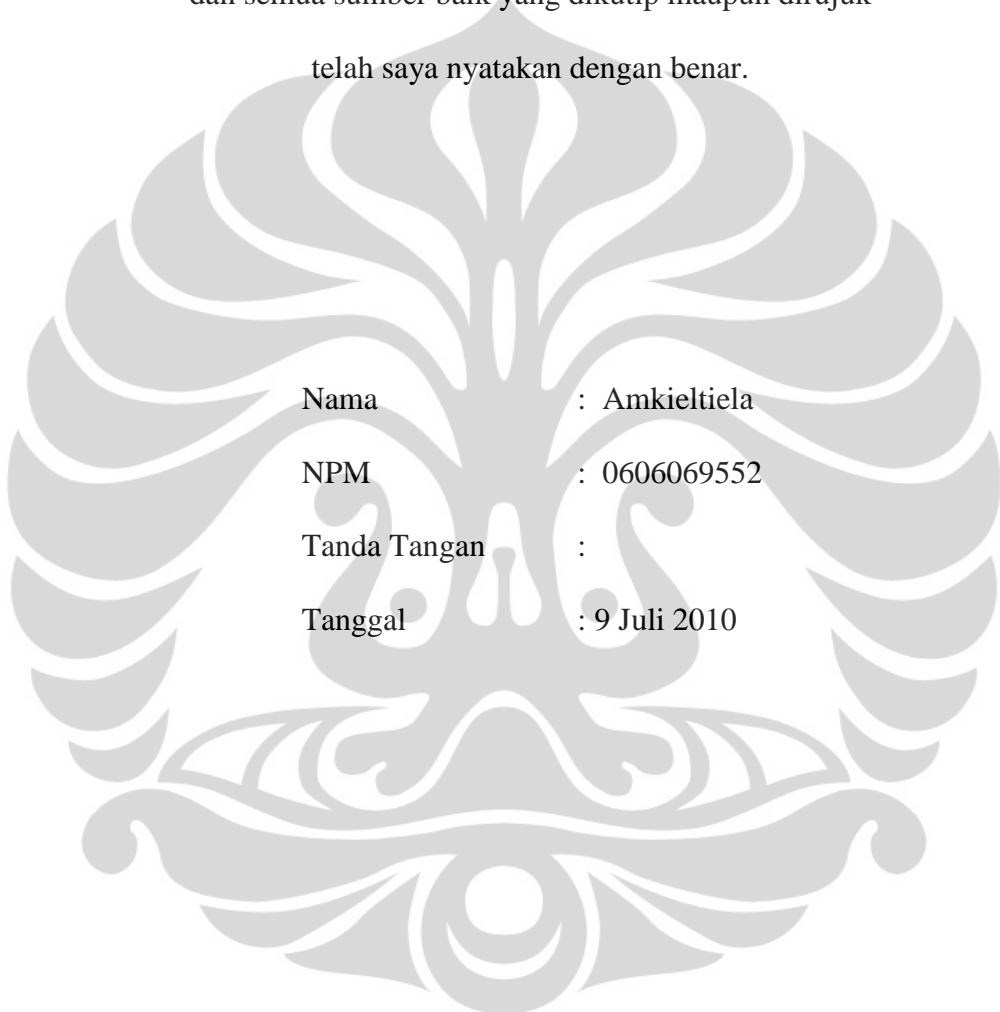
**AMKIELTIELA
0606069552**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN BIOLOGI
BIOLOGI KELAUTAN
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Amkieltiela
NPM : 0606069552
Tanda Tangan :
Tanggal : 9 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Amkieltiela
NPM : 0606069552
Program Studi : Biologi
Judul Skripsi : Pengaruh sedimen tercemar minyak terhadap pertumbuhan mikroalga *Pavlova* sp.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Dwi Hindarti, M.Sc. ()
Pembimbing II : Drs. Wisnu Wardhana, M.Si. ()
Penguji I : Dr. rer. nat. Mufti Petala Patria, M.Sc. ()
Penguji II : Dr. rer. nat. Yasman, M.Sc. ()
Penguji III : Dr. Wibowo Mangunwardoyo M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Amkieltiela
NPM : 0606069552
Program Studi : Biologi
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia hak bebas royalti noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengaruh Sedimen Tercemar Minyak Terhadap Pertumbuhan Mikroalga *Pavlova* sp.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 9 Juli 2010

Yang menyatakan

(.....)

Wise person in the one that never regrets any mistake he made but learns from it



*Skripsi ini saya persembahkan untuk Ayah, Ibu, mba Manda, dan Dito
Terima kasih atas perhatian,
cinta, dukungan dan kasih sayang yang
tak terhingga bagi penulis*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT atas karunia dan nikmatnya yang telah diberikan hingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam terlimpahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW beserta seluruh keluarganya dan para sahabatnya atas berkah nikmat iman dan Islam.

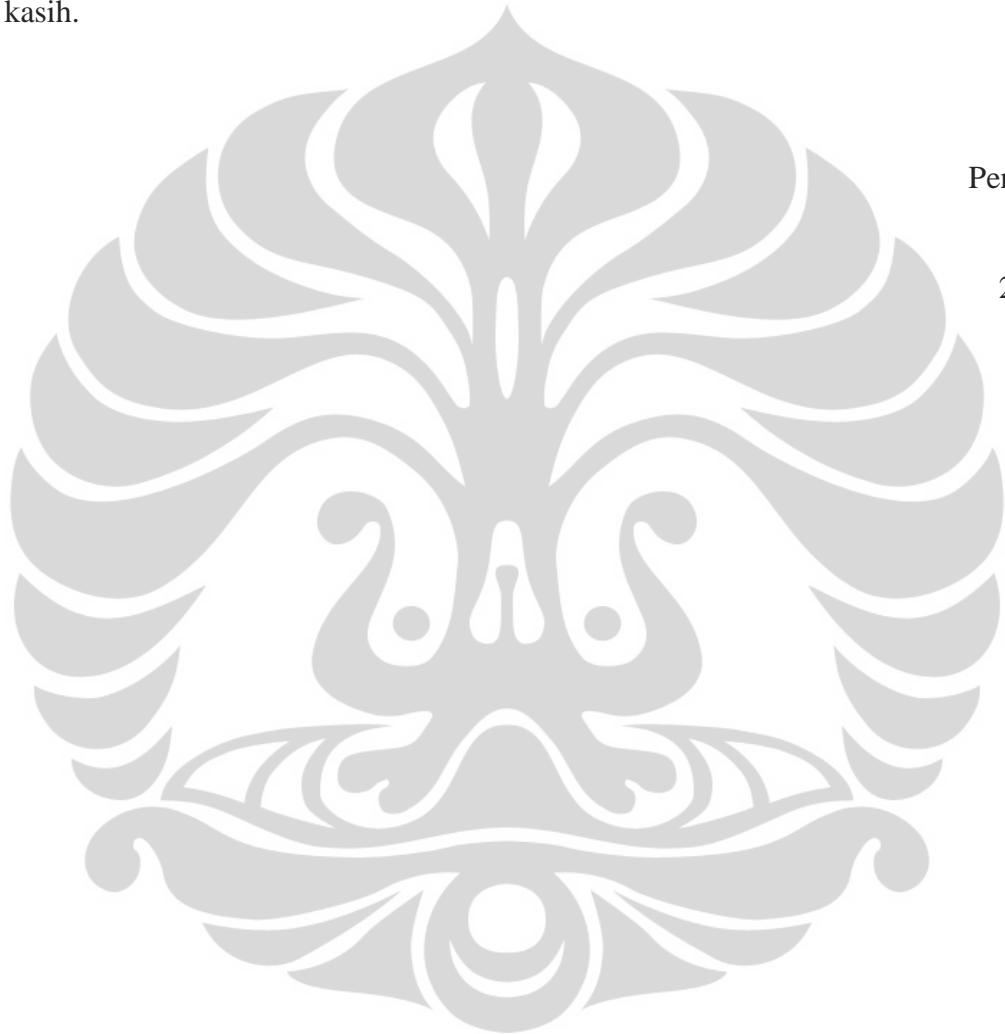
Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Dwi Hindarti, M.Sc. selaku pembimbing I dan kepada Drs. Wisnu Wardhana, M.Si selaku pembimbing II, atas bimbingan, saran, masukan, motivasi, dan kasih sayang telah diberikan selama penelitian dan penulisan skripsi. Ucapan terima kasih juga Penulis sampaikan kepada Dr. Andi Salamah selaku pembimbing akademik, Dr. rer. nat. Mufti P. Patria, M.Sc. selaku ketua Departemen Biologi FMIPA UI dan penguji, serta Dr. Wibowo Mangunwardoyo, dan Dr. rer. nat Yasman, M.Sc. selaku penguji atas pengetahuan, saran, dan ilmu yang telah diberikan. Terima kasih kepada Mityun, Nala, Dana, Pras, Mondy, Rista, Erina, Sarah, Hilwa, dan Ade Panca atas persahabatan yang berharga. Terimakasih kepada Kak Wanda, Kak Pingkan, Kak Jane, Kak Giri, Kak Juju, Kresna, Epi, Ardi, dan teman-teman Felix yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

Terima kasih yang tak terhingga juga penulis ucapkan kepada Ayah, Ibu, Mba Manda, dan Dito atas kasih sayang, perhatian, dan doa yang selalu mengiringi langkah penulis. Terima kasih kepada rekan-rekan di Laboratorium Ekotoksikologi P2O-LIPI, Ancol (Pak Yoni, Pak, Eston, Bu Rachma, Pak Nano, Bu Yeti, Mas Rahman, Intan, Mitha, Rani, Erika, Desi, Reni) atas persahabatan dan kekeluargaan yang begitu indah. Terima kasih juga Penulis sampaikan kepada Dendy Kurnia khususnya yang selalu setia menemani dan membantu dalam segala hal selama penelitian berlangsung. Kepada Baliveau, Biee05phere, Blossom, Biosentris, CANOPY, COMATA, SIGMA, dan PHUI terima kasih untuk semua kenangan, bantuan, dan pengalaman selama ini.

Terima kasih kepada Laboratorium Ekotoksikologi P2O-LIPI, Ancol yang telah memfasilitasi segala kebutuhan selama penelitian. Semoga akan selalu ada

penelitian-penelitian lanjutan yang semakin berkembang dan bermanfaat bagi masyarakat.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu Penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna untuk siapa pun yang membacanya, baik Penulis maupun peneliti-peneliti lainnya. Sekian dan terima kasih.



Penulis

2010

ABSTRAK

Nama : Amkieltiela
Program Studi : Biologi
Judul : Pengaruh Sedimen Tercemar Minyak Terhadap Pertumbuhan *Pavlova* sp.

Limbah minyak bumi dapat menghambat atau mengurangi transmisi cahaya matahari ke dalam laut. Hal tersebut dapat menghambat pertumbuhan mikroalga yang memanfaatkan cahaya matahari untuk melakukan fotosintesis. Limbah tersebut dapat menghasilkan material toksik yang akan terakumulasi pada sedimen yang tercemar minyak bumi. Penelitian ini bersifat eksperimental dengan 6 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan dalam penelitian adalah sedimen dengan penambahan minyak (A), sedimen yang tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan kultur tunggal bakteri (B), sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan konsorsium bakteri (C), sedimen yang tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan pupuk (D), sedimen yang tercemar minyak dengan penambahan kultur tunggal bakteri dan pupuk (E), dan sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan konsorsium bakteri dan pupuk (F). Kontrol yang digunakan adalah air laut yang sudah di autoklaf dan ditambahkan media Walne non EDTA. Data yang didapat kemudian dihitung menggunakan program TOXSTAT yang berbasis ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sedimen tercemar minyak tidak secara signifikan memengaruhi pertumbuhan *Pavlova* sp.

Kata kunci:
minyak bumi, sedimen, *Pavlova* sp.

ABSTRACT

Name : Amkieltiela
Study Program: Biology
Title : The effect of crude oil-contaminated sediment on growth of microalgae *Pavlova* sp.

Crude oil waste can detain or reduce the penetration of sunlight into the sea. This may decelerate the growth of microalgae that needs the sun light to make photosynthesis. Crude oil waste can produce toxic materials which accumulate in the crude oil contaminated sediment. This is an experimental research with 6 treatment and 3 replicates. The treatments in this experiment are sediment with crude oil (A), bioremediated crude oil-contaminated sediment with the addition of single culture bacteria (B), bioremediated crude oil-contaminated sediment with the addition of consortium bacteria (C), bioremediated crude oil-contaminated sediment with the addition of fertilizer (D), bioremediated crude oil-contaminated sediment with the addition of single culture bacteria and fertilizer (E), and bioremediated crude oil-contaminated sediment with the addition of consortium bacteria and fertilizer. Control in this experiment was autoclaved sea water with the addition of Walne media non EDTA. The data was calculated using TOXSTAT program which is based on the ANOVA. Result shows that the crude oil contaminated sediment does not affect the growth of *Pavlova* sp significantly.

Key words:

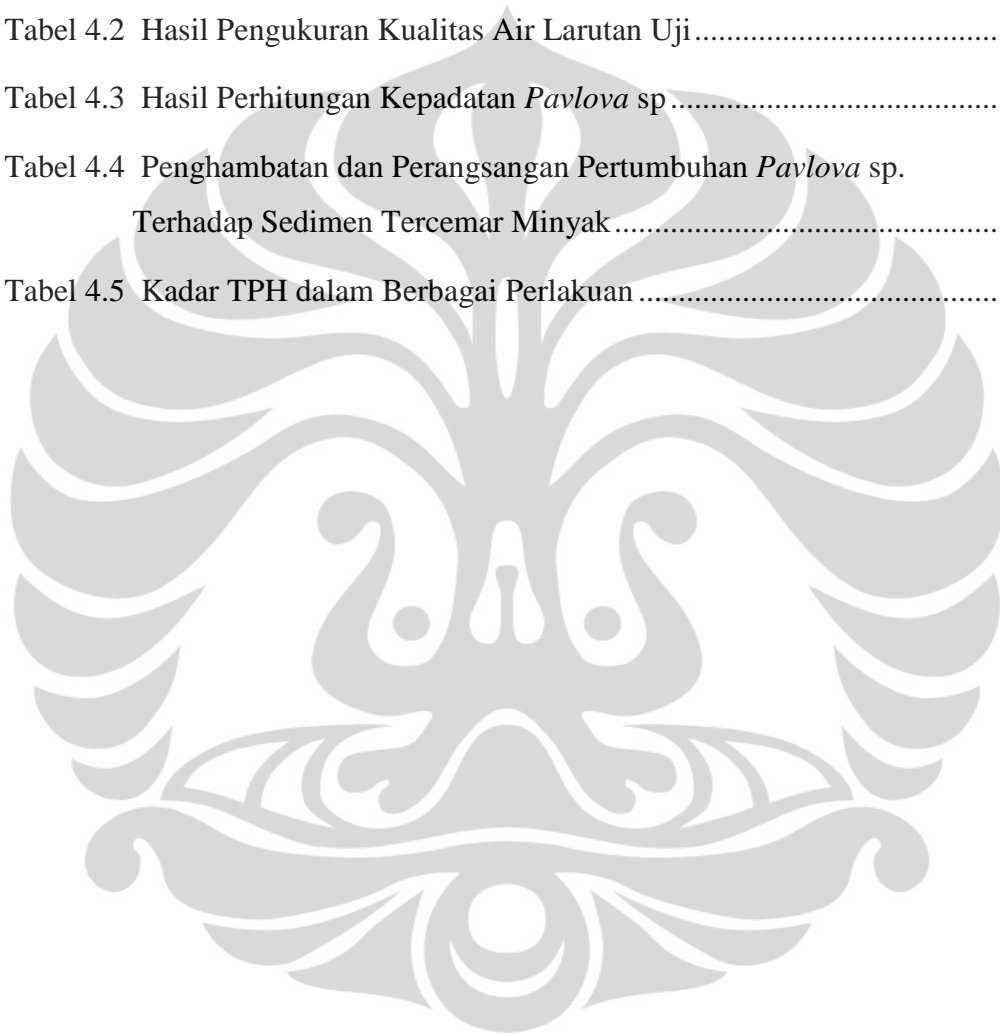
Crude oil, sediment, *Pavlova* sp.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN | viii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Sedimen | 5 |
| 2.2 Minyak Bumi | 5 |
| 2.3 Sedimen Berminyak | 7 |
| 2.4 Pengaruh Sedimen Berminyak Terhadap Biota Laut | 8 |
| 2.5 <i>Pavlova</i> sp. | 9 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 11 |
| 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian | 11 |
| 3.2 Bahan | 11 |
| 3.2.1 Biota Uji | 11 |
| 3.2.2 Medium yang Digunakan | 11 |
| 3.2.3 Bahan Kimia..... | 11 |
| 3.2.4 Bahan Habis Pakai | 11 |
| 3.3 Peralatan | 12 |
| 3.4 Cara Kerja..... | 12 |
| 3.4.1 Pengambilan Sedimen | 12 |
| 3.4.2 Persiapan Alat | 13 |
| 3.4.3 Pembuatan Medium Kultur <i>Pavlova</i> sp. | 14 |
| 3.4.4 Pembuatan Kultur <i>Pavlova</i> sp. | 14 |
| 3.4.5 Kurva Pertumbuhan Kultur <i>Pavlova</i> sp. | 15 |
| 3.4.6 Uji Toksisitas | 16 |
| 3.4.7 Pengukuran Kualitas Larutan Sedimen | 17 |
| 3.5 Penyusunan, Pengolahan, dan Analisis Data..... | 17 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 19 |
| 4.1 Kurva Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp. | 19 |
| 4.2 Kualitas Air Larutan Uji | 21 |
| 4.3 Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Sedimen Tercemar Minyak | 22 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN..... | 28 |
| 5.1 Kesimpulan | 28 |
| 5.2 Saran | 28 |
| DAFTAR REFERENSI | 29 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Ukuran Partikel Sedimen | 5 |
| Tabel 3.1 | Daftar Kandungan Zat Kimia dalam Media Walne | 14 |
| Tabel 4.1 | Hasil Perhitungan Jumlah Sel <i>Pavlova</i> sp | 19 |
| Tabel 4.2 | Hasil Pengukuran Kualitas Air Larutan Uji..... | 21 |
| Tabel 4.3 | Hasil Perhitungan Kepadatan <i>Pavlova</i> sp | 22 |
| Tabel 4.4 | Penghambatan dan Perangsangan Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Sedimen Tercemar Minyak | 23 |
| Tabel 4.5 | Kadar TPH dalam Berbagai Perlakuan | 24 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 <i>Pavlova</i> sp. | 10 |
| Gambar 4.1 Kurva Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp. | 21 |
| Gambar 4.2 Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp. pada pemaparan sedimen tercemar minyak dengan berbagai perlakuan | 25 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1 Skema Kerja Penelitian | 34 |
| Lampiran 2 Persiapan Peralatan yang akan Digunakan | 35 |
| Lampiran 3 Pembuatan Medium Kultur <i>Pavlova</i> sp..... | 36 |
| Lampiran 4 Pengujian Toksisitas Sedimen Terhadap Pertumbuhan <i>Pavlova</i> sp..... | 37 |
| Lampiran 5 Hasil Perhitungan Uji Shapiro-Wilk Kepadatan <i>Pavlova</i> sp. terhadap Perlakuan Sedimen Berminyak | 38 |
| Lampiran 6 Hasil Perhitungan Uji Bartlett Kepadatan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Perlakuan Sedimen Berminyak | 38 |
| Lampiran 7 Hasil Perhitungan Uji ANOVA Kepadatan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Perlakuan Sedimen Berminyak | 39 |
| Lampiran 8 Hasil Perhitungan Uji Dunnett Kepadatan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Perlakuan Sedimen Berminyak 1 | 39 |
| Lampiran 9 Hasil Perhitungan Uji Dunnett Kepadatan <i>Pavlova</i> sp. Terhadap Perlakuan Sedimen Berminyak 2 | 40 |

BAB 1

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan campuran kompleks hidrokarbon rantai panjang dengan senyawa organik yang berasal dari sulfur, oksigen, nitrogen, dan senyawa-senyawa yang mengandung logam terutama nikel, besi, dan tembaga (Giwangkara 2007: 1). Minyak bumi umumnya mengandung 85% karbon, 12% hidrogen, serta 3% oksigen, nitrogen, dan sulfur. Hasil olahan minyak bumi dapat berupa bensin, minyak tanah, minyak pelumas, lilin, aspal, arang, insektisida, dan AVTUR (bahan bakar pesawat terbang) yang berguna bagi aktifitas manusia (Nemerow 1971: 529; Hutagalung 1990: 14).

Lima puluh persen sumber energi dunia berasal dari minyak bumi (Hutagalung 1990: 14). Peningkatan dan kemajuan industri mengakibatkan produksi industri minyak bumi meningkat. Produksi industri minyak bumi dan industri akan menghasilkan limbah berupa limbah minyak bumi. (Nemerow 1971: 529). Menurut Ingmanson dan Wallace (1985) (*lihat* Rusdi 2008: 1), kurang lebih enam juta metrik ton minyak mencemari lautan setiap tahunnya. Limbah minyak bumi umumnya dihasilkan dari transportasi minyak, pengeboran minyak lepas pantai, pengilangan minyak, penyulingan minyak bumi, dan pemakaian bahan bakar produk minyak bumi. Oleh karena itu, limbah minyak bumi termasuk limbah terbesar yang dihasilkan oleh industri di dunia (Nemerow 1971: 529).

Pencemaran minyak bumi memberikan pengaruh yang negatif terhadap organisme laut. Limbah minyak bumi dapat menghambat atau mengurangi transmisi cahaya matahari ke dalam laut karena diserap oleh minyak dan dipantulkan kembali ke udara (Rusdi 2008: 1). Limbah minyak bumi termasuk ke dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dari sumber spesifik (PP Nomor 18/1999 dan Keppres Nomor 61/1993). Limbah minyak bumi dapat merusak lingkungan hidup, mengganggu kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Limbah tersebut bersifat reaktif, beracun, mudah meledak, mudah terbakar, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif (PDPERSI 2002: 1).

Limbah minyak bumi umumnya tidak larut dan mengapung dipermukaan air. Limbah minyak bumi yang masuk ke laut akan terdistribusi menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok yang mengapung di permukaan air, tersuspensi dalam kolom air, dan yang mengendap (Clark 1989 *lihat* Ruyitno 1998: 105; Hutagalung 1990: 24). Komponen minyak bumi yang mengapung di permukaan air memiliki berat molekul rendah sehingga akan menguap dan mengurai akibat reaksi foto-oksidasi (Hutagalung 1990: 25; Madigan *dkk.* 2009: 710). Kelompok minyak bumi yang mengendap memiliki berat molekul besar sehingga akan tenggelam dan terakumulasi di sedimen (Hutagalung 1990: 25--26; Castro & Huber 2007: 408--409). Ketiga kelompok limbah minyak tersebut bumi di perairan laut dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton, membunuh mamalia laut dan burung laut, merusak terumbu karang, hutan mangrove dan lamun, meningkatkan resiko penyakit pada ikan, dan sebagainya (Castro dan Huber 2007: 408--409).

Limbah minyak bumi yang mencemari lautan dapat menghasilkan material toksik dari hasil degradasi oleh mikroorganisme secara alami. Material toksik yang dihasilkan ditemukan pada sedimen yang terkontaminasi minyak bumi (Delille *dkk.* 2002: 122). Menurut Del Valls *dkk.* (2002 *lihat* Morales-Caselles *dkk.* 2006: 652), sedimen dapat menyerap lebih banyak bahan kimia yang bersifat toksik daripada kolom air. Komposisi penyusun minyak bumi yang larut dalam air sangat rendah dan proses degradasinya secara alami sangat lambat sehingga minyak bumi akan terakumulasi dalam sedimen (Morales-Caselles *dkk.* 2006: 653). Akumulasi minyak bumi dalam sedimen dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme, termasuk mikroalga karena secara perlahan terjadi pelepasan minyak bumi yang terakumulasi pada sedimen ke dalam kolom air.

Mikroalga dapat digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan yang baik. Mikroalga yang tercemar minyak bumi yang terikat pada sedimen dan pasir secara terus menerus dapat mengalami gangguan dalam proses metabolisme (Essien dan Antai 2005: 567). Gangguan proses metabolisme mikroalga akibat pencemaran minyak bumi sangat bergantung pada konsentrasi minyak bumi dan sensitifitas mikroalga.

Menurut El-sheek *dkk.* (1999), 100 ppm minyak bumi menstimulasi pertumbuhan *Chlorella homosphaera* dan *Chlorella vulgaris*. Sedangkan konsentrasi minyak bumi sebesar 500--3000 ppm dapat mereduksi pertumbuhan *Chlorella homosphaera* dan *Chlorella vulgaris*. Menurut Parab *dkk.* (2008), konsentrasi minyak bumi sebesar 100 ppm dan 1000 ppm meningkatkan pertumbuhan *Thalassiosira sp.*, sebaliknya pertumbuhan *Thalassiosira sp.* menurun pada konsentrasi minyak bumi sebesar 5000 ppm. Berdasarkan hasil penelitian El-sheek *dkk.* tahun 1999 dan Parab *dkk.* tahun 2008 perlu dicobakan pengaruh minyak bumi pada konsentrasi diatas 500 ppm terhadap pertumbuhan *Pavlova sp.* di laboratorium. Konsentrasi minyak bumi diatas 500 ppm diduga juga dapat menstimulasi pertumbuhan *Pavlova sp.*, namun demikian belum diketahui efek toksik minyak bumi terhadap pertumbuhan *Pavlova sp.* pada konsentrasi diatas 500 ppm.

Mikroalga yang digunakan sebagai biota uji adalah *Pavlova sp.* karena *Pavlova sp.* merupakan produsen primer dalam suatu rantai makanan di perairan laut dan merupakan sumber pakan bergizi terutama bagi bivalvia dan zooplankton herbivora. Alasan lain, *Pavlova sp.* memenuhi kriteria sebagai biota uji karena sensitif terhadap bahan pencemar, memiliki nilai penting secara ekologis dan ekonomis, jumlah yang tersedia di alam masih berlimpah, memiliki kemampuan untuk hidup di laboratorium atau lingkungan buatan (Hindarti 1997: 171). Penelitian mengenai pengaruh sedimen berminyak belum pernah dilakukan terhadap *Pavlova sp.*

Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh sedimen tercemar minyak terhadap pertumbuhan mikroalga *Pavlova sp.* di laboratorium. Hipotesis penelitian adalah sedimen tercemar minyak yang terlarut dalam air tidak memengaruhi pertumbuhan mikroalga *Pavlova sp.* Penelitian diawali dengan perbanyakan biomassa dan pemanenan pada saat fase eksponensial, kemudian dilanjutkan dengan uji toksisitas. Uji toksisitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh sedimen tercemar minyak terhadap pertumbuhan mikroalga *Pavlova sp.* Menurut Rand dan Petrocelli (1985: 4) uji toksisitas dilakukan untuk menilai efek yang merugikan dari suatu bahan kimia terhadap organisme hidup dalam kondisi dapat bereproduksi dan telah distandarisasi sehingga memberikan hasil yang dapat

dibandingkan dengan senyawa kimia lain yang telah diuji. Setelah 96 jam, jumlah sel *Pavlova* sp. yang diuji kemudian dihitung dengan menggunakan kamar hitung *Improved Neubauer (Haemocytometer)*.

Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat menambah informasi mengenai pengaruh sedimen berminyak terhadap pertumbuhan mikroalga *Pavlova* sp. Selain itu, apabila tidak terjadi penurunan jumlah sel *Pavlova* sp. terhadap konsentrasi minyak yang meningkat, maka diduga sedimen tercemar minyak yang terlarut di dalam air tidak memengaruhi pertumbuhan mikroalga *Pavlova* sp.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SEDIMEN

Sedimen adalah materi seperti pasir dan lumpur yang berada di dasar perairan laut. Semakin jauh jarak dari pesisir, ketebalan sedimen di dasar laut meningkat (Castro dan Huber 2007: 26). Sedimen disebut juga dasar perairan laut lunak karena organisme dapat membenamkan diri dengan mudah ke dalamnya. Sedimen bersifat tidak stabil dan mudah terbawa gelombang, pasang, dan arus air laut. Oleh karena itu, organisme yang hidup di daerah tersebut tidak memiliki tempat padat untuk melekat (Castro dan Huber 2007: 259).

Sedimen dibagi menjadi tiga berdasarkan ukuran partikelnya, yaitu kerikil, pasir, dan lumpur. Ukuran partikel kerikil lebih besar dari ukuran partikel pasir, sedangkan ukuran partikel lumpur lebih kecil dari ukuran partikel pasir (Alden 2010: 1). Lumpur terbagi dua, yaitu *Silt* (lumpur) dan *Clay* (liat). Liat termasuk lumpur tetapi partikel liat terasa lebih halus daripada lumpur. Ukuran partikel sedimen sebagai berikut:

Tabel 2.1. Ukuran Partikel Sedimen

| Partikel | Diameter (mm) | |
|---------------------------|------------------------|---------------|
| Kerikil (<i>Gravel</i>) | > 2 | |
| Pasir (<i>Sand</i>) | 0,062 -- 2 | |
| Lumpur (<i>Mud</i>) | Lumpur (<i>Silt</i>) | 0,04 -- 0,062 |
| | Liat (<i>Clay</i>) | < 0,04 |

(Castro dan Huber 2007: 259)

2.2 MINYAK BUMI

Minyak bumi merupakan bahan bakar fosil yang berasal dari tumbuhan dan hewan yang terakumulasi di dasar laut bersama dengan pasir dan sedimen lainnya selama berjuta-juta tahun. Tekanan, panas, dan aktivitas bakteri mengubah bahan organik tersebut menjadi senyawa kimia yang lebih sederhana, yaitu hidrokarbon, air, karbondioksida, hidrogen sulfida, dan lain-lain (Robinson 2006 dalam Chang dan Robinson 2006: 4).

Minyak merupakan materi organik yang terdiri campuran kompleks hidrokarbon rantai panjang dengan senyawa organik yang berasal dari sulfur, oksigen, nitrogen, garam, dan senyawa-senyawa yang mengandung logam terutama nikel, besi, dan tembaga (Giwangkara 2007: 1; Madigan *dkk.* 2009: 709). Hidrokarbon merupakan senyawa kimia yang mengandung hidrogen dan karbon. Garam yang terkandung dalam minyak bumi dapat dihilangkan dengan mudah menggunakan air panas, tetapi sulfur, nitrogen, oksigen, dan senyawa-senyawa logam lebih sulit dihilangkan karena berikatan dengan senyawa hidrokarbon melalui ikatan kimia sehingga merupakan mayoritas kontaminan (Robinson 2006 *dalam* Chang dan Robinson 2006: 6).

Minyak bersifat tidak larut dalam air dan memiliki kerapatan yang lebih rendah daripada air, sehingga akan mengapung di permukaan dan membentuk lapisan licin (Madigan *dkk.* 2009: 709). Berat jenis minyak bumi ditentukan berdasarkan rasio atom hidrogen dengan atom karbon. Ikatan karbon dari minyak bumi dapat berupa ikatan tunggal (*single bond*), ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga. Ikatan rangkap dua dan rangkap tiga disebut juga *multiple bond* (Roussel dan Boulet 1995 *dalam* Wauquier 1995: 1).

Berdasarkan struktur molekulnya, minyak terbagi menjadi empat kelompok yaitu:

1. Parafin, merupakan alkana yang memiliki rantai lurus dan umumnya mengandung 1--60 atom karbon. Alkana dengan rantai lurus disebut 'normal' atau n-alkana, sedangkan alkana yang bercabang disebut 'iso' atau isoalkana.
2. Siklo-alkana (naftena), merupakan senyawa alkana yang mengandung gugus cincin dan bersifat jenuh karena berikatan dengan hidrogen.
3. Aromatik, merupakan molekul yang mengandung satu atau lebih gugus benzena dengan atau tanpa substitusi gugus alkil.
4. Olefin, merupakan molekul yang mengandung gugus alkena. Umumnya olefin tidak terdapat dalam minyak mentah.

(Hutagalung 1990: 14; Robinson 2006 *dalam* Chang dan Robinson 2006: 7--9).

2.3 SEDIMEN BERMINYAK

Pencemaran minyak di laut dapat terjadi secara alami dan buatan. Pencemaran minyak secara alami disebabkan oleh tekanan di dalam bumi sehingga minyak tersembur ke permukaan bumi. Sebaliknya pencemaran minyak secara buatan umumnya merupakan akibat dari kegiatan manusia baik yang dilakukan di laut maupun di darat. Pencemaran minyak secara buatan berkaitan erat dengan pemanfaatan laut sebagai jalur transportasi minyak. Contoh lain pencemaran minyak secara buatan adalah penyulingan minyak di pantai yang menggunakan air laut sebagai pendingin, kecelakaan kapal tanker (tabrakan, bocor), dan produksi lepas pantai (Hutagalung 1990: 14 & 15).

Minyak yang mencemari lautan akan menyebar sehingga ketebalan lapisan minyak berkurang dan membentuk lapisan film. Penyebaran tersebut dipengaruhi oleh angin, gelombang, dan arus (Clark 1989 *lihat* Ruyitno 1997: 105; Sharma 2009: 1). Berdasarkan berat jenisnya, molekul minyak dapat dibagi menjadi 3 fraksi, yaitu fraksi ringan, cairan yang mudah menguap, dan fraksi berat. Fraksi ringan berbentuk gas dan memiliki jumlah atom C dari 1 -- 5, cairan yang mudah menguap memiliki jumlah atom C dari 6 -- 14, sedangkan fraksi berat memiliki jumlah atom C sebanyak 14 (Hutagalung 1990: 14).

Minyak yang masuk ke laut akan terdistribusi menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok yang mengapung di permukaan air, tersuspensi dalam kolom air, dan yang mengendap (Clark 1989 *lihat* Ruyitno 1998: 105; Hutagalung 1990: 24). Kelompok minyak yang mengapung memiliki berat molekul rendah sehingga akan menguap dan mengurai karena reaksi foto-oksidasi (Hutagalung 1990: 25; Madigan *dkk.* 2009: 710). Menurut SCOPE (1984: 321), rantai hidrokarbon yang mudah menguap bersifat paling toksik karena mengandung benzena dan alkali benzen. Penguapan kelompok minyak dengan molekul rendah akan meninggalkan kelompok minyak yang tersuspensi dalam kolom air dan kelompok minyak yang mengendap. Kelompok minyak yang mengendap memiliki berat molekul besar sehingga akan tenggelam dan terakumulasi di sedimen (Hutagalung 1990: 25--26; Castro dan Huber 2007: 408--409).

2.4 PENGARUH SEDIMEN BERMINYAK TERHADAP BIOTA LAUT

Pencemaran minyak dapat memengaruhi kehidupan organisme laut baik secara langsung maupun tidak langsung.

1. Pengaruh langsung

Pengaruh langsung pencemaran minyak dapat bersifat letal (mematikan) dan subletal (mematikan dengan cara tidak langsung) (Hutagalung 1990: 18). Akibat pencemaran minyak yang bersifat letal adalah dapat membunuh mamalia laut, ikan laut, dan burung laut serta merusak terumbu karang, hutan mangrove dan lamun (Hutagalung 1990: 20; Castro dan Huber 2007: 408--409). Pengaruh subletal minyak bumi meliputi gangguan dalam proses seluler dan fisiologis. Gangguan fisiologis yang dihasilkan adalah perubahan cara makan, reproduksi (fertilisasi dan fekunditas), tingkah laku, pertumbuhan tidak normal, kegagalan menangkap mangsa, gangguan "chemical communication" (rangsangan kimia), menghambat pertumbuhan fitoplankton, dan meningkatkan resiko penyakit pada ikan (Hutagalung 1990: 20; Castro dan Huber 2007: 408--409).

Pengaruh subletal minyak terhadap biota laut dipengaruhi lima faktor, yaitu: kadar minyak, struktur molekul minyak, jenis minyak, daya racun minyak, serta ukuran dan jenis organisme (Hutagalung 1990: 20).

2. Pengaruh tidak langsung

Pengaruh tidak langsung dari pencemaran minyak di laut meliputi perusakan habitat, pengurangan oksigen, dan kenaikan suhu air.

a. Perusakan Habitat

Pencemaran minyak dapat merusak habitat organisme laut. Contoh perusakan habitat akibat pencemaran minyak adalah kerusakan habitat *Thalassia testudinum* di Puerto Rico. Minyak dengan berat molekul besar, ketika mencemari laut akan mengendap. Minyak yang mengendap tersebut akan membentuk gumpalan-gumpalan yang melekat pada pasir sedimen. Gumpalan minyak tersebut akan bergerak akibat adanya ombak dan arus. Hal tersebut

menyebabkan 3000 m³ pasir hilang dalam waktu satu minggu. Hilangnya pasir menyebabkan kerusakan habitat bagi lamun tersebut (Zeiman 1975 lihat Hutagalung 1990: 21).

b. Pengurangan Oksigen

Lapisan minyak di permukaan air laut akan menghalangi difusi oksigen ke dalam air. Minyak yang berada di kolom air dan di dasar air akan mengalami degradasi. Proses degradasi membutuhkan oksigen sehingga konsentrasi oksigen di dalam laut akan menurun. Penurunan oksigen tersebut dapat menyebabkan kematian masal organisme (Hutagalung 1990: 22).

c. Peningkatan Suhu Air

Suhu air laut dapat meningkat akibat pencemaran minyak. Lapisan minyak dipermukaan memiliki daya serap energi matahari lebih besar daripada air laut. Oleh sebab itu, suhu air laut meningkat. Hal tersebut dapat membahayakan organisme yang hidup di perairan dangkal, terutama di daerah tropis (Hutagalung 1990: 22).

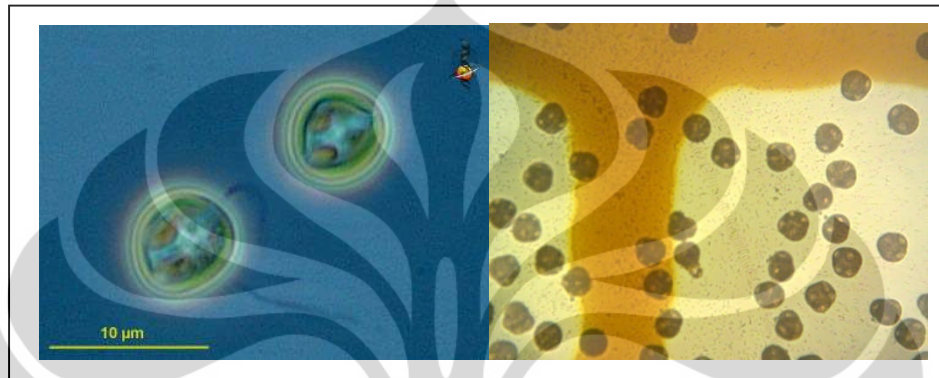
2.5 *Pavlova* sp.

Pavlova sp. merupakan mikroalga laut uniseluler (Niu *dkk.* 2007: 17). *Pavlova* sp. diberi nama dari ballerina Anna Pavlov karena berenang dengan anggun (LeRoi 2002: 3). *Pavlova* sp. memiliki flagel yang tidak sama panjang, haptonema pendek, dan tubuh tidak bersisik (Green dan Jordan 1994 *dalam* Green dan Leadbeater 1994: 12--13). Flagel dengan ukuran lebih panjang akan mengarah ke depan saat berenang dan memiliki sisik seperti tombol yang berderet serta rambut non-tubular. Flagel yang berukuran lebih pendek tereduksi dan bersisik (Green dan Hori 1994 *dalam* Green dan Leadbeater 1994: 63--64). *Pavlova* sp. memiliki sifat unik, yaitu dapat berubah dari non motil pada medium agar menjadi motil ketika dipindahkan ke medium cair (Billiard 1994 *dalam* Green dan Leadbeater 1994: 168--169).

Pavlova sp. memiliki haptonema pendek yang tidak dapat melengkung (Patterson dan Andersen 2006: 2). Haptonema hanya dimiliki oleh mikroalga dari divisi Haptophyta. Haptonema merupakan struktur mirip flagelum yang berfungsi untuk mengumpulkan makanan (Botany (?): 1). Selain untuk mengumpulkan

makanan, haptonema juga berfungsi untuk menghindari tubrukan dan menempel pada substrat. Laju pertumbuhan *Pavlova* sp. yang cepat, mudah dicerna, dan mengandung nutrisi tinggi menyebabkan *Pavlova* sp. merupakan makanan dengan berkualitas tinggi untuk zooplankton herbivora (Graham dan Wilcox 2000: 180--181).

Klasifikasi dari *Pavlova* sp. adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 *Pavlova* sp.

[Sumber: Patterson & Andersen 2006 dan dokumen pribadi]

Divisi : Haptophyta
 Kelas : Prymnesiophyceae
 Subkelas : Pavlovophycidae
 Bangsa : Pavloales
 Suku : Pavlovaceae
 Marga : *Pavlova*
 Jenis : *Pavlova* sp.

(Green dan Jordan 1994 dalam Green dan Leadbeater 1994: 7; Niu dkk. 2007: 17).

Mikroalga memiliki 4 fase pertumbuhan, yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian. Fase lag merupakan fase saat sel sedang beradaptasi dengan lingkungan. Pada fase ini terjadi pembelahan sel yang sangat lambat. Fase eksponensial menunjukkan pembelahan sel dengan kecepatan tetap dan maksimal. Pembelahan sel yang menurun akibat berkurangnya nutrisi terjadi pada fase stasioner. Sedangkan fase kematian merupakan fase saat sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup. Hal tersebut disebabkan karena nutrisi yang tersedia sudah mulai menipis bahkan habis (Madigan dkk. 2009: 149).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 LOKASI DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian dilakukan di laboratorium ekotoksikologi P2O LIPI, Ancol. Penelitian berlangsung selama sembilan bulan dari bulan Juli 2009 hingga Maret 2010.

3.2 BAHAN

3.2.1 Biota uji

Biota uji yang digunakan adalah mikroalga *Pavlova* sp. *Pavlova* sp. yang digunakan berumur empat hari yang dipelihara di laboratorium ekotoksikologi P2O LIPI, Ancol.

3.2.2 Medium yang digunakan

Medium yang digunakan adalah medium Walne yang ditambahkan EDTA untuk kultur *Pavlova* sp., sedangkan untuk pengujian menggunakan medium Walne non-EDTA.

3.2.3 Bahan Kimia

Bahan kimia yang digunakan adalah asam nitrat (NaNO_3), aseton, lugol iodine, teepol, dan air laut saring yang sudah diautoclaved.

3.2.4 Bahan habis pakai

Bahan habis pakai yang digunakan adalah kertas saring *Whatmann* 40 dan label.

3.3 PERALATAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antara lain, Erlenmeyer 250 mL [Pyrex], selang aerasi, oven [Heraeus Instruments], pompa [SPX Robinair cooltech Vacuum Pump], pipet tetes [Brand 747720], mikropipet 5000 μ l [Bench Mate model ASBM-5000], mikropipet 1000 μ l [Bench Mate model ASBM-1000], mikropipet 200 μ l [Slamed model VE-200], *bulb*, botol sampel, timbangan digital [Sartorius model BP 610], autoklaf, *Beaker glass* 1L [Pyrex], gelas ukur [Pyrex], kamar hitung [*Improved Neubauer* Assistent Germany], pipet *tips*, buku catatan, pena, kamera digital, alat pencacah [*Hand tally Counter*], DO meter [Yellow Springs Instrument (YSI) model 55/50 FT], PH meter [Eijkelkamp 18.26], Refraktometer [Fisherbrand AST-05], dan Labu ukur [Pyrex].

3.4 CARA KERJA

Tahapan kerja penelitian terdiri dari pengambilan sedimen, persiapan alat, pembuatan medium kultur, proses penumbuhan kultur *Pavlova* sp., pembuatan kurva pertumbuhan *Pavlova* sp., uji toksisitas sedimen, pengukuran kualitas sedimen, dan analisis data (Lampiran 1).

3.4.1 Pengambilan Sedimen

Sampel sedimen yang digunakan dalam penelitian berasal dari sedimen tercemar minyak di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan wadah dan sendok pengaduk yang terbuat dari *stainless steel*. Pengambilan dilakukan dengan 3 kali ulangan dalam setiap stasiun perlakuan. Sampel sedimen diambil dari lapisan permukaan hingga mencapai ketebalan 2--5 cm. Sampel kemudian dicampur menjadi satu hingga homogen.

Kultur tunggal yang digunakan adalah bakteri *Alcanivorax* TE 9, sedangkan konsorsium yang digunakan adalah *Alcanivorax* TE 9, *Bordetella* sp., dan *Pseudomonas balearica*. Penelitian menggunakan pupuk *Osmocote*.

Perlakuan terhadap sedimen meliputi:

| Sedimen | Perlakuan |
|---------|--|
| A | Sedimen yang ditambahkan minyak (sebagai kontrol) |
| B | Sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan kultur tunggal bakteri |
| C | Sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan konsorsium bakteri |
| D | Sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan pupuk |
| E | Sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan kultur tunggal bakteri dan pupuk |
| F | Sedimen tercemar minyak yang dibioremediasi dengan penambahan konsorsium bakteri dan pupuk |

3.4.2 Persiapan alat

Alat yang akan digunakan dalam pengujian harus dicuci dan disterilisasi (Lampiran 2). Peralatan gelas dicuci dengan menggunakan deterjen non fosfat (*teepol*) kemudian dibilas dengan air ledeng dan dibiarkan hingga mengering. Setelah kering, peralatan gelas dicuci dengan asam nitrat 10% dan dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali kemudian dikeringkan. Pencucian dengan asam nitrat bertujuan untuk menghilangkan sisa logam berat. Peralatan gelas kemudian dicuci kembali dengan aseton lalu dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali dan dikeringkan. Pencucian dengan aseton bertujuan untuk menghilangkan bahan organik yang menempel pada peralatan gelas tersebut. Peralatan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam oven untuk dikeringkan. Khusus labu Erlenmeyer, setelah dicuci dengan aseton dan dikeringkan, ditutup dengan aluminium foil dan disterilisasi menggunakan autoklaf selama 15 menit dengan tekanan 15 psi hingga mencapai suhu 121°C. Setelah disterilisasi dengan autoklaf, labu Erlenmeyer tersebut dimasukkan ke dalam oven untuk dikeringkan (ACCPMS-II 1995: 14).

3.4.3 Pembuatan medium kultur *Pavlova* sp.

Medium kultur yang digunakan merupakan campuran antara air laut dengan media Walne yang sudah ditambahkan EDTA (Lampiran 3). Air laut yang akan digunakan disaring terlebih dahulu dengan menggunakan kertas saring *Whatmann* 40. Air laut yang telah disaring kemudian disterilisasi dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi selama 15 menit. Setelah suhu air laut menurun hingga suhu kamar, air laut tersebut ditambahkan media Walne dan EDTA (ACCPMS II 1995: 15).

Media Walne yang digunakan untuk media pertumbuhan mikroalga memiliki kandungan zat kimia sebagai berikut:

Tabel 3.1 Daftar kandungan zat kimia dalam Media Walne (CCAP 2002: 1)

| Kandungan Zat Kimia | |
|---|--------------------------------------|
| ZnCl ₂ | Vitamin H |
| CoCl ₂ .6H ₂ O | Akuades |
| (NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂ .4H ₂ O | FeCl ₃ .6H ₂ O |
| CuSO ₄ .SH ₂ O | MnCl ₂ .4H ₂ O |
| Akuades | H ₃ BO ₃ |
| Vitamin B ₁₂ | NaNO ₃ |
| Vitamin B ₁ | |

Kultur mikroalga dipelihara di dalam media Walne yang ditambahkan EDTA, sedangkan dalam uji toksisitas media yang digunakan adalah media Walne non EDTA (ASTM 2006: 15). *Ethylenediaminetetraacetic acid* (EDTA) digunakan dalam medium kultur *Pavlova* sp. untuk mengikat ion-ion logam berat (Boyle 2004: 2).

3.4.4 Pembuatan Kultur *Pavlova* sp.

Pembuatan kultur *Pavlova* sp. dilakukan setiap 7 hari. Kultur *Pavlova* sp. dibuat sebanyak 100 mL. Langkah pertama adalah dengan menghitung *Initial Density* (ID) kultur yang lama dengan tiga ulangan. Perhitungan yang didapat dirata-rata kemudian dimasukkan ke dalam rumus:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

Keterangan:

V_1 = Volume *Pavlova* sp.

N_1 = *Initial Density* ($\times 10^6$)

V_2 = Volume kultur yang akan dibuat

N_2 = Kepadatan *Pavlova* sp. yang akan dibuat (10^6)

Volume total kultur yang akan dibuat adalah 100 mL. Oleh karena itu, medium kultur yang dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer bersih adalah 100 mL dikurangi dengan volume *Pavlova* sp. (V_1). Langkah selanjutnya adalah menambahkan sebanyak V_1 mL *Pavlova* sp. ke dalam labu Erlenmeyer yang telah berisi medium kultur. Pembuatan kultur *Pavlova* sp. untuk pemeliharaan menggunakan media Walne yang telah ditambahkan EDTA, sedangkan untuk uji toksisitas menggunakan media Walne non EDTA.

3.4.5 Kurva Pertumbuhan Kultur *Pavlova* sp.

Kurva pertumbuhan *Pavlova* sp. dilakukan untuk mengetahui umur kultur saat mencapai fase eksponensial. Fase eksponensial adalah fase mikroalga telah beradaptasi dengan lingkungannya sehingga laju pertumbuhan mikroalga menjadi sangat cepat (Madigan *dkk.* 2009: 147). Umur kultur yang mencapai fase eksponensial dapat digunakan dalam uji toksisitas kronik.

Pavlova sp. dikultur dalam 100 mL air laut steril yang telah ditambahkan 0,1 mL media Walne yang telah dicampurkan EDTA. Pengamatan dilakukan setiap hari dengan cara mengambil 0,9 mL kultur dan dimasukkan ke dalam botol sampel serta ditambahkan 0,1 mL lugol yang berfungsi sebagai bahan pengawet. Sampel kemudian dihitung dengan menggunakan *Haemocytometer* di bawah mikroskop dengan bantuan alat pencacah (*Hand Tally Counter*). Penghitungan kultur dilakukan dengan 3 kali ulangan dan setiap ulangan dihitung sebanyak 2 kali.

3.4.6. Uji Toksisitas Sedimen

Uji toksisitas dilakukan untuk mengetahui toksisitas sedimen tercemar minyak terhadap pertumbuhan *Pavlova* sp. Persiapan sedimen dilakukan dengan metode Puget Estuary Sound Programme (PSEP) (1995) dan pelaksanaan uji dilakukan berdasarkan ASTM (2006). Langkah pertama adalah menimbang sedimen basah dari masing-masing perlakuan seberat 18 g. Sedimen kemudian ditambahkan 900 mL air laut steril di dalam gelas Beaker 1000 mL dan diaduk dengan batang pengaduk hingga tercampur rata. Setelah didiamkan selama 4 jam, lapisan atas air (*overlying water*) dituangkan ke dalam Erlenmeyer 250 mL sebanyak 100 mL dengan 3 kali ulangan untuk masing-masing perlakuan. Pendiaman sedimen selama 4 jam berfungsi agar sedimen mengendap dengan sempurna.

Kontrol dibuat hanya dengan memasukkan 100 mL air laut steril ke dalam Erlenmeyer 250 mL dengan 3 kali ulangan. Kemudian 0,1 mL media Walne non EDTA ditambahkan ke dalam masing-masing Erlenmeyer yang berisi air sedimen dan kontrol. Sebanyak 1 mL kultur *Pavlova* sp. dengan kepadatan 1×10^6 sel/mL diinokulasikan ke dalam setiap Erlenmeyer yang berisi 100 mL larutan uji tersebut dan ke dalam 100 mL kontrol yang hanya berisi air laut sehingga kepadatan *Pavlova* sp. yang ada di dalam Erlenmeyer adalah 1×10^4 sel/mL. Kemudian seluruh Erlenmeyer ditutup dengan *aluminium foil* dan diatur secara acak di atas meja yang diberi pencahayaan secara kontinyu di bawah lampu neon 40 watt (Lampiran 4).

Uji dilakukan selama 4 hari atau 96 jam dan dihomogenkan dengan cara digoyang-goyangkan sebanyak 2 kali sehari agar tidak ada yang mengendap. Setiap hari posisi Erlenmeyer diacak agar mendapatkan cahaya secara merata. Perhitungan dilakukan pada hari ke-4 (96 jam) dengan cara mengambil 0,9 mL larutan dari masing-masing Erlenmeyer dan dimasukkan ke dalam botol sampel serta ditambahkan 0,1 mL larutan lugol. Larutan lugol yang ditambahkan berfungsi sebagai pengawet. Kemudian masing-masing larutan di dalam botol sampel dihitung dengan *Haemocytometer* di bawah mikroskop dan dengan bantuan alat pencacah (*Hand tally Hand Counter*). Perhitungan dilakukan dengan

dua ulangan untuk tiap Erlenmeyer. Uji dapat diterima jika kepadatan sel di dalam kontrol mencapai lebih dari 2×10^5 sel/mL.

Setelah penghitungan jumlah sel pada masing-masing perlakuan dan kontrol selesai dilakukan, kemudian dilakukan perhitungan presentase perangsangan ($S = stimulation$) atau penghambatan ($I = inhibition$) pertumbuhan sel mikroalga terhadap kontrol. Perhitungan presentase perangsangan dan penghambatan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$I\% = \frac{T - C}{C} \times 100 \quad \text{atau} \quad S\% = \frac{C - T}{C} \times 100$$

Keterangan:

I % = Persentase penghambatan pertumbuhan (*inhibition*)

S % = Persentase perangsangan pertumbuhan (*stimulation*)

C = Rata-rata jumlah sel dalam larutan kontrol

T = Rata-rata jumlah sel dalam larutan perlakuan

(ASTM 2006: 18).

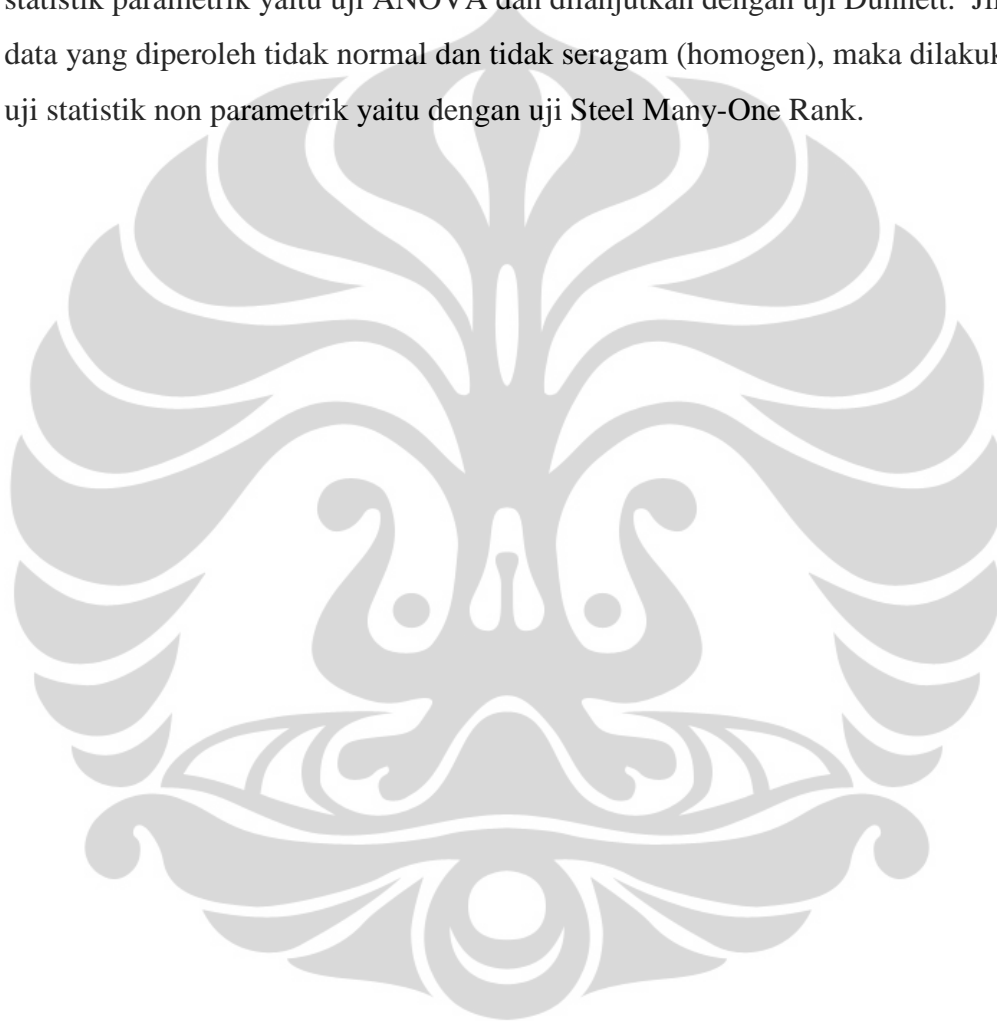
3.4.7 Pengukuran Kualitas Larutan Sedimen

Larutan sedimen yang digunakan diuji kualitasnya. Pengukuran kualitas larutan sedimen dilakukan di laboratorium sebelum uji toksisitas dimulai. Parameter yang diukur adalah *Dissolved Oxygen* (DO), pH, suhu, salinitas, dan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH). Pengukuran DO menggunakan DO meter. Pengukuran pH dan suhu menggunakan pH meter, sedangkan pengukuran salinitas menggunakan refraktometer. Data pengukuran kandungan minyak (*Total Petroleum Hydrocarbon*) merupakan data sekunder dari laboratorium mikrobiologi dengan menggunakan metode gravimetri.

3.5 PENYUSUNAN, PENGOLAHAN, DAN ANALISIS DATA

Data yang diperoleh disusun dalam bentuk tabel kemudian dibandingkan dengan kontrol. Analisis data dilakukan secara kuantitatif. Data masing-masing perlakuan dirata-ratakan, kemudian dihitung dengan menggunakan program

TOXSTAT yang berbasis ANOVA. Data kepadatan *Pavlova* sp. yang diperoleh dimasukkan ke dalam program TOXSTAT dan ditransformasikan ke dalam log berbasis 10 (y) terlebih dahulu. Kemudian data diuji dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk untuk mengetahui normalitas data dan uji Bartlett untuk mengetahui keseragaman data (homogenitas) di dalam program TOXSTAT. Apabila data yang diperoleh normal dan seragam (homogen), maka dilanjutkan dengan uji statistik parametrik yaitu uji ANOVA dan dilanjutkan dengan uji Dunnett. Jika data yang diperoleh tidak normal dan tidak seragam (homogen), maka dilakukan uji statistik non parametrik yaitu dengan uji Steel Many-One Rank.



BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 KURVA PERTUMBUHAN *Pavlova* sp.

Pertumbuhan *Pavlova* sp. diamati dengan dicacah jumlah sel pada kultur di penelitian. Kultur dilakukan pada lingkungan buatan yang kondisinya sesuai untuk mikroalga agar dapat tumbuh. Kultur harus dikondisikan menyerupai habitat asli dari mikroalga yang dikultur (Barsanti dan Gualtieri 2006: 211). Hasil pencacahan sel *Pavlova* sp. dapat dilihat pada Table 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Jumlah Sel *Pavlova* sp.

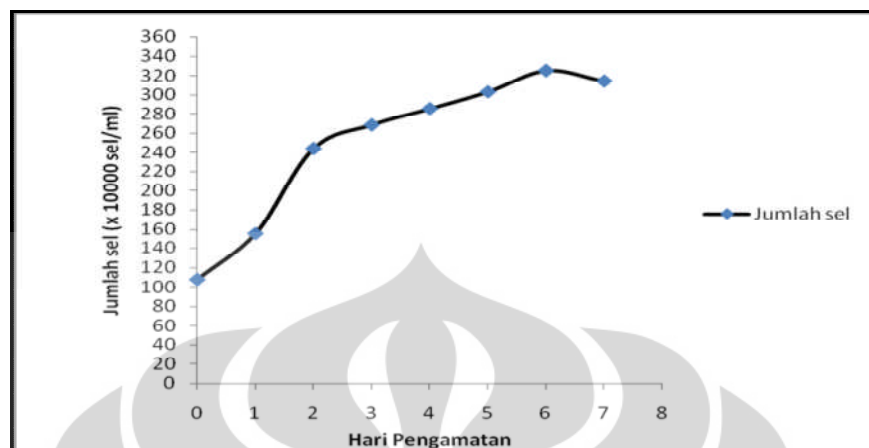
| Hari | Pengulangan (x10 ⁴ sel/mL) | | | Rata-rata (x10 ⁴ sel/mL) | % pertumbuhan |
|------|--|-----|-----|--|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| 0 | 98 | 134 | 75 | 107,5 | - |
| | 121 | 162 | 55 | | |
| 1 | 155 | 122 | 164 | 155,33 | 44,49 |
| | 155 | 143 | 189 | | |
| 2 | 393 | 135 | 188 | 244,17 | 57,19 |
| | 390 | 181 | 178 | | |
| 3 | 267 | 316 | 220 | 268,5 | 9,96 |
| | 248 | 328 | 232 | | |
| 4 | 292 | 276 | 312 | 285,33 | 6,27 |
| | 286 | 236 | 310 | | |
| 5 | 352 | 299 | 277 | 303,17 | 6,25 |
| | 318 | 340 | 233 | | |
| 6 | 340 | 290 | 307 | 325,33 | 7,31 |
| | 363 | 318 | 334 | | |
| 7 | 303 | 297 | 330 | 314,5 | 3,33 |
| | 327 | 328 | 302 | | |

Hasil pencacahan jumlah sel per satuan waktu diplotkan pada sumbu aksis sehingga akan menghasilkan kurva pertumbuhan. Kurva pertumbuhan dapat memberikan penjelasan mengenai siklus pertumbuhan *Pavlova* sp. (Madigan *dkk.* 2009: 149). Pencacahan dilakukan setiap hari dengan tiga kali pengulangan. Tabel 4.1 menunjukkan peningkatan jumlah sel *Pavlova* sp. dari hari ke-0 hingga hari ke-1 sebanyak 44,49 %, sedangkan hari ke-1 hingga hari ke-2 menunjukkan kenaikan jumlah sel sebesar 57,19 %. Jumlah sel *Pavlova* sp. berturut-turut dari hari ke-0 sampai hari ke-2 adalah 107,5 x 10⁴ sel/mL, 155,33 x 10⁴ sel/mL, dan

268,5 x 10⁴ sel/mL. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada hari ke-0 hingga hari ke-2 merupakan fase eksponensial dari *Pavlova* sp. Pada fase ini terjadi pembelahan sel secara cepat, sehingga jumlah sel *Pavlova* sp. pada hari ke-2 meningkat sebesar 1,5 kali dibandingkan dengan hari ke-1. Menurut Yuan-Kun Lee dan Hui Shen (2004 dalam Richmond 2004: 48), pada fase eksponensial, sel yang diinokulasikan telah beradaptasi dan mulai berkembang dan membelah secara cepat. Fase Lag atau fase adaptasi dari *Pavlova* sp. tidak terlihat pada kurva pertumbuhan pada Gambar 4.1. Fase Lag dari *Pavlova* sp. diduga terjadi pada *stock culture*. Fase Lag yaitu fase adaptasi dengan lingkungan sekitar setelah diinokulasikan ke dalam medium baru (Madigan *dkk.* 2009: 149). Setelah hari ke-2 sampai dengan hari ke-6 pertumbuhan sel *Pavlova* sp. melambat. Jumlah sel *Pavlova* sp. pada hari ke-3 hingga hari ke-6 berturut-turut adalah 268,5 x 10⁴ sel/mL, 285,33 x 10⁴ sel/mL, 303,17 x 10⁴ sel/mL, dan 325,33 x 10⁴ sel/mL. Pertumbuhan sel *Pavlova* sp. pada hari ke-2 hingga ke-3 meningkat sebesar 9.96 %, pada hari ke-3 hingga ke-4 sebesar 6.27 %, pada hari ke-4 hingga hari ke-5 sebesar 6.25 %, sedangkan pada hari ke-5 hingga hari ke-6 sebesar 7.31 %. Hal tersebut disebabkan oleh nutrisi yang tersedia mulai berkurang.

Jumlah sel tertinggi (*peak*) dicapai pada hari ke-6 sebesar 325,33 x 10⁴ sel/mL. Penurunan jumlah sel terjadi pada hari ke-6 hingga hari ke-7 sebesar 3,33 %. Jumlah sel *Pavlova* sp. pada hari ke-7 sebesar 314,5 x 10⁴ sel/mL. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh nutrisi pada medium yang mulai menipis setelah hari ke-6 atau kapasitas daya tampung optimalnya sudah terlampaui sehingga terjadi kematian sel secara massal. Menurut Graham dan Wilcox (2000: 557) serta Qiang Hu (2004 dalam Richmond 2004: 87), pertumbuhan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi makro yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan nutrisi mikro yaitu besi (Fe). Nitrogen merupakan unsur utama dalam pembentukan struktur dan fungsional protein. Fosfor dibutuhkan untuk pembentukan struktur dan komponen fungsional yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroalga. Besi berperan penting dalam proses metabolisme, seperti fotosintesis, respirasi, fiksasi nitrogen, dan sintesis DNA (Qiang Hu 2004 dalam Richmond 2004: 85--87). Data hasil pencacahan *Pavlova*

sp. disediakan dalam bentuk kurva pertumbuhan. Kurva pertumbuhan *Pavlova* sp. dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva Pertumbuhan *Pavlova* sp.

4.2 KUALITAS AIR LARUTAN UJI

Parameter kualitas air larutan uji yang diukur yaitu *Dissolved oxygen* (DO), pH, suhu, dan salinitas. Pengukuran DO menggunakan DO meter, sedangkan pengukuran pH dan suhu menggunakan pH meter. Salinitas diukur menggunakan refraktometer. Data hasil pengukuran kualitas air larutan uji dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kualitas Air Larutan Uji

| Perlakuan | DO (mg/L) | pH | Suhu (°C) | Salinitas (ppt) |
|------------------|-----------|------|-----------|-----------------|
| Kontrol air laut | 5,21 | 8,67 | 27,5 | 30 |
| A | 4,49 | 8,63 | 26,87 | 30,33 |
| B | 4,56 | 8,65 | 26,93 | 31 |
| C | 4,67 | 8,63 | 26,93 | 31,33 |
| D | 4,7 | 8,64 | 26,97 | 30,67 |
| E | 4,64 | 8,58 | 26,93 | 30 |
| F | 4,6 | 8,59 | 27,03 | 30,5 |

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai DO berkisar antara 4,49--4,7 mg/L, kisaran pH antara 8,58--8,67 mg/L, suhu berkisar antara 26,87--27,03 °C, dan kisaran salinitas antara 30--31,33 ppt. Nilai tersebut masih termasuk nilai

yang dapat ditoleransi oleh mikroalga laut. Menurut Hindarti (1997: 175), Perkins (1974 lihat *Efriyeldi* 1999: 3), Ismail *dkk.* (2001: 147), dan Environmental Protecting Department (2009: 2) berturut-turut DO, pH, dan suhu, dan salinitas yang sesuai untuk pertumbuhan mikroalga secara umum adalah lebih besar dari 4 mg/L; 6.00--9.00; dan 25--32°C. Sedangkan salinitas yang sesuai adalah 30--35 ppt (Barsanti dan Gualtieri 2006: 225).

4.3. PERTUMBUHAN *Pavlova* sp. PADA SEDIMEN TERCEMAR MINYAK

Hasil perhitungan kepadatan *Pavlova* sp. terhadap perlakuan yang diberikan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kepadatan *Pavlova* sp.

| Perlakuan | Pengulangan | Perhitungan (x 10 ⁴ sel/mL) | Rata-rata (x 10 ⁴ sel/mL) |
|------------------|-------------|---|---|
| Kontrol air laut | 1 | 50,75 | 63,75 |
| | 2 | 60 | |
| | 3 | 80,5 | |
| A | 1 | 154 | 108,17 |
| | 2 | 73 | |
| | 3 | 97,5 | |
| B | 1 | 47 | 51,58 |
| | 2 | 46,5 | |
| | 3 | 61,25 | |
| C | 1 | 79,75 | 72,5 |
| | 2 | 68,75 | |
| | 3 | 69 | |
| D | 1 | 94 | 86,08 |
| | 2 | 68,25 | |
| | 3 | 96 | |
| E | 1 | 63 | 53,67 |
| | 2 | 40,25 | |
| | 3 | 57,75 | |
| F | 1 | 38,25 | 41,83 |
| | 2 | 37,5 | |
| | 3 | 49,75 | |

Hasil perhitungan kontrol menunjukkan data yang dapat diterima karena memiliki kepadatan sel *Pavlova* sp. lebih dari 20 x 10⁴ sel/mL setelah 96 jam pemaparan. Tabel 4.3 di atas menunjukkan terjadi penurunan jumlah sel pada perlakuan B, E, dan F yang dibandingkan dengan kontrol. Jumlah sel *Pavlova* sp. berturut-turut pada perlakuan B, E, dan F adalah 51,58 x 10⁴ sel/mL, 53,67 x 10⁴

sel/mL, dan $41,83 \times 10^4$ sel/mL. Jumlah sel terendah terdapat pada perlakuan F, yaitu sebesar $41,83 \times 10^4$ sel/mL. Peningkatan jumlah sel *Pavlova* sp. terjadi pada perlakuan A, C, dan D. Jumlah sel *Pavlova* sp. pada perlakuan A, C, dan D berturut-turut adalah $108,17 \times 10^4$ sel/mL, $72,5 \times 10^4$ sel/mL, dan $86,08 \times 10^4$ sel/mL. Jumlah sel *Pavlova* sp. paling tinggi terdapat pada perlakuan A, yaitu sebesar $108,17 \times 10^4$ sel/mL. Persentase penghambatan dan perangsangan pertumbuhan *Pavlova* sp. terhadap sedimen tercemar minyak dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Penghambatan dan perangsangan pertumbuhan *Pavlova* sp. terhadap sedimen tercemar minyak

| Perlakuan | Rata-rata Jumlah Sel ($\times 10^4$ sel/mL) | Penghambatan Pertumbuhan (%) | Perangsangan Pertumbuhan (%) |
|------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| Kontrol air laut | 63,75 | - | - |
| A | 108,17 | - | 69,68 |
| B | 51,58 | 19,09 | - |
| C | 72,5 | - | 13,73 |
| D | 86,08 | - | 35,03 |
| E | 53,67 | 15,81 | - |
| F | 41,83 | 34,38 | - |

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan sel sebesar 19,09 % pada perlakuan B yang dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan E menghambat sel *Pavlova* sp. sebesar 15,81 %, sedangkan perlakuan F menghambat sel *Pavlova* sp. sebesar 34,38 %. Perangsangan pertumbuhan *Pavlova* sp. terbesar adalah pada perlakuan A yaitu sebesar 69,68 % yang dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan C merangsang pertumbuhan *Pavlova* sp. sebesar 13,73 %, sedangkan perlakuan D merangsang pertumbuhan *Pavlova* sp. sebesar 35,03 %.

Konsentrasi minyak yang dihitung dalam tiap perlakuan yaitu *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH). *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) adalah istilah yang digunakan untuk menyebutkan sebagian besar senyawa kimia yang berasal dari minyak mentah. TPH merupakan gabungan dari hidrokarbon yang tersusun atas hidrogen dan karbon. Umumnya produk TPH bersifat mudah terbakar. Beberapa merupakan cairan berwarna terang yang mudah menguap,

sedangkan sisanya berupa cairan tebal dan berwarna gelap yang tidak dapat menguap. Jumlah TPH dapat digunakan sebagai indikator terjadinya pencemaran minyak tetapi tidak dapat memberikan informasi yang cukup mengenai dampak dari pencemaran minyak terhadap makhluk hidup (Todd *dkk.* 1999: 1--2). Nilai TPH juga menunjukkan keberhasilan suatu proses bioremediasi minyak bumi yang dilihat dari besarnya kandungan hidrokarbon (unsur C dan H) di dalam minyak bumi (Suardana *dkk.* 2002: 4)

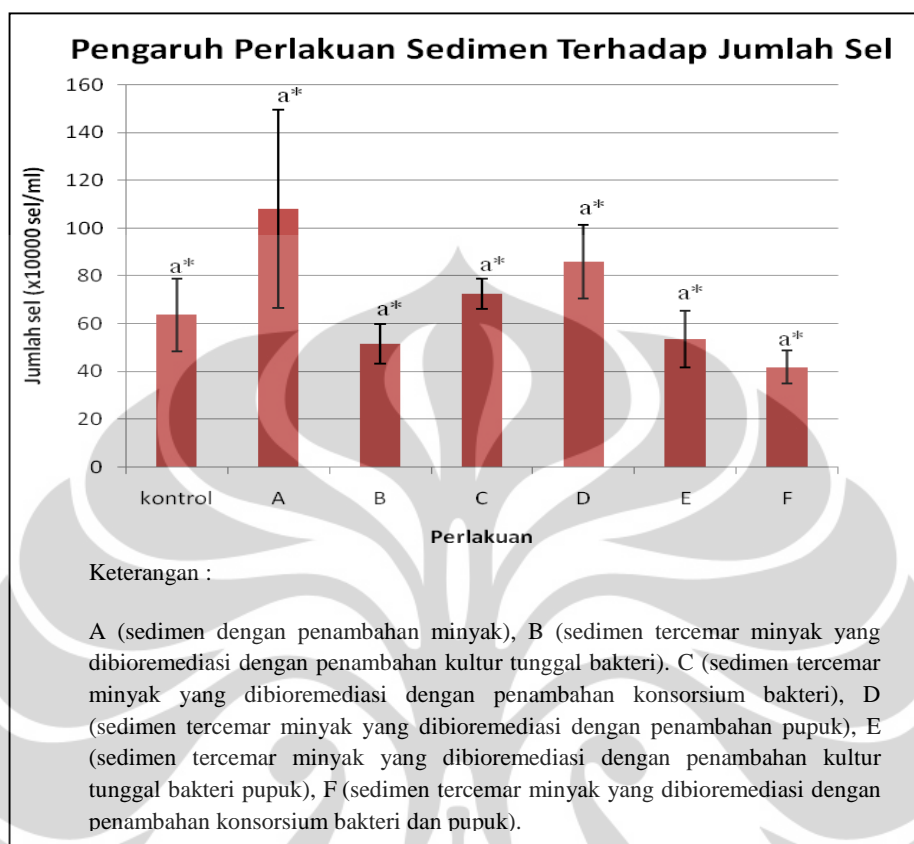
Tabel 4.5 Kadar TPH dalam Berbagai Perlakuan

| Perlakuan | Kandungan TPH (ppm) |
|-----------|---------------------|
| A | 700 |
| B | 1033,33 |
| C | 833,33 |
| D | 700 |
| E | 366,67 |
| F | 500 |

Kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) paling rendah terdapat pada perlakuan E, sedangkan yang tertinggi terdapat pada perlakuan B. Data hasil perhitungan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) merupakan data sekunder yang didapat dari laboratorium mikrobiologi P20-LIPI, Ancol. Berdasarkan hasil perhitungan kandungan residu *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dan jumlah sel, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.2. Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh perlakuan terhadap pertumbuhan sel *Pavlova* sp. Huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata atau signifikan dari perlakuan terhadap pertumbuhan *Pavlova* sp. Sedangkan perbedaan yang nyata atau signifikan perlakuan terhadap pertumbuhan sel *Pavlova* sp. diberi tanda dengan huruf yang berbeda.

Gambar 4.2 menunjukkan penurunan jumlah sel pada perlakuan B, E, dan F yang dibandingkan dengan kontrol. Jumlah sel pada kontrol sebesar $63,75 \times 10^4$ sel/mL. Jumlah sel *Pavlova* sp. pada perlakuan B, E, dan F berturut-turut adalah $51,58 \times 10^4$ sel/mL, $15,81 \times 10^4$ sel/mL, dan $41,83 \times 10^4$ sel/mL. Sedangkan perlakuan A, C, dan D menunjukkan peningkatan jumlah sel *Pavlova* sp. Jumlah

sel *Pavlova* sp. pada perlakuan A, C, dan D berturut-turut adalah $108,17 \times 10^4$ sel/mL, $72,5 \times 10^4$ sel/mL, dan $86,08 \times 10^4$ sel/mL.



Gambar 4.2 Pertumbuhan *Pavlova* sp. pada pemaparan sedimen tercemar minyak dengan berbagai perlakuan.

Hasil perhitungan dengan menggunakan program TOXSTAT dapat dilihat pada Lampiran 5. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa data kepadatan *Pavlova* sp. berdistribusi normal. Uji yang digunakan untuk mengetahui normalitas data adalah uji Shapiro-Wilk. Lampiran 6 menunjukkan bahwa data kepadatan *Pavlova* sp. bersifat homogen. Homogenitas data diuji dengan menggunakan uji Bartlett. Perhitungan kemudian dilanjutkan dengan menggunakan uji statistik parametrik, yaitu ANOVA. Hasil perhitungan ANOVA dapat dilihat Lampiran 7.

Hasil menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan *Pavlova* sp. Perhitungan kemudian dilanjutkan dengan menggunakan uji Dunnett. Uji Dunnett menunjukkan perlakuan yang menyebabkan perbedaan pertumbuhan. Hasil perhitungan dengan menggunakan uji Dunnett dapat dilihat pada Lampiran 8 dan Lampiran 9.

Hasil perhitungan uji Dunnett (Lampiran 8 dan Lampiran 9) menunjukkan bahwa perlakuan sedimen tercemar minyak tidak berpengaruh secara nyata atau signifikan terhadap pertumbuhan *Pavlova* sp. Hal tersebut ditunjukkan dengan tidak adanya tanda bintang (*) pada hasil perhitungan uji Dunnett dengan menggunakan program TOXSTAT pada Lampiran 8.

Penurunan dan peningkatan jumlah sel yang terjadi tidak disebabkan oleh perlakuan yang diberikan. Penurunan jumlah sel *Pavlova* sp. dapat disebabkan oleh akumulasi material toksik yang terdapat pada sedimen. Delille *dkk.*(2002: 124) mengatakan bahwa material yang bersifat tidak toksik akan didegradasi terlebih dahulu, sebaliknya material yang bersifat toksik akan tetap ada untuk waktu yang lama. Selain itu, penurunan jumlah sel *Pavlova* sp. dapat disebabkan oleh kurangnya nutrisi yang tersedia. Menurut Rhykerd *dkk.* (1995 lihat Essien dan Antai 2005: 570), ketersediaan nitrogen dan fosfor relatif rendah pada sedimen yang terkontaminasi minyak bumi. Nitrogen dan fosfor merupakan nutrisi penting yang berperan sebagai sumber karbon untuk perkembangan biomassa mikroalga.

Penghambatan pertumbuhan sel *Pavlova* sp. diduga disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak diukur dalam penelitian ini. Faktor-faktor tersebut antara lain logam berat dan pestisida. Logam berat merupakan unsur logam yang memiliki berat molekul tinggi. Logam berat dalam kadar rendah dapat membahayakan makhluk hidup, termasuk manusia. Logam berat yang sering dijumpai di lingkungan antara lain Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (Am. Geol. Inst. 1976 dalam Notohadiprawiro 2006: 1).

Logam berat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial merupakan logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah sedikit, tetapi dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek toksik. Contoh logam berat esensial adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain sebagainya. Sedangkan logam berat non esensial adalah logam yang belum diketahui manfaatnya bagi tubuh. Logam berat esensial dapat bersifat toksik, contohnya adalah Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain. Daya racun logam berat non esensial akan menghalangi kerja enzim sehingga proses metabolisme terganggu.

Pencemaran logam berat dapat berasal dari faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam yang dapat menyebabkan pencemaran logam berat yaitu kegiatan gunung berapi dan kebakaran hutan. Sedangkan faktor manusia yang menyebabkan pencemaran logam berat adalah pembakaran minyak bumi, pertambangan, peleburan, proses industri, kegiatan pertanian, peternakan dan kehutanan, dan limbah buangan termasuk rumah tangga (Putra 2006: 4). Logam berat bersifat tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan (Darmono 1995: 19). Menurut Ismail *dkk.* (2001: 150), pertumbuhan *Chaetoceros calstrans* dan *Isochrysis galbana* terhambat 50 % pada konsentrasi kadmium (Cd) sebesar 0.06 mg/l. Sedangkan pertumbuhan *Tetraselmis tetrahele* dan *Tetraselmis sp.* terhambat 50 % pada konsentrasi kadmium (Cd) sebesar 5.6 mg/l. Menurut WHO/FHO, nilai ambang batas kadar kadmium (Cd) di perairan adalah 0,2 ppm (Djarismawati dan Nainggolan 1991: 2).

Faktor lain yang memengaruhi pertumbuhan *Pavlova sp.* adalah pestisida. Pestisida berasal dari kata *pest* yang berarti hama dan sida yang berasal dari kata *caedo* yang berarti pembunuh (Oginawati 2003 dalam Soemirat 2003: 137). Pestisida merupakan bahan beracun yang digunakan untuk membunuh organisme yang mengganggu tumbuhan, ternak, dan sebagainya dengan tujuan untuk kesejahteraan manusia (Tarumingkeng 2008: 2). Pestisida yang digunakan akan terbawa ke dalam laut melalui sungai, aliran air dari daratan, dan pembuangan. Pestisida di perairan laut kemudian akan diserap oleh mikroalga dan masuk ke dalam rantai makanan (Castro dan Huber 2008: 409).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Sedimen tercemar minyak tidak secara signifikan memengaruhi pertumbuhan *Pavlova* sp.

5.2. SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan konsentrasi minyak bumi yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan pengukuran konsentrasi unsur hara, seperti nitrat dan fosfat dan konsentrasi logam berat dalam tiap sedimen yang tercemar minyak untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari faktor-faktor tersebut selain kandungan TPH.
3. Perlu dilakukan penelitian terhadap biota yang hidup di dalam sedimen untuk mengetahui pengaruh langsung dari sedimen tercemar minyak.

DAFTAR ACUAN

- Alden, A. 2010. Sediment grain size categories. (?): 2 hlm.
http://geology.about.com/od/sediment_soil/a/sedimentsizes.htm. 13 Februari 2010, pk. 15.36.
- Asean Canada Corporate Program on Marine Science (ACCPMS) II. 1995.
Protocol For Sublethal Toxicity Test Using Tropical Marine Organisms Regional Workshop on Chronic Toxicity Testing. Burphal University of Marine Science, May 25 -- June 9.
- American Geological Institute. 1976. Dictionary of geological terms. *Dalam* Notohadiprawiro, T. 2006. *Logam berat dalam pertanian*. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta: 1--10.
- American Standard Testing Materials (ASTM). 2006. *Standart guide for conducting static 96-h toxicity testing with marine algae method E 12 18-19* dalam Annual Book of ASTM Standarts Water Environmental American Society For Testing and Material Technology vol.11.06. Phyladelphia-Pennsylvania.
- Barsanti, L. & P. Gualtieri. 2006. *Algae anatomy, biochemistry, and biotechnology*. Taylor & Francis Group, New York: 310 hlm.
- Bhattacharjee, D. & O.J. Fernando. 2008. Short term studies on effect of water soluble fractions of diesel on growth of *Chaetoceros calcitran*. *Paulsen. Res. J. Environ. Toxicol* 2: 17-22
- Billiard, C. 1994. Life cycles. *Dalam*. Green, J.C. & B.S.C. Leadbeater (eds.). 1994. *The haptophyte algae*. Oxford University Press Inc., New York: 167--186.
- Botany. tt. Flagella and haptonema. (?): 1 hlm.
<http://www.botany.ubc.ca/Biol320/ultra/flagmain.htm>. 27 Januari 2010, pk. 23.58.
- Boyle, K. 2004. Tolerance reassessment decisions completed by the lower toxicity pesticides chemical focus group. United States Environmental Protection Agency, Washington: 28 hlm.

- Castro, P. & M. E. Huber. 2007. *Marine biology*. 7th ed. McGraw-Hill Companies Inc., New York: xix + 459 hlm.
- Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP). 2002. Walne's medium for algal culture. 7 Agustus 2002: 1 hlm.
<http://www.ccap.ac.uk/media/documents/Walnes.pdf>. 26 Januari 2010, pk.16.36.
- Darmayati, Y. 2009. *Pemanfaatan bakteri laut dalam bioremediasi ekosistem pantai berpasir tercemar minyak: uji coba biostimulasi, bioaugmentasi dan kombinasinya dalam skala laboratorium dan demplot*. P2O LIPI, Jakarta: vii + 28 hlm.
- Darmono. 1995. *Logam dalam sistem biologi makhluk hidup*. UI Press, Jakarta: ix + 140 hlm.
- Delille, D., B. Delille & E. Pelletier. 2002. Effectiveness of bioremediation of crude oil contaminated subantarctic intertidal sediment: the microbial response. *Microbial Ecology* **44**: 118--126.
- Djarismawati & R. Nainggolan. 1991. *Kandungan kadmium (Cd) pada ikan laut segar dimuara baru, jakarta*. Departemen Kesehatan RI, Jakarta: 4 hlm.
- Efriyeldi. 1999. Sebaran spasial karakteristik sedimen dan kualitas air muara sungai bantan tengah, bengkalis kaitannya dengan budidaya kja (keramba jaring apung). *Jurnal Natur Indonesia* **11** (1): 85--92.
- El-Sheekh, M.M., A.H. El-Naggar, M.E.H. Osman & A. Haieder. 1999. Comparative studies on the green algae *Chlorella homosphaera* and *Chlorella vulgaris* with respect to oil pollution in the river Nile. *Water, Air, and Soil Pollution* **124**: 187--204.
- Environmental Protection Department. 2009. Marine water quality. 2 September 2009: 3 hlm. Giwangkara, E.S. 2007. Apa komposisi dari minyak bumi. 24 Mei 2007: 13 hlm. http://www.chem-is-try.org/tanya_pakar/apa_komposisi_dari_minyak_bumi/. 14 Januari 2010, pk. 13.58.
- Essien, J. P. & S.P. Antai. 2005. Negative effects of oil spillage on beach microalgae in Nigeria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **21**: 567--573.

- Giwangkara, E.S. 2007. Apa komposisi dari minyak bumi. 24 Mei 2007: 13 hlm. http://www.chem-is-try.org/tanya_pakar/apa_komposisi_dari_minyak_bumi/. 14 Januari 2010, pk. 13.58.
- Graham, L.E. & L.W. Wilcox. 2000. *Algae*. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River: xvi + G14 + L28 + TI5 + SI12 + 640 hlm.
- Green, J.C. & R.W.Jordan. 1994. Systematic history and taxonomy. *Dalam*. Green, J.C. & B.S.C. Leadbeater (eds.). 1994. *The haptophyte algae*. Oxford University Press Inc., New York: 1--21.
- Green, J.C. & T. Hori. 1994. Flagella and flagellar roots. *Dalam*. Green, J.C. & B.S.C. Leadbeater (eds.). 1994. *The haptophyte algae*. Oxford University Press Inc., New York: 47--71.
- Hindarti, D. 1997. Metode uji toksisitas. *Dalam. Metode analisis air laut, sedimen, dan biota*. Buku II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P3O LIPI). Jakarta: 171--184.
- Hutagalung, H.P. 1990. Pengaruh minyak mineral terhadap organisme laut. *Oseana* **15**(1): 13-27.
- Ismail, M., S.M. Phang, S.L. Tong & M.T. Brown. 2001. A modified toxicity testing method using tropical marine microalgae. *Environmental monitoring and assessment* **2002**(75): 145--154.
- LeRoi, J.M. 2002. Microalgae--minute jewels of the ocean. 24 Agustus 2002: 3 hlm. http://www.science-in-salamanca.tas.csiro.au/themes/microalgae/5045_3.jpg. 28 Januari 2010, pk. 00.19.
- Madigan, M.T., J.M.Martinko, P.V.Dunlap & D.P.Calrk. 2009. *Brock biology of microorganisms*. 12th ed. Pearson Education, Inc., San Fransisco: xxviii + 1061 hlm + A12 + G17 + P1 + I36.
- Morales-Caselles, C., N. Jimenez-Tenorio, M.L. Gonzales de Canales, C. Sarasquete, & T.A. Delvalls. 2006. Ecotoxicity of sediment contaminated by the oil spill associated by the tanker 'prestige' using juveniles of the fish *Sparus qurata*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **51**: 652--660.

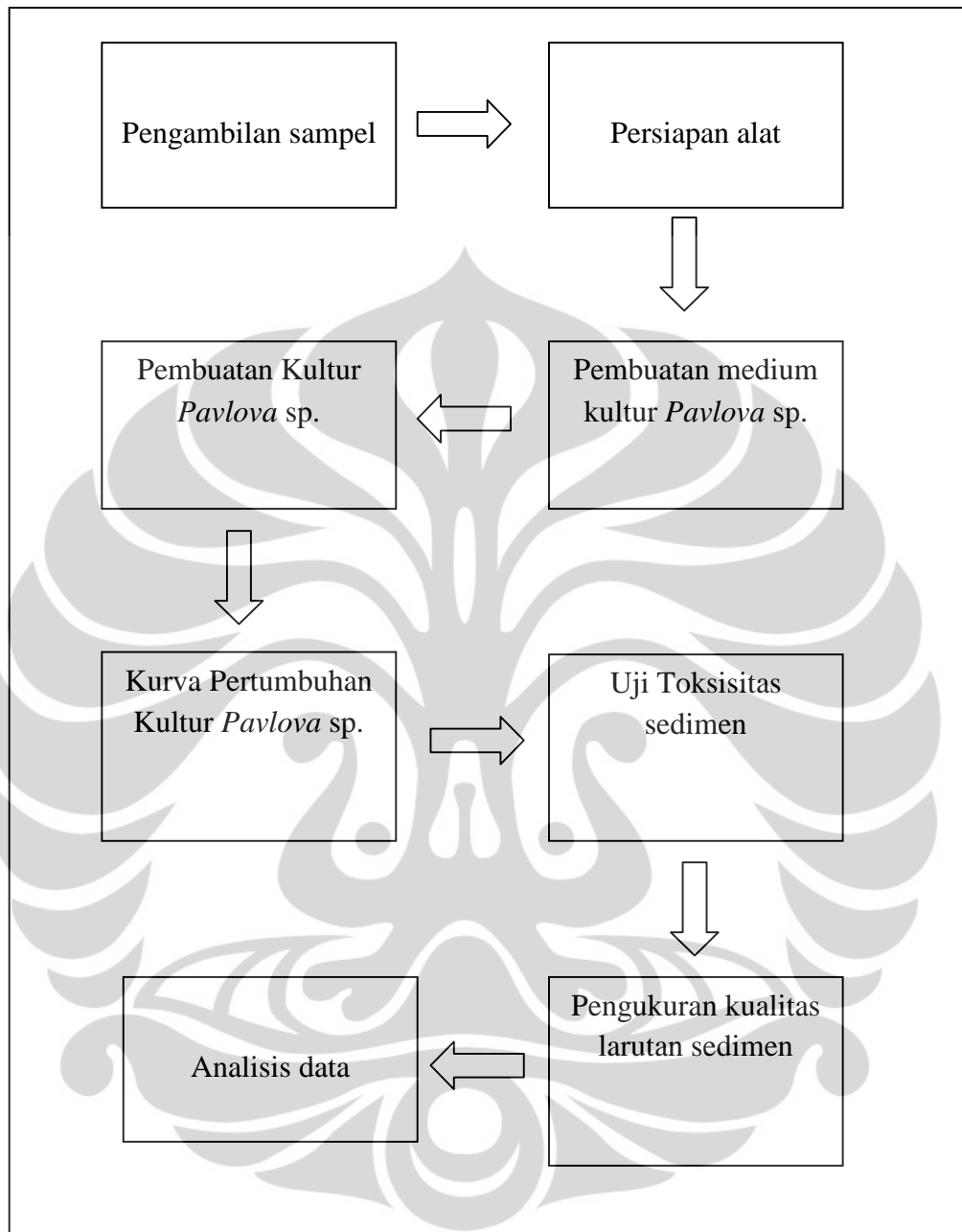
- Nattasya, G.Y. 2009. *Pengaruh sedimen berminyak terhadap pertumbuhan mikroalga Isochysis sp.* Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, Bogor: xii + 69 hlm.
- Nemerow, N.L. 1971. *Industrial water pollution origins, characteristics, and treatment.* Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York: xiii + 738 hlm.
- Niu, Y., J. Kong, L. Fu, J. Yang & Y. Xu. 2008. Identification of a novel c20-elongase gene from the marine microalgae *Pavlova viridis* and its expression in *Escherichia coli*. *Mar Biotechnol* **2009**(11): 17--23.
- Oginawati, K. 2003. Toksikologi Pestisida. *Dalam*. J. Soemirat (ed). 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta: xvi + 217 hlm.
- Parab, S.R., R.A. Pandit, A.N. Kadam & M.M. Indap. 2008. Effect of bombay high crude oil and its water-soluble fraction on growth and metabolism of diatom *Thalassiosira sp.* *Indian Journal of Marine Sciences* **37**(3): 251--255.
- Patterson, D. & B. Andersen. 2006. *Pavlova lutheri*. (?): 1 hlm. <http://starcentral.mbl.edu/microscope/portal.php?pagetitle=assetfactsheet&imageid=2622>. 29 Juni 2010, pk. 11.58.
- Pusat Data dan Informasi Perhimpunan Rumah Sakit Seluruh Indonesia (PDPERSI). 2002. Limbah minyak bisa timbulkan karsinogenik. 26 Juni 2002: 3 hlm. <http://www.pdpersi.co.id/?show=detailnews&kode=859&tbl=kesling>. 14 Januari 2010, pk. 14.45.
- Putra, J.A. 2006. Bioremoval, metode alternatif untuk menanggulangi pencemaran logam berat. 18 April 2006: 12 hlm. http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/biokimia/bioremoval_metode_alternatif_untuk_menanggulangi_pencemaran_logam_berat/. 26 Desember 2009, pk. 13.20.
- Rand, G.M. & S.R. Petrocelli. 1985. *Fundamental of aquatic toxicology: Methods and applications.* Hemisphere Publishing Company, New York: xviii + 666 hlm.
- Robinson, P.R. 2006. Petroleum processing overview. *Dalam* S.H. Chang & P.R. Robinson (eds). 2006. *Practical advances in petroleum processing volume 1.* Springer Science + Business Media, Inc., New York: 1--78.

- Roussel, J.C. & R. Boulet. 1995. Composition of crude oil and petroleum product. *Dalam* J.P. Wauquier (ed). 1995. *Petroleum refining crude oil, petroleum products, process flowsheets*. Institut Francais du Petrole Publication, Paris: xxx + 470 hlm.
- Rusdi, S. 2008. Menyoal penanganan pencemaran laut di indonesia. 5 Januari 2008: 5 hlm. <http://www.indonesiamaritimeclub.com/2008/01/05/menyoal-penanganan-pencemaran-laut-di-indonesia/>. 29 Juni 2010, pk. 22.44.
- Ruyitno. 1997. Pengaruh minyak dan pupuk terhadap pertumbuhan biota kecil. *Dalam* Praseno, dkk (eds). 1997. *Inventarisasi dan evaluasi lingkungan pesisir II: Oseanografi, geologi, botani, dan ekologi*. P3O-LIPI, Jakarta: 104--111.
- Sheehan, P.J., D.R.Miller, G.C. Butler & P. Bourdeau (eds.). 1984. *Effect of pollutants at the ecosystem level*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). John Wiley and Sons, New York: xv + 443 hlm.
- Suardana, P., M. Mulyono, S.S. Moersidik, D. Supardi S. & E. Santoso A. 2002. Pengaruh surfaktan linear alkylbenzena sulfonat dalam mempercepat bioremediasi limbah minyak bumi (studi kasus pengelolaan limbah minyak duri, PT Caltex pacific indonesia). Simposium Nasional IATMI: 1--11.
- Tarumingkeng, R.C. 2008. Pestisida dan penggunaannya. 27 Mei 2008: 8 hlm. <http://www.scribd.com/doc/3116466/PESTISIDA-DAN-PENGGUNAANNYA>. 4 Juli 2010, pk. 14.59.
- Todd, G.D., R.L. Chessin & J. Colman. 1999. *Toxicological profile for total petroleum hydrocarbons (TPH)* . Agency for Toxic Substance and Disease Registry, Georgia: xvii + A3 + B2+ C4 + D24+ E26 + I6 + 231 hlm.
- Yuan-Kun Lee & Hui Shen. 2004. Algal nutrition: heterotrophic carbon nutrition. *Dalam* A. Richmond (ed). 2004. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Publishing Company, State Avenue: 116--124.
- Qiang Hu. 2004. Environmental effects on cell composition. *Dalam* A. Richmond. 2004. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Publishing Company, State Avenue: 83--93.

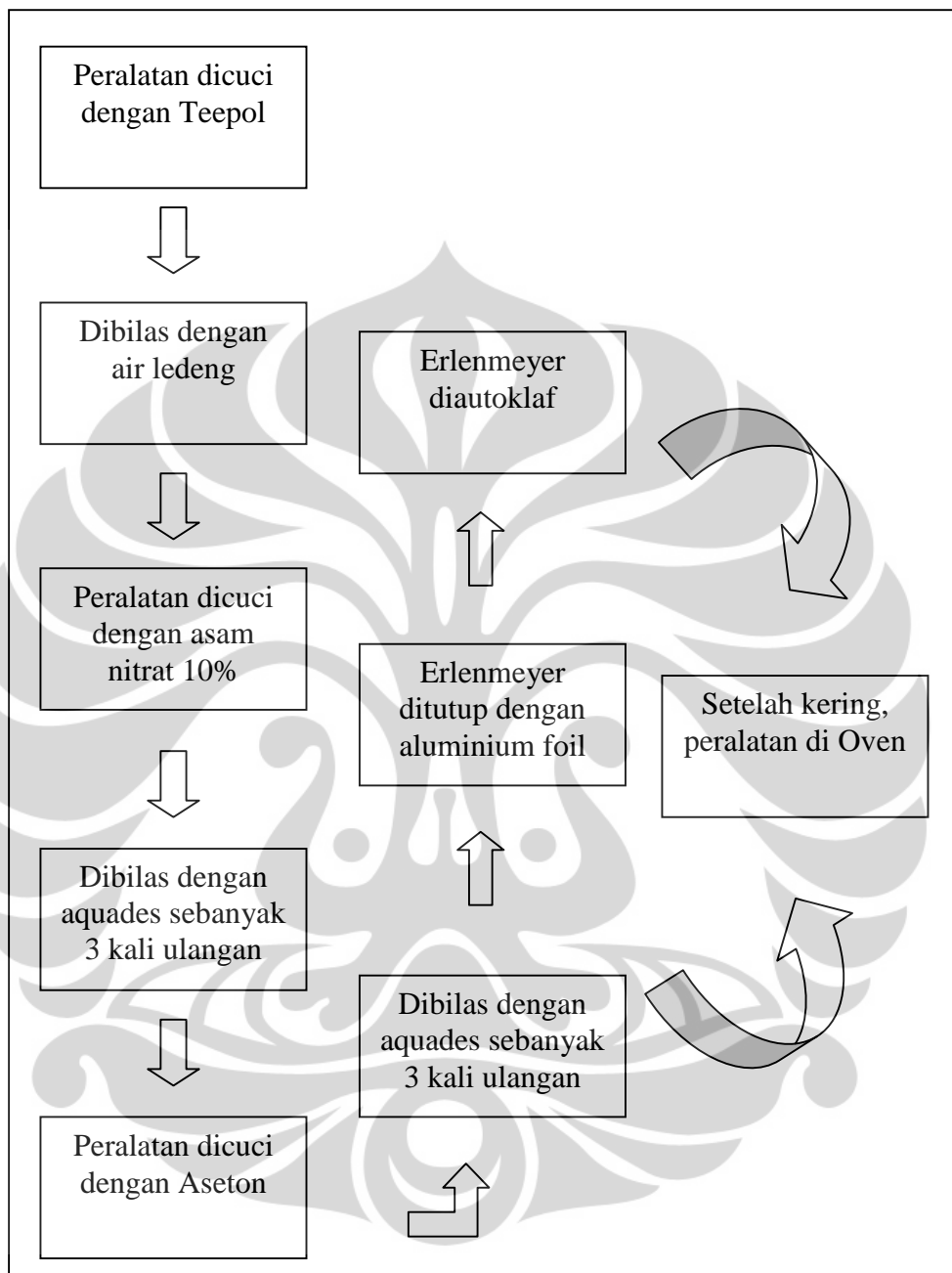


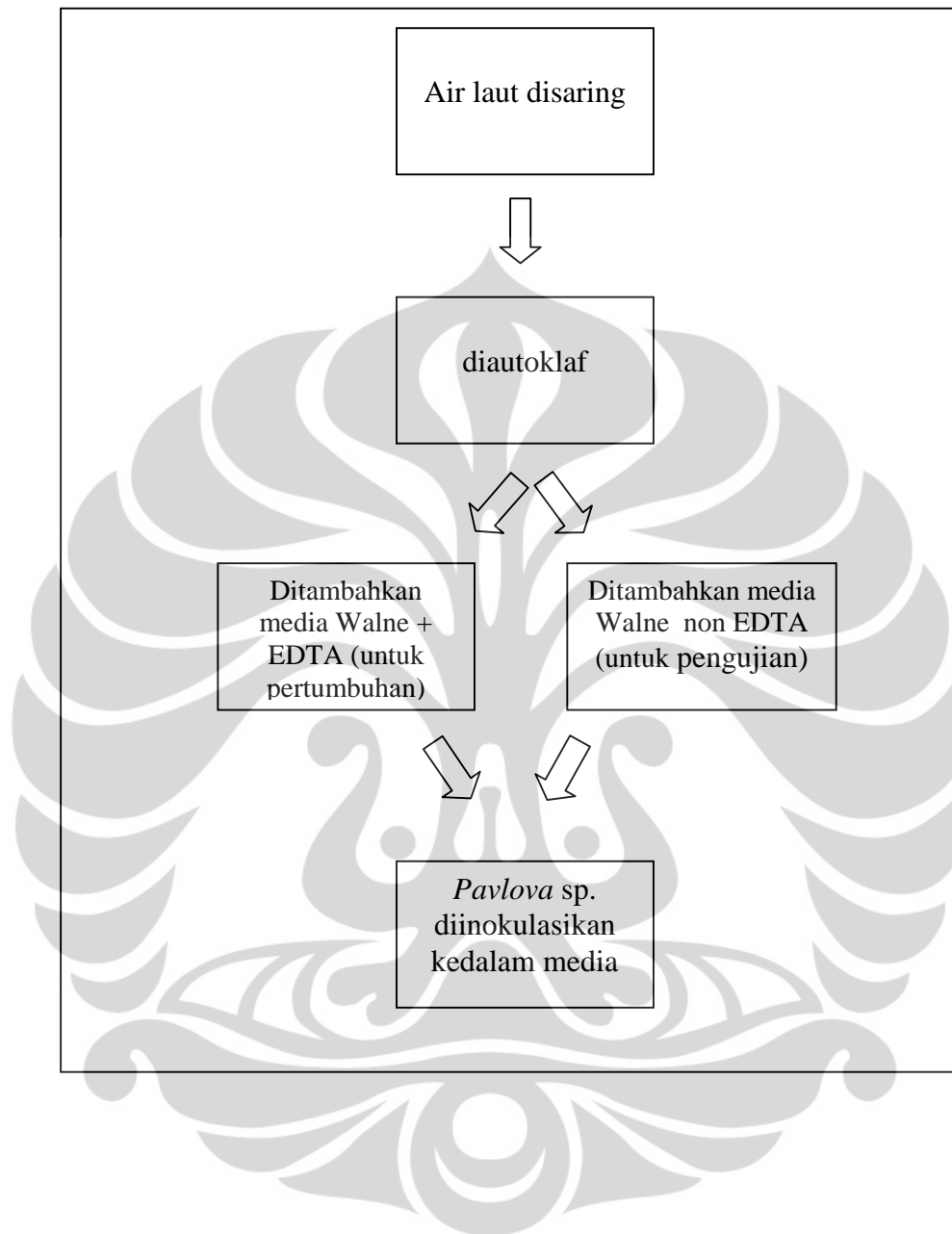
LAMPIRAN

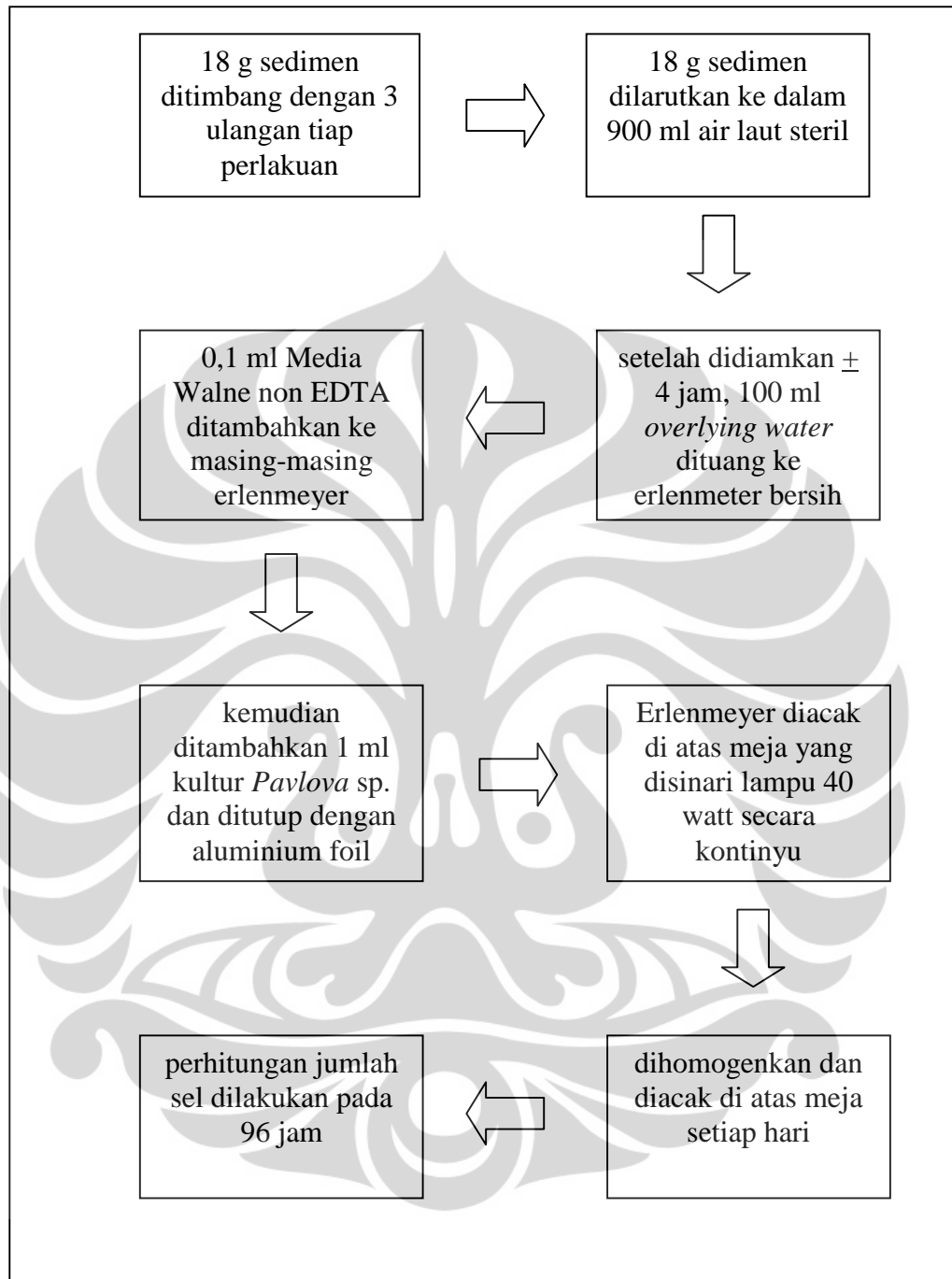
Lampiran 1 Skema kerja penelitian



Lampiran 2 Persiapan peralatan yang akan digunakan



Lampiran 3 Pembuatan medium kultur *Pavlova* sp.

Lampiran 4 Pengujian toksisitas sedimen terhadap pertumbuhan *Pavlova* sp.

Lampiran 5 Hasil Perhitungan Uji Shapiro-Wilk Kepadatan *Pavlova* sp. terhadap
Perlakuan Sedimen Berminyak

oil to sediment
File: oil to sediment tiela Transform: LOG BASE 10(Y)

Shapiro Wilks test for normality

D = 0.130
W = 0.973
Critical W (P = 0.05) (n = 21) = 0.908
Critical W (P = 0.01) (n = 21) = 0.873

Data PASS normality test at P=0.01 level. Continue analysis.

Lampiran 6 Hasil Perhitungan Uji Bartlett Kepadatan *Pavlova* sp. terhadap
Perlakuan Sedimen Berminyak

oil to sediment
File: oil to sediment tiela Transform: LOG BASE 10(Y)

Bartletts test for homogeneity of variance

Calculated B statistic = 3.92
Table Chi-square value = 16.81 ($\alpha = 0.01$)
Table Chi-square value = 12.59 ($\alpha = 0.05$)
Average df used in calculation ==> df (avg n - 1) = 2.00
Used for Chi-square table value ==> df (#groups-1) = 6

Data PASS homogeneity test at 0.01 level. Continue analysis.

NOTE: If groups have unequal replicate sizes the average replicate size is used to calculate the B statistic (see above).

Lampiran 7 Hasil Perhitungan Uji ANOVA Kepadatan *Pavlova* sp. terhadap
Perlakuan Sedimen Berminyak

oil to sediment
File: oil to sediment tiela Transform: LOG BASE 10(Y)

ANOVA TABLE

| SOURCE | DF | SS | MS | F |
|----------------|----|-------|-------|-------|
| Between | 6 | 0.339 | 0.057 | 6.333 |
| Within (Error) | 14 | 0.130 | 0.009 | |
| Total | 20 | 0.470 | | |

Critical F value = 2.85 (0.05,6,14)
Since $F > \text{Critical F}$ REJECT H_0 :All groups equal

Lampiran 8 Hasil Perhitungan Uji Dunnett Kepadatan *Pavlova* sp. terhadap
Perlakuan Sedimen Berminyak 1

oil to sediment
File: oil to sediment tiela Transform: LOG BASE 10(Y)

DUNNETTS TEST - TABLE 1 OF 2 Ho:Control<Treatment

| GROUP | IDENTIFICATION | TRANSFORMED MEAN | MEAN CALCULATED IN ORIGINAL UNITS | T STAT | SIG |
|-------|----------------|---------------------|--------------------------------------|--------|-----|
| 1 | control | 1.796 | 63.750 | | |
| 2 | A | 2.013 | 108.167 | -2.799 | |
| 3 | B | 1.709 | 51.583 | 1.131 | |
| 4 | C | 1.859 | 72.500 | -0.811 | |
| 5 | D | 1.930 | 86.083 | -1.722 | |
| 6 | E | 1.722 | 53.667 | 0.963 | |
| 7 | F | 1.618 | 41.833 | 2.306 | |

Dunnett table value = 2.53 (1 Tailed Value, P=0.05, df=14,6)

Lampiran 9 Hasil Perhitungan Uji Dunnett Kepadatan Pavlova sp. terhadap
Perlakuan Sedimen Berminyak 2

oil to sediment

File: oil to sediment tiela Transform: LOG BASE 10(Y)

DUNNETTS TEST - TABLE 2 OF 2

Ho:Control<Treatment

| GROUP | IDENTIFICATION | NUM OF REPS | Minimum Sig Diff (IN ORIG. UNITS) | % of CONTROL | DIFFERENCE FROM CONTROL |
|-------|----------------|-------------|-----------------------------------|--------------|-------------------------|
| 1 | control | 3 | | | |
| 2 | A | 3 | 22.728 | 35.7 | -44.417 |
| 3 | B | 3 | 22.728 | 35.7 | 12.167 |
| 4 | C | 3 | 22.728 | 35.7 | -8.750 |
| 5 | D | 3 | 22.728 | 35.7 | -22.333 |
| 6 | E | 3 | 22.728 | 35.7 | 10.083 |
| 7 | F | 3 | 22.728 | 35.7 | 21.917 |