

**PERAN *CHLORELLA VULGARIS* DALAM PENGELOLAAN
LINGKUNGAN**

**(Kajian Penggunaannya untuk menurunkan Nitrogen Amonia Air Limbah Domestik
dan Potensinya sebagai Bahan Minyak Biodiesel)**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains**

**KURNIATI FITTRI
0706308774**



**UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI KAJIAN ILMU LINGKUNGAN
JAKARTA
JANUARI, 2011**

**PERAN *CHLORELLA VULGARIS* DALAM PENGELOLAAN
LINGKUNGAN**

**(Kajian Penggunaannya untuk menurunkan Nitrogen Amonia Air Limbah Domestik
dan Potensinya sebagai Bahan Minyak Biodiesel)**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains**


**KURNIATI FITTRI
0706308774**



**UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI KAJIAN ILMU LINGKUNGAN
JAKARTA
JANUARI, 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Kurniati Fittri
NPM : 0706308774
Tanda Tangan : 
Tanggal : 5 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

Judul Tesis: PERAN CHLORELLA VULGARIS DALAM PENGELOLAAN LINGKUNGAN

Kajian Penggunaannya untuk Menurunkan Nitrogen Amonia Air Limbah Domestik dan Potensinya Sebagai Bahan Minyak Biodiesel

Tesis ini telah disetujui dan disahkan oleh Komisi Penguji Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia pada tanggal 5 Januari 2010 dan telah dinyatakan LULUS ujian komprehensif dengan yudisium SANGAT MEMUASKAN.

Jakarta, 5 Januari 2011

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Ilmu Lingkungan UI



Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA

Tim Pembimbing
Pembimbing I,



Pembimbing II,



Ir. Dianursanti, MT

HALAMAN PENGESAHAN OLEH KOMISI PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Kurniati Fittri

NPM : 0706308774

Program Studi : Kajian Ilmu Lingkungan

Judul Tesis : Peran *Chlorella vulgaris* dalam Pengelolaan Lingkungan

(Kajian Penggunaannya untuk Menurunkan Kandungan Nitrogen Amonia dan Potensinya Sebagai Bahan Minyak Biodiese!)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

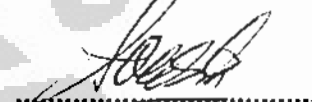
Ketua Sidang : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA
(Pembimbing I)



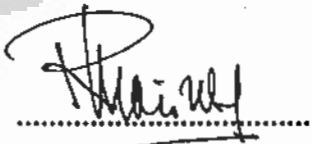
Pembimbing II : Ir. Dianursanti, MT



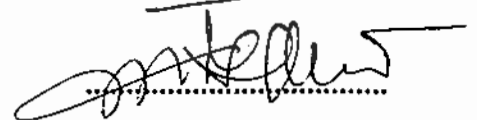
Penguji : Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, MSi
(Sekretaris Sidang)



Penguji : Prof. Dr. Ir. Roekmijati W. S., Msi



Penguji : Dr. Ir. M. Hasroel Thayib, APU



Ditetapkan di : JAKARTA

Tanggal : 5 Januari 2011

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Kurniati Fittri

Tempat/ Tanggal Lahir : Padang/ 24 April 1983

Jenis Kelamin : Perempuan

Alamat : Villa Galaxy Blok E4/3A, Bekasi

Email : fittri017@yahoo.com

Pendidikan

1. SMU Negeri 1 Padang, Kota Padang, Lulus 2001
2. Universitas Andalas, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Lulus Oktober 2006

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulisucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan thesis ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Master Science Program Studi Ilmu Lingkungan pada Program Pascasarjana Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan thesis ini, saya akan sangat kesulitan untuk menyelesaikan thesis ini, oleh karena itu maka pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA selaku pembimbing I, atas segala bimbingan, petunjuk, dan semangat sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian dan sayaan thesis ini.
2. Ir. Dianursanti, MT selaku pembimbing II dan kepala laboratorium bioproses atas segala bimbingan, nasehat-nasehat, baik yang berhubungan dengan penelitian maupun kehidupan, dan juga telah memberikan izin kepada saya untuk menggunakan laboratorium bioproses untuk penelitian.
3. Ir. Irma Gusniani, MSc selaku kepala laboratorium teknik penyehatan dan lingkungan yang telah memberikan izin kepada saya untuk menggunakan laboratorium teknik penyehatan dan lingkungan.
4. Bapak Yitno di Asrama UI yang telah memberikan saya izin untuk mengambil sampel di Asrama UI dan Bapak Agus yang membantu saya dalam mengambil sampel.
5. Suami saya yang tercinta Rosi Nizori, S.Si yang telah memberikan saya izin untuk menyelesaikan kuliah master ini dan segala bantuan dan dukungan baik secara moril maupun materil.
6. Mama, Dra. Hartati Bakar dan Adik saya Reza Alfajri S.T. yang tercinta yang telah banyak memberikan saya bantuan moril, materil, semangat dan saran sehingga saya bisa menyelesaikan thesis ini dan tidak lupa pula saya mengucapkan terimakasih kepada Alm papa Ir. Gusmardi.

7. Bapak dan Ibu dosen staf pengajar yang telah pernah mengajar saya selama perkuliahan di PSIL ini, yang telah mentransfer ilmu yang dimilikinya kepada saya dan teman-teman.
8. Pak Suyud, Pak Pram, Pak Hutomo dan Pak Abas atas saran dan dorongan semangat selama saya kuliah di PSIL ini.
9. Ibu Irna, Ibu Erni, Pak Udin, Mas Juju, Mas Nasrul atas segala bantuan yang telah diberikan selama saya menjadi mahasiswi di PSIL ini.
10. Ibu Mido, di perpustakaan PPSML yang telah memberikan semangat dan bantuan kemudahan dalam akses literatur di perpustakaan.
11. *Mbak* Licka dan *mbak* Diah di laboratorium teknik penyehatan dan lingkungan yang telah banyak membantu saya selama penelitian.
12. *Mbak* Maya, Kris, *Mbak* dinda, *Mbak* elis, *Mas* Dwiki, Pak Tedi, atas segala kekompakan dan hari-hari indah yang telah kita lalui bersama selama menjadi mahasiswa.
13. *Mbak* Dewi, *Mas* Adi, dan teman-teman lainnya angkatan 26A, 27A dan 27B yang tidak dapat saya tuliskan namanya satu persatu yang telah banyak membantu saya dan memberikan semangat selama kuliah di PSIL.
14. Teman-teman di laboratorium bioproses Ponco, Fadli, Iyus, Trio, Tino, Angga, Irwan, Mei dan Canggih atas bantuan dan semangatnya saat saya kesulitan dalam penelitian.
15. Saya juga mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu saya baik dalam perkuliahan, penelitian dan penyusunan Thesis ini yang namanya tidak dapat saya tuliskan satu persatu

Akhir kata saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga thesis ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan

Jakarta, 5 Januari 2011

Kurniati Fittri, S.Si

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Kurniati Fitri
NPM : 0706308774
Program Studi : Kajian Ilmu Lingkungan
Fakultas : Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Peran *Chlorella vulgaris* dalam pengelolaan lingkungan (Kajian penggunaannya untuk menurunkan nitrogen amonia air limbah domestik dan potensinya sebagai bahan minyak biodiesel)

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 5 Januari 2011

Yang menyatakan,



(Kurniati Fitri)

ABSTRAK

Nama : Kurniati Fitri, S.Si
NPM : 0706308774
Program Studi : Kajian Ilmu Lingkungan
Judul Tesis : Peranan *Chlorella vulgaris* dalam Pengelolaan Lingkungan
(Kajian Penggunaannya untuk menurunkan kandungan nitrogen amonia air limbah domestik dan potensinya sebagai bahan minyak biodiesel)

Tesis ini membahas tentang Peranan *C. vulgaris* dalam pengelolaan lingkungan (Kajian penggunaannya untuk menurunkan kandungan nitrogen amonia air limbah domestik dan potensinya sebagai bahan minyak biodiesel). *C. vulgaris* Buitenzorg belum pernah digunakan untuk pengolahan limbah. Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan disain experimental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *C. vulgaris* dapat hidup dalam air limbah domestik dan pertumbuhannya lebih baik daripada *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam medium Beneck. Kemampuan penurunan nitrogennya yaitu 86,6% pada konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l dan 65,9% pada konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l dalam 48 jam. Total lipid paling tinggi ditemukan pada *C. vulgaris* dengan kandungan amonia awal 4,7 mg/l yaitu 57,03%, sedangkan pada kadar amonia 13,1 mg/l kandungan lipidnya 56,18%, kontrol 48,75% dalam 48 jam perlakuan.

Kata Kunci:

Chlorella vulgaris Buitenzorg, konsentrasi amonia nitrogen, total lipid

ABSTRACT

Name : Kurniati Fittri, S.Si
Study Program : Environmental Science
Title : Role of *Chlorella vulgaris* in Environmental Management
(Review of its use for ammonia nitrogen removal from domestic wastewater and its potential for biodiesel oil feedstock)

This thesis discusses the role of *C. vulgaris* in environmental management (Review of its use for ammonia nitrogen removal from domestic wastewater and its potential for biodiesel oil feedstock). *C. vulgaris* Buitenzorg has never been used for wastewater treatment. The study was a quantitative study with experimental design. The results showed that *C. vulgaris* is able to live in domestic waste water and its growth is better than *C. vulgaris* that cultured in the medium Beneck. The ability of ammonia nitrogen removal is 86.6% on the initial ammonia concentration of 13.1 mg/l and 65, 9% on the initial ammonia concentration of 4.7 mg/l in 48 hours. The highest total lipid was found in *C. vulgaris* with initial ammonia content of 4.7 mg/l, the value is 57, 03%, while the ammonia content of 13.1 mg/l has total lipid 56.18%, and 48.75% in control in 48 hours.

Key Words:

Chlorella vulgaris Buitenzorg, ammonia nitrogen concentration and lipid

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN TESIS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN OLEH KOMISI PENGUJI | iv |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | viii |
| ABSTRAK | ix |
| ABSTRACT | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR SINGKATAN | xvi |
| RINGKASAN | xvii |
| SUMARY | xx |
| PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan masalah | 5 |
| 1.3. Tujuan penelitian | 6 |
| 1.4. Manfaat penelitian | 7 |
| 2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN | |
| 2.1. Kerangka teoritik | |
| 2.1.1. Pembangunan Berkelanjutan dan Lingkungan Hidup Manusia | 8 |
| 2.1.2. Limbah Domestik | 14 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1.3. | Siklus Nitrogen dan Nitrogen amonia | 23 |
| 2.1.4. | Kultivasi Mikroalga <i>Chlorella</i> dan faktor-faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhannya | 30 |
| 2.1.5. | Kandungan Lipid Mikroalga | 37 |
| 2.1.6. | Mikroalga Sebagai Bahan Baku Biodiesel | 38 |
| 2.2. | Kerangka berpikir dan kerangka konsep | |
| 2.2.1. | Kerangka berpikir | 47 |
| 2.2.2. | Kerangka konsep | 49 |
| 2.3. | Hipotesis | 49 |
| 3. | METODE PENELITIAN | |
| 3.1. | Pendekatan dan metode penelitian | 50 |
| 3.2. | Tempat dan waktu penelitian | 50 |
| 3.3. | Populasi dan sampel penelitian | 50 |
| 3.4. | Variabel penelitian | 52 |
| 3.5. | Data penelitian | 53 |
| 3.6. | Pengolahan Data Penelitian | 54 |
| 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1. | Deskripsi Penelitian | 57 |
| 4.2. | Keterbatasan Penelitian | 59 |
| 4.3. | Penurunan konsentrasi Nitrogen amonia | 55 |
| 4.4. | Pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> Buitenzorg | 61 |
| 4.5. | Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Awal Nitrogen amonia Terhadap Total Lipid <i>C. vulgaris</i> | 68 |
| 4.6. | Kultivasi dalam Skala Besar | 73 |
| 5. | KESIMPULAN DAN SARAN | 95 |
| | DAFTAR KEPUSTAKAAN | 98 |
| | LAMPIRAN | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1.1. Tabel Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta | 3 |
| Tabel 2.1. Tabel Komposisi dari Air Limbah Domestik yang Belum Diolah | 15 |
| Tabel 2.2. Tabel Rata-Rata Aliran Air Limbah dari Daerah Permukiman | 17 |
| Tabel 2.3. Tabel Biaya Tahunan Pengolahan Air Limbah | 20 |
| Tabel 2.4. Tabel Kekuatan air limbah berdasarkan BOD ₅ dan COD | 22 |
| Tabel 2.5. Tabel perbandingan antara <i>Pond</i> dan PBR | 44 |
| Tabel 2.6. Tabel Perbandingan Antara Produksi Fotobioreaktor dan <i>Raceway Pond</i> | 45 |
| Tabel 2.7. Tabel Komposisi Kimia Beberapa Jenis Mikroalga | 46 |
| Tabel 3.1. Tabel Variabel Penelitian | 50 |
| Tabel 3.2. Tabel Matriks Metode untuk Menjawab Tujuan Penelitian | 51 |
| Tabel 3.3. Tabel Parameter yang diukur | 51 |
| Tabel 4.1. Tabel Karakterisasi Awal Air Limbah Domestik | 57 |
| Tabel 4.2. Tabel Komposisi Parameter Awal Perlakuan Pertama | 58 |
| Tabel 4.3. Tabel Komposisi Parameter Awal Perlakuan Kedua | 58 |
| Tabel 4.4. Tabel pH dan suhu | 65 |
| Tabel 4.5. Tabel Perbandingan Antara Berat Kering Sel, Berat Residu Lipid dan Total Lipid Kontrol | 70 |
| Tabel 4.6. Tabel Perbandingan Antara Berat Kering Sel, Berat Residu Lipid dan Total Lipid Perlakuan Pertama | 70 |
| Tabel 4.7. Tabel Perbandingan Antara Berat Kering Sel, Berat Residu Lipid dan Total Lipid Perlakuan Kedua | 71 |
| Tabel 4.8. Tabel uji ANOVA | 72 |
| Tabel 4.9. Kondisi IPAL Waduk Setiabudi | 75 |
| Tabel 4.10. Kualitas Air Limbah Waduk Setiabudi Timur | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1. Gambar lingkungan hidup manusia | 1 |
| Gambar 2.1. Gambar lingkungan hidup manusia | 12 |
| Gambar 2.2. Gambar Komponen Pengolahan Air Limbah Konvensional | 18 |
| Gambar 2.3. Gambar Distribusi Nitrogen di Biosfer | 25 |
| Gambar 2.4. Gambar Siklus Nitrogen Global | 26 |
| Gambar 2.5. Gambar Asimilasi Amonia | 27 |
| Gambar 2.6. Gambar Persentase kadar Amonia dan Amonium yang dipengaruhi pH | 28 |
| Gambar 2.7. Gambar perpaduan pH dan Amonia dalam Pembudidayaan Alga | 29 |
| Gambar 2.8. Gambar <i>Chlorella vulgaris</i> | 30 |
| Gambar 2.9. Gambar dari Produksi Minyak dari Alga dibandingkan Kedelai dan lobak | 40 |
| Gambar 2.10. Gambar <i>Raceway Pond</i> | 42 |
| Gambar 2.11. Gambar Fotobioreaktor | 43 |
| Gambar 2.12. Gambar Siklus Pertumbuhan Alga Bakteri dalam Air Limbah | 46 |
| Gambar 2.13. Gambar Kerangka Konsep yang diperluas | 49 |
| Gambar 3.1. Gambar Skema Fotobioreaktor | 51 |
| Gambar 4.1. Grafik Penurunan Nitrogen amonia | 60 |
| Gambar 4.2. Grafik Pertumbuhan <i>C. vulgaris</i> Berdasarkan Optikal Densitas | 62 |
| Gambar 4.3. Gambar Grafik Laju Pertumbuhan <i>C. vulgaris</i> | 66 |
| Gambar 4.4. Gambar Kandungan Klorofil <i>C. vulgaris</i> | 67 |
| Hambar 4.5. Gambar Grafik Berat Kering <i>C. vulgaris</i> | 69 |
| Gambar 4.6. Grafik Persentase Lipid <i>C. vulgaris</i> | 72 |
| Gambar 4.7. Gambar diaram sistem kultivasi alga yang terintegrasi dengan Pengolahan limbah | 78 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.8. Gambar Kurva Respon Cahaya Fotosintesis | 83 |
| Gambar 4.9. Gambar Produksi Alga Relatif Berdasarkan Waktu Tinggal pada Suhu yang Berbeda | 85 |
| Gambar 4.10. Gambar Konsentrasi Relatif dari Senyawa Inorganik yang Terlibat Dalam Bicarbonat Equilibrium Sebagai Fungsi dari pH | 88 |
| Gambar 4.11. Gambar Pengaruh pH dan Karbon Anorganik dalam Fotosintesis | 88 |
| Gambar 4.12. Laju Reaksi Fotosintesis Bersih dari <i>C. vulgaris</i> pada Kondisi Optimal, Sebagai Pengaruh Kecepatan Pengadukan | 90 |
| Gambar 4.13. Hubungan Antara H_2S , HS^- dan S^{2-} pada Berbagai Nilai pH | 92 |

DAFTAR SINGKATAN

| | | |
|------------------|---|----|
| ANOVA | = <i>Analisis of Varians</i> | 46 |
| APM | = <i>Algae Pond Model</i> | 78 |
| ATP | = <i>Adenosin Three Phospat</i> | 22 |
| BOD ₅ | = <i>Biochemical Oxygen Demand</i> | 14 |
| COD | = <i>Chemical Oxygen Demand</i> | 49 |
| GDH | = <i>Glutamate Dehydrogenase</i> | 22 |
| GS/GOGAT | = <i>Glutamin Synthetase/ Glutamate Synthase</i> | 22 |
| HROP | = <i>High Rate Oxidation Pond</i> | 19 |
| PAR | = <i>Photosynthetically Active Radiation</i> | 81 |
| PBR | = <i>Photobio Reactor</i> | 39 |
| PPFD | = <i>Photosynthetic Photon Flux Density</i> | 81 |
| SS | = <i>Suspended Solid</i> | 14 |
| TDS | = <i>Total Dissolved Solid</i> | 14 |
| TKN | = <i>Total Kjeldahl Nitrogen</i> | 14 |
| TN | = <i>Total Nitrogen</i> | 16 |
| TOC | = <i>Total Organic Carbon</i> | 14 |
| UNEP | = <i>United Nation Environmental Programme</i> | 8 |
| WCED | = <i>World Commision on Environment and Development</i> | 8 |

RINGKASAN

**Program Studi Ilmu Lingkungan
Program Pascasarjana Universitas Indonesia
Tesis, Januari, 2011**

- A. Nama : Kurniati Fitri
B. Judul Tesis : Peranan *Chlorella vulgaris* dalam Pengelolaan Lingkungan
(Kajian Penggunaannya untuk menurunkan kandungan nitrogen amonia air limbah domestik dan potensinya sebagai bahan minyak biodiesel)
C. Jumlah Halaman : Permulaan 22, Halaman Isi 97, Tabel 20, Gambar 24

Saat sekarang ini pencemaran lingkungan telah menjadi masalah yang serius dalam kehidupan manusia. Pencemaran lingkungan ini terjadi akibat tidak dikelolanya limbah yang dihasilkan oleh manusia dengan benar. Limbah dalam kehidupan manusia berasal dari lingkungan hidup sosial maupun lingkungan hidup buatan. Akibat limbah yang tidak dikelola dengan benar ini adalah kerusakan lingkungan hidup alam.

Salah satu sumber pencemar perairan adalah air limbah domestik. Air limbah domestik berasal dari permukiman terutama terdiri dari tinja, air kemih, dan buangan air limbah lain (kamar mandi, dapur, cucian) yang kira-kira mengandung 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat yang ada tersebut terbagi atas lebih kurang 70% zat organik (terutama protein, karbohidrat, dan lemak) serta sisanya 30% zat an organik terutama pasir, garam-garam, dan logam (Kusnoputranto, 1997, p. 3). Penelitian Hendrawan (2005) menunjukkan 83% sungai dan 79% situ yang berada di Jakarta berada dalam kondisi buruk, bahkan 5 dari 38 situ yang ada telah tercemar limbah industri dan domestik (p. 14).

Salah satu parameter air limbah domestik yang harus diperhatikan untuk kultivasi alga adalah Amonia Nitrogen. Amonia nitrogen dalam air limbah dapat menjadi faktor penghambat dalam pengolahan limbah berbasis pengolahan biologis. Pada konsentrasi

tertentu amonia nitrgen dapat menjadi toksik terhadap makhluk hidup, termasuk mikroorganisme pengolah limbah seperti mikroalga.

Konsentrasi nitrogen adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan lipid dari mikroalga. Produksi lipid dari suatu jenis mikroalga dipengaruhi oleh faktor lingkungannya. Faktor lingkungan, khususnya cahaya, temperatur, status nutrien, dan salinitas, tidak hanya mempengaruhi fotosintesis dan produktivitas dari biomassa sel, tapi juga mempengaruhi pola, jalur dan aktivitas dari metabolisme selular dan komposisi sel dinamik (Hu dalam Richmond, 2007).

Tujuan penelitian ini terdiri dari tujuan umum dan tujuan khusus, tujuan umum dari penelitian ini adalah mengatasi pencemaran perairan yang diakibatkan oleh air limbah domestik dengan menggunakan pengolahan biologis yang pengolahannya berbasis mikroalga. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah (1) Mengetahui kemampuan penurunan amonia air limbah domestik dengan konsentrasi amonia awal yang berbeda jika dibandingkan dengan baku mutu. (2) Menganalisis pertumbuhan *Chlorella vulgaris* yang dalam limbah domestik dengan kadar amonia awal yang berbeda. (3) Menganalisis konsentrasi amonia awal mana yang memberikan total lipid tertinggi, dan pengaruhnya terhadap total lipid yang dihasilkan. (4) Menghasilkan perhitungan *scale up* berdasarkan suatu skenario.

Pendekatan Penelitian ini adalah Kuantitatif, dengan disain true experimental design. Metode pengumpulan data adalah Eksperimen. Data dianalisa dengan menggunakan analisa deskriptif dan analisa ANOVA satu arah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kandungan amonia pada perlakuan pertama lebih baik daripada perlakuan kedua. Pada perlakuan pertama konsentrasi amonia nitrogen dalam 48 jam menurun dari 13,1 mg/l menjadi 1,75 mg/l, dengan persentase penurunan 86,6%. Pada perlakuan kedua dalam 48 jam konsentrasi amonia nitrogen menurun dari 4,7 mg/l menjadi 1,6 mg/l dengan persentase penurunan 65,9%.

Nilai ini berada jauh dibawah baku mutu yang ditetapkan pemerintah DKI Jakarta yaitu 10 mg/l.

C. vulgaris Buitenzorg dapat hidup dalam air limbah domestik. Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* lebih baik pada limbah domestik dengan kandungan amonia awal 4,7 mg/l daripada limbah domestik dengan kandungan amonia awal 13,1 mg/l. Pada kandungan amonia awal 4,7 mg/l nilai optikal densitas tertinggi diperoleh sebesar 0,940 pada jam ke 52, sedangkan pada *C. vulgaris* dengan kandungan amonia awal 13,1 mg/l nilai optikal densitas tertinggi diperoleh pada jam ke 52 dengan nilai 0,756. Nilai optikal densitas pada kedua *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam media limbah ini lebih baik daripada yang dibiakkan dalam media Benceck (kontrol).

Kandungan total lipid paling tinggi untuk kontrol maupun *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam limbah domestik ditemukan pada jam ke 48. Total lipid paling tinggi didapatkan pada limbah dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l dengan nilai 57,03%, sedangkan untuk *C. vulgaris* dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l total lipid yang dihasilkan adalah 56,18%. Kontrol yang dibiakkan dalam medium Benceck memiliki total lipid sebesar 48,75 g/l.

Perhitungan *scale up* yang dihitung dengan mengasumsikan tinggi pond 45 cm dan berat kering sel adalah 0,640 mg/l serta waktu tinggal 2 hari memberikan hasil bahwa produktifitas biomasa adalah 525,6 ton/ha/tahun. Total lipid yang dihasilkan adalah sebesar 299,7 ton/ha/tahun, sedangkan biodiesel yang dihasilkan adalah 209,79 ton/ha/tahun.

Daftar Pustaka: 49 (1953-2010).

SUMMARY

**Environmental Science Study Program
Postgraduate Study University of Indonesia
Thesis, January, 2011**

- A. Name : Kurniati Fittri
B. Title : Role of *Chlorella vulgaris* in Environmental Management
(Review of its use for ammonia nitrogen removal from domestic wastewater and its potential for biodiesel oil feedstock)
C. Number of Pages : Initial 22, Content, 97; Tabel, 20; Figure, 24

At present the environmental pollution has become a serious problem in human life. Environmental pollution is caused by not tending to the waste produced by human right. Waste in human life comes from the social environment and artificial environment. As a result of waste that is not managed properly is the damage to the natural environment.

One source of water pollutants are domestic waste water. Domestic waste water from settlements consisting mainly of feces, urine, and other waste water disposal (bathroom, kitchen, laundry), which contain approximately 99.9% water and 0.1% solids. There are solids consisting of more than 70% of organic substances (mainly proteins, carbohydrates, and fat) and the remaining 30% of organic substances, especially sand, salts, and metals (Kusnoputranto, 1997, p. 3). Hendrawan reseach (2005) showed 83% and 79% of the river in Jakarta are in poor condition, even 5 of 38 there are already polluted by industrial and domestic waste (p. 14).

One of the parameters of domestic waste water that must be considered for the cultivation of algae is Ammonia Nitrogen. Ammonia nitrogen in wastewater can be an inhibiting factor in sewage treatment based on biological treatment. At a certain

concentration, ammonia nitrogen can be toxic for living things, including waste treatment organism such as microalgae.

The concentration of nitrogen is one of the factors that influence the growth and lipid content of microalgae. Lipid production of a type of microalgae is influenced by environmental factors. Environmental factors, especially light, temperature, nutrient status, and salinity, not only affect photosynthesis and biomass productivity of the cell, but also affect the patterns, pathways and activity of cellular metabolism and cell composition dynamics (Hu in Richmond, 2007).

The purpose of this study consisted of general purpose and special purpose, general purpose of this study is to address water pollution caused by domestic waste water using biological treatment of microalgae-based processing. The specific objectives of this research are (1) Determine the ability of ammonia reduction in domestic waste water with different initial ammonia concentration when compared with quality standard. (2) analyze the growth of *Chlorella vulgaris* in domestic waste with different initial ammonia content. (3) to analyze the initial ammonia concentration which gives the highest total lipid, and its effect on total lipid produced. (4) Generate scale up calculation based on scenario

This is a Quantitative Approach research, with true experimental design. Data are collected by experimental methods. Data were analyze using descriptive analysis and one way ANOVA analysis.

The results showed that the decrease in ammonia content in the first treatment is better than the second treatment. In the first treatment the concentration of ammonia nitrogen in 48 hours decreased from 13.1 mg/l to 1.75 mg/l, with the percentage removal 86.6%. In the second treatment within 48 hours, ammonia nitrogen concentration decreased from 4.7 mg/l to 1.6 mg/l with 65.9%percentage removal. This value is far below the standard established by Jakarta government, which is 10 mg/l.

C. vulgaris Buitenzorg is able to live in domestic wastewater. Growth of *Chlorella vulgaris* better on domestic wastes with initial ammonia content of 4.7 mg/l than domestic waste with initial ammonia content of 13, 1 mg/l. In the initial ammonia content of 4.7 mg/l value of the highest optical density obtained at 0.940 on 52 hour, whereas in *C. vulgaris* with initial ammonia content of 13.1 mg/l, the highest optical density obtained at the 52nd with a value of 0.756. The optical density values in both *C. vulgaris* which were grown in the waste is better than that cultured in Benneck medium (control).

The highest content of total lipid for the control and *C. vulgaris* which growth in domestic waste was found on 48 hour. Total lipid highest was found in wastes with initial ammonia concentration of 4.7 mg/l with a value of 57.03%, whereas for *C. vulgaris* with initial ammonia concentration 13.1 mg/l total lipid produced was 56.18%. The controls are cultured in medium Beneck has total lipid of 48,75%.

Calculation of scale up is calculated by assuming a pond 45 cm high and dry cell weight was 0.640 mg/l and the residence time of 2 days gave the result that the productivity of biomass is 525.6 tons/ha/year. Total lipids produced amounted to 299, 7 tons/ha/year, while biodiesel is produced 209.79 tons/ha/year.

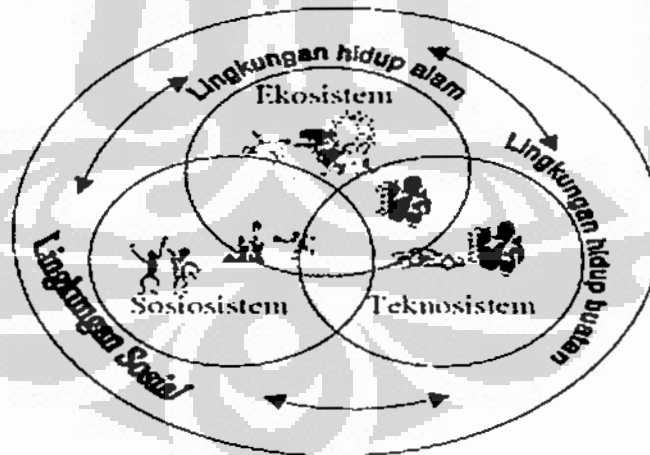
Reference : 49 (1953-2010)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1.Latar belakang

Saat sekarang ini pencemaran lingkungan telah menjadi masalah yang serius dalam kehidupan manusia. Pencemaran lingkungan ini terjadi akibat tidak dikelolanya limbah yang dihasilkan oleh manusia dengan benar. Limbah dalam kehidupan manusia berasal dari lingkungan hidup sosial maupun lingkungan hidup buatan. Akibat limbah yang tidak dikelola dengan benar ini adalah kerusakan lingkungan hidup alam.

Lingkungan hidup manusia yang terdiri dari lingkungan hidup alam, lingkungan hidup sosial maupun lingkungan hidup buatan adalah satu kesatuan yang tidak terpisahkan, gangguan terhadap salah satu komponen akan mengakibatkan dampak kepada komponen lainnya.



Sumber: bebasbanjir 2025. Wordpress.com

Gambar 1.1. Gambar Lingkungan hidup manusia yang terdiri atas lingkungan hidup alam, lingkungan hidup buatan dan lingkungan hidup sosial

Pencemaran lingkungan alam yang terjadi akibat limbah yang dihasilkan manusia akan memberikan dampak terhadap kehidupan manusia sendiri. Salah satu contohnya yaitu pencemaran perairan akibat air limbah yang dihasilkan manusia. Akibat pencemaran, perairan manusia menjadi kesulitan untuk mendapatkan air bersih untuk konsumsi manusia, pada air yang tercemar beberapa organisme perairan yang penting untuk kehidupan manusia tidak mampu bertahan hidup serta adanya gangguan kesehatan terhadap manusia yang menggunakan air yang tercemar sebagai sumber airnya.

Salah satu sumber pencemar perairan adalah air limbah domestik. Air limbah domestik berasal dari permukiman terutama terdiri dari tinja, air kemih, dan buangan air limbah lain (kamar mandi, dapur, cucian) yang kira-kira mengandung 99,9% air dan 0,1% zat padat. Zat padat yang ada tersebut terbagi atas lebih kurang 70% zat organik (terutama protein, karbohidrat, dan lemak) serta sisanya 30% zat an organik terutama pasir, garam-garam, dan logam (Kusnoputranto, 1997, p. 3). Penelitian Hendrawan (2005) menunjukkan 83% sungai dan 79% situ yang berada di Jakarta berada dalam kondisi buruk, bahkan 5 dari 38 situ yang ada telah tercemar limbah industri dan domestik (p. 14).

Air limbah domestik di Indonesia terutama kota besar masih sangat jarang yang diolah dan dimanfaatkan. Kota Jakarta sendiri, limbah domestik yang sudah diolah secara terpusat masih sangat minim yakni hanya 3% dari seluruh wilayah Jakarta, sebagai akibatnya banyak badan air di Jakarta yang tercemar oleh air limbah perkantoran dan domestik (BPPT, 2010). Asian Development Bank pada tahun 1998 menyatakan bahwa penyelenggaraan air limbah domestik di Indonesia baik kualitas maupun kuantitas tidak mengalami peningkatan secara berarti semenjak tahun 1980, akibat tekanan pertumbuhan penduduk (Chalik, 2004).

Selain pengolahan terpusat pada waduk setia budi, air limbah domestik dari rumah tangga lainnya umumnya di tampung dalam *septic tank* atau langsung dibuang ke sungai dan kanal. *Septic tank* jarang dipelihara dengan baik, menyebabkan overflow

yang mengkontaminasi sumber air tanah, termasuk sumur dangkal dimana kebanyakan rumah tangga perkotaan menggunakannya sebagai sumber air minum, bahkan lumpur dari tangki septik sebagian besar dikumpulkan dan dibuang ke sungai atau kanal (Bank dunia, 1994; Chalik, 2004).

Komposisi dari air limbah domestik Jakarta secara umum menurut PD PAL jaya dalam BPPT (2010) adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1. Tabel Komposisi Air Limbah Domestik Jakarta

| No | Parameter | Satuan | Konsentrasi | Baku mutu |
|----|--|--------|---------------|-----------|
| 1 | BOD | mg/l | 27,61-190,59 | 50 |
| 2 | COD | mg/l | 138,68-591,24 | 80 |
| 3 | Angka permanganat (KMNO ₄) | mg/l | 64,6-256,49 | 85 |
| 4 | Amoniak (NH ₃) | mg/l | 12,5-63,62 | 10 |
| 5 | pH | | 6,06-6,99 | 6-9 |
| 6 | Minyak dan lemak | mg/l | 0,8-12,7 | 10 |

Sumber: BPPT, 2010; peraturan pemerintah DKI Jakarta no. 122 tahun 1995

Guna menurunkan kandungan parameter-parameter dalam air limbah agar memenuhi baku mutu lingkungan maka perlu dilakukan pengolahan terhadap air limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan. Sebuah penelitian di negara Skandinavia menunjukkan bahwa pengolahan air limbah berbasis mikroalga memiliki tingkat pelanggaran prinsip-prinsip sosial ekologi yang lebih sedikit daripada pengolahan air limbah konvensional, dan pengolahan konvensional yang digunakan bersama-sama dengan lahan basah buatan (Groenlund *et al.*, 2004; Kryder, 2007, p. 4).

Penggunaan mikroalga sebagai pengolah limbah juga memiliki keuntungan lain yaitu biomasa yang dihasilkannya dapat diekstraksi untuk menjadi minyak biodiesel. Alga yang digunakan dalam produksi minyak biodiesel biasanya adalah alga hijau uniseluler. Alga tipe ini adalah alga eukariotik fotosintetik yang dikarakterkan oleh tingkat pertumbuhan yang tinggi dan kerapatan populasi yang tinggi pula. Sebagai tambahan

alga hijau dapat memiliki kandungan lipid yang tinggi, biasanya diatas 50% (Chisti, 2007; Schneider, 2006; Campbell, 2008 hal 4).

Mikroalga yang dibiakkan untuk menghasilkan minyak biodiesel sebaiknya adalah strain lokal. Salah satu jenis mikroalga strain lokal yang dapat dimanfaatkan adalah *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Jenis ini adalah strain lokal yang dikultivasi oleh dinas perikanan darat kota depok. Mikroalga ini memiliki kandungan gizi yang tinggi sehingga biasanya jenis ini dijadikan sebagai pakan ternak.

Limbah domestik sendiri adalah medium yang cocok untuk pertumbuhan mikroalga termasuk *Chlorella vulgaris* Buitenzorg, karena limbah domestik mengandung bahan organik dan nutrisi berupa nitrogen dan fosfor yang penting untuk pertumbuhan mikroalga. Nitrogen dalam air limbah memiliki efek sebagai polutan yang khusus karena nitrogen dapat menggunakan kebutuhan oksigen dan menstimulasi terjadinya eutrofikasi. Sembilan puluh persen dari kandungan nitrogen di dalam air limbah domestik biasanya berada dalam bentuk senyawa amonia. Amonia adalah suatu produk hasil penguraian senyawa organik. Amonia yang terlarut dalam air adalah toksik untuk kehidupan di air pada konsentrasi beberapa ppm. Konsentrasi pastinya bergantung pada pH dan temperatur dari air yang mana mempengaruhi proporsi dari amonia bebas dalam ekuilibrium dengan ion amonium:



Proporsi dari amonia bebas meningkat seiring dengan meningkatnya pH dan temperatur. Kandungan amonia dari air limbah yang dibuang ke lingkungan diatur dengan peraturan yang ketat untuk melindungi badan air penerima. Maksimum konsentrasi biasanya dibawah 10 g/m³ (sebagai nitrogen) dan sering dibawah 3 atau 4 g/m³ (Winkler, 1981, p 29). Limbah domestik biasanya mengandung amonia sebesar 35 g/m³. Oksigen yang dibutuhkan untuk nitrifikasi 35 g/m³ amonia adalah sekitar 150 g/m³, jadi total oksigen yang dibutuhkan menjadi 300-500 g/m³, yang mana 30-40% nya karena keberadaan amonia (p. 230).

Amonia dalam air limbah dapat menjadi faktor penghambat dalam pengolahan limbah berbasis pengolahan biologis. Pada konsentrasi tertentu amonia dapat menjadi toksik terhadap makhluk hidup, termasuk mikroorganisme pengolah limbah seperti mikroalga. Penelitian Abeliovich dan Azov (1975) menunjukkan bahwa konsentrasi amonia diatas 2 mM dan pH diatas 8 dapat menghambat pertumbuhan dan fotosintesis dari *Scenedesmus obliquus*, suatu spesies yang dominan dalam pond oksidasi limbah. Fotosintesis dari alga lain seperti *Chlorella pyrenoidosa*, *Anacystis nidulans* dan *Plectonema boryanum* juga terhambat pada konsentrasi amonia yang sama.

Konsentrasi nitrogen adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan lipid dari mikroalga. Produksi lipid dari suatu jenis mikroalga dipengaruhi oleh faktor lingkungannya. Faktor lingkungan, khususnya cahaya, temperatur, status nutrien, dan salinitas, tidak hanya mempengaruhi fotosintesis dan produktivitas dari biomassa sel, tapi juga mempengaruhi pola, jalur dan aktivitas dari metabolisme selular dan komposisi sel dinamik (Hu dalam Richmond, 2007).

1.2. Perumusan masalah

Limbah domestik adalah salah satu sumber pencemar perairan karena air limbah domestik mengandung bahan organik dan nutrisi yang tinggi, yang dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi dalam badan air penerima. Tingginya kandungan bahan organik dan nutrisi dalam air limbah domestik membuat air limbah domestik ini cocok untuk menjadi medium pertumbuhan mikroalga.

Kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah harus memperhatikan kandungan nutrisi terutama nitrogen yang berada dalam air limbah tersebut. Sembilan puluh persen nitrogen dalam air limbah domestik berada dalam bentuk amonia. Amonia sendiri pada konsentrasi tertentu dapat menjadi toksik untuk pertumbuhan mikroalga. Setiap mikroalga memiliki ketahanan yang berbeda terhadap kandungan amonia. Kadar amonia awal air limbah akan mempengaruhi kandungan lipid dari mikroalga. Sampai saat ini belum dilakukan penelitian tentang kemampuan hidup dan penurunan amonia oleh *C. vulgaris* Buitenzorg dalam air limbah domestik serta

kandungan lipidnya yang dapat dimanfaatkan untuk bahan minyak biodiesel. Berdasarkan rumusan masalah di atas maka dapat dibuat pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apakah mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg mampu menurunkan kandungan nitrogen amonia dalam air limbah domestik sampai memenuhi baku mutu lingkungan?
2. Bagaimana kemampuan pertumbuhan dari *Chlorella vulgaris* yang dibiakkan dalam limbah domestik dengan kandungan awal amonia yang berbeda?
3. Berapa total lipid yang dihasilkan yang dihasilkan dan apakah perbedaan konsentrasi amonia awal akan memberikan pengaruh terhadap total lipid yang dihasilkan?
4. Jika sistem ini diterapkan dalam masyarakat, bagaimanakah kemungkinan permodelan *scale up* yang dapat dibuat?

1.3. Tujuan penelitian

1.3.1. Tujuan umum

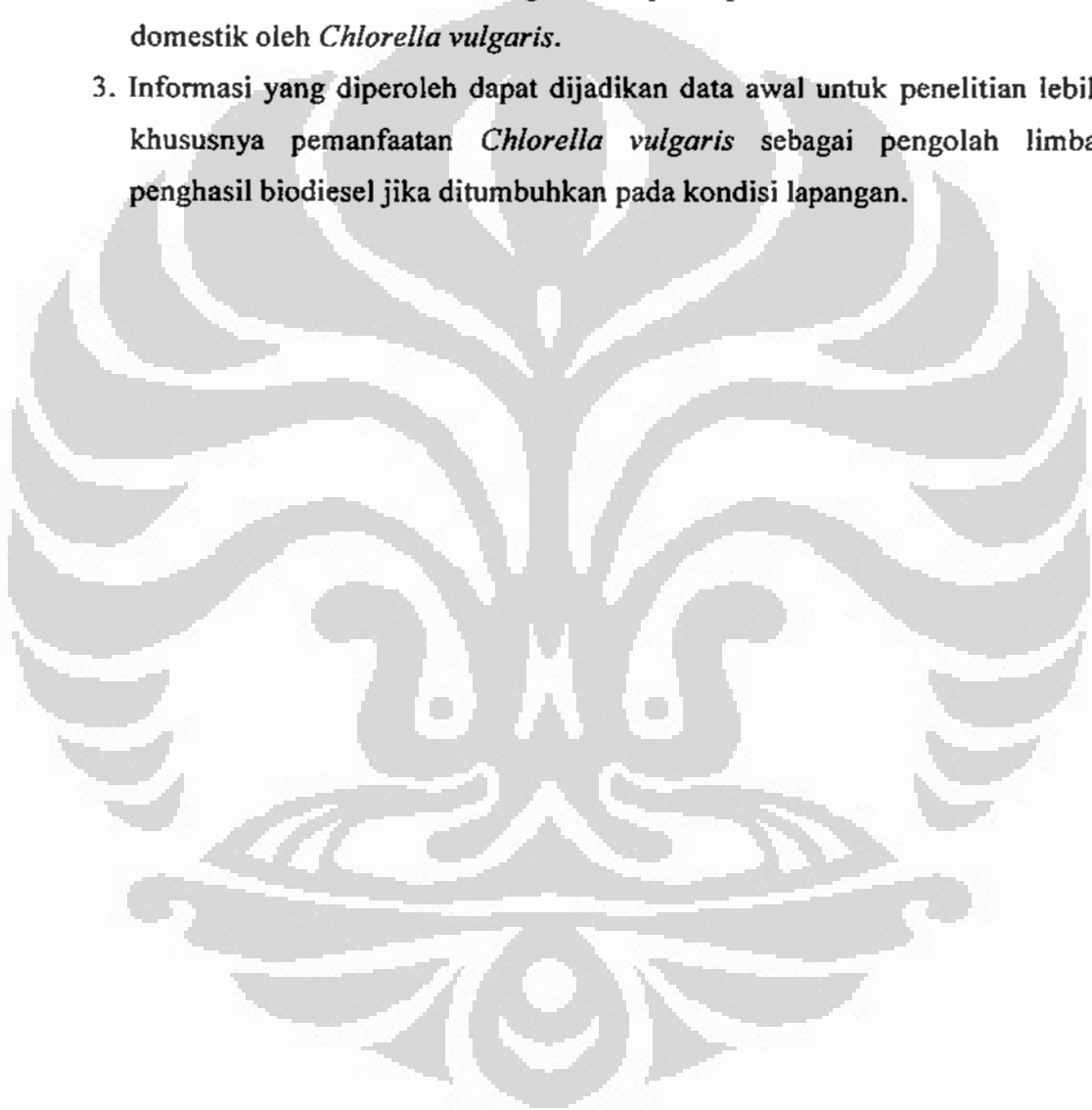
Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengatasi pencemaran perairan yang diakibatkan oleh air limbah domestik dengan menggunakan pengolahan biologis yang pengolahannya berbasiskan mikroalga.

1.3.2. Tujuan khusus

1. Mengetahui kemampuan penurunan amonia air limbah domestik dengan konsentrasi amonia awal yang berbeda jika dibandingkan dengan baku mutu.
2. Menganalisis pertumbuhan *Chlorella vulgaris* yang dalam limbah domestik dengan kadar amonia awal yang berbeda.
3. Menganalisis konsentrasi amonia awal mana yang memberikan total lipid tertinggi, dan pengaruhnya terhadap total lipid yang dihasilkan.
4. Menghasilkan perhitungan *scale up* berdasarkan suatu skenario.

1.4. Manfaat penelitian

1. Memperkaya khasanah ilmu pengetahuan tentang kultivasi mikroalga khususnya kemampuan pertumbuhan *C. vulgaris* Buitenzorg dalam limbah domestik
2. Memberikan informasi tentang kemampuan penurunan amonia dari air limbah domestik oleh *Chlorella vulgaris*.
3. Informasi yang diperoleh dapat dijadikan data awal untuk penelitian lebih lanjut khususnya pemanfaatan *Chlorella vulgaris* sebagai pengolah limbah dan penghasil biodiesel jika ditumbuhkan pada kondisi lapangan.



BAB 2

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1. Kerangka teoritik

2.1.1. Pembangunan berkelanjutan dan lingkungan hidup manusia

Pembangunan yang berlangsung selama ini lebih menitik beratkan kepada sisi ekonomi semata. Sumberdaya alam yang ada digunakan untuk produksi barang guna memenuhi kebutuhan manusia secara semena-mena tanpa memperhatikan daya dukung lingkungan. Eksploitasi sumberdaya alam telah mengakibatkan semakin menipisnya sumberdaya alam yang tersedia terutama sumberdaya alam yang tidak dapat diperbarui seperti minyak bumi yang merupakan sumber bahan bakar utama saat ini. Selain penipisan sumberdaya alam, pembangunan ekonomi juga telah mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan akibat pembuangan sisa-sisa produksi (limbah) ke lingkungan. Limbah tidak hanya berasal dari pabrik namun juga dari rumah tangga, karena segala kegiatan manusia pada akhirnya akan menghasilkan limbah.

Kerusakan alam pada hakikatnya akan mengganggu kehidupan manusia sendiri karena antara lingkungan hidup alam, lingkungan hidup buatan dan lingkungan hidup sosial mempunyai satu ketergantungan satu dengan yang lainnya. Ketiga lingkungan hidup ini adalah lingkungan hidup manusia yang seharusnya saling melengkapi. Pembangunan ekonomi dengan pendirian pabrik adalah lingkungan buatan manusia, pada pembangunan ekonomi secara umum aspek lingkungan buatan sangat dikedepankan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia yang berakibat kepada kerusakan lingkungan alam.

Beberapa dekade belakangan ini masyarakat semakin peduli dengan masalah lingkungan, karena masyarakat dunia mulai menyadari bahwa eksploitasi sumberdaya

alam bisa mengakibatkan degradasi lingkungan. Semakin meningkatnya kasus-kasus dan masalah lingkungan dinegara maju maupun negara berkembang memberikan andil utama bagi munculnya gagasan pembangunan berkelanjutan atau berwawasan lingkungan. Dalam beberapa hal eksploitasi sumberdaya yang tidak terkontrol bukan hanya bisa mengakibatkan kelangkaan sumberdaya tetapi juga dapat mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan. Oleh karenanya pembangunan ekonomi harus mengarah ke pembangunan yang berkelanjutan ataudikenal juga sebagai pembangunan berwawasan lingkungan (Yakin, 1997, p. 18).

Secara historis konsep pembangunan berkelanjutan pertama kali muncul sebagai upaya untuk mengatasi bahaya polusi pada akhir tahun 60-an dampak negatif dari perkembangan industri yang pesat. Namun demikian cepat atau lambat persoalan yang sama akan merembes juga ke negara-negara berkembang akibat proses industrialisasi. Alasan inilah yang melahirkan konferensi Stockholm pada tahun 1972. Setelah konferensi Stockholm, lalu *The First Governing Council* dibentuk sebagai inti dari sebuah badan PBB baru yang dikenal sebagai the United Nation Environmental Programme (UNEP) di Nairobi, yang menjadi perhatian utama adalah lingkungan fisik global (the global physical environment), baik dinegara maju maupun negara-negara berkembang (Yakin, 1997, p. 19).

Pembangunan berkelanjutan oleh World Commision on Environment and Development (WCED) diartikan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan hak pemenuhan kebutuhan generasi masa mendatang. Dalam konsep ini terkandung prinsip-prinsip menghargai dan memelihara komunitas kehidupan, meningkatkan kualitas kehidupan manusia, menjaga vitalitas dan keragaman bumi, minimalisasi penciptaan sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui, mdngindahkan daya dukung lingkungan, perubahan nilai dan sikap pribadi, menggalakkan masyarakat untuk dapat turut serta memelihara lingkungan, memadukan konservasi dalam

pembangunan, dan mengembangkan kerjasama global (IUCN, 1993, p. 3; Zainuddin, 1996, p. 17)

Salim (1992d, p. 4); Zainuddin (1996, p. 18) mengartikan pembangunan berkelanjutan sebagai suatu proses pembangunan yang mengoptimalkan manfaat dari sumberdaya alam dan sumberdaya manusia dalam menyasikan sumber alam dengan manusia dalam pembangunan. Dalam konsep ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses pembangunan berlangsung secara berlanjut ditopang oleh sumberdaya alam, kualitas lingkungan dan manusia yang berkembang secara berkelanjutan.
2. Sumber alam terutama udara, air dan tanah, memiliki ambang batas dimana penggunaannya akan menciutkan kuantitas dan kualitas sehingga berkurang kemampuan menopang pembangunan secara berlanjut dan menimbulkan gangguan pada keserasian sumberdaya alam dengan sumberdaya manusia.
3. Kualitas lingkungan berkolerasi langsung dengan kualitas hidup; semakin baik mutu kualitas lingkungan semakin positif pengaruhnya pada kualitas hidup, yang antara lain tercermin pada meningkatnya harapan usia hidup, turunnya tingkat kematian dan lain-lainnya.
4. Pola penggunaan sumber alam tidak menutup kemungkinan memilih opsi lain dimasa depan.
5. Pembangunan ini memungkinkan generasi sekarang meningkatkan kesejahteraannya tanpa mengurangi kemungkinan bagi generasi masa depan meningkatkan kesejahteraannya (Zainuddin, 1996, p. 18-19).

The Global Tomorrow Coalition mengemukakan bahwa pembangunan berkelanjutan itu didasarkan kepada:

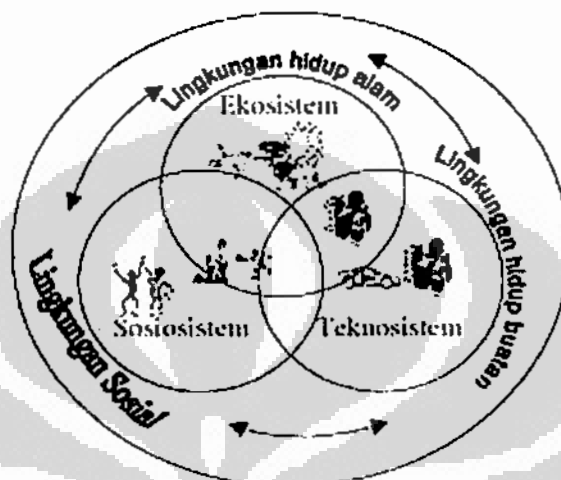
1. Pembangunan ekonomi dan kesehatan lingkungan adalah saling berkaitan satu sama lainnya dan lingkungan dan ekonomi harus diintegrasikan dari permulaan proses pengambilan keputusan/perumusan kebijakan

2. Masalah lingkungan adalah saling berkait satu sama lain. Misalnya penggundulan hutan tidak hanya berarti menyebabkan degradasi hutan tetapi juga bisa mempercepat terjadinya erosi dan endapan sungai dan danau-danau.
3. Problema ekonomi dan lingkungan berkaitan dengan banyak faktor sosial politik. Sebagai contoh, pertumbuhan penduduk yang cepat mempunyai dampak yang luar biasa terhadap pembangunan dan lingkungan di banyak negara yang antara lain disebabkan oleh status wanita yang inferior di dalam masyarakat tersebut.
4. Faktor-faktor ekonomi, polusi dan ekosistem tidak memandang batas-batas negara yang mengakibatkan pentingnya kerjasama dan komunikasi internasional.

(Yakin, 1997, p. 22).

Pembangunan berkelanjutan/berwawasan lingkungan memiliki perhatian utama pada lingkungan dan pembangunan. Pengelolaan lingkungan akan menjadi salah satu aspek dalam pembangunan yang berkelanjutan. Dalam pembangunan berkelanjutan, pembangunan yang dilakukan tidak akan mengorbankan lingkungan hidup manusia yaitu lingkungan alam, lingkungan buatan dan lingkungan sosial. Lingkungan hidup manusia memiliki ketergantungan antara satu dengan yang lainnya.

Salah satu contoh pengelolaan lingkungan adalah melakukan pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan oleh lingkungan hidup buatan maupun lingkungan hidup sosial. Manusia sebagai masyarakat sosial akan menghasilkan air limbah dari rumah tangganya, limbah ini jika tidak diolah dan langsung masuk kedalam badan air akan mengakibatkan pencemaran pada lingkungan alam. Guna mengatasi hal ini maka manusia harus membuat sebuah tempat pengolahan limbah yang merupakan lingkungan buatan.



Sumber: bebasbanjir 2025. Wordpress.com

Gambar 2.1. Gambar Lingkungan hidup manusia yang terdiri atas lingkungan hidup alam, lingkungan hidup buatan dan lingkungan hidup sosial

Suatu penelitian di negara skandinavia melakukan evaluasi metode pengolahan air limbah berdasarkan pada dua kerangka konsep untuk mengukur derajat dari proses menuju sistem yang berkelanjutan. Kerangka-kerangka konsep tersebut dikenal sebagai prinsip-prinsip sosial ekologi dan *emergy analisis*. *Emergy analisis* meletakkan setiap sumberdaya dalam suatu hierarki energi yang dinyatakan dalam hubungan terhadap pengaruh relatif dari item tersebut pada sistem dimana ia adalah bagiannya. Metoda pengolahan air limbah yang dipertimbangkan adalah sistem pengolahan air limbah konvensional, *plant* pengolahan konvensional yang digunakan bersama-sama dengan lahan basah buatan, dan *plant* pengolahan air limbah berbasis mikroalga. Setelah membandingkan biaya, penggunaan sumber energi yang terbarukan dan tidak terbarukan, dan faktor-faktor lain seperti beban lingkungan, dan produk *emergy*, mereka menyimpulkan bahwa pengolahan berbasis mikroalga memiliki tingkat pelanggaran prinsip-prinsip sosial ekologi yang lebih sedikit daripada metode pengolahan lainnya. Sayangnya biaya yang diperlukan lebih besar dari metode-metode pengolahan lainnya. Mereka mengamati bahwa jika biomasa mikroalga dapat digunakan untuk hal lain, ini

akan memperkecil perbedaan biaya dan dapat menjadikan biaya proses lebih efektif (Groenlund *et al.*, 2004; Kryder, 2007, p. 4).

Biomasa mikroalga hasil pengolahan limbah dapat dimanfaatkan untuk produksi biodiesel sebagai pengganti bahan bakar minyak yang sekarang ini dipakai. Pembuatan biodiesel dari mikroalga akan dapat mengurangi emisi, karena biodiesel dari biomasa makhluk hidup lebih bersih daripada bahan bakar yang digunakan sekarang. Penghasil Biodiesel Potensial Mikroalga memiliki kandungan minyak yang komposisinya mirip seperti tanaman darat, bahkan untuk jenis tertentu mempunyai kandungan minyak cukup tinggi melebihi kandungan minyak tanaman darat, seperti kelapa, jarak dan sawit. Mikroalga seperti *Botryococcus braunii*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris*, *Monalanthus salina* mempunyai kandungan minyak berkisar 40-85% (sementara untuk kelapa hanya mengandung minyak sekitar 40-55%, jarak mempunyai kandungan minyak 43-58% , dan untuk sawit berkisar 45-70%). Hasil riset National Renewable Energy Laboratory Colorado menunjukkan bahwa untuk luasan areal yang sama mikroalga dapat menghasilkan minyak 30 kali lebih banyak dibandingkan tanaman darat. Hasil penelitian Shifrin pada tahun 1984 diperoleh bahwa rata-rata produktivitas mikroalga dapat mencapai 15-25 gram/m²/hari. Nilai produktivitas ini masih 10% dibawah teori hitungan maksimumnya. Berdasarkan hal tersebut, jika diasumsikan, rendemen minyak dalam mikroalga misalnya 30-50% dan waktu efektif 300 hari, maka untuk satu hektar lahan budidaya dalam satu tahun akan dihasilkan minyak sebanyak 15,8-37,5 ton. Hasil ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan tanaman darat misalnya jarak 1,5 ton/hektar tahun atau sawit 3,3 - 6,0 ton/hektar/tahun (Rahardjo, 2008).

Adanya potensi dari mikroalga sebagai penghasil biodiesel, memberikan suatu nilai tambah ekonomi bagi mikroalga. Ini menunjukkan bahwa lingkungan dan ekonomi dapat dilakukan dengan sejalan dan interaksi keduanya dapat menguntungkan. Biodiesel dari mikroalga adalah salah satu jalan menuju pembangunan yang berkelanjutan.

2.1.2. Limbah domestik

Sumber utama air limbah domestik dari masyarakat adalah berasal dari perumahan dan daerah perdagangan. Adapun sumber lainnya yang tidak kalah pentingnya adalah daerah perkantoran atau lembaga serta daerah fasilitas rekreasi. Daerah perumahan yang kecil aliran air limbah biasanya diperhitungkan melalui kepadatan penduduk dan rata-rata per orang dalam membuang air limbah (Sugiharto, 2005, p. 10).

Air limbah domestik terdiri dari *blackwater* dan *greywater*. *Blackwater* adalah air limbah yang berasal dari toilet yang mengandung kotoran manusia dan urin serta air yang berasal dari dapur yang mengandung bahan organik. *Greywater* adalah air yang berasal dari tempat-tempat pencucian seperti cuci pakaian dan kegiatan mandi.

Air limbah domestik memiliki karakteristik yang dikelompokkan dalam sifat fisika, kimia dan biologi, yaitu:

1. Karakteristik fisika

Karakteristik fisika terdiri atas warna, bau, suhu, dan zat padat.

- a. Warna diakibatkan oleh adanya bahan-bahan terlarut, atau tersuspensi dalam limbah. Badan air yang berwarna hitam pekat dapat mengurangi intensitas sinar matahari masuk ke dalam badan air, sehingga mengganggu fotosintesis. Akibatnya kadar oksigen terlarut berkurang, sehingga kehidupan di air terganggu
- b. Bau yang dilepaskan oleh limbah cair tanda adanya pelepasan gas yang berbau, misalnya gas H_2S yang terbentuk karena adanya penguraian zat organik sulfat atau belerang pada kondisi minim oksigen
- c. Suhu, kenaikan suhu mempercepat reaksi proses biokimia, yang mempercepat pengurangan kadar oksigen.
- d. Zat padat, di dalam limbah cair dijumpai adanya padatan terlarut, padatan tersuspensi dan koloid. Padatan terlarut berukuran kurang

dari 1 μm . Padatan ini dapat berupa garam asam, garam basa, logam berat, dan berbagai bahan organik yang menyebabkan kualitas badan air turun. Padatan tersuspensi dapat berupa zat organik maupun anorganik dengan diameter lebih besar dari 1 μm . Padatan tersuspensi dapat mengendap tanpa bantuan koagulan, namun memerlukan waktu lama sebab zat ini hanya mengandalkan gaya berat untuk mengendap. Koloid adalah padatan dengan diameter antara 1 μm sampai 1 μ . Koloid tidak dapat diendapkan begitu saja, tetapi dihilangkan dengan oksidasi biologis atau digumpalkan dengan koagulan, kemudian diendapkan (Metcalf dan Eddy, 2002).

2. Karakteristik kimia

Air limbah domestik mengandung berbagai senyawa kimia dengan komposisi yang berbeda. Komposisi air limbah domestik bergantung kepada kultur sosial masyarakat asal air limbah tersebut. Komposisi air limbah domestik yang belum diolah dan kekuatan dari air limbah domestik secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tabel Komposisi dari Air Limbah Domestik yang Belum Diolah

| Konstituen | Satuan | Lemah | Sedang | Kuat |
|---|--------|-------|--------|------|
| Alkalinity (dalam bentuk CaCO_3) | mg/l | 50 | 100 | 200 |
| BOD_5 (dalam bentuk O_2) | mg/l | 100 | 200 | 300 |
| Klorida | mg/l | 30 | 50 | 100 |
| COD (dalam bentuk O_2) | mg/l | 250 | 500 | 1000 |
| <i>Suspended solids</i> (SS) | mg/l | 100 | 200 | 350 |
| <i>Settleable solids</i> | ml/l | 5 | 10 | 20 |
| <i>Total dissolved solid</i> (TDS) | mg/l | 200 | 500 | 1000 |

Tabel 2.1. Lanjutan

| | | | | |
|--|------|----|-----|-----|
| <i>Total Kjeldahl nitrogen (TKN) sebagai N</i> | mg/l | 20 | 40 | 80 |
| <i>Total organic carbon (TOC) sebagai C</i> | mg/l | 75 | 150 | 300 |
| <i>Total fosfor sebagai P</i> | mg/l | 5 | 10 | 20 |

Sumber: Davis&Cornwell (1998).

3. Karakteristik Biologi

Pemeriksaan karakteristik biologi bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan mikroorganisme patogen didalam air limbah. Karakteristik biologi ini diperlukan untuk mengukur kualitas air terutama bagi air yang yang dipergunakan untuk air minum. Mikroorganisme patogen yang biasa ada dalam air limbah adalah virus, dan bakteri *E. coli* (Metcalf dan Eddy, 2002).

Menurut Hammer (1977) dalam Soeparman dan Suparmin (2001, p. 29) volume limbah cair dari perumahan bervariasi, dari 200 sampai 400 liter per orang per hari, tergantung pada tipe rumah. Aliran terbesar berasal dari rumah keluarga tunggal yang memiliki beberapa kamar mandi, mesin cuci otomatis, dan peralatan lain yang menggunakan air. Lebih lanjut Sugiharto (2005, p. 11) menyatakan untuk daerah perumahan yang kecil aliran air limbah biasanya diperhitungkan melalui kepadatan penduduk dan rata-rata per orang dalam membuang air limbah. Adapun untuk daerah yang luas, maka perlu diperhatikan jumlah aliran air limbah dengan dasar penggunaan daerah, kepadatan penduduk, serta ada atau tidaknya daerah industri. Besarnya rata-rata air limbah yang berasal dari daerah hunian dapat dilihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2. Tabel Rata-Rata Aliran Air Limbah dari Daerah Permukiman

| Sumber | Unit | Jumlah aliran | Rata-rata |
|-----------------------|-------|---------------|-----------|
| Apartemen | Orang | 200-300 | 260 |
| Hotel, penghuni tetap | Orang | 150-220 | 190 |
| Rumah pada umumnya | Orang | 190-350 | 280 |
| Rumah pada umumnya | Orang | 250-400 | 310 |
| Rumah mewah | Orang | 300-550 | 380 |
| Rumah agak modern | Orang | 100-250 | 200 |
| Rumah pondok | Orang | 100-240 | 190 |
| Rumah gendengan | Orang | 120-200 | 150 |

Sumber: Metcalf dan Eddy, (1979); Sugiharto, (2005)

Pada air limbah domestik, protein dan karbohidrat adalah komponen utama (90%) dari bahan organik. Sumber dari kontaminan yang *biodegradable* ini berasal dari ekskreta dan urin manusia, limbah makanan yang mengendap, tanah dan bahan pengotor dari air mandi, cucian, dan laundry, bahan organik juga berasal dari berbagai jenis sabun, detergen dan berbagai produk pembersih lainnya. Perubahan kultur dan sosial struktur dapat mempengaruhi komposisi air limbah domestiknya, namun komponen nitrogen dalam air limbah tidak sensitif terhadap perubahan sosial. Fraksi nitrogen dalam air limbah hasil dari metabolisme manusia dan hanya berubah drastis karena diet atau modifikasi fisik dari peralatan toilet yang dapat merubah konsentrasi nitrogen. Kekawatiran lingkungan terhadap nitrogen air limbah ada beberapa hal, ada tiga keawatiran utama yaitu kesehatan, kebutuhan oksigen dan eutrofikasi (Wanielista, dan Eckenfelder, Jr, 1978, p 15).

Kebanyakan nitrogen dalam air limbah domestik berasal dari urin dan awalnya berada dalam bentuk urea (70-90% dari total nitrogen-TN). Urea akan terhidrolisis menjadi amoniak nitrogen oleh enzim urease yang secara alami terdapat di urin (Silva et al.,

1995; Craggs, 2005, p. 78). Total nitrogen pada air limbah 60% berada dalam bentuk nitrogen amonia (Barnes dan Bliss, 1983; Craggs, 2005, p. 78).

Sebagian besar kelompok masyarakat pada umumnya membuang limbah domestik langsung ke badan air terdekat, dekat tempat tinggalnya seperti selokan, sungai, waduk, dan sebagainya. Air limbah yang langsung dibuang kelingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu akan memberikan dampak negatif ke berbagai aspek antara lain:

1. Dampak terhadap kesehatan

Air limbah berbahaya terhadap kesehatan manusia karena banyak penyakit yang dapat ditularkannya. Air limbah berfungsi sebagai media pembawa penyakit seperti kolera, radang usus, *hepatitis infektiosa*, serta *schistosomiasis*. Selain sebagai pembawa penyakit didalam air limbah juga mengandung bakteri patogen penyebab penyakit seperti virus *Vibrio cholera*, *Salmonella sp.*, *Shigella sp*, dan lain-lain.

2. Dampak terhadap kehidupan biotik

Kehidupan biotik akan terpengaruh oleh keberadaan zat pencemar dalam air limbah, karena akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut. Kematian kehidupan didalam air ini selain disebabkan karena kekurangan oksigen, juga disebabkan oleh adanya zat-zat beracun yang terkandung di dalam air limbah. Selain mengakibatkan kematian ikan, air limbah juga mengakibatkan kematian bakteri-bakteri dan dapat pula menyebabkan kerusakan pada tumbuhan air. Akibat kematian bakteri, maka proses *self purification* oleh badan air menjadi terhambat.

3. Dampak pada keindahan (Estetika)

Limbah dinilai sebagai sesuatu yang tidak memiliki nilai estetika atau keindahan di masyarakat terutama secara visual, audio, maupun psikososial. Gas NH_3 dan H_2S merupakan hasil penguraian bahan organik yang mengakibatkan bau.

Demikian juga dengan kotoran-kotoran, sisa makanan, dan minuman yang merupakan bahan-bahan yang cepat membusuk dan mendatangkan lalat sehingga dapat mengganggu nilai-nilai keindahan dan estetika

4. Dampak pada kerusakan benda

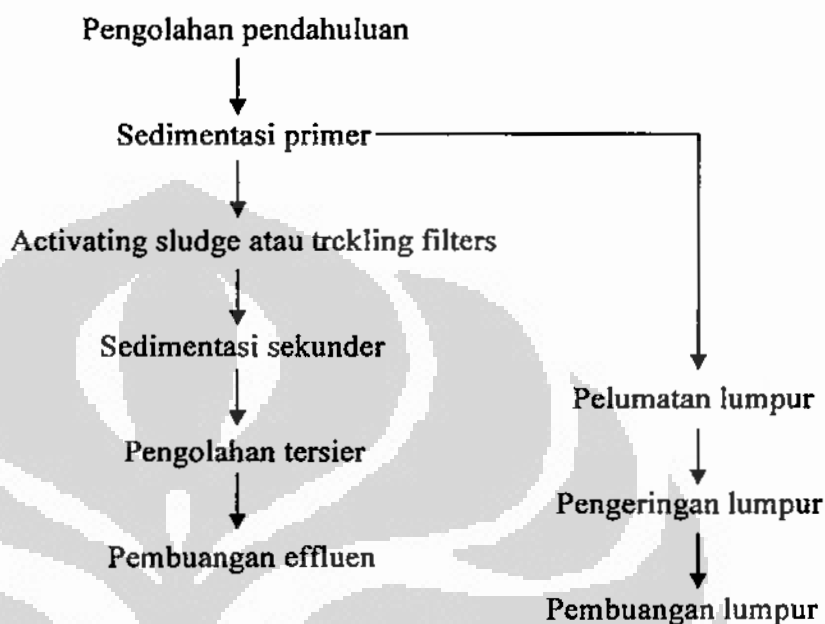
Air limbah yang mengandung CO_2 akan mempercepat proses terjadinya karat pada benda yang terbuat dari besi. Selain kandungan CO_2 agresif, air limbah yang bersifat asam atau basa juga dapat mengakibatkan timbulnya kerusakan pada benda (Sugiharto, 2005).

Guna mengatasi masalah ini maka perlu dilakukan pengolahan air limbah domestik sebelum dibuang ke lingkungan. Negara-negara di Eropa dan Amerika sudah sejak dulu melakukan pengolahan limbah, teknik yang digunakan terdiri dari berbagai variasi unit proses yang bergabung menjadi satu kesatuan yang berkesinambungan. Teknologi ini dikenal sebagai pengolahan air limbah konvensional. Umumnya komponen pengolahan air limbah konvensional meliputi bagan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pengolahan ini memiliki tiga kerugian, terutama jika digunakan oleh negara-negara berkembang, yaitu:

1. Penghilangan mikroorganisme patogen sangat buruk
2. Biaya pembangunan dan pelaksanaan sangat tinggi
3. Diperlukan teknologi tinggi untuk pembiayaan

Pengolahan limbah untuk negara berkembang lebih cocok untuk menggunakan pengolahan secara biologis, karena biaya untuk pengolahan secara biologis lebih murah. Negara berkembang umumnya masih memiliki lahan yang luas. Selama lahan tersedia maka pengolahan secara biologis dapat menjadi pilihan. India telah menggunakan pengolahan secara biologis ini untuk pengolahan limbah domestiknya, biaya yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Universitas Indonesia



Sumber: Kusnoputranto, (1997)

Gambar 2.2. Komponen Pengolahan Air Limbah Konvensional

Tabel 2.3. Tabel Biaya tahunan Pengolahan Air Limbah

| Proses | Biaya tahunan (Rupiah/orang) |
|---|------------------------------|
| <i>Waste stabilization pond</i> | 0,9 – 2,3 |
| <i>Aerate lagoon</i> | 2,8 – 4,8 |
| <i>Oxidation ditch</i> | 3,8 – 6,0 |
| <i>Conventional treatment (Primary + secondary)</i> | 3,5 -13,2 |

Sumber: Kusnoputranto, (1997)

Tujuan pengolahan limbah cair secara biologis adalah untuk:

1. Mengkoagulasikan dan memisahkan padatan koloid yang tidak dapat mengendap.
2. Menstabilkan zat-zat organik yang dikandung dalam limbah cair yang diolah.
3. Menurunkan kadar nutrisi (nitrogen dan fosfor).

Dengan selalu melakukan analisis dan pengawasan baik terhadap fluktuasi karakter dan kadar, maka hampir seluruh jenis limbah cair dapat ditangani secara proses biologis (Budihardjo, 2001, p. 6-7).

Pengolahan limbah secara biologis ada bermacam-macam. Guna mendapatkan kualitas effluen yang baik biasanya pengolahan biologis dapat dilakukan secara bertingkat, dan biomasa organisme yang terdapat dalam pengolahan biologis dapat dimanfaatkan untuk keperluan lainnya. Salah satu contoh pengolahan biologis secara bertingkat adalah pengolahan dengan menggunakan anaerobik treatment pond sebagai pengolahan pertama, facultative pond sebagai pengolahan kedua dan *High Rate Oxidation Pond* (HROP) sebagai pengolahan akhir. Penggunaan HROP dapat diintegrasikan dengan pertanian alga, dan biomasa alga yang dihasilkan dapat dijadikan untuk makanan hewan ternak, maupun biodiesel.

Pengolahan limbah dengan menggunakan mikroalga telah banyak dilakukan, baik dengan menggunakan mikroalga yang telah ada secara alami pada air limbah atau jenis lain yang disamping mampu mereduksi polutan juga memiliki nilai ekonomis. Mikroalga dapat dikultivasi pada kondisi agroklimatik yang sulit dan mampu menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat seperti lemak, minyak, gula (karbohidrat) dan komponen bioaktif fungsional. Beberapa jenis dapat menghasilkan hidrogen dan oksigen melalui proses *biofotolisis* menghasilkan hidrokarbon alami yang cocok untuk digunakan sebagai *biofuel*. Tipe dan jumlah hidrokarbon yang dihasilkan dipengaruhi oleh intensitas cahaya, temperatur, konsentrasi ion, dan pH (Satin, 2009).

Salah satu jenis yang mampu hidup di air limbah adalah *Chlorella vulgaris*. Jenis ini sudah pernah diteliti oleh Fallowfield dan Barret (1985) untuk mengolah limbah dilute pig slurry. Hasilnya mikroalga ini mampu mereduksi nitrogen dengan persentase removal N = 54-98% dalam waktu 4,5 hari. Penelitian lain dilakukan oleh Sreesai dan

Pakpain (2007) yang menggunakan mikroalga *Chlorella vulgaris* untuk mengolah limbah *septage effluent* di kota Bangkok.

Air limbah terutama air limbah domestik dapat diolah dengan menggunakan mikroalga karena air limbah ini memiliki nutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan alga. Parameter air limbah yang berhubungan dengan pertumbuhan mikroalga adalah sebagai berikut:

1. BOD₅ dan COD

BOD dan COD menunjukkan kandungan bahan organik di dalam air limbah. Semakin tinggi bahan organik yang terkandung di dalam air limbah semakin kuat air limbah tersebut. Kekuatan air limbah biasanya ditentukan dari nilai BOD₅ atau CODnya. Jika konsumsi air disuatu wilayah tinggi (350-400 l/orang/hari), maka air limbahnya lemah (BOD₅ = 200-250 mg/l), dilain pihak dinegara tropis air limbahnya kuat (BOD₅ = 300-700 mg/l) karena konsumsi airnya jauh lebih rendah (40-100 l/orang/hari) (Mara, 2003, p. 4).

Tabel 2.4. Tabel kekuatan air limbah berdasarkan BOD₅ dan COD

| Kekuatan | BOD ₅ | COD |
|-------------|------------------|-------|
| Lemah | <200 | <400 |
| Sedang | 350 | 700 |
| Kuat | 500 | 1000 |
| Sangat kuat | >750 | >1500 |

Sumber: Mara (2003)

Dekomposisi secara aerobik dapat dilakukan pada air limbah yang memiliki kandungan BOD₅ kurang dari 500 mg/l karena dekomposisi dapat berlangsung cepat, efisien, dan memiliki potensi menghasilkan bau yang rendah. Pada air limbah yang sangat kuat (BOD₅ lebih besar dari 1000 mg/l), dekomposisi aerob

susah dilakukan karena kesulitan menyediakan oksigen yang memadai (Davis dan Cornwell, 1998).

2. Amonia (NH_3)

Amonia adalah suatu produk hasil pemecahan bahan organik. Jenis nitrogen yang lebih disukai untuk diserap alga adalah amoniak nitrogen. Abeliovic dan Azov (1976); Hevalier dan de la Nove (1985); Craggs (2005) menyatakan bahwa hanya amonia bebas (NH_3) yang dapat digunakan oleh alga (p. 82). Alasan alga lebih menggunakan nitrogen amonia dan bentuk reduksi dari nitrogen (urea) dari pada bentuk oksidasi nitrogen (nitrit dan nitrat) dikarenakan reduksi nitrat akan membutuhkan energi yang besar (Oswald *et al.*, 1953; Fogg, 1975; Oh-Hanna dan Miyochi, 1988; Raven *et al.*, 1992; Craggs, 2005, p. 82). Sebagai tambahan, kehadiran amoniak nitrogen mencegah penyerapan nitrat dengan menghambat produksi nitrat reduktase (Thompson *et al.*, 1989; Craggs, 2005, p. 82).

3. Fosfor

Dalam air sungai fosfor adalah nutrisi yang terbatas. Pada air limbah fosfor berada dalam jumlah yang melimpah. Fosfor dalam air limbah berasal dari detergen yang mengandung fosfor. Jika jumlah fosfor melimpah alga dapat tumbuh dengan subur. Jika jumlah fosfor melimpah maka ia tidak lagi menjadi faktor pembatas pertumbuhan. Nutrisi yang menjadi pembatas pertumbuhan dalam kondisi ini adalah nitrogen (Grahan dan Wilcox, 2000, p.25).

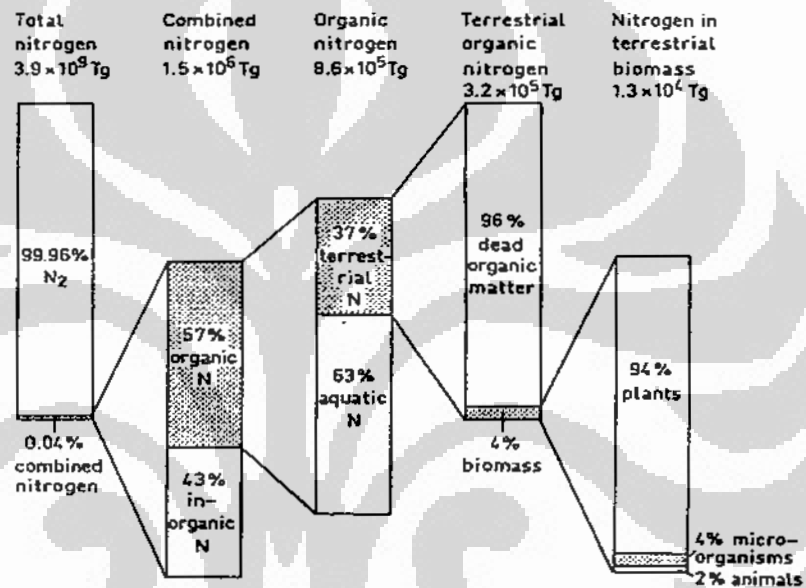
2.1.3. Siklus nitrogen dan nitrogen amonia

Nitrogen termasuk kedalam nutrisi esensial, namun nitrogen juga memiliki potensi sebagai toksikan. Nitrogen adalah suatu elemen yang kompleks dan menarik karena 3 hal, yaitu:

1. Kekompleksan ini direfleksikan dalam siklus biogeokimia yang sangat sulit untuk dipahami, dimana nitrogen muncul sebagai dalam tingkatan dari -3 ke +5 dan dimana banyaknya transformasi yang terjadi ini dilakukan oleh beberapa organisme saja, pada temperatur dan tekanan yang normal.
2. Nitrogen adalah elemen yang banyak terdapat di bumi, namun hanya sebagian kecil saja yang memasuki siklus biogeokimia nitrogen pada tingkat yang signifikan. Dari semua nitrogen yang ambil bagian dalam siklus biogeokimia nitrogen hanya 0,04% berada dalam senyawa yang potensial tersedia untuk makhluk hidup (Gambar 2.3). Nitrogen yang 99,96% yang tidak dapat digunakan oleh makhluk hidup terdapat dalam bentuk nitrogen gas, berkaitan dengan perannya yang besar dalam kehidupan, telah menyebabkan nitrogen menjadi suatu elemen kunci yang membatasi produksi primer yang mana manusia bergantung kepada produksi primer ini untuk makanannya, makanan ternak, serat dan bahan bakar.
3. Siklus nitrogen mudah dimanipulasi oleh manusia, dan telah diprediksikan pada akhir abad, penambahan nitrogen dari hasil perbuatan manusia jumlahnya akan sama dengan jumlah yang difiksasi tahunan melalui fiksasi nitrogen biologis. (Soederlund and Svensson, 1976; Roswall, 1971, p. 27). Peningkatan tambahan dari pupuk, bersama-sama dengan nitrogen oksida dilepaskan ke atmosfer sebagai hasil pembakaran, tidak diinginkan karena senyawa nitrogen memiliki efek racun langsung terhadap lingkungan (Bolin dan Arrhenius, 1977; Roswall, 1971, p. 27).

Suatu riset tentang siklus nitrogen global telah dilakukan pada tahun 1974. Riset ini berakhir dengan sebuah publikasi yang melaporkan pengukuran siklus global nitrogen dalam detail yang belum pernah dicoba tampilkan pada waktu dulu. Siklus nitrogen tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.

Nitrogen yang digunakan oleh tumbuhan umumnya dalam bentuk amonium dan nitrat. Senyawa-senyawa ini bagaimanapun terdapat di perairan dalam jumlah yang sangat sedikit, jadi nitrogen adalah faktor pembatas untuk kehidupan tumbuhan di sungai, danau, dan laut. Peningkatan dari produksi primer di air bergantung kepada tingkat konsentrasi amonia dan nitrat (Rheinheimer, 1976, p. 128).

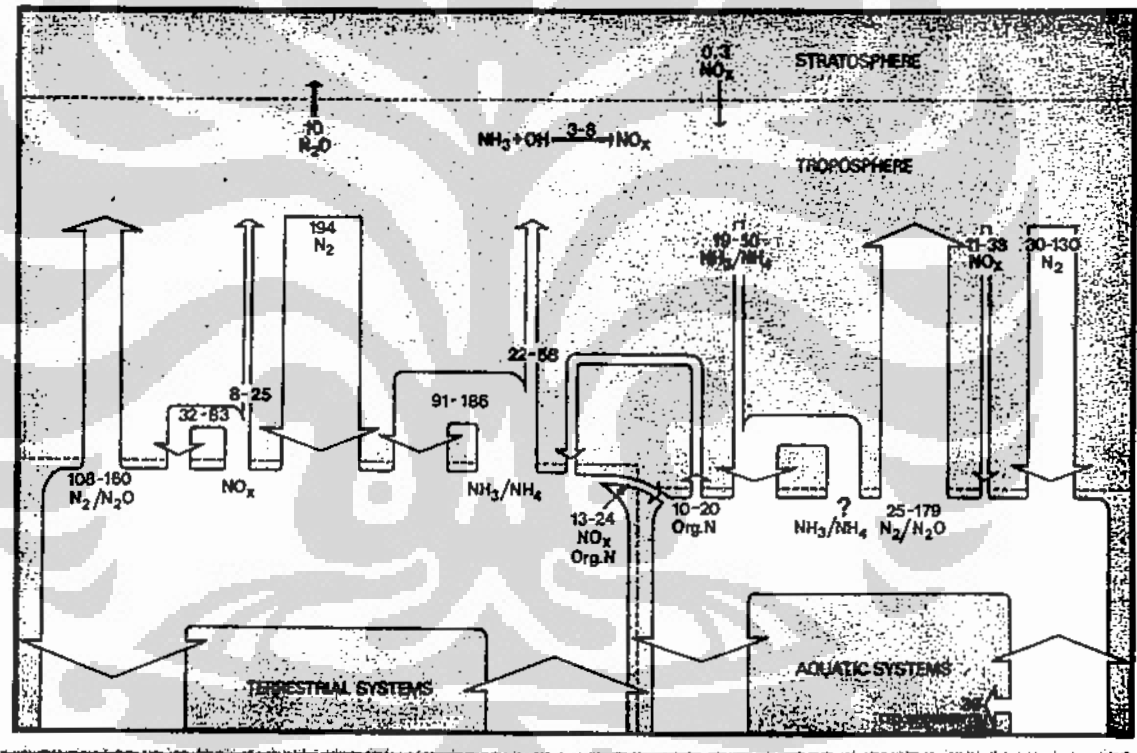


Sumber: Rosswall, 1979a; Roswall, 1981

Gambar 2.3. Gambar Distribusi dari nitrogen di Biosfer

Asimilasi amonium nitrogen dapat di metabolisme melalui dua jalur yang berbeda, baik melalui *glutamate dehidrogenase* (GDH) atau melalui *glutamin synthetase/glutamate synthase* (GS/GOGAT) (Gambar 2.5.). Walaupun GDH sebelumnya dipertimbangkan sebagai enzim utama yang terlibat dalam asimilasi amonium, namun sekarang menjadi jelas bahwa GS/GOGAT adalah sistem enzim utama yang terlibat dalam asimilasi amonium, khususnya pada kondisi konsentrasi amonium rendah, baik pada tanaman maupun pada mikroorganisme (Miflin dan Lea, 1977; Brown dan Johnson, 1977; Lee dan Stewart, 1978; Roswall, 1971, p. 27). Sistem ini memiliki afinitas yang lebih besar

untuk substrat (K_m for GS: $1-2 \times 10^{-5}$ M) (Lee dan Steward, 1978; Roswall, 1971, p. 27) daripada *glutamate dehidrogenase* ($K_m = 4 \times 10^{-3}$ M) (Miflin dan Lea, 1977; Roswall, 1971, p. 27). Perlu diketahui bahwa *glutamine synthetase* bergantung kepada ATP, sedangkan *glutamate dehydrogenase* tidak. Sistem ini kemungkinan suatu keterbatasan, karena pengambilan amonium sepertinya adalah proses pasif (Higinbotham, 1973; Roswall, 1971, p. 27).



Sumber: Soderlund dan Svensson (1976); Roswall (1980)

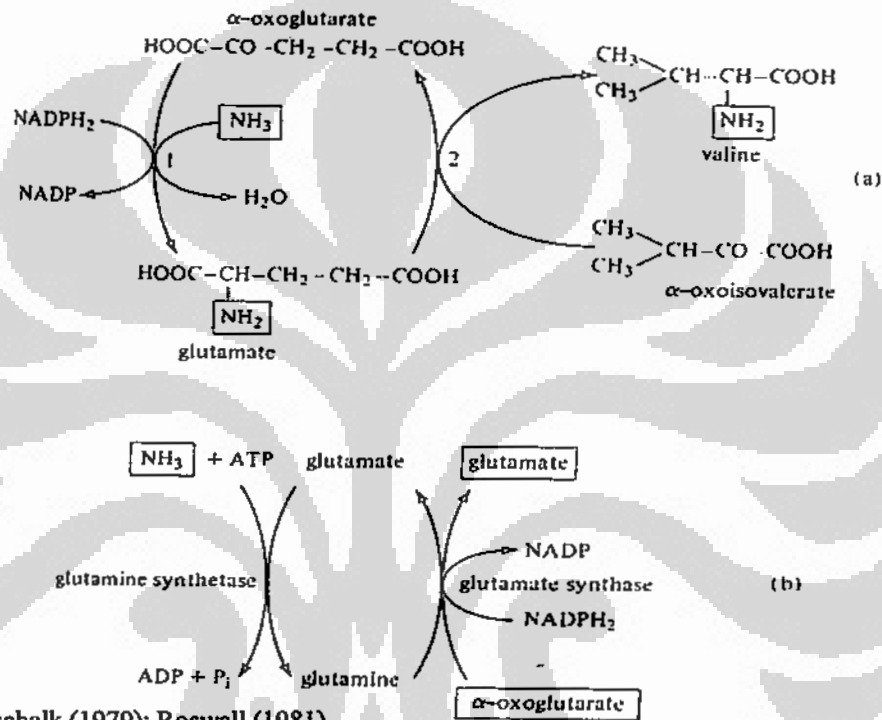
Gambar 2.4. Gambar Siklus Nitrogen Global

Amonium dihasilkan melalui mineralisasi, khususnya oleh mikroorganisme, dari senyawa organik. Imobilisasi adalah proses sebaliknya, yang mana nitrogen inorganik diasimilasi dan dibuat menjadi senyawa organik (Roswall, 1971, p. 30). Kehadiran nitrogen amonia pada air permukaan biasanya mengindikasikan pencemaran limbah

domestik. Amonia pada air dalam adalah normal dan ini terjadi karena proses mikrobiologis (Hach, 1997, 1-7).

The Biogeochemical Nitrogen Cycle

29



Sumber: Gottschalk (1979); Roswall (1981)

Gambar 2.5. Gambar Asimilasi amonium (a) oleh *glutamate dehydrogenase* (1) dan *subsequent transfer* dari grup amino oleh *transaminase*; (b) oleh *glutamine synthetase/glutamate synthase* (GS/GOGAT)

Amoniak nitrogen dalam air akan akan membentuk equilibrium dengan bentuk ionnya. Keseimbangan dari equilibrium ini bergantung dari konsentrasi nutrien, suhu dan pH. Amoniak nitrogen dijumpai dalam equilibrium antara amonia bebas (NH_3) dengan ion amonium (NH_4^+)

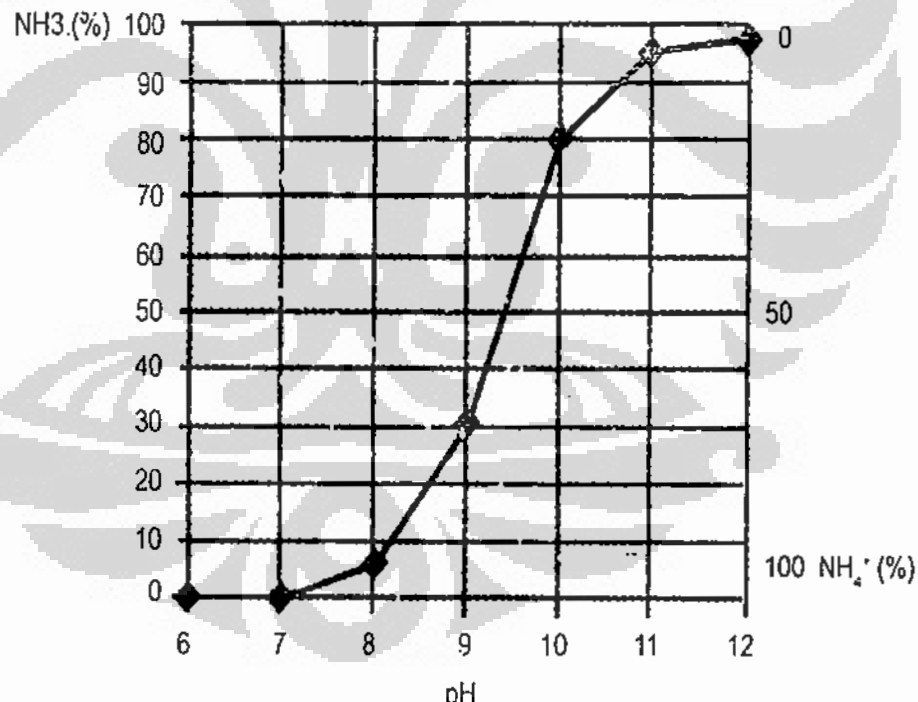


Amoniak nitrogen equilibrium bergeser ke kiri ketika pH air diatas 7,0. Seperti diketahui, pH memiliki suatu skala log, ini berarti terdapat sepuluh kali peningkatan

Universitas Indonesia

konsentrasi amonia bebas (NH_3) antara pH 7 dan 8. Pada pH 9, 20-40% dari amoniak nitrogen berada dalam bentuk NH_3 dan pada pH di atas 10 lebih dari 80-90% amoniak nitrogen berada dalam bentuk NH_3 . Konversi komplit dari amoniak N ke NH_3 gas muncul sekitar pH 11 (Craggs, 2005, p. 78).

Pada kolam ikan amonia adalah produk akhir dari degradasi protein dan yang paling penting yaitu bentuk senyawa amonia yang hadir, amonia yang tidak terionisasi (*Free amonia*/ NH_3), yang mana toksik untuk ikan (baik ikan air tawar maupun air laut) pada $> 0,003 \text{ mg/l}$ (ppm), atau dalam bentuk ion NH_4^+ yang tidak berbahaya. Konsentrasi masing-masing bergantung kepada pH dan suhu. Semakin tinggi pH semakin banyak NH_3 yang ada.



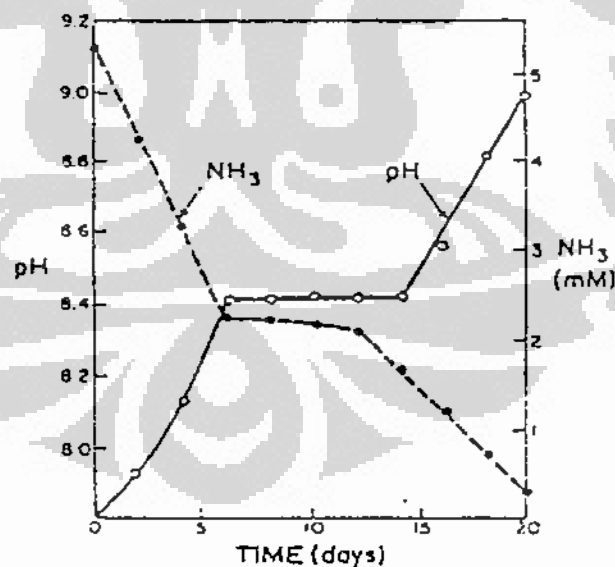
Sumber: Rump dan Krist, (1992); Effendi (2003)

Gambar 2.6. Gambar Persentase kadar amonia dan amonium yang dipengaruhi oleh pH

Amonia dapat menghalangi transfer oksigen dalam insang ikan, karenanya mengakibatkan kerusakan insang ikan dalam jangka pendek maupun jangka panjang. USEPA merekomendasikan batas 0,02 ppm NH_3 pada air tawar maupun air laut. Konsentrasi total amonia, pada batas ini dapat berada pada kisaran 160 ppm pada pH 6 dan temperatur 5°C sampai 0,06 ppm pada pH 9°C dan temperatur 25°C (AlkenMurray Corp, 2006).

Pada kultur alga, keberadaan amonia dalam jumlah tertentu akan menguntungkan karena amonia adalah sumber nitrogen yang disukai alga. Jika alga diberikan sumber nitrogen berupa nitrat dan amonia, alga akan mengkonsumsi amonia dengan cepat (Stewards, 1980; Thomas dan Harrison, 1987; Reed, 1990, p. 150). Bagaimanapun mekanisme pasti dari pengambilan amonia sangat sedikit diketahui karena adanya koeksistensi antara NH_3 dan NH_4^+ dalam larutan, berdasarkan pada pH mekanisme ini adalah:

$$\text{Log} \{ \text{NH}_3 / \text{NH}_4^+ \} = \text{pH} - \text{pKa} \quad (2.2)$$



Sumber: Azov (1987); Moersidik (1988)

Gambar 2.7. Gambar Perpaduan pH dan Amonia dalam Pembudidayaan Alga

secara umum diterima bahwa NH_3 mempunyai permeabilitas secara substansial lebih tinggi untuk lipid bilayer dari NH_4^+ (Raven, 1984; Reed, 1990, p. 150), dan difusi pasif NH_3 adalah prinsip sarana serapan amonia pada pH eksternal tinggi, di mana pH interselular rendah dapat menyebabkan akumulasi NH_4^+ karena pemerangkapan ion (Guarino dan Cohen, 1979; Reed, 1990, p. 150).

Admiraal (1977); Azov dan Goldman (1981) menemukan suatu efek yang besar dari peningkatan cahaya terhadap toksisitas amonia. Jika hal ini benar maka toksisitas amonia terhadap alga yang dikultur di luar ruangan akan lebih tinggi karena pada kultur luar ruang, intensitas cahaya dan lamanya waktu terkena cahaya tidak dapat dikontrol (p. 738)

2.1.4. Kultivasi mikroalga *Chlorella* dan Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhannya

Mikroalga telah lama dikultivasi untuk berbagai tujuan baik untuk keperluan penelitian maupun untuk komersil. Alga telah lama digunakan untuk kepentingan penelitian di laboratorium karena ukurannya kecil, tumbuh dengan cepat, memiliki waktu beregenerasi yang singkat, dan mudah dikultivasi dalam kondisi laboratorium (Graham dan Wilcox, 2000, p. 65).

Salah satu mikroalga yang telah banyak dikultivasi adalah *Chlorella*. *Chlorella* berukuran kecil (2-12 μm), berbentuk bulat atau elips dan biasanya hidup sebagai individu yang terisolasi. *Chlorella* adalah alga yang pertama yang telah dikultur dalam *axenic culture*. Kloroplasnya parietal, dengan pirenoid dalam kebanyakan spesies, sel memiliki dinding sel yang tipis. *Chlorella* dapat hidup dimana saja termasuk dalam tanah dan ia juga sering menjadi kontaminan pada kontainer air yang tidak digunakan dalam waktu yang lama. *Chlorella* dapat hidup di air tawar dan air laut (Kessler, *et al.*, 1968: Bold dan Wynne, p 133-134). Mikroalga *Chlorella* termasuk kedalam grup termofilik dengan dengan range temperatur pertumbuhan berkisar 15-40°C. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Chlorella* berada pada kisaran 25-30°C. Genus *Chlorella*

memiliki jumlah jenis antara 13-15 jenis, diantaranya yaitu *Chlorella vulgaris*, *Chlorella simplex*, *Chlorella miniata*, *Chlorella pyrenoidosa* dan masih banyak yang lainnya.

Jenis yang telah banyak digunakan untuk penelitian maupun komersil adalah *Chlorella vulgaris* dan *Chlorella pyrenoidosa*. Beberapa penelitian tersebut adalah penelitian pengolahan limbah yang dilakukan oleh Abeliovich dan Azov (1975), Gonzales, Canizares dan Baena (1997), Garcia, Mujeriego, Hernandez-Mavine (2000), Lee dan Lee (2001), Garcia, Hernandez-Marine dan Mujeriego (2002), Lee dan Lee (2002), Lebsky (2003), de-Bashan *et al.* (2008) dan Hamouri (2008), fiksasi CO₂, beberapa contoh penelitian diantaranya yaitu Stepan *et al.*, (2002), Chinnasamy *et al.*, (2009), maupun sebagai bahan minyak biodiesel seperti penelitian yang dilakukan Patil, Tran, dan Giselrod (2008), Lardon *et al.*, (2009).



Sumber: <http://www.algaebase.org/>

Gambar 2.8. Gambar *Chlorella vulgaris*

Pertumbuhan mikroalga dalam medium memiliki pola yang sama dengan pertumbuhan bakteri. Sebagaimana halnya bakteri, mikroalga juga memiliki empat fase pertumbuhan, yaitu:

a. Fase adaptasi (*Lag phase*)

Fase adaptasi adalah fase beradaptasi dengan lingkungan baru. Jumlah sel pada fase ini mungkin tetap, tetapi kadang-kadang menurun. Lamanya fase ini bervariasi, tergantung pada kecepatan penyesuaian diri terhadap lingkungannya. Lamanya fase ini dipengaruhi oleh:

1. Perbedaan medium dan lingkungan pertumbuhan
2. Jumlah inokulum. Jumlah sel yang semakin tinggi akan mempercepat fase adaptasi

Pada akhir fase adaptasi sel mulai membelah karena sudah tersesuaikan dengan lingkungan yang baru.

b. Fase pertumbuhan logaritmik/eksponensial (*Log growth phase*)

Kecepatan pertumbuhan adalah fungsi dari kecepatan mikroorganisme dalam mengolah makanan yang ada. Sel-sel dapat membelah diri secara cepat dan masa sel/jumlah sel yang hidup berlipat dua sejalan dengan waktu.

c. Fase pertumbuhan tetap (*Stationary phase*)

Pada fase ini jumlah populasi berada dalam keadaan tetap, karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Hal ini disebabkan bahan makanan dan nutrisi berkurang, sehingga terjadi kesetimbangan antara jumlah sel yang baru terbentuk dengan jumlah sel yang mati. Berhentinya pertumbuhan dapat disebabkan karena beberapa nutrisi esensial sudah berkurang, adanya hasil metabolisme yang merupakan autotoksin yang terakumulasi, atau gabungan antara keduanya. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil, karena sel tetap membelah meskipun zat nutrisi sudah hampir habis. Karena kekurangan zat nutrisi, maka kemungkinan sel mempunyai komposisi yang berbeda dengan

sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel akan menjadi lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi dan bahan kimia.

d. Fase Kematian (*Death phase*)

Pada fase ini sebagian populasi mikroorganisme mulai mengalami kematian yang disebabkan oleh:

1. Nutrien di dalam medium sudah habis
2. Energi cadangan di dalam sel habis
3. Jumlah sel yang mati semakin lama semakin banyak, dan kecepatan kematian dipengaruhi oleh kondisi nutrien, lingkungan dan jasad renik.

Pertumbuhan alga selama kultivasi juga akan dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, nutrien, pH, dan suhu. Interaksi dari berbagai faktor ini akan mempengaruhi fotosintesis alga yang pada akhirnya dapat mempengaruhi pertumbuhan dan komposisi produk yang dihasilkannya.

1. Cahaya

Cahaya bersama dengan klorofil sangat berperan dalam proses fotosintesis pada alga. Menurut Brody dan Brody dalam Krisanti (2003, p. 9) pemanfaatan cahaya dalam proses fotosintesis melibatkan reaksi kimia dan fisika, yang dimulai dengan absorpsi energi dan transfernya dalam klorofil hingga proses konversinya menjadi energi kimia yang terlibat dalam proses pembentukan karbohidrat.

Tidak seluruh radiasi cahaya dapat digunakan dalam fotosintesis. Pigmen utama dalam fotosintesis adalah klorofil a, yang mana cahaya yang dapat diserapnya berada pada kisaran 400-450 dan 600-700 nm. Klorofil a hanya dapat menangkap 30-40% dari radiasi aktif fotosintetik (Williams dan Laurens, 2010, p. 562). Energi cahaya yang diterima oleh organisme autotrof adalah suatu fungsi dari

kerapatan fluks foton yang mencapai permukaan kultur. Sel hanya menyerap satu fraksi dari fluks foton, ukuran sebenarnya bergantung kepada beberapa faktor, termasuk kerapatan sel, properti optik sel, panjang dari jalur optikal reaktor dan tingkat pencampuran. Foton yang tidak diserap oleh sel selama fotosintesis, akan berubah jadi panas atau dipantulkan (Richmond, 2004, p. 125). Hubungan antara intensitas cahaya dan laju fotosintesis serta pertumbuhan fotoautotropik menunjukkan fungsi hiperbolik dengan penghambatan cahaya terjadi pada intensitas cahaya superjenuh (supersaturating). Situasi yang sama juga terjadi pada pertumbuhan alga siklus terang-gelap (Adrijantie, 2004, p. 34).

Pada saat tidak ada cahaya, alga memetabolisme bahan organik dengan cara yang sama dengan organisme yang tidak berfotosintesis. Pada kondisi ini, alga memenuhi kebutuhan metaboliknya dengan menggunakan energi kimia dari pemecahan cadangan karbohidrat atau lemak, atau mengkonsumsi protoplasma alga sendiri. Pada saat tidak terjadi fotosintesis, proses metabolik menggunakan oksigen, jadi saat berada dalam keadaan gelap, system akuatik yang memiliki kerapatan alga yang tinggi akan kekurangan oksigen (Manahan, 1994, p. 142).

Pada sel yang kekurangan cahaya mereka memiliki kandungan pigmen yang lebih tinggi daripada sel yang cukup cahaya begitu juga pada kondisi 'shade'. Sel akan dapat menyerap lebih banyak cahaya dan karenanya setiap basis sel mencapai laju fotosintesis yang lebih tinggi daripada 'sun' sel. 'Sun' sel, di sisi lain' memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap irradiation daripada 'shade' sel (Fogg, 1981, p. 31).

2. Suhu

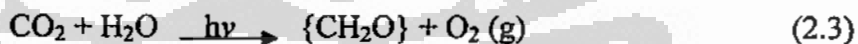
Suhu yang berpengaruh terhadap pertumbuhan alga adalah suhu air medium. Suhu akan mempengaruhi laju pertumbuhan, kebutuhan nitrogen, enzimatik dan komposisi kimia dari sel (Ingraham, 1962; Rheinheimer, 1971, p. 83). Suhu air

akan dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan laut (altitude), pergantian waktu, sirkulasi udara, tutupan awan, aliran serta kedalaman air. Peningkatan suhu akan meningkatkan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi. Peningkatan suhu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, misalnya O₂, CO₂, N₂, CH₄ dan sebagainya (Haslam, 1995; Effendi, 2003, p. 57).

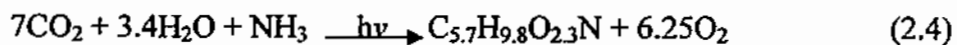
Selain itu peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme akuatik, dan selanjutnya menyebabkan peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu perairan sebesar 10°C menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi oksigen oleh organisme akuatik sekitar 2-3 kali lipat. Peningkatan suhu juga menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Kisaran suhu optimum bagi pertumbuhan fitoplankton diperairan adalah 20°C-30°C.

3. Nutrisi

Nutrisi utama yang dibutuhkan alga adalah karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, dan garam-garam mineral termasuk sodium, potasium, kalsium, magnesium, besi, kobal dan molibdenum. Nutrisi ini digunakan untuk memproduksi biomasa alga. Secara sederhana produksi bahan organik melalui mekanisme fotosintesis alga adalah



Dimana {CH₂O} mewakili unit karbohidrat dan hν adalah energi dari kuantum cahaya. Manahan (1994, p. 142) membuat suatu rumus fotosintesis dengan mengecualikan fosfor yang rumus tersebut berlandaskan kepada rumus fotosintesis alga *Chlorella* yang dibuat Fogg (1953), rumus tersebut yaitu:



(Manahan, 1994, p. 142).

Pengambilan nutrien dari dalam air biasanya melalui proses aktif, yang terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi antara sel dan lingkungan, dan proses ini membutuhkan energi (Steward, 1974; Fogg, 1980, p. 33). Energi mungkin disuplai oleh fosforilasi oksidatif dalam respirasi atau oleh fosforilasi fotosintesis dan ketergantungan masing-masing proses ini bervariasi bukan hanya antar spesies, namun juga dalam siklus hidup sel (Fogg, 1980).

Proses fotosintesis mengambil karbondioksida terlarut dari dalam air yang berakibat penurunan kandungan karbondioksida dalam air. Penurunan ini akan meningkatkan pH berkaitan dengan kesetimbangan CO_2 terlarut, bikarbonat (HCO_3^-) dan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam air. Laju fotosintesis akan terbatas oleh penurunan karbondioksida, perubahan bentuk karbon dalam air, dan nilai pH (Talling; Reynold, 1990 dalam Krisanti, 2003, p 10).

4. pH

Laju pertumbuhan mikroalga dan komposisi jenis juga dipengaruhi oleh pH. Banyak jenis alga yang dapat mentolerir pH yang tinggi. Pada kultur alga pH biasanya meningkat karena penggunaan CO_2 oleh reaksi fotosintesis. Nilai pH di atas 10 bukanlah hal yang tidak umum ditemui pada kultur alga yang tidak disuplai CO_2 dan pH dapat mencapai 11 atau lebih jika CO_2 terbatas dan bikarbonat digunakan sebagai sumber karbon. Pada kolam oksidasi alga peningkatan pH dapat dikompensasi oleh respirasi dibagian bawah kolam dan pH dapat dikontrol dengan lebih banyak melepaskan material organik dan karenanya mendorong respirasi. PH juga mempengaruhi ketersediaan karbon inorganik, bahkan jika pH tinggi untuk alasan selain fotosintesis CO_2 , pH mengontrol apa jenis karbon yang tersedia (Larsdotter, 2006, 33).

pH tinggi dapat menyebabkan terjadinya presipitasi fosfat dimedium dengan pembentukan kalsium fosfat, namun dapat terlarut kembali jika pH turun,

contohnya pada malam hari. Jika konsentrasi amonia tinggi pada pH tinggi, fotosintesis akan terganggu. pH yang tinggi juga dapat mengakibatkan flokulasi beberapa alga yang pada akhirnya menurunkan pengambilan nutrisi dan pertumbuhan, tapi flokulasi ini pada sisi lain juga memudahkan pemanenan. Dalam rangka menghindari pH yang ekstrim, pengadukan dapat membantu pertukaran gas antara air dan udara yang bertujuan untuk mengatur pH air (Larsdotter, 2006, 33).

2.1.5. Kandungan lipid mikroalga

Perubahan faktor lingkungan dapat mempengaruhi komposisi biokimia sel termasuk kandungan lipid. Konsentrasi dari lemak sel alga dapat berubah melalui manipulasi cahaya, temperatur dan nutrisi (Shifrin dan Chisholin, 1981; Tedesco dan Duerr, 1989, p201).

Produktivitas lipid secara keseluruhan menentukan ongkos dari proses kultivasi mikroalga, konsentrasi biomassa, dan kandungan lipid sel mempengaruhi secara signifikan ongkos proses *downstream*. Suatu poses yang ideal seharusnya mampu memproduksi lipid pada produktivitas yang paling tinggi dengan kandungan lipid sel yang paling tinggi pula. Kandungan lipid sel yang tinggi biasanya diproduksi oleh sel pada kondisi dibawah tekanan, keterbatasan nutrisi, yang mana sering dihubungkan dengan produktivitas biomassa yang rendah, dan oleh karenanya produktivitas lipid secara keseluruhan (Li, Horsman, Wang, Wu, dan Lan, 2008).

Nitrogen sebagai salah satu faktor lingkungan dapat mempengaruhi kandungan lipid sel. Beberapa penelitian menunjukkan biosintesis dan akumulasi lipid menjadi lebih tinggi pada kondisi kultur yang kekurangan nitrogen pada berbagai kelompok taksonomi mikroalga (Thompson, 1996; Hu, 2004). Mikroalga yang berbeda asalnya memiliki suatu kecenderungan, sekalipun dengan pengecualian khusus, untuk menyerupai satu sama lain dalam hubungan komposisi sel, terutama dalam jumlah relatif dari protein,

lipid, dan karbohidrat mentah yang mereka miliki ketika ditumbuhkan dibawah atau diatas kondisi pertumbuhan optimalnya (Hu, 2004).

Keterbatasan nitrogen sebagai salah satu cara untuk meningkatkan sintesis lipid umumnya terjadi pada kondisi kultur yang *batch*. Penelitian Richardson *et al.* (1969, p248) menunjukkan bahwa keterbatasan nitrogen pada *continuous culture* tidak memberikan efek yang signifikan terhadap pertumbuhan dan komposisi selular dari alga. Sebaliknya pada kondisi *batch culture*, selama cahaya, karbondioksida, dan nutrisi lainnya tidak terbatas, sel akan terus bertumbuh, walaupun tidak begitu pesat, sampai medium kehabisan nitrogen. Pada titik tertentu pada suatu waktu setelah kekurangan nitrogen, seluruh nitrogen selular digunakan dalam enzim dan struktur sel esensial. Karbondioksida yang ditangkap dirobah menjadi karbohidrat atau lipid.

Walaupun sintesis lipid alami atau karbohidrat pada kondisi keterbatasan nitrogen adalah spesies spesifik, dan signifikansinya secara fisiologi masih belum jelas. Pada suatu genus *Chlorella*, beberapa strain akan mengakumulasi lebih banyak karbohidrat pada kondisi kekurangan nitrogen, namun strain lain akan mengakumulasi lipid (Richmond, 1986; Hu, 2004).

2.1.6. Mikroalga sebagai bahan baku biodiesel

Bioenergi adalah salah satu komponen penting untuk mitigasi gas rumah kaca dan pengganti bahan bakar fosil. Kebutuhan akan energi terus meningkat karena peningkatan industri dan populasi. Biomassa adalah salah satu sumber energi yang dapat menggantikan bahan bakar fosil. Biomassa dapat berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan diberbagai bidang seperti lingkungan, sosial dan ekonomi. Biodiesel adalah salah satu contoh bahan bakar alternatif. Biodiesel telah banyak diproduksi dari kedelai, bunga matahari, dan alga. Biodiesel adalah bahan bakar yang tidak toksik, dapat didegradasi dan didapatkan dari sumber yang dapat diperbaharui. Diantara seluruh biomassa, alga memiliki efisiensi fotosintesis yang lebih tinggi (Hossain dan Salleh,

2008; p. 250). Shay (1993); Hossain dan Salleh (2008; p. 250-251) menyatakan bahwa alga adalah sumber biodiesel yang paling baik. Pada kenyataannya alga memiliki produksi yang paling tinggi untuk biodiesel. Produksinya dapat mencapai 250 kali jumlah minyak yang dihasilkan kedelai.

Produksi biodiesel dari alga mungkin satu-satunya untuk memproduksi bahan bakar automotif yang mencukupi untuk menggantikan bahan bakar bensin yang dipakai sekarang ini. Alga yang paling baik untuk produksi biodiesel adalah mikroalga. Mikroalga memiliki lebih banyak minyak daripada makroalga dan lebih mudah dan cepat tumbuh daripada makroalga. Mikroalga dapat menyediakan beberapa tipe bahan bakar, termasuk metan yang diproduksi oleh pencernaan anorganik biomasa alga, biodiesel yang berasal dari lemak alga dan biohidrogen yang diproduksi secara fotobiologi (Hossain dan Salleh, 2008; p. 251).

Produksi biodiesel dari mikroalga memiliki potensi komersil yang besar sehubungan dengan laju pertumbuhan mikroalga yang cepat. Umumnya mikroalga akan mencapai doubling time dalam 2-8 hari. Produksi mikroalga yang sukses bergantung kepada beberapa parameter yaitu lahan (Ketersediaan, kecocokan, dan harga), jenis alga (tipe, produksi, pemanenan, dan pengolahan), serta nilai dari produk alga (Schulz, 2006).

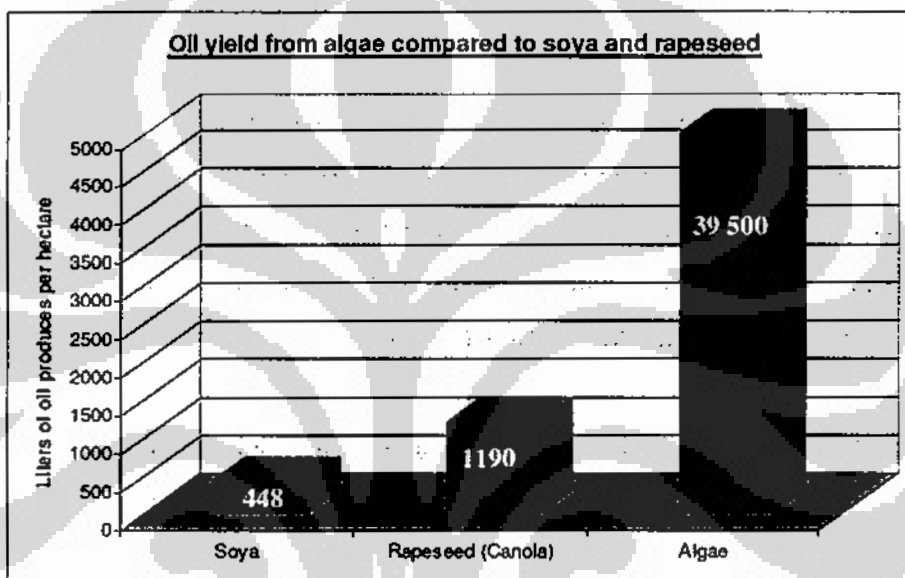
Kandungan minyak dari beberapa jenis mikroalga sangat mirip dengan minyak tanaman yang membuatnya sangat cocok untuk produksi energi. Keuntungan utama menggunakan mikroalga untuk produksi energi adalah:

1. Tidak berkompetisi dengan hasil pertanian
2. Produksi per hektar tinggi
3. Tidak mengandung sulfur karenanya tidak mengandung emisi SO₂
4. Tidak toksik dan sangat biodegradabel
5. Tidak membutuhkan tanah untuk pertumbuhan
6. Hanya menggunakan air 8 cm per tahun

Universitas Indonesia

7. Dapat beradaptasi dimana saja bahkan pada tempat yang jauh dari air (Piccolo, 2008)

Minyak yang dihasilkan dari mikroalga jauh lebih tinggi daripada yang dihasilkan sumber lainnya. Sebagai contoh, dengan jumlah lahan yang sama produk mikroalga dapat 40 kali lebih banyak daripada lobak, dan 100 kali lebih banyak daripada kedelai.



Sumber: Piccolo (2008)

Gambar 2.9. Gambar Produksi minyak dari alga dibandingkan kedelai dan lobak

Mikroalga sebagai penghasil biodiesel tentunya diperlukan dalam jumlah yang besar. Kultivasi dalam skala besar biasanya dilakukan pada pond terbuka maupun dengan menggunakan fotobioreaktor.

1. Pond

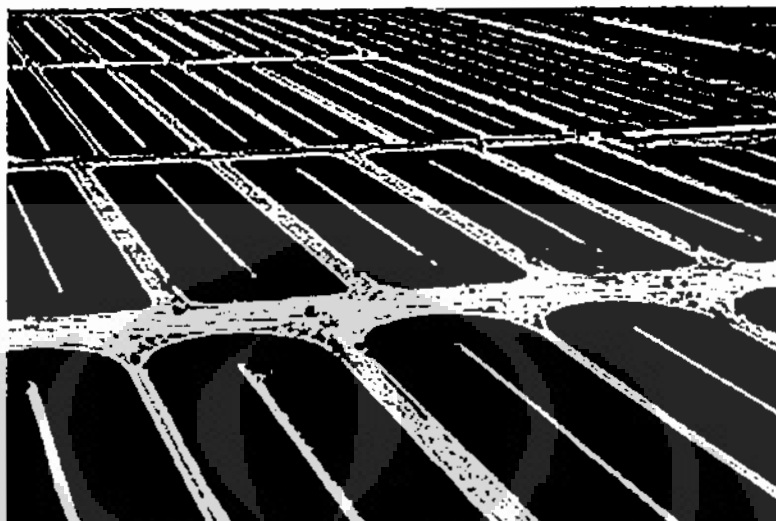
Sistem *pond* adalah yang paling banyak digunakan dalam kultivasi mikroalga karena relatif lebih ekonomis dan mudah dibersihkan. Hasil yang didapatkan juga cukup baik. Disain kolam terbuka yang digunakan untuk memproduksi mikroalga ada bermacam-macam diantaranya yaitu:

- a. *Pond* yang sangat besar, dangkal, tidak dialas dan tidak diaduk yang digunakan di Australia untuk kultivasi *Dunaliella salina*. *Pond* ini tidak cocok untuk pembiakan kebanyakan alga lainnya.
- b. *Pond* yang dalam (tanki), biasanya diaduk oleh aerasi, umumnya untuk produksi skala kecil alga laut seperti *Nannochloropsis*. Luas area biasanya kurang dari 10 m², dengan kedalaman 50 cm atau lebih.
- c. Kolam sirkular dengan agitator terpusat yang digunakan di Jepang dan Taiwan untuk produksi *Chlorella*
- d. *Single, rectangular pond* dengan *paddle wheel (raceway pond)* adalah yang paling banyak digunakan untuk produksi *Spirulina*, *D. Salina*, *Haematococcus* dan mewakili disain yang paling efisien untuk kultur alga skala besar untuk kebanyakan mikroalga. Satu *pond* dapat memiliki luas sekitar 1 ha, dengan kedalaman 20-30 cm.

Kultur alga dengan menggunakan pond paling banyak menggunakan *raceway pond*. Pada *raceway*, pendinginan dicapai hanya melalui evaporasi. Temperatur berfluktuasi dalam siklus harian dan tahunan. Air yang hilang melalui evaporatif dapat terjadi secara signifikan. Kehilangan air secara signifikan ke atmosfer membuat *raceway pond* menggunakan karbon dioksida lebih kurang efisien jika dibandingkan dengan fotobioreaktor. *Raceway* memakan biaya yang lebih murah daripada fotobioreaktor, biaya pembuatan dan operasionalnya lebih rendah dibandingkan dengan fotobioreaktor, namun begitu *raceway* memiliki produktivitas yang lebih rendah daripada fotobioreaktor (Chisti, 2007).

2. Fotobioreaktor

Tidak seperti *raceway*, fotobioreaktor memungkinkan kultur satu jenis mikroalga untuk waktu yang lama. Fotobioreaktor telah pernah sukses digunakan untuk memproduksi biomas mikroalga skala besar (Molina-Grima et al., 1999; Tredici, 1999; Pulz, 2001; Carvalho et al, 2006; Chisty, 2007).



Sumber : ieoghg.org

Gambar 2.10. Gambar *Raceway pond*

Fotobioreaktor berbentuk tabung terdiri dari susunan tabung-tabung transparan yang biasanya terbuat dari plastik atau kaca. Susunan tabung adalah tempat penangkapan sinar matahari. Tabung penangkap sinar matahari ini biasanya memiliki diameter 0,1 m atau kurang. Diameter tabung dibatasi karena cahaya tidak dapat berpenetrasi terlalu dalam pada kultur yang padat. Sedimentasi biomas di tabung dapat dicegah dengan laju alir yang tinggi. Laju alir diproduksi baik melalui mechanical pump maupun melalui air lift pump (Chisti, 2007, p. 299).

Fotosintesis menghasilkan oksigen. Pada konsentrasi irradians yang tinggi, tingkat maksimum oksigen dalam fotobioreaktor berbentuk tabung sebesar $10 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ min}^{-1}$. Tingkat oksigen terlarut jauh lebih besar daripada nilai saturasi udara menghambat fotosintesis. (Molina Grima *et al.*, 2001, Chisti, 2007, p. 299). Pada fotobioreaktor, selama larutan berpindah dalam fotobioreaktor, pH akan meningkat karena konsumsi karbondioksida (Rubio *et al.*, 1999). Karbondioksida ditambahkan untuk mengontrol pH. Penambahan karbondioksida diperlukan untuk mencegah keterbatasan karbon dan

mencegah kenaikan pH yang terlalu tinggi (Molina Grima *et al.*, 1999; Chisti, 2007, p. 299).



Sumber: Intelcomkft. Hu



Sumber: microalgae-photobioreactor.blogspot.com

Gambar 2.11. Gambar Fotobioreaktor

Pond dan fotobioreaktor keduanya memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masingnya. Tabel 2.5. akan menunjukkan beberapa parameter yang berbeda antara fotobioreaktor(PBR) dengan *pond*

Tabel 2.5. Tabel Perbandingan antara *Pond* dengan PBR

| Parameter | Relatif | Catatan |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Resiko kontaminasi | <i>Pond</i> > PBR | Kontaminasi jauh lebih kurang di PBR |
| Ruangan yang dibutuhkan | <i>Pond</i> - PBR | Berhubungan dengan produktivitas |
| Produktifitas | <i>Pond</i> < PBR | PBR 3-5 kali lebih produktif |
| Penguapan air | <i>Pond</i> - PBR | Bergantung pada sistem pendinginan |
| Kehilangan CO ₂ | <i>Pond</i> - PBR | Bergantung pada pH, alkalinitas, dsb |
| Penghambatan oleh O ₂ | <i>Pond</i> < PBR | Oksigen adalah masalah serius di PBR |
| Kontrol proses | <i>Pond</i> < PBR | Sangat penting di PBR |
| Konsentrasi biomasa | <i>Pond</i> < PBR | 3-5 kali di PBR |
| Capital/biaya operasional | <i>Pond</i> << PBR | <i>Pond</i> 3-10 lebih rendah |

Sumber: Piccolo, 2008

Fotobioreaktor akan memberikan hasil produksi yang lebih tinggi dari *pond*, namun fotobioreaktor akan membutuhkan biaya operasional yang jauh lebih tinggi. Biodiesel tidak dapat menanggung beban operasional yang besar, oleh karena itu menumbuhkan membiakkan mikroalga dengan biaya yang rendah sangat diperlukan. Perbandingan produksi antara fotobioreaktor dan *raceway* dapat dilihat pada tabel 2.5.

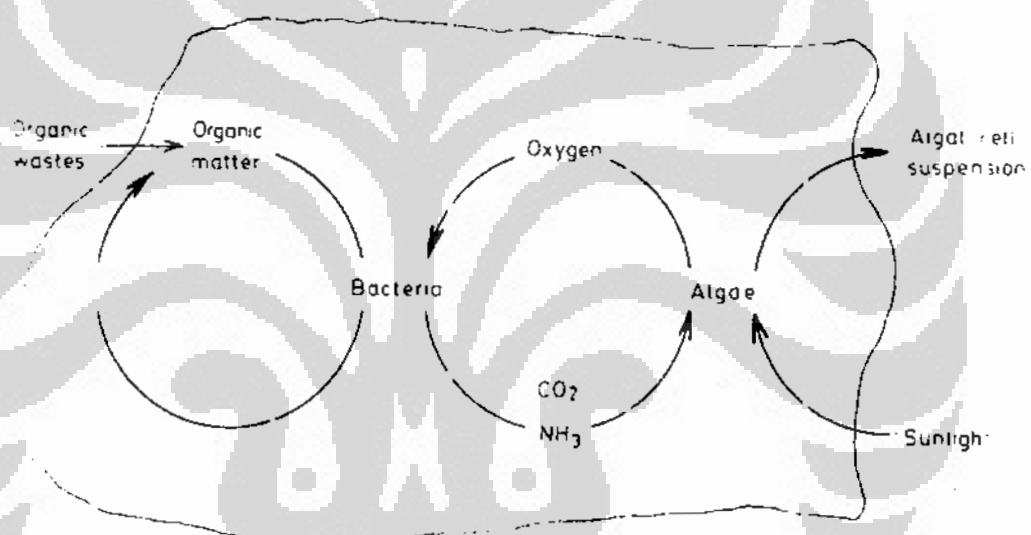
Tabel 2.6. Tabel Perbandingan antara produksi fotobioreaktor dan *raceway*

| Variabel | Fotobioreaktor | <i>Raceway</i> |
|---|--|---|
| Produksi biomasa tahunan (Kg) | 100.000 | 100.000 |
| Produktifitas volumetrik ($\text{Kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$) | 1,535 | 0,117 |
| Produktifitas area ($\text{Kg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) | 0,0048 0,072 | 0,035 |
| Konsentrasi biomas dalam larutan (Kg m^{-3}) | 4 | 0,14 |
| Tingkat pengenceran (d^{-1}) | 0,384 | 0,250 |
| Area yang dibutuhkan (m^2) | 5681 | 7828 |
| Produksi minyak ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) | 136,9 58,7 | 99,4 42,6 |
| Konsumsi CO_2 tahunan (Kg) | 183,333 | 183,333 |
| Geometri sistem | 132 tabung paralel/unit; panjang tabung 80 m; diameter tabung 0,06 m | 978 m^2/pond ; lebar 12 m; panjang 82 m; kedalaman 0,30 m |
| Jumlah unit | 6 | 8 |

Sumber: Chisty (2007)

Mikroalga yang dibiakkan haruslah yang memiliki kandungan lipid yang tinggi. Salah satu cara untuk menekan biaya adalah mengintegrasikan pertanian alga dengan pengolahan limbah. Penggunaan limbah sebagai media pertumbuhan akan mengurangi biaya operasional untuk pembuatan media. Salah satu contoh limbah yang dapat digunakan adalah limbah domestik. Berbeda dengan kultur murni, pada penggunaan limbah terdapat hubungan alga bakteri. Bakteri di *pond* akan menguraikan bahan organik untuk menghasilkan karbondioksida, dan amonia. Karbon dioksida dan amonia ini akan

digunakan oleh mikroalga bersama-sama dengan cahaya matahari, dan proses fotosintesis akan melepaskan oksigen, yang memungkinkan bakteri untuk menguraikan lebih banyak limbah (Hawkes, 1983; Mason, 1993, p. 67). Keuntungan penggunaan limbah domestik selain mengurangi biaya operasional juga memberikan keuntungan buat lingkungan, yaitu didapatkannya air limbah yang telah memenuhi baku mutu untuk dibuang ke lingkungan.



Sumber: Oswald, 1973; Slesser dan Lewis, 1979

Gambar 2.11. Siklus pertumbuhan alga bakteri dalam air limbah

Tabel 2.7. Tabel Komposisi Kimia Beberapa Jenis Mikroalga yang Ditunjukkan dalam Berat Kering (% berat).

| Komposisi Kimia | Protein | Karbohidrat | Lemak | Nucleic Acid |
|--------------------------------|---------|-------------|-------|--------------|
| <i>Scenedesmus obliquus</i> | 50-56 | 10-17 | 12-14 | 3-6 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 47 | - | 1.9 | - |
| <i>Scenedesmus dimorphus</i> | 8-18 | 21-52 | 16-40 | - |

Tabel 2.7. Lanjutan

| | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | 48 | 17 | 21 | - |
| <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | 57 | 26 | 2 | - |
| <i>Spirogyra sp.</i> | 6-20 | 33-64 | 11-21 | - |
| <i>Dunaliella bioculata</i> | 49 | 4 | 8 | - |
| <i>Dunaliella salina</i> | 57 | 32 | 6 | - |
| <i>Euglena gracilis</i> | 39-61 | 14-18 | 14-20 | - |
| <i>Prymnesium parvum</i> | 28-45 | 25-33 | 22-38 | 1-2 |
| <i>Tetraselmis maculata</i> | 52 | 15 | 3 | - |
| <i>Porphyridium cruentum</i> | 28-39 | 40-57 | 9-14 | - |
| <i>Spirulina platensis</i> | 46-63 | 8-14 | 4-9 | 2-5 |
| <i>Spirulina maxima</i> | 60-71 | 13-16 | 6-7 | 3-4.5 |
| <i>Synechoccus sp.</i> | 63 | 15 | 11 | 5 |
| <i>Anabaena cylindrica</i> | 43-56 | 25-30 | 4-7 | - |

Sumber: Becker, (1994); Plantus, (2008)

2.2. Kerangka berpikir dan kerangka konsep

2.2.1. Kerangka berpikir

Pembangunan yang berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan hak pemenuhan kebutuhan generasi masa mendatang. Pembangunan berkelanjutan/berwawasan lingkungan memiliki perhatian utama pada lingkungan dan pembangunan. Dalam pembangunan berkelanjutan, pembangunan yang dilakukan tidak akan mengorbankan lingkungan hidup manusia yaitu lingkungan alam, lingkungan buatan dan lingkungan sosial, karena lingkungan hidup manusia memiliki ketergantungan antara satu dengan yang lainnya. Agar menjaga lingkungan hidup manusia tidak rusak akibat pembangunan yang dilakukan maka perlu dilakukan pengelolaan lingkungan. Salah satu bagian dari pengelolaan lingkungan adalah pengolahan limbah yang dihasilkan kehidupan manusia. Limbah yang tidak diolah akan menyebabkan terjadinya pencemaran perairan.

Universitas Indonesia

Limbah domestik adalah salah satu sumber pencemar perairan, namun limbah domestik mengandung berbagai nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme termasuk mikroalga untuk pertumbuhannya. Pada pengolahan limbah domestik, salah satu komponen yang perlu diperhatikan adalah amoniak nitrogen. Nitrogen amonia adalah bentuk utama nitrogen yang berada dalam limbah domestik. Nitrogen amonia berasal dari degradasi bahan organik oleh bakteri. Pada tingkat tertentu kandungan nitrogen amonia dapat menjadi toksik bagi organisme perairan.

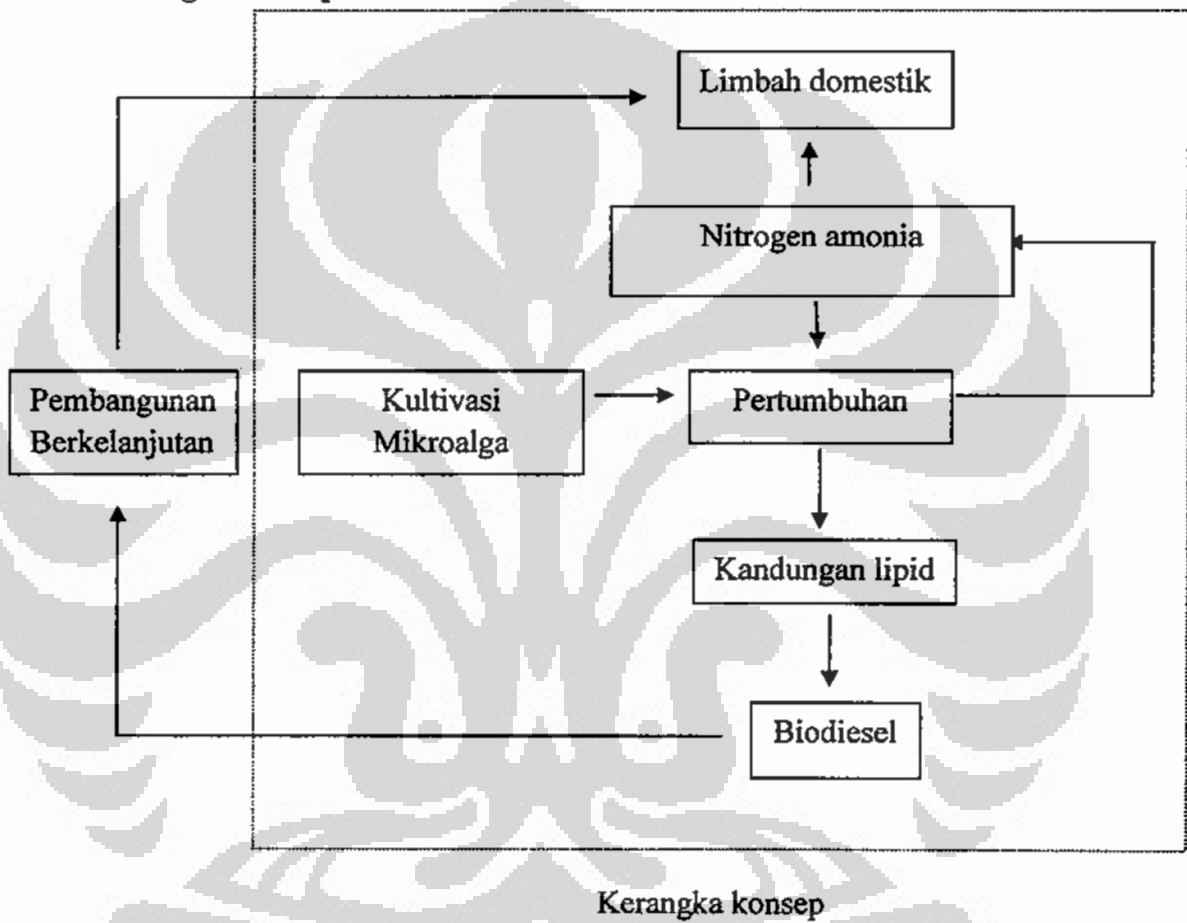
Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg adalah salah satu jenis mikroalga air tawar asli Indonesia. Mikroalga ini sudah dibiakkan oleh dinas perikanan darat kota Depok untuk sumber pakan ikan. *Chlorella vulgaris* ini biasanya dibiakkan dalam medium Benceck dan belum pernah dipakai untuk mengolah limbah.

Literatur mengatakan *Chlorella* maupun *Chlorella vulgaris* lebih menyukai amonia sebagai sumber nitrogen. Limbah domestik memiliki kandungan amonia yang dapat digunakan sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhan *Chlorella*. Keberadaan *Chlorella vulgaris* dalam pengolahan limbah diharapkan dapat menurunkan kandungan amonia limbah sehingga memenuhi baku mutu lingkungan.

Selain mampu menurunkan kandungan nitrogen amonia, mikroalga juga menghasilkan produk sampingan yang memiliki nilai ekonomis, yaitu lipid. Lipid yang didapatkan dari mikroalga dapat menjadi sumber untuk bahan minyak biodiesel, untuk mendapatkan biodiesel dalam jumlah yang banyak maka kandungan lipid dari mikroalga harus banyak. Kandungan lipid dari mikroalga akan meningkat jika mikroalga berada dalam kondisi stress lingkungan, khususnya keterbatasan nitrogen. Konsentrasi nitrogen amonia awal yang rendah diharapkan akan meningkatkan kandungan total lipid *Chlorella vulgaris* Buitenzorg. Penelitian untuk melihat

kemampuan *C. vulgaris* untuk menurunkan kandungan nitrogen amonia air limbah dan kandungan lipid yang dihasilkannya sebagai sumber biodiesel perlu dilakukan.

2.2.2. Kerangka konsep



Gambar 2.13. Kerangka Konsep yang di Perluas

2.3. Hipotesis

Hipotesis kerja yang dapat diajukan dalam penelitian ini adalah:

Konsentrasi amonia awal yang lebih rendah akan meningkatkan kandungan total lipid dari *Chlorella vulgaris* Buitenzorg.

Universitas Indonesia

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan dan Metode Penelitian

Penelitian ini berskala laboratorium dengan menggunakan fotobioreaktor *flat-plate* berkapasitas 6 L (ukuran 38,5 cm x 10,2 cm x 26 cm) dari bahan kaca transparan. Penelitian bersifat kuantitatif dengan disain *true experimental design*. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode eksperimen. Data yang didapatkan dianalisa dengan menggunakan analisa deskriptif dan ANOVA satu arah.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium selama tiga bulan. Mulai dari bulan Juli 2010-Oktober 2010. Kultivasi alga dilakukan di Laboratorium bioproses Departemen Teknik Kimia sedangkan pengujian air limbah dilakukan di Teknik penyehatan dan lingkungan Departemen Teknik Sipil.

3.3. Populasi dan Sampel Penelitian

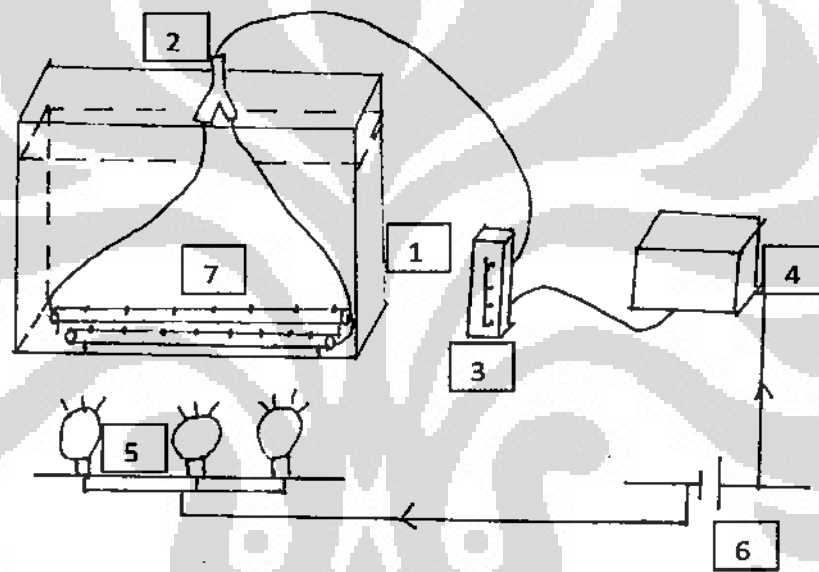
Populasi dari penelitian ini adalah limbah domestik, sampel yang digunakan yaitu limbah domestik dengan konsentrasi amonia yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan reaktor berkapasitas 6 liter.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Fotobioreaktor berbentuk *flat-plate* berkapasitas 6 L dari bahan kaca transparan
2. Sparger berbentuk pipa yang berlubang-lubang untuk sistem aerasi dalam reaktor sebanyak 2 buah
3. Selang silikon
4. *Air blower*
5. Sumber cahaya sinar tampak berupa lampu philip halogen 23 w/220-240v/1420lm/62 lm/W *cool daylight*
6. Peralatan glassware yang terdiri dari erlemeyer , pipet ukur, pipet tetes, gelas ukur, botol sampel, dan beaker glass.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu

1. Strain domestik *Chlorella vulgaris* Buitenzorg
2. Media limbah asli
3. Air bersih untuk membuat media dan mencuci peralatan
4. Kertas tisu untuk mengeringkan



Gambar 3.1. Skema fotobioreaktor

Keterangan:

1. Fotobioreaktor
2. Y Junction
3. Flowmeter
4. Blower udara
5. Lampu
6. Sumber listrik
7. Sparger

3.4. Variabel penelitian

Variabel penelitian yang digunakan terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah kadar amonia awal air limbah. Variabel terikat terdiri dari pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris*, biomassa, dan kandungan lipid.

Tabel 3.1. Tabel Variabel Penelitian

| No | Nama Variabel | Definisi operasional | Satuan | Sifat data |
|----|--|--|--------|------------|
| | Variabel bebas | | | |
| 1. | Kadar amonia awal air limbah domestik | Kandungan dari amonia awal dalam air limbah | mg/l | Primer |
| | Variabel terikat | | | |
| 2. | Pertumbuhan mikroalga <i>Chlorella</i> | Pertambahan jumlah <i>Chlorella</i> dalam media per satuan waktu | Sel/ml | Primer |
| 3. | Biomassa | Total kuantitas atau berat dari <i>Chlorella</i> dalam suatu area atau volume tertentu | mg/l | Primer |
| 4. | Kandungan total lipid | Total lemak yang terkandung dalam biomass <i>Chlorella</i> | % | Primer |
| | Variabel kontrol | | | |
| 1. | COD | Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organis yang ada dalam satu liter sampel air | mg/l | Primer |
| 2. | Fosfat | Kandungan ortofosfat dalam air limbah | mg/l | Primer |

3.5. Data penelitian

Penelitian ini menggunakan data primer, dengan sifat data kuantitatif. Data primer diperoleh dari eksperimen. Data akan diambil secara *cross section*.

Tabel 3.2. Tabel Matriks Metode untuk Menjawab Tujuan Penelitian

| No | Tujuan penelitian | Metode pengumpulan data | Metode analisis data |
|----|--|-------------------------|---|
| 1. | Menganalisis pertumbuhan <i>Chlorella vulgaris</i> yang dibiakkan dalam limbah domestik dengan kadar amonia nitrogen yang berbeda. | eksperimen | Analisis deskriptif |
| 2. | Mengetahui kemampuan penurunan amonia nitrogen yang dihasilkan jika dibandingkan dengan baku mutu | eksperimen | Analisis deskriptif |
| 3. | Menganalisis konsentrasi amonia nitrogen awal mana yang memberikan total lipid tertinggi, dan pengaruh perbedaan kandungan amonia terhadap total lipid | eksperimen | Analisa deskriptif Analisis of varians satu arah |
| 4. | Membuat contoh <i>scale up</i> dari hasil penelitian | Studi Literatur | Analisis Deskriptif |

Tabel 3.3. Tabel Parameter yang Diukur

| No. | Parameter | Satuan | Metode |
|-----|-------------------|--------|------------------------|
| 1. | pH | Unit | pH meter |
| 2. | Intensitas cahaya | Lux | Lux-meter |
| 3. | Amoniak nitrogen | mg/l | Nessler |
| 4. | Suhu | °C | - |
| 5. | Pertumbuhan | | <i>Optical density</i> |
| 6. | Total lipid | % | (Bligh&Dyer, 1959) |
| 7. | Biomasa | mg/l | (Bligh&Dyer, 1959) |
| 8. | Klorofil | mg/l | Ekstrasi aseton |
| 9. | COD | mg/l | <i>Reflux</i> |

Sebelum melakukan penelitian maka dilakukan tahapan pre-culture. Tahap *preculture* adalah sebagai berikut:

1. Perangkaian alat

Pada tahap ini seluruh alat yang dibutuhkan untuk sistem produksi dirangkai menjadi satu kesatuan seperti pada gambar

2. Pembuatan medium

3. Pembuatan kultur murni

Cara pembuatan kultur murni

1. Menyiapkan medium dan dan serta peralatan pembiakan (wadah, selang udara, tutup wadah) yang sudah steril
2. Stok murni *Chlorella vulgaris* Buitenzorg lalu dimasukkan ke dalam wadah steril dan dicampur dengan medium yang telah disiapkan. Perbandingan antara stok *Chlorella* dan medium dapat diatur sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pindahkan ini harus dijaga steril, dilakukan dalam transfer box, lingkungan disterilkan dengan menggunakan alkohol 70% dan menggunakan api busen.
3. Kultur tersebut kemudian *dibubbling* dengan menggunakan kompresor udara Pada tahap ini juga harus diberikan cahaya, namun dengan intensitas cahaya yang kecil 1000 lux.
4. Pembiakan dapat dilakukan selama satu minggu atau lebih jika bertujuan untuk memperbanyak stok yang ada, tetapi jika untuk melewati *lag time* dapat dilakukan selama 2-3 hari atau 60 jam, tergantung dari jumlah selnya.

3.6. Pengolahan data penelitian

Data tentang pertumbuhan berdasarkan optikal densitas diambil pada jam ke 0, 4, 8, 24, 28,32, 48,52,56,72,76, 80, 96, dan 100, kandungan klorofil, biomasa dan lipid pada jam ke 0, 24, 48, 72 dan 96, penurunan amonia nitrogen dalam limbah akan diambil pada jam ke 0, 48 dan 96 *running* fotobioreaktor.

1. Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroalga dilakukan dengan mengukur kerapatan alga menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm. Laju pertumbuhan akan dihitung dengan rumus:

$$\text{Laju pertumbuhan} = (\text{Ln ODT} - \text{LnODO})/t \quad (3.1)$$

2. Klorofil

Klorofil dihitung dengan mengsentrifus 10 ml, supernatan yang didapatkan ditambahkan dengan 4 ml aseton dan 0,5 ml glass bed. Sampel dimasukkan dalam sonikator untuk membantu memecahkan dinding selnya selama 30 menit. Sampel yang telah disonikasi, disentrifus kembali kemudian diukur klorofilnya dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 645 dan 663. Klorofil a ditentukan dengan rumus:

$$\text{Klorofil a} = 12,7 (\lambda_{663}) - 2,69(\lambda_{645}) \quad (3.2)$$

3. Lipid total dan biomas

Penghitungan total lipid dan biomas dilakukan dengan menggunakan 10 ml sampel untuk masing-masing lipid dan biomas. Biomas dihitung dengan mengsentrifus sampel sampai didapatkan endapan. Endapan yang didapatkan dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C sampai airnya menguap kemudian ditimbang. Lipid *Chlorella* didapatkan dengan mengsentrifus sampel sampai didapatkan endapan. Endapan yang didapatkan ditambahkan dengan 1 ml kloroform dan 2 ml metanol kemudian divorteks. Setelah sampel tercampur rata lalu ditambahkan 1 ml kloroform dan 1 ml air kemudian di vorteks kembali. Sampel yang telah selesai divortex disentrifus kembali sampai didapatkan tiga lapisan, dengan menggunakan pipet tetes ambil lipidnya dan keringkan diruang asam kemudian ditimbang. Total lipid dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ Lipid} = \frac{\text{Berat Residu Lipid}}{\text{Berat Kering Sel}} \times 100\% \quad (3.3)$$

4. Penghitungan Amonia

Amonia diukur dengan menggunakan spektrofotometer, metoda yang digunakan adalah metoda *Nessler*. Blanko yang digunakan untuk pengukuran amonia adalah air suling, 25 ml sampel ditambahkan dengan 3 tetes *mineral stabilizer* dan *polyvinil alcohol dispersing reagent* dan 1 ml reagen *Nessler*. Amonia diukur pada panjang gelombang 425 nm, jika kadar amonia terlalu tinggi maka sampel harus diencerkan. Hasil yang didapat dikalikan dengan pengenceran. Nilai yang didapatkan adalah nilai amonia total, nilai amonia bebas dihitung dengan rumus (Allen, 1998):

$$\text{NH}_3 \text{ bebas} = \frac{\text{Total Amonia}}{1 + 10^{((0,0902 - \text{pH}) + (\frac{2730}{273,2 + \text{temperatur}}))}} \quad (3.4)$$

5. Penghitungan COD

10 ml sampel dan 10 ml air suling (sebagai blanko) masing-masing dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 ml, ditambahkan 0,4 gram serbuk HgSO_4 dan beberapa batu didih. Kedalam larutan ditambahkan kaliumdikromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25N, 15 ml pereaksi asam sulfat perak sulfat perlahan-lahan sambil didinginkan dalam air pendingin. Larutan yang sudah dingin dihubungkan dengan pendingin liebig dan dididihkan diatas hot plate selama 2 jam. Setelah 2 jam dinginkan dan cuci bagian dalam dari pendingin dengan air suling hingga volume contoh menjadi 70 ml. Erlenmeyer berisi sampel dan larutan yang sudah diencerkan di dinginkan sampai temperatur kamar, kemudian tambahkan indikator ferroin 3-4 tetes. Larutan ini kemudian dititrasi dengan larutan standar ferro amonium sulfat (FAS) 0,1 N sampai warna hijau biru berubah menjadi coklat kemerahan. COD dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{COD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{O}_2 \right) = \frac{(A+B) \times N \times 8000}{\text{ml sampel}} \quad (3.5)$$

A = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko (ml)

B = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh (ml)

N = normalitas larutan FAS

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Dekripsi penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium bioproses departemen teknik kimia, sedangkan pengujian sampel air limbah dilakukan di laboratorium teknik penyehatan dan lingkungan departemen teknik sipil Universitas Indonesia. Penelitian ini mencoba memberikan gambaran tentang peningkatan pertumbuhan dan konsentrasi lipid *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang dibiakkan dalam media limbah domestik dengan konsentrasi amonia awal yang berbeda sebagai bahan biodiesel. Mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikroalga strain lokal. *C. vulgaris* ini biasanya dibiakkan dalam media Benneck yang mengandung NaNO_3 500 mg/l, KH_2PO_4 100 mg/l, MgSO_4 200 mg/l dan FeCl_3 3-5 mg/l. Mikroalga ini sebelumnya belum pernah digunakan dalam pengolahan limbah.

Sumber dari limbah domestik yang digunakan adalah air limbah domestik dari gedung C asrama mahasiswa Universitas Indonesia. Air limbah yang digunakan berasal dari septic tank. Komposisi awal dari air limbah yang digunakan yaitu:

Tabel 4.1 Tabel Karakterisasi Awal Air Limbah Domestik yang Digunakan

| No | Parameter | Satuan | Hasil analisa |
|----|-------------------------------------|--------|---------------|
| 1. | pH | | 6,60 |
| 2. | Ammonia (NH_3) | mg/l | 128 |
| 3. | Fosfat (PO_4) | mg/l | 126 |
| 4. | <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) | mg/l | 449,4 |

Berdasarkan data dari tabel di atas terlihat bahwa konsentrasi amonia dalam air limbah ini sangat tinggi yaitu 128 mg/l, konsentrasi amonia yang terlalu tinggi dapat menjadi toksik bagi mikroalga untuk itu maka dilakukan pengenceran menggunakan air. Perlakuan pertama menggunakan air limbah yang diencerkan dengan perbandingan

antara air limbah dan air adalah 1:2. Campuran ini kemudian digunakan dalam perlakuan. Komposisi awal setelah limbah yang telah diencerkan dan ditambahkan dengan alga adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Tabel Komposisi Parameter Awal Perlakuan Pertama

| No | Parameter | Satuan | Hasil analisa |
|----|-------------------------------------|--------|---------------|
| 1. | Ammonia (NH ₃) | | 13,1 |
| 2. | <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) | mg/l | 381,2 |
| 3. | Fosfat (PO ₄) | mg/l | 95,8 |
| 4. | pH | mg/l | 8,72 |

Perlakuan kedua menggunakan air limbah yang diencerkan dengan perbandingan antara air limbah dan air adalah 1:15. Campuran ini kemudian digunakan dalam perlakuan. Komposisi awal setelah limbah yang telah diencerkan dan ditambahkan dengan alga adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3. Tabel Komposisi Parameter Awal Perlakuan Kedua

| No | Parameter | Satuan | Hasil analisa |
|----|-------------------------------------|--------|---------------|
| 1. | Ammonia (NH ₃) | | 4,7 |
| 2. | <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) | mg/l | 330,8 |
| 3. | Fosfat (PO ₄) | mg/l | 78,8 |
| 4. | pH | mg/l | 8,67 |

Kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam medium benneck. Percobaan dilakukan dengan menggunakan nilai optikal densitas awal $\pm 0,4$. Intensitas cahaya diatur konstan yaitu ± 5000 lux dan dikultivasi selama 100 jam. Pengukuran konsentrasi klorofil a, biomassa dan konsentrasi lipid dilakukan setiap 24 jam.

4.2. Keterbatasan penelitian

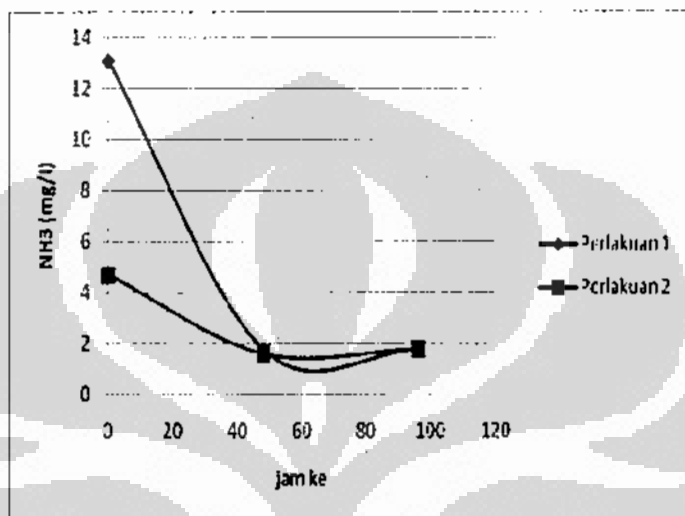
Selama melakukan penelitian ini terdapat beberapa kendala yaitu pertama pada tahap pre-culture alga terjadi kematian masal mikroalga. Biakan murni mikroalga yang dikultivasi dalam beberapa reaktor secara bersamaan tidak berkembang dan optikal densitasnya terus menurun. Kendala lainnya yaitu saat mulai menggunakan limbah domestik sebagai medium pertumbuhan yang dimulai dengan kerapatan alga yang rendah, kembali menunjukkan kematian mikroalga. Pada suatu periode percobaan pernah ditemukan ketidaksesuaian antara pertumbuhan dan berat biomas, dimana berat biomas tinggi namun kerapatannya rendah sebaliknya pada kerapatan tinggi namun biomas rendah. Ketidaksinkronan ini menyebabkan perlakuan diulang kembali.

4.3. penurunan konsentrasi nitrogen amonia

Pada alga yang dibiakkan dengan menggunakan limbah domestik, pada jam ke 48 dan 96 dilakukan pengukuran terhadap konsentrasi nitrogen amoniannya. Hasil pengukuran menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi nitrogen amonia. Penurunan konsentrasi nitrogen amonia paling besar terjadi pada perlakuan pertama, pada perlakuan ini konsentrasi amonia awal adalah 13,1 mg/l, dalam 48 jam amonia dalam perlakuan ini berkurang menjadi 1,75 mg/l. Persentase pengurangan amonia adalah 86,6%, hasil ini lebih baik dibandingkan dengan perlakuan kedua, yang mana konsentrasi amonia awalnya adalah 4,7 mg/l. Pada perlakuan kedua ini, dalam waktu 48 jam konsentrasi amonia dalam reaktor berkurang menjadi 1,6 mg/l berarti persentase removal yang terjadi adalah 65,9%. Terjadinya penurunan nitrogen amonia dan peningkatan pertumbuhan mikroalga menunjukkan bahwa mikroalga *C. vulgaris* Buitenzorg mengambil nitrogen amonia sebagai sumber karbonnya.

Menurut Yun *et al* (1997) alga *C. vulgaris* lebih menyukai untuk menggunakan amonia daripada nitrat sebagai sumber karbon. Nitrat tidak dikonsumsi sampai seluruh amonia dalam air limbah habis (p. 453). Penelitian lain yang mendukung hasil ini yaitu penelitian yang dilakukan Ogbonna, Yoshizawa dan Tanaka (2000) menunjukkan bahwa ketika amonia dan nitrat, keduanya terdapat dalam air limbah, mikroalga

Clorella sorokiniana, *Spirulina platensis* dan *Rhodobacter sphaeroides* yang termasuk mikroalga fotosintetik, lebih memilih menggunakan nitrogen amonia (p. 282).



Gambar 4.1. Grafik Penurunan Nitrogen amonia Selama Perlakuan

Pada jam ke 96 pengujian terhadap konsentrasi amonia kembali dilakukan, untuk perlakuan pertama penurunan nitrogen amonia tetap terjadi namun tidak terlalu berarti. Konsentrasi amonia dari 1,75 mg/l menjadi 1,74 mg/l dengan penurunan 86,71%. Perlakuan kedua justru menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi nitrogen amonia, nitrogen amonia pada jam ke 96 justru meningkat menjadi 1,785 mg/l. Peningkatan dan penurunan konsentrasi amonia yang tidak terlalu berarti terjadi karena pada saat tersebut pertumbuhan mikroalga telah memasuki fase kematian. Jasad dari alga yang mati adalah bahan organik yang kemudian akan dirombak oleh bakteri menjadi karbon dioksida dan amonia, dengan begitu berarti amonia kembali terbetuk. Tingkat kematian mikroalga pada perlakuan kedua ini cukup tinggi dimana nilai optikal densitas menurun drastis dari 0,9 menjadi 0,4, ini berarti banyak bahan organik didalam medium yang dapat dirombak oleh bakteri dan jamur. Walaupun pada jam ke 96 terjadi kenaikan konsentrasi nitrogen amonia, namun secara keseluruhan hasil yang diperoleh telah jauh dibawah baku mutu lingkungan. Baku mutu lingkungan yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah DKI Jakarta no. 122 tahun 1995 tentang baku mutu limbah domestik

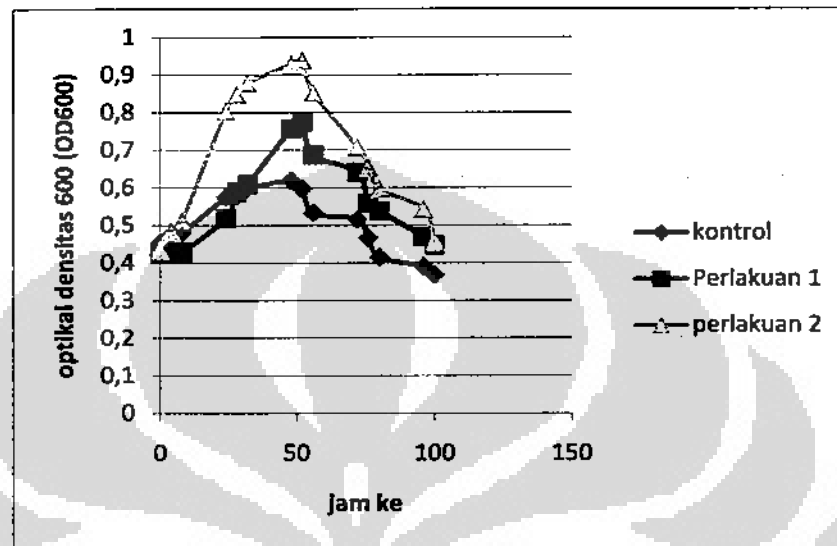
Jakarta, pada peraturan ini bakumutu yang ditetapkan untuk nitrogen amonia adalah 10 mg/l.

4.4. Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* Buitenzorg

Perlakuan pertama dalam penelitian ini menggunakan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l dan perlakuan kedua menggunakan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l, sedangkan kontrol adalah *Chlorella vulgaris* yang dibiakkan dalam medium Beneck dengan sumber nitrogennya berasal dari natrium nitrat (NaNO_3). Amonia yang diukur adalah amonia Nessler yang memberikan nilai total dari amonia yaitu nilai gabungan dari NH_3 bebas dalam bentuk gas dan ion amonium (NH_4^+).

Nilai dari amonia bebas dan ion amonium ditentukan dengan menggunakan rumus. Berdasarkan rumus maka didapatkan nilai dari amonia bebas untuk perlakuan pertama (konsentrasi amonia 13,1 mg/l) adalah 3,19 mg/l dan konsentrasi ion amonium adalah 9,91 mg/l. Konsentrasi amonia bebas untuk perlakuan kedua (konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l) adalah 1,05 mg/l, dengan konsentrasi ion amonium 3,65 mg/l. Jenis amonia yang diserap mikroalga untuk pertumbuhannya adalah ion amonium, namun amonia bebas dapat berdifusi dengan bebas ke dalam sel, keberadaan amonia bebas dapat menghambat pertumbuhan alga.

Pertumbuhan mikroalga berdasarkan nilai optikal densitas dapat dilihat pada gambar 4.2. Gambar 4.2. memperlihatkan nilai optikal densitas tertinggi diberikan oleh perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l yaitu 0,940 sedangkan perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l memiliki nilai optikal densitas 0,774. Kontrol yang menggunakan medium Beneck memiliki nilai optikal densitas tertinggi pada jam ke 48 dengan nilai 0,618.



Gambar 4.2. Gambar Grafik Pertumbuhan *C. vulgaris* berdasarkan optikal densitas

Pada grafik terlihat perlakuan kedua memberikan pertumbuhan tertinggi, kondisi ini berhubungan dengan konsentrasi amonia awal dalam reaktor. Pada perlakuan kedua ini konsentrasi amonia awal adalah 4,7 mg/l dengan konsentrasi amonia bebas yaitu 1,05 mg/l. Konsentrasi amonia bebas ini masih jauh di bawah batas limit toleransi *Chlorella vulgaris* terhadap amonia bebas. Limit toleransi *C. vulgaris* terhadap amonia bebas menurut Kriens (1994); Straus *et al.*, (2001) adalah 6 mg/l $\text{NH}_3\text{-N/l}$. Keberadaan amonia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) dalam media pertumbuhan mikroalga *C. vulgaris* selama tidak berada dalam batas toksik ataupun konsentrasi yang dapat menyebabkan inhibisi pada pertumbuhan alga, akan menguntungkan untuk pertumbuhan alga. Hal ini dikarenakan amonia adalah jenis nitrogen yang lebih disukai mikroorganisme termasuk mikroalga. Amonia adalah sumber nitrogen yang lebih disukai oleh mikroorganisme (Grobbelaar, 2004, p. 104). Lebih jauh Abeliovich dan Azov (1976, p. 801) menyatakan bahwa konsentrasi amonia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) rendah sampai 0,2 mM memberikan keuntungan dalam pertumbuhan berbagai jenis mikroalga.

Meskipun amonia lebih disukai oleh *C. vulgaris* sebagai sumber nitrogen, keberadaannya sebagai sumber nitrogen juga harus diperhatikan konsentrasinya, pada konsentrasi tertentu amonia justru dapat menghambat pertumbuhan alga. Londotter

(2006) berpendapat bahwa konsentrasi ion amonium lebih dari 20 mg $\text{NH}_4^+ \text{N}$ per liter tidak direkomendasikan karena toksisitas amonia. Berhubungan dengan toksisitas amonia ini, Mara (2003, p. 130) memiliki pendapat yaitu sama halnya dengan asam sulfida (H_2S), amonia yang tidak terionisasi (NH_3) juga toksik untuk alga, namun dengan satu perbedaan yang penting: ketika pH meningkat, proporsi dari total amonia yang berada dalam bentuk amonia bebas (NH_3) juga meningkat karenanya toksisitas amonia meningkat seiring dengan meningkatnya pH. Pearson *et al* (1987b) dalam Mara (2003, p. 130) menemukan bahwa 50 persen penghambatan fotosintesis dalam empat *pond* alga terjadi dalam urutan yang berbeda dari yang disebabkan oleh H_2S : *Chlorella* (3,9 mM), *Scenedesmus* (1, terjadi dalam berbagai bentuk yang 6 mM), *Euglena* dan *Chlamidomonas* (keduanya 0,9 mM), (1 mM $\text{NH}_3 = 14 \text{ mg NH}_3\text{-N/l}$). Sehubungan toksisitas amonia meningkat dengan peningkatan pH, ia dapat terkoreksi sendiri menjadi kondisi yang subletal. Ini terjadi karena fotosintesis yang tinggi dapat meningkatkan pH *pond* (sering 9-10), toksisitas amonia menjadi meningkat dan karenanya fotosintesis menurun; pH turun dan toksisitas amonia menjadi turun, ini meningkatkan fotosintesis, peningkatan fotosintesis akan meningkatkan pH, dan karenanya toksisitas dari amonia, dan begitu selanjutnya, siklus ini berlanjut terus menerus.

Penghambatan pertumbuhan mikroalga oleh amonia dapat dilihat pada perlakuan pertama. Pada perlakuan pertama dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l, pertumbuhannya lebih rendah daripada perlakuan kedua, keterlambatan pertumbuhan ini berhubungan dengan konsentrasi amonia awal yang lebih tinggi, dan juga pH serta suhu kultivasi yang tinggi. Londotter (2006) menyatakan konsentrasi amonia yang tinggi bertindak sebagai inhibitor untuk pertumbuhan alga pada pH tinggi, dan toksisitas ini menjadi semakin intensif pada temperatur tinggi ketika proporsi dari amonia berbentuk amonia bebas (NH_3) yang dapat secara bebas berdifusi melalui membran ke dalam sel (p. 32).

Konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l ini memiliki konsentrasi amonia bebas 3,19 mg/l, konsentrasi ini masih dibawah konsentrasi limit toleransi *C. vulgaris* terhadap amonia bebas yang ditetapkan Kriens (1994), namun nilai amonia bebas 3,19 mg/l telah mulai menunjukkan penghambatan fotosintesis pada *C. vulgaris* Buitenzorg. Perlakuan pertama ini memiliki pH awal 8,72 mg/l dan 26,1 mg/l, dalam 4 jam pH dan suhu mengalami peningkatan, yang berarti bahwa konsentrasi amonia bebas di dalam reaktor juga meningkat, Tabel 4.4 menunjukkan pH dan suhu selama penelitian berlangsung. Nilai pH yang tinggi menyebabkan amonia dapat masuk dengan bebas kedalam sel sehingga sel terhambat pertumbuhannya, pernyataan ini sesuai dengan pendapat Guarino dan Cohen, (1979); Reed, (1990), p. 149 yang menyatakan bahwa difusi pasif NH_3 adalah prinsip sarana serapan amonia pada pH eksternal tinggi, di mana pH interselular rendah dapat menyebabkan akumulasi NH_4^+ karena pemerangkapan ion. Amonia bebas berada dalam bentuk gas, ia juga dapat terlepas ke udara. Pelepasan NH_3 bebas ke udara akan membantu pertumbuhan alga, dimana pada saat konsentrasi amonia bebas sudah semakin berkurang, *C. vulgaris* dapat mulai tumbuh.

Mekanisme simbiosis juga berperan dalam peningkatan pertumbuhan alga. Berkaitan dengan mekanisme simbiosis ini Oswald *et al.*, (1953) menyatakan pada kolam oksidasi, bakteri akan merombak bahan organik yang ada dalam limbah menjadi karbon dioksida dan amonia, yang mana beberapa diantaranya lepas ke atmosfer. Pada saat kondisi cahaya dan temperatur memadai, alga dalam kolam oksidasi akan tumbuh dalam jumlah yang signifikan (p. 692).

Tabel 4.4. Tabel pH dan Suhu pada Perlakuan Pertama, Kedua, dan Kontrol

| Jam ke | NH_3 13,1 mg/l | | NH_3 4,7 mg/l | | Kontrol | |
|--------|-------------------------|------|------------------------|-------|---------|-------|
| | pH | t | pH | t | pH | t |
| 0 | 8,72 | 26,1 | 8,67 | 26,15 | 8,66 | 26,9 |
| 4 | 8,84 | 26,2 | 8,86 | 26,3 | 8,93 | 26,7 |
| 8 | 8,82 | 26,7 | 8,89 | 26,9 | 8,95 | 26,4 |
| 24 | 8,955 | 26,1 | 8,99 | 25,8 | 8,92 | 26,15 |

Tabel 4.4. Lanjutan

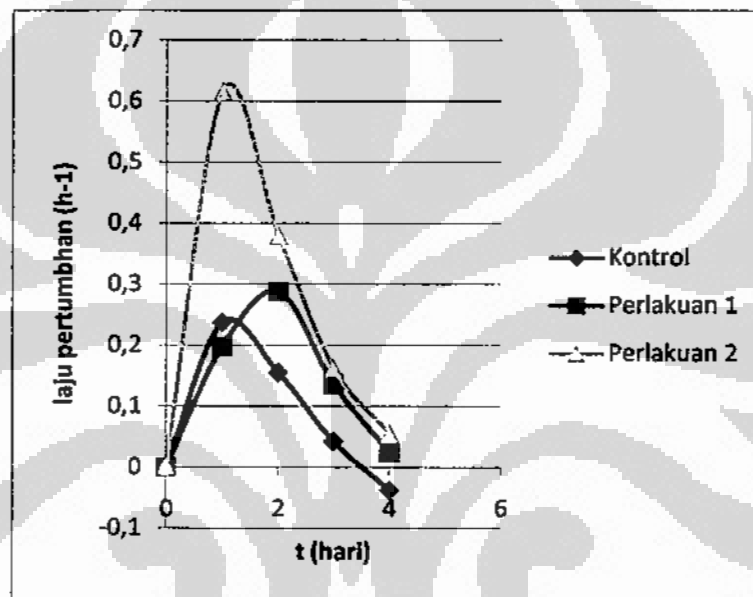
| | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 28 | 8,915 | 26,6 | 8,98 | 26,75 | 8,8 | 25,75 |
| 32 | 8,87 | 26,7 | 8,91 | 26,6 | 8,865 | 26,5 |
| 48 | 9,005 | 26,25 | 9,025 | 26,55 | 9,065 | 26,7 |
| 52 | 8,935 | 26,5 | 8,96 | 26,7 | 9 | 26,7 |
| 56 | 8,98 | 26,15 | 8,99 | 26,2 | 9 | 26,55 |
| 72 | 9,045 | 26,35 | 9,09 | 26,4 | 8,975 | 26,5 |
| 76 | 9,025 | 27 | 9,07 | 26,85 | 9 | 27 |
| 80 | 9,015 | 27 | 9,075 | 27,05 | 8,905 | 26,45 |
| 96 | 9,085 | 26,8 | 9,115 | 27,05 | 8,965 | 26,25 |
| 100 | 9,09 | 27,2 | 9,095 | 27,35 | 8,965 | 26,95 |

Hasil ini lebih baik daripada percobaan yang dilakukan oleh Agrawal dan Manisha (2007) yang mencoba membiakkan *C. vulgaris* Beyerinck dalam limbah domestik dengan konsentrasi nitrogen amonia 21,82 mg/l dan 5,45 mg/l, pada percobaan ini *Chlorella vulgaris* yang dibiakkan tidak dapat tumbuh dan segera mati dalam kedua perlakuan (p. 401).

Berdasarkan nilai optikal densitas ini dapat dibuat laju pertumbuhan dari *Chlorella vulgaris*. Laju pertumbuhan untuk kontrol dan perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l dicapai pada hari pertama penelitian, ini sesuai dengan nilai optikal densitas yang menunjukkan kenaikan nilai optikal densitas yang besar pada hari pertama.

Perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l dan kontrol pada hari pertama ini pertumbuhannya telah langsung memasuki fase log, dimana pertumbuhan alga sangat cepat yang berarti konsumsi nutrisi sangat tinggi pula, pada hari kedua nutrisi yang tersisa tidak mencukupi lagi untuk pertumbuhan seluruh alga, sehingga pertumbuhan alga

jadi terbatas. Nilai optikal densitas pada hari kedua memang masih meningkat, namun peningkatannya hanya sedikit, ini berarti terjadi penurunan laju pertumbuhan. Pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l laju pertumbuhan tertinggi terjadi pada hari kedua. Fase pertumbuhan eksponensial terjadi selama dua hari, dimana laju pertumbuhan maksimum ditemukan pada hari kedua.



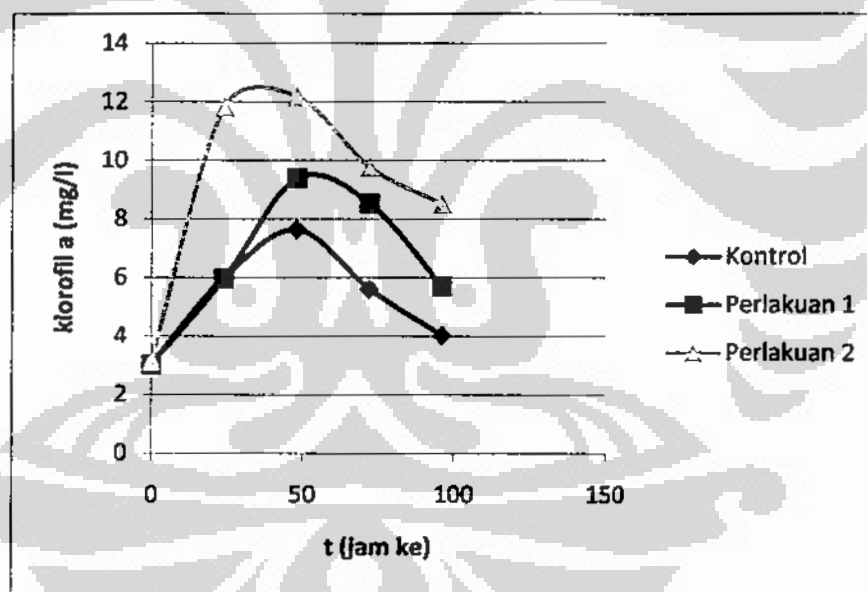
Gambar 4.3. Gambar Grafik Laju Pertumbuhan *C. vulgaris*

Nilai optikal densitas yang tinggi pada perlakuan dengan menggunakan limbah juga didukung dengan data pengujian klorofil. Pengujian klorofil pada *C. vulgaris* menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l meningkat dengan cepat dari 3,15677 mg/l pada jam ke 0 menjadi 11,43483 mg/l pada jam ke 24, peningkatan masih terjadi pada jam ke 48, namun peningkatan konsentrasi klorofilnya tidak sebesar pada jam ke 24. Pada jam ke 48 ini konsentrasi klorofil perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l ini adalah 12,17006 mg/l.

Pada kontrol dan perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l menunjukkan bahwa konsentrasi klorofilnya pada 24 jam hampir sama yaitu 6,000845 mg/l pada

kontrol dan 5,958025 mg/l pada perlakuan pertama. Peningkatan konsentrasi klorofil pada perlakuan pertama lebih besar dari kontrol pada jam ke 48, dimana nilai klorofilnya adalah 9,37968 mg/l sedangkan kontrol 7,63546 mg/l. Jam ke 48 adalah konsentrasi klorofil paling tinggi untuk *C. vulgaris* yang diperlakukan dengan limbah maupun kontrol. Setelah 48 jam *C. vulgaris* yang diperlakukan dengan limbah maupun kontrol ketiganya mengalami penurunan konsentrasi klorofil.

Lebih tingginya nilai klorofil karena pada limbah terdapat mikroorganisme lain seperti bakteri dan jamur yang dapat hidup bersimbiosis dengan alga. Simbiosis antara alga dan mikroorganisme lainnya dapat meningkatkan pertumbuhan dan konsentrasi klorofil *C. vulgaris* dan mikroalga pada umumnya.



Gambar 4.4. Gambar Konsentrasi Klorofil *C. vulgaris*

Penelitian Watanabe *et al.*, (2005, p. 195) menunjukkan bahwa selama waktu kultivasi yang lama, konsorsium alga *Chlorella sorokiniana* dengan bakteri memiliki konsentrasi klorofil yang stabil dan menunjukkan warna hijau tua yang sehat bahkan sampai masa kultivasi tujuh bulan. Dilain pihak konsentrasi klorofil pada alga *C. sorokiniana* yang dibiakkan tanpa bakteri menurun secara drastis. Fenomena ini terjadi karena adanya

substansi pemercepat pertumbuhan yang tidak diketahui yang dihasilkan oleh bakteri, Suplai karbondioksida dari symbion (bakteri) ke *C. sorokiniana*, atau konsumsi oksigen yang dihasilkan alga oleh bakteri yang pada akhirnya memberikan kondisi untuk pertumbuhan yang disukai oleh alga fotosintetik.

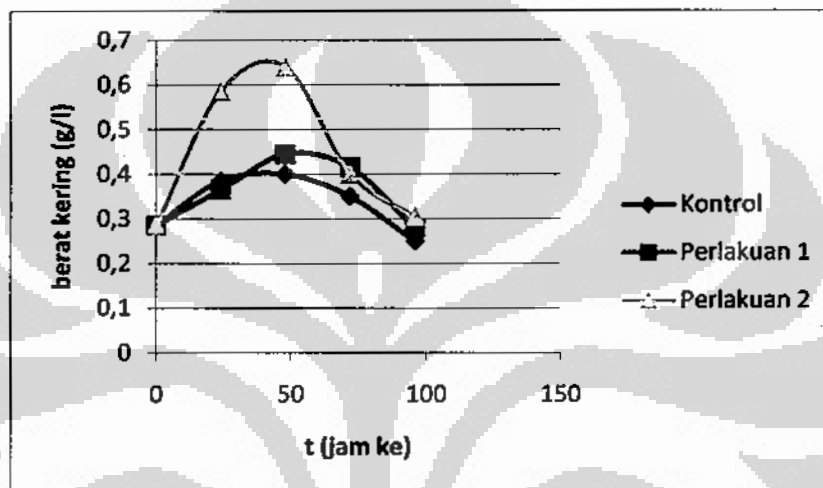
Faktor lain yang mempengaruhi tingginya konsentrasi klorofil terutama pada perlakuan dua, disebabkan karena padatnya kondisi kultur. Pada saat kondisi kultur menjadi padat dan cahaya terbatas sel akan memproduksi lebih banyak klorofil dan warnanya menjadi hijau gelap. Richmond (2004, p 134) menyatakan komposisi sel mikroalga bervariasi tergantung dengan kerapatan sel. Klorofil a dan b, protein dan lipid meningkat dengan peningkatan kerapatan sel. Lebih jauh Hu *et al* (1996a) dalam Richmond (2004, p. 134) menyatakan Peningkatan klorofil sel berhubungan dengan peningkatan kerapatan sel namun hanya sampai kerapatan 10 g/l, di atas itu konsentrasi klorofil sel akan menurun secara signifikan.

Berdasarkan uraian diatas dapat dinyatakan *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam medium limbah domestik pertumbuhannya lebih tinggi daripada *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam medium Benneck sebagai kontrol. Tingginya nilai pertumbuhan ini dapat dilihat dari tingginya nilai optikal densitas dan juga nilai klorofil a. Hasil ini menunjukkan limbah domestik yang mengandung nitrogen amonia dapat menjadi medium untuk pertumbuhan mikroalga *C. vulgaris*. Konsentrasi amonia awal 4,7 memberikan pertumbuhan yang lebih baik bagi *C. vulgaris* Buitenzorg.

4.5. Pengaruh perbedaan konsentrasi awal nitrogen amonia terhadap total lipid dari *Chlorella vulgaris*

Pada jam ke 0, 24, 48, 72, dan 96 dilakukan pengukuran terhadap berat kering sel dan konsentrasi lipid dari mikroalga ini. Konsentrasi lipid berupa total lipid ditunjukkan dalam bentuk persentase. Pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l, berat kering sel meningkat dengan pesat yaitu dari 0,285 g/l pada jam ke 0 menjadi 0,585 pada jam ke 24, peningkatan berat kering sel juga terjadi pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l dan kontrol, namun peningkatannya tidak sepesat

perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l. Pada kontrol berat kering sel meningkat dari 0,285 g/l pada jam ke 0 menjadi 0,385 pada jam ke 24, sedangkan pada perlakuan dengan kadar amonia awal 13,1 mg/l, berat kering sel meningkat dari 0,285 g/l pada jam ke 0 menjadi 0,365 pada jam ke 24.



Gambar 4.5. Gambar Grafik Berat Kering *C. vulgaris*

Pada jam ke 48 kontrol maupun perlakuan dengan limbah, masing-masing masih menunjukkan peningkatan berat kering sel, dan berat kering pada jam ke 48 ini adalah berat kering sel yang tertinggi untuk masing-masing perlakuan dan kontrol. Walaupun berat kering sel jam ke 48 ini adalah berat kering yang tertinggi, namun peningkatan berat kering dari jam ke 24 ke jam ke 48 ini tidak sepesat sebelumnya. Berat kering sel untuk kontrol pada jam ke 48 ini adalah 0,4 g/l, perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l memiliki berat kering sel 0,64 dan perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l memiliki berat kering sel 0,445 g/l.

Setelah 48 jam kultivasi, berat kering sel baik kontrol maupun perlakuan dengan limbah, masing-masing menunjukkan penurunan. Berdasarkan grafik dan uraian diatas dapat dinyatakan berat kering sel meningkat ketika konsentrasi amonia awal turun dari 13,1 mg/l menjadi 4,7 mg/l, namun pada kontrol yang tidak memiliki konsentrasi

amonias berat kering selnya lebih rendah daripada yang diberi perlakuan dengan nitrogen amonia air limbah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa nitrogen amonia pada limbah domestik, terutama dengan konsentrasi awal yang rendah akan meningkatkan berat kering sel.

Selain berat kering, juga diukur berat residu lipid. Berat residu lipid ini digunakan untuk menentukan konsentrasi total lipid sel, yang didapatkan dengan membagi berat residu lipid dengan berat kering sel, dinyatakan dalam persen. Perbandingan antara berat kering sel, berat residu lipid dan konsentrasi lipid total dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.5. Tabel Perbandingan antara berat kering sel, berat residu lipid dan konsentrasi total lipid pada kontrol

| Jam ke | Berat kering sel (g/l) | Berat residu lipid (g/l) | Konsentrasi total lipid (%) |
|--------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0 | 0,285 | 0,095 | 33,33 |
| 24 | 0,385 | 0,150 | 38,96 |
| 48 | 0,400 | 0,195 | 48,75 |
| 72 | 0,350 | 0,100 | 28,57 |
| 96 | 0,250 | 0,045 | 18 |

Tabel 4.6. Tabel Perbandingan antara berat kering sel, berat residu lipid dan konsentrasi total lipid pada konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l

| Jam ke | Berat kering sel (g/l) | Berat residu lipid (g/l) | Konsentrasi total lipid (%) |
|--------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0 | 0,285 | 0,095 | 33,33 |
| 24 | 0,365 | 0,140 | 38,35 |
| 48 | 0,445 | 0,250 | 56,18 |
| 72 | 0,415 | 0,175 | 42,17 |
| 96 | 0,280 | 0,070 | 15 |

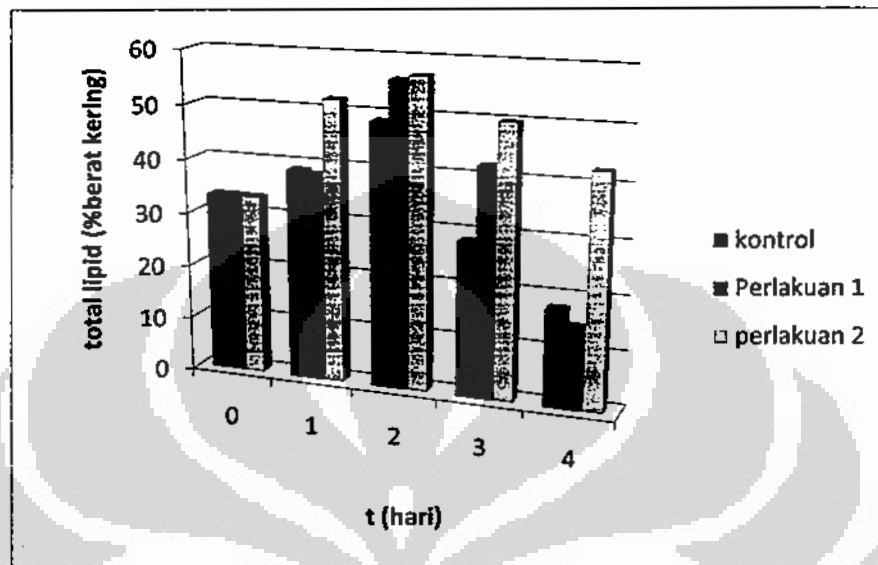
Tabel 4.7. Tabel Perbandingan antara berat kering sel, berat residu lipid dan konsentrasi total lipid pada konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l

| Jam ke | Berat kering sel (g/l) | Berat residu lipid (g/l) | Konsentrasi total lipid (%) |
|--------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0 | 0,285 | 0,095 | 33,33 |
| 24 | 0,585 | 0,305 | 52,14 |
| 48 | 0,64 | 0,365 | 57,03 |
| 72 | 0,400 | 0,200 | 50 |
| 96 | 0,305 | 0,130 | 42,62 |

Pada tabel diatas terlihat bahwa berat residu lipid paling besar ditemukan pada jam ke 48 untuk masing-masing perlakuan dan kontrol, berat residu terbesar terdapat pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l. Penghitungan konsentrasi total lipid yang dinyatakan dengan persen kembali menunjukkan bahwa konsentrasi total lipid terbesar ditemukan pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l, yang terjadi pada jam ke 48 dengan konsentrasi total lipid adalah 57,03%. Pada jam yang sama konsentrasi total lipid untuk perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l adalah 56,18%, sedangkan untuk kontrol adalah 48,75%.

Hasil ini lebih baik dari penelitian Thompson (1996) dalam Woertz (2007) yang meneliti persentase total lipid dari kultur murni *Chlorella* dan *Scenedesmus*. Penelitian tersebut menunjukkan persentase total lipid yang dihasilkan adalah 45% (p. 52)

Penelitian Woertz (2007) sendiri yang menggunakan air limbah peternakan babi menunjukkan total lipid yang dihasilkannya yaitu 8-14% untuk limbah dengan konsentrasi amonia awal 16,3 mg/l dan 10-29% untuk limbah dengan konsentrasi amonia awal 30 mg/l. Mikroalga yang digunakan adalah kultur campuran dari *Scenedesmus*, *Micractinium*, *Chlorella* dan *Actinastrum* (p. 52).



Gambar 4.6. Gambar Grafik Persentase Lipid *C. vulgaris*

Guna mengetahui pengaruh perbedaan konsentrasi amonia awal terhadap kandungan total lipid yang dihasilkan, maka dilakukan uji *analisa of variance* (ANOVA) satu arah. Uji anova dilakukan pada taraf kesalahan 5%. Tabel dari uji anovanya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8. Tabel uji anova

| Ragam | JK | df | KT | F | Sig. |
|----------------|----------|----|---------|-------|------|
| Antar Kelompok | 491,338 | 2 | 245,669 | 1,672 | ,229 |
| Dalam Kelompok | 1762,919 | 12 | 146,910 | | |
| Total | 2254,257 | 14 | | | |

F_{tabel} pada (2,12) dengan derajat kesalahan 5% adalah 3,89, yang berarti lebih besar dari F_{hitung} 1,672. F_{tabel} besar dari F_{hitung} berarti H_0 diterima. Ini berarti ada pengaruh perbedaan konsentrasi amonia awal terhadap kandungan total lipid, namun konsentrasi amonia rendah tidak meningkatkan kandungan total lipid secara signifikan.

Penggunaan air limbah domestik dapat meningkatkan konsentrasi total lipid *C. vulgaris* dibandingkan dengan media Beneck. Meskipun konsentrasi total lipid *C. vulgaris* ini

lebih tinggi pada saat konsentrasi awal amonia 4,7 mg/l, namun tidak dapat dikatakan bahwa konsentrasi amonia awal rendah akan meningkatkan total lipid sel, karena peningkatan total lipid sel terjadi akibat adanya peningkatan berat kering sel. Biasanya sel-sel yang konsentrasi awal nitrogennya rendah, akan memiliki berat kering sel yang rendah namun dengan konsentrasi total lipid yang tinggi. Salah satu contoh penelitian yang membuktikan hal ini adalah Li *et al.*, (2008) yang melakukan penelitian tentang efek sumber nitrogen pada pertumbuhan sel dan akumulasi lipid dari alga hijau *Neochlorosis oleoabundans*. Pada penelitian ini ditemukan konsentrasi lipid total paling tinggi ditemukan pada konsentrasi sodium nitrat 3 mM, dengan berat kering sel yang rendah dibandingkan dengan konsentrasi sodium nitrat 5 mM, 10 mM, 15mM dan 20 mM.

Dubisky *et al.*, (1995); Hu *et al.*, (1996) dalam Hu (2004) menyatakan selama parameter operasional diperhatikan, konsentrasi sel (atau kerapatan populasi) dari kultur alga adalah satu-satunya faktor biologis yang paling efektif dalam mempengaruhi komposisi biokimia biomasa alga (p. 89). Lebih jauh Goldman (1980) dalam Hu (2004) menambahkan akhirnya, sesuatu yang harus selalu diingat bahwa hasil potensial dari produk tertentu dari mikroalga adalah fungsi dari komposisi sel, kerapatan sel, dan laju pertumbuhan (p. 90).

Konsentrasi total lipid yang tinggi menunjukkan bahwa mikroalga *Chlorella vulgaris* Buitenzorg ini memiliki potensi untuk menjadi bahan minyak biodiesel.

4.6. Kultivasi dalam Skala Besar (*Scale up*)

Guna mendapatkan biodiesel dari mikroalga dibutuhkan mikroalga dalam jumlah yang banyak, karena itu diperlukan kultivasi dalam skala besar. Kultivasi dalam skala besar biasanya dilakukan dalam *pond* terbuka atau fotobioreaktor. Kontainer sederhana untuk kultur alga skala besar adalah *pond* terbuka, biaya awal yang dibutuhkan lebih murah, tetapi memiliki beberapa kekurangan dalam pengoperasiannya. Tanpa suatu penutup adalah suatu hal yang sulit untuk menjaga konsentrasi CO₂ cukup tinggi untuk

mendukung pertumbuhan maksimum, *pond* juga suatu bentuk kultivasi yang miskin karena ketidak mungkinan pencampuran menyeluruh suspensi tanpa suatu investasi besar dalam peralatan dan karena kesulitan pemanenan. Penanganan kekurangan ini dapat menggunakan *pond* oksidasi limbah (HRP/HROP), pada *pond* pengolahan limbah terdapat banyak suplai nitrogen dan karbondioksida dapat disuplai oleh bakteri dari dekomposisi limbah (Buriw, 1976).

Ada dua proses utama yang digunakan untuk *scale-up* dari skala laboratorium ke skala *pond*. Pertama kultur di *scale-up* secara bertingkat mulai dari kultur skala kecil dilaboratorium. *Scale-up* biasanya mengikuti mengikuti perkiraan rasio pengenceran 1:10 melalui peningkatan volume sampai ke skala *pond* (Borowitzka, 2005, p214). Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995, p. 58) pada kultur bertingkat, setelah tahapan kultur laboratorium maka dilakukan kultur semi out-door yang dapat mencapai volume 60-100 liter. Kultur out-door merupakan tahapan kultur selanjutnya, kultur out-door biasanya mulai dari volume 1 ton hingga lebih dari 20 ton tergantung dari besar kecilnya skala pembenihan. Alternatif lainnya untuk *Scale-up* adalah menggunakan langsung inokulum yang telah ada, ini mungkin dilakukan untuk alga seperti *Spirulina* dan *Dunaliella* yang dapat dipelihara tanpa kontaminasi yang signifikan karena karena kondisi lingkungan tumbuhnya yang ekstrim. Luas area *pond* untuk kultivasi masal berkisar 1 ha sampai 200 ha dengan rata-rata kedalaman 20 sampai 30 cm (Borowitzka, 2005, p206).

Kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah memiliki perbedaan dengan kultivasi mikroalga secara konvensional. Pada kultivasi yang terintegrasi dengan pengolahan limbah, konsentrasi air limbah perlu diperhatikan terutama konsentrasi BOD/COD (indikator bahan organik dalam air limbah dan juga kekuatan air limbah), nitrogen dan fosfor karena ketiganya adalah makro nutrien yang penting untuk pertumbuhan alga, jika konsentrasi BOD/COD serta nitrogen terlalu tinggi bisa membahayakan pertumbuhan mikroalga. Hal ini disebabkan karena limbah yang terlalu kuat dapat menjadi toksik dan tidak mampu menunjang pertumbuhan mikroalga, begitu pula dengan kandungan nitrogen.

Nitrogen dalam air limbah 90%nya berada dalam bentuk amonia. Konsentrasi amonia yang tinggi dan pH serta suhu yang tinggi akan meningkatkan konsentrasi amonia bebas dalam larutan. Amonia bebas adalah jenis amonia yang toksik bagi mikroalga. Batas toleransi *C. vulgaris* terhadap amonia bebas menurut Kriens (1994); Straus *et al.*, (2001) adalah 6 mg/l NH₃-N/l, oleh karena itu selama kultivasi harus dipantau agar konsentrasi amonia bebas dalam larutan tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

Kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah biasanya diterapkan pada pengolahan limbah komunal. Pengolahan limbah secara komunal sendiri masih belum banyak dilakukan di Indonesia. Salah satu Kota yang telah melakukan pengolahan limbah komunal adalah DKI Jakarta. Pengolahan limbah ini dilakukan di Waduk Setiabudi dengan menggunakan teknik kolam aerasi. Pengolahan limbah komunal ini sendiri belum mampu melayani semua penduduk Jakarta. Pengolahan komunal ini hanya melayani 3% dari seluruh wilayah Jakarta, sebagai akibatnya banyak badan air di Jakarta yang tercemar oleh air limbah perkantoran dan domestik (BPPT, 2010).

Waduk Setiabudi terdiri dari dua bagian, yaitu Waduk Setiabudi Barat dan Waduk Setiabudi Timur, dan dibatasi Kali Cideng yang melintasi keduanya. Total luas permukaan eksisting Waduk Setiabudi sebesar 43.500 m², dengan perincian luas Waduk Setiabudi Timur (17.400 m²) dan Waduk Setiabudi Barat (26.100 m²). Kapasitas total IPAL Waduk Setiabudi Timur dan Barat sebesar 84.200 m³ dan masih mampu menampung air limbah domestik dari pengguna jasa di wilayah pelayanan, debit dari air limbah ini adalah 450 l/detik (Nurhadi, 2010).

Tabel 4.9. Kondisi IPAL Waduk Setiabudi

| No | Uraian | Waduk Timur | Waduk Barat |
|----|----------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | Luas Permukaan | 1,74 ha | 2,61 ha |
| 2 | Kapasitas | 33.300 m ³ | 50.900 m ³ |

Tabel 4.9. Lanjutan

| | | | |
|---|----------------------------|--------------|--------------|
| 3 | Jumlah Aerator | 3 unit | 4 unit |
| 4 | Inlet Pipa Air Limbah | 2 buah | 4 buah |
| 5 | Inlet Drainase | 2 buah | 2 buah |
| 6 | Saringan Mekanik | 2 buah | - |
| 7 | Lama pengoperasian Aerator | 6-8 jam/hari | 6-8 jam/hari |

Sumber: PD. PAL Jaya 2006 dalam Nurhadi 2010

Komposisi dari air limbah domestik di Waduksetiabudi Timur adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10. Kualitas Air Limbah Waduk Setiabudi Timur

| No | Parameter | Waduk ¹ | | Kanal banjir barat | Baku Mutu Komunal ² |
|----|--|--------------------|----------|--------------------|--------------------------------|
| | | Influent | Effluent | | |
| 1 | pH | 7,60 | 7,61 | 7,06 | 6 – 9 |
| 2 | Zat Padat Tersuspensi (mg/l) | 61,09 | 33,11 | 134,63 | 50 |
| 3 | BOD (20°C, 5 hari) (mg/l) | 75,63 | 25,66 | 33,06 | 50 |
| 4 | COD (dicromat) (mg/l) | 112,48 | 69,08 | 45,17 | 80 |
| 5 | Zat Organik (KMnO ₄) (mg/l) | 79,13 | 72,05 | 25,37 | 85 |
| 6 | Ammonia (mg/l) | 2,93 | 1,62 | 3,61 | 10 |
| 7 | Senyawa Aktif Biru Metilen (MBAS) (mg/l) | 1,02 | 0,46 | 0,14 | 2 |
| 8 | Minyak dan Lemak (mg/l) | 0,26 | 0,18 | 0,21 | 10 |

¹Data diolah dari Waduk Setiabudi Timur (Laporan Triwulan PD PAL Jaya Tahun 2010 dalam Nurhadi, 2010)

²Baku Mutu Limbah Cair Domestik Pergub Provinsi DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005

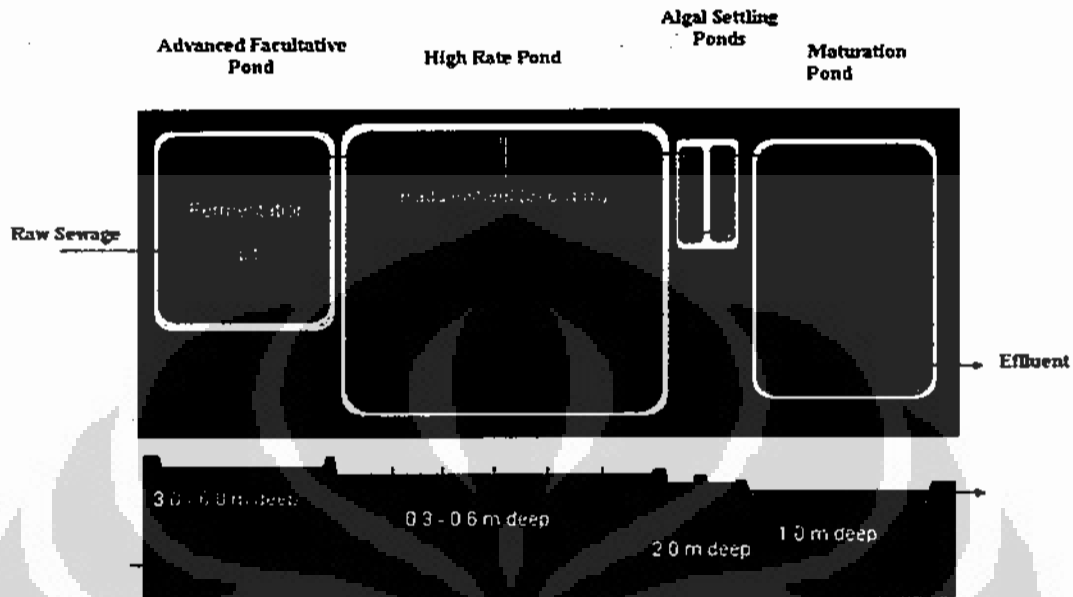
Berdasarkan komposisi dari Influen air limbah bahwa COD air limbah ini < 400 mg/l ini menandakan bahwa kandungan bahan organiknya tidak terlalu tinggi dan artinya air limbah tersebut tidak termasuk air limbah yang kuat serta dapat diolah secara biologis. Kandungan amonia dari air limbah ini juga rendah (2,93 mg/l) menunjukkan bahwa air limbah ini dapat langsung digunakan untuk kultivasi alga tanpa pengolahan lebih lanjut. Jika seandainya komposisi nitrogen amonianya tinggi maka diperlukan pengolahan pendahuluan awal.

Jika konsentrasi amonia tinggi, pH tinggi, mengakibatkan waktu detensi yang panjang, sementara konsentrasi amonia rendah, pH rendah memungkinkan sebuah operasi HROP yang stabil dengan waktu detensi yang pendek (Londa, 2003, p 264). Kultivasi alga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah biasanya adalah suatu sistem yang terdiri dari empat tipe *pond*. Biasanya sistem ini terdiri dari dua *Advanced Facultative Pond* yang paralel, satu HROP, dua alga *settling pond* yang paralel, Satu atau dua *maturation pond*. Gambar dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 4.13.

Facultative pond adalah unit pertama pada sistem ini, *facultative pond* diperlukan untuk menyeragamkan air limbah dan mencegah terjadinya *shock loading* pada HROP. Periode tinggal air limbah dalam kolam ini berkisar 5-30 hari dengan kedalaman kolam 1-1,5 m. Rancangan kolam umumnya 100-400 kg BOD/ha/hari, tergantung pada suhu kolam.

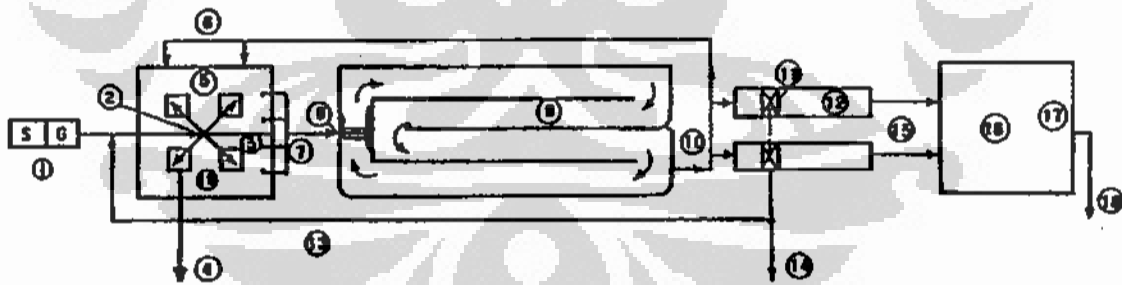
High Rate Algae Pond/High Rate Oxydation Pond (HRAP/HROP) adalah *pond* kedua dalam sistem ini. Fotosintesis dari alga pada kolam ini menyediakan oksigen yang akan digunakan oleh bakteri untuk memecah bahan organik terlarut yang tersisa dari efluen *facultative pond*. Nutrien yang tersisa pada efluen *facultative pond* dihilangkan melalui penyerapan oleh mikroalga dan dirubah menjadi biomas mikroalga maupun melalui *volatilisation*. HRAP biasanya dangkal (0,2-1,0 m) dan di aduk oleh *paddle wheel* secara terus menerus, waktu tinggal yang diperlukan adalah 2-8 hari. Keluaran HRAP akan mengandung biomasa alga, untuk memanen mikroalga diperlukan algal *settling pond* (ASP).

Air limbah yang telah terpisah dari alga selanjutnya memasuki *maturation pond* (kolam pematangan). Kolam ini bertanggung jawab terhadap kualitas efluen akhir. Periode tinggal berkisar antara 5-10 hari dengan kedalaman kurang lebih 1,5 m. Umumnya kolam ini dirancang untuk pengurangan *Coliform* yang berasal dari tinja daripada untuk pengurangan BOD. Sejumlah besar *Coliform* akan dapat dihilangkan dengan periode tinggal 5 hari



KEY TO NUMBERS ON FIGURE BELOW

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1. SCREENING & GRIT REMOVAL | 8. PADDLE WHEEL MIXER | 15. HIGH LEVEL TRANSFER |
| 2. DISTRIBUTOR | 9. HIGH RATE POND | 16. MATURATION POND |
| 3. PERMENTATION PITS | 10. HIGH LEVEL TRANSFER | 17. MID LEVEL TRANSFER |
| 4. METHANE UTILIZATION | 11. ALGAE SUBSIDENCE CHAMBER | 18. WATER REUSE |
| 5. ADVANCED FACULTATIVE POND | 12. ALGAE SETTLING PONDS | 19. SUPPLEMENTARY ABRATION |
| 6. OXYGENATED WATER RETURN | 13. SETTLED ALGAE RETURN | |
| 7. MID LEVEL TRANSFER | 14. ALGAE UTILIZATION | |



Sumber: Spuhler (2010)

Gambar 4.7. Diagram sistematis dari sistem kultivasi alga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah

Pembuatan *scale up* dari penelitian ini merujuk kepada Algae Pond Model (APM) yang dikembangkan oleh Sazdanol (2006). Algae Pond Model sendiri di desain menurut

NREL mikroalga Outdoor Test Facility (OTF) di Roswell New Mexico. OTF menggunakan dua pond berukuran 1000 m², kedalaman kolam adalah 45 cm. Luas paddle wheel adalah 5 m.

Rencananya *scale up* ini akan dilakukan untuk kota Padang. Secara geografis kota Padang berada antara 00°44'00"-01°08'35" LS dan 100°05'05"-100°34'09" BT dengan luas wilayah 694,96 km². Daerah efektif Kota Padang termasuk sungai adalah 205,007 km² dan daerah bukit termasuk sungai adalah 486,209 km². Kota Padang dilalui 5 buah sungai besar dan 16 sungai kecil. Jumlah pulau yang termasuk dalam wilayah kota ini sebanyak 19 buah. Kota Padang memiliki ketinggian wilayah daratan yang bervariasi dari permukaan laut. Ketinggian wilayah kota Padang dari permukaan laut adalah antara 0-1.853 mdpl. Suhu udara pada siang hari berkisar pada 23-32°C pada siang hari dan 22-28°C pada malam hari. Kelembabab berkisar antara 78%-81%, tingkat curah hujan rata-rata 405,58 mm per bulan dengan rata-rata hari hujan 17 hari per bulan. Melihat curah hujan yang cukup tinggi maka pada perencanaan kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan air limbah domestik perlu diperhitungkan bagaimana agar saat hujan tidak terjadi luapan dari kolam kultivasi. Kota Padang sendiri dilewati garis khatulistiwa. Menurut Oswald (1988a) nilai solar radiation untuk daerah yang berada di khatulistiwa pada bulan Desember adalah 667 g.cal./cm².

Kota padang sendiri sampai saat ini belum memiliki pengolahan air limbah domestik secara komunal, air limbah domestik diolah sendiri oleh masyarakat dalam *septic tank*. Pengolahan air limbah domestik oleh pemerintah daerah berupa pelayanan penyedotan *septic tank* masyarakat. Air limbah ini kemudian diolah di instalasi pengolahan lumpur tinja di kecamatan nanggalo yang memiliki kapasitas pengolahan 61 m³/hari. Jika diasumsikan komposisi air limbah domestik Kota Padang sama dengan DKI Jakarta, maka air limbah tersebut dapat langsung digunakan.

Scale up ini direncanakan untuk satu kecamatan, kecamatan yang dipilih adalah kecamatan koto tangah karena kecamatan ini masih memiliki banyak lahan kosong.

Menurut data BPS kota Padang tahun 2003 kecamatan koto tangah memiliki lahan kosong yang masih berupa semak dan alang-alang seluas 12429 ha. Masih menurut data BPS kota Padang tahun 2003, jumlah penduduk kecamatan Koto Tangah adalah 141.638 jiwa.

Berdasarkan penelitian skala laboratorium, berat kering sel paling tinggi ditemukan pada jam ke 48 dengan nilai berat kering yaitu 0,64 g/l (640 mg/l) dengan konsentrasi lipid 57,03% berat kering sel. Produksi dalam skala besar (*scale up*) penelitian ini akan dibuat dengan menggunakan data yang telah didapatkan tersebut, waktu tinggal yang digunakan 48 jam (2 hari).

Berdasarkan data diatas dapat dicari efisiensi fotosintesis dari sistem ini. Efisiensi fotosintesis didapat dengan menggunakan rumus:

$$hCc = FS \theta \times 1000/d$$

h adalah nilai panas pembakaran dari alga. Nilai ini bervariasi, pada kultur alga yang kaya lipid nilai h adalah 7 cal/mg. Cc adalah konsentrasi alga dalam mg/l. F adalah efisiensi fotosintesis. S adalah solar energi dalam cal/cm²/hari. θ , waktu tinggal (hari) dan d adalah kedalaman dalam cm.

Berdasarkan rumus diatas dengan menggunakan nilai h sebesar 7 cal/mg, waktu tinggal 2 hari, solar energi 667 g.cal./cm², kedalaman 45 cm dan konsentrasi alga 640 mg/l. Maka nilai efisiensi fotosintesis dari sistem ini adalah 6,62%.

Produktivitas dari alga dalam sistem dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Pr = kdCc/\theta$$

Jika konsentrasi sel berada dalam mg/l maka nilai k adalah 0,01. Berdasarkan data yang ada maka produktivitas dari sistem ini adalah:

$$Pr = 0,01 \times 45 \times 640/2 = 144 \text{ g/m}^2/\text{hari}$$

Produktivitas 1 g/m²/hari setara dengan

$$1 \times 10000 \times 365/ 1000000 = 3,65 \text{ ton/ha/tahun}$$

Maka produktivitas alga per tahunnya adalah

$$144 \times 3,65 \text{ ton/ha/tahun} = 525,6 \text{ ton/ha/tahun}$$

Pada kenyataannya dalam kultur masal alga yang dilakukan diluar ruangan, produksi biomasa akan bergantung kepada laju fotosintesis mikroalga. Laju fotosintesis mikroalga diluar ruangan akan dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan tempatnya berada. Produksi skala lapangan dapat lebih besar atau lebih kecil dari skala lab, tergantung kepada fotosintesisnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi fotosintesis adalah cahaya, temperatur, oksigen, konsentasi karbondioksida, pengadukan, inhibitor dan kontaminasi.

Cahaya

Intensitas cahaya dapat diekspresikan dalam beberapa cara, dalam hubungan dengan fotosintesis, intensitas cahaya lebih baik diekspresikan sebagai irradian (radiasi kerapatan fluks energi cahaya, W/m^2), dalam hubungan dengan kerapatan fluks foton, yang mana adalah jumlah foton (jumlah dari cahaya) yang mencapai permukaan dari unit area per unit waktu. Kerapatan fluks foton fotosintetik (PPFD = *Photosynthetic photon flux density*) adalah jumlah foton dari PAR (Photosynthetically active radiation), yang mana rentang cahayanya berada dalam panjang gelombang 400-700 nm, yang mencapai 1 m^2 permukaan bumi per detik. Satuan dari PPFD adalah einsteins/ m^2 .detik (tapi biasanya $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$), yang mana satu einstein adalah $6,023 \times 10^{23}$ foton ($6,023 \times 10^{23}$ adalah bilangan avogadro). Energi (E, joules) dari satu einstei bergantung kepada panjang cahaya dari foton yang dapat digambarkan dalam rumus:

$$E = 6,023 \times 10^{23} (hc/\lambda) \quad (4.1)$$

Dimana:

- h = konstanta planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$)
- c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- λ = panjang gelombang cahaya

Sekali foton memasuki air kecepatannya berkurang oleh suatu faktor dari 1,33 (indeks refraktiv air). Bagaimanapun, Cahaya yang tersedia untuk fotosintesis di badan perairan (termasuk kultur alga) mencakup seluruh spektrum PAR yaitu 400-700 nm, dan energi dari satu einstein dari PAR didalam air adalah 0,24 MJ (Kirk, 1994; Mara, 2003, p 126-127).

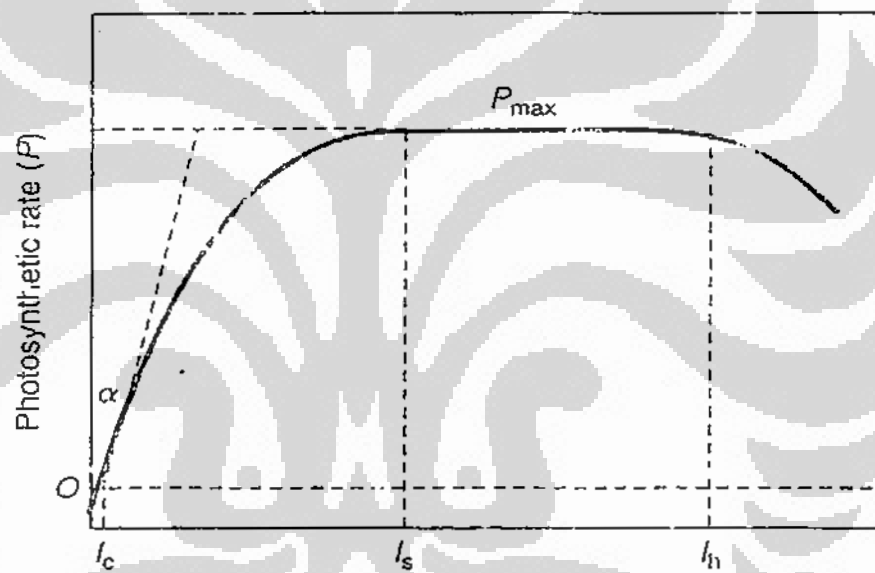
Pada kultur alga, jika seluruh kondisi pertumbuhan optimal dan kultur secara optikal tipis (kerapatan sel rendah), intensitas dari sumber cahaya tentunya menjadi penentu utama dari ketersediaan cahaya sel dan karenanya menjadi faktor utama yang mengontrol pertumbuhan. Pada kondisi ini, efek dari intensitas sumber cahaya pada fotosintesis alga dan pertumbuhan adalah gambaran dari kurva respon cahaya (Richmond, 2004, p. 126-127).

Cahaya sangat berpengaruh terhadap kultur alga. Ada perbedaan mendasar terkait cahaya antara kultur alga skala laboratorium dan diluar ruangan. Pada skala laboratorium intensitas cahaya yang digunakan berasal dari lampu yang dapat diatur intensitas cahayanya dan cahaya dapat diberikan sepanjang hari, cahaya dari lampu tentunya akan memakan energi listrik.

Pada percobaan laboratorium yang telah dilakukan intensitas cahaya yang diberikan pada kultur adalah 5000 lux dengan penyinaran secara konstan 24 jam. Pada kultur luar ruangan maka sumber cahaya utama adalah sinar matahari, cahaya dari sinar matahari tidak dapat diatur 24 jam, matahari bersina paling lama 12 jam dengan intensitas cahaya yang berfluktuatif dengan kisaran 2.500 – 9000 lux, pada saat malam kultur alga luar ruang tidak akan mendapat cahaya. Pada kultur luar ruangan alga akan terekspos pada siklus terang gelap, yang mana akan mempengaruhi mekanisme fotosintesis dan produk yang dihasilkannya.

Fogg (1980, p. 32) menyatakan aktifitas fotosintesis lebih sedikit pada waktu sore hari daripada pagi hari. Pada daerah tropik sering dijumpai tingkat fotosintesis di malam hari hanya sepersepuluh dari sampel yang sama yang diambil di pagi hari. Penyebab dari

variasi ini belum secara jelas diketahui. Pada siang hari nutrisi digunakan, produk sisa terakumulasi dan efek fotoinhibisi meningkat. Semua hal ini mungkin berkontribusi, namun kemungkinan penyebab lainnya adalah pada kondisi alami pembelahan sel menjadi sinkron dengan besarnya dan biasanya berlangsung pada malam hari. Hasilnya adalah populasi pada pagi hari memiliki lebih banyak sel muda, sel aktif fotosintesis, sedangkan populasi sore memiliki sel yang lebih matang, sel yang kurang aktif berfotosintesis



Sumber: Richmond, 2004

Gambar 4.8. Gambar Kurva Respon Cahaya Fotosintesis (kurva P)

Pada kultur masal, mikroalga yang berada pada 5-20 mm dari cahaya akan menjadi jenuh cahaya, sedangkan sisanya 90-95% dari kultur akan mengalami kekurangan cahaya. Pemecahan masalah ini masih terus dilakukan, ini adalah tantangan utama untuk memaksimalkan produktivitas dari kultur alga secara masal (William dan laurens, 2010 p. 572).

Temperatur

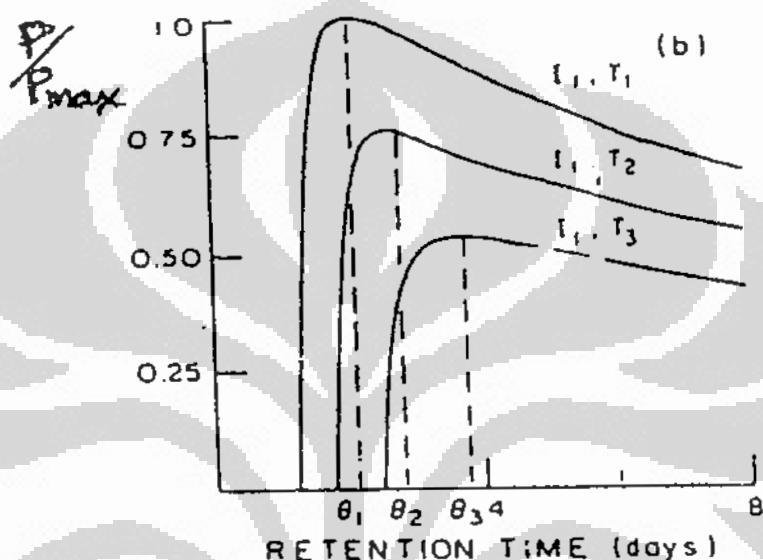
Laju fotosintesis alga selain dipengaruhi oleh intensitas cahaya juga akan dipengaruhi oleh temperatur. Pada kultur laboratorium temperatur selama kultivasi tidak akan banyak mengalami fluktuasi temperatur selama kultivasi di laboratorium berkisar 26-27°C. Pada masing-masing perlakuan temperatur harian tidak mengalami fluktuasi yang tajam. Pada skala lapangan temperatur akan memiliki variasi yang lebih besar karena adanya variasi musim maupun karena pengaruh radiasi cahaya matahari. Pada siang hari, saat matahari bersinar terik temperatur dapat mencapai diatas 30°C, pada saat malam hari temperatur akan lebih rendah.

Temperatur memiliki pengaruh yang berbeda, laju fotosintesis meningkat dua kali lipat setiap kenaikan temperatur 10°C bergantung kepada ambang batas toleransi mikroalga (DeNicola, 1996; Dodds, 2002, p. 218). Diatas batas toleransi, peningkatan temperatur lebih jauh akan membahayakan organisme fotosintetik dan menurunkan laju fotosintesis, pada akhirnya, peningkatan temperatur yang sangat besar akan membunuh mikroalga (Dodds, 2002, p. 218). Pengaruh utama suhu dalam fotosintesis menurut Azov (1982); Moersidik (1988) terjadi pada awal fotosintesis dan ketika waktu optimum pada nilai produksi alga tertinggi.

Temperatur dan cahaya memiliki suatu interaksi yang kuat dalam menentukan laju fotosintesis. Sorokin dan Krauss (1962); Richmond (2004) mengamati pengaruh ini pada *Chlorella*, peningkatan temperatur mempengaruhi peningkatan dalam kejenuhan intensitas cahaya untuk fotosintesis. Masing-masing temperatur memiliki intensitas cahaya spesifik dimana laju fotosintesis maksimum (P_{max}) akan dicapai. Pada intensitas cahaya terendah yang digunakan ($42 \mu m^{-2}s^{-1}$), P_{max} dicapai pada 15°C.

Pada tingkat cahaya rendah, temperatur secara drastis akan menurunkan laju fotosintesis. Pada intensitas cahaya yang lebih tinggi laju fotosintesis akan meningkat dengan peningkatan temperatur dan pada temperatur optimum laju fotosintesis meningkat dengan peningkatan cahaya. Ketika suhu rendah, waktu tinggal yang

dibutuhkan akan panjang, sehingga memungkinkan untuk produksi alga mulai berjalan. Sebaliknya, waktu tinggal akan singkat pada suhu tinggi (Moersidik, 1988, p. 16).



Sumber: Moersidik (1988)

Gambar 4.9. Produksi Alga Relatif Berdasarkan Waktu Tinggal pada Suhu yang Berbeda

Keterangan:

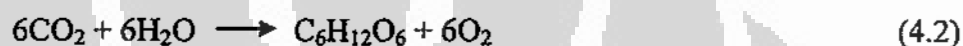
- P = Produksi alga relatif
- I = $0,9 \text{ kal/cm}^2/\text{menit}$
- T1 = 28°C
- T2 = 19°C
- T3 = 10°C

Pada kultur masal mikroalga radiasi yang datang memiliki memiliki efek harian terhadap temperatur dari kultur. Pada siang hari terjadi peningkatan temperatur $10\text{-}25^\circ\text{C}$. Pada kultur di kolam yang dangkal, terdapat pencegah efek dari temperatur yaitu pendinginan evaporativ. Evaporativ akan berkurang dari daerah dengan latitud medium ke daerah dengan latitud rendah sebesar 2vm per tahun. Pada kolam *raceway* dengan

kedalaman 150 mm potensi pendinginan secara umum adalah 20°C per hari. Hal ini akan memberikan penurunan metabolik hampir 4 *fold* dan kemungkinan perubahan rasio fotosintesis/respirasi (Williams dan Laurens, 2010 p. 573).

Oksigen

Oksigen adalah hasil sampingan dari fotosintesis. Pada proses fotosintesis karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen, seperti yang dapat dilihat dalam persamaan berikut ini:



Pada siang hari, ketika matahari bersinar terang, pelepasan oksigen oleh proses fotosintesis yang berlangsung intensif pada lapisan eufotik lebih besar daripada oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi. Kadar oksigen terlarut dapat melebihi kadar oksigen jenuh (saturasi) sehingga perairan mengalami supersaturasi (Jeffries dan Mills, 1996; Effendi, 2003).

Konsentrasi oksigen pada rentang kejenuhan 400% (2 mM) akan menghentikan fotosintesis. Umumnya tingkat fotosintesis pada kultur masal (700 g berat kering m⁻³ d⁻¹) menghasilkan produksi oksigen sebanyak 30 mol m⁻³ d⁻¹ atau peningkatan konsentrasi oksigen sebanyak 30 mM selama siang hari. Ada efek kombinasi antara temperatur dan oksigen, penurunan temperatur dari 35°C ke 25°C, diiringi dengan peningkatan konsentrasi oksigen dari 0,69 mM ke 1,9 mM, menyebabkan penurunan tingkat fotosintesis sebesar 60% (Williams dan Laurens, 2010 p. 574).

Karbondioksida

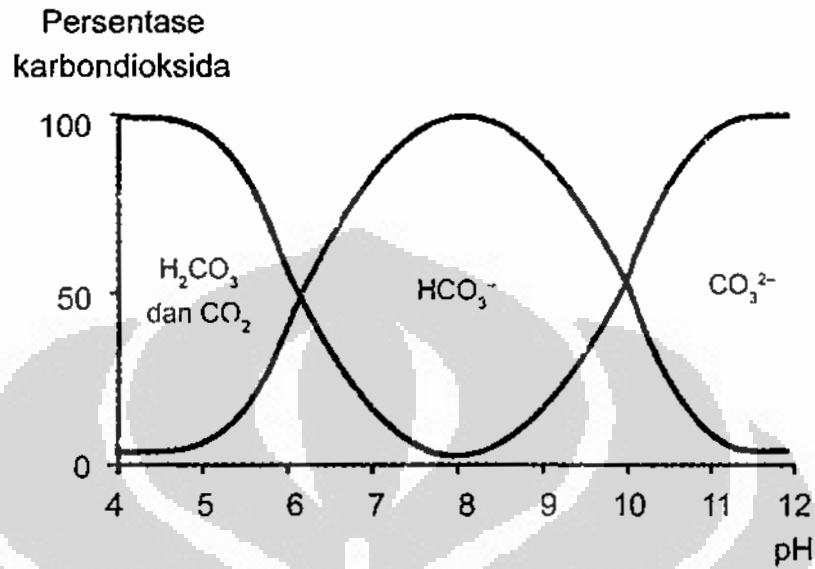
Faktor lain yang berpengaruh adalah karbon dioksida. Karbondioksida dalam kultur alga berasal dari karbondioksida dari udara atau karbondioksida murni yang ditambahkan kedalam kultur atau dapat pula berasal dari karbon dioksida buangan pabrik. Apabila air limbah yang dijadikan sebagai medium, maka karbondioksida dapat pula berasal dari pemecahan bahan organik oleh bakteri. Karbondioksida yang banyak ditemukan dalam perairan adalah produk pemecahan bahan organik oleh bakteri.

Bahkan alga, yang menggunakan CO₂ dalam fotosintesisnya, memproduksi CO₂ melalui proses metaboliknya saat tidak ada cahaya (Manahan, 1994, p. 53).

Ketika karbondioksida terlarut dalam air, ia akan berada dalam berbagai bentuk, tergantung dengan pH. Bentuk- bentuk tersebut adalah karbon dioksida, asam karbonat, bikarbonat dan karbonat. Gabungan semua bentuk ini adalah konsentrasi dari inorganik karbon dan dilambangkan sebagai ΣCO₂. Pada kebanyakan kondisi dalam sistem akuatik, CO₂ dengan cepat berubah menjadi asam karbonat. Konversi kimia dari bentuk-bentuk ini disebut sebagai *bicarbonate equilibrium*. Pemahaman rangkaian reaksi kimia ini perlu dilakukan untuk memahami bagaimana ekosistem akuatik buffer melawan perubahan pH dan bagaimana CO₂ menjadi tersedia untuk fotosintesis (Butler, 1991; Dodds, 2002, p. 232). *Bicarbonate equilibrium* dapat diuraikan dalam persamaan berikut ini:

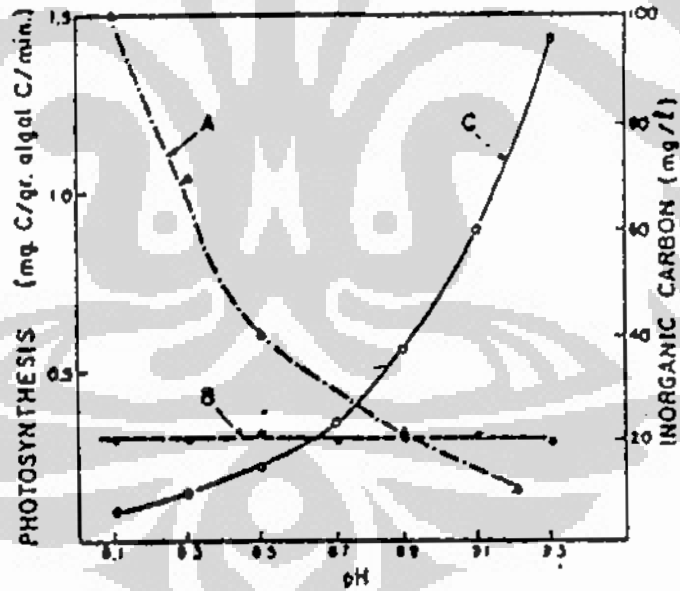


Pada dasarnya keberadaan karbondioksida dalam air terdapat dalam bentuk gas karbondioksida bebas (CO₂), ion bikarbonat (HCO₃⁻), ion karbonat (CO₃²⁻) dan asam karbonat (H₂CO₃) (Boney, 1989; Cole, 1988; Effendi, 2003). Proporsi dari keempat bentuk karbon tersebut dapat dilihat dalam gambar 4.11. Jika pH turun hingga 4,3, kesetimbangan bergeser ke kiri, tidak ditemukan ion bikarbonat. Jika pH meningkat lagi maka kesetimbangan bergeser ke kanan, kadar CO₂ dan H₂CO₃ mulai berkurang, digantikan dengan ion HCO₃²⁻ yang merupakan hasil disosiasi H₂CO₃. Pada pH 8,3 CO₂ dan H₂CO₃ tidak ditemukan lagi, hanya terdapat ion HCO₃²⁻. Bila dikaitkan dengan pH, penyerapan CO₂ diudara terjadi pada kondisi pH tertentu. Azov dan Shelef (1987); Moersidik (1988) mengemukakan bahwa pH memiliki pengaruh langsung yang disebut "pengaruh minor", namun yang paling penting adalah pengaruh tidak langsung yang menentukan rasio karbonat serta penguraian nitrogen dalam kolom air. Pertumbuhan alga dipengaruhi oleh pH dengan menentukan konsentrasi CO₂ bebas dalam air, dalam hal ini menentukan karbon anorganik terlarut dalam air untuk fotosintesis (p. 10-11).



Sumber: Willoughby, 1978; Effendi, 2003

Gambar 4.10. Konsentrasi Relative dari Senyawa Inorganik yang Terlibat dalam *Bicarbonate Equilibrium* sebagai Fungsi dari pH



Sumber: Moersidik, 1988

Gambar 4.11. Gambar Pengaruh pH dan Karbon Anorganik dalam Fotosintesis

Oswald *et al.*, (1953); Goldman *et al.*, (1978); Azov *et al.*, (1982); Moersidik (1988) menyatakan sinar matahari dan suhu adalah faktor-faktor yang terbatas, dengan

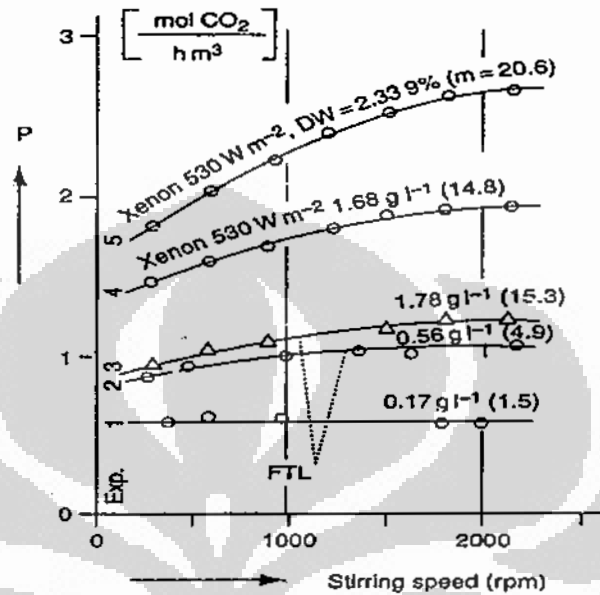
Universitas Indonesia

demikian keterbatasan karbon akan mungkin terjadi. Bila konsentrasinya melampaui 300 mg/l (dinyatakan dalam DBO_5), karbon tidak akan menjadi faktor yang terbatas bagi alga (p. 10).

Pengadukan

Pengadukan adalah faktor lain yang mempengaruhi produksi mikroalga dalam *pond* terbuka. Pengadukan akan mencegah alga mengendap dan mencegah terjadinya stratifikasi suhu dan oksigen dalam *pond*. Pengalaman menunjukkan *pond* dengan pengadukan yang tepat akan menunjukkan produktivitas yang tinggi dan kultur yang stabil (Richmond dan Vonshak, 1978; Laws *et al*, 1983; Richmond, 1986; Boscha *et al*, 1991 dalam Borowitzka, 2005 p. 208). Pada kultur *raceway* kecepatan 5 cm/detik sudah cukup untuk menghindari terjadinya stratifikasi suhu dan menjaga alga agar tetap dalam suspensi. Sayangnya, kecepatan yang rendah tersebut sulit untuk dibuat dalam *pond* berskala besar. Pada kenyataannya, laju kecepatan yang digunakan sebesar 20-30 cm/detik (Borowitzka, 2005, p.208).

Suatu pengetahuan yang berguna tentang pengaruh mixing terhadap kultur ditunjukkan oleh Markl (1980); Richmond (2004), yang menemukan bahwa aktifitas fotosintesis dari kultur *Chlorella* pada densitas sel yang berbeda diukur sebagai fungsi kecepatan pengadukan. Pada kerapatan populasi yang rendah 0,17 g/l, tidak terdapat gradien cahaya pada kultur dan pengadukan tidak memberikan efek terhadap laju fotosintesis. Saat kerapatan sel menjadi lebih tinggi, peningkatan kecepatan pengadukan secara signifikan meningkatkan fotosintesis. Pada penelitian dengan kerapatan sel yang sangat tinggi, 2,33 g/l, menghasilkan gradien cahaya yang sangat tinggi pada kultur, pengadukan meningkatkan laju fotosintesis hampir 50% (Gambar 4.13) (p. 134-135).



Sumber: Markl (1980); Richmond (2004)

Gambar 4.12. Gambar Laju Reaksi Fotosintesis Bersih dari *Chlorella vulgaris* pada Kondisi Optimal, Sebagai Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Inhibitor

Inhibitor bagi fotosintesis alga dapat berupa zat yang dihasilkan oleh makhluk hidup maupun senyawa kimia yang berasal dari lingkungannya. Temperatur, cahaya dan oksigen pada besaran tertentu dapat menjadi inhibitor untuk pertumbuhan alga. Pada alga yang dibiakkan dengan menggunakan limbah domestik ada senyawa lain yang harus diperhatikan keberadaannya karena dapat membahayakan pertumbuhan alga.

1. Metabolit sekunder

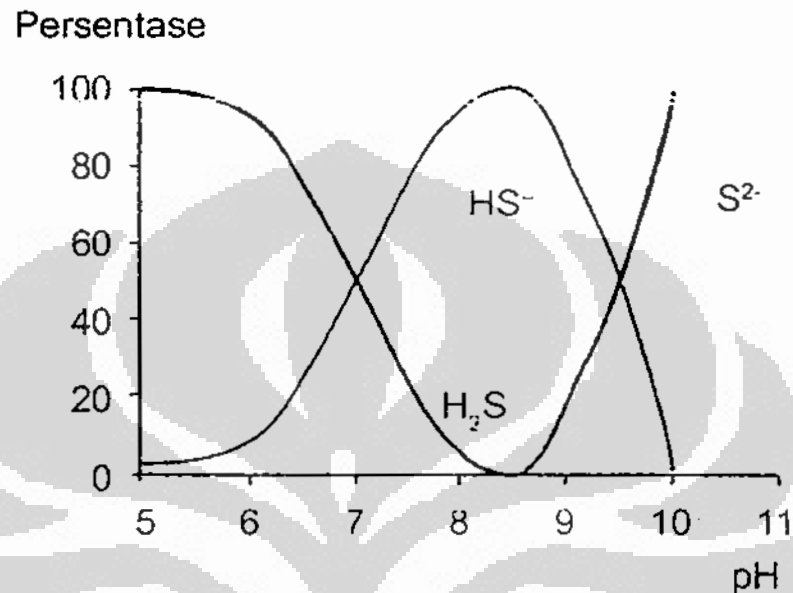
Pada saat kultur memiliki kepadatan yang tinggi, alga akan memproduksi metabolit skunder yang dapat menghalangi pertumbuhannya sendiri. Pratt dan Fong (1940); Richmond (2004) menyatakan bahwa pertumbuhan *Chlorella vulgaris* mengalami penurunan karena produk metabolit sekunder yang dieksresikannya ke lingkungan, yang disebut chlorellin (p. 143).

2. Toksisitas amonia

Konsentrasi amonia bebas yang tinggi dapat menghambat fotosintesis dengan menngganggu fungsi kloroplas sel alga (Azov dan Goldman, 1982; Abeliovich dan Vanshok, 1993; Craggs, 2005, p. 82). Konsentrasi penghambatan dari amoniak nitrogen berhubungan dengan pH dan temperatur yang mana keduanya akan mempengaruhi konsentrasi amonia bebas didalam air. Konsentrasi amoniak nitrogen 36 g/m^3 dapat menurunkan pertumbuhan alga, jika pH meningkat di atas 8, dan dapat menurunkan fotosintesis alga sebesar 50% pada pH 9,5 ($t = 20\text{-}25^\circ\text{C}$) (Azov dan Goldman, 1982; Voerstra *et al.*, 1995; Craggs, 2005, p. 82). Pada *pond* yang memiliki konsentrasi amoniak nitrogen yang tinggi, fotosintesis alga akan tetap berlangsung sampai konsentrasi NH_3 meningkat sampai pada level sebagai penghambat pertumbuhan sebagai hasil peningkatan pH air, dan temperatur. Bagaimana efek penghambatan ini secara alami dapat menjadi seimbang kembali, karena respirasi mikroba akan meningkatkan konsentrasi CO_2 , yang mana akan menurunkan pH dan menurunkan konsentrasi NH_3

3. Toksisitas *hydrogen sulfid*

Alga lebih sensitiv terhadap hidrogen sulfid terlarut daripada amonia bebas. Senyawa H_2S yang tidak terionisasi sangat toksik terhadap alga di dalam *pond*, jumlah dari total sulfid yang terdapat sebagai gas H_2S terlarut meningkat sebagaimana penurunan pH terjadi (Mara, 2003, p. 128). H_2S terlarut dengan cepat melewati membran sel untuk menyerang aparatus fotosintesis; karenanya pertumbuhan alga dan produksi oksigen oleh alga terhambat. Toksisitas ini akan meningkat seiring dengan penurunan pH (Mara, 2003, p. 128). Pada $\text{pH} < 6$ hampir seluruh sulfid berada dalam bentuk gas H_2S , dan saat $\text{pH} > 9$, kebanyakan sulfid akan berada dalam bentuk ion (HS^- dan S_2^-) (Pearson *et al.*, 1987; Veenstra *et al.*, 1995; Craggs, 2005, p. 83)



Sumber: Sawyer dan McCarty, 1978; Effendi, 2003

Gambar. 4. 13. Hubungan antara H₂S, HS⁻, dan S²⁻ pada Berbagai Nilai pH

Percobaan yang dilakukan oleh Pearson *et al.*, (1987b) terhadap empat jenis alga (*Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Euglena*, dan *Scenedesmus*) menunjukkan bahwa fotosintesis menjadi terhalangi oleh 50% oleh H₂S dalam jumlah yang sangat sedikit, yang mana konsentrasinya bervariasi untuk tiap alga. *Chlamydomonas* (45 μM), *Chlorella* (30 μM), *Scenedesmus* (22 μM) dan *Euglena* (10 μM) (1 μM H₂S = 34 μM H₂S/l) (Mara, 2003 p. 128).

4. Garam-garam mineral

Garam-garam mineral dalam jumlah yang sangat sedikit diperlukan oleh mikroalga untuk pertumbuhannya, namun dalam jumlah banyak garam-garam mineral ini akan menjadi toksik untuk alga. Garam-garam mineral yang dimaksud adalah B, Cl, Co, Cu, Fe, Mo, Mn, Na, Si, V, Zn.

Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi ini dihitung secara makro, berdasarkan produktivitas yang dihasilkan oleh mikroalga *C. vulgaris* maka dapat dihitung banyaknya total lipid yang dihasilkan dan juga perkiraan besarnya biodiesel yang akan dihasilkan dari sistem ini. Berdasarkan penelitian skala laboratorium, persentase total lipid tertinggi adalah sebesar 57,03% dari berat kering. Nilai ini cukup tinggi dan dalam skala industri memungkinkan untuk memperoleh keuntungan.

Jumlah total lipid yang dihasilkan dari *C. vulgaris* dengan kandungan total lipid 57,03% dari berat kering adalah sebesar 299,7 ton/ha/tahun. Kandungan biodiesel biasanya 70% dari total lipid yang dihasilkan yaitu sebesar 209,79 ton/ha/tahun. Selain dari penjualan biodiesel keuntungan lain yang dapat diperoleh dari kultivasi mikroalga adalah penjualan protein. Protein dari biomasa yang tersisa setelah produksi biodiesel dapat dijual untuk pakan ternak. Selain penjualan protein, keuntungan lain dapat juga diperoleh dari produksi metan melalui proses anaerob, dengan syarat biomasa sisa produksi biodiesel tidak dijual sebagai pakan ternak. Metan yang dihasilkan dapat dirubah menjadi energi listrik. Menurut Slesser dan Lewis (1979) enam puluh persen dari kandungan energi yang dimiliki alga dapat menjadi metan (p. 102).

Selain keuntungan, proses produksi biodiesel juga akan mengeluarkan biaya. Biaya-biaya yang perlu dipertimbangkan sebagai pengeluaran dalam produksi biodiesel adalah biaya kapital dan biaya produksi. Biaya kapital yang harus dipertimbangkan adalah biaya lahan, biaya pembangunan *site*, biaya untuk pembelian alat-alat kultur, biaya untuk pembelian alat-alat untuk proses pemanenan dan ekstraksi. Pengeluaran yang termasuk kedalam biaya produksi adalah upah pekerja, biaya listrik, biaya produksi metan melalui proses anaerob, biaya untuk proses pemanenan dan ekstraksi biodiesel. Biaya untuk listrik dapat dikurangi dengan menggunakan listrik yang dihasilkan dari proses produksi metan pada proses anaerob. Bahkan jika listrik yang dihasilkan lebih besar dari yang dibutuhkan, sisa listrik yang berlebih dapat dijual dan menghasilkan keuntungan.

Aspek Sosial

Aspek sosial yang perlu dipertimbangkan jika sistem ini diterapkan dalam suatu komunitas masyarakat adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan sosialisasi kepada masyarakat tentang keberadaan sistem
Jika tidak dilakukan suatu sosialisasi dari permulaan akan dilakukan pembangunan untuk kultivasi alga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah dikhawatirkan akan terjadi penolakan dari masyarakat. Penolakan dapat terjadi karena adanya persepsi akan timbulnya bau dari air limbah.
2. Mengikutsertakan masyarakat pada perawatan sistem ini sehingga masyarakat akan memiliki keinginan untuk merawat sistem.

Salah satu contohnya adalah menerima masyarakat untuk bekerja dalam lingkungan sistem tersebut seperti menerima anggota masyarakat untuk bekerja di dalam sistem yang dibangun.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

5.1.1. Kesimpulan umum

Kesimpulan umum yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pengolahan limbah berbasis mikroalga mampu mengatasi pencemaran perairan yang diakibatkan oleh limbah domestik terutama nitrogen amonia

5.1.2. Kesimpulan khusus

1. Pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l, konsentrasi amonia nitrogen dalam 48 jam menurun dari 13,1 mg/l menjadi 1,75 mg/l, dengan persentase penurunan 86,6%. Pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l dalam 48 jam konsentrasi amonia nitrogen menurun dari 4,7 mg/l menjadi 1,6 mg/l dengan persentase penurunan 65,9%. Pengukuran amonia nitrogen pada jam ke 96 menunjukkan bahwa pada perlakuan yang menggunakan amonia awal 13,1 mg/l masih mengalami penurunan kandungan amonia nitrogen yaitu menjadi 1,74 mg/l, sedangkan pada perlakuan dengan konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l, terjadi peningkatan nilai amonia yaitu menjadi 1,78 mg/l. Walaupun terjadi peningkatan nilai amonia pada perlakuan dengan konsentrasi awal amonia nitrogen 4,7 mg/l, nilai ini masih berada jauh dibawah baku mutu yang ditetapkan pemerintah DKI Jakarta yaitu 10 mg/l.
2. Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* lebih baik pada limbah domestik dengan kandungan amonia awal 4,7 mg/l daripada limbah domestik dengan kandungan amonia awal 13,1 mg/l.

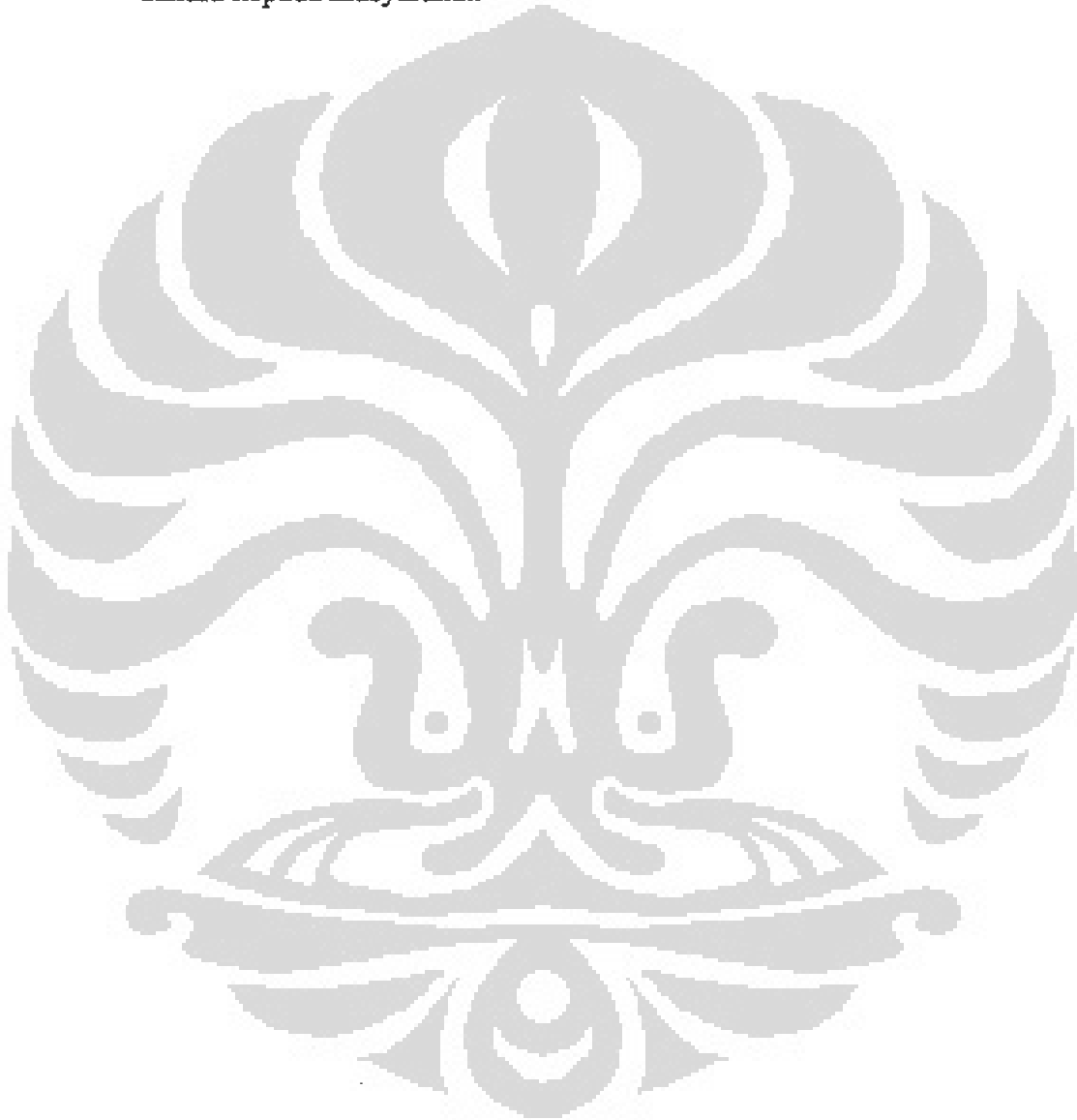
3. Kandungan total lipid paling tinggi untuk kontrol maupun *C. vulgaris* yang dibiakkan dalam limbah domestik ditemukan pada jam ke 48. Total lipid paling tinggi didapatkan pada limbah dengan konsentrasi amoniak awal 4,7 mg/l dengan nilai 57,03%, sedangkan untuk *C. vulgaris* dengan konsentrasi amoniak awal 13,1 mg/l total lipid yang dihasilkan adalah 56,18%. Kontrol yang dibiakkan dalam medium Beneck memiliki total lipid sebesar 48,75 %.
4. Perhitungan *scale up* yang dilakukan menunjukkan bahwa produktivita biomasa yang dihasilkan dalam setahun adalah 525, 6 ton/ha/tahun. Kandungan total lipid yang dihasilkan yaitu 299,7 ton/ha/tahun, sedangkan kandungan biodieselnnya yaitu 209,79 ton/ha/tahun

5.2. Saran

Saran-saran yang dapat penulis berikan sehubungan dengan tesis ini adalah:

1. Sebelum melakukan kultivasi mikroalga yang terintegrasi dengan pengolahan limbah, limbah yang akan digunakan harus diperiksa terlebih dahulu konsentrasinya, sehingga kematian mikroalga akibat kekurangan nutrisi atau karena adanya zat toksik tidak terjadi. Jika limbah memiliki konsentrasi yang tinggi maka perlu dilakukan pengolahan awal
2. Sebelum membuat biakan murni perlu dilihat terlebih dahulu dibawah mikroskop apakah ada alga lain dalam bibit yang akan digunakan. Kontaminasi oleh alga lain dapat menurunkan pertumbuhan *Chlorella vulgaris*, bahkan alga pengkontaminan dapat menjadi lebih dominan.
3. Aerasi yang diberikan harus tepat, aerasi yang terlalu besar dapat menjadi inhibitor dalam pertumbuhan alga.

4. Perlu penelitian lebih lanjut tentang ketahanan *C. vulgaris* terhadap limbah domestik, dengan menggunakan kerapatan alga awal yang rendah.
5. Sebelum sistem diterapkan pada masyarakat harus dilakukan sosialisasi terlebih dahulu kepada masyarakat.



DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abeliovich, A dan Y. Azov. Toxicity of Ammonia to Algae in sewage oxidation ponds. *Applied and environmental microbiology* 31:6(1976):801-806.
- Agrawal, S.C. dan Manisha. Growth, survival, and Reproduction in *Chlorella vulgaris* and *Chlorella variegata* with Respect to Culture Age and Under Different Chemical Factor. *Folia Microbiol* 52:4:(2007): 399-406.
- Borowitzka, M.A. (2005). *Culturing Microalgae in Outdoor Ponds*. Ed. Robert Arthur Andersen. Algal Culturing Techniques. Academic Press. 205-218.
- BPPT. (2010, 22 Januari 2010). Strategi pengelolaan limbah domestik di provinsi DKI Jakarta. 1 September 2010. <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuAirLimbahDomestikDKI/BAB2STRATEGI.pdf>.
- Bold, H.C. dan M.J. Wynne. *Introduction to The Algae Structure and Reproduction*. India: Prentice Hall
- Budihardjo. (2001). *Proses Biologis dalam Pengolahan Limbah Industri dan domestik*. Universitas Trisakti.
- Campbell, M.N.. Biodiesel: Algae as A Renewable Source for Liquid Fuel. *Guelph engineering journal* 1:(2008):2-7.
- Chalik, A.A. (2004, 10 Maret). Evaluasi Pembangunan Prasarana dan Sarana Air Limbah Domestik di Indonesia. 1 September 2010. http://rudyc.com/PPS702ipb/08234/aa_chalik.htm.
- Chisti, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances* 25: (2007): 294-306.
- Craggs, D. (2005). *Nutrients*. Ed. Andy N. Shilton. Pond Treatment Technology. London: IWA Publishing. 2005, 77-95.
- Davis, M.L dan D.A. Cornwell. (1998). *Introduction to environmental engineering*. (3 rd ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Dodds, W.K. (2002). *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. California: Academic Press.

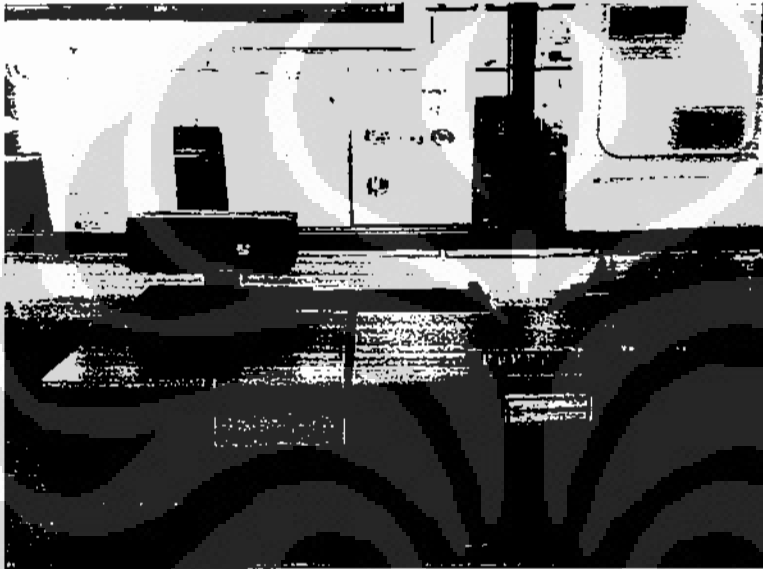
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius
- Fogg, G.E. (1980). *Phytoplanktonic Primary Production*. Ed. RS K Barnes/KH Mann. *Fundamentals of Aquatic Ecosystem*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1980. 24-45
- Graham L.E. dan Wilcox L.W. (2000). *Algae*. New Jersey: Prentice-Hall
- Grobbelaar, J.U. (2004). *Algal Nutrition: Mineral Nutrition*. Ed. Amos Richmond, A. *Handbook of microalgal culture, Biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell publishing, 2007. 97-115.
- Hendrawan, D. Kualitas air sungai dan situ di DKI Jakarta. *Makara Teknologi* 9:1(2005):13-19.
- Hossain, S. Dan A. Salleh. Biodiesel Fuel Production from Algae as Renewable Energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 4:3(2008): 250-254.
- Hu, Q. (2004). *Environmental effects on cell composition*. Ed. Amos Richmond, A. *Handbook of microalgal culture, Biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell publishing, 2007. 83-93.
- Isnansetyo, A dan Kurniastuty. (1995). *Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton*. Yogyakarta: Kanisius
- Kusnoputranto, H. (1997). *Toksikologi lingkungan*. Unpublish.
- Krisanti, M. (2003). *Peran Zeolit Sebagai Substrat dan Penyedia Unsur Hara Bagi Mikroalga*. Tesis. IPB Bogor.
- Kryder, L.R. (2007, November 2007). *Microalgae for Wastewater Treatment and Reuse*. 31 Maret 2010. C:\inetpub\wwwroot\LCLC10\wwwroot\docs\MicroalgaeForWastewaterTreatmentAndReuse(1).doc
- Larsdotter, K. (2006). *Wastewater Treatment with Microalgae-A Literature Review*. *Vatten* 62: 31-38.
- Li, Y., M. Horsman, B. Wang, dan N. Wu., dan C.Q. Lan. Effect of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Appl. Microbiol biotechnol* 81:(2008):629-636.
- Londa, T.K. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Pertumbuhan Alga Pada Kolam Oksidasi Arus Deras. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan* 23: (2003):4: 261-272.

- Manahan, S.E. (1994). *Environmental Chemistry* (6 Ed). Boca Raton: Lewis Publisher.
- Mara, D. (2003). *Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries*. London: Earthscan Publisher
- Metcalf dan Eddy. (2002). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Boston: McGraw-Hill.
- Moersidik, S.S. (1988). Suivi De L'Evolution Des Parameters Physico-Chimiques Et De La Chlorophille Dans Des Pilotes De Lagunage A Haut Rendement De Differentes Tailles Et De Differentes Profondeurs. Thesis.
- Oswald, W.J., H.B. Gotaas. H.F. Ludwig dan V. Lynch. Algae Symbiosis in Oxidation Pond: Photosynthetic Oxygenation. *Sewage and Industrial Wastewater* 25:(1953):6: 692-704
- Piccolo, T. (2008, May 2008). Aquatic Biofuels. 31 Maret 2010. http://km.fao.org/fileadmin/user_upload/fsn/docs/Microsoft%20Word%20%20Aquaticbiofuels.pdf
- Rahardjo, D. (2008, 24 Juli 2008). Mikroalga Sumber Energi Alternatif Masa Depan. 16 November 2010. <http://c-tinemu.blogspot.com/2008/07/mikroalga-sumber-energi-alternatif-masa.html>
- Reed, R.H. (1990). Solute Accumulation and Osmotic Adjustment. Ed. Kathleen M. Cole dan Robert G. Sheath. *Biology of The Red Algae*. New York: Cambridge University Press, 1990: 146-170
- Rheinheimer. (1976). *Aquatic Microbiology*. London: John Wiley and Sons.
- Richardson, B., D.M. Orcutt, H.A. Schwertner, C.L. Martinez, dan H.E. Wickline. Effect of nitrogen limitation on the growth and composition of unicellular algae in continuous culture. *Applied microbiology* 1969: 245-250.
- Roswall, T. (1981). *The Biogeochemical Nitrogen Cycle*. Ed. Gene E Likens. Some Perspectives of The Major Biogeochemical Cycles. Chinchester: John Wiley & Sons. 1981, 25-49.
- Schulz, T. (2006. December 2006). The Economics of Microalgae Production and Processing Into Biodiesel. 31 Maret 2010. http://www.climatebabes.com/documents/Algae_biodieselTSDec06.pdf
- Setiyono, R. Kartikasari, M.R. Djuwita, dan M. Mardalina. (2005). *Pedoman Penanggulangan Limbah Cair Domestik dan Tinja*. Kementrian negara lingkungan hidup.
- Sreesai, S dan P. Pakpain. Nutrient Recycling by *Chlorella vulgaris* from Septage Effluent of The Bangkok City Thailand. *Science Asia* 33: (2007): 293-299.

- Strauss, M, S.A. Larmie, U. Heinss, A. Montenegro. (2001). Treating Fecal Sludge in Pond. 2 November 2010. http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publication_ewm/treating_Fs_in_ponds_Strauss_IWA.pdf
- Sugiharto. (1987). *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: UI Press
- Suparman dan Suparmin. (2001). *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. Jakarta: EGC.
- Tam, N.F.Y and Y.S. Wong. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and Nitrogen removal from media. *Bioresource technology* 57: (1996):1. 45-50.
- Tedesco, M.A. dan E.O. Duerr. Light, temperature and nitrogen starvation effect on the total lipid and fatty acid content and composition of *Spirulina platensis* UTEX 1928. *Journal of applied phycology* 1: (1989): 201-209.
- Waniliesta, M.P. dan W.W. Eckenfelder Jr. (1978). *Advance in wastewater treatment. Biological nutrient removal*. Michigan: Ann Arbor Science Publisher Inc.
- Watanabe, K.N et al. Symbiotic Association in Chlorella Culture. *FEMS Microbiology Ecology* 51:(2005): 187-196
- Williams, P.J.le B dan L.V.M.L. Laurens. Microalgae as Biodiesel & Biomass Feedstocks: Review & Analysis of The Biochemistry, Energitics & Economics. *Journal Energy and Environmental Science* 3: (2010): 554-589
- Winkler. (1981). *Biological Treatment of Wastewater*. Newyork: Ellis Harwood Limited.
- Yakin,A. (1997). *Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan: Teori dan Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan*. Jakarta: Akademika Presindo
- Zainuddin, R. (1996). *Persepsi Masyarakat Terhadap Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan*. Thesis

LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Alat Penelitian



Spektrofotometer



Reaktor


Lampiran 2. Foto Uji Kandungan yang dilakukan



Uji Klorofil



Uji Lipid



Uji Biomas

Lampiran 3. Uji ANOVA satu arah

Oneway

Descriptives

lipid

| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|-------------|----|---------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| | | | | | kontrol | 5 | | |
| perlakuan 1 | 5 | 37,0060 | 14,94902 | 6,68540 | 18,4443 | 55,5677 | 15,00 | 56,18 |
| perlakuan 2 | 5 | 47,0240 | 9,24758 | 4,13564 | 35,5416 | 58,5064 | 33,33 | 57,03 |
| Total | 15 | 39,1840 | 12,68930 | 3,27636 | 32,1569 | 46,2111 | 15,00 | 57,03 |

Test of Homogeneity of Variances

lipid

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|------|
| ,226 | 2 | 12 | ,801 |

ANOVA

Lipid

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 491,338 | 2 | 245,669 | 1,672 | ,229 |
| Within Groups | 1762,919 | 12 | 146,910 | | |
| Total | 2254,257 | 14 | | | |

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

Lipid

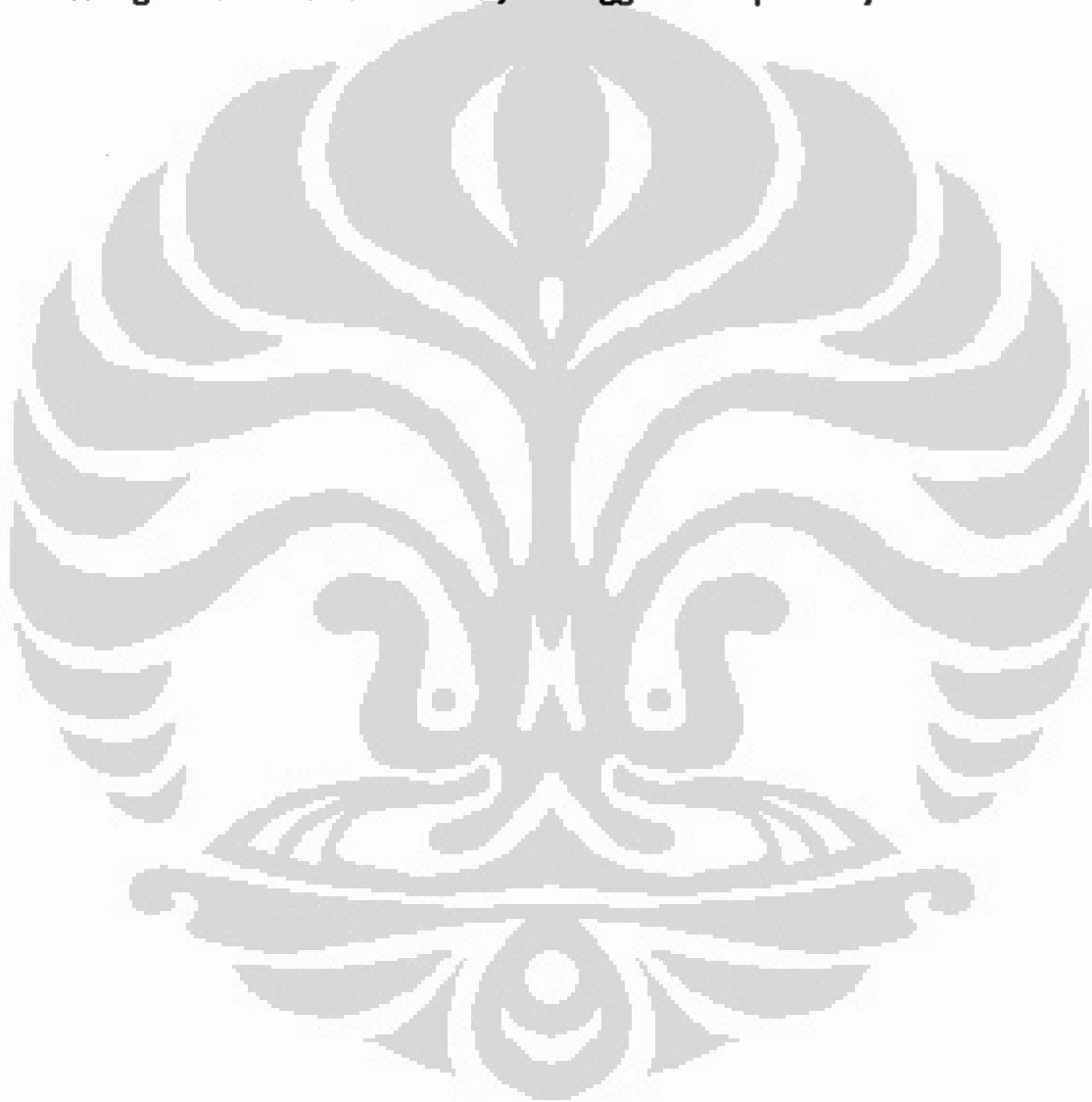
Duncan^a

| perlakuan | N | Subset for alpha = 0.05 |
|-------------|---|-------------------------|
| | | 1 |
| kontrol | 5 | 33,5220 |
| perlakuan 1 | 5 | 37,0060 |
| perlakuan 2 | 5 | 47,0240 |
| Sig. | | ,119 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

Hasil uji anova satu arah menunjukkan tidak signifikan (0.229) artinya F hitung lebih kecil dari F tabel, sehingga kesimpulannya terima H_0 .



Lampiran 4. Data-data penelitian

Konsentrasi amonia awal 4,7 mg/l

| jam ke | OD 600 | pH | t |
|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,436 | 8,67 | 26,2 |
| | 0,432 | 8,67 | 26,1 |
| 4 | 0,49 | 8,86 | 26,3 |
| | 0,478 | 8,86 | 26,3 |
| 8 | 0,534 | 8,89 | 26,9 |
| | 0,492 | 8,89 | 26,9 |
| 24 | 0,828 | 8,99 | 25,8 |
| | 0,78 | 8,99 | 25,8 |
| 28 | 0,876 | 8,98 | 26,8 |
| | 0,822 | 8,98 | 26,7 |
| 32 | 0,873 | 8,92 | 26,6 |
| | 0,882 | 8,9 | 26,6 |
| 48 | 0,928 | 9,01 | 26,5 |
| | 0,928 | 9,04 | 26,6 |
| 52 | 0,976 | 8,96 | 26,7 |
| | 0,904 | 8,96 | 26,7 |
| 56 | 0,884 | 8,99 | 26,3 |
| | 0,82 | 8,99 | 26,1 |
| 72 | 0,699 | 9,09 | 26,4 |
| | 0,717 | 9,09 | 26,4 |
| 76 | 0,687 | 9,07 | 26,9 |
| | 0,618 | 9,07 | 26,8 |
| 80 | 0,63 | 9,08 | 27,1 |
| | 0,564 | 9,07 | 27 |
| 96 | 0,538 | 9,11 | 27,1 |
| | 0,548 | 9,12 | 27 |
| 100 | 0,478 | 9,11 | 27,3 |
| | 0,434 | 9,08 | 27,4 |

Lampiran 4. Lanjutan

Konsentrasi amonia awal 13,1 mg/l

| jam ke | OD 600 | pH | t |
|--------|--------|------|------|
| 0 | 0,438 | 8,67 | 26,1 |
| | 0,412 | 8,77 | 26,2 |
| 4 | 0,432 | 8,84 | 26,2 |
| | 0,422 | 8,84 | 26,2 |
| 8 | 0,434 | 8,87 | 26,7 |
| | 0,426 | 8,77 | 26,7 |
| 24 | 0,528 | 8,95 | 26,1 |
| | 0,508 | 8,96 | 26,1 |
| 28 | 0,63 | 8,92 | 26,6 |
| | 0,548 | 8,91 | 26,6 |
| 32 | 0,618 | 8,87 | 26,7 |
| | 0,6 | 8,87 | 26,7 |
| 48 | 0,78 | 9,01 | 26,3 |
| | 0,732 | 9 | 26,2 |
| 52 | 0,795 | 8,94 | 26,5 |
| | 0,753 | 8,93 | 26,5 |
| 56 | 0,714 | 8,98 | 26,1 |
| | 0,66 | 8,98 | 26 |
| 72 | 0,654 | 9,04 | 26,4 |
| | 0,627 | 9,05 | 26,3 |
| 76 | 0,548 | 9,02 | 27 |
| | 0,568 | 9,03 | 27 |
| 80 | 0,542 | 9,01 | 27 |
| | 0,534 | 9,02 | 27 |
| 96 | 0,468 | 9,08 | 26,8 |
| | 0,47 | 9,09 | 26,8 |
| 100 | 0,434 | 9,1 | 27,2 |
| | 0,46 | 9,08 | 27,2 |

Lampiran 4. Lanjutan

Kontrol

| jam ke | OD600 | pH | t |
|--------|-------|------|------|
| 0 | 0,444 | 8,66 | 26,9 |
| | 0,462 | 8,66 | 26,9 |
| 4 | 0,474 | 8,94 | 26,7 |
| | 0,478 | 8,93 | 26,7 |
| 8 | 0,478 | 8,95 | 26,4 |
| | 0,482 | 8,95 | 26,4 |
| 24 | 0,584 | 8,93 | 26,3 |
| | 0,564 | 8,91 | 26 |
| 28 | 0,596 | 8,85 | 25,7 |
| | 0,562 | 8,76 | 25,8 |
| 32 | 0,639 | 8,86 | 26,5 |
| | 0,558 | 8,87 | 26,5 |
| 48 | 0,624 | 9,06 | 26,7 |
| | 0,612 | 9,07 | 26,7 |
| 52 | 0,6 | 9,01 | 26,5 |
| | 0,592 | 9 | 26,9 |
| 56 | 0,518 | 8,99 | 26,6 |
| | 0,548 | 9,01 | 26,5 |
| 72 | 0,536 | 8,97 | 26,5 |
| | 0,494 | 8,98 | 26,5 |
| 76 | 0,46 | 8,99 | 26,9 |
| | 0,472 | 9,02 | 27,1 |
| 80 | 0,422 | 8,86 | 26,5 |
| | 0,408 | 8,95 | 26,4 |
| 96 | 0,4 | 8,96 | 26,2 |
| | 0,38 | 8,97 | 26,3 |
| 100 | 0,36 | 8,96 | 27 |
| | 0,376 | 8,97 | 26,9 |

Lampiran 4. Lanjutan

Konsentrasi amonia 4,7 mg/l

| Jam Ke | Biomass | | Lipid | | OD645 | OD663 |
|--------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| | kosong | isi | kosong | isi | | |
| 0 | 58,4767 | 58,4795 | 44,5665 | 44,5674 | 0,257 | 0,303 |
| | 55,2121 | 55,215 | 43,5905 | 43,5905 | 0,259 | 0,31 |
| 24 | 55,2109 | 55,2166 | 43,589 | 43,5921 | 0,4 | 1,014 |
| | 58,4764 | 58,4824 | 29,37 | 29,373 | 0,366 | 1,012 |
| 48 | 46,5272 | 46,5336 | 55,2125 | 55,2163 | 0,327 | 1,026 |
| | 29,3704 | 29,3768 | 50,1541 | 50,1576 | 0,355 | 1,035 |
| 72 | 58,478 | 58,4821 | 29,4587 | 29,4608 | 0,344 | 0,85 |
| | 55,2136 | 55,2175 | 46,5279 | 46,5298 | 0,366 | 0,839 |
| 96 | 29,3714 | 29,3744 | 46,5284 | 46,5298 | 0,298 | 0,734 |
| | 29,458 | 29,4611 | 43,5908 | 43,592 | 0,331 | 0,738 |

Konsentrasi amonia 13,1 mg/l

| Jam Ke | OD645 | OD663 | Biomass | | Lipid | |
|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | | | kosong | isi | kosong | isi |
| 0 | 0,153 | 0,27 | 50,1541 | 50,1569 | 29,37 | 29,3703 |
| | 0,153 | 0,272 | 46,5275 | 46,5304 | 29,4575 | 29,4591 |
| 24 | 0,186 | 0,49 | 50,153 | 50,1566 | 44,5666 | 44,5681 |
| | 0,299 | 0,551 | 46,5263 | 46,53 | 29,4584 | 29,4597 |
| 48 | 0,283 | 0,806 | 43,5887 | 43,5928 | 29,4586 | 29,4612 |
| | 0,283 | 0,791 | 44,5667 | 44,5715 | 58,476 | 58,4784 |
| 72 | 0,343 | 0,737 | 29,3705 | 29,3746 | 44,5676 | 44,5694 |
| | 0,26 | 0,734 | 50,1543 | 50,1583 | 43,5903 | 43,592 |
| 96 | 0,238 | 0,553 | 58,4791 | 58,482 | 50,1553 | 50,1561 |
| | 0,176 | 0,432 | 44,5676 | 44,5703 | 55,2131 | 55,2137 |

Lampiran 4. Lanjutan

Kontrol

| Jam Ke | OD645 | OD663 | Biomass | | Lipid | |
|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|
| | | | kosong | isi | kosong | isi |
| 0 | 0,111 | 0,262 | 44,5689 | 44,5722 | 29,4594 | 29,4602 |
| | 0,112 | 0,263 | 43,5905 | 43,5939 | 29,3711 | 29,3722 |
| 24 | 0,218 | 0,516 | 29,3697 | 29,3735 | 44,5678 | 44,5693 |
| | 0,221 | 0,522 | 29,4585 | 29,4624 | 43,5903 | 43,5918 |
| 48 | 0,324 | 0,807 | 29,3698 | 29,3738 | 43,5896 | 43,5924 |
| | 0,198 | 0,506 | 29,4584 | 29,4624 | 44,5682 | 44,5708 |
| 72 | 0,196 | 0,437 | 44,5682 | 44,5719 | 29,4588 | 29,4602 |
| | 0,23 | 0,536 | 43,5918 | 43,5951 | 29,3715 | 29,3721 |
| 96 | 0,162 | 0,352 | 44,5685 | 44,5713 | 29,4589 | 29,4593 |
| | 0,152 | 0,348 | 43,5917 | 43,5939 | 29,3712 | 29,3717 |

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/04/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 1 (pagi)
Kode Sampel : 272
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | pH | | 6.60 |
| 2 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 128 |
| 3 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 125 |
| 4 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 450.8 |

Depok, 11 Oktober 2010

Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Susanto, M.Sc.

NIP. 195501111985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/05/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 2 (pagi)
Kode Sampel : 273
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | pH | | 6.60 |
| 2 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 128 |
| 3 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 127 |
| 4 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 448 |

Depok, 11 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. *[Signature]* M.Sc.
NIP. 195506011985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/06/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 1.1 (siang)
Kode Sampel : 274
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 10.5 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 107.3 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 336 |

Ck

Depok, 11 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. ~~Anna G...~~ M.Sc.
NIP. 05501031085032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/07/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 1.2 (siang)
Kode Sampel : 275
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 15.7 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 84.3 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 426.4 |

Ch

Depok, 11 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Susanto
NIP. 195501071985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/10/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank (1.1)
Kode Sampel : 278
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 13 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|----------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 2 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 102.2 |

Depok, 13 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irena Kusriani, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/11/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank (1.2)
Kode Sampel : 279
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 13 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|----------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 1.5 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 96.8 |

Depok, 13 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniani, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/14/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 1.1
Kode Sampel : 282
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 15 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 1.72 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 97.7 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 146.4 |

Depok, 15 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/15/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 1.2
Kode Sampel : 283
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 15 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 1.76 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 77.4 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 212.8 |

Depok, 15 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irena Gusriani, M. Sc.
NIP. 19550111985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/08/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 2.1 (siang)
Kode Sampel : 276
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 3 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 77.6 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 309.6 |

ckia

Depok, 11 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Susanto, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/09/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 2.2 (siang)
Kode Sampel : 277
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 11 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 6.4 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 80.2 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 352 |

Depok, 11 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gusniati, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/12/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank (2.1)
Kode Sampel : 280-
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 13 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|----------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 2.3 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 90 |

Depok, 13 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irena Gusman, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/13/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank (2.2)
Kode Sampel : 281
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 13 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|----------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 0.9 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 70.9 |

Depok, 13 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



Ir. Irma Gasman, MSc.
NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/16/X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 2.1
Kode Sampel : 284
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 15 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 1.68 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 86 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 242.4 |

Depok, 15 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan



NIP. 195501031985032001

Tembusan : Arsip

HASIL ANALISA KIMIA DAN FISIKA

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/17X/2010
Nama Pengirim / Instansi : Kurniati Fitri
Nama Contoh / Kedalaman : Air Septic Tank 2.2
Kode Sampel : 285
Lokasi Pengambilan Sampel :
Tanggal Penerimaan Sampel : 15 Oktober 2010

| NO | PARAMETER | SATUAN | HASIL ANALISA |
|----|------------------------------|--------|---------------|
| 1 | Ammonia (NH ₃) | mg/L | 1.89 |
| 2 | Fosfat (PO ₄) | mg/L | 92.6 |
| 3 | Chemical Oxygen Demand (COD) | mg/L | 210.4 |

Depok, 15 Oktober 2010
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan

