

**ANALISA KEMAMPUAN MIKROALGA *Nannochloropsis* sp. SEBAGAI
BIOREMEDIATOR TIMBAL (Pb) DENGAN KONSENTRASI BERBEDA**

SKRIPSI

**PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN
JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Oleh :

SINTA YULINDA WARDHANY

NIM. 0610810065



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2010

**ANALISA KEMAMPUAN MIKROALGA *Nannochloropsis* sp. SEBAGAI
BIOREMEDIATOR TIMBAL (Pb) DENGAN KONSENTRASI BERBEDA**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

JURUSAN MANAJEMEN SUMBERDAYA PERAIRAN

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Perikanan di
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

Oleh :

SINTA YULINDA WARDHANY

NIM. 0610810065



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2010

SKRIPSI

ANALISA KEMAMPUAN MIKROALGA *Nannochloropsis* sp. SEBAGAI
BIOREMEDIATOR TIMBAL (Pb) DENGAN KONSENTRASI BERBEDA

Oleh :

SINTA YULINDA WARDHANY

NIM. 0610810065

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 5 Agustus 2010
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Dosen Penguji I

Ir. Sri Sudaryanti, MS
NIP. 19601009 198602 2 001

Tanggal:

Dosen Penguji II

Asus Maizar, S.Pi, MS
NIP. 19720529 200312 1 001

Tanggal:

Dosen Pembimbing I

DR. Ir. Endang Yuli H., MS
NIP. 19570704 198403 2 001

Tanggal:

Dosen Pembimbing II

Ir. Umi Zakiyah, MS
NIP. 19610303 198602 2 001

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Dr. Ir. Happy Nursyam, MS
NIP. 19600322 198601 1 001

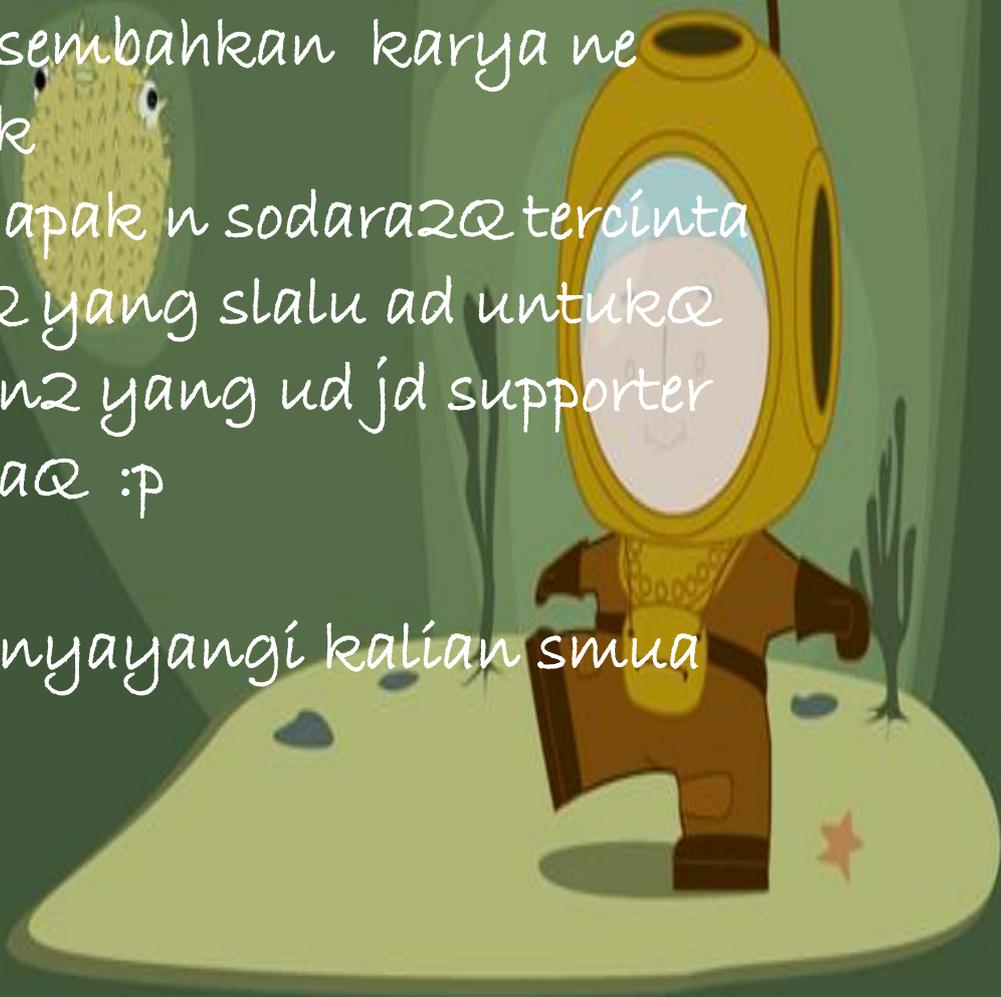
Tanggal:

Lembar Persembahan

Alhamdulillah,,
Terima kasih Ya Allah atas
ridhlomu aq bisa menyelaikan
karya ini.

aq persembahkan karya ne
untuk
ibu, bapak n sodara2q tercinta
dwiq yang slalu ad untukq
Temen2 yang ud jd supporter
stiaq :p

aq menyayangi kalian semua



RINGKASAN

SINTA YULINDA WARDHANY. Analisa Kemampuan Mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai Bioremediator Timbal (Pb) dengan Konsentrasi Berbeda (dibawah bimbingan **DR. Ir. Endang Yuli H., M.S** dan **Ir. Hj. Umi Zakiyah, M.S**)

Pencemaran logam berat merupakan masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum. Pencemaran logam berat pada perairan biasanya berasal dari masukan air yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri dan pertambangan. Semakin banyak logam berat yang terakumulasi dalam perairan, maka kehidupan organisme perairan pun akan semakin terganggu. Salah satu cara untuk mengantisipasi makin tingginya konsentrasi logam pencemar di perairan adalah dengan bioremediasi, dimana teknik ini menggunakan organisme untuk mengurangi kandungan logam berat limbah industri sebelum dibuang ke perairan. Salah satu organisme yang dapat digunakan untuk teknik bioremediasi adalah mikroalga jenis *Nannochloropsis* sp. *Nannochloropsis* sp. digunakan sebagai biosorben karena memiliki toleransi yang tinggi terhadap logam berat dan tidak memiliki proteksi khusus untuk masuknya logam berat ke dalam sel. Oleh karena itu diperlukan analisa lebih mendalam tentang kemampuan mikroalga *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap Pb dengan konsentrasi berbeda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi logam berat timbal (Pb) terhadap kemampuan peyerapan mikroalga *Nannochloropsis* sp. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang mulai bulan Mei sampai Juni 2010.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu mengadakan percobaan untuk melihat suatu hasil. Analisa data dalam penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 kali pengulangan. Perlakuan ini meliputi, perlakuan A (kontrol), perlakuan B (konsentrasi timbal 0.3 ppm), perlakuan C (konsentrasi timbal 0.6 ppm) dan perlakuan D (konsentrasi timbal 0.9 ppm). Parameter utama yang diamati adalah kandungan logam timbal (Pb) dalam air dan dalam *Nannochloropsis* sp. dan parameter pendukung meliputi suhu, salinitas, pH dan CO₂.

Hasil analisis kandungan logam timbal (Pb) dalam *Nannochloropsis* sp. pada akhir penelitian adalah A (0.061 ppm); B (0.152 ppm); C (0.064 ppm) dan D (0.168 ppm), sedangkan rata-rata kandungan logam timbal (Pb) dalam air pada akhir penelitian adalah A (0.0067 ppm); B (0.094 ppm); C (0.130 ppm) dan D (0.117 ppm). Penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. juga dipengaruhi oleh kualitas air. Hasil analisa kualitas air menunjukkan suhu selama pengamatan 27°C, salinitas 29-31‰, pH 9 dan CO₂ 9.08-23.61 mg/l. Hasil analisa uji F kandungan logam Pb dalam air (Lampiran 7) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb dan berdasarkan analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. diikuti perlakuan C, B dan A.

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah mikroalga *Nannochloropsis* sp. memiliki kemampuan sebagai bioremediator timbal dengan konsentrasi berbeda, hal ini ditunjukkan dengan berkurangnya kandungan logam berat dalam air dan meningkatnya kandungan logam berat dalam

Nannochloropsis sp. Saran dari penelitian ini adalah mikroalga *Nannochloropsis* sp. dapat digunakan sebagai bioremediator logam berat timbal (Pb), sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menurunkan limbah yang mengandung logam timbal pada pengolahan akhir di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebelum dibuang ke perairan dan sebagai upaya perencanaan pengelolaan terpadu sehingga perairan tetap lestari dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulisan laporan skripsi ini dapat terselesaikan. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.

Laporan ini menjelaskan bahwa mikroalga *Nannochloropsis* sp. mempunyai kemampuan untuk menyerap logam berat timbal (Pb). Selain itu, laporan ini juga memuat bagaimana proses kegiatan kultur mikroalga *Nannochloropsis* sp.

Atas terselesaikannya laporan skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan serta Dr. Ir. Endang Yuli H., M.S dan Ir. Hj. Umi Zakiyah, M. S selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, dorongan, dan bimbingannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, berbagai saran dan kritik sangat penulis harapkan. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat memberikan informasi bagi semua pihak yang berminat dan memerlukan.

Malang, 20 Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Kegunaan	4
1.5 Hipotesis	5
1.6 Tempat dan waktu.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Nannochloropsis</i> sp.....	6
2.1.1 Biologi <i>Nannochloropsis</i> sp.	6
2.1.2 Manfaat <i>Nannochloropsis</i> sp.	7
2.1.3 Pertumbuhan <i>Nannochloropsis</i> sp.....	8
2.1.4 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan <i>Nannochloropsis</i> sp.	10
2.2 Kultur <i>Nannochloropsis</i> sp.	15
2.2.1 Kultur murni.....	15
2.2.2 Kultur massal	16
2.3 Kepadatan plankton	17
2.4 Pencemaran.....	20
2.5 Logam berat.....	21
2.5.1 Definisi logam berat.....	21
2.5.2 Sifat logam berat	23
2.6 Timbal (Pb)	23
2.6.1 Ciri-ciri timbal (Pb).....	23
2.6.2 Penggunaan timbal (Pb).....	24
2.6.3 Pengaruh timbal (Pb) di perairan.....	25
2.6.4 Mekanisme penyerapan logam berat.....	26

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi Penelitian 29

3.2 Alat dan Bahan 29

3.3 Metode penelitian..... 29

3.4 Prosedur penelitian 30

 3.4.1 Persiapan 30

 3.4.2 Perlakuan sesungguhnya 32

 3.4.3 Pengukuran kualitas air 33

3.5 Rancangan dan analisa penelitian 35

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kepadatan *Nannochloropsis* sp..... 38

4.2 Analisa kandungan timbal (Pb) dalam *Nannochloropsis* sp 45

4.3 Analisa kandungan timbal (Pb) dalam air 49

4.4 Analisa kualitas air 52

 4.4.1 Parameter fisika 52

 4.4.2 Parameter kimia 53

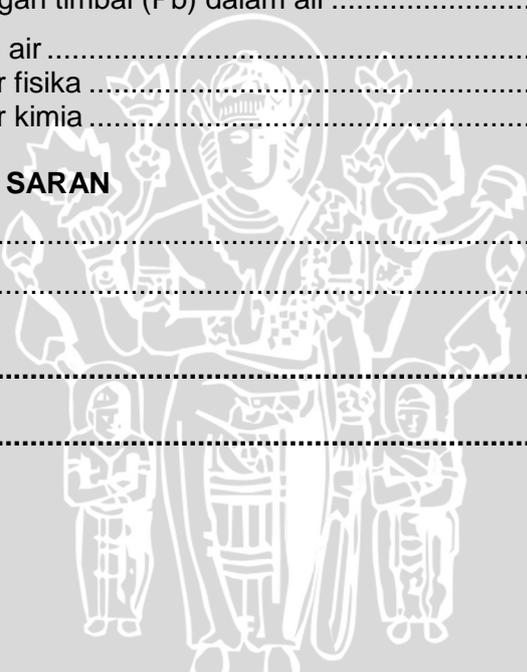
5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 57

5.2 Saran 57

DAFTAR PUSTAKA..... 58

LAMPIRAN..... 62



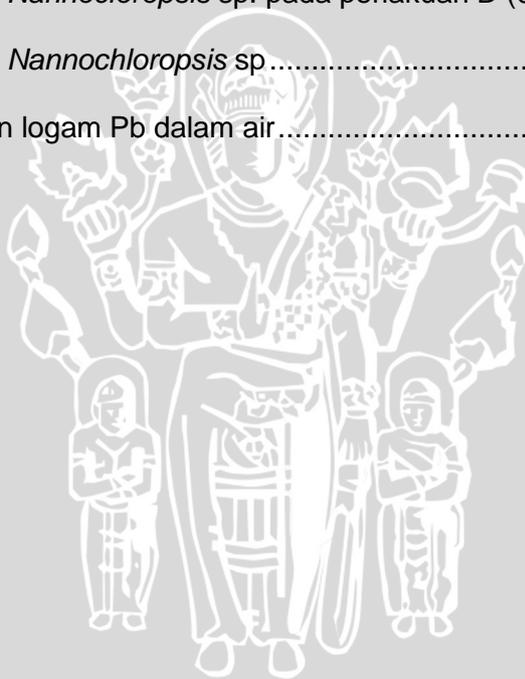
DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan A.....	38
2. Kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan B.....	49
3. Kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan C	41
4. Kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan D	42
5. Analisa kandungan logam Pb dalam <i>Nannochloropsis</i> sp.....	45
6. Analisa kandungan logam Pb dalam air	49
7. Salinitas media <i>Nannochloropsis</i> sp	53
8. CO ₂ media <i>Nannochloropsis</i> sp	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Nannochloropsis</i> sp	6
2. Haemocytometer	18
3. Cara menghitung plankton pada haemocytometer	19
4. Kepadatan rata-rata <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan A (0 ppm)	39
5. Kepadatan rata-rata <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan B (0.3 ppm)	40
6. Kepadatan rata-rata <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan C (0.6 ppm)	42
7. Kepadatan rata-rata <i>Nannochloropsis</i> sp. pada perlakuan D (0.9 ppm)	43
8. Kepadatan rata-rata <i>Nannochloropsis</i> sp	44
9. Rata-rata kandungan logam Pb dalam air	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Alat dan bahan.....	62
2. Gambar stater murni <i>Nannochloropsis</i> sp., pupuk walne dan timbal (Pb) ...	64
3. Kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp. selama penelitian.....	65
4. Analisa uji F dan uji BNT kepadatan <i>Nannochloropsis</i> sp	66
5. Analisa uji F dan uji BNT kandungan logam Pb dalam <i>Nannochloropsis</i> sp	68
6. Kandungan logam timbal (Pb) dalam air selama penelitian.....	70
7. Analisa uji F dan uji BNT kepadatan air	71



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Air merupakan pelarut yang berarti semua elemen dan senyawa dapat larut dalam air. Konsekuensinya air merupakan cairan yang mudah terkontaminasi atau sangat mudah tercemar (Subarijanti, 2000). Pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber kehidupan (Odum, 1971). Menurut Yunus (2007), pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air kurang atau tidak dapat lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Saat ini pencemaran perairan karena logam berat menjadi masalah yang sangat serius untuk ditangani, karena merugikan lingkungan dan ekosistem secara umum.

Menurut Buhani (2007), logam berat berbahaya karena tidak dapat didegradasi oleh tubuh, memiliki sifat toksisitas (racun) pada makhluk hidup walaupun pada konsentrasi yang rendah, dan dapat terakumulasi dalam jangka waktu tertentu. Salah satu logam berat yang berbahaya dan beracun adalah timbal (Pb).

Menurut Ulfin (1995) dalam Purnomo dan Muchyiddin (2007), timbal merupakan salah satu logam berat non esensial yang sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup. Racun ini bersifat kumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Timbal terdapat dalam air karena adanya kontak antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa. Banyaknya

pemanfaatan timbal dalam kehidupan sehari-hari menyebabkan semakin banyak pula limbah logam timbal yang akan dihasilkan. Timbal paling banyak dimanfaatkan sebagai zat anti letup pada bahan bakar kendaraan. Penggunaan bahan bakar pada mesin kapal dapat menyebabkan suatu perairan tercemar oleh timbal karena adanya kontak langsung antara kapal dengan perairan.

Semakin banyak logam timbal (Pb) yang terakumulasi dalam perairan, maka kehidupan organisme perairan pun akan semakin terganggu. Dengan demikian diperlukan suatu upaya untuk mengurangi limbah logam Pb suatu industri sebelum masuk ke perairan agar perairan dapat dimanfaatkan secara optimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan bioremediasi.

Menurut Buhani (2007), bioremediasi adalah pemanfaatan organisme untuk membersihkan senyawa pencemar dari lingkungan. Pada proses ini terjadi biotransformasi atau biodetoksifikasi senyawa toksik menjadi senyawa yang kurang toksik atau tidak toksik. Proses utama pada bioremediasi adalah biodegradasi, biotransformasi dan biokatalis. Didefinisikan sebagai proses penggunaan organisme hidup, terutama mikroorganisme, untuk mendegradasi bahan pencemar (toksikan) lingkungan yang merugikan ketinggian atau bentuk yang lebih aman dalam hal memperbaiki/ mengembalikan kondisi suatu lingkungan yang telah mengalami penurunan kualitas menjadi seperti semula sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Salah satu mikroalga yang dapat dimanfaatkan sebagai bioremediator adalah *Nannochloropsis* sp.. Menurut Wisnu (2006) dalam Defishes (2009), *Nannochloropsis* sp. adalah alga bersel satu yang termasuk dalam kelas Eustigmatophyceae yang di kenal sebagai "marine" *Chlorella* dan umumnya dibudidayakan di pembenihan-pembenihan ikan sebagai pakan rotifer. *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya

cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida, dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam (Putra, 2007). Selain itu penggunaan *Nannochloropsis* sp. lebih efektif sebagai bioremediator karena tidak memiliki lendir pada permukaan tubuhnya. Oleh karena itu diperlukan analisa lebih mendalam tentang kemampuan mikroalga *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap Pb dengan konsentrasi berbeda.

1.2 Perumusan masalah

Logam berat timbal (Pb) merupakan salah satu bentuk materi anorganik yang sering menimbulkan berbagai permasalahan yang cukup serius pada perairan. Pencemaran logam berat pada perairan biasanya berasal dari masukan air yang terkontaminasi oleh limbah buangan industri dan pertambangan. Semakin banyak logam timbal (Pb) yang terakumulasi dalam perairan, maka kehidupan organisme perairan pun akan semakin terganggu. Salah satu sumber utama yang menyebabkan terjadinya pencemaran timbal di perairan adalah adanya limbah industri yang mengandung logam timbal yang dibuang ke perairan umum. Sehingga untuk mengantisipasi makin tingginya konsentrasi logam pencemar di perairan diperlukan suatu upaya untuk mengurangi kandungan logam Pb dalam limbah yang bersangkutan sebelum dibuang ke perairan agar perairan dapat dihindarkan dari pencemaran yang berkelanjutan dan dapat dimanfaatkan secara optimal. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan bioremediasi dimana teknik ini menggunakan mikroorganisme untuk mengurangi kandungan logam berat limbah industri sebelum dibuang ke perairan. Salah satu organisme yang dapat digunakan untuk teknik bioremediasi adalah mikroalga jenis *Nannochloropsis* sp. Berdasarkan uraian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah kemampuan

mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai bioremediator logam berat timbal (Pb) dengan konsentrasi berbeda?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi logam berat timbal (Pb) terhadap kemampuan penyerapan mikroalga *Nannochloropsis* sp.

1.4 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian ini yaitu

- Mahasiswa
Dengan mempelajari secara langsung dapat menambah pengetahuan atau pun wawasan yang lebih tentang kemampuan mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai bioremediator Pb.
- Program Studi MSP
Dapat dijadikan sebagai sumber informasi keilmuan mengenai kemampuan mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai bioremediator Pb sehingga dapat digunakan untuk pengelolaan sumberdaya hayati perairan serta dapat berguna untuk penulisan dan penelitian lebih lanjut.
- Industri
Dapat dijadikan sebagai informasi dan rujukan dalam proses pengolahan limbah logam berat sebelum dibuang ke perairan.
- Pemerintah
Dapat dijadikan sebagai informasi dan rujukan dalam menentukan kebijakan guna pengelolaan sumberdaya hayati yang berkelanjutan serta peningkatan dan kelestarian kualitas air.

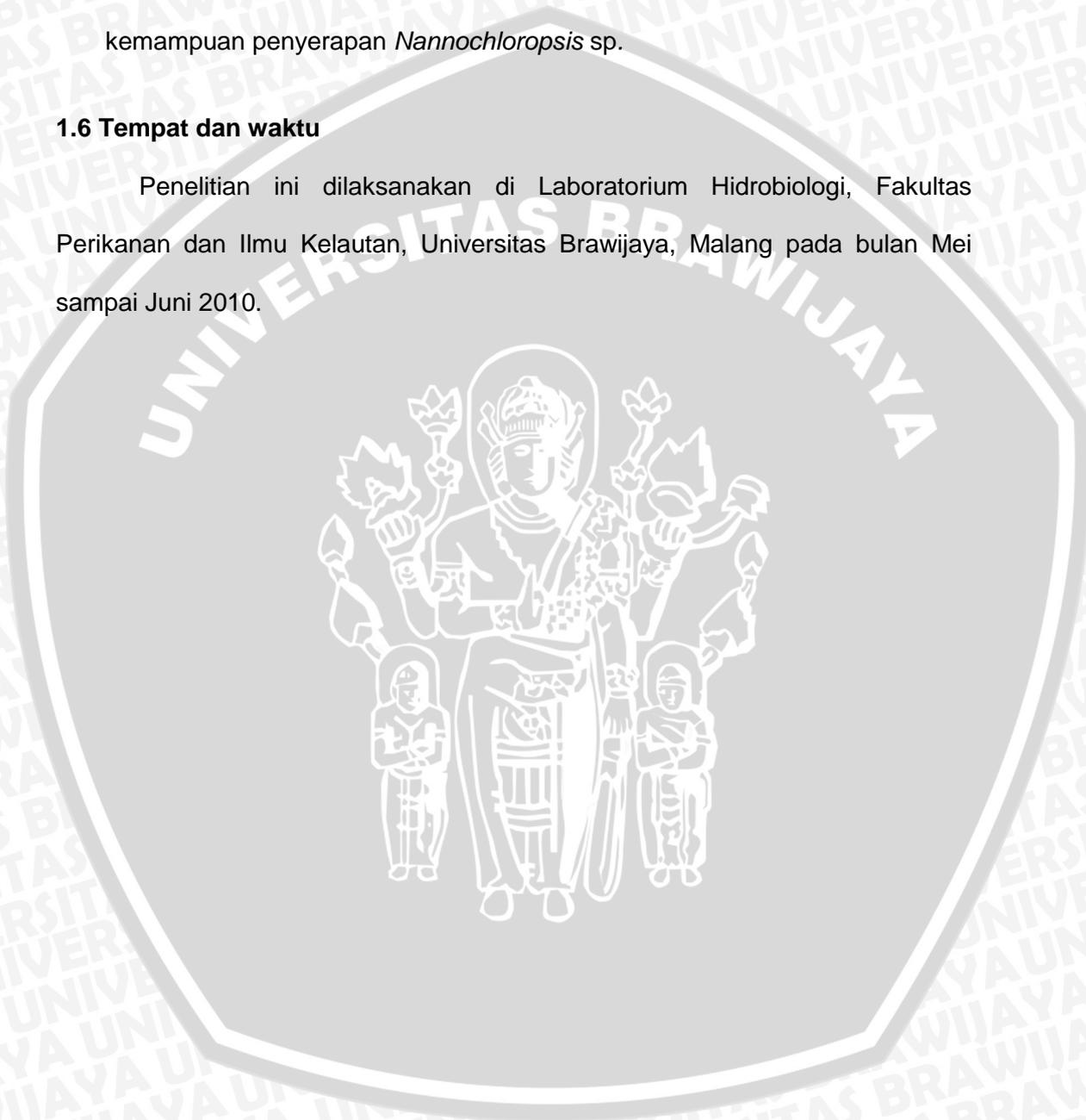
1.5 Hipotesis

H_0 : Diduga logam berat Pb dengan konsentrasi berbeda tidak berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan *Nannochloropsis* sp.

H_1 : Diduga logam berat Pb dengan konsentrasi berbeda berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan *Nannochloropsis* sp.

1.6 Tempat dan waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrobiologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Mei sampai Juni 2010.



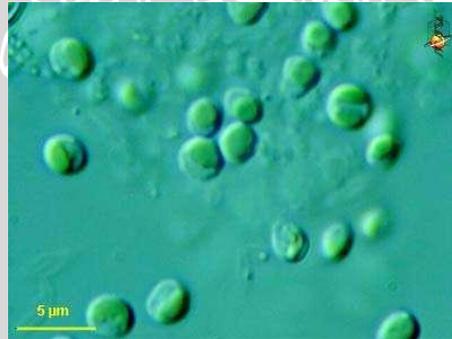
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Nannochloropsis* sp.

2.1.1 Biologi *Nannochloropsis* sp.

Menurut Wiguna (2009), klasifikasi *Nannochloropsis* sp. adalah

Kingdom	: Chromista
Phylum	: Ochrophyta
Class	: Eustigmatophyceae
Order	: Eustigmatales
Family	: Monodopsidaceae
Genus	: <i>Nannochloropsis</i>
Species	: <i>Nannochloropsis</i> sp.



Gambar 1. *Nannochloropsis* sp.

Menurut Wiguna (2009), *Nannochloropsis* sp. merupakan organisme bersel tunggal, berwarna kehijauan, tidak motil, dan tidak berflagel. Selnya berbentuk bola, berukuran kecil dengan diameter 4-6 mm. *Nannochloropsis* sp. merupakan pakan yang populer untuk rotifer, *artemia*, dan pada umumnya merupakan organisme *filter feeder* (penyaring).

Nannochloropsis sp. memiliki kloroplas dan nukleus yang dilapisi membran. Kloroplas memiliki stigma (bintik mata) yang bersifat sensitif terhadap cahaya. *Nannochloropsis* sp. dapat berfotosintesis karena memiliki klorofil. Ciri

khas dari *Nannochloropsis* sp. adalah memiliki dinding sel yang terbuat dari komponen selulosa (Muslimin, 2009). Menurut Putra (2007), *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida, dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam.

2.1.2 Manfaat *Nannochloropsis* sp.

Biomassa alga dari beberapa spesies alga efektif untuk mengikat ion logam pada lingkungan akuatik. Beberapa spesies alga yang umumnya dimanfaatkan biomasanya adalah dari jenis alga coklat dan alga hijau. Pemilihan biomassa alga ini sebagai biosorben dilakukan karena spesies alga ini memiliki toleransi yang tinggi terhadap pengambilan logam berat, mudah dibudidayakan, dan dapat diperoleh dari sejumlah laboratorium-laboratorium pengkoleksian kultur di berbagai negara (Buhani, 2007).

Menurut Putra (2007), *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida, dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam.

Menurut Bachtiar (2007), secara umum, keuntungan pemanfaatan alga sebagai bioindikator dan biosorben adalah :

1. Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengabsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma.

2. Bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak.
3. Biaya operasional yang rendah.
4. Sludge yang dihasilkan sangat minim.
5. Tidak perlu nutrisi tambahan.

Nannochloropsis sp. adalah alga bersel satu yang termasuk dalam kelas Eustigmatophyceae yang di kenal sebagai *marine Chlorella* dan umumnya dibudidayakan di pembenihan-pembenihan ikan sebagai pakan rotifer. *Nannochloropsis* sp. mempunyai peranan penting dalam suatu kegiatan pembenihan karena kandungan nutrisinya yang tinggi dan memiliki kemampuan memproduksi bahan-bahan yang sangat penting seperti pigmen (zeaxanthin dan astaxanthin) dan *Poly Unsaturated Fatty Acid* (PUFA). *Nannochloropsis* sp. (*marine Chlorella*) adalah makanan yang baik untuk rotifer (*Brachionus plicatilis*) karena mempunyai kandungan asam lemak (HUFA) cukup tinggi sehingga baik bagi larva ikan (Wisnu, 2006 dalam Defishes, 2009).

2.1.3 Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.

Menurut Defishes (2009), pertumbuhan fitoplankton dalam kultur dapat ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambah banyaknya jumlah sel. Kepadatan sel dalam kultur *Nannochloropsis* sp. digunakan untuk mengetahui pertumbuhan jenis fitoplankton tersebut. Kecepatan tumbuh dalam kultur ditentukan dari medium yang digunakan dan dapat dilihat dari hasil pengamatan kepadatan *Nannochloropsis* sp. yang dilakukan tiap 24 jam (1 hari) untuk kultur *Nannochloropsis* sp.. Pertumbuhan fitoplankton secara umum dapat dibagi menjadi lima fase yang meliputi fase lag, fase eksponensial, fase penurunan kecepatan pertumbuhan, fase stasioner dan fase kematian.

a. Fase lag

Pada fase lag penambahan jumlah densitas fitoplankton sangat rendah bahkan dapat dikatakan belum ada penambahan densitas. Hal itu disebabkan karena sel-sel fitoplankton masih dalam proses adaptasi secara fisiologis terhadap medium tumbuh sehingga metabolisme untuk tumbuh menjadi lamban.

b. Fase eksponensial

Pada fase eksponensial, diawali oleh pembelahan sel dengan laju pertumbuhan tetap. Pada kondisi kultur yang optimum, laju pertumbuhan pada fase ini mencapai maksimal. Pada fase ini terjadi penambahan kepadatan sel fitoplankton (N) dalam waktu (t) dengan kecepatan tumbuh (μ) sesuai dengan rumus eksponensial.

c. Fase penurunan kecepatan pertumbuhan

Pada fase penurunan kecepatan tumbuh pembelahan sel mulai melambat karena kondisi fisik dan kimia kultur mulai membatasi pertumbuhan.

d. Fase stasioner

Pada fase stasioner, faktor pembatas dan kecepatan tumbuh sama karena jumlah sel yang membelah dan yang mati seimbang.

e. Fase kematian

Pada fase kematian, kematian lebih cepat daripada laju reproduksi. Jumlah sel menurun secara geometrik. Kualitas fisik dan kimia kultur berada pada titik dimana sel tidak mampu lagi mengalami pembelahan.

Keberhasilan kultur ditandai dengan pertumbuhan yang semakin meningkat dari kepadatan fitoplankton, hal tersebut merupakan waktu generasi pertumbuhan fitoplankton, sehingga dapat dikatakan waktu generasi merupakan waktu yang diperlukan suatu fitoplankton untuk membelah dari satu sel menjadi beberapa sel dalam pertumbuhan (Defishes, 2009).

2.1.4 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.

Faktor yang mempengaruhi keberhasilan kultur *Nannochloropsis* sp adalah ketersediaan nutrisi, dan faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya. Faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan kultur *Nannochloropsis* sp. adalah kontaminasi oleh protozoa, diatom dan zooplankton (Hudaidah, 2008).

Pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. dipengaruhi oleh parameter-parameter sebagai berikut:

a. Suhu

Suhu adalah ukuran derajat panas atau dingin suatu benda (Wikipedia, 2009). Menurut Brehm and Meijering (1990) dalam Barus (2002), pola temperatur ekosistem air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti intensitas cahaya matahari, pertukaran panas antara air dengan udara sekelilingnya, ketinggian geografis dan juga oleh faktor kanopi (penutupan oleh vegetasi) dari pepohonan yang tumbuh di tepi.

Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia, dan biologi badan air. Suhu juga sangat berperan mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Organisme akuatik memiliki kisaran suhu tertentu (batas atas dan bawah) yang disukai bagi pertumbuhannya. Peningkatan suhu perairan sebesar 10°C menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sebesar 2-3 kali lipat. Namun, peningkatan suhu ini disertai dengan penurunan kadar oksigen terlarut sehingga keberadaan oksigen sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan oksigen bagi organisme akuatik untuk melakukan proses metabolisme dan respirasi (Effendi, 2003).

Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses fisika, kimia dan biologi. Peningkatan suhu dapat menurunkan kelarutan gas dalam air dan dapat menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi

fitoplankton diperairan (Defishes, 2009). Menurut James *et al.*, (1989), suhu optimum untuk *Nannochloropsis* sp. antara 25-30°C.

b. Cahaya

Cahaya matahari merupakan sumber energi utama bagi semua kehidupan organisme di perairan. Radiasi matahari ini menentukan intensitas dan kualitas cahaya pada kedalaman tertentu dan akan mempengaruhi penguapan kondisi panas (Subarijanti, 2000).

Menurut Defishes (2009), cahaya merupakan sumber energi dalam proses fotosintesis yang berguna untuk pembentukan senyawa karbon organik.

Reaksi fotosintesis adalah



Intensitas cahaya sangat menentukan pertumbuhan fitoplankton yaitu dilihat dari lama penyinaran dan panjang gelombang yang digunakan untuk fotosintesis. Cahaya berperan penting dalam pertumbuhan mikroalga, tetapi kebutuhannya bervariasi yang disesuaikan dengan kedalaman kultur dan kepadatannya. Kedalaman dan kepadatan kultur yang lebih tinggi menyebabkan intensitas cahaya yang dibutuhkan tinggi. Intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fotoinhibisi dan pemanasan. Intensitas cahaya 1000 lux cocok untuk kultur dalam erlenmeyer, sedangkan intensitas 5000-10000 lux untuk volume yang lebih besar. Penggunaan lampu dalam kultur mikroalga minimal dinyalakan 18 jam per hari, hal tersebut dilakukan sampai mikroalga dapat tumbuh dengan konstan dan normal.

c. Salinitas

Menurut Boyd (1988) dalam Effendi (2003), Salinitas adalah konsentrasi total ion yang terdapat di perairan dan dinyatakan dalam satuan g/ kg atau promil (‰). Salinitas merupakan salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan dan

perkembangan fitoplankton. Fitoplankton laut sangat ekstrim dalam mentolerir perubahan salinitas. Umumnya spesies alga laut dapat tumbuh baik pada salinitas lebih rendah dari tempat asalnya, dimana hal ini dapat dilakukan dengan penambahan air tawar (Ekawati, 2005).

Menurut Defishes (2009), kisaran salinitas yang berubah-ubah dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Beberapa fitoplankton dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang tinggi tetapi ada juga yang dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang rendah. Namun, hampir semua jenis fitoplankton dapat tumbuh optimal pada salinitas sedikit di bawah habitat asal. Pengaturan salinitas pada medium yang diperkaya dapat dilakukan dengan pengenceran dengan menggunakan air tawar. Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), salinitas optimum untuk *N. oculata* 25-35 ppt.

d. pH

Derajat keasaman merupakan gambaran jumlah atau aktivitas ion hidrogen dalam perairan. Secara umum nilai pH menggambarkan seberapa besar tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Perairan dengan nilai pH = 7 adalah netral, pH < 7 dikatakan kondisi perairan bersifat asam, sedangkan pH > 7 dikatakan kondisi perairan bersifat basa (Effendi, 2003). Menurut Mahida (1993) dalam Marganof (2007), limbah buangan industri dan rumah tangga dapat mempengaruhi nilai pH perairan. Perairan yang mengandung logam berat akan bersifat asam dari pada yang bebas logam berat, sehingga perubahan pH ke arah asam akan mengakibatkan semakin besar kelarutan logam berat dan makin tinggi pula kadar logam berat yang terakumulasi pada organisme.

Perubahan pH berkaitan dengan kandungan oksigen dan karbondioksida dalam air. Pada siang hari jika oksigen naik akibat fotosintesa fitoplankton, maka pH juga naik. Pada pagi jika pH kurang dari 7, hal ini menunjukkan bahwa tambak

atau kolam banyak mengandung bahan organik. Kestabilan pH perlu dipertahankan karena pH dapat mempengaruhi pertumbuhan organisme air, mempengaruhi ketersediaan unsur P dalam air dan mempengaruhi daya racun amoniak dan H_2S dalam air (Subarijanti, 2000).

Derajat keasaman atau pH digambarkan sebagai keberadaan ion hidrogen. Variasi pH dapat mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan kultur mikroalga antara lain mengubah keseimbangan karbon anorganik, mengubah ketersediaan nutrisi dan mempengaruhi fisiologi sel. Kisaran pH untuk kultur alga biasanya antara 7-9, kisaran optimum untuk alga laut berkisar antara 7,8-8,5. Secara umum kisaran pH yang optimum pada kultur *Nannochloropsis* sp. antara 7-9 (Defishes, 2009).

e. Karbon dioksida (CO_2)

Karbon dioksida adalah komponen udara yang umum terdapat baik di air maupun di udara. Gas ini dapat dihasilkan oleh proses respirasi maupun proses penguraian bahan organik (Afrianto dan Liviawaty, 1993).

Menurut Wardoyo (1979) dalam Marganof (2007), karbon dioksida bebas merupakan istilah untuk menunjukkan CO_2 yang terlarut di dalam air. CO_2 yang terdapat dalam perairan alami merupakan hasil proses difusi dari atmosfer, air hujan, dekomposisi bahan organik dan hasil respirasi organisme akuatik. Tingginya kandungan CO_2 pada perairan dapat mengakibatkan terganggunya kehidupan biota perairan. Konsentrasi CO_2 bebas 12 mg/l dapat menyebabkan tekanan pada ikan, karena akan menghambat pernafasan dan pertukaran gas. Kandungan CO_2 dalam air yang aman tidak boleh melebihi 25 mg/l, sedangkan konsentrasi CO_2 lebih dari 100 mg/l akan menyebabkan semua organisme akuatik mengalami kematian.

Menurut Taw (1990) dalam Defishes (2009), karbondioksida diperlukan oleh fitoplankton untuk membantu proses fotosintesis. Kadar karbondioksida yang berlebih dapat menyebabkan pH kurang dari batas optimum sehingga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan fitoplankton.

f. Nutrien

Menurut Taw (1990) dalam Defishes (2009), fitoplankton mendapatkan nutrien dari air laut yang sudah mengandung nutrien yang cukup lengkap. Namun pertumbuhan fitoplankton dengan kultur dapat mencapai optimum dengan mencampurkan air laut dengan nutrien yang tidak terkandung dalam air laut tersebut. Nutrien tersebut dibagi menjadi makronutrien dan mikronutrien, makronutrien meliputi nitrat dan fosfat. Makronutrien yang berupa nitrat dan fosfat merupakan pupuk dasar yang mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Nitrat adalah sumber nitrogen yang penting bagi fitoplankton baik di air laut maupun di air tawar. Bentuk kombinasi lain dari nitrogen seperti amonia, nitrit, dan senyawa organik dapat digunakan apabila kekurangan nitrat. Mikronutrien organik merupakan kombinasi dari beberapa vitamin yang berbeda-beda. Vitamin tersebut antara lain B₁₂, B₁ dan biotin. Mikronutrien tersebut digunakan fitoplankton untuk fotosintesis

Kekurangan unsur hara pada fitoplankton dapat menghambat pertumbuhannya. Dalam kultur *Nannochloropsis* sp. ini nutrien dapat diberikan melalui pemupukan. Peran penting yang sangat nyata yang dilakukan pemupukan adalah untuk mengembalikan, meningkatkan dan menjaga kestabilan pertumbuhan fitoplankton di suatu perairan (Suryanto, 2006). Adapun pupuk yang digunakan dalam kultur *Nannochloropsis* sp. adalah pupuk walne (Lampiran 2).

Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), komposisi bahan untuk stok media walne adalah NaNO₃ sebanyak 100 gr, Na₂EDTA (45 gr), H₃BO₃ (33,6 gr),

$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (20 gr), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1,3 gr), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,36 gr), stok larutan vitamin (100 ml), stok larutan logam mikro (1 ml), akuades hingga 1000 ml dan penggunaan 1 ml/l.

2.2 Kultur *Nannochloropsis* sp.

Kultur dibedakan menjadi dua kegiatan, yaitu kultur murni (skala laboratorium) dan kultur massal (dalam bak bervolume besar). Alga untuk makanan larva udang pada awalnya berasal dari laut. Oleh karena itu diperlukan suatu teknik untuk mengambil satu jenis plankton yang dikehendaki, yang disebut teknik isolasi (Martosudarmo dan Sabarudin, 1983 *dalam* Rostini, 2007).

Menurut Martosudarmo dan Sabaruddin (1980) *dalam* Rostini (2007), dalam hal mengisolasi satu spesies plankton dari alam ada beberapa metode yang dapat dilakukan, salah satunya adalah metode agar media. Metoda ini digunakan untuk plankton yang dapat dibudidayakan dalam agar-agar. Pada dasarnya teknik isolasi menggunakan sejumlah cawan petri, pipa kapiler, beaker glass dan pipet yang sebelum dipergunakan harus steril terlebih dahulu dengan autoklaf. Cawan steril di isi larutan agar dan sesudah larutan agar membeku di taburi air plankton dengan pipet tetes yang berujung kecil. Cawan petri ditutup dan disimpan pada suhu kamar ($\pm 25^\circ\text{C}$) selama beberapa hari. Setiap koloni plankton yang tumbuh diperiksa dengan bantuan mikroskop, untuk mencari jenis alga yang dikehendaki. Apabila masih tercampur harus dikultur lagi dalam media agar sampai diperoleh koloni yang benar-benar murni.

2.2.1 Kultur murni

Menurut Wibowo (2008), kultur murni merupakan rangkaian dari kegiatan pengadaan pakan alami/ kultur plankton. Bibit kultur murni diperoleh dari hasil isolasi atau dari hasil kultur dalam media agar. Plankton hasil biakan/ kultur dalam media agar, dipindahkan dalam tabung reaksi volume 10-15 ml, kemudian

dikultur secara bertingkat ke dalam erlenmeyer 100 ml, 500 ml, 1000 ml, 2000 ml dan volume 5-20 liter. Langkah-langkah kultur murni adalah sebagai berikut:

- Kultur diawali dengan mempersiapkan air laut yang sudah steril dengan kadar garam 28‰.
- Air dimasukkan ke dalam botol-botol/ toples kultur
- Ditambah pupuk cair, vitamin, silikat sebanyak 1ml/ liter.
- Media diaerasi dan dibiarkan sebentar, sampai pupuk tercampur merata
- Bibit dimasukkan sebanyak $\frac{1}{3}$ bagian atau $\frac{1}{4}$ bagian
- Untuk mencegah kontaminasi dari udara, botol kultur ditutup dengan kapas/ sterofom/ aluminium foil
- Agar plankton tumbuh dengan baik, penempatan wadah kultur harus cukup mendapat cahaya
- Setelah empat-lima hari masa pemeliharaan, plankton dapat dipanen dan dikultur pada wadah yang lebih besar

Kultur mikroalga akan tumbuh baik di dalam media kultur dengan kandungan nutrient makro dan komposisi *trace metal* daripada perairan alami. Biasanya kandungan nitrat di dalam kultur mikroalga secara intensif bisa mencapai 100-1000 kali lebih tinggi daripada kondisi di alam. Media kultur algae yang digunakan dalam kultur disuburkan terlebih dahulu dengan nutrient makro, mikro, *trace metal*, vitamin dan zat chelator (Riata, 2008).

2.2.2 Kultur massal

Menurut Wibowo (2008), kultur massal dapat dilakukan setelah empat-lima hari masa pemeliharaan skala laboratorium. Tahapan-tahapan untuk pembuatan/ pengkulturan adalah:

- Persiapan wadah dan media kultur merupakan langkah awal untuk melakukan kultur

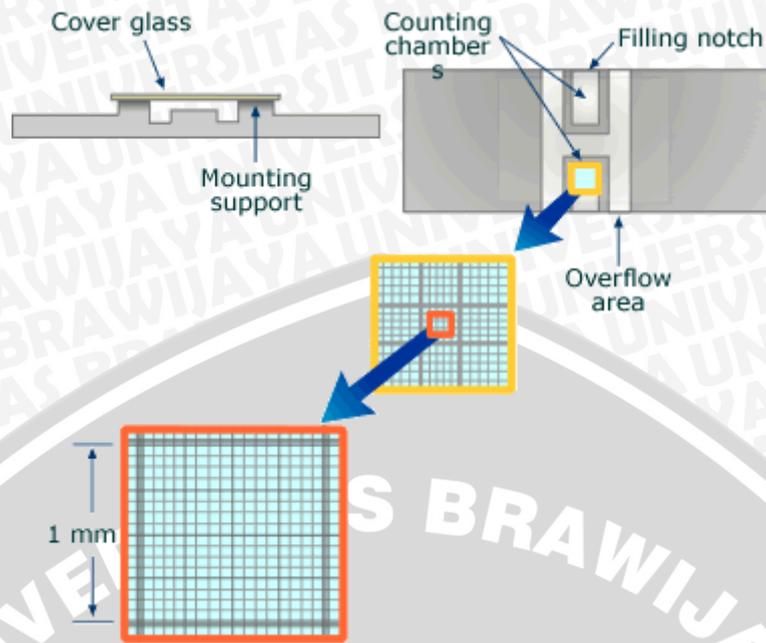
- Wadah yang digunakan untuk kultur bisa terbuat dari fiber maupun beton ukuran tergantung dari masing-masing pembudidaya.
- Media kultur sebelum ditaburkan benih terlebih dahulu disterilisasi menggunakan kaporit 20 g/l dan dibiarkan selama dua hari, setelah itu dilakukan penyaringan dengan menggunakan *filter catrid* ukuran 1,0 micron untuk menghilangkan endapan kaporit, untuk kultur skala laboratorium strerilisasi wajib untuk dilakukan dengan pemanasan suhu diatas 80°C untuk memastikan tidak ada kontaminan dalam melakukan kultur.
- Cahaya diatur sesuai dengan intensitas yang diperlukan, usahakan pencahayaan dilakukan secara kontinyu selama proses kultur berlangsung, proses pencahayaan dapat mempergunakan lampu neon ataupun yang lain, disesuaikan dengan keadaan masing-masing.

Usaha budidaya massal plankton dapat ditumbuhkan melalui pengenceran bertingkat. Awalnya ditumbuhkan didalam wadah bervolume 1 liter kemudian diperbanyak di dalam wadah 1 galon (3 liter) selanjutnya di dalam wadah 200 liter dan akhirnya didalam 1 ton (1 m³) atau lebih (Riata, 2008).

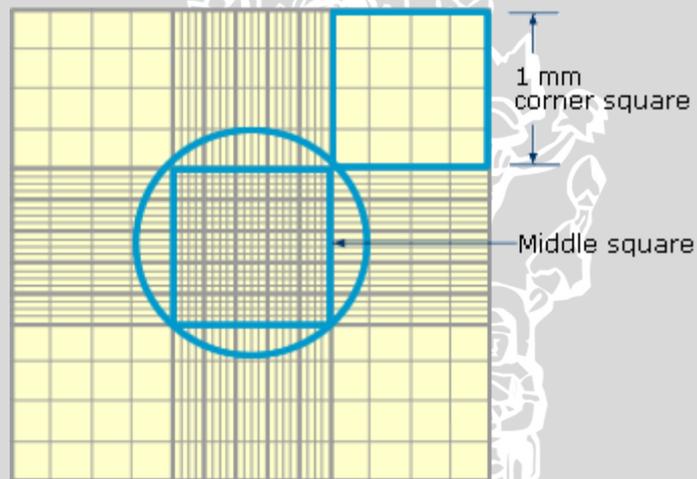
2.3 Kepadatan plankton

Menurut Mukiman (1984) *dalam* Rostini (2007), untuk mengetahui keberhasilan dalam pembibitan dari jenis plankton yang dikehendaki perlu diketahui tingkat kepadatannya. Alat yang digunakan untuk mengukur kepadatan adalah Haemocytometer dengan bantuan mikroskop.

Menurut Toolbox (2010), haemocytometer adalah slide khusus yang memiliki ruang hitung dengan volume air. Haemocytometer terdiri dari sebuah slide kaca hitung dengan dua ruang hitung yang masing-masing terbagi menjadi sembilan persegi sebesar 1 mm. Jika dilihat dari atas maka akan terlihat seperti huruf H. Hamaemocytometer dapat dilihat pada Gambar 2.



Standard Haemocytometer Chamber



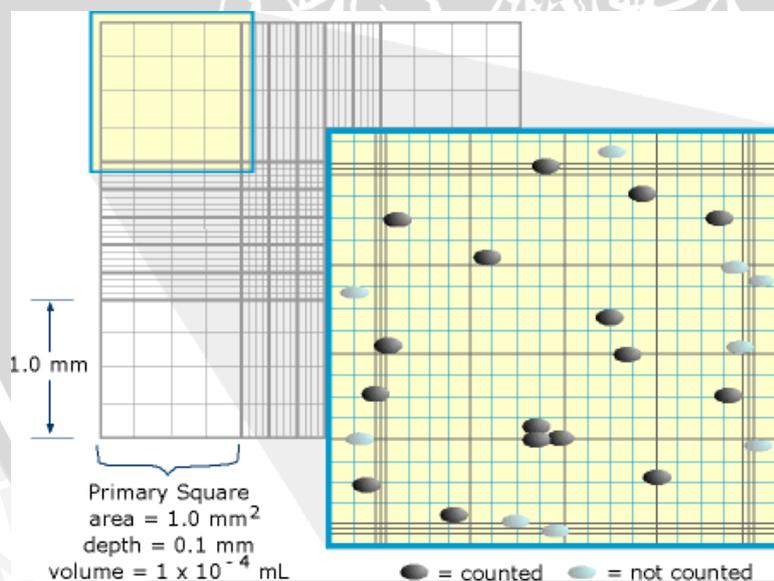
Gambar 2. Haemocytometer

Keterangan:

1. Gambar di atas adalah salah satu dari dua ruang hitung di haemocytometer.
2. Seluruh ruang hitung memiliki sembilan kotak besar berukuran 1,0 mm x 1,0 mm yang dipisahkan satu sama lain melalui jaringan triple. Luas masing-masing adalah 1 mm².

3. Pada setiap sudut memiliki ukuran lebih besar, 1 mm² terdiri dari 16 kotak persegi kecil yang berguna untuk membantu mengarahkan pengamat selama menghitung dan membantu menghindari menghitung sel lebih dari sekali.
4. Wilayah 1 mm² pada bagian tengah dibagi menjadi 25 kotak kecil, masing-masing 0,04 mm² dan masing-masing ditandai ke dalam 16 kotak lebih kecil.

Menurut Fatuchri (1984) dalam Rostini (2007), ruang hitung dalam suatu haemocytometer mempunyai dimensi sebagai berikut: kedalaman 0,1 mm dan panjang 1 mm serta lebar 1 mm (volume 0,0001 cm³). Luas ruang hitung adalah 1 mm² yang terbagi dalam 400 kotak yang masing-masing luasnya 0,0025 mm². Penghitungan plankton dilakukan dalam 400 kotak (bila kepadatan relatif rendah) atau dalam beberapa kotak yang dipilih secara acak (bila kepadatan terlalu tinggi). Cara menghitung plankton pada haemocytometer dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Cara menghitung plankton pada haemocytometer

Menurut Rostini (2007), estimasi kepadatan sel alga dapat di hitung sebagai berikut:

1. Dalam 400 kotak (bila kepadatan rendah)

$$\text{Jumlah sel} \times 10^4/\text{ml} = a \text{ sel/ml}$$

2. Dalam beberapa kotak (bila kepadatan terlalu tinggi)

Rata-rata jumlah sel $\times 400 \times 10^4/\text{ml} = a \text{ sel/ml}$

Pipet yang digunakan untuk mengambil plankton terlebih dahulu dicuci dengan air tawar yang bersih lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama sepuluh menit, untuk menghindari kontaminasi. Air dari pipet diteteskan pada haemocytometer dan di tutup dengan cover glass, selanjutnya dilihat di bawah mikroskop dengan perbesaran 100-400 kali (Rostini, 2007).

2.4 Pencemaran

Menurut Odum (1971), pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber kehidupan. Menurut Yunus (2007), pencemaran air adalah masuk atau dimasukannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air dan atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau proses alam sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air kurang atau tidak dapat lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran air diakibatkan oleh masuknya bahan pencemar (polutan) yang dapat berupa gas, bahan-bahan terlarut, dan partikulat. Pencemar memasuki badan air dengan berbagai cara misalnya melalui atmosfer, tanah, limpasan "run off" pertanian, limbah domestik dan perkotaan, pembuangan limbah industri, dan lain lain (Effendi, 2003).

Menurut Dahuri *et al.*, (1996), sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi tujuh kelas: industri, limbah cair pemukiman "sewage", limbah cair perkotaan "urban stormwater", pertambangan, pelayaran "shipping", pertanian dan budidaya. Bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa: sediman, unsur

hara “nutrients”, logam beracun “toxic metal”, pestisida, organisme patogen, sampah “liter”, dan “oxygen depleting substances” (bahan-bahan yang dapat menyebabkan oksigen yang terlarut dalam air laut berkurang).

2.5 Logam berat

2.5.1 Definisi logam berat

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7. Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tidak aktif. Gugus karboksilat (COOH) dan amina ($-\text{NH}_2$) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Purnomo, 2009).

Berdasarkan data dari *United State Environmental Agency* (USEPA) dalam Buhani (2007), logam berat yang merupakan polutan perairan berbahaya diantaranya adalah antimon (Sb), arsenik (As), berilium (Be), kadmium (Cd), kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni), selenium (Se), kobalt (Co), dan seng (Zn). Logam berat ini berbahaya karena tidak dapat didegradasi oleh tubuh, memiliki sifat toksisitas (racun) pada makhluk hidup walaupun pada konsentrasi yang rendah, dan dapat terakumulasi dalam jangka waktu tertentu. Oleh karena itu penting dilakukan pengambilan logam berat pada daerah yang terkontaminasi.

Menurut Purnomo (2009), berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn dan lain sebagainya. Sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Jalur masuknya adalah melalui kulit, pernapasan dan pencernaan.

Menurut Marganof (2003) *dalam* Silfia (2004), berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap hewan air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) sebagai berikut merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co). Daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$, sedangkan menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) *dalam* Silfia (2004), sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu

- a. bersifat toksik tinggi terdiri dari unsur unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.
- b. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co,
- c. bersifat tosik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe.

2.5.2 Sifat logam berat

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (PPLH-IPB, 1997 ; Sutamihardja *et al.*, 1982 dalam Anggraini, 2007) yaitu:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air. Di samping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya ke dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air (Hutagalung, 1991).

2.6 Timbal (Pb)

2.6.1 Ciri – ciri timbal (Pb)

Menurut Darmono (1995) dalam Jonny (2009), Pb mempunyai sifat bertitik lebur rendah, mudah dibentuk, mempunyai sifat kimia yang aktif, sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam untuk mencegah perkaratan. Bila dicampur dengan logam lain, membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya, mempunyai kepadatan melebihi logam lain.

Menurut Kristanto (2003), timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya, yaitu:

- a. titik cairnya rendah sehingga jika akan digunakan dalam bentuk cair maka hanya membutuhkan teknik yang sederhana dan murah
- b. timbal (Pb) merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah ke berbagai bentuk
- c. sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab
- d. timbal dapat membentuk "alloy" dengan logam lainnya, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat yang berbeda dengan timbal yang murni
- e. densitas timbal lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya, kecuali bila dibanding dengan emas dan merkuri

Menurut Mohsin (2009), timbal merupakan logam putih kebiru-biruan dengan pancaran yang terang. Ia sangat lunak, mudah dibentuk, "ductile", dan bukan konduktor listrik yang baik. Ia memiliki resistansi tinggi terhadap korosi. Pipa-pipa timbal dari jaman Romawi masih digunakan sampai sekarang. Unsur ini juga digunakan dalam kontainer yang mengandung cairan korosif seperti asam sulfur dan dapat dibuat lebih kuat dengan cara mencampurnya dengan antimoni atau logam lainnya.

2.6.2 Penggunaan timbal (Pb)

Penggunaan timbal terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpan untuk mobil, di mana digunakan timbal metalik dan komponen-komponennya. Penggunaan lainnya adalah untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa dan solder, bahan pewarna, dan lain-lain. Solder mengandung 50-95% timbal, sedangkan sisanya adalah timah (Kristanto, 2003).

Menurut Pallar (1994) dalam Wulandari *et al.*, (2005), Pb banyak dipergunakan dalam pembuatan baterai, aki, bahan peledak, pestisida, cat karat dan pelapisan logam serta terdapat juga pada pipa untuk aliran air minum yang merupakan "alloy" dilogam timbal. Penggunaan Pb dalam skala yang besar dapat mengakibatkan polusi baik di daratan maupun perairan. Pb yang masuk dalam perairan dalam bentuk limbah akan mengalami pengendapan yang dikenal dengan istilah sedimen.

Menurut Saeni (1997) dalam Jonny (2009), logam Pb banyak digunakan pada industri baterai, kabel, cat (sebagai zat pewarna), penyepuhan, pestisida, dan yang paling banyak digunakan sebagai zat antiletup pada bensin. Pb juga digunakan sebagai zat penyusun patri atau solder dan sebagai formulasi penyambung pipa yang mengakibatkan air untuk rumah tangga mempunyai banyak kemungkinan kontak dengan Pb.

Menurut Mohsin (2009), logam ini sangat efektif sebagai penyerap suara. Ia digunakan sebagai tameng radiasi di sekeliling peralatan sinar-x dan reaktor nuklir. Juga digunakan sebagai penyerap getaran. Senyawa-senyawa timbal seperti timbal putih, karbonat, timbal putih yang tersublimasi, "chrome yellow" (krom kuning) digunakan secara ekstensif dalam cat. Tetapi beberapa tahun terakhir, penggunaan timbal dalam cat telah diperketat untuk mencegah bahaya bagi manusia.

2.6.3 Pengaruh timbal (Pb) di perairan

Menurut Ulfin (1995), timbal merupakan salah satu logam berat non esensial yang sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (toksisitas) pada makhluk hidup. Racun ini bersifat kumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Timbal terdapat dalam air karena adanya kontak

antara air dengan tanah atau udara tercemar timbal, air yang tercemar oleh limbah industri atau akibat korosi pipa.

Akumulasi logam berat sebagai logam beracun pada suatu perairan merupakan akibat dari aliran sungai yang mengandung limbah. Meskipun kadar logam dalam aliran sungai itu relatif kecil akan tetapi sangat mudah diserap dan terakumulasi secara biologis oleh tanaman atau hewan air dan akan terlibat dalam sistem jaring-jaring makanan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya proses bioakumulasi, yaitu logam berat akan terkumpul dan meningkat kadarnya dalam tubuh organisme air yang hidup, termasuk ikan bandeng, kemudian melalui biotransformasi akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat tersebut secara tidak langsung melalui rantai makanan. Proses rantai makanan ini akan sampai pada jaringan tubuh manusia sebagai satu komponen dalam sistem rantai makanan (Purnomo dan Muchyiddin, 2007).

2.6.4 Mekanisme penyerapan logam berat

Menurut Purnomo (2009), umumnya penyerapan ion logam berat oleh sianobakteria dan mikroorganisme terdiri atas dua mekanisme yaitu melibatkan proses aktif uptake dan pasif uptake.

a. Proses aktif uptake

Proses ini juga dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan sianobakteria, dan/atau akumulasi intraselular ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekresi sel pada tingkat kedua. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitivitasnya terhadap parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lainnya. Namun demikian, proses ini dapat pula dihambat oleh suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel.

Untuk mendesain suatu proses pengolahan limbah yang mengandung ion logam berat dengan melibatkan sianobakteria relatif mudah dilakukan. Proses pertama, sianobakteria pilihan dimasukkan, ditumbuhkan dan selanjutnya dikontakkan dengan air yang tercemar ion logam berat tersebut. Proses pengontakkan dilakukan dalam jangka waktu tertentu yang ditujukan agar sianobakteria berinteraksi dengan ion logam berat, selanjutnya biomassa sianobakteria ini dipisahkan dari cairan. Proses terakhir, biomassa sianobakteria yang terikat dengan ion logam berat diregenerasi untuk digunakan kembali atau kemudian dibuang ke lingkungan. Pemanfaatan sianobakteria untuk menanggulangi pencemaran logam berat merupakan hal yang sangat menarik dilakukan, baik oleh masyarakat, pemerintah maupun industri. Karena, sianobakteria merupakan organisme selular yang mudah dijumpai, mempunyai spektrum habitat sangat luas, dapat tumbuh dengan cepat dan tidak membutuhkan persyaratan tertentu untuk hidup, mudah dibudidayakan dalam sistem akuakultur.

b. Proses pasif uptake

Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme passive uptake dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil yang berada pada dinding sel. Proses penyerapan logam adalah



di mana S adalah permukaan absorben. Dari reaksi di atas nampak bahwa akumulasi logam timbal akan meningkatkan konsentrasi ion H^+ . Karena reaksi di atas merupakan reaksi kesetimbangan, maka kenaikan pH medium

menyebabkan reaksi bergeser ke produksi ion H^+ , yang berarti semakin banyak jumlah logam yang terkomplekskan.

Proses ini bersifat bolak-balik dan cepat. Proses bolak-balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomass. Proses ini dapat lebih efektif dengan kehadiran pH tertentu dan kehadiran ion-ion lainnya di media dimana logam berat dapat terendapkan sebagai garam yang tidak terlarut. Tetapi di bagian lain, metode ini menjadi tidak efektif bila terdapat penghambat-penghambat proses metabolisme "metabolic inhibitor" atau siklus gelap terang.

Menurut Wong dan Tam (1997), penyerapan logam oleh sel alga merupakan proses yang kompleks dan umumnya terdapat 2 tahapan yang termasuk dalam proses penyerapan secara kinetik. Proses yang pertama berjalan secara cepat (penyerapan fisika dan kimia atau pertukaran ion yang terjadi pada sel permukaan), dan terjadi secara cepat setelah kontak awal dengan logam. Tahap ini lebih dikenal dengan "bioabsorption". Tahap kedua "bioaccumulation", berlangsung lebih lambat dan aktif, berhubungan dengan beberapa aktivitas metabolisme.

3. MATERI DAN METODE

3.1 Materi penelitian

Materi dalam penelitian ini adalah mikroalga jenis *Nannochloropsis* sp dan logam berat timbal (Pb) dengan konsentrasi 0 ppm; 0.3 ppm; 0.6 ppm dan 0.9 ppm. Logam berat timbal (Pb) berupa serbuk berwarna putih (Lampiran 2).

3.2 Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.3 Metode penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu mengadakan percobaan untuk melihat suatu hasil. Menurut Marzuki (1977), metode eksperimen diperlukan untuk menguji kesimpulan-kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dengan metode survey atau observasi. Dari hasil kesimpulan sementara atau usul pemecahan masalah, dilakukan percobaan-percobaan apakah memberikan jawaban seperti apa yang dikemukakan.

Topik yang ini diangkat dalam penelitian adalah kemampuan mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai absorben timbal (Pb) dengan konsentrasi berbeda. Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu

- Tahap I : persiapan yang meliputi sterilisasi alat dan bahan dan menyediakan plankton *Nannochloropsis* sp. melalui kultur *Nannochloropsis* sp.
- Tahap II: perlakuan sesungguhnya

Variabel yang berpengaruh terhadap penelitian ini ada dua, yaitu variabel tergantung "dependent variables" dan variabel bebas "independent variables".

a. Variabel tergantung "dependent variables"

Variabel tergantung adalah suatu variabel yang tercakup di dalam hipotesis penelitian, yang keragamannya (variabilitasnya) tergantung atau dipengaruhi oleh variabel lainnya (Nurjannah, 2006 dalam Prastiyo, 2007). Variabel tergantung dalam penelitian ini adalah mikroalga *Nannochloropsis* sp.

b. Variabel bebas "independent variables"

Variabel bebas adalah suatu variabel tercakup di dalam hipotesis penelitian, yang keragamannya akibat dari manipulasi atau intervensi peneliti atau merupakan suatu keadaan atau kondisi atau fenomena yang ingin diselidiki, diteliti atau dikaji. Variabel ini mempengaruhi variabel tergantung (Nurjannah, 2006 dalam Prastiyo, 2007). Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah konsentrasi logam timbal (Pb). Konsentrasi logam timbal (Pb) akan mempengaruhi kemampuan penyerapan *Nannochloropsis* sp.

3.4 Prosedur penelitian

3.4.1 Persiapan

A. Sterilisasi alat dan bahan

- Mempersiapkan alat dan bahan yang akan disterilisasi seperti gelas ukur, tabung reaksi, pipet tetes, erlenmeyer dan air laut
- Membungkus alat-alat yang akan disterilisasi dengan menggunakan kertas koran, kemudian diikat dengan menggunakan benang
- Menuang air secukupnya ke dalam autoklaf, kemudian alat yang telah dibungkus kertas koran dimasukkan ke dalam autoklaf dan ditutup rapat dengan mengencangkan baut secara silang
- Menyalakan kompor pemanas

- Menunggu sampai 15 menit keadaan suhu 121°C dan manometer menunjukkan 1 atm
- Mematikan kompor dan tunggu beberapa saat sampai termometer dan manometer menunjukkan angka 0 (nol), kemudian buka kran uap lalu buka penutup *autoclave* dengan cara zig-zag
- Mengambil alat dan bahan yang sudah disterilkan
- Menyimpan alat yang telah disterilkan

B. Menyediakan plankton *Nannochloropsis* sp. melalui kultur *Nannochloropsis* sp.

Tahapan kultur adalah sebagai berikut:

a. Kultur tahap 1

- Mensterilisasi alat-alat yang akan digunakan berupa air laut, gelas ukur, pipet tetes dan tabung reaksi
- Menempatkan air laut yang telah disterilisasi ke dalam rak tabung reaksi dan didinginkan
- Mencampurkan starter murni *Nannochloropsis* sp. (Lampiran 2) dengan air laut dengan perbandingan 1:2 ke dalam tabung reaksi
- Menambahkan pupuk walne
- Menutup tabung reaksi dengan kapas agar tidak terkontaminasi.
- Menginkubasi selama 4 hari dengan bantuan lampu TL dan melakukan pengocokan sesering mungkin setiap harinya agar mikroalga tidak mengendap di dasar.

b. Kultur tahap 2

- Setelah 4 hari, memindahkan ke dalam Erlenmeyer dengan melakukan pengenceran dan penambahan pupuk walne. Pengenceran selalu

dilakukan dengan perbandingan 1 : 2 antara *Nannochloropsis* sp. dengan air laut

- Menutup erlenmeyer dengan kapas agar tidak terkontaminasi udara luar.
- Menginkubasi selama 4 hari dengan bantuan lampu TL dan memberi aerasi agar tidak mengendap.

c. Kultur tahap 3

- Setelah 4 hari, memindahkan dalam toples kapasitas 2 liter dengan melakukan pengenceran dan penambahan pupuk walne. Pengenceran selalu dilakukan dengan perbandingan 1 : 2 antara *Nannochloropsis* sp. dengan air laut
- Menutup toples dengan plastik agar tidak terkontaminasi udara luar.
- Menginkubasi selama 4 hari dengan bantuan lampu TL dan diberi aerasi agar tidak mengendap di dasar.

d. Kultur tahap 4

- Setelah 4 hari, memindahkan ke dalam toples kapasitas 16 liter dengan melakukan pengenceran dan penambahan pupuk walne. Pengenceran selalu dilakukan dengan perbandingan 1 : 2 antara *Nannochloropsis* sp. dengan air laut
- Menutup toples dengan plastik agar tidak terkontaminasi udara luar
- Menginkubasi selama 4 hari dengan bantuan lampu TL dan diberi aerasi agar tidak mengendap.

3.4.2 Perlakuan sesungguhnya

- Mengukur kandungan timbal di dalam air laut sebagai media pemeliharaan sebelum pemberian perlakuan

- Menyiapkan larutan logam timbal (Pb) untuk perlakuan penelitian dengan konsentrasi 0 mg/l; 0.3 mg/l; 0.6 mg/l dan 0.9 mg/l
- Memasukkan logam timbal (Pb) ke dalam toples dengan volume 10 liter sesuai dengan 3 macam perlakuan konsentrasi dengan 3 ulangan
- Mengukur populasi awal plankton *Nannochloropsis* sp. dari larutan stok sebelum diberi perlakuan
- Mengukur kandungan timbal (Pb) di dalam plankton pada awal penelitian
- Mengukur kandungan timbal (Pb) di dalam air setiap 3 hari sekali selama 15 hari
- Pada hari ke 15 menghitung kepadatan akhir *Nannochloropsis* sp dari masing-masing perlakuan dan dilakukan pemanenan *Nannochloropsis* sp menggunakan kertas saring kemudian diukur kandungan timbal (Pb) dalam air dan di dalam *Nannochloropsis* sp.

3.4.3 Pengukuran kualitas air

A. Parameter fisika

a. Suhu

Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan thermometer Hg. Menurut Standar Nasional Indonesia (1991), tahapan pemeriksaan suhu pada permukaan air adalah :

- Mengkalibrasi termometer dengan termometer baku, sebaiknya dilakukan secara berkala
- Melakukan pemeriksaan suhu udara di daerah lokasi dengan cara menempatkan termometer sedemikian rupa, sehingga tidak kontak langsung dengan cahaya matahari biasanya dilindungi dengan bayangan badan, tunggu sampai skala suhu pada termometer atau termistor menunjukkan angka yang stabil kemudian catat suhu

- Mencilupkan termometer langsung ke dalam air sampai batas skala baca, biarkan 2-5 menit sampai skala suhu pada termometer menunjukkan angka yang stabil, pembacaan skala termometer gelas harus dilakukan tanpa mengangkat terlebih dahulu termometer dari air.

B. Parameter kimia

a. Salinitas

- Membersihkan membran refraktometer dengan aquadest dan mengeringkan dengan tissue
- Mengambil air laut menggunakan pipet tetes dan diteteskan 1-2 tetes pada membrane refraktometer kemudian ditutup dengan penutup membrane
- Mengarahkan refraktometer menuju sumber cahaya dan membaca nilai salinitas yang ditunjuk pada lensa refraktometer sebelah kanan.

b. pH

pH perairan diukur dengan menggunakan pH "paper". Menurut Standar Nasional Indonesia (1991), tahapan cara kerjanya adalah sebagai berikut:

- Mencilupkan kertas pH kedalam sampel dan biarkan sampai 1 menit
- Mengangkat kertas dan mencocokkan warna dari kertas tersebut pada kotak standart pH yang telah disediakan
- Mencatat nilai sebagai nilai pH

c. CO₂ (Karbon dioksida)

Menurut Hariyadi *et al.*, (1992), prosedur pengukuran CO₂ adalah sebagai berikut:

- Mengusahakan pengambilan air contoh sedemikian rupa sehingga terhindar kontak antara air contoh dengan udara. Analisa harus dilakukan segera, yaitu dalam waktu 2-3 jam setelah pengambilan contoh.
- Memasukkan 25 ml air sampel ke dalam erlenmeyer dengan hati-hati, sedapat mungkin kurangi pengaruh aerasi
- Menambahkan 3-4 tetes indikator PP, jika berwarna pink berarti tidak ada CO₂, jika tidak berwarna berarti ada CO₂ dan lanjutkan keprosedur 4
- Menitrasi segera dengan natrium karbonat (Na₂CO₃) 0.0454 N sampai warna pink yang stabil selama 30 detik. Catat titran yang digunakan
- Menghitung kandungan CO₂ bebas dengan rumus

$$\text{CO}_2 \text{ (mg/l)} = \frac{\text{ml titran} \times \text{N titran} \times 44/2 \times 1000}{\text{volume sample}}$$

3.5 Rancangan dan analisis penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu persiapan dan perlakuan sesungguhnya. Analisa penelitian dilakukan dengan 4 perlakuan dan 3 kali pengulangan. Denah penelitian adalah sebagai berikut:

Konsentrasi Pb (ppm)	Ulangan		
	1	2	3
0	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃
0.3	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃
0.6	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃
0.9	D ₄₁	D ₄₂	D ₄₃

B ₂₂	D ₄₂	A ₄₂	C ₃₃	A ₄₂	B ₂₃
A ₁₁	C ₃₂	B ₂₁	D ₄₃	C ₃₁	D ₄₁

Dimana:

A : perlakuan dengan konsentrasi logam timbal (Pb) 0 ppm

B : perlakuan dengan konsentrasi logam timbal (Pb) 0.3 ppm

C : perlakuan dengan konsentrasi logam timbal (Pb) 0.6 ppm

D : perlakuan dengan konsentrasi logam timbal (Pb) 0.9 ppm
1, 2 dan 3 adalah ulangan

Analisa penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan
4 perlakuan dan 3 kali pengulangan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Perhitungan JK

$$FK = \frac{G^2}{n} = \frac{(\text{total jenderal})^2}{\text{total jumlah pengamatan}}$$

$$JK \text{ Total (JKT)} = \sum G_{ij}^2 - FK$$

$$JK \text{ Perlakuan (JKP)} = \frac{\sum (\text{total perlakuan})^2}{r(\text{ulangan})} - FK$$

$$JK \text{ Galat (JKG)} = JKT - JKP$$

$$\text{Derajat bebas total (db total)} = rt - 1 = \text{jumlah pengamatan} - 1$$

$$\text{Derajat bebas perlakuan (db perlakuan)} = t - 1 = \text{jumlah perlakuan} - 1$$

$$\text{Db galat} = \text{db total} - \text{db perlakuan} \text{ atau } t(r - 1)$$

$$KT \text{ Perlakuan} = \frac{JKP}{t - 1} \rightarrow \frac{JKP}{\text{db perlakuan}}$$

$$KT \text{ Galat} = \frac{JKG}{t(r - 1)} \rightarrow \frac{JKG}{\text{db galat}}$$

$$F \text{ hit} = \frac{KTP}{KTG}$$

b. ANOVA

SK	Db	JK	KT	F_{hit}	$F_{5\%}$	$F_{1\%}$
Perlakuan	$t - 1$	JKP	JKP / dpb	KTP/KTG	Tabel	Tabel
Galat	$t(r - 1)$	JKG	JKG / dbg	KTP/KTG	Tabel	Tabel
Total	$Rt - 1$	JKT				

F_{hit} * berbeda nyata

** berbeda sangat nyata

c. Kesimpulan

$F_{\text{hit}} > F_{\text{tabel } 1\%}$ = berbeda sangat nyata

$F_{hit} > F_{tabel\ 5\%}$ = berbeda nyata

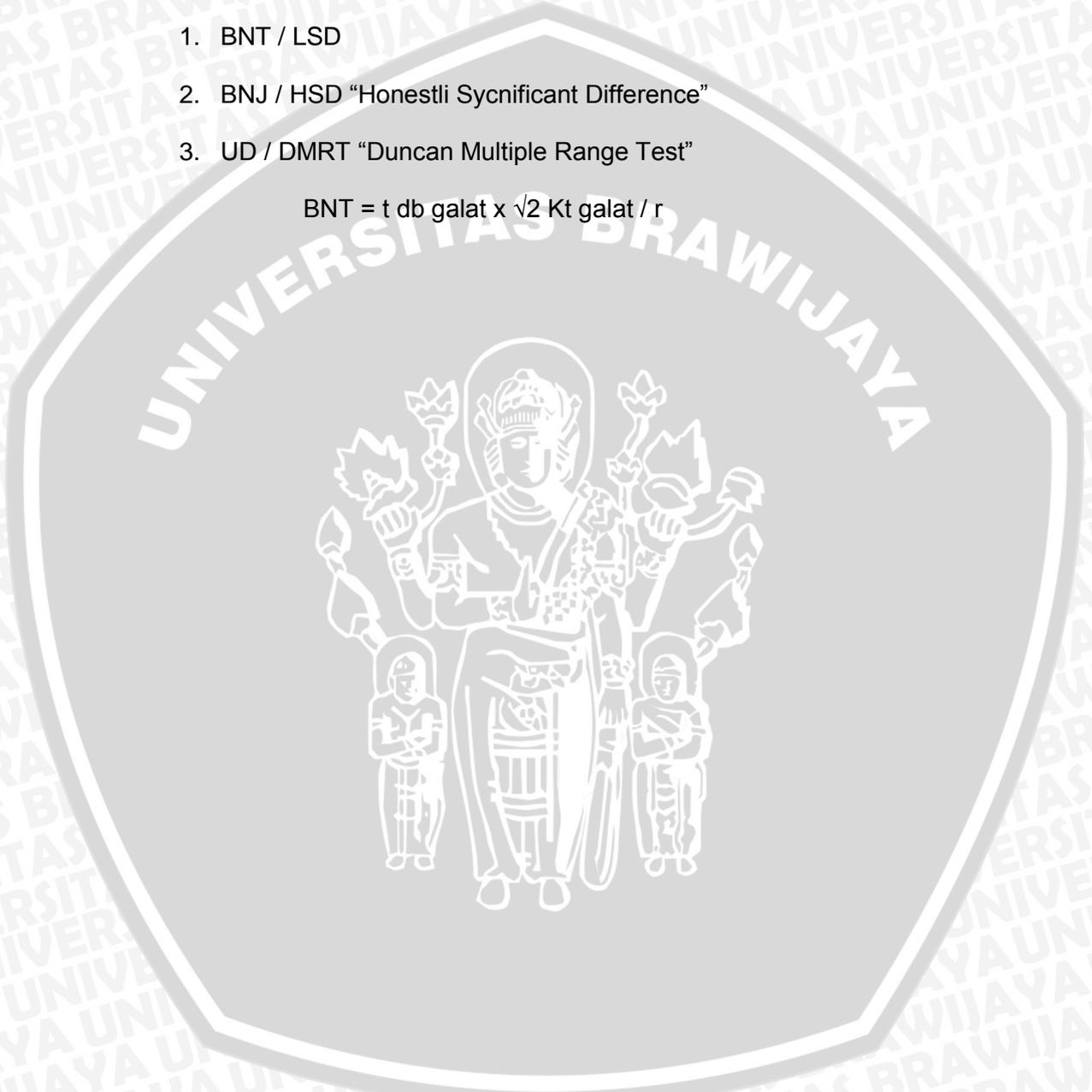
$F_{hit} < F_{tabel\ 5\%}$ = tidak berbeda nyata

d. Menentukan varietas yang paling potensial

Bila $F_{hit} > F_{tabel\ 5\%}$ atau $F_{tabel\ 1\%}$ diadakan uji lebih lanjut

1. BNT / LSD
2. BNJ / HSD "Honestli Sycnificant Difference"
3. UD / DMRT "Duncan Multiple Range Test"

$$BNT = t_{db\ galat} \times \sqrt{2 Kt\ galat / r}$$



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

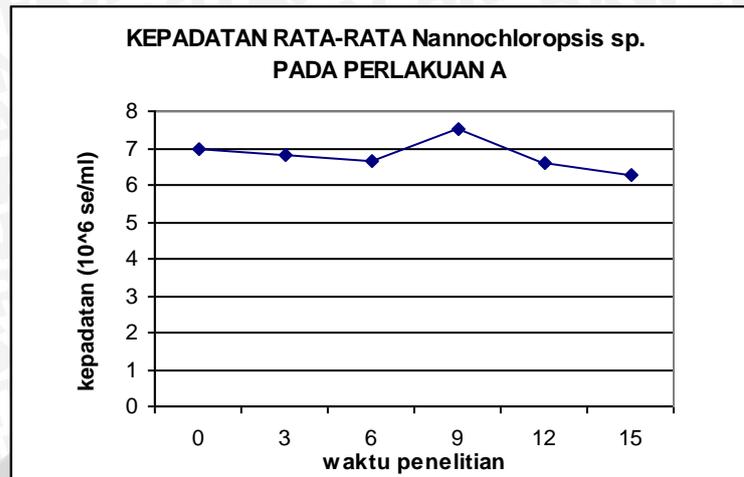
4.1 Kepadatan *Nannochloropsis* sp.

Hasil penghitungan kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kepadatan *Nannochloropsis* sp.pada perlakuan A

Hari ke-	Ulangan (10^6 sel/ml)			Rata-rata (10^6 sel/ml)
	1	2	3	
0	7,00	7,00	7,00	7,00
3	6,76	6,86	6,87	6,83
6	6,53	6,61	6,75	6,63
9	7,81	7,71	7,05	7,52
12	7,32	6,56	5,89	6,59
15	6,69	6,35	5,69	6,24

Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A (0 ppm) menunjukkan pada hari ke 0 adalah 7.00×10^6 sel/ml dan menurun pada hari ke 3 dan ke 6 yaitu 6.83×10^6 sel/ml dan 6.63×10^6 sel/ml. Pada hari ke 9 kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. meningkat menjadi 7.52×10^6 sel/ml dan menurun kembali pada hari ke 12 dan 15 yaitu 6.59×10^6 sel/ml dan 6.24×10^6 sel/ml. Walaupun terjadi penurunan dan peningkatan, namun penurunan dan peningkatan tersebut tidak terjadi secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan nutrisi dalam media masih mendukung *Nannochloropsis* sp. untuk bertahan hidup, dimana nutrisi tersebut berasal dari penambahan pupuk walne. Menurut Suryanto (2006), peran penting yang sangat nyata yang dilakukan pemupukan adalah untuk mengembalikan, meningkatkan dan menjaga kestabilan pertumbuhan fitoplankton di suatu perairan. Adapun grafik kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A yaitu konsentrasi 0 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A (0 ppm)

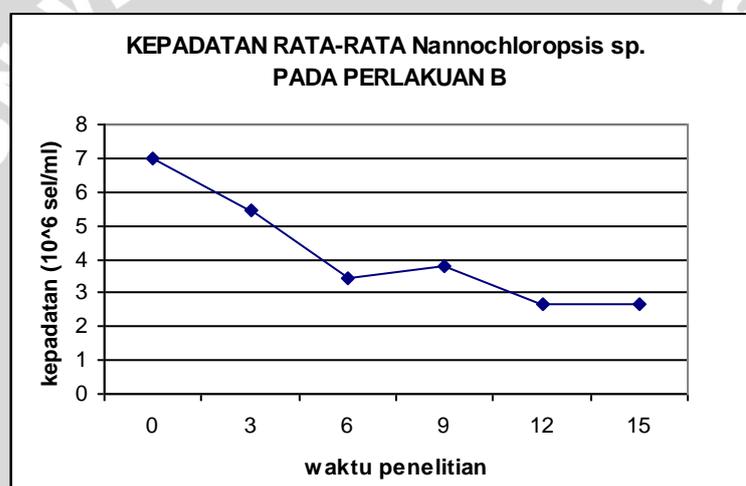
Hasil penghitungan kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B yaitu konsentrasi 0.3 ppm dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B

Hari ke-	Ulangan (10^6 sel/ml)			Rata-rata (10^6 sel/ml)
	1	2	3	
0	7,00	7,00	7,00	7,00
3	4,06	6,66	5,65	5,46
6	2,52	3,81	4,07	3,47
9	7,08	3,05	1,19	3,77
12	3,06	0,73	4,21	2,67
15	2,49	0,65	4,87	2,67

Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B yaitu konsentrasi timbal (Pb) 0.3 ppm menunjukkan pada hari ke 0 adalah 7.00×10^6 sel/ml dan menurun pada hari ke 3 dan ke 6 yaitu 5.46×10^6 sel/ml dan 3.47×10^6 sel/ml. Pada hari ke 9 kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. meningkat menjadi 3.77×10^6 sel/ml dan menurun kembali pada hari ke 12 yaitu 2.67×10^6 sel/ml, Pada hari ke 15, kepadatan *Nannochloropsis* sp. tetap 2.67×10^6 sel/ml. Peningkatan kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada hari ke 9 tidak terjadi secara signifikan. Walaupun demikian, hal tersebut dapat menunjukkan bahwa dalam

media masih tersedia nutrisi untuk mendukung kehidupan *Nannochloropsis* sp.. Nutrien dalam media diperoleh dari penambahan pupuk walne, dimana pupuk ini memiliki unsur-unsur yang dibutuhkan untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), komposisi bahan untuk stok media walne adalah NaNO_3 sebanyak 100 gr, Na_2EDTA (45 gr), H_3BO_3 (33,6 gr), $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (20 gr), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1,3 gr), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,36 gr), stok larutan vitamin (100 ml), stok larutan logam mikro (1 ml), akuades hingga 1000 ml dan penggunaan 1 ml/l. Adapun grafik kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B (0.3 ppm) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B (0.3 ppm)

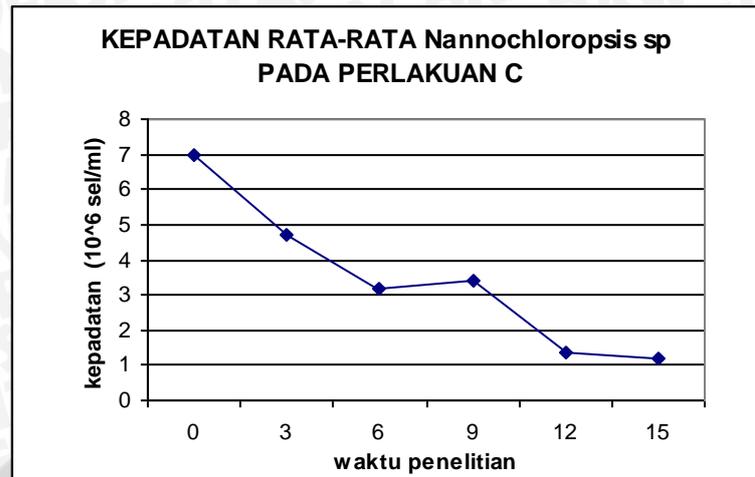
Gambar 5 menunjukkan kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan B dengan konsentrasi Pb 0.3 ppm mengalami penurunan yang signifikan pada hari ke 3, 6 dan 12. Penurunan tersebut terjadi karena adanya masukan logam berat dalam media *Nannochloropsis* sp.. Menurut Effendi (2003), kadar timbal yang berkisar antara 0,1-8,0 mg/liter dapat menghambat pertumbuhan mikroalga.

Hasil penghitungan kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan C yaitu konsentrasi Pb 0.6 ppm dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan C

Hari ke-	Ulangan (10^6 sel/ml)			Rata-rata (10^6 sel/ml)
	1	2	3	
0	7.00	7.00	7.00	7.00
3	6,31	4,08	3,73	4,71
6	2,9	5,24	1,31	3,15
9	3,79	4,25	2,2	3,41
12	2,17	0,26	1,58	1,34
15	1,86	0,95	0,8	1,20

Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan C yaitu konsentrasi timbal (Pb) 0.6 ppm menunjukkan pada hari ke 0 adalah 7.00×10^6 sel/ml dan menurun pada hari ke 3 dan ke 6 yaitu 4.17×10^6 sel/ml dan 3.15×10^6 sel/ml. Pada hari ke 9 kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. meningkat menjadi 3.41×10^6 sel/ml dan menurun kembali pada hari ke 12 dan 15 yaitu 1.34×10^6 sel/ml dan 1.20×10^6 sel/ml. Peningkatan kepadatan pada hari ke 9 tidak terjadi secara signifikan. Walaupun demikian, peningkatan tersebut menunjukkan bahwa nutrient dalam media masih tersedia dan kualitas air media sesuai untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. Faktor yang mempengaruhi keberhasilan kultur *Nannochloropsis* sp adalah ketersediaan nutrien, dan faktor lingkungan seperti suhu dan cahaya (Hudaidah, 2008). Grafik kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. perlakuan C (0.6 ppm) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan C (0.6 ppm)

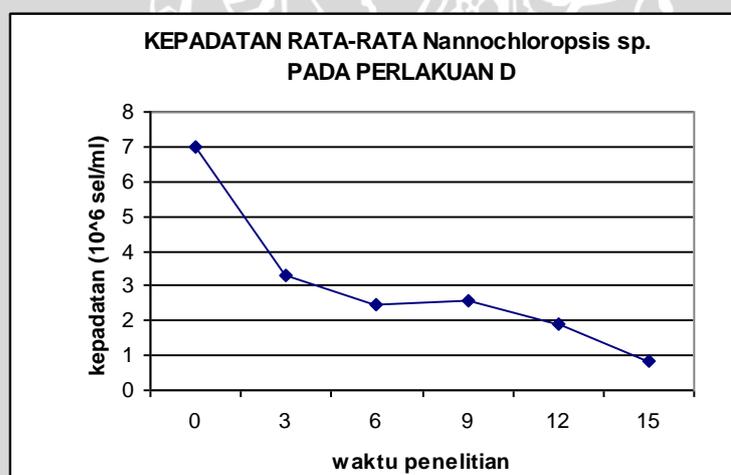
Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan peningkatan kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan C dengan konsentrasi Pb 0.6 ppm. Penurunan kepadatan disebabkan karena adanya logam berat diserap oleh *Nannochloropsis* sp. sehingga menghambat pertumbuhannya. Menurut Suhendrayatna (2009), biosorpsi logam berat dengan sel hidup ini terbatas dikarenakan oleh akumulasi ion yang menyebabkan racun terhadap mikroorganisme. Hal ini biasanya dapat menghalangi pertumbuhan mikroorganisme disaat keracunan terhadap ion tercapai.

Hasil penghitungan kepadatan *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kepadatan *Nannochloropsis* sp.pada perlakuan D

Hari ke-	Ulangan (10 ⁶ sel/ml)			Rata-rata (10 ⁶ sel/ml)
	1	2	3	
0	7.00	7.00	7.00	7.00
3	2,51	3,49	3,83	3,28
6	2,36	2,58	2,41	2,45
9	2,39	2,33	3,06	2,59
12	3,41	1,12	1,18	1,90
15	0,94	0,55	1,01	0,83

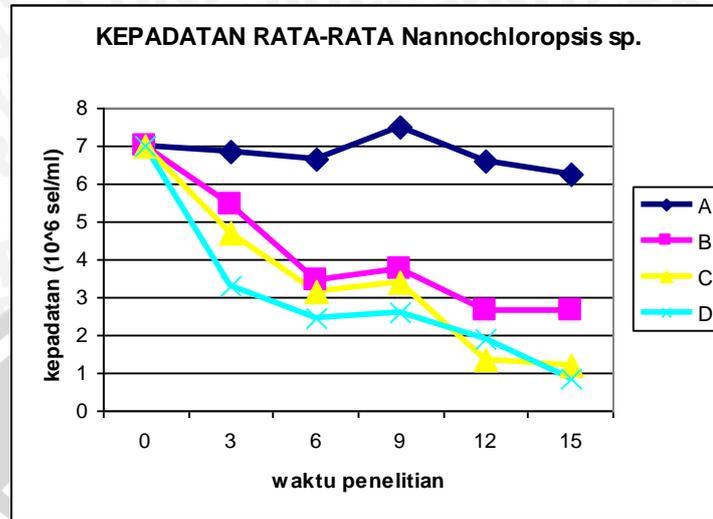
Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan D yaitu konsentrasi timbal (Pb) 0.9 ppm menunjukkan pada hari ke 0 adalah 7.00×10^6 sel/ml dan turun pada hari ke 3 dan ke 6 yaitu 3.28×10^6 sel/ml dan 2.45×10^6 sel/ml. Pada hari ke 9 mengalami kenaikan menjadi 2.59×10^6 sel/ml. Setelah itu turun kembali sampai hari ke 15 yaitu 1.90×10^6 sel/ml dan 0.83×10^6 sel/ml. Peningkatan kepadatan *Nannochloropsis sp.* masih bisa berlangsung walaupun media pertumbuhannya telah tercemar logam timbal (Pb). Hal ini karena logam Pb tersebut tidak langsung menyebabkan kematian pada *Nannochloropsis sp.*, melainkan disimpan terlebih dahulu sampai batas maksimal. Menurut Ulfin (1995) racun Pb ini bersifat akumulatif, artinya sifat racunnya akan timbul apabila terakumulasi dalam jumlah yang cukup besar dalam tubuh makhluk hidup. Adapun grafik kepadatan rata-rata *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan D yaitu konsentrasi 0.9 ppm dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis sp.* pada perlakuan D (0.9 ppm)

Gambar 7 menunjukkan terjadinya penurunan kepadatan yang sangat signifikan pada hari ke 3. Penurunan tersebut terjadi karena adanya masukan logam berat dalam media *Nannochloropsis sp.* Menurut Effendi (2003), kadar timbal yang berkisar antara 0,1-8,0 mg/liter dapat menghambat pertumbuhan mikroalga. Secara keseluruhan kepadatan *Nannochloropsis sp.* dapat dilihat pada

Lampiran 3 dan grafik kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp. dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kepadatan rata-rata *Nannochloropsis* sp.

Hasil analisa uji F (Lampiran 4) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb, dimana nilai F hitung perlakuan (57.176) lebih besar dari F tabel 5% (4.07) dan F table 1% (7.59), sehingga dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan konsentrasi logam berat Pb berpengaruh terhadap pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.. Selanjutnya dilakukan uji lanjutan menggunakan uji BNT (Lampiran 4) untuk mengetahui perlakuan konsentrasi logam Pb yang memberikan pengaruh tertinggi terhadap pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.. Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan A yaitu konsentrasi Pb 0 ppm memberikan pengaruh terbaik untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp., diikuti perlakuan B, C dan D. Hal tersebut terlihat dari masih terus bertahannya *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A dibandingkan perlakuan B, C dan D yang diberi logam berat Pb. Walaupun pada perlakuan A terjadi penurunan kepadatan, namun penurunan tersebut tidak signifikan bila dibanding dengan yang diberi

perlakuan logam berat Pb. Perlakuan B, C dan D yang ditambahkan logam berat Pb kepadatannya menurun secara signifikan karena ada kecenderungan konsentrasi logam berat Pb yang diberikan meracuni *Nannochloropsis* sp.. Hal itu juga menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi logam berat Pb maka akan semakin menghambat pertumbuhan *Nannochloropsis* sp..

4.2 Analisa kandungan timbal (Pb) dalam *Nannochloropsis* sp.

Hasil analisa kandungan logam berat Pb dalam *Nannochloropsis* sp. selama penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan. Analisa kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp. dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisa kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp.

Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)			
	A (0 ppm)	B (0.3 ppm)	C (0.6 ppm)	D (0.9 ppm)
0	0,076	0,076	0,076	0,076
15	0,061	0,152	0,064	0,168

Hasil analisa kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp. pada perlakuan A dan C mengalami penurunan, hal ini diduga karena adanya regenerasi dimana mikroalga awal mati kemudian digantikan oleh mikroalga yang hidup sehingga logam Pb dalam mikroalga yang masih hidup sampai hari ke 15 lebih sedikit daripada kandungan logam Pb pada mikroalga pada hari ke 0, karena logam Pb yang telah terserap mengendap di dasar bersama dengan *Nannochloropsis* sp. yang telah mati. Menurut Hutagalung (1991), logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air. Sedangkan pada perlakuan B dan D kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp. mengalami peningkatan. Peningkatan terjadi karena logam Pb dalam air diserap oleh *Nannochloropsis* sp.

Menurut Haryoto dan Wibowo (1989), proses akumulasi bahan pencemar ke dalam fitoplankton dari lingkungannya terjadi akibat interaksi antara bahan pencemar tersebut dengan permukaan tubuhnya karena fitoplankton adalah organisme renik bersel tunggal yang seluruh permukaannya dilapisi oleh membran sel, maka masuknya bahan pencemar tersebut melalui membran selnya. Proses penyerapan logam oleh fitoplankton merupakan gabungan proses aktif yang melibatkan metabolisme dan proses pasif tidak melibatkan metabolisme. Sel fitoplankton melalui proses aktif dapat mensintesis protein pengkhelat logam fitokhelatin untuk merespon pengaruh negatif dari logam berat.

Menurut Purnomo (2009), proses penyerapan logam berat oleh mikroalga terdiri atas dua mekanisme yaitu melibatkan proses aktif uptake (biosorpsi) dan pasif uptake (bioakumulasi). Proses aktif uptake dapat terjadi pada berbagai tipe sel hidup. Mekanisme ini secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan sianobakteria, dan/atau akumulasi intraselular ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekresi sel pada tingkat kedua. Proses ini tergantung dari energi yang terkandung dan sensitivitasnya terhadap parameter yang berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ikatan ionik, cahaya dan lainnya. Namun demikian, proses ini dapat pula dihambat oleh suhu rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat metabolisme sel.

Menurut Purnomo (2009), proses pasif uptake terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme pasif uptake dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil

secara bolak balik dan cepat. Proses penyerapan logam secara pasif uptake dapat direaksikan sebagai berikut:



di mana S adalah permukaan absorben. Dari reaksi di atas nampak bahwa akumulasi logam timbal akan meningkatkan konsentrasi ion H^+ . Karena reaksi di atas merupakan reaksi kesetimbangan, maka kenaikan pH medium menyebabkan reaksi bergeser ke produksi ion H^+ , yang berarti semakin banyak jumlah logam yang terkomplekskan.

Hasil analisa kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp. menunjukkan bahwa *Nannochloropsis* sp. memiliki kemampuan dalam menyerap logam timbal. Menurut Putra (2007), *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida, dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam.

Pemanfaatan mikroalga sebagai bioremediator memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Bachtiar (2007), secara umum, keuntungan pemanfaatan alga sebagai bioindikator dan biosorben adalah:

1. Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengabsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfudril imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma.
2. Bahan bakunya mudah didapat dan tersedia dalam jumlah banyak.
3. Biaya operasional yang rendah.
4. Sludge yang dihasilkan sangat minim.
5. Tidak perlu nutrisi tambahan.

Kelebihan lain pemanfaatan mikroalga *Nannochloropsis* sp. sebagai bioremediator dibanding mikroalga lain adalah *Nannochloropsis* sp. tidak memiliki lapisan lendir pada permukaan tubuhnya seperti pada *Microcystis* sp. sehingga tidak ada proteksi khusus atau penghalang untuk terserapnya logam Pb ke dalam tubuh *Nannochloropsis* sp. jadi *Nannochloropsis* sp. bisa lebih efektif digunakan sebagai bioremediator.

Pemanfaatan mikroalga selain memiliki kelebihan juga memiliki kekurangan. Menurut Helmy (2009), alga mempunyai kemampuan yang tinggi untuk mengikat ion-ion logam dari larutan, akan tetapi kemampuan ini sangat dibatasi oleh beberapa kendala, seperti ukurannya yang kecil, berat jenisnya rendah dan mudah rusak oleh degradasi mikroorganisme lain menjadi kelemahan dalam pemanfaatannya.

Hasil analisa uji F (Lampiran 5) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb, dimana nilai F hitung perlakuan (8.92) lebih besar dari F tabel 5% (4.07) dan F table 1% (7.59), sehingga dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa hipotesis awal (H_0) ditolak, dimana diduga logam berat Pb dengan konsentrasi berbeda tidak berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan *Nannochloropsis* sp.. Selanjutnya dilakukan uji lanjutan menggunakan uji BNT (Lampiran 5) untuk mengetahui perlakuan konsentrasi logam Pb berbeda yang memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp.. Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. diikuti perlakuan B, C dan A. Hal tersebut terjadi karena pada pasif uptake terjadi proses difusi dimana berpindahnya suatu zat dalam pelarut dari bagian berkonsentrasi tinggi

ke bagian berkonsentrasi rendah, sehingga semakin tinggi konsentrasi logam Pb dalam air maka akan semakin banyak pula yang terserap dalam sel *Nannochloropsis* sp.

4.3 Analisa kandungan timbal (Pb) dalam air

Hasil analisa kandungan logam berat Pb dalam air selama penelitian menunjukkan terjadinya penurunan. Hasil analisa kandungan logam Pb dalam air dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Analisa kandungan logam Pb dalam air

Hari ke-	Konsentrasi Pb (ppm)			
	A	B	C	D
0	0,012	0,312	0,612	0,912
3	0,010	0,277	0,279	0,589
6	0,0092	0,192	0,304	0,363
9	0,0074	0,101	0,272	0,154
12	0,0078	0,112	0,274	0,166
15	0,0067	0,094	0,130	0,117

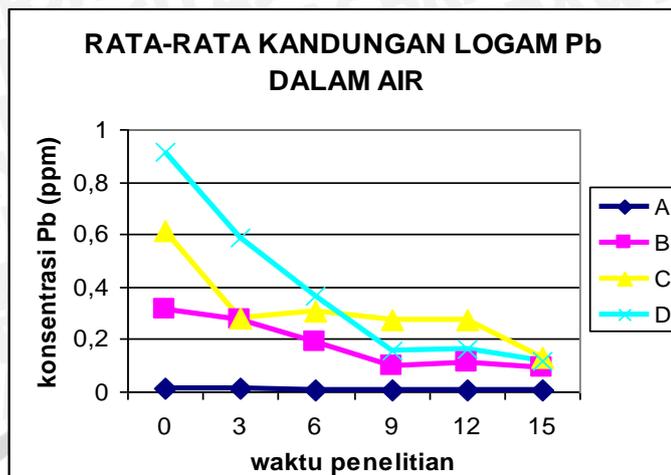
Hasil analisa kandungan logam timbal (Pb) untuk perlakuan A, B dan D menunjukkan hasil yang sama, yaitu dari hari ke 3 sampai hari ke 9 mengalami penurunan, namun pada hari ke-12 meningkat dan turun kembali pada hari ke 15, sedangkan untuk perlakuan C, kandungan logam berat dalam air menurun pada hari ke 3, kemudian mengalami peningkatan pada hari ke 6 dan turun pada hari ke 9. Pada hari ke 12 naik kembali dan menurun pada hari ke 15. Namun, secara keseluruhan kandungan logam Pb pada hari ke 15 menunjukkan penurunan. Berdasarkan hasil tersebut dapat dilihat bahwa sisa konsentrasi Pb dalam air pada perlakuan C sebesar 0.130 ppm paling tinggi diikuti perlakuan D sebesar 0.117 ppm, B sebesar 0.094 dan A sebesar 0.0067 ppm. Namun, apabila dilihat dari efisiensi penyerapan logam Pb dalam air maka perlakuan D

memiliki efisiensi penyerapan paling tinggi yaitu 87.17%, diikuti perlakuan C 78.76%, perlakuan B 69.87% dan perlakuan A 44.17%. Menurunnya kandungan logam timbal dalam air disebabkan karena logam tersebut diserap oleh *Nannochloropsis* sp..

Menurut Putra (2007), *Nannochloropsis* sp. merupakan jenis alga hijau bersel satu yang dapat dimanfaatkan untuk mengabsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya cukup tinggi karena di dalam alga *Nannochloropsis* sp. terdapat gugus fungsi amina, amida, sulfat dan karboksilat yang dapat berikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut dapat melakukan pengikatan dengan ion logam disebabkan karena adanya reaksi antara muatan negatif yang terdapat pada gugus fungsi di dalam dinding sel dengan muatan positif ion logam Pb, sehingga terjadi pengikatan ion akibat dari perbedaan muatan tersebut, contohnya: $\text{SO}_4^{2-} + \text{Pb}^{2+} \longrightarrow \text{Pb}(\text{SO}_4)$

Penurunan logam Pb dalam air selain diserap oleh *Nannochloropsis* sp. juga diakibatkan karena logam Pb tersebut mengendap di dasar bersama dengan *Nannochloropsis* sp. yang telah mati. Hal ini karena karakteristik dari logam berat itu sendiri yang dapat berikatan dengan bahan organik dan mengendap di dasar perairan. Menurut Hutagalung (1991), logam berat mempunyai sifat yang mudah mengikat bahan organik dan mengendap di dasar perairan dan bersatu dengan sedimen sehingga kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibanding dalam air.

Kandungan logam Pb dalam air secara keseluruhan pada semua perlakuan dapat dilihat pada Lampiran 6 dan rata-rata kandungan logam Pb dalam air selama penelitian secara jelas dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rata-rata kandungan logam Pb dalam air

Gambar 9 menunjukkan terjadinya penurunan kandungan logam Pb dalam air. Penurunan signifikan diperlihatkan pada hari ke 3 sampai hari ke 9. Menurut Wong dan Tam (1997), penyerapan logam oleh sel alga merupakan proses yang kompleks dan umumnya terdapat 2 tahapan yang termasuk dalam proses penyerapan secara kinetik. Proses yang pertama berjalan secara cepat (penyerapan fisika dan kimia atau pertukaran ion yang terjadi pada sel permukaan), dan terjadi secara cepat setelah kontak awal dengan logam. Tahap ini lebih dikenal dengan "bioabsorption". Tahap kedua "bioaccumulation", berlangsung lebih lambat dan aktif, serta berhubungan dengan beberapa aktivitas metabolisme.

Gambar tersebut juga menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan logam Pb dalam air pada hari ke 12, walaupun peningkatan tersebut tidak terlalu besar. Peningkatan kandungan logam Pb dalam air diduga karena logam Pb yang terserap oleh *Nannochloropsis* sp. mengalami dekomposisi sehingga logam Pb terlepas kembali ke air. Menurut Odum (2000), ketika bahan organik yang mengandung logam Pb terdekomposisi, maka akan menyebabkan logam Pb tersebut kembali ke dalam air.

Hasil analisa uji F (Lampiran 7) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb, dimana nilai F hitung perlakuan (216.21) lebih besar dari F tabel 5% (4.07) dan F table 1% (7.59), sehingga dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa hipotesis awal (H_0) dimana diduga logam berat Pb dengan konsentrasi berbeda tidak berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan *Nannochloropsis* sp. ditolak. Selanjutnya dilakukan uji lanjutan menggunakan uji BNT (Lampiran 7) untuk mengetahui perlakuan konsentrasi logam Pb berbeda yang memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp.. Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. diikuti perlakuan C, B dan A.

4.4 Analisa kualitas air

4.4.1 Parameter fisika

a. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Perubahan suhu berpengaruh terhadap proses kimia, biologi dan fisika, peningkatan suhu dapat menurunkan suatu kelarutan bahan dan dapat menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi fitoplankton diperairan (Defishes, 2009).

Hasil pengukuran suhu selama penelitian mulai hari ke 0 sampai hari ke 15 menunjukkan bahwa suhu media *Nannochloropsis* sp. adalah 27°C. Suhu ini termasuk dalam kisaran suhu optimal untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. Hal ini diperkuat oleh James *et al.*, (1989), suhu optimum untuk *Nannochloropsis*

sp. antara 25-30°C. Suhu tersebut juga sesuai untuk penyerapan logam berat, karena suhu media yang terlalu rendah dapat menghambat penyerapan logam berat. Menurut Suhendrayatna (2009), proses penyerapan logam berat tergantung dari energi yang terkandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ionik, cahaya dll. Disamping itu proses ini dapat dihambat oleh suhu yang rendah, tidak tersedianya sumber energi dan penghambat-penghambat metabolisme sel.

Perubahan suhu dapat mempengaruhi metabolisme sel. Apabila suhu perairan terlalu rendah maka akan menghambat metabolisme dalam sel, sehingga dapat menghambat proses penyerapannya pula. Hal ini terjadi karena proses penyerapan logam berat secara aktif uptake oleh *Nannochloropsis* sp. melibatkan metabolisme sel. Jadi apabila metabolismenya terhambat maka akan menghambat pula proses penyerapannya. Sementara itu, pada suhu tinggi metabolisme berjalan lebih cepat, jadi semakin cepat metabolisme maka semakin banyak pula logam berat yang terserap dalam sel.

4.4.2 Parameter kimia

a. Salinitas

Salinitas merupakan salah satu faktor pembatas bagi pertumbuhan dan perkembangan fitoplankton. Fitoplankton laut sangat ekstrim dalam mentolerir perubahan salinitas (Ekawati, 2005). Menurut Defishes (2009), kisaran salinitas yang berubah-ubah dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton. Beberapa fitoplankton dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang tinggi tetapi ada juga yang dapat tumbuh dalam kisaran salinitas yang rendah. Namun, hampir semua jenis fitoplankton dapat tumbuh optimal pada salinitas sedikit dibawah habitat asal. Pengaturan salinitas pada medium yang diperkaya dapat dilakukan dengan

pengenceran dengan menggunakan air tawar. Hasil pengukuran salinitas selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Salinitas media *Nannochloropsis* sp.

Hari ke	Salinitas (‰)											
	A			B			C			D		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
3	29	29	29	29	29	30	29	31	30	29	30	31
6	29	30	30	29	30	30	29	30	30	29	30	30
9	29	31	30	29	31	31	29	31	31	29	31	31
12	29	31	30	31	30	29	31	31	29	31	31	31
15	30	33	31	29	31	30	29	31	29	29	32	31

Hasil pengukuran salinitas yang telah dilakukan menunjukkan bahwa salinitas media *Nannochloropsis* sp. berkisar antara 29-31 ‰. Salinitas tersebut sesuai untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), salinitas optimum untuk *N. oculata* 25-35 ppt. Selain baik untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp., kisaran salinitas tersebut juga sesuai untuk penyerapan Pb. Menurut Bangun (2005), peningkatan nilai salinitas mempunyai pengaruh terhadap penyerapan logam berat, semakin tinggi salinitas maka konsentrasi logam berat akan semakin rendah.

b. pH

Organisme akuatik dapat hidup pada suatu perairan yang mempunyai nilai pH netral dengan kisaran toleransi antara asam lemah sampai basa lemah. Kondisi perairan yang bersifat sangat basa maupun sangat asam akan menyebabkan kelangsungan hidup suatu organisme terganggu. pH yang sangat rendah dapat menyebabkan mobilitas berbagai senyawa logam berat. Apabila pH sangat tinggi akan merusak keseimbangan antara amonium dan amoniak dalam air (Barus, 2002).

Hasil pengukuran pH selama penelitian mulai hari ke 0 sampai ke 15 menunjukkan bahwa nilai pH media *Nannochloropsis* sp. adalah 9. pH ini sesuai untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp. Hal ini diperkuat oleh pendapat Defishes (2009), kisaran pH untuk kultur alga biasanya antara 7-9, kisaran optimum untuk alga laut berkisar antara 7,8-8,5. Secara umum kisaran pH yang optimum pada kultur *Nannochloropsis* sp. antara 7–9. Selain berpengaruh pada pertumbuhan *Nannochloropsis* sp., pH media juga berpengaruh pada penyerapan logam berat. Menurut Klein dan Trayer (1995) dalam Womantactivity (2008), pH adalah faktor penting yang menentukan tranformasi logam. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se. pH 9 termasuk dalam pH yang sesuai untuk penyerapan logam berat. Menurut Demon (1989) dalam Haryoto dan Wibowo (1989), penyerapan logam oleh mikro alga akan meningkat seiring dengan kenaikan pH medium yang digunakan. Proses penyerapan logam dapat direaksikan sebagai berikut:



di mana S adalah permukaan absorben. Dari reaksi di atas nampak bahwa akumulasi logam timbal akan meningkatkan konsentrasi ion H^+ . Karena reaksi di atas merupakan reaksi kesetimbangan, maka kenaikan pH medium menyebabkan reaksi bergeser ke produksi ion H^+ , yang berarti semakin banyak jumlah logam yang terkomplekskan.

c. CO_2

Menurut Taw (1990) dalam Defishes (2009), karbondioksida diperlukan oleh fitoplankton untuk membantu proses fotosintesis. Karbondioksida dengan kadar 1-2 % biasanya sudah cukup digunakan dalam kultur fitoplankton dengan intensitas cahaya yang rendah. Kadar karbondioksida yang berlebih dapat menyebabkan pH kurang dari batas optimum sehingga akan berpengaruh

terhadap pertumbuhan fitoplankton. Hasil pengukuran karbon dioksida selama penelitian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. CO₂ media *Nannochloropsis* sp.

Hari ke	Konsentrasi Pb											
	A			B			C			D		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	18,16	16,34	16,34	14,53	12,71	12,71	18,16	16,34	18,16	14,53	14,53	12,71
3	16,34	18,16	14,53	23,61	23,61	19,97	14,53	14,53	12,71	10,89	9,08	9,08
6	16,34	16,34	18,16	10,89	12,71	12,71	14,53	10,89	12,71	12,71	10,89	12,71
9	23,61	18,16	18,16	12,71	9,08	10,89	12,71	9,08	14,53	12,71	12,71	12,71
12	23,61	18,16	18,16	12,71	18,16	12,71	18,16	18,16	14,53	12,71	18,16	16,34
15	18,16	14,53	18,16	9,08	16,34	9,08	12,71	10,89	12,71	12,71	9,08	12,71

Hasil pengukuran CO₂ yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai CO₂ media *Nannochloropsis* sp. berkisar antara 9,08-23,61 mg/ liter. CO₂ tersebut termasuk besar, namun masih sesuai untuk kehidupan fitoplankton. Menurut Marganof (2007), kandungan CO₂ dalam air yang aman tidak boleh melebihi 25 mg/l, sedangkan konsentrasi CO₂ lebih dari 100 mg/l akan menyebabkan semua organisme akuatik mengalami kematian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah

- mikroalga *Nannochloropsis* sp. memiliki kemampuan sebagai absorben timbal dengan konsentrasi berbeda, hal ini ditunjukkan dengan berkurangnya kandungan logam berat dalam air dan meningkatnya kandungan logam berat dalam *Nannochloropsis* sp.
- Perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan yaitu 0 ppm; 0.3 ppm; 0.6 ppm dan 0.9 ppm memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb.
- Penyerapan logam berat Pb oleh *Nannochloropsis* sp. Tertinggi pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm dengan efisiensi penyerapan 87.17%.
- Kualitas air selama penelitian diperoleh suhu 27°C, salinitas 29-31 ‰, pH 9 dan CO₂ 9,08-23,61 mg/ liter. Kualitas air tersebut mendukung untuk pertumbuhan dan penyerapan logam berat Pb oleh *Nannochloropsis* sp.

5.2 Saran

Mikroalga *Nannochloropsis* sp. dapat digunakan sebagai bioindikator logam berat timbal (Pb), sehingga diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menurunkan limbah yang mengandung logam timbal pada pengolahan akhir di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebelum dibuang ke perairan dan sebagai upaya perencanaan pengelolaan terpadu sehingga perairan tetap lestari dan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D. 2007. **Analisi Kadar Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Zn pada Air Laut, Sedimen dan Loka (*Geloina coxans*) di Perairan Pesisir Dumai Provinsi Riau.** <http://images.cientherell4.multiply.multiplycontent.com/> Diakses tanggal 24 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Arfianto dan Liviawati. 1993. **Teknik Pembuatan Tambak Udang.** Kanisius. Yogyakarta
- Bachtiar, I. 2007. **Bioremediasi Sedimen Tambak Udang.** <http://ThebluegreenAlgae.blogspot.com/2008/07/bioremediasi-sedimen-tambak-udang.html>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Bangun, J.M. 2005. **Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Air, Sedimen dan Tubuh Ikan Sokang (*Triacanthus nieuhofi*) di Perairan Ancol Teluk Jakarta.** IPB. Bogor
- Barus, T. A, 2002. **Pengantar Limnologi.** Jurusan Biologi FMIPA USU. Medan
- Buhani. 2007. **Alga sebagai Bioindikator dan Biosorben Logam Berat.** http://www.chem-is-try.org/artikel_kimia/biokimia/alga_sebagai_bioindikator_dan_biosorben_logam_berat_bagian_2_biosorben/. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Dahuri, R., J. Rais, S.P Ginting dan M. J. Sitepu. 1996. **Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan secara Terpadu.** Cetakan Pertama. PT Pradnya Paramita. Jakarta
- Defishes. 2009. **Budidaya *Nannochloropsis* sp. Semi Massal.** <http://defishes.xanga.com/> Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air.** Cetakan Pertama. Kanisius. Yogyakarta.
- Ekawati, A, W. 2005. **Budidaya Makan Alami.** Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang
- Haryoto dan A. Wibowo. 1989. **Kinetika Bioakumulasi Logam Berat Kadmium oleh Fitoplankton *Chlorella* sp Lingkungan Laut.** Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi Vol. 5, No. 2, 2004: 89 – 103
- Hariyadi, S., I. N. N Suryadiputra dan B. Widigdo. 1992. **Limnologi Metode Kualitas Air.** IPB. Bogor
- Helmy. 2009. **Mikroalgae Penyerap Logam Berat.** http://helmyinfo_mikroalgaepenyerap_logam_berat.html. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.

- Hudaidah, S. 2008. **Budidaya *Nannochloropsis* sp. dalam Skala Laboratorium, Semi Massal, dan Massal.** <http://www.unila.ac.id>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Hutagalung, H. P. 1991. **Pencemaran Laut Oleh Logam Berat Dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya.** P30. LIPI. Jakarta
- Isnansetyo, A dan Kurniastuty. 1995. **Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton.** Kanisius. Yogyakarta.
- James, C.M., Al-Hinty and Salman. 1989. **Growth and Fatty Acid and Amino Acid Compositon of Mikroalgae Under Different Temperature Regimes.** Elsevier Sciene Publisher B.V. Amsterdam
- Jonny. 2009. **Timbal.** <http://tsdonking.spaces.live.com/> Diakses tanggal 27 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Kristanto. P. 2003. **Ekologi Industri.** Penerbit Andi. Yogyakarta
- Marganof. 2007. **Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat (timbal,kadmium,tembaga) di Perairan.** Makalah Pribadi.
- Marzuki. 1977. **Metodologi Riset.** Cetakan kedua. Fakultas Ekonomi Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mohsin. 2009. **Logam Timbal.** <http://www.chem-is-try.org/>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Muslimin. 2009. **Produksi Pakan Alami Fitoplankton *Nannochloropsis* sp.** <http://musliminpekalongan.blogspot.com/2009/04/produksi-pakan-alami.html>. Diakses tanggal 20 Juli 2010.
- Odum, E.P. 1971. **Fundamentals of Ecology Third Edition.** W.B. Saunders Company. USA
- Odum, H. T. 2000. **Heavy Metals in the Environment.** Lewis Publisher. USA.
- Prastiyo, W. 2007. **Pengaruh Pemberian Kalsium Organik (Cangkang Telur Ayam) terhadap Jumlah Produksi Kista *Artemia salina*.** Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang
- Purnomo, D. 2009. **Logam Berat sebagai Penyumbang Pencemaran Air Laut.** <http://masdony.wordpress.com/2009/04/19/logam-berat-sebagai-penyumbang-pencemaran-air-laut/>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Purnomo, T dan Muchyiddin. 2007. **Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Ikan Bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) di Tambak Kecamatan Gresik.** Neptunus, Vol. 14, No. 1, Juli 2007: 68 – 77
- Putra, S. E. 2007. **Alga Laut Sebagai Biotarge Industri.** <http://www.chem-is-try.org/>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.

- Riata, R. 2008. **Mikroalga Perikanan**. http://www.chemistry.org/artikelkimia/biokimia/bioremovametodealternatif-untukmenanggulangipecemaran-logam_berat/. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Rostini, S. 2007. **Kultur Fitoplankton (*Chlorella sp.* Dan *Tetraselis chuii*) pada Skala Laboratorium**. Universitas Padjajaran. Jatinangor
- Silfia, U. 2004. **Kandungan Unsur Hara Mikro Cu dan Zn pada Dua Jenis Lamun (*Thalassia hemprichii* dan *Enhalus acoroides*) di Rataan Terumbu Pulau Pari Kepulauan Seribu DKI Jakarta**. Fakultas Perikanan. Universitas Brawijaya. Malang
- Standar Nasional Indonesia M-03-1989-F.1991. **Metode Pengujian Fisika Air**. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Subarijanti, H.U. 2000. **Kesuburan Dan Pemupukan Perairan**. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang
- Suhendrayatna. 2009. **Bioremediasi Logam Berat Dengan Menggunakan Microorganism: Suatu Kajian Kepustakaan (Heavy Metal Bioremediasi by Microorganisms: A Literature Study)**. [http:// Zemi On-Air BIOTEKNOLOGI](http://Zemi-On-Air.BIOTEKNOLOGI). Diakses tanggal 1 Juli 2009 pukul 15.00 WIB.
- Suryanto, A.M. 2006. **Diktat Planktonologi (Peranan Unsur Hara Bagi Fitoplankton)**. Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya. Malang.
- Toolboxes. 2010. **The Haemocytometer**. <http://toolboxes.flexiblelearning.net.au/demosites/series4/412/laboratory/studynotes/SNHaemocytometer.htm>. Diakses tanggal 27 Februari 2010, pukul 11.00 WIB
- Ulfin, S. 1995. **Potensi Penyerapan Batang Enceng Gondok (*Eichornia crassipes Mart*) Terhadap logam Cu dan Pb**. Laporan Penelitian yang tidak dipublikasikan. Surabaya
- Wibowo, K.T. 2008. **Cara Mengkultur Benthic Diatom Dari Skala Lab Sampai Skala Massal Untuk Suplai Pakan Larva Abalone**. <http://kumpulblogger.com/mac.php>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Wiguna, E. 2009. ***Nannochloropsis sp.*** <http://ekawiguna.wordpress.com/2009/12/13/nannochloropsis-sp/>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Wikipedia. 2009. **Suhu**. <http://wikipedia.com>. Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.
- Womenactivity. 2008. **Microorganism, Bokashi dan Logam Berat**. <http://womenactivity.blogspot.com/2008/06/microorganism-bokashi-dan-logam-berat.html>. Diakses tanggal 7 Juli 2010 pukul 13.00 WIB
- Wong, Y. S dan N. F. Y Tam. 1997. **Wastewater Treatment with Algae**. Springer. USA

Wulandari, S., N. F. Dewi dan Suwondo. 2005. **Identifikasi Bakteri Pengikat Timbal (Pb) pada Sedimen di Perairan Sungai Siak**. Jurnal Biogenesis Vol. 1(2):62-65, 2005 ISSN : 1829-5460

Yunus, M. 2007. **Pencemaran Air**. [http://thetechnopreneur_pencemaran air.html](http://thetechnopreneur_pencemaran%20air.html). Diakses tanggal 20 Desember 2009, pukul 14.00 WIB.



Lampiran 1. Alat dan Bahan

Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Toples 12 buah sebagai wadah *Nannochloropsis sp.* yang dibloomingkan
- Selang aerasi, batu aerasi, dan aerator
- Jurigan air sebagai wadah air sampel
- Alat–alat untuk pengamatan fitoplankton seperti mikroskop, haemocytometer dan pipet tetes.
- Autoklaf sebagai alat sterilisasi
- Erlenmeyer sebagai wadah *Nannochloropsis sp.* yang dibloomingkan
- Botol film sebagai wadah sampel fitoplankton
- Tabung reaksi sebagai wadah *Nannochloropsis sp.* yang akan dibloomingkan
- Rak tabung reaksi sebagai tempat tabung reaksi
- Gelas ukur untuk mengambil air dan sampel plankton sesuai ukuran yang diinginkan
- Timbangan analitik untuk menimbang logam timbal
- Lampu TL sebagai sumber cahaya bagi *Nannochloropsis sp.*

Lanjutan Lampiran 1. Alat dan Bahan

Bahan

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Air sampel
- *Nannochloropsis* sp.
- Kertas label
- Pupuk walne
- Logam berat Pb
- Alumunium foil
- Kapas
- Alkohol 70%
- klorin



Lampiran 2. Gambar stater murni *Nannochloropsis* sp., pupuk walne dan timbal (Pb)



Gambar 1. Stater murni *Nannochloropsis* sp.



Gambar 2. Pupuk walne



Gambar 3. Timbal (Pb)

Lampiran 3. Kepadatan *Nannochloropsis sp.* selama penelitian

Hari ke-	Kepadatan <i>Nannochloropsis sp.</i> (10^6 sel/ml)											
	A (0 ppm)			B (0.3 ppm)			C (0.6 ppm)			D (0.9 ppm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
3	6,76	6,86	6,87	4,06	6,66	5,65	6,31	4,08	3,73	2,51	3,49	3,83
6	6,53	6,61	6,75	2,52	3,81	4,07	2,90	5,24	1,31	2,36	2,58	2,41
9	7,81	7,71	7,05	7,08	3,05	1,19	3,79	4,25	2,20	2,39	2,33	3,06
12	7,32	6,56	5,89	3,06	0,73	4,21	2,17	0,26	1,58	3,41	1,12	1,18
15	6,69	6,35	5,69	2,49	0,65	4,87	1,86	0,95	0,80	0,94	0,55	1,01

Lampiran 4. Analisa uji F dan uji BNT kepadatan *Nannochloropsis* sp.

Tabel 1. Kandungan rata-rata logam Pb dalam air

PERLAKUAN	ULANGAN (ppm)			TOTAL	RATA-RATA
	1	2	3		
A	7,02	6,85	6,54	20,41	6,80
B	4,37	3,65	4,50	12,52	4,17
C	3,41	2,96	1,92	8,29	2,76
D	2,32	2,01	2,30	6,63	2,21
				47,85	

- $FK = (47.85)^2 / 12 = 190.802$
- $JK \text{ total} = \{(7.02)^2 + (6.85)^2 + \dots + (2.30)^2\} - FK = 39.63062$
- $JK \text{ perlakuan} = \{(20.41)^2 + (12.52)^2 + (8.29)^2 + (6.63)^2\} / 3 - FK$
 $= 37.86463$
- $JK \text{ galat} = JK \text{ total} - JK \text{ perlakuan} = 39.63062 - 37.86463 = 1.76599$

Tabel 2. Analisa uji F

SK	db	JK	KT	F hit	F 5%	F 1%
perlakuan	3	37,86463	12,62154333	57,17606**	4,07	7,59
galat	8	1,76599	0,22074875			
total	11	39,63062				

** berbeda sangat nyata

Hasil analisa uji F (Lampiran 4) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi logam berat Pb berpengaruh sangat nyata terhadap pertumbuhan *Nannochloropsis* sp..

Lanjutan Lampiran 4. Analisa uji F dan uji BNT kepadatan *Nannochloropsis* sp.

$$\text{BNT } 1\% = 3.355 \times 0.383622 = 1.2870$$

$$\text{BNT } 5\% = 2.306 \times 0.383622 = 0,8846$$

Tabel 3. Analisa uji Beda Nyata Terkecil (BNT)

	D (2,21)	C (2,76)	B (4,17)	A (6,80)	notasi
D (2,21)	-	-	-	-	a
C (2,76)	0,55 ^{ns}	-	-	-	a
B (4,17)	1,96 ^{**}	1,41 ^{**}	-	-	b
A (6,80)	4,59 ^{**}	4,04 ^{**}	2,63 ^{**}	-	c

Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan A yaitu konsentrasi Pb 0 ppm memberikan pengaruh terbaik untuk pertumbuhan *Nannochloropsis* sp., diikuti perlakuan B, C dan D. Hal ini menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Pb maka akan semakin menghambat pertumbuhan *Nannochloropsis* sp.

Lampiran 5. Analisa uji F dan uji BNT kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp.

Tabel 1. Kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp.

PERLAKUAN	ULANGAN (ppm)			TOTAL	RATA-RATA
	1	2	3		
A	0,1	0,063	0,043	0,206	0,068667
B	0,122	0,11	0,11	0,342	0,114
C	0,074	0,074	0,062	0,21	0,07
D	0,134	0,122	0,11	0,366	0,122
				1,124	0,374667

- $FK = (1.124)^2 / 12 = 0.105281$
- $JK \text{ total} = \{(0.1)^2 + (0.063)^2 + \dots + (0.11)^2\} - FK = 0.009357$
- $JK \text{ perlakuan} = \{(0.206)^2 + (0.324)^2 + (0.21)^2 + (0.366)^2\} / 3 - FK$
 $= 0.007204$
- $JK \text{ galat} = JK \text{ total} - JK \text{ perlakuan} = 0.009357 - 0.007204 = 0.002153$

Tabel 2. Tabel uji F

SK	db	JK	KT	F hit	F 5%	F 1%
perlakuan	3	0,007204	0,002401	8,922743**	4,07	7,59
galat	8	0,002153	0,000269			
total	11	0,009357				

** berbeda sangat nyata

Berdasarkan analisa uji F, dapat diketahui bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb,

Lanjutan Lampiran 5. Analisa uji F dan uji BNT kandungan logam Pb dalam *Nannochloropsis* sp.

$$\begin{aligned} \text{SED} &= \sqrt{2 \text{ KT galat} / \text{ulangan}} \\ &= \sqrt{2 \times 0.000269 / 3} = 0,0134 \\ \text{BNT 1\%} &= 3.355 \times 0.0134 = 0,045 \\ \text{BNT 5\%} &= 2.306 \times 0.0134 = 0,031 \end{aligned}$$

Tabel 3. tabel uji Beda Nyata Terkecil (BNT)

	A (0,069)	C (0,07)	B (0,114)	D (0,122)	notasi
A (0,069 ppm)	-	-	-	-	a
C (0,070 ppm)	0,001 ^{ns}	-	-	-	a
B (0,114 ppm)	0,045*	0,044*	-	-	b
D (0,122 ppm)	0,053**	0,052**	0,008*	-	c

Ns : tidak berbeda nyata
 * : berbeda nyata
 ** : berbeda sangat nyata

Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. diikuti perlakuan B, C dan A.

Lampiran 5. Kandungan logam timbal (Pb) dalam air selama penelitian

Hari ke-	konsentrasi Pb											
	A (0 ppm)			B (0.3 ppm)			C (0.6 ppm)			D (0.9 ppm)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,012	0,012	0,012	0,312	0,312	0,312	0,612	0,612	0,612	0,912	0,912	0,912
3	0,01	0,011	0,01	0,278	0,261	0,292	0,291	0,25	0,296	0,56	0,624	0,584
6	0,0099	0,0085	0,0092	0,263	0,120	0,192	0,312	0,293	0,307	0,533	0,363	0,193
9	0,0073	0,0076	0,0074	0,105	0,097	0,101	0,262	0,272	0,281	0,169	0,154	0,138
12	0,0075	0,008	0,0078	0,113	0,112	0,110	0,283	0,274	0,266	0,178	0,166	0,154
15	0,0065	0,0071	0,0065	0,110	0,094	0,078	0,126	0,126	0,138	0,138	0,117	0,096

Lampiran 7. Analisa uji F dan uji BNT kandungan logam Pb dalam air

Tabel 1. Kandungan rata-rata logam Pb dalam air

PERLAKUAN	ULANGAN (ppm)			TOTAL	RATA-RATA
	1	2	3		
A	0,0089	0,009	0,0088	0,0267	0,0089
B	0,1970	0,166	0,1810	0,5440	0,1813
C	0,3140	0,304	0,3170	0,9350	0,3117
D	0,4150	0,389	0,3460	1,1500	0,3833
				2,6557	

- $FK = (2.6557)^2 / 12 = 0.587729$
- $JK \text{ total} = \{(0.0089)^2 + (0.009)^2 + \dots + (0.3460)^2\} - FK = 0.246398$
- $JK \text{ perlakuan} = \{[(0.0267)^2 + (0.5440)^2 + (0.9350)^2 + (1.1500)^2] / 3\} - FK = 0.243396$
- $JK \text{ galat} = JK \text{ total} - JK \text{ perlakuan} = 0.246398 - 0.243396 = 0.003002$

Tabel 2. Analisa uji F

SK	db	JK	KT	F hit	F 5%	F 1%
perlakuan	3	0,243396	0,081132	216,2079**	4,07	7,59
galat	8	0,003002	0,000375			
total	11	0,246398				

** berbeda sangat nyata

Hasil analisa uji F (Lampiran 5) menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi timbal yang diberikan memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kemampuan *Nannochloropsis* sp. dalam menyerap logam berat Pb.

Lanjutan Lampiran 7. Analisa uji F dan uji BNT kandungan logam Pb dalam air

$$\text{BNT} = t \text{ db galat} \times \sqrt{2} \text{ Kt galat} / r$$

$$\text{BNT } 1\% = 3.355 \times 0.016 = 0,05368$$

$$\text{BNT } 5\% = 2.306 \times 0.016 = 0,036896$$

Tabel 3. Analisa uji Beda Nyata Terkecil (BNT)

	A (0,0089)	B (0,1813)	C (0,3117)	D (0,3833)	notasi
A (0,0089 ppm)	-	-	-	-	a
B (0,1813 ppm)	0,1724**	-	-	-	b
C (0,3117 ppm)	0,3028**	0,1304**	-	-	c
D (0,3833 ppm)	0,3744**	0,2020**	0,0716**	-	d

Hasil analisa uji BNT menunjukkan bahwa pada perlakuan D yaitu konsentrasi Pb 0.9 ppm memberikan pengaruh tertinggi terhadap kemampuan penyerapan logam Pb oleh *Nannochloropsis* sp. diikuti perlakuan C, B dan A.

