



**TUGAS AKHIR - RE091324**

**EFEK DURASI PENCAHAYAAN PADA SISTEM  
HRAR UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN  
MINYAK DALAM AIR LIMBAH**

**DIAN PUSPITASARI  
NRP. 3310 100 098**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D**

**Dosen Co-Pembimbing  
Ir. Agus Slamet M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**FINAL PROJECT - RE091324**

**THE EFFECT OF LIGHT EXPOSURE TIME ON  
HRAR SYSTEM TO REDUCE OIL WASTEWATER**

**DIAN PUSPITASARI  
NRP. 3310 100 098**

**Supervisor  
Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D**

**Co-Supervisor  
Ir. Agus Slamet M.Sc**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**

# LEMBAR PENGESAHAN

## EFEK DURASI PENCAHAYAAN PADA SISTEM HRAR UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN MINYAK SOLAR DALAM AIR LIMBAH

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada  
Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

**DIAN PUSPITASARI**  
**NRP. 3310 100 098**

Disetujui:

Pembimbing Tugas Akhir



**Prof. Ir. Joni Hermawan, M.Sc.E.S., Ph.D**

**NIP. 19600618-198803-1-002**



# **EFEK DURASI PENCAHAYAAN PADA SISTEM HRAR UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN MINYAK SOLAR DALAM AIR LIMBAH**

Nama mahasiswa : Dian Puspitasari

NRP : 3310100098

Pembimbing : Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES.,Ph.D

Co-Pembimbing : Ir. Agus Slamet M.Sc

## **ABSTRAK**

Kandungan minyak di dalam air limbah industri perminyakan umumnya bersifat toksik terhadap mikroorganisme. Selain itu kandungan minyak juga dapat menghambat perpindahan oksigen dari udara ke dalam air dan mengganggu proses pengolahan secara biologis. Sistem HRAR diperkirakan dapat mengatasi hambatan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon melalui proses fotosintesis alga. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh perpanjangan waktu pencahayaan pada kemampuan HRAR dalam menurunkan kandungan minyak di dalam limbah.

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan range konsentrasi minyak solar optimum yang dapat ditoleransi oleh alga dengan menggunakan parameter pH, klorofil A dan MLSS. Konsentrasi minyak solar optimum yang didapatkan pada penelitian pendahuluan ini adalah penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Sedangkan range minyak solar yang digunakan pada penelitian utama adalah penambahan minyak solar sebesar 346 ppm, 519 ppm dan 692 ppm. Selanjutnya pada penelitian utama digunakan variasi konsentrasi minyak solar dan variasi durasi pencahayaan. Sedangkan parameter yang diamati adalah konsentrasi minyak, klorofil A, MLSS, COD, intensitas cahaya, pH, DO dan suhu.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah durasi pencahayaan selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik terhadap penurunan konsentrasi minyak yang diikuti dengan baiknya pertumbuhan alga dan bakteri di dalam reaktor dibandingkan dengan durasi pencahayaan selama 24 jam. Hal ini dapat terlihat dari penurunan konsentrasi minyak solar pada reaktor dengan durasi pencahayaan selama 12 jam dan penambahan minyak solar 346 ppm adalah sebesar 78,4%. Sedangkan penurunan kandungan minyak solar pada reaktor dengan penambahan minyak solar 346 ppm dan pencahayaan selama 24 jam adalah sebesar 73,9%.

***Kata kunci: Alga, durasi pencahayaan, HRAR, minyak solar***

# **THE EFFECT OF LIGHT EXPOSURE TIME ON HRAR SYSTEM TO REDUCE DIESEL OIL WASTEWATER**

Name : Dian Puspitasari  
NRP : 3310100098  
Supervisor : Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES.,Ph.D  
Co-Supervisor : Ir. Agus Slamet M.Sc

## **ABSTRACT**

Oil content in petroleum industry wastewater is generally toxic to microorganisms. It also inhibits the transfer of oxygen from the air into water and interferes the biological treatment processes. HRAR system is expected to overcome the obstacles of oxygen demand by microorganisms to degrade hydrocarbons through the photosynthesis process of algae. The aim of this study is to determine the effect of extension of light exposure time on HRAR ability in reducing the oil content in wastewater.

A preliminary and a primary study were implemented in this study. The purpose of the preliminary study was to determine the optimum range of diesel oil's concentration that was tolerated by algae. The parameters used in preliminary study were pH, chlorophyll a and MLSS. The optimum concentration of diesel oil obtained in the preliminary study was the addition of 519 ppm. Based on these preliminary study, the concentration of diesel oil added to the primary study were 346 ppm, 519 ppm and 692 ppm. Variations that used in the primary study were variation of diesel oil concentrations and light exposure times. Moreover, the parameters that is used in the primary study were oil content, chlorophyll a, MLSS, COD, light exposure time, temperature, pH, and DO.

The result from this study is that the duration of exposure for 12 hours has a better effect to reduce the

concentration oil content in reactor. In addition, the reactor which was exposed for 12 hours has a significant growth of algae and bacteria than the reactor which was exposed for 24 hours. It is showed from the reduction of the diesel oil's concentration in the reactor during the exposure time to 12 hours and the addition of 346 ppm diesel oil were 78,4%. Besides, the reduction of diesel oil content in the reactor with the addition of diesel oil 346 ppm and lighting for 24 hours was equal to 73,9%.

***Keywords: Algae, diesel oil, HRAR, light exposure time***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT dimana atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya penyusunan laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Laporan tugas akhir “Efek Durasi Pencahayaan Pada Sistem HRAR Untuk Menurunkan Kandungan Minyak Solar Dalam Air Limbah” disusun sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Lingkungan ITS. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES., Ph.D sebagai dosen pembimbing tugas akhir penyusun. Terima kasih atas ilmu dan nasihat yang diberikan guna membantu penyelesaian proposal tugas akhir ini.
2. Ir. Agus Slamet M.Sc sebagai co-pembimbing tugas akhir penyusun. Terima kasih atas ilmu, waktu dan nasihat yang telah diberikan kepada penyusun.
3. Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D, Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D,dan Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D selaku dosen penguji. Terima kasih atas dukungan dan ilmu yang diberikan kepada penyusun.
4. Welly Herumurti, ST., MSc selaku dosen wali. Terima kasih atas waktu dan bimbingannya kepada penyusun selama ini.
5. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., MSc., Ph.D selaku Kepala Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Terima kasih atas waktu dan dukungannya atas perizinan serta pengajarannya selama ini.
6. Alfian Purnomo, ST., MT sebagai koordinator tugas akhir. Terima kasih atas saran dan masukannya kepada penyusun selama ini.



7. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MappSc. selaku dosen metodologi penelitian. Terima kasih atas ilmu dan saran yang diberikan kepada penyusun.
8. Ir. Yusuf Ahmad dan Rr. Retno Dyah Susilowati selaku orangtua penyusun. Terima kasih atas doa yang selalu dipanjatkan, waktu yang tidak pernah habis dan nasihat yang selalu membangun penyusun.
9. Yudhistira Dimas Adiputra dan Ramadya Bima Saputra, selaku saudara kandung penyusun. Terima kasih atas dukungan dan motivasinya selama ini.
10. Anak-anak alga tersayang, Wahyu Dian Septiani, Ayu Syarifa, dan Laksmisari Rakhma Putri. Terima kasih tak terkira untuk pembelajaran, dukungan dan semangat yang kalian berikan.
11. Laboran Teknik Lingkungan ITS yaitu Pak Affan, Pak Hadi, Pak Azhari dan Pak Edi. Terima kasih atas pembelajaran dan ilmu laboratoriumnya selama 4 tahun ini.
12. Tim sukses alga, Rebel 2010, kakak-kakak senior dan semua sahabat yang tak bisa dituliskan satu persatu, terima kasih atas dukungan, inspirasi serta nasihat bagi penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penyusunan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Surabaya, 25 Juli 2014

Penyusun

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
BAB 1 - PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Cair Industri.....	5
2.1.1 Limbah Cair Industri Minyak Bumi .....	5
2.1.2 Pengolahan Limbah Cair Industri Secara Biologis.....	6
2.2 Identifikasi Minyak Solar .....	7
2.3 <i>Oil and Grease</i> .....	8
2.4 Identifikasi Alga .....	9
2.4.1 Pengaruh Suhu.....	10
2.4.2 Pengaruh Intensitas dan Durasi Pencahayaan.....	10
2.4.3 Pengaruh pH .....	11
2.4.4 Pengaruh Pengadukan.....	12
2.4.5 Pengaruh Nutrien.....	13
2.5 Penelitian Terdahulu .....	13
BAB 3 – METODA PENELITIAN .....	17
3.1 Kerangka Penelitian .....	17
3.2 Tahap Penelitian .....	19
BAB 4 – ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	33
4.2 Penelitian Pendahuluan.....	34
4.3 Tahap Persiapan Penelitian Utama .....	41
4.4 Penelitian Utama.....	43
4.4.1 Hasil Analisis Klorofil a .....	45

4.4.2 Hasil Analisis MLSS .....	55
4.4.3 Hasil Analisis COD .....	58
4.4.4 Hasil Analisis Intensitas Cahaya.....	61
4.4.5 Hasil Analisis pH.....	63
4.4.6 Hasil Analisis Suhu.....	67
4.4.7 Hasil Analisis DO .....	69
4.4.8 Hasil Analisis <i>Oil and Grease</i> .....	73
4.5 Hasil Analisis Korelasi Antar Parameter .....	76
4.5.1 Korelasi MLSS dan Klorofil a.....	76
4.5.2 Korelasi MLSS dan COD .....	79
4.5.3 Korelasi Klorofil a dan Intensitas Cahaya .....	81
4.6 Pengaruh Durasi Pencahayaayan Terhadap Penurunan Minyak.....	83
BAB 5 – KESIMPULAN DAN SARAN .....	85
5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN A DATA PENELITIAN PENDAHULUAN.....	93
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN UTAMA.....	95
LAMPIRAN C PROSEDUR PENELITIAN .....	105
LAMPIRAN D PERHITUNGAN .....	115
LAMPIRAN E GRAFIK.....	117

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Solar.....	7
Tabel 2.2 Penelitian-Penelitian Terdahulu .....	14
Tabel 3.1 Konsentrasi Solar Penelitian Pendahuluan.....	23
Tabel 3.2 Komposisi Alga Dalam Reaktor .....	24
Tabel 3.3 Konsentrasi Solar Penelitian Utama.....	25
Tabel 3.4 Reaktor Pada Penelitian Utama.....	26
Tabel 3.5 Waktu Analisis Penelitian Utama.....	27
Tabel 3.6 Metoda Analisis Penelitian .....	28
Tabel 4.1 Konsentrasi C, N dan Klorofil a Awal .....	34
Tabel 4.2 Penambahan Minyak Solar Penelitian Pendahuluan .	35
Tabel 4.3 Komposisi Campuran Alga di Reaktor .....	41
Tabel 4.4 Hasil Analisis C : N : P Penelitian Utama.....	42
Tabel 4.5 Rasio C : N : P Penelitian Utama .....	42
Tabel 4.6 Penambahan Minyak Solar Penelitian Utama .....	43
Tabel 4.7 Nama Reaktor Penelitian Utama .....	44
Tabel 4.8 Persentase Efisiensi Penurunan Konsentrasi Minyak Solar .....	75

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	18
Gambar 3.2 Ilustrasi Reaktor .....	20
Gambar 3.3 Ilustrasi Rangka Besi .....	21
Gambar 3.4 Luxmeter.....	21
Gambar 3.5 Penelitian Utama .....	26
Gambar 4.1 Grafik Klorofil A Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	36
Gambar 4.2 Persentase Penurunan Konsentrasi Klorofil a dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	37
Gambar 4.3 Pinggiran Reaktor yang Ditempeli Alga .....	38
Gambar 4.4 Grafik MLSS Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	38
Gambar 4.5 Persentase Penurunan Konsentrasi MLSS dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	39
Gambar 4.6 Grafik pH Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	40
Gambar 4.7 Grafik Klorofil a Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	46
Gambar 4.8 Visual Alga Cahaya 12 Jam <i>Running</i> Pertama .....	47
Gambar 4.9 Visual Alga Cahaya 12 Jam <i>Running</i> Kedua.....	49
Gambar 4.10 Grafik Klorofil a Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	50
Gambar 4.11 Visual Alga Cahaya 24 Jam <i>Running</i> Pertama ....	51
Gambar 4.12 Visual Alga Cahaya 24 Jam <i>Running</i> Kedua.....	52
Gambar 4.13 Perbandingan Warna Alga.....	53
Gambar 4.14 Alga Menempel di Pinggir Reaktor .....	54
Gambar 4.15 Grafik MLSS Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	56
Gambar 4.16 Grafik MLSS Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	57
Gambar 4.17 Grafik COD Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	58

Gambar 4.18 Grafik COD Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	60
Gambar 4.19 Grafik Rata-Rata Harian Intensitas Cahaya.....	62
Gambar 4.20 Grafik pH Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	64
Gambar 4.21 Grafik pH Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	65
Gambar 4.22 Korelasi pH dan Klorofil a Reaktor dengan Variasi Penambahan Minyak Solar 519 ppm .....	66
Gambar 4.23 Grafik Suhu Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	67
Gambar 4.24 Grafik Suhu Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	68
Gambar 4.25 Grafik Konsentrasi Perubahan DO di Pagi Hari dengan Variasi Penambahan Minyak Solar .....	70
Gambar 4.26 Grafik Konsentrasi Perubahan DO di Sore Hari dengan Variasi Penambahan Minyak Solar.....	71
Gambar 4.27 Grafik DO Penambahan Minyak Solar 346 ppm Pencahayaan 12 Jam.....	72
Gambar 4.28 Grafik DO Penambahan Minyak Solar 346 ppm Pencahayaan 24 Jam.....	72
Gambar 4.29 Persentase Efisiensi Penurunan Konsentrasi Minyak Solar .....	74
Gambar 4.30 Korelasi MLSS Klorofil a Penambahan Minyak Solar 346 ppm-12 Jam.....	77
Gambar 4.31 Korelasi MLSS Klorofil a Penambahan Minyak Solar 346 ppm-24 Jam.....	78
Gambar 4.32 Korelasi MLSS COD Penambahan Minyak Solar 346 ppm-12 Jam .....	80
Gambar 4.33 Korelasi MLSS COD Penambahan Minyak Solar 346 ppm-24 Jam .....	80
Gambar 4.34 Korelasi Cahaya Klorofil a Penambahan Minyak Solar 519 ppm-12 Jam.....	81
Gambar 4.35 Korelasi Cahaya Klorofil a Penambahan Minyak Solar 346 ppm-12 Jam.....	82

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Keberadaan industri minyak bumi di Indonesia memiliki nilai strategis tersendiri sebagai sumber energi dan devisa negara. Menurut Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (2009), cadangan energi minyak mentah Indonesia hanya dapat diproduksi atau akan habis dalam kurun waktu 22.999 tahun.

Namun perkembangan industri minyak dan gas tentunya juga memiliki dampak negatif bagi lingkungan sekitar. Salah satu dampak negatifnya adalah dengan meningkatnya kadar polutan di dalam air. Kandungan pencemar yang terdapat di dalam limbah cair minyak bumi, terdiri dari unsur-unsur yang sangat berbahaya terhadap lingkungan. Kandungan pencemar tersebut antara lain, kadar minyak sebesar 204-616 mg/L, kadar COD sebesar 933-1.933 mg/L, kadar BOD sebesar 150-250 mg/L, kadar amonia sebesar 21,41-30,48 mg/L, kadar TSS sebesar 52-264 mg/L dan kadar pH sebesar 6,9-7,63 (Widjaja dan Sunarko, 2007). Untuk itu, diperlukan adanya pengolahan lanjutan sebelum limbah cair tersebut dibuang ke sungai.

Salah satu pengolahan tambahan yang dapat dilakukan dalam menanggulangi permasalahan di atas adalah dengan melakukan penambahan kolam alga sebelum limbah cair tersebut dibuang langsung ke badan air. Menurut Santoso *et al.* (2011), alga dapat mengurangi kadar nutrien di dalam air dengan cara memanfaatkan kandungan nutrien berlebih. Nutrien ini digunakan alga sebagai suplai nutrisi agar pertumbuhannya menjadi cepat dan optimum. Selain nutrien, hidrokarbon yang terdapat di dalam limbah petroleum juga dapat didegradasikan oleh mikroba seperti bakteri, jamur, yeast, dan alga mikro (Riser and Roberts, 1992; Bundy *et al.*, 2004). Keuntungan dari penggunaan alga adalah proses pengolahannya berjalan secara alamiah dan memiliki efisiensi yang cukup tinggi. Sehingga didapatkan pengolahan



yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sekunder (Santoso *et al.*, 2011).

Menurut Febrianty (2011), terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan alga, diantaranya adalah kadar nutrien dan intensitas cahaya. Untuk kadar nutrien, rasio C : N : P yang dianjurkan pada *biotreatment* pengolahan minyak mentah adalah 100 : 5 : 1 (Indarto, 1999). Sedangkan intensitas cahaya dibutuhkan untuk perkembangan alga karena fungsi utamanya sebagai pengubah suhu sehingga terjadi pencampuran massa di air. Selain itu fungsi cahaya pada alga adalah sebagai sumber energi bagi proses fotosintesisnya (Wells *et al.*, 1999). Intensitas cahaya ini tentunya berpengaruh terhadap penetrasi cahaya ke dalam air. Sistem pertumbuhan alga akan optimal pada kondisi kedalaman 15-30 cm (Wong and Tam, 1997). Sedangkan menurut Ardhanareswari (2011), penurunan konsentrasi nutrien terbaik dapat terjadi pada kedalaman 25 cm.

Selain kedalaman dan intensitas cahaya, ternyata durasi pencahayaan juga memiliki pengaruh dalam kemampuan alga di dalam reaktor. Pada limbah perkotaan, durasi pencahayaan selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik dalam mendegradasi kandungan organik dan nutrien di dalam limbah dibandingkan dengan durasi pencahayaan selama 24 jam (Alwi, 2011; Ardhanareswari, 2011). Sedangkan menurut Kawaroe *et al.* (2009), pada spesies alga *Chlorella sp.* dan *Dunaliella sp.* durasi pencahayaan alami selama 12 jam lebih baik digunakan dalam menurunkan kadar nutrien di dalam air limbah, kemudian diikuti dengan durasi pencahayaan alami selama 16 jam dan pencahayaan lampu selama 8 jam.

Salah satu alternatif penggunaan alga dalam mengolah air limbah adalah dengan menggunakan sistem HRAR. Sistem HRAR adalah pengolahan limbah dengan menggunakan alga untuk mereduksi zat organik dan polutan yang terdapat di dalam air limbah (Iswara, 2011). Pada penelitian ini digunakan sistem media alga campuran yang berisi alga dan bakteri. Bakteri digunakan untuk mendegradasi kandungan minyak yang ada di

dalam limbah. Sedangkan alga berfungsi untuk menghasilkan  $O_2$  yang dibutuhkan bakteri untuk mendegradasi hidrokarbon (Widjaja dan Sunarko, 2007).

Pada penelitian ini akan dikaji mengenai seberapa besar pengaruh durasi pencahayaan terhadap pertumbuhan alga dengan menggunakan campuran minyak solar dengan air sebagai limbah. Hal ini dilakukan agar nantinya didapatkan pengolahan air limbah tercemar minyak dengan menggunakan alga.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Seberapa besar tingkat kemampuan *high rate algae reactor* (HRAR) dalam menurunkan konsentrasi minyak pada air limbah?
2. Bagaimana pengaruh durasi pencahayaan pada sistem *high rate algae reactor* (HRAR) dalam menurunkan konsentrasi minyak pada air limbah?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menentukan kemampuan *high rate algae reactor* (HRAR) dalam menurunkan konsentrasi minyak pada air limbah.
2. Menentukan pengaruh variasi durasi pencahayaan terhadap penurunan konsentrasi minyak pada sistem *high rate algae reactor* (HRAR).

## 1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan sistem *batch* dan proses *mixing*.
2. Alga yang digunakan berasal dari saluran drainase air limbah domestik Kota Surabaya yang telah ada di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

3. Sampel yang digunakan adalah sampel air alga yang diberi tambahan minyak solar dengan kadar yang bervariasi.
4. Variabel yang digunakan adalah volume penambahan minyak solar dan durasi pencahayaan. Variasi penambahan minyak solar yang digunakan berjumlah 3 macam. Sedangkan variasi durasi pencahayaan yang digunakan berjumlah 2 macam, yaitu 24 jam pencahayaan alami dan 12 jam pencahayaan alami dikombinasikan dengan 12 jam pencahayaan menggunakan lampu.
5. Parameter yang dianalisis:
  - a. Parameter utama yaitu klorofil a, MLSS, COD, intensitas cahaya, dan konsentrasi *oil and grease*.
  - b. Parameter tambahan yaitu pH, suhu, dan DO.
6. Pada penelitian ini dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui kadar minyak solar optimum yang dapat didegradasi pada sistem HRAR. Reaktor yang digunakan sebanyak 5 buah dengan satu reaktor yang digunakan sebagai reaktor kontrol. Empat macam variasi minyak solar ini nantinya mendapatkan jumlah range minyak solar optimum yang dapat diterima oleh alga. Kemudian dipilih 3 macam variasi minyak solar yang selanjutnya divariasikan dengan durasi pencahayaan. Pada masing-masing durasi pencahayaan akan diberikan satu reaktor kontrol.
7. Reaktor yang digunakan terbuat dari *sealware* dan berjumlah 5 reaktor pada penelitian pendahuluan dan 8 reaktor pada penelitian utama. Kedalaman yang digunakan pada masing-masing reaktor adalah 25 cm.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah didapatkan alternatif pengolahan air limbah tercemar minyak dengan menggunakan sistem HRAR serta didapatkan kadar minyak solar optimum yang dapat ditoleransi oleh alga.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Limbah Cair Industri**

Menurut Asmadi dan Suharno (2012), limbah cair industri adalah buangan hasil dari sisa produksi suatu kegiatan di mana kehadirannya tidak memiliki nilai ekonomis. Sedangkan menurut Santi (2004), limbah cair merupakan limbah yang harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Hal ini patut dilakukan untuk mengurangi zat-zat berbahaya yang tidak dapat terdegradasi secara alami pada badan air. Karakteristik limbah cair yang dihasilkan dan kadar pencemaran tergantung pada jenis produksinya. Dampak negatif yang ditimbulkan dari pembuangan limbah cair kegiatan industri dapat berupa terganggunya keselamatan dan kesehatan masyarakat disekelilingnya (Mahida,1984). Jika pada proses produksi belum menerapkan prinsip 3R, maka 85-95% air yang digunakan pada proses produksi akan menjadi limbah cair (Eddy and Metcalf, 2003).

##### **2.1.1. Limbah Cair Industri Minyak Bumi**

Minyak bumi adalah suatu campuran kompleks antara senyawa hidrokarbon dan senyawa lain seperti belerang, nitrogen dan oksigen (Soepanan, 2002). Dalam proses produksinya, industri perminyakan tentunya juga menghasilkan limbah. Limbah dari proses pertambangan mengandung berbagai macam pencemar seperti karbon,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , phenol, COD, BOD serta beberapa logam berat. Kandungan pencemar tersebut bila mencemari badan air tentunya akan memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Kandungan pencemar tersebut antara lain, kadar minyak sebesar 204-616 mg/L, kadar COD sebesar 933-1.933 mg/L, kadar BOD sebesar 150-250 mg/L, kadar amonia sebesar 21,41-30,48 mg/L, kadar TSS sebesar 52-264 mg/L dan kadar pH sebesar 6,9-7,63 (Widjaja dan Sunarko, 2007).

Menurut Widjaja dan Sunarko (2007), pengolahan limbah industri minyak yang mengandung hidrokarbon tinggi dapat dilakukan dengan berbagai proses yaitu proses fisik, kimia dan biologis. Proses pengolahan fisik dapat dilakukan dengan *skimming*, flotasi udara terlarut, dan karbon aktif. Proses pengolahan secara kimiawi, dapat dilakukan dengan ozonisasi, oksidasi kimia dan pertukaran ion. Sedangkan pada proses biologis dapat menggunakan mikroorganisme dalam mendegradasi partikel-partikel yang ada di dalam limbah. Namun upaya penanggulangan pencemaran minyak secara biologis dengan menggunakan mikroba adalah biodegradasi terbaik (Nababan, 2008).

### **2.1.2 Pengolahan Limbah Cair Industri Secara Biologis**

Mikroba membutuhkan nutrisi dalam pertumbuhannya. Nutrien nantinya akan digunakan mikroba sebagai sumber energi. Sehingga, nutrisi di dalam air limbah industri minyak dapat terdegradasi. Selain nutrisi, hidrokarbon yang terdapat di dalam limbah petroleum juga dapat didegradasikan oleh mikroba seperti bakteri, jamur, yeast, dan alga mikro (Riser and Roberts, 1992; Bundy *et al.*, 2004).

Namun, mikroorganisme hanya mampu mendegradasi hidrokarbon jenis n-alkana, alkana bercabang, sikloalkana dan aromatik dengan cincin sedikit (Sami, 2009). Pada pengolahan biologis, rasio C:N:P yang dapat digunakan pada pengolahan minyak adalah 100:5:1 (Indarto, 1999).

Mikroorganisme hidrokarbonoklastik mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon dengan memanfaatkan senyawa tersebut sebagai sumber karbon dan energi yang diperlukan bagi pertumbuhannya. Mikroorganisme mengoksidasi hidrokarbon dan menjadikannya gas karbon dioksida. Produk sampingan yang dihasilkan dari proses ini adalah asam lemak, gas, surfaktan dan biopolimer (Mujab, 2011).

## 2.2. Identifikasi Minyak Solar

Menurut Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (2004), Indonesia memiliki kemampuan dalam memproduksi minyak solar sebesar 15 juta KL/Tahun dari kilang dalam negeri. Jenis minyak solar yang digunakan di Indonesia adalah minyak solar dengan nilai cetana minimal sebesar 48 dan kandungan sulfur maksimal sebesar 0,5% wt atau 5000 ppm. Angka cetana pada solar merupakan tolak ukur titik nyala dalam bahan bakar mesin diesel. Solar memiliki ciri-ciri berbau, encer dan tidak mudah menguap di bawah temperatur normal, mempunyai titik nyala yang tinggi, dan memiliki kandungan sulfur yang lebih besar dibandingkan bensin. Solar merupakan bahan bakar hasil destilasi minyak bumi berwarna kuning kecokelatan jernih. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat spesifikasi bahan bakar minyak jenis pada bahan bakar minyak solar.

**Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Solar**

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka cetana	-	48	-
2	Indeks cetana	-	45	-
3	Berat jenis (pada suhu 15°C)	kg/m <sup>3</sup>	815	870
4	Kandungan sulfur	%m/m	-	0,35
5	Residu karbon	%m/m	-	0,1
6	Kandungan air	mg/kg	-	500
7	<i>Biological growth</i>	-	Nihil	
8	Kandungan FAME	%v/v	-	10
9	Kandungan sedimen	%m/m	-	0,01
10	Bilangan asam total	mg KOH/g	-	0,6
11	Partikulat	mg/L	-	-

Sumber: Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, 2006

Secara umum di dalam solar terdiri atas senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang dapat ditemukan di dalam solar adalah parafin, naftenik, olefin, dan aromatik. Sedangkan senyawa non hidrokarbon di dalam air limbah terdiri dari senyawa yang mengandung unsur non logam seperti sulfur, nitrogen, oksigen, vanadium, nikel dan besi. Namun tetap kandungan utama yang paling dominan ditemukan di dalam minyak solar adalah karbon hidrokarbon yang keduanya merupakan rantai normal dan bercabang dari hidrokarbon (Baker and Herson, 1994). Bahan bakar minyak solar biasa digunakan pada mesin diesel kendaraan bermotor maupun mesin industri. Titik didih atom karbon per molekulnya adalah  $C_{15}$ - $C_{18}$  pada titik didih  $300^{\circ}$ - $400^{\circ}C$  (Nababan, 2008).

### **2.3. *Oil and Grease***

Komposisi kimia di dalam minyak bumi sangat kompleks dan dapat berubah dari waktu ke waktu setelah dilepas ke lingkungan (Weisman, 1998). Sifat minyak tersebut mengakibatkan minyak bersifat tetap dan sulit diuraikan oleh bakteri.

Di dalam air, berat jenis minyak memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan berat jenis air itu sendiri. Hal ini mengakibatkan terbentuknya lapisan tipis minyak yang terdapat di permukaan air. Menutupnya minyak ini mengakibatkan terbatasnya konsentrasi oksigen yang masuk ke dalam air. Sedangkan pada sebagian lain minyak akan membentuk lumpur dan mengendap. Minyak yang sudah mengendap ini justru merupakan minyak yang paling sulit untuk diuraikan (Ginting, 2007).

Di dalam air, konsentrasi minyak solar akan terbaca menjadi kadar hidrokarbon atau secara luas akan disebut sebagai minyak. Dalam pengukuran secara *oil and grease*, konsentrasi yang terukur di dalamnya lebih luas dibandingkan dengan konsentrasi TPH karena di dalam *oil and grease* juga terukur konsentrasi lemak. Secara umum, *oil and grease* merupakan

senyawa yang relatif stabil dan sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Konsentrasi *oil and grease* di dalam limbah itu sendiri justru akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme karena keberadaannya menutupi lapisan permukaan air yang mengakibatkan terhambatnya proses oksidasi pada kondisi aerobik (Naibaho, 1996).

Pengukuran konsentrasi *oil and grease* di dalam limbah cair dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti metode gravimetri, soxhlet dan metode infrared sesuai dengan seberapa besar konsentrasi minyak di dalam sampel (APHA, 1998). Metode infrared dapat digunakan jika di dalam sampel terdapat volatil hidrokarbon yang apabila menggunakan metode pemanasan seperti pada gravimetri dan soxhlet kandungannya dapat hilang. Metode soxhlet dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi solven yang digunakan dan pada minyak dengan konsentrasi yang cukup besar. Sedangkan pada minyak dengan konsentrasi yang cukup kecil (<10 mg/L) lebih baik menggunakan metode gravimetri.

Metode soxhlet merupakan metode yang efisien karena selain lebih cepat, pelarut yang digunakan dapat diperoleh dan digunakan kembali. Dalam penentuan konsentrasi minyak pada metode ini harus diyakinkan bahwa hasil campuran sampel dan solven mengandung kadar air yang kecil. Hal ini dilakukan karena jika sampel masih memiliki kadar air yang tinggi, maka selain akan memperlambat proses ekstraksi, air juga dapat turun kembali ke labu dan mempengaruhi perhitungan.

#### **2.4. Identifikasi Alga**

Alga merupakan kelompok tumbuhan eukariotik. Pada morfologinya alga berbentuk multiseluler, namun belum ada pembagian yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal tersebut yang membedakan alga dari tumbuhan-tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004). Namun seperti tumbuhan tingkat tinggi, alga memiliki kemampuan untuk melakukan fotosintesis. Di



dalam perairan pun, alga berperan sebagai produsen (Bosma, 2010).

Alga memiliki ukuran yang beragam. Karena keberagamannya, alga dibedakan menjadi dua jenis, yaitu mikroalga dan makroalga. Kebanyakan alga hidup di air dan merupakan dasar atau permulaan rantai makanan organisme akuatik karena kemampuannya berfotosintesis (Afiuddin, 2013).

Menurut Eryanto *et al.* (2003), alga terdiri dari empat kelompok besar, antara lain diatom (*Bacillariophyceae*), alga hijau (*Chlorophyceae*), alga emas (*Chrysophyceae*) dan alga biru (*Cyanophyceae*). Di dalam sistem *high rate algae reactor* (HRAR), alga memiliki rasio tertentu untuk terus hidup atau biasa disebut dengan rasio redfield. Menurut Redfield *et al.* (1963), rasio kebutuhan C:N:P yang dibutuhkan oleh sistem HRAR adalah sebesar 100:16:1.

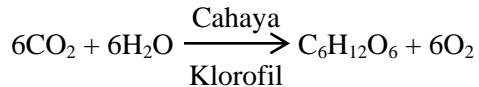
#### **2.4.1. Pengaruh Suhu**

Suhu akan mempengaruhi proses pencampuran alami dan kesetimbangan beberapa komponen di dalam air. Komponen-komponen tersebut antara lain O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, amonia, dan VOC (Kalff, 2002). Organisme akuatik rata-rata memiliki suhu tertentu yang disukai untuk pertumbuhannya. Alga *Chlorophyta* lebih senang hidup pada kisaran suhu 20°-30°C (Goldman and Horne, 1983). Sedangkan alga *Nannochloropsis sp.* lebih suka hidup pada suhu 20° -24°C. Pada reaktor harus benar-benar diperhatikan kondisi suhu di dalamnya. Suhu di atas 36°C akan menyebabkan kematian pada fitoplankton tertentu. Sedangkan pada suhu di bawah 16°C akan menyebabkan kecepatan dari pertumbuhan fitopankton menurun (Inthe, 2012).

#### **2.4.2. Pengaruh Intensitas dan Durasi Pencahayaan**

Cahaya memiliki fungsi utama di dalam perairan yaitu sebagai sumber energi proses fotosintesis (Wells *et al.*, 1999). Proses fotosintesis berfungsi untuk proses terjadinya metabolisme di dalam air. Fotosintesis adalah proses biokimia pembentukan

zat makanan dan oksigen di dalam air dengan memanfaatkan karbon dioksida dan proses hidrolisis air (Kramer dan Kozloski, 1979). Proses fotosintesis secara sederhana dapat dilihat sebagai berikut:



Cahaya merupakan faktor yang penting bagi pertumbuhan alga. Kurangnya intensitas cahaya dapat menyebabkan proses fotosintesis tidak berjalan dengan baik. Pada alga, intensitas cahaya yang cocok untuk dikulturkan di dalam erlemeyer adalah sebesar 1.000 lux. Sedangkan pada volume yang lebih besar, intensitas cahaya yang cocok adalah sebesar 5.000-10.000 lux (Coutteau, 1996).

Selain intensitas cahaya, ternyata durasi pencahayaan juga memiliki pengaruh dalam kemampuan alga di dalam reaktor. Pada limbah perkotaan, durasi pencahayaan selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik dalam mendegradasi kandungan organik dan nutrien di dalam limbah dibandingkan dengan durasi pencahayaan selama 24 jam (Alwi, 2011; Ardhanawari, 2011). Sedangkan menurut Kawaroe (2009), pada spesies alga *Chlorella sp.* dan *Dunaliella sp.* pada durasi pencahayaan alami selama 12 jam lebih baik digunakan dalam menurunkan kadar nutrien di dalam air limbah, kemudian diikuti dengan durasi pencahayaan alami selama 16 jam dan pencahayaan lampu selama 8 jam.

### 2.4.3. Pengaruh pH

Di dalam air, pH dapat mempengaruhi proses bio-kimia yang berhubungan dengan pertumbuhan dan metabolisme alga termasuk ketersediaan  $\text{CO}_2$ . Menurut Reynolds (2006), pH optimum untuk pertumbuhan mikroalga di air tawar adalah sekitar 8. Hal ini terjadi karena *phytoplankton* akan hidup dengan

baik pada kondisi netral Sedangkan menurut Effendi (2003), pH optimum pada alga jenis *Nannochloropsis sp.* adalah sebesar 7-9.

Proses kimia di dalam air juga dapat dipengaruhi oleh keberadaan pH. Seperti pada proses fotosintesis, nitrifikasi, dan lain sebagainya (Fallowfield and Garrett, 1986). Pada pH kurang dari 4, sebagian besar tumbuhan air mati karena tidak dapat bertoleransi terhadap pH rendah (Haslam, 1995). Fitoplankton dapat berkembang secara baik pada kisaran pH 6,5 sampai dengan 8 (Goldman and Horne, 1983).

#### **2.4.4. Pengaruh Pengadukan**

Pengadukan adalah suatu proses homogenisasi dengan cara menciptakan terjadinya gerakan di dalam bahan yang diaduk secara acak dari bahan satu ke bahan yang lain. Pengadukan dapat mengurangi ketidaksamaan komposisi, suhu atau sifat lain yang terdapat di dalam suatu bahan (Ambas, 2006). Tujuan utama dari adanya pengadukan adalah agar terjadi pencampuran komposisi di dalam reaktor.

Tujuan pengadukan pada sistem HRAR adalah untuk menghindari terbentuknya sedimen dan melakukan penyebaran nutrisi secara merata. Selain itu pengadukan juga berfungsi untuk meningkatkan efisiensi cahaya pada sel-sel alga (Inthe, 2012).

Pada penelitian ini selain berfungsi pada alga, pengadukan juga membantu proses pencampuran minyak di dalam air. Molekul minyak dan air jika dicampurkan akan memiliki daya tarik-menarik antara partikel sejenis atau biasa disebut dengan kohesi (Wati, 2012). Daya kohesi zat selalu sama, sehingga pada permukaan suatu zat cair akan terjadi perbedaan tegangan karena tidak adanya kesetimbangan gaya kohesi. Semakin tinggi perbedaan tegangan di antara kedua zat tersebut maka akan semakin sulit untuk bercampur. Penggunaan proses pengadukan berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan antara kedua zat tersebut sehingga akan terjadi pencampuran.

#### **2.4.5. Pengaruh Nutrien**

Nutrien berasal dari hasil dekomposisi bahan organik dan regenerasi dari nutrien. Dalam perairan, nitrogen dan fosfor dikenal sebagai biostimulan yang penting bagi pertumbuhan mikroorganisme, tanaman dan hewan. Di dalam struktur alga, nitrogen dan fosfor akan menyatu dengan jumlah rasio N:P yaitu 16:1 (Summers, 2008). Suplai nutrien yang cukup pada alga akan mengoptimalkan proses fotosintesisnya.

Di dalam air, alga dapat menggunakan  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  atau  $\text{NH}_4^+$  sebagai sumber nitrogen. Nitrat merupakan bentuk nitrogen utama di perairan alami dan juga merupakan nutrien utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga (Darley, 1982). Sedangkan fosfor merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga (Goldman and Horne, 1983). Ortofosfat, ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) merupakan fosfor anorganik yang sangat penting untuk pertumbuhan alga, walaupun alga lebih mudah mendapat elemen dari fosfat organik. Alga akan tumbuh dipermukaan air dibatasi oleh keberadaan fosfor di perairan tersebut. Idealnya, kondisi pertumbuhan alga pada musim panas dapat terjadi dengan adanya konsentrasi fosfat anorganik kurang dari 0,005–0,01mg/L (Summers, 2008).

Semakin tinggi nilai klorofil a maka akan semakin menurun kadar nutrien di dalamnya. Menurunnya kadar nutrien ini membuktikan semakin baiknya pengolahan air limbah yang berjalan (Eddy and Metcalf, 2004).

#### **2.5. Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu seperti ditampilkan pada Tabel 2.2 di bawah ini. Perbedaan penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah dari jenis limbahnya. Pada penelitian sebelumnya, belum pernah dilakukan penelitian efektifitas sistem HRAR dalam menurunkan konsentrasi kandungan minyak solar di dalam limbah dengan variabel durasi pencahayaan.

**Tabel 2.2 Penelitian-Penelitian Terdahulu**

No	Nama	Judul	Jenis Limbah	Variabel	Hasil
1	Alwi (2011)	Pengaruh durasi pencahayaan dan kedalaman pada HRAR terhadap penurunan konsentrasi kadar organik limbah perkotaan	Limbah perkotaan	Durasi pencahayaan dan kedalaman	Penurunan konsentrasi nutrisi terbaik terjadi pada reaktor HRAR dengan kedalaman 25 cm dan durasi pencahayaan 12 jam.
2	Ardhanawari (2011)	Pengaruh durasi pencahayaan dan kedalaman pada HRAR terhadap penurunan nitrogen dan fosfat limbah perkotaan	Limbah perkotaan	Durasi pencahayaan dan kedalaman	Penurunan konsentrasi zat organik terbaik terjadi pada reaktor HRAR dengan kedalaman 25 cm dan durasi pencahayaan 12 jam.
3	Kawaroe dkk. (2009)	Laju pertumbuhan spesifik <i>Chlorella sp.</i> dan <i>Dunaliella sp.</i> berdasarkan perbedaan nutrisi dan fotoperiode	Limbah sintesis	Konsentrasi nutrisi dan durasi pencahayaan	Penurunan konsentrasi nutrisi pada spesies alga <i>Chlorella sp.</i> dan <i>Dunaliella sp.</i> lebih optimum dilakukan pada durasi pencahayaan alami selama 12 jam, kemudian diikuti dengan durasi pencahayaan alami selama 16 jam dan pencahayaan lampu selama 8 jam.

No	Nama	Judul	Jenis Limbah	Variabel	Hasil
4	Anggraeni (2007)	Penerapan metode fitoremediasi dengan menggunakan kayu apu pada air yang tercemar minyak pelumas bekas kendaraan	Air tercemar minyak pelumas kendaraan	Aerasi, kekentalan dan konsentrasi minyak	Konsentrasi maksimum kadar minyak yang dapat diterima oleh kayu apu adalah sebesar 600 mg/L dan dapat menurunkan konsentrasi minyak hingga sebesar 98,33%.
5	Yonas, dkk. (2012)	Pengolahan limbah POME dengan menggunakan mikroalga	Limbah <i>palm oil mill effluent</i> (POME)	Volume limbah POME dan variasi pemberian nutrisi $\text{NaHCO}_3$ dan urea	Penurunan nilai BOD dan COD terbaik terjadi pada reaktor dengan rasio POME dan mikroalga 1:3 dan penambahan nutrisi $\text{NaHCO}_3$ sebesar 100 ppm dan urea sebesar 30 ppm.

## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

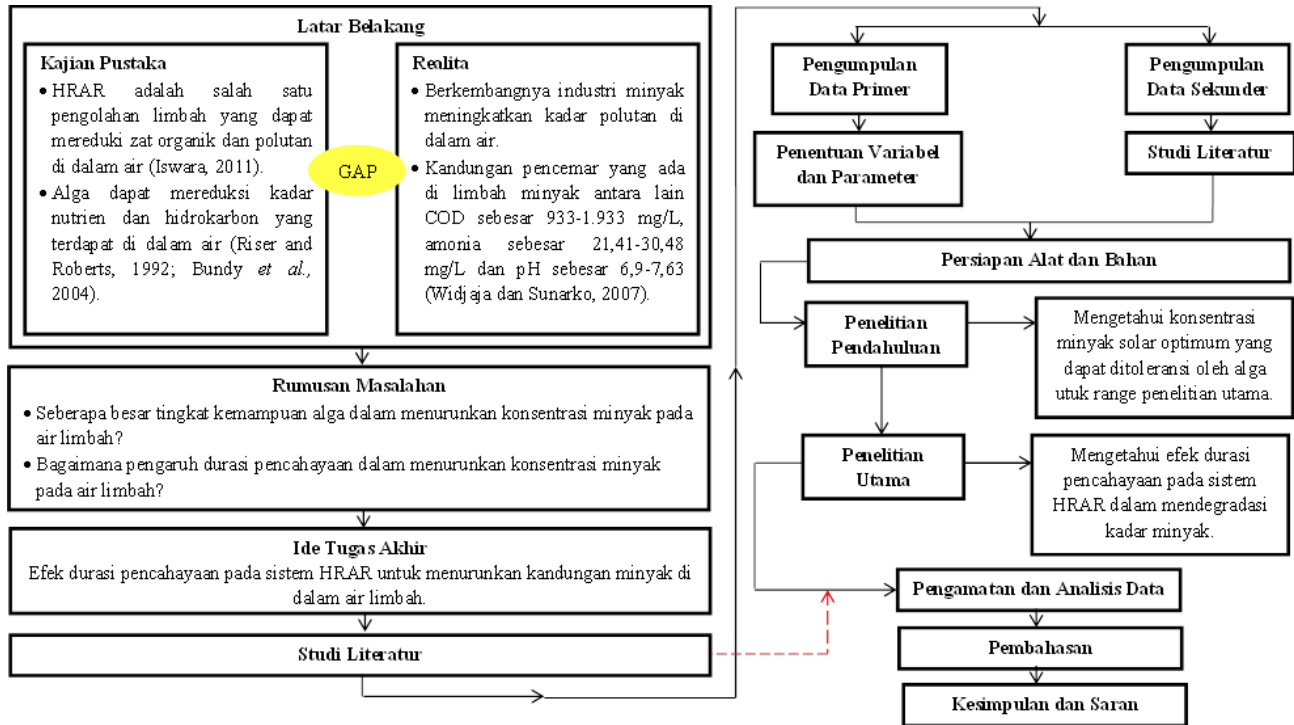
#### **3.1 Kerangka Penelitian**

Penelitian ini membahas kemampuan sistem *high rate algae reactor* (HRAR) dalam menurunkan kandungan minyak di dalam air limbah. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah durasi pencahayaan dan penambahan volume minyak solar yang ditambahkan ke dalam reaktor. Minyak solar digunakan pada penelitian ini karena memiliki titik nyala yang tinggi, sehingga memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi dibandingkan minyak bensin. Air limbah yang digunakan berupa campuran air alga yang ditambahkan minyak solar dengan beragam konsentrasi. Parameter yang dianalisis antara lain klorofil a, COD, MLSS, intensitas cahaya, konsentrasi *oil and grease*, pH, suhu, dan DO.

Metoda penelitian ini disusun dalam bentuk kerangka penelitian. Kerangka penelitian ini berisi alur dan prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian. Pembuatan metoda penelitian bertujuan untuk:

1. Gambaran dan pedoman awal dalam tahapan penelitian sehingga meminimisasi kesalahan dalam penelitian.
2. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian agar memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang akan dilakukan.

Kerangka penelitian ini nantinya digunakan sebagai gambaran dasar dalam penelitian. Hal ini dilakukan karena belum adanya kajian atau penelitian mengenai kemampuan sistem HRAR dalam mendegradasi limbah mengandung minyak solar. Tahapan penelitian dimulai dari ide penelitian, studi literatur, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan penelitian, analisis dan pembahasan data, serta diakhiri dengan pembuatan kesimpulan dan saran. Pada Gambar 3.1 telah dibuat kerangka penelitian pada tugas akhir ini.



**Gambar 3.1 Kerangka Penelitian**



### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian menjelaskan mengenai urutan kerja yang akan dilakukan. Pada tahapan ini juga dijelaskan secara lebih rinci mengenai tahapan yang disusun dalam kerangka penelitian. Tujuan dari pembuatan tahapan penelitian adalah memudahkan pemahaman dalam menjelaskan kerangka penelitian melalui deskripsi tiap tahapnya. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, yaitu:

#### 1. Ide Penelitian

Ide dari penelitian ini adalah melihat efek durasi pencahayaan terhadap kemampuan alga dalam menurunkan konsentrasi minyak pada air limbah. Karena pada penelitian sebelumnya belum pernah dibahas mengenai kemampuan alga dalam menurunkan konsentrasi minyak solar, maka dibutuhkan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk mengetahui penambahan minyak solar optimum yang dapat ditoleransi pada sistem *high rate algae reactor* (HRAR). Setelah itu dapat dilakukan pengkajian mengenai efek durasi pencahayaan terhadap efektifitas HRAR dalam mengolah limbah ini. Analisa pada penelitian ini dibagi menjadi dua variabel yaitu variasi durasi pencahayaan dan variasi penambahan minyak solar yang ditambahkan untuk mendapatkan kondisi yang optimum.

#### 2. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk membantu dan mendukung ide studi. Selain itu, studi literatur juga dapat meningkatkan pemahaman terhadap permasalahan yang akan diteliti. Studi literatur harus disesuaikan dengan analisis data dan pembahasan untuk menyesuaikan hasil analisa dengan literatur yang ada. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional dan jurnal Indonesia, peraturan, *text book*, makalah seminar, serta tugas akhir dan tesis yang berhubungan dengan penelitian.

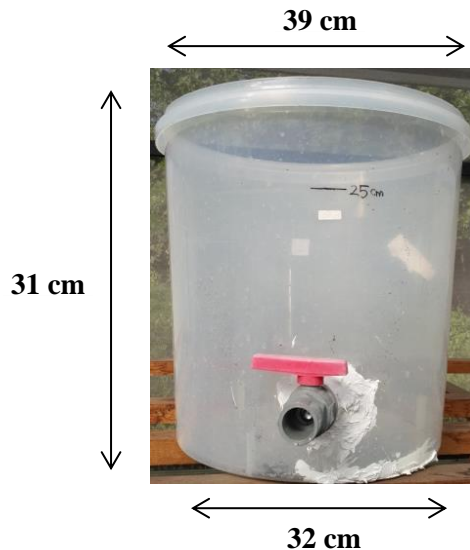
### 3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

#### a) Alat

##### - Reaktor

Reaktor yang digunakan berupa wadah yang terbuat dari *sealware* berkapasitas 18 L. Reaktor yang digunakan pada penelitian pendahuluan berjumlah 5 reaktor dan pada penelitian utama berjumlah 8 reaktor. Kedalaman yang digunakan pada masing-masing reaktor adalah 25 cm, dengan pemasangan keran plastik  $\frac{1}{2}$  inch 5 cm dari dasar reaktor. Pada masing-masing reaktor ditambahkan 1 pompa *submersible* yang berfungsi untuk pengadukan. Ilustrasi reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



**Gambar 3.2 Ilustrasi Reaktor**

- Jerigen dengan kapasitas 20 L dan 30 L
- Lampu *fluorescent* yang dilengkapi dengan saklar
- Rangka besi untuk pemasangan lampu pada reaktor dengan pencahayaan lampu. Rangka ini memiliki ukuran sebesar 120 cm x 60 cm. Jarak antara lampu dan reaktor adalah sebesar 15 cm. Ilustrasi rangka besi dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3 Ilustrasi Rangka Besi**

- Luxmeter MS6610



**Gambar 3.4 Luxmeter**

- pH meter
- Termometer
- Peralatan untuk analisis *oil and grease*, COD, DO, MLSS, dan klorofil a

b) Bahan

- Biakan alga
- Minyak solar
- Pupuk urea
- Pupuk NPK
- Gula pasir
- Bahan-bahan untuk analisis *oil and grease*, DO, COD, MLSS, dan klorofil a

4. Pelaksanaan Penelitian

a. *Seeding* dan Aklimatisasi

Langkah pertama yang dilakukan pada proses *seeding* adalah melakukan pembiakan alga. Alga yang digunakan merupakan biakan alga campuran yang diambil dari HRAR di Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Alga tersebut dibiakkan pada masing-masing reaktor berkapasitas 18 L. Langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan air keran sebanyak 10 L. Kemudian ditambahkan alga sebanyak 8 L pada masing-masing reaktor. Selanjutnya ditambahkan urea dan gula pasir sebagai sumber nutrisi dan sumber karbon alga. Penambahan ini dilakukan untuk menyesuaikan kondisi hidup alga dengan rasio C : N : P alga yaitu 100 : 16 : 1. Biakan alga dianggap telah siap digunakan jika warnanya sudah mulai berubah menjadi hijau tua. Alga yang sudah berwarna hijau tua akan diuji kadar C, N dan P nya. Kadar C di dalam air diukur dalam bentuk COD, kadar N diukur dalam bentuk total N dan kadar P diukur dalam bentuk orthofosfat. Setelah kadar C dan N sudah

memenuhi rasio hidup alga maka penelitian pendahuluan dapat dilakukan.

b. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dimulai dengan menambahkan minyak solar dengan variasi yang berbeda-beda. Variasi minyak solar yang ditambahkan adalah sebesar 173 ppm, 519 ppm, 865 ppm, dan 1.211 ppm. Penambahan minyak solar dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

**Tabel 3.1 Konsentrasi Solar Penelitian Pendahuluan**

No	Reaktor	Penambahan minyak solar (mL)	Konsentrasi minyak solar (ppm)
1	A	Tanpa Minyak	0
2	B	4,5	173
3	C	13,5	519
4	D	22,5	865
5	E	31,5	1.211

Perhitungan konversi minyak solar di atas dapat dilihat pada Lampiran D. Parameter yang diukur pada penelitian pendahuluan adalah pH, klorofil a dan MLSS. Parameter ini dipilih untuk mengetahui konsentrasi biomassa dan konsentrasi alga yang ada di dalam reaktor. Analisis parameter di atas dilakukan setiap 2 hari sekali pada pukul 08.00 WIB. Jumlah sampel yang diambil setiap analisisnya adalah sebanyak 200 mL karena analisis dilakukan secara duplo. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan range minyak solar optimum yang dapat ditoleransi pada sistem

HRAR. Range minyak solar tersebut nantinya akan digunakan pada penelitian utama dengan menggunakan variasi durasi pencahayaan. Penelitian pendahuluan dilakukan selama 8 hari karena selama 8 hari grafik konsentrasi klorofil a dan MLSS terus menerus mengalami penurunan. Hasil minyak solar optimum yang didapatkan dari penelitian pendahuluan adalah reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 519 ppm.

c. Penelitian Utama

Sebelum dilakukan penelitian utama, terlebih dahulu dilakukan persiapan penelitian utama. Persiapan penelitian utama meliputi kegiatan *seeding* dan aklimatisasi alga serta pengukuran kadar C : N : P pada tiap reaktor. Alga yang digunakan pada penelitian utama adalah alga biakan yang diambil dari reaktor penambahan minyak solar 519 ppm pada penelitian pendahuluan ditambahkan dengan alga biakan baru. Hal ini dilakukan agar pada reaktor nantinya terdapat alga yang sudah tahan terhadap konsentrasi minyak yang tinggi. Komposisi alga dan aquades yang ditambahkan pada masing-masing reaktor untuk penelitian utama dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Komposisi Alga Dalam Reaktor**

No	Komposisi	Volume (L)
1	Alga dari penelitian pendahuluan	1,75
2	Alga biakan baru	5
3	Aquades	11,25

Pada penelitian utama, digunakan dua variabel penelitian yaitu variasi penambahan minyak solar dan variasi durasi pencahayaan. Variasi penambahan

minyak solar didapatkan dari range minyak solar optimum pada penelitian pendahuluan. Nantinya digunakan 3 macam variasi penambahan minyak solar dan 2 macam variasi durasi pencahayaan pada penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum yaitu kondisi di mana konsentrasi minyak paling banyak turun di dalam limbah tersebut. Dari hasil penelitian pendahuluan diketahui range minyak solar optimum yang dapat diterima alga adalah penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Dua penambahan minyak solar lainnya didapatkan dari nilai tengah antara nilai minyak solar optimum dengan nilai minyak solar di atas dan di bawahnya pada penelitian pendahuluan. Sehingga didapatkan konsentrasi solar sebesar 346 ppm, 519 ppm dan 692 ppm. Konversi nilai minyak solar di atas ke dalam ppm dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.3 Konsentrasi Solar Penelitian Utama**

No	Reaktor	Penambahan minyak solar (mL)	Penambahan minyak solar (ppm)
1	DA1, DB1	Tanpa Minyak	0
2	DA2, DB2	9	346
3	DA3, DB3	13,5	519
4	DA4, DB4	18	692

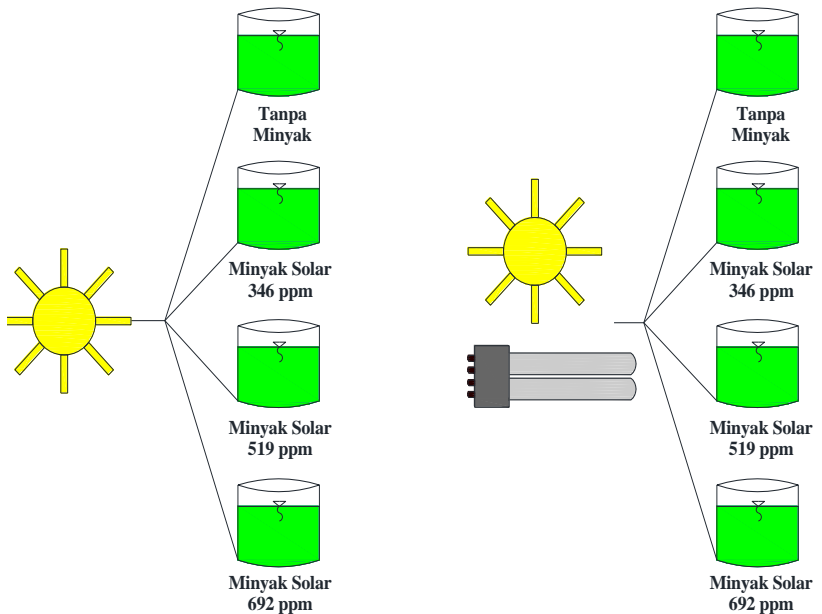
Variasi durasi pencahayaan yang digunakan adalah pencahayaan alami selama 12 jam dan pencahayaan alami selama 12 jam yang dikombinasikan dengan pencahayaan lampu *fluorescent* selama 12 jam. Sehingga didapatkan 8 reaktor yang dipakai pada penelitian ini dengan 2 reaktor yang digunakan sebagai reaktor kontrol. Reaktor kontrol adalah reaktor tanpa penambahan minyak solar dengan penambahan variasi

durasi pencahayaan. Reaktor-reaktor yang digunakan pada penelitian utama dapat dilihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Reaktor Pada Penelitian Utama**

Minyak Solar Cahaya	Kontrol	346 ppm	519 ppm	692 ppm
	Pencahayaan 12 Jam	DA1	DA2	DA3
Pencahayaan 24 Jam	DB1	DB2	DB3	DB4

Reaktor-reaktor di atas dapat diilustrasikan pada Gambar 3.5 di bawah ini.



**Gambar 3.5 Penelitian Utama**



Pada penelitian utama dilakukan dua kali *running*. *Running* pertama dilakukan selama 14 hari. Parameter yang diukur pada saat penelitian ini adalah klorofil a, COD, MLSS, intensitas cahaya, konsentrasi *oil and grease*, pH, suhu dan DO. Pengamatan pada parameter-parameter di atas dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Waktu Analisis Penelitian Utama**

No	Parameter	Waktu Analisis	Duplo
1.	<i>Oil and grease</i>	Pada awal dan akhir penelitian.	Tidak
2.	Klorofil a	Setiap dua hari sekali pada pukul 08.00 WIB.	Ya
3.	MLSS	Setiap dua hari sekali pada pukul 08.00 WIB.	Ya
4.	COD	Setiap dua hari sekali pada pukul 08.00 WIB.	Tidak
5.	DO	Dua hari sekali pada pukul 06.00 WIB dan 15.00 WB.	Tidak
6.	pH	Dua hari sekali pada pukul 08.00 WIB.	Tidak
7.	Suhu	Dua hari sekali pada pukul 08.00 WIB.	Tidak
8.	Intensitas Cahaya	Dua hari sekali pada pukul 06.00 WIB, 09.00 WIB, 12:00 WIB dan 15.00 WIB.	Tidak

Pada analisis konsentrasi *oil and grease*, COD, DO, pH, suhu dan intensitas cahaya tidak dilakukan analisis secara duplo karena faktor error yang dihasilkan cenderung minim. Sedangkan pada parameter klorofil a dan MLSS dilakukan analisis secara duplo karena hasil yang didapatkan memiliki faktor error yang cukup besar. Pada *running* kedua waktu yang dibutuhkan adalah 14 hari dengan pengambilan sampel dan analisis

selama 3 hari sekali. *Running* kedua ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan alga dalam memulihkan diri setelah diberikan minyak solar pada *running* pertama. Parameter yang dianalisis adalah klorofil a, COD dan pH.

#### 5. Metoda Analisis

Metoda analisis yang digunakan pada pengukuran klorofil a, COD, MLSS, intensitas cahaya, konsentrasi *oil and grease*, pH, suhu, dan DO pada percobaan ini terdapat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

**Tabel 3.6 Metoda Analisis Penelitian**

No	Analisa	Metoda Analisis	Lokasi Analisis
1	Klorofil a	<i>Spectrophotometric determination of chloropyll</i>	Lab Sampah dan B3, Teknik Lingkungan ITS
2	DO	<i>Azide Modification</i>	Lab Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan ITS
3	pH	pH meter	Lab Sampah dan B3, Teknik Lingkungan ITS
4	Suhu	Termometer	Rumah Kaca, Teknik Lingkungan ITS
5	COD	<i>Closed reflux titimetric method</i>	Lab Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan ITS
6	MLSS	<i>Total Suspended Solids Dried at 103-105°C</i>	Lab Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan ITS

No	Analisa	Metoda Analisis	Lokasi Analisis
7	Intensitas cahaya	Lux meter	Rumah Kaca, Teknik Lingkungan ITS
8	<i>Oil and grease</i>	<i>Soxhlet Extraction Method</i>	Lab Pemulihan Kualitas Air, Teknik Lingkungan ITS

Sumber: APHA (1998); APHA (2005)

Berikut akan dijabarkan masing-masing analisis berdasarkan Tabel 3.6 di atas:

a. Klorofil a

Analisis klorofil a dilakukan berdasarkan Standard Methods 10200 H mengenai klorofil, dengan menggunakan *spectrophotometric determination of chloropyll* (APHA, 2005).

b. DO

Analisis DO dilakukan berdasarkan Standard Methods 4500-O C dengan menggunakan *azide modification* (APHA, 1998).

c. pH

Analisis pH dilakukan dengan menggunakan pH meter.

d. Suhu

Analisis suhu dilakukan dengan menggunakan termometer.

e. COD

Analisis COD dilakukan berdasarkan Standard Methods 5220 C dengan menggunakan *closed reflux titimetric method* (APHA, 1998).

f. MLSS

Analisis MLSS dilakukan berdasarkan Standard Methods 2540 D mengenai *total suspended solids dried at 103-105°C* (APHA, 1998).

## g. Intensitas cahaya

Analisis intensitas cahaya dilakukan dengan menggunakan luxmeter dengan satuan lux ( $\text{lumen/m}^2$ ). Satu foot candle bernilai 10,754 lux (Polprasert, 1996).

h. *Oil and Grease*

Analisis *oil and grease* dilakukan berdasarkan Standard Methods 5520 D dengan menggunakan *soxhlet extraction method* (APHA, 1998).

## 6. Analisa Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah data yang dibutuhkan terkumpul. Dalam tahap ini diperlukan literatur yang sesuai agar argumen dalam pembahasan dapat lebih akurat. Dalam pembahasan dilakukan penjabaran secara detail dan rinci serta tetap menjawab rumusan masalah yang ada. Hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik dan presentase efisiensi tergantung dari jenis parameternya. Pada parameter konsentrasi *oil and grease*, data penelitian konsentrasi awal dan akhir dapat dibuat efisiensi penurunan kadar minyak yang terkandung di dalam reaktor. Rumus yang digunakan pada efisiensi penurunan konsentrasi *oil and grease* adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{C_o - C_x}{C_o} \times 100 \%$$

di mana:  $\eta$  = Efisiensi (%)  
 $C_o$  = Konsentrasi awal  
 $C_x$  = Konsentrasi akhir

Sedangkan pada parameter lain selain konsentrasi *oil and grease*, data-data yang dihasilkan dibuat grafik berdasarkan fungsi waktunya. Selain itu pada parameter-parameter tertentu dilakukan analisis korelasi antar parameter untuk

membandingkan efek yang ditimbulkan dari parameter satu dengan parameter lainnya.

7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dibuat berdasarkan hasil pada analisis data dan pembahasan. Kesimpulan harus menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada pada bagian rumusan masalah dan sebanding dengan jumlah tujuan. Sedangkan saran diperlukan untuk menyempurnakan penelitian yang dilakukan saat ini dengan membuat rekomendasi pada penelitian selanjutnya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. *Seeding* dan Aklimatisasi

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan proses *seeding* dan aklimatisasi. *Seeding* dan aklimatisasi merupakan tahapan pembiakan alga sebelum alga tersebut diberikan beban pencemar. Alga yang digunakan merupakan biakan alga campuran yang diambil dari HRAR di Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

*Seeding* dilakukan pada tanggal 29 Maret 2014. Proses *seeding* diawali dengan memasukkan 8 L alga dan 10 L air keran ke dalam reaktor berkapasitas 18 L. Reaktor yang digunakan pada proses *seeding* ini berjumlah 5 reaktor untuk persiapan penelitian pendahuluan. Alga yang dimasukkan adalah alga yang secara visual berwarna hijau tua. Alga yang berwarna hijau tua diasumsikan memiliki nilai klorofil a yang tinggi, sehingga memiliki kandungan alga yang tinggi pula. Proses *seeding* ini dilakukan selama satu minggu dengan pengamatan secara visual.

Selanjutnya pada tanggal 4 April ditambahkan 2 gram urea dan 2 gram gula pasir ke dalam masing-masing reaktor. Penambahan urea dan gula pasir ini berfungsi untuk menambahkan sumber nutrisi dan karbon yang dibutuhkan alga dalam pertumbuhannya. Penambahan ini dilakukan untuk menyesuaikan kondisi sistem HRAR dengan rasio C : N : P hidupnya yaitu, 100 : 16 : 1 (Redfield *et al.*, 1963).

Sebelum dilakukan analisis C : N : P langkah yang pertama kali dilakukan adalah mencampurkan 5 reaktor berisi biakan alga ke dalam gentong berkapasitas 150 L. Hal ini dilakukan agar kondisi alga pada saat penelitian pendahuluan memiliki konsentrasi nutrisi dan alga yang sama. Biakan alga didiamkan di dalam gentong selama 2 jam. Setelah itu baru dilakukan *sampling* C : N : P dan klorofil A awal. Kadar C di dalam air diukur dalam bentuk COD, kadar N diukur dalam bentuk total N dan kadar P

diukur dalam bentuk orthofosfat. Sampling dan analisis C : N : P serta klorofil a ini dilakukan pada tanggal 5 April 2013. Hasil analisis parameter-parameter di atas dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Konsentrasi C, N, dan Klorofil a Awal**

No	Parameter	Konsentrasi (mg/L)
1	COD	288
2	Total N	49,96
3	Orthofosfat	2,95
4	Klorofil a	23,874

Dari tabel di atas didapatkan rasio C : N : P hidup alga adalah sebesar 100 : 17,35 : 1,02. Sedangkan dilihat dari konsentrasi nilai klorofil a yang sudah memenuhi standar minimum alga pada sistem HRAR yaitu sebesar 0,22-1,30 mg/L (Fallowfield *et al.*, 1986). Sehingga penelitian pendahuluan sudah dapat dilakukan.

#### 4.2. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk mendapatkan range minyak solar optimum yang dapat ditoleransi pada sistem HRAR. Range minyak solar ini yang akan digunakan pada penelitian utama dengan menggunakan variasi durasi pencahayaan. Penelitian pendahuluan dilakukan selama 8 hari dimulai pada tanggal 7 April hingga tanggal 15 April. Pengambilan sampel dilakukan selama 2 hari sekali pada pukul 08.00 WIB dimulai pada t ke 0 yaitu pada tanggal 7 April 2014. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah parameter klorofil a, MLSS dan pH. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 5 buah, dengan 1 reaktor sebagai reaktor kontrol tanpa penambahan minyak solar sama sekali. Durasi pencahayaan yang digunakan pada penelitian ini adalah pencahayaan alami yaitu durasi pencahayaan selama 12 jam dengan menggunakan cahaya matahari.



Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian pendahuluan adalah dengan menambahkan minyak solar dengan variasi yang berbeda-beda. Variasi minyak solar yang ditambahkan adalah sebesar 173 ppm, 519 ppm, 865 ppm, dan 1.211 ppm. Penambahan minyak solar yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2 Penambahan Minyak Solar Penelitian Pendahuluan**

Reaktor	Penambahan Minyak Solar (mL)	Penambahan Minyak Solar (ppm)
1	Tanpa Minyak	0
2	4,5	173
3	13,5	519
4	22,5	865
5	31,5	1211

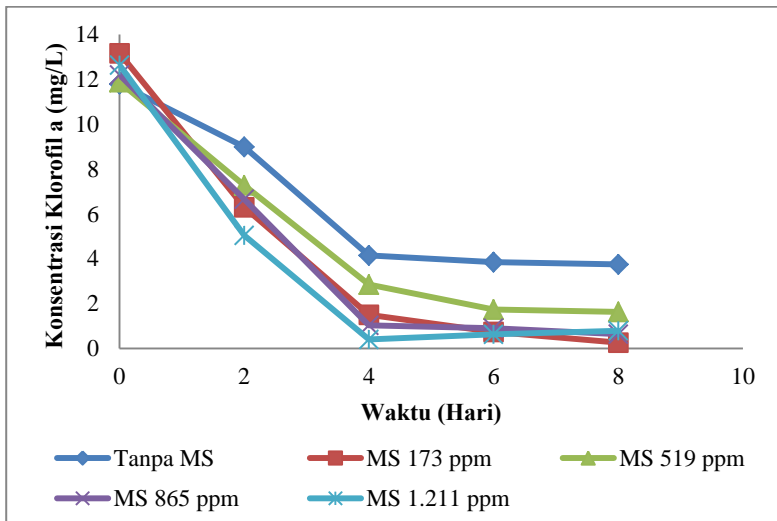
Dari keempat variasi minyak solar di atas, nantinya akan dipilih satu reaktor yang paling resisten terhadap penambahan minyak solar dengan konsentrasi tertentu. Hasil minyak solar optimum yang didapatkan ini nantinya akan digunakan menjadi range minyak solar yang akan digunakan pada penelitian utama.

Pada penelitian pendahuluan dilakukan pengukuran terhadap 2 parameter kunci dan 1 parameter tambahan yaitu klorofil a, MLSS dan pH. Dari ketiga parameter ini dapat dilihat tren yang terbentuk dari hasil penelitian sehingga dapat diketahui konsentrasi biomassa dan konsentrasi alga paling resisten yang terdapat di dalam reaktor dengan memperhatikan kondisi lingkungan dilihat dari nilai pH yang didapat.

Pada hasil analisis parameter klorofil a, diketahui bahwa konsentrasi klorofil a pada semua reaktor terutama reaktor kontrol tanpa penambahan minyak solar, mengalami penurunan pada hari kedua dan hari keempat.

Sedangkan pada hari keenam hingga hari kedelapan nilai klorofil a cenderung konstan. Karena nilai klorofil a yang cenderung menurun, maka penentuan dosis minyak solar optimum yang dapat diterima oleh alga dilakukan dengan melihat persentase penurunan klorofil a.

Dari persentase penurunan klorofil a ini nantinya dipilih nilai penurunan klorofil a yang paling kecil diantara semua reaktor yang diberi penambahan minyak solar. Hal ini memiliki arti bahwa semakin kecil penurunan klorofil a maka akan semakin tahan alga terhadap minyak solar yang dimasukkan. Grafik hasil analisis klorofil a pada penelitian pendahuluan ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.

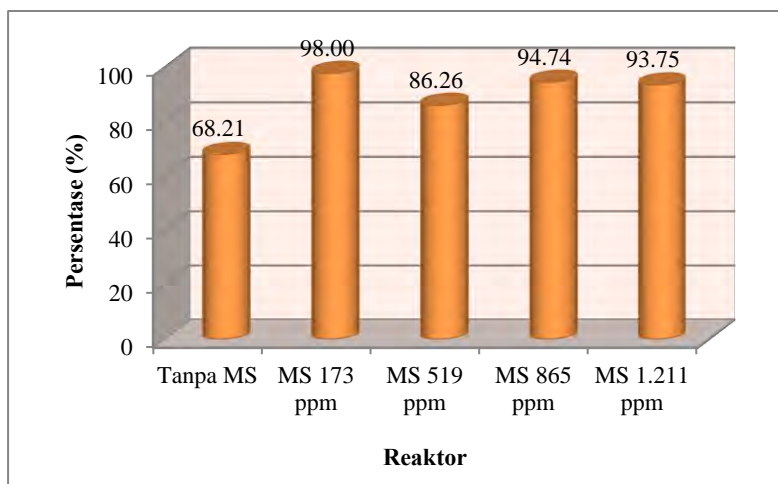


**Gambar 4.1 Grafik Klorofil a Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Selanjutnya jika dilihat dari grafik persentase penurunan konsentrasi klorofil a, dapat diketahui bahwa persentase penurunan klorofil a yang paling kecil selain pada reaktor tanpa

penambahan minyak solar, terdapat pada reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 519 ppm.

Dari analisis parameter klorofil a di atas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi alga paling resisten terhadap minyak solar terdapat pada reaktor 3, yaitu reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Grafik persentase penurunan konsentrasi klorofil a akan disajikan pada Gambar 4.2 sebagai berikut.

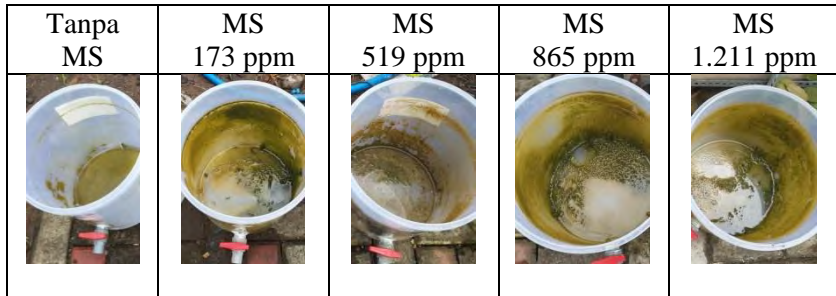


**Gambar 4.2 Persentase Penurunan Konsentrasi Klorofil a dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

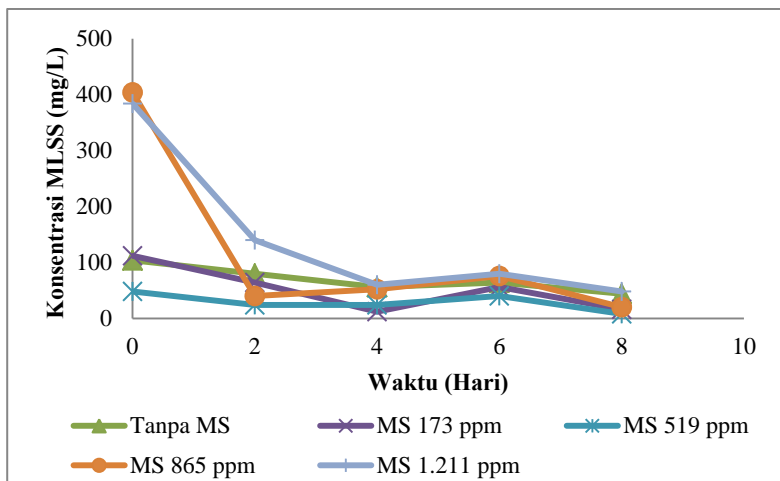
Pada akhir penelitian dapat dilihat bahwa pada pinggiran reaktor pada Gambar 4.3 berwarna hijau. Hijainya pinggiran reaktor ini diakibatkan keberadaan alga yang menempel di pinggiran reaktor.

Semakin tinggi konsentrasi minyak solar yang ditambahkan maka akan semakin banyak alga yang menempel di sekitar pinggiran reaktor. Sehingga penurunan konsentrasi klorofil a pada penelitian pendahuluan ini terjadi karena alga menempel di sekitar reaktor. Untuk melihat secara visual banyaknya alga yang

menempel di sekitar reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4.3** Pinggiran Reaktor yang Ditempeli Alga



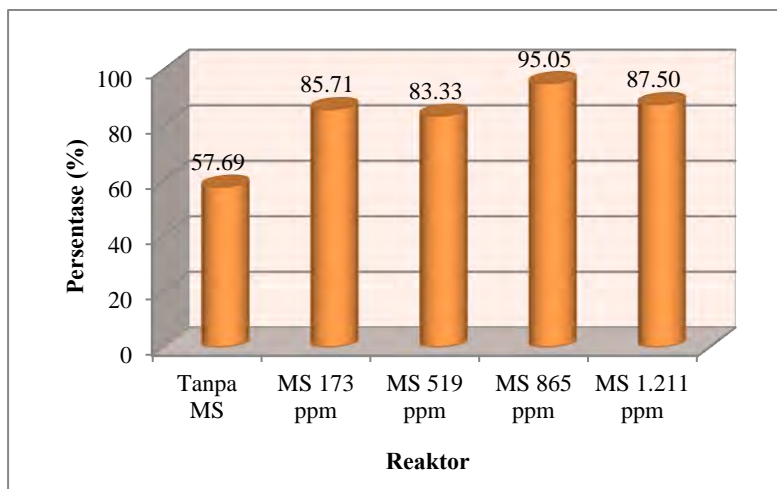
**Gambar 4.4** Grafik MLSS Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)

Sedangkan pada parameter *mixed liquor suspended solid* (MLSS) dapat diketahui dari Gambar 4.4 bahwa pada reaktor 4 dan 5 terjadi penurunan MLSS tertinggi pada hari kedua. Sedangkan pada hari keempat dan seterusnya nilai MLSS

cenderung stagnan. Sedangkan pada reaktor 1, 2 dan 3 nilai MLSS mengalami penurunan namun tidak terlalu drastis seperti pada reaktor 4 dan 5.

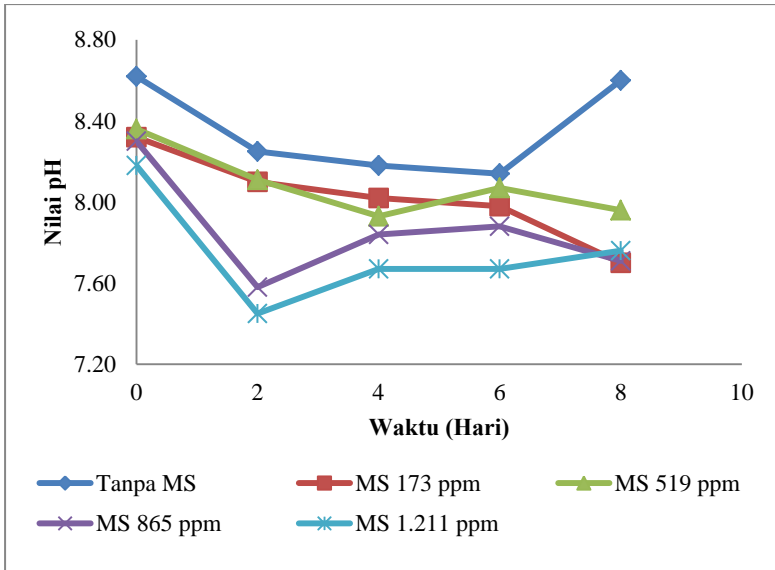
Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa tren yang ditunjukkan mengalami penurunan. Hal ini mengakibatkan pemilihan konsentrasi biomassa optimum yang resisten terhadap minyak solar adalah dengan cara melihat persentase penurunan konsentrasi MLSS yang paling kecil.

Pada Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa persentase penurunan MLSS terendah terdapat pada reaktor 3, yaitu reaktor yang diberi penambahan minyak solar sebesar 519 ppm.



**Gambar 4.5** Persentase Penurunan Konsentrasi MLSS dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)

Selain dua parameter utama di atas, digunakan juga parameter pH untuk membandingkan dengan kondisi lingkungan yang berkaitan dengan kehidupan alga. Grafik analisis parameter pH dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini.



**Gambar 4.6 Grafik pH Penelitian Pendahuluan dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai pH pada semua reaktor berkisar antara 7,4 hingga 8,7. Pada hari kedua pH dari setiap reaktor cenderung menurun. Sedangkan menurut Aslan (1998), hampir seluruh alga mempunyai kisaran daya penyesuaian terhadap pH dengan kisaran 6,8-9,6. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kisaran pH pada reaktor masih memenuhi standar kondisi kehidupan alga.

Dari semua parameter di atas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi minyak solar paling optimum yang dapat ditoleransi pada sistem HRAR adalah penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Hal ini dapat dilihat pada penurunan konsentrasi klorofil a terkecil pada reaktor dengan penambahan minyak solar 519 ppm yaitu sebesar 86,26% dan penurunan MLSS terkecil yaitu sebesar 83,33%.

### 4.3. Tahap Persiapan Penelitian Utama

Tahap persiapan penelitian utama meliputi kegiatan *seeding* dan aklimatisasi serta pengukuran C : N : P pada masing-masing reaktor. Setelah penelitian pendahuluan selesai, pada tanggal 17 April dilakukan uji C : N : P pada reaktor dengan penambahan minyak solar 519 ppm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah gula pasir dan pupuk yang ditambahkan untuk memenuhi kebutuhan karbon dan nutrisi alga. Pupuk yang digunakan kali ini adalah pupuk NPK. Pupuk ini dipilih untuk meningkatkan kadar P yang terdapat di dalam reaktor.

Kadar C di dalam air dianalisis dalam bentuk COD, kadar N dianalisis dalam bentuk total N dan kadar P dianalisis dalam bentuk orthofosfat ( $PO_4^-$ ). Dari hasil uji C : N : P tersebut diketahui nilai C: N : P alga belum memenuhi standar, yaitu sebesar 100 : 2,78 : 0,11. Sehingga dari perhitungan yang terdapat pada LAMPIRAN D maka pupuk NPK yang ditambahkan adalah sebesar 3,6379 gram dan gula pasir sebesar 1,4423 gram.

Alga didiamkan selama 4 hari setelah dilakukan penambahan pupuk NPK dan gula pasir. Hal ini bertujuan untuk memberikan waktu kepada alga untuk beradaptasi. Kemudian dilakukan pembagian alga ke dalam masing-masing reaktor.

Alga yang digunakan pada penelitian utama adalah alga biakan yang diambil dari reaktor penambahan minyak solar 519 ppm pada penelitian pendahuluan ditambahkan dengan alga biakan baru. Hal ini dilakukan agar pada reaktor nantinya terdapat alga yang sudah tahan terhadap konsentrasi minyak solar.

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat komposisi alga dan aquades yang ditambahkan pada masing-masing reaktor.

**Tabel 4.3 Komposisi Campuran Alga di Reaktor**

No	Komposisi	Volume (L)
1	Alga dari penelitian pendahuluan	1,75
2	Alga biakan baru	5
3	Aquades	11,25

Selanjutnya dilakukan uji C : N : P terhadap delapan reaktor yang akan digunakan pada penelitian utama. Analisis ini dilakukan pada tanggal 24 April 2014. Hasil Analisis C : N : P delapan reaktor ini dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

**Tabel 4.4 Hasil Analisis C : N : P Penelitian Utama**

Reaktor	Konsentrasi C : N : P		
	COD (mg/L)	Total N (mg/L)	Orthofosfat (mg/L)
DA1	22,5	8,84	0,25
DA2	15	3,9	0,32
DA3	22,5	5,58	0,53
DA4	22,5	4,68	0,57
DB1	60	10,52	0,65
DB2	30	9,36	0,56
DB3	52,5	8,65	0,55
DB4	52,5	8,55	0,59

**Tabel 4.5 Rasio C : N : P Penelitian Utama**

Reaktor	Rasio C : N : P		
	COD	Total N	Orthofosfat
DA1	100	39,27	1,11
DA2	100	25,99	2,15
DA3	100	24,8	2,34
DA4	100	20,8	2,55
DB1	100	17,53	1,08
DB2	100	31,21	1,86
DB3	100	16,48	1,04
DB4	100	16,29	1,12



Pada Tabel 4.5 dapat dilihat nilai rasio C : N : P masing-masing reaktor. Dari nilai rasio C : N : P di atas maka dapat terlihat bahwa rasio alga pada masing-masing reaktor sudah memenuhi syarat rasio kadar C : N : P di dalam air, yaitu sebesar 100 : 16 : 1 (Redfield *et al.*, 1963). Sehingga penelitian utama sudah dapat dilakukan.

#### 4.4. Penelitian Utama

Pada penelitian utama, digunakan dua variabel penelitian yaitu variasi konsentrasi minyak solar dan variasi durasi pencahayaan. Variasi konsentrasi minyak solar didapatkan dari range minyak solar optimum pada penelitian pendahuluan. Digunakan 3 macam variasi konsentrasi minyak solar dan 2 macam variasi durasi pencahayaan pada penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum yaitu kondisi di mana kadar minyak paling banyak terdegradasi di dalam limbah tersebut.

Dari hasil penelitian pendahuluan diketahui range minyak solar optimum yang dapat diterima alga adalah penambahan minyak solar sebesar 519 ppm. Dua konsentrasi minyak solar lainnya didapatkan dari nilai tengah antara nilai minyak solar optimum dengan nilai minyak solar di atas dan di bawahnya pada penelitian pendahuluan. Sehingga didapatkan konsentrasi minyak solar sebesar 346 ppm, 519 ppm dan 692 ppm. Penambahan minyak solar yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4.6 Penambahan Minyak Solar Penelitian Utama**

No	Reaktor	Penambahan Minyak Solar (mL)	Penambahan Minyak Solar (ppm)
1	DA1, DB1	Tanpa Minyak	0
2	DA2, DB2	9	346
3	DA3, DB3	13,5	519
4	DA4, DB4	18	692

Variasi durasi pencahayaan yang digunakan adalah pencahayaan alami selama 12 jam dan pencahayaan alami selama 12 jam yang dikombinasikan dengan pencahayaan buatan selama 12 jam. Sehingga didapatkan 8 reaktor yang dipakai pada penelitian ini dengan 2 reaktor yang digunakan sebagai reaktor kontrol. Reaktor kontrol adalah reaktor tanpa penambahan minyak solar dengan penambahan variasi durasi pencahayaan. Reaktor-reaktor yang digunakan pada penelitian utama dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.7 Nama Reaktor Penelitian Utama**

Minyak Solar Cahaya	Tanpa Minyak	346 ppm	519 ppm	692 ppm
Pencahayaan 12 Jam	DA1	DA2	DA3	DA4
Pencahayaan 24 Jam	DB1	DB2	DB3	DB4

*Running* pada penelitian utama dibagi menjadi dua tahapan, yaitu *running* pertama dan *running* kedua. *Running* pertama bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan kandungan minyak yang terjadi dalam sistem HRAR. Sedangkan *running* kedua bertujuan untuk mengetahui kemampuan alga bertahan hidup setelah ditambahkan biakan alga baru dan pupuk urea sebagai sumber nutrien.

*Running* pertama dilakukan pada tanggal 25 April 2014 sampai tanggal 9 Mei 2014. Parameter yang digunakan adalah *oil and grease*, klorofil a, MLSS, COD, suhu, DO, pH dan intensitas cahaya. Pengambilan sampel dan analisis dari masing-masing parameter dilakukan setiap dua hari sekali. Sedangkan *running* kedua dilakukan pada tanggal 9 Mei 2014 sampai tanggal 24 Mei 2014. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah klorofil a, COD dan pH. Pengambilan sampel dan analisis dari masing-masing parameter dilakukan setiap tiga hari sekali.

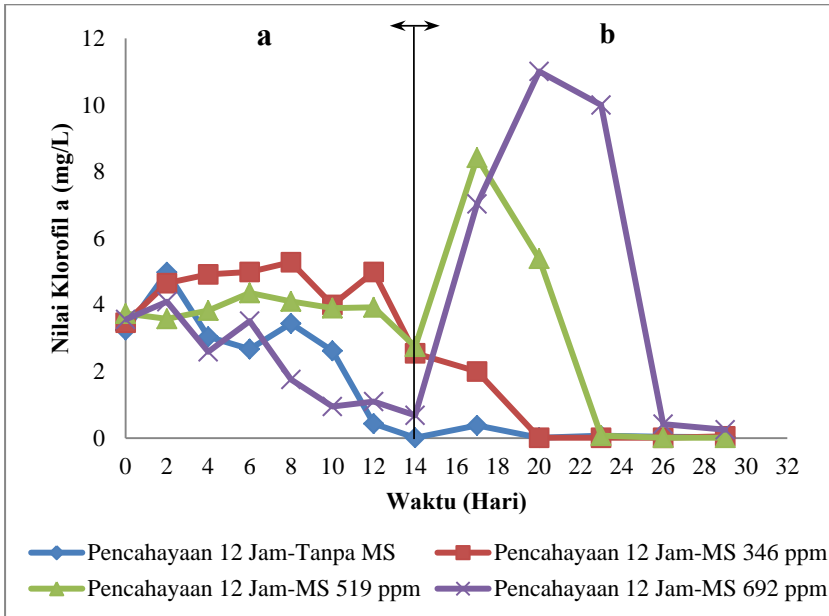
#### 4.4.1. Hasil Analisis Klorofil a

Menurut Sediadi dan Edward (2000), klorofil a adalah suatu pigmen aktif dalam sel tumbuhan yang memiliki peranan penting pada berlangsungnya fotosintesis di perairan. Klorofil a dapat mewakilkan keberadaan alga di dalam air. Analisis yang digunakan untuk mengukur klorofil a adalah dengan menggunakan *spectrophotometric determination of chloropyll* (APHA, 2005).

Pada analisis ini ditambahkan aseton ke dalam tabung centrifuge dengan tujuan melarutkan kandungan klorofil a yang terdapat di dalam sampel. Menurut Riyono (2007), sifat kimia klorofil a adalah tidak mudah larut di dalam air namun mudah larut di dalam berbagai jenis pelarut organik seperti aseton. Pada analisis klorofil a, penjelasan dibagi menjadi dua grafik yaitu grafik dengan pencahayaan lampu dan tanpa pencahayaan lampu. Hasil analisis klorofil a tanpa pencahayaan lampu dapat dilihat pada Gambar 4.7.

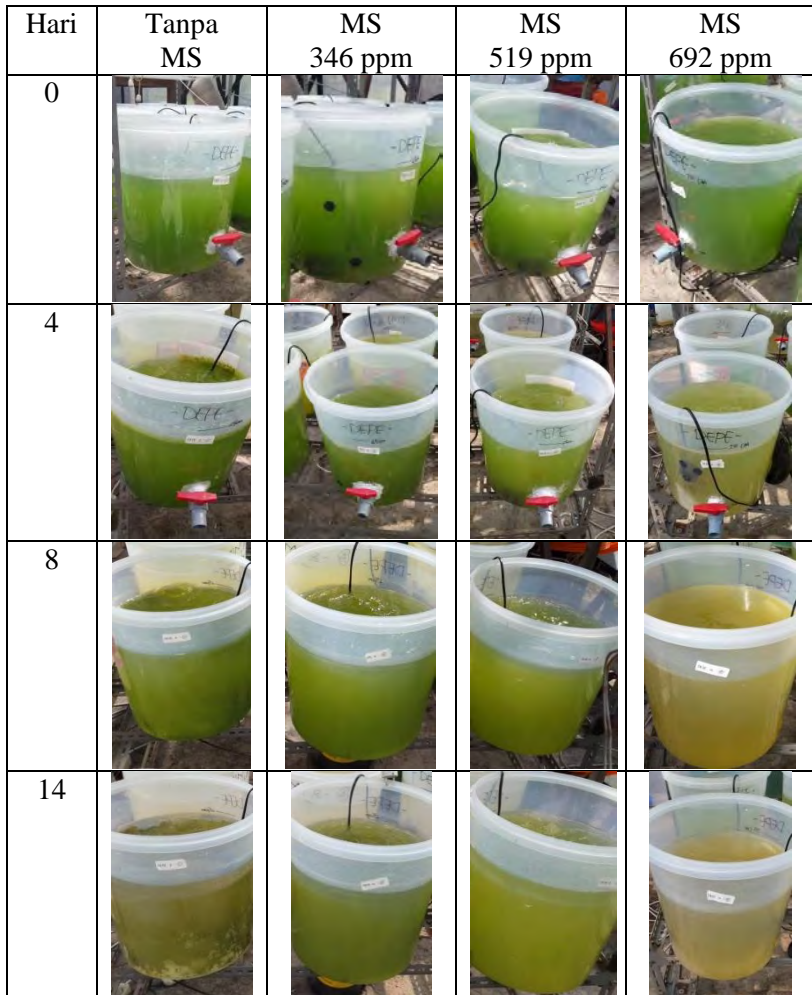
Pada *running* pertama, nilai klorofil awal masing-masing reaktor pada pencahayaan 12 jam berkisar antara 3,74-3,25 mg/L. Sedangkan nilai klorofil a pada hari ke-14 cukup fluktuatif yaitu berkisar antara 0,01-2,75 mg/L. Perbedaan nilai klorofil a pada hari ke-14 memiliki banyak faktor. Dapat dilihat pada reaktor pencahayaan 12 jam tanpa penambahan minyak solar dan MS 692 ppm mengalami fase penurunan yang cukup besar. Penurunan konsentrasi klorofil a pada reaktor tanpa penambahan minyak solar sebesar 3,23 mg/L sedangkan penurunan konsentrasi klorofil a pada reaktor MS 692 ppm sebesar 2,88 mg/L. Penurunan pada reaktor tanpa penambahan minyak solar pada *running pertama* ini diperkirakan terjadi karena terdapat kontaminasi di dalam reaktor. Hal ini didukung dengan nilai MLSS yang menurun secara drastis pula di hari kedua sampai ke-14. Pada MS 692 ppm *running pertama* penurunan klorofil a terjadi dikarenakan tingginya konsentrasi minyak solar yang dimasukkan ke dalam reaktor sehingga alga tidak dapat menoleransi keberadaan limbah yang masuk ke dalamnya. Hal ini

dikarenakan penambahan minyak solar sebesar 692 ppm merupakan volume penambahan terbesar pada penelitian ini.



**Gambar 4.7 Grafik Klorofil a Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Pada reaktor pencahayaan 12 jam MS 346 ppm dan MS 519 ppm memiliki nilai klorofil a yang cukup stabil. Penurunan konsentrasi alga terlihat mulai terjadi pada hari ke-10. Penurunan konsentrasi klorofil a pada reaktor MS 346 ppm sebesar 0,92 mg/L dan pada reaktor MS 519 ppm sebesar 0,099 mg/L. Selain dari nilai klorofil a, keberadaan alga di dalam reaktor dapat dibandingkan berdasarkan visual warnanya. Semakin tua warna hijau pada reaktor, maka akan semakin tinggi nilai klorofil a pada alga.



**Gambar 4.8 Visual Alga Cahaya 12 Jam *Running* Pertama**

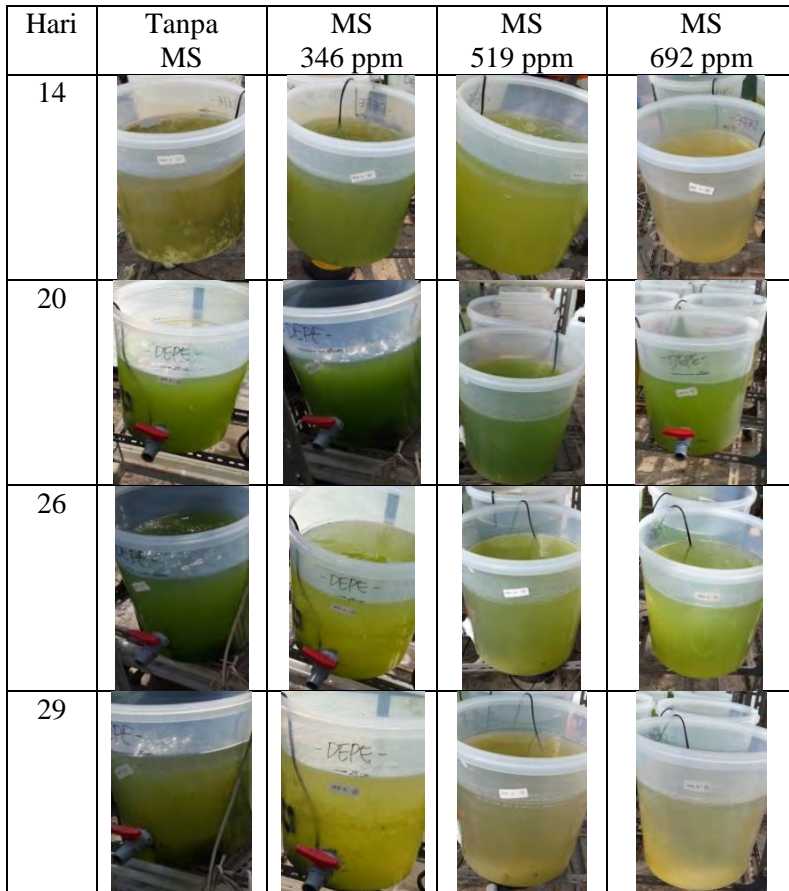
Pada Gambar 4.8 di atas akan dibandingkan visual alga *running* pertama pada hari ke 0, 4, 8 dan 14. Berdasarkan Gambar 4.8 tersebut dapat terlihat bahwa pada reaktor MS 346 ppm dan 519 ppm perubahan warna alga dari hari ke-0 sampai hari ke-14

tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Berbeda dengan reaktor MS 692 ppm, pada reaktor ini alga sudah mulai menunjukkan perubahan warna pada hari ke-4 dan semakin menguning hingga hari ke-14. Sedangkan pada reaktor tanpa penambahan minyak solar di *running* pertama ini, alga menempel di sekitar reaktor sehingga klorofil a di dalam air menurun secara drastis dan warna air berubah menjadi bening.

Pada *running* kedua pencahayaan selama 12 jam dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa terjadi lonjakan nilai klorofil a yang cukup besar pada reaktor MS 519 ppm dan MS 692 ppm. Peningkatan konsentrasi klorofil a pada reaktor ini dapat terjadi karena dilakukan penambahan alga dan nutrisi dalam bentuk urea pada awal *running* kedua. Selain itu, pada *running* kedua intensitas cahaya matahari yang didapat cukup tinggi sehingga meningkatkan produktivitas alga di dalam reaktor. Hal ini sejalan dengan penjelasan Kawaroe (2009), bahwa nilai klorofil a di dalam sistem HRAR dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kadar nutrisi dan intensitas cahaya. Semakin baik nilai intensitas cahaya dan didukung dengan nutrisi yang memenuhi akan menghasilkan nilai klorofil a yang tinggi.

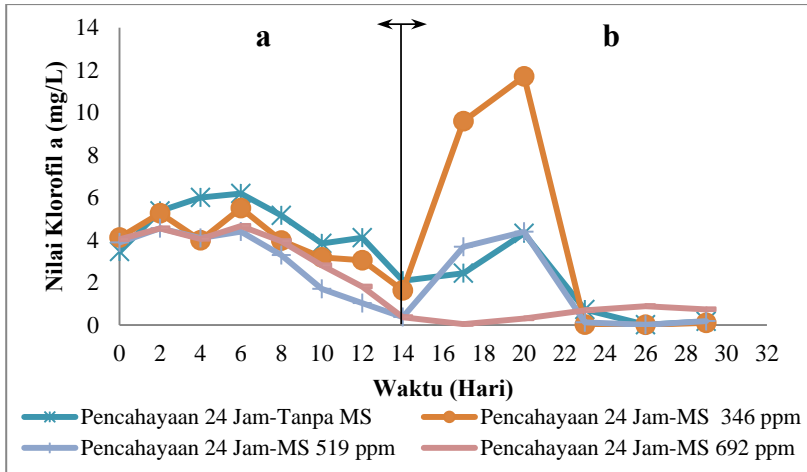
Sedangkan pada reaktor tanpa penambahan minyak solar dan MS 346 ppm pada *running* kedua ini mengalami penurunan konsentrasi klorofil a. Hal ini terjadi karena pada reaktor tanpa penambahan minyak solar, alga tetap menempel di pinggir reaktor. Sehingga dengan penambahan *booster* alga dan nutrisi tidak begitu merubah nilai klorofil a pada reaktor.

Pada Gambar 4.9 berikut akan ditampilkan data visual alga pencahayaan 12 jam pada *running* kedua yaitu di hari ke 14, 20, 26 dan 29. Berdasarkan pada Gambar 4.9 dapat terlihat bahwa dengan penambahan *booster* alga dan nutrisi, terlihat perbedaan visual alga pada hari ke-20 yaitu hari ke-6 setelah penambahan *booster*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *booster* alga pada 6 hari pertama mengalami pengaruh yang cukup baik terhadap reaktor. Namun pada hari ke-26 warna alga di dalam reaktor sudah mulai menguning begitu pula pada hari ke-29.



**Gambar 4.9 Visual Alga Cahaya 12 Jam *Running* Kedua**

Hal ini menunjukkan bahwa waktu hidup alga dengan kondisi di dalam limbah terkontaminasi minyak solar adalah selama 6 hingga 7 hari. Kematian alga ini disebabkan menipisnya kadar nutrisi di dalam reaktor sehingga menghambat tumbuh kembang alga pada hari-hari selanjutnya.

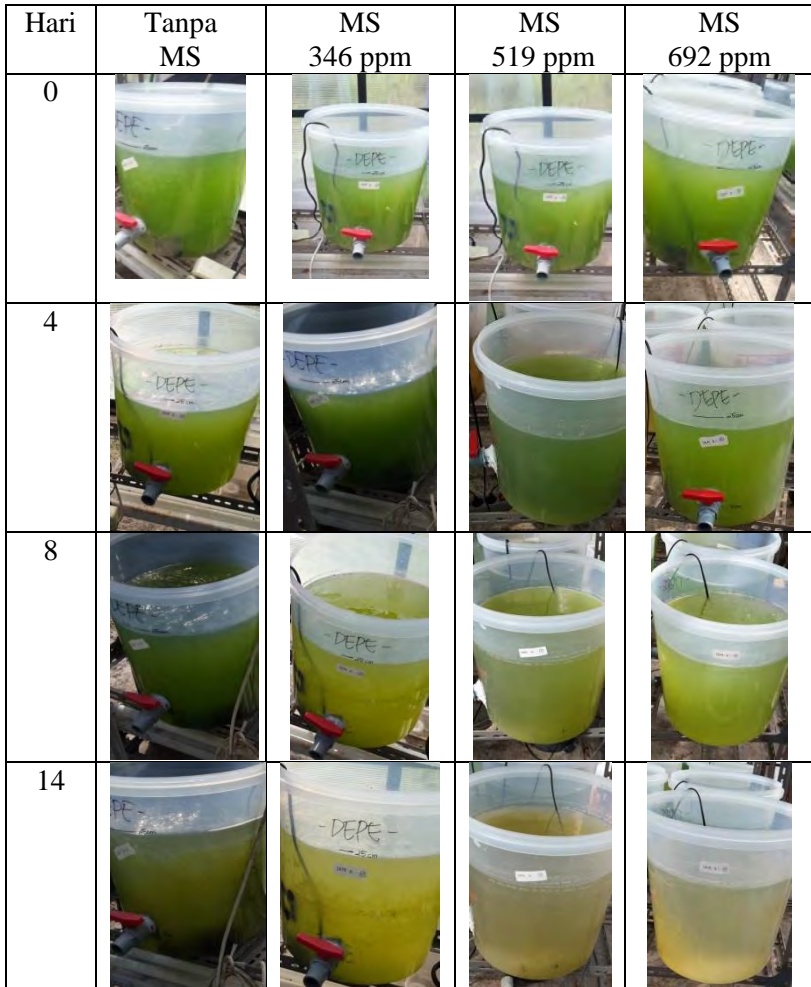


**Gambar 4.10 Grafik Klorofil a Pencahayaannya 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Selanjutnya pada Gambar 4.10 pencahayaannya selama 24 jam *running* pertama, dapat dilihat bahwa nilai klorofil a pada semua reaktor mengalami penurunan kecuali pada reaktor tanpa penambahan minyak solar. Pada reaktor tanpa penambahan minyak solar terjadi peningkatan nilai klorofil a hingga hari ke-6 kemudian mengalami penurunan hingga hari ke-14. Sedangkan penurunan nilai klorofil a pada reaktor MS 346 ppm, MS 519 ppm dan MS 692 ppm masing-masing sebesar 1,21 mg/L, 1,47 mg/L dan 1,28 mg/L.

Selanjutnya secara visual untuk *running* pertama pencahayaannya 24 jam pada hari ke 0, 4, 8, 14 dapat dilihat pada Gambar 4.11 bahwa reaktor tanpa penambahan minyak solar mulai menguning pada hari setelah hari ke-8 sedangkan pada reaktor lain warna alga sudah mulai menguning sebelum hari ke-8. Selanjutnya pada hari ke-14 dapat dilihat bahwa reaktor MS 519 ppm dan MS 692 ppm menunjukkan warna kuning bening.

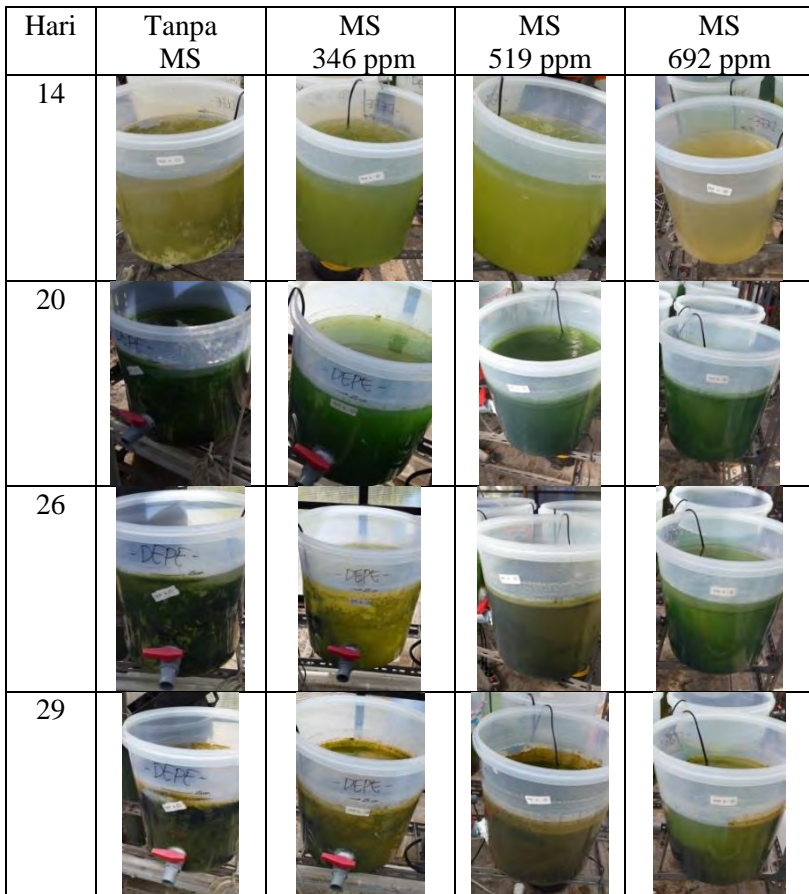




**Gambar 4.11 Visual Alga Cahaya 24 Jam *Running* Pertama**

Sedangkan pada *running* kedua pencahayaan selama 24 jam analisis klorofil a dapat dilihat bahwa semua reaktor mengalami peningkatan nilai klorofil a yang cukup signifikan kecuali pada reaktor MS 692 ppm. Pada reaktor MS 692 ppm

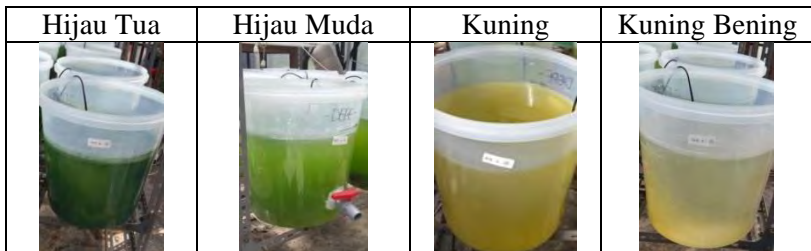
nilai klorofil a meningkat secara perlahan dari hari ke-20 hingga hari ke-29. Sedangkan pada reaktor tanpa penambahan minyak solar, MS 346 ppm dan MS 519 ppm terjadi peningkatan nilai klorofil a pada hari ke 14 hingga hari ke-20. Penurunan ini terjadi dikarenakan pada hari ke-20 suplai nutrisi di dalam reaktor sudah mulai menipis sehingga terjadi penurunan konsentrasi alga di dalamnya.



**Gambar 4.12 Visual Alga Cahaya 24 Jam *Running* Kedua**

Sedangkan berdasarkan Gambar 4.12 yaitu visual alga pada *running* kedua pencahayaan 24 jam dapat terlihat bahwa warna alga menjadi lebih hijau pada hari ke-20. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada awal *running* kedua, masing-masing reaktor diberi penambahan alga dan nutrien sehingga kandungan nutrisi bagi tumbuh kembang alga sudah terpenuhi. Selanjutnya secara visual warna alga berubah menjadi kuning pada hari ke-26 dan ke-29. Hal ini menunjukkan masa kematian alga. Secara visual untuk *running* kedua pencahayaan 24 jam pada hari ke 14, 20, 26, 29 dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut.

Dari Gambar 4.13 di bawah ini dapat terlihat bahwa warna alga dapat diklasifikasikan menjadi 4 macam, yaitu warna hijau tua, hijau muda, kuning dan kuning bening. Warna alga ini mengindikasikan seberapa banyak konsentrasi alga di dalam reaktor seperti pada gambar-gambar foto alga di dalam reaktor sebelumnya. Semakin hijau alga secara visual maka akan semakin besar nilai klorofil a. Begitu juga sebaliknya jika semakin bening reaktor maka akan semakin sedikit konsentrasi alga yang ada di dalamnya.



**Gambar 4.13 Perbandingan Warna Alga**

Selanjutnya dari hasil nilai klorofil a 12 jam dan 24 jam pada seluruh percobaan dapat disimpulkan bahwa klorofil a pada *running* pertama konsentrasi klorofil a terbaik terdapat pada pencahayaan selama 12 jam saja. Yaitu pada reaktor pencahayaan 12 jam MS 346 ppm dan MS 519 ppm. Sedangkan pada *running* kedua nilai klorofil a baik pada pencahayaan 12 jam maupun pada

pencahayaan 24 jam menunjukkan grafik peningkatan nilai klorofil a. Sehingga diketahui bahwa pada *running* pertama dengan kondisi reaktor diberikan minyak solar, reaktor dengan pencahayaan 12 jam lebih efektif dan tahan dalam menerima limbah minyak solar. Hal ini ditunjukkan dengan kondisi klorofil a yang stagnan pada konsentrasi minyak sebesar 346 ppm dan 519 ppm. Hal ini didukung oleh Kawaroe (2009), bahwa pencahayaan paling optimum untuk kondisi alga adalah dengan pencahayaan 12 jam secara alami kemudian diikuti dengan 16 jam secara alami dikombinasikan 8 jam secara buatan. Pencahayaan 12 jam lebih baik dibandingkan pencahayaan selama 24 jam karena pada pencahayaan selama 24 jam alga dipaksa untuk terus menerus melakukan proses fotosintesis sehingga produktivitas alga menurun (Ardhanareswari, 2011).

Secara umum penurunan nilai klorofil a pada *running* pertama terjadi karena semakin lama penelitian ini dilakukan maka akan semakin banyak minyak yang menempel pada pinggiran reaktor. Menempelnya alga pada pinggiran reaktor dapat terjadi karena dua hal yaitu karena pemberian minyak solar dengan kadar yang terlalu tinggi ke dalam reaktor sehingga minyak dan air mengalami fase kohesi di dalam air dan menempel pada alga karena proses adsorpsi (Wati, 2012). Selain itu penempelan ini juga terjadi karena adanya *mixing* selama 24 jam. Penempelan alga dan minyak pada pinggiran reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut.



**Gambar 4.14 Alga Menempel di Pinggir Reaktor**

Pada *running* kedua, dihasilkan nilai klorofil a yang lebih tinggi dibandingkan *running* pertama. Tujuan dari *running* kedua pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan alga bertahan terhadap minyak solar setelah diberikan penambahan minyak solar pada hari ke-0. Sehingga, pada *running* kedua hanya ditambahkan *booster* alga dan nutrisi tambahan yang berasal dari urea untuk memenuhi kebutuhan hidup alga.

Nilai klorofil a pada *running kedua* yang lebih tinggi ini dimungkinkan terjadi karena beberapa faktor. Faktor pertama adalah faktor cuaca yang cerah pada *running kedua* sehingga kebutuhan intensitas cahaya alga terpenuhi. Faktor kedua adalah penambahan urea ke dalam reaktor sehingga kadar nutrisi alga semakin berlimpah dan memenuhi kebutuhan hidup alga. Sedangkan faktor ketiga adalah konsentrasi minyak pada alga di *running kedua* sudah menurun jika dibandingkan dengan hari ke-0 *running pertama*.

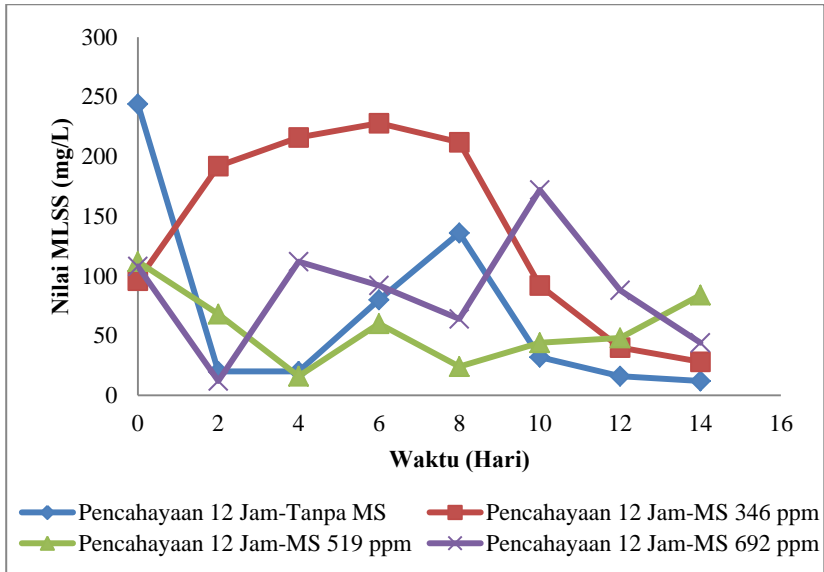
#### **4.4.2. Hasil Analisis *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS)**

Analisis *mixed liquor suspended solid* (MLSS) dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai bahan organik di dalam sampel. Bahan organik yang terukur dalam analisis MLSS adalah padatan alga, bakteri, serta komponen-komponen lain yang tidak tervolatil (Afifah, 2013).

Selain itu analisis MLSS juga bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam mendekomposisi bahan organik (Iswara, 2011). Nilai MLSS dapat mewakili konsentrasi MLVSS di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi karena nilai MLVSS adalah 70-80% nilai MLSS (Reynolds, 1996).

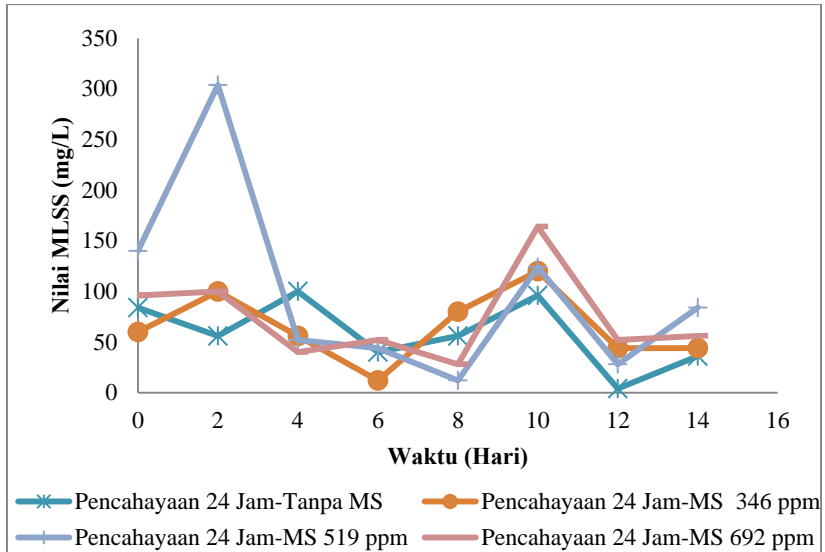
Pada Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa tren konsentrasi MLSS pada semua reaktor pencahayaan 12 jam menunjukkan peningkatan nilai kecuali pada reaktor kontrol. Pada reaktor tanpa penambahan minyak solar, konsentrasi MLSS cenderung menurun kemudian mengalami peningkatan pada hari ke-8 dan menurun kembali hingga hari ke-14. Sedangkan pada reaktor MS 346 ppm, MS 519 ppm dan MS 692 ppm nilai konsentrasi MLSS

cenderung mengalami peningkatan kemudian turun pada hari-hari tertentu. Konsentrasi MLSS pada reaktor MS 346 ppm turun pada hari ke-8, reaktor MS 519 ppm pada hari ke-6 dan MS 692 ppm pada hari ke-10. Peningkatan konsentrasi MLSS pada reaktor tanpa penambahan minyak hingga reaktor MS 692 ppm masing-masing bernilai 116 mg/L, 116 mg/L, 44 mg/L dan 160 mg/L.



**Gambar 4.15 Grafik MLSS Pencahayaannya 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Dari pada Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa pada pencahayaannya selama 24 jam, konsentrasi MLSS mengalami penurunan dari awal penelitian hingga hari ke-8. Selanjutnya terjadi kenaikan konsentrasi MLSS pada hari ke-10 dan menurun kembali pada hari ke-12. Penurunan MLSS pada reaktor tanpa penambahan minyak solar, MS 346 ppm, MS 519 ppm dan MS 692 ppm adalah sebesar 80 mg/L, 48 mg/L 128 mg/L dan 68 mg/L.



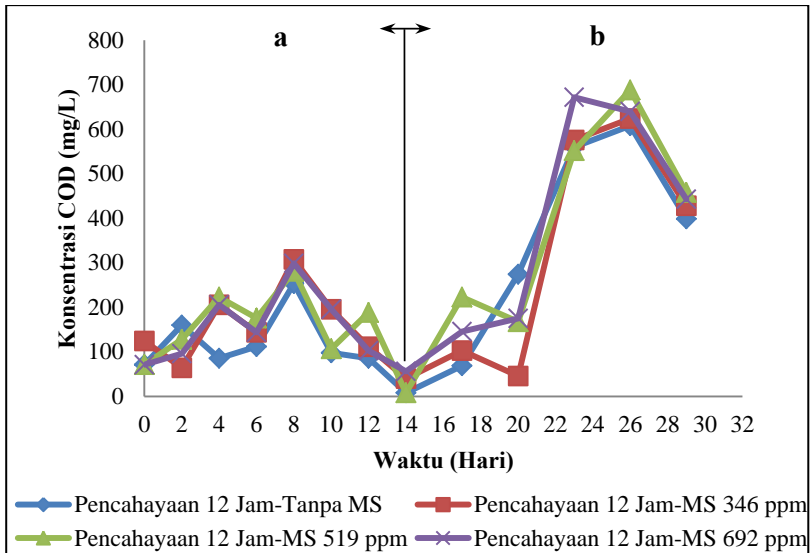
**Gambar 4.16 Grafik MLSS Pencahayaannya 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Dari perbandingan nilai konsentrasi MLSS dengan durasi pencahayaannya 12 jam dan 24 jam dapat diketahui bahwa bakteri lebih optimum hidup dalam kondisi durasi pencahayaannya 12 jam. Pada durasi pencahayaannya selama 24 jam dapat diketahui bahwa nilai klorofil a terus menurun dan mulai mengalami peningkatan nilai pada hari ke-8. Peningkatan nilai ini pun hanya bertahan sekitar 4 hari saja, kemudian mengalami penurunan kembali. Peningkatan nilai MLSS di dalam reaktor menunjukkan bahwa pada kondisi durasi pencahayaannya 12 jam terjadi peningkatan konsentrasi bakteri dan alga di dalam reaktor. Hal ini juga didukung dengan meningkatnya nilai klorofil a *running* pertama pada penelitian ini. Sedangkan penurunan nilai MLSS pada kondisi durasi pencahayaannya 24 jam dapat menunjukkan dua macam hal yaitu turun atau naiknya konsentrasi bakteri tergantung pada nilai klorofil a nya. Secara lebih lengkap akan dibahas pada korelasi antara klorofil a dan MLSS pada sub bab

4.5.1. Sedangkan menurut Fidiantyo (2013), penurunan nilai MLSS dapat terjadi karena gangguan yang terjadi pada konsentrasi biomass sehingga terjadi kematian bakteri dan pecahnya sel bakteri menjadi bahan organik dan nutrien di dalam air.

#### 4.4.3. Hasil Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD)

*Chemical oxygen demand* (COD) adalah jumlah oksigen yang diperlukan dalam proses peruraian bahan organik secara kimia. Menurut Isnadia (2013), analisis COD dapat dilakukan untuk mengetahui banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dengan menggunakan larutan dikromat. Hasil analisis COD tanpa pencahayaan lampu dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



**Gambar 4.17** Grafik COD Pencahayaannya 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):  
 (a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar  
 (b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru

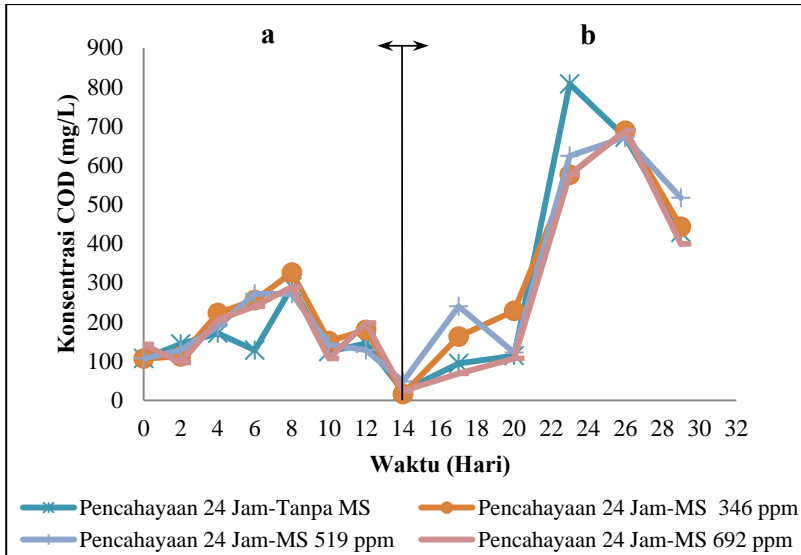


Pada *running* pertama durasi pencahayaan 12 jam dapat dilihat bahwa pada semua reaktor terjadi peningkatan konsentrasi COD hingga hari ke-8, kemudian konsentrasi COD menurun hingga hari ke-14. Peningkatan nilai COD pada masing-masing reaktor adalah sebesar 182,47 mg/L (tanpa minyak solar), 183,48 mg/L (MS 346 ppm), 209,64 mg/L (MS 519 ppm) dan 227,76 mg/L (MS 692 ppm). Sedangkan penurunan konsentrasi nilai COD dari awal penelitian hingga akhir penelitian adalah sebesar 63,11 mg/L (reaktor tanpa penambahan minyak solar), 84,44 mg/L (MS 346 ppm), 63,11 mg/L (MS 519 ppm) dan 15,11 mg/L (MS 692 ppm).

Sedangkan pada *running* kedua dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai COD secara signifikan pada hari ke-23. Peningkatan konsentrasi COD pada masing-masing reaktor hingga hari ke-29 adalah sebesar 390,77 mg/L (tanpa penambahan minyak solar), 388,31 mg/L (MS 346 ppm), 449,85 mg/L (MS 519 ppm) dan 387,08 mg/L (MS 692 ppm).

Pada Gambar 4.18 diketahui bahwa pada *running* pertama durasi pencahayaan 24 jam memiliki tren konsentrasi COD naik hingga hari ke-8 kemudian mengalami penurunan hingga hari ke-14. Peningkatan nilai COD pada masing-masing reaktor adalah sebesar 183,14 mg/L (reaktor tanpa penambahan minyak), 219,37 mg/L (MS 346 ppm), 165,03 mg/L (MS 519 ppm) dan 147,59 mg/L (MS 692 ppm). Sedangkan penurunan konsentrasi nilai COD dari awal penelitian hingga akhir penelitian adalah sebesar 82,67 mg/L (reaktor tanpa penambahan minyak), 90,67 mg/L (MS 346 ppm), 58,67 mg/L (MS 519 ppm) dan 118,22 mg/L (MS 692 ppm).

Sedangkan pada *running* kedua pencahayaan selama 24 jam dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan nilai COD secara signifikan pada hari ke-23. Peningkatan konsentrasi COD pada masing-masing reaktor hingga hari ke-29 adalah sebesar 404,31 mg/L (tanpa penambahan minyak solar), 427,08 mg/L (MS 346 ppm), 468,92 mg/L (MS 519 ppm) dan 374,77 mg/L (MS 692 ppm).



**Gambar 4.18 Grafik COD Pencahayaannya 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa baik pada durasi pencahayaannya 12 jam maupun 24 jam terjadi peningkatan konsentrasi COD sampai hari ke-8. Peningkatan nilai COD ini terjadi karena pada 8 hari pertama, alga dan bakteri sedang mengalami masa adaptasi terhadap pemberian konsentrasi minyak solar dalam jumlah besar. Proses adaptasi ini ditandai dengan naiknya nilai COD akibat adanya produksi *dissolved organic carbon* (DOC). Produksi DOC di dalam air terjadi karena adanya pelepasan senyawa intrasel (Isnadia, 2013). Senyawa intrasel ini mudah larut di dalam air sehingga menaikkan konsentrasi COD di dalam air. Proses pelepasan senyawa intrasel ini disebut dengan lisis baik itu dialami oleh alga maupun oleh bakteri (Afifah, 2013). Kemudian pada hari ke 10 hingga ke-14 dapat terlihat bahwa konsentrasi COD mulai mengalami penurunan. Hal ini

membuktikan bahwa pada hari ke-10 bakteri sudah dapat beradaptasi dengan kondisi limbah di dalam reaktor, sehingga sudah dapat melakukan proses pendegradasian kadar organik di dalam reaktor.

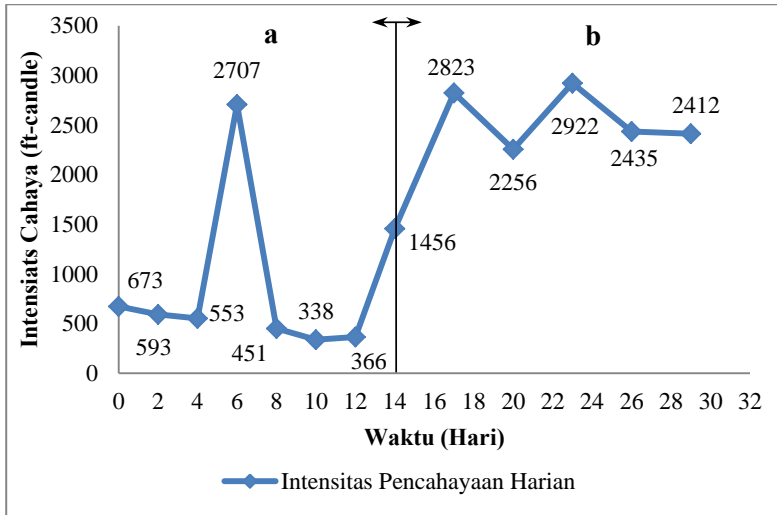
#### 4.4.4. Hasil Analisis Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor penting yang dibutuhkan alga dalam pertumbuhannya. Menurut Kawaroe *et al.* (2009), mikroalga melakukan proses fotosintesis di mana dalam proses tersebut terjadi asimilasi karbon anorganik untuk dikonversi menjadi materi organik. Pada proses fotosintesis terjadi dua macam tahap yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pada tahap reaksi terang terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen. Selain itu, cahaya memiliki peranan yang sangat penting karena kecepatan proses fotosintesis akan meningkat dengan adanya peningkatan intensitas cahaya (Utomo, 2007).

Pada penelitian ini intensitas cahaya diukur dengan menggunakan *Digital Lux Meter Mastech MS6610*. Pada pencahayaan alami selama 12 jam, pengukuran dilakukan setiap 4 kali dalam sehari pada pukul 06.00 WIB, 09.00 WIB, 12.00 WIB dan 15.00 WIB. Keempat data tersebut nantinya akan dirata-rata kemudian didapatkan nilai rata-rata harian intensitas cahaya matahari pada satu hari. Sedangkan pada pencahayaan lampu selama 12 jam menggunakan Lampu Philips TL-D 36W/54-765 menghasilkan intensitas cahaya sebesar 671 ft-candle. Sehingga pada pencahayaan 12 jam secara alami dan 12 jam secara buatan, didapatkan 2 nilai intensitas cahaya yaitu dari rata-rata pengukuran pencahayaan dengan menggunakan *Lux Meter* dan nilai intensitas cahaya dengan menggunakan lampu.

Pada Gambar 4.19 akan disajikan data grafik rata-rata harian intensitas cahaya 12 jam pencahayaan alami. Dari grafik di bawah ini, dapat terlihat bahwa data intensitas cahaya pada *running* pertama lebih fluktuatif dibandingkan data pada *running* kedua. Hal ini terjadi karena pada *running* pertama, cuaca lebih

sering mendung sedangkan pada *running* kedua cuaca selalu cerah sehingga menghasilkan nilai intensitas cahaya yang lebih tinggi. Pada *running* pertama nilai intensitas cahaya berkisar antara 338-2.707 ft-candle sedangkan pada *running* kedua nilai intensitas cahaya cenderung stabil berkisar antara 2.256-2.922 ft-candle.



**Gambar 4.19 Grafik Rata-Rata Harian Intensitas Cahaya:**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Menurut Coutteau (1996), intensitas cahaya yang cocok pada pertumbuhan alga berkisar antara 5.000-10.000 lux atau setara dengan 465-929 ft-candle. Sedangkan menurut Polprasert (1996), beberapa spesies alga seperti *Chlorella pyrenoidosa* dan *Scenedesmus obliquus* optimum pada intensitas cahaya sebesar 500 ft-candle. Sedangkan pada alga dengan spesies *Chlorella vulgaris* optimum pada intensitas cahaya sebesar 250 ft-candle. Berdasarkan data di atas dan nilai klorofil a pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa pada *running* pertama intensitas

cahaya yang dibutuhkan oleh alga tercukupi dan cukup stabil sehingga pertumbuhan alga menjadi lebih stagnan dibandingkan dengan pertumbuhan alga di *running* kedua. Sedangkan pada *running* kedua, nilai intensitas cahaya cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan *running* pertama. Pada *running* kedua, reaktor dengan pencahayaan 12 jam secara alami cenderung melonjak tinggi pada 3 hari pertama, kemudian mengalami penurunan sampai hari terakhir. Sedangkan pada reaktor dengan pencahayaan 12 jam secara alami dikombinasikan dengan 12 jam pencahayaan lampu memiliki nilai klorofil a yang melonjak tinggi hingga hari ke-6 kemudian mengalami penurunan hingga hari ke-14. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya dan durasi pencahayaan sangat mempengaruhi pertumbuhan alga di dalam reaktor dilihat dari nilai klorofil a nya.

#### 4.4.5. Hasil Analisis pH

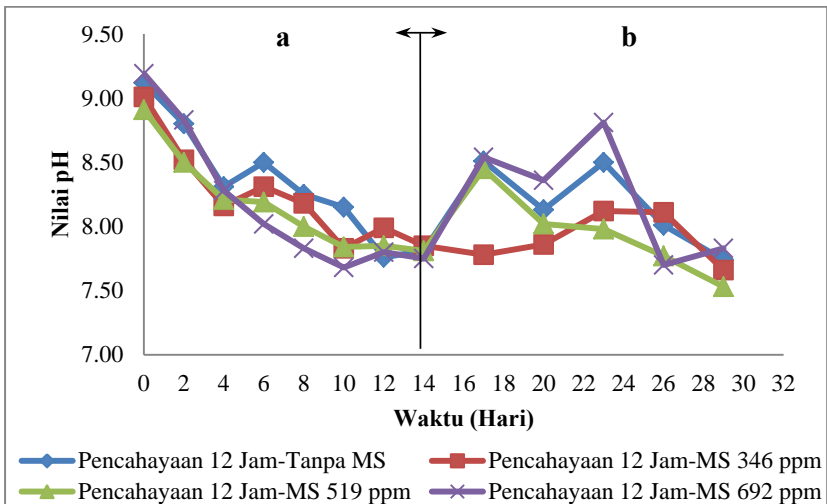
Derajat keasaman atau biasa disebut dengan pH digunakan untuk menyatakan tingkat kondisi asam atau basa yang dimiliki oleh suatu zat. Kondisi HRAR dapat mempengaruhi nilai pH di dalam reaktor. Keberadaan karbon anorganik di dalam air dapat mempengaruhi nilai pH, ketersediaan nutrisi dan mempengaruhi fisiologi sel (Gunawan, 2012). Sedangkan menurut Aslan (1998), hampir seluruh alga mempunyai kisaran daya penyesuaian terhadap pH dengan kisaran 6,8-9,6. Dalam penelitian ini pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Hasil analisis parameter pH tanpa pencahayaan lampu dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Pada Gambar 4.20 diketahui bahwa pada *running* pertama, konsentrasi pH pada semua reaktor mengalami penurunan dari hari-1 sampai hari ke-14. pH tertinggi terdapat pada awal penelitian yaitu berkisar antara 8,91-9,19. Sedangkan pH terendah terdapat pada hari keempatbelas yaitu berkisar antara 7,75-7,85.

Pada *running* kedua dapat diketahui bahwa nilai pH lebih berfluktuatif dibandingkan pada *running* pertama. Namun dapat disimpulkan bahwa nilai pH rata-rata meningkat pada hari ke-17

hingga hari ke-23 kemudian mengalami penurunan pada hari ke-26 hingga hari ke-29.

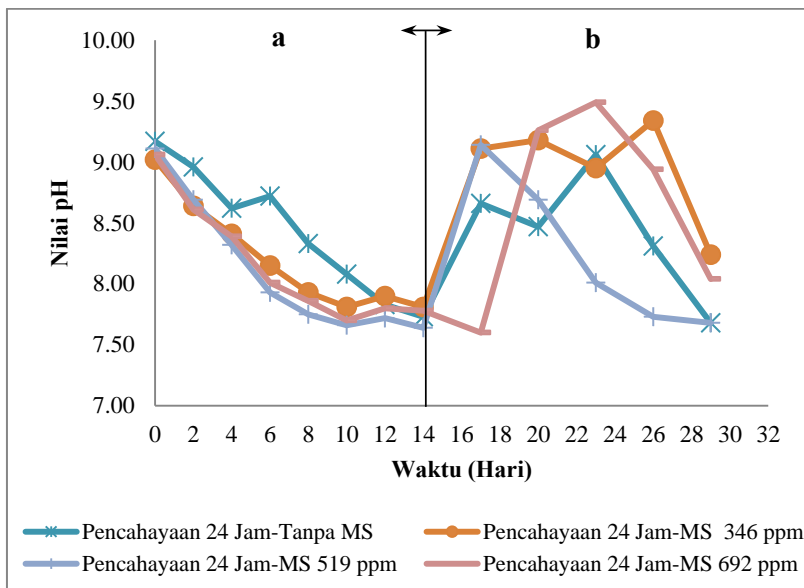
Secara visual nilai pH alga yang berwarna hijau bernilai lebih basa dibandingkan dengan nilai pH berwarna kuning atau bening. Hal ini didukung oleh Hickling (1971), bahwa pertumbuhan organisme yang terdapat pada pH basa dan netral cenderung lebih produktif dalam pertumbuhan dan perkembangbiakan.



**Gambar 4.20 Grafik pH Pencahayaannya 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Selanjutnya hasil analisis parameter pH dengan pencahayaannya lampu dapat dilihat pada Gambar 4.21. Pada saat *running* pertama, dapat dilihat bahwa nilai pH yang terdapat pada semua reaktor mengalami penurunan dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pH tertinggi terdapat pada awal penelitian yaitu berkisar antara 9,02-

9,17. Sedangkan pH terendah terdapat pada hari ke-14 yaitu berkisar antara 7,64-7,81. Pada *running* kedua, dapat dilihat bahwa nilai pH mengalami peningkatan pada tengah penelitian dan menurun pada akhir penelitian yaitu hari ke-29.



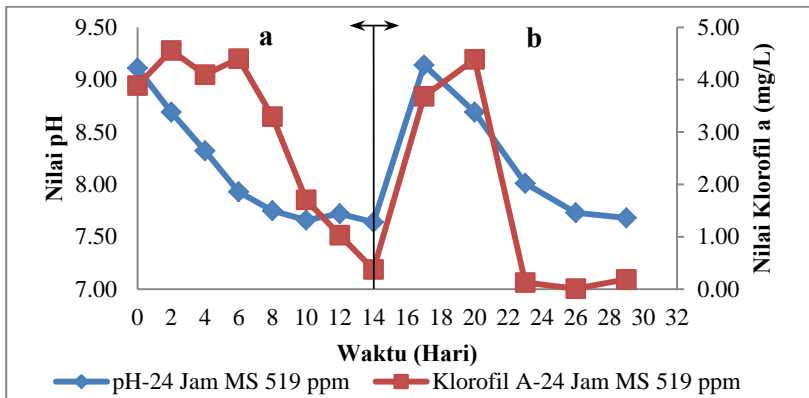
**Gambar 4.21 Grafik pH Pencahaya 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS):**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Penurunan nilai pH pada awal penambahan solar terjadi dikarenakan nilai pH solar yang cenderung asam yaitu 6. Selain itu peningkatan dan penurunan nilai pH pada grafik-grafik di atas erat kaitannya dengan keberadaan kadar  $\text{CO}_2$  di dalam air. Perubahan nilai  $\text{CO}_2$  di dalam air dipengaruhi oleh aktivitas fotosintesis dan respirasi (Wetzel, 1983).

Penurunan  $\text{CO}_2$  ini diikuti dengan meningkatnya nilai pH di dalam air karena semakin banyak nilai  $\text{CO}_2$  yang dapat

bereaksi dengan air maka akan semakin banyak senyawa  $H_2CO_3$  di dalam air yang mengakibatkan nilai pH semakin rendah. Pada Gambar 4.22 dapat dilihat contoh korelasi antara nilai pH dan nilai klorofil a di dalam air.

Pada Gambar 4.22 di bawah ini, dapat dilihat bahwa konsentrasi alga mempengaruhi nilai pH di dalam reaktor. Pada awal penelitian, penambahan solar ternyata memberikan efek yang cukup besar terhadap perubahan nilai pH di dalam air.



**Gambar 4.22 Korelasi pH dan Klorofil a Reaktor dengan Variasi Penambahan Minyak Solar 519 ppm:**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Penurunan nilai klorofil a ini diikuti dengan menurunnya nilai pH pada reaktor pencahayaan 24 jam MS 519 ppm di atas. Selain itu pada reaktor tersebut menunjukkan semakin tinggi nilai klorofil a di dalam air maka akan semakin tinggi pula nilai pH di dalamnya, begitu juga sebaliknya.

Hal ini menunjukkan bahwa kadar  $CO_2$  akan mengalami penurunan jika terjadi peningkatan proses fotosintesis di dalam air begitu juga sebaliknya. Penurunan ini terjadi dikarenakan  $CO_2$  dimanfaatkan secara masal oleh alga untuk melakukan proses fotosintesis (Wong, 1997). Hal ini juga terjadi pada reaktor lain

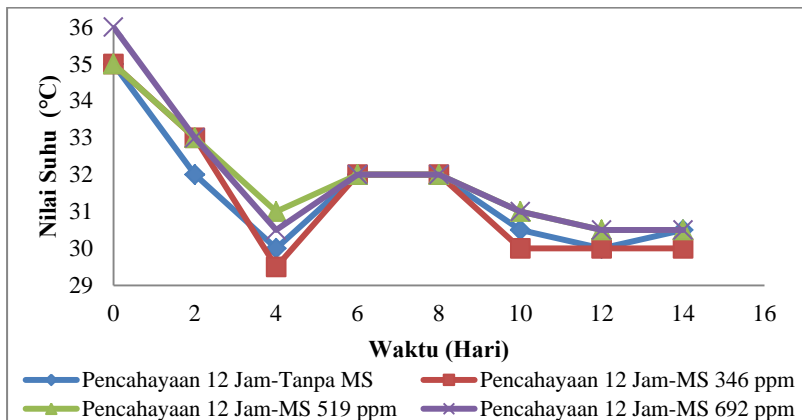


baik pada reaktor dengan variabel dengan pencahayaan alami selama 12 jam maupun dengan reaktor dengan pencahayaan alami 12 jam ditambahkan pencahayaan buatan selama 12 jam. Sehingga dapat disimpulkan konsentrasi klorofil a memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap keberadaan pH di dalam air.

#### 4.4.6. Hasil Analisis Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan alga dalam sistem HRAR. Menurut Inthe (2012), kisaran suhu yang dapat diterima oleh alga adalah sebesar  $16^{\circ}$  -  $36^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dapat terjadi karena pada suhu di atas  $36^{\circ}\text{C}$  akan menyebabkan kematian pada fitoplankton tertentu, sedangkan pada suhu di bawah  $16^{\circ}\text{C}$  akan menyebabkan penurunan kecepatan dalam pertumbuhan fitoplankton.

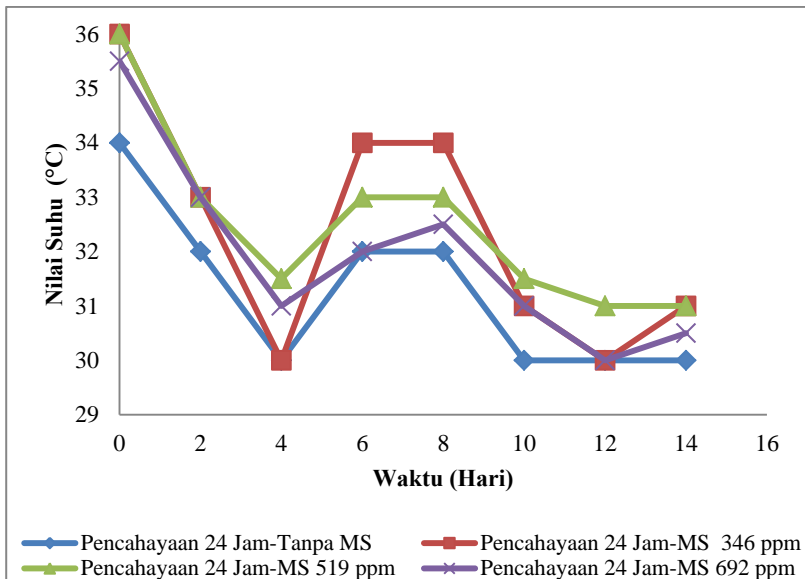
Pada penelitian ini, cara pengukuran suhu yang dilakukan adalah dengan memasukkan termometer ke dalam masing-masing reaktor selama 1 menit. Hal ini dilakukan agar termometer dapat membaca nilai suhu secara akurat. Hasil analisis parameter suhu tanpa pencahayaan lampu dapat dilihat pada Gambar 4.23 berikut.



**Gambar 4.23 Grafik Suhu Pencahayaan 12 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Dari grafik di atas dapat diketahui nilai suhu pada semua reaktor di hari ke-1 sampai hari ke-4 mengalami penurunan. Sedangkan pada hari ke-6 suhu mengalami peningkatan dan menurun kembali pada hari kesepuluh. Nilai suhu tertinggi terdapat pada awal penelitian yaitu berkisar antara  $36^{\circ}$ - $35^{\circ}$ C. Sedangkan suhu terendah terdapat pada hari ke-4 yaitu berkisar antara nilai  $29,5^{\circ}$  - $31,5^{\circ}$ C.

Selanjutnya hasil analisis parameter suhu dengan pencahayaan lampu berdasarkan Gambar 4.24 di bawah ini menunjukkan bahwa nilai suhu pada semua reaktor di hari pertama sampai hari ke-4 mengalami penurunan. Sedangkan pada hari ke-6 suhu mengalami peningkatan dan menurun kembali pada hari ke-10. Nilai suhu tertinggi terdapat pada awal penelitian yaitu berkisar antara  $36^{\circ}$ - $34^{\circ}$ C. Sedangkan suhu terendah terdapat pada hari ke-12 yaitu berkisar antara nilai  $30^{\circ}$ - $31^{\circ}$ C.



**Gambar 4.24 Grafik Suhu Pencahayaan 24 Jam dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

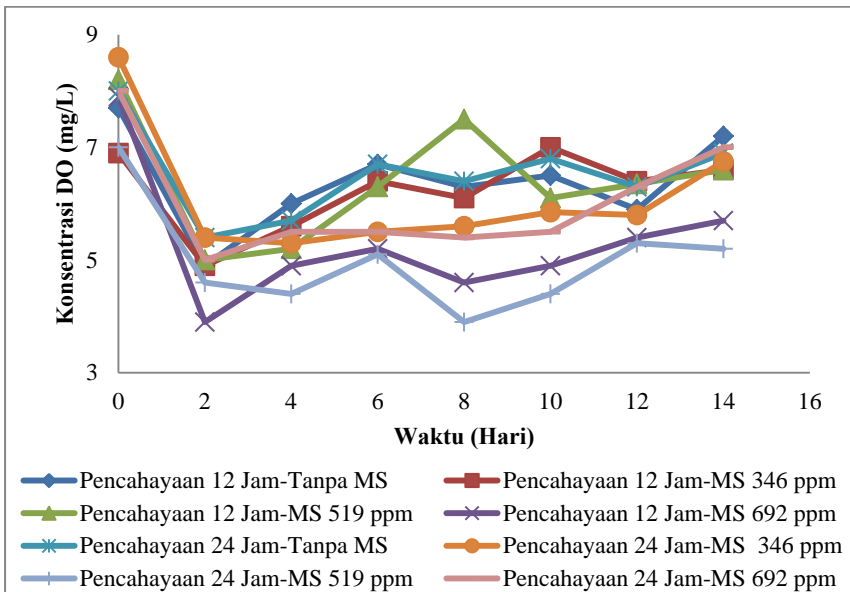
Dari grafik-grafik di atas dapat disimpulkan nilai suhu antar reaktor pada hari yang sama tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Namun suhu yang dimiliki oleh reaktor dengan pencahayaan alami selama 12 jam memiliki suhu  $1^{\circ}\text{-}2^{\circ}\text{C}$  lebih rendah jika dibandingkan dengan reaktor dengan pencahayaan selama 24 jam. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada reaktor dengan pencahayaan 24 jam, cahaya yang diterima oleh reaktor menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan reaktor dengan pencahayaan 12 jam. Menurut Nontji (1981), perbedaan suhu yang terjadi di dalam air dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan energi matahari yang diterimanya. Semakin lama badan air terpapar cahaya maka akan semakin tinggi suhu di badan air tersebut.

#### **4.4.7. Hasil Analisis *Dissolved Oxygen* (DO)**

Menurut Anggriawan *et al.* (2013), oksigen terlarut merupakan jumlah oksigen di dalam perairan yang berasal dari fotosintesis dan absorpsi udara atmosfer. Oksigen terlarut ini dibutuhkan mikroorganisme untuk melakukan proses pernafasan dan metabolisme sehingga menghasilkan energi untuk proses pertumbuhan dan perkembangannya. Konsentrasi oksigen terlarut di dalam air atau biasa disebut *dissolved oxygen* (DO) pada penelitian ini diukur dengan menggunakan metode *azide modification* (APHA, 1998).

Pengukuran DO dilakukan dua kali sehari yaitu pada pukul 06.00 WIB dan 15.00 WIB. Pengukuran dilakukan dua kali sehari untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut dengan variasi pencahayaan alami 24 jam dan variasi pencahayaan alami selama 12 jam ditambah dengan pencahayaan lampu buatan selama 12 jam. Pengukuran DO pada pukul 06.00 WIB digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut pada aktivitas alga di malam hari. Sedangkan pengukuran DO pada pukul 15.00 WIB digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen terlarut pada aktivitas alga di siang hari.

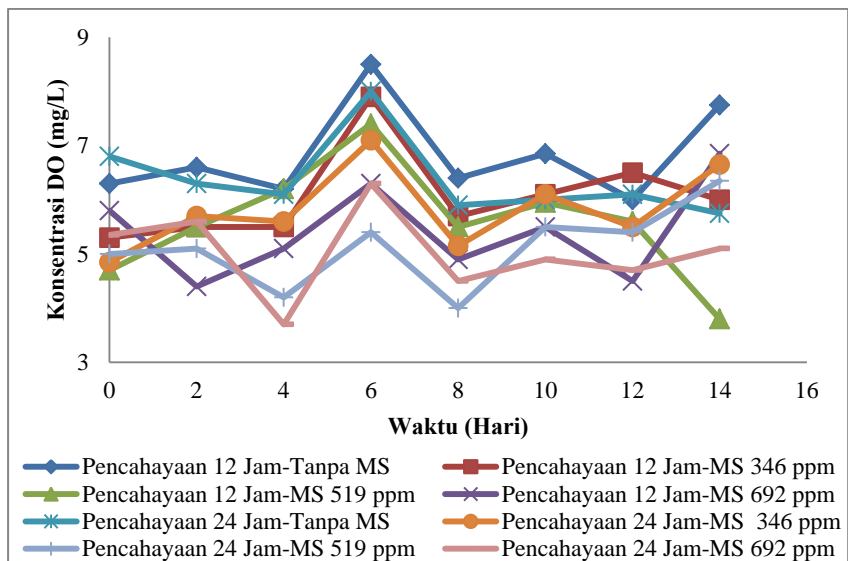
Dari Gambar 4.25 di bawah ini dapat terlihat bahwa nilai DO pagi hari pada semua reaktor mengalami penurunan drastis pada hari ke-2. Kemudian pada hari ke-4 konsentrasi DO pada semua reaktor mengalami peningkatan. Pada hari ke-8, semua reaktor mengalami sedikit penurunan konsentrasi DO kecuali pada reaktor pencahayaan 12 jam MS 519 ppm dan reaktor pencahayaan 24 jam MS 346 ppm. Selanjutnya tren konsentrasi DO terlihat mengalami peningkatan konsentrasi yang cukup baik.



**Gambar 4.25 Grafik Konsentrasi Perubahan DO di Pagi Hari dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

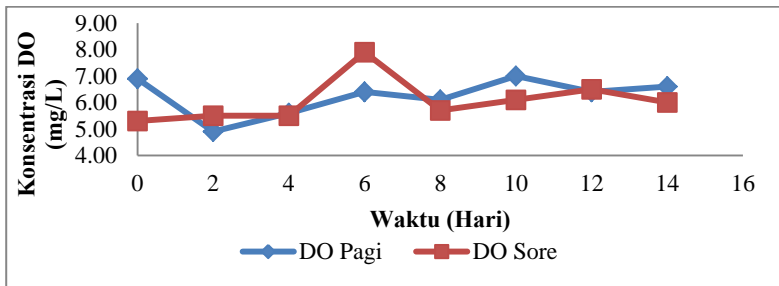
Nilai-nilai konsentrasi oksigen terlarut pada pagi hari memiliki nilai yang cukup berfluktuasi. Pada reaktor-reaktor dengan pencahayaan 12 jam, nilai DO yang dimiliki berkisar antara 3,9-8,2 mg/L. Sedangkan pada reaktor dengan pencahayaan 24 jam, nilai DO yang dimiliki berkisar antara 3,9-

8,6 mg/L. Nilai DO terendah pada masing-masing reaktor terlihat dominan pada hari ke-2. Pada hari ke-2 terjadi penurunan DO dikarenakan kondisi reaktor masing mengalami *shock loading* setelah diberikan variasi solar pada hari pertama. Sedangkan pada hari-hari selanjutnya nilai DO cenderung naik dikarenakan alga sudah bisa cukup beradaptasi dengan limbah. Selain itu reaktor pada penelitian ini menggunakan sistem *batch* yang menggunakan sistem *mixing* sehingga nilai DO di dalam air meningkat. Hal ini didukung oleh Anggriawan (2013), bahwa sumber oksigen di dalam air berasal dari dua hal yaitu poses fotosintesis dan difusi oksigen dari udara ke dalam air. Dengan adanya proses *mixing* di dalam reaktor maka akan memperbesar luasan permukaan air untuk proses difusi udara ke dalam air. Selanjutnya hasil analisis parameter DO di sore hari dapat dilihat pada Gambar 4.26 berikut.

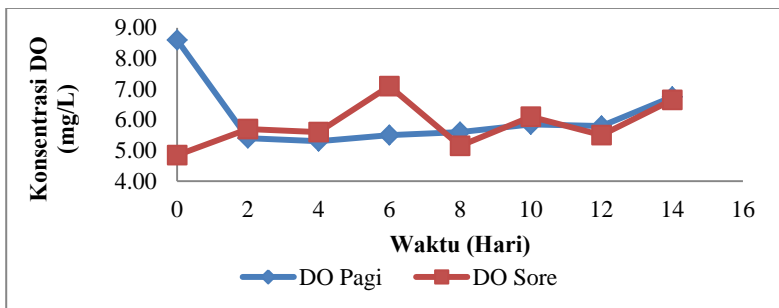


**Gambar 4.26 Grafik Konsentrasi Perubahan DO di Sore Hari dengan Variasi Penambahan Minyak Solar (MS)**

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa DO pada awal penelitian sampai pada hari ke-6 mengalami kenaikan kemudian mengalami penurunan hingga hari ke-12. Pada hari ke-14 terjadi penurunan konsentrasi DO pada beberapa reaktor kecuali pada reaktor kontrol dan MS 692 ppm pada pencahayaan 12 jam dan pada reaktor MS 346 ppm dan MS 692 ppm pada pencahayaan 24 jam. Nilai DO sore hari pada penelitian ini cukup fluktuatif dikarenakan nilai DO dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari di siang hari. Pada Gambar 4.27 di bawah ini akan terlihat contoh perbandingan nilai konsentrasi DO pagi dan sore hari pada reaktor MS 346 ppm dengan pencahayaan 12 Jam dan dengan pencahayaan 24 jam pada Gambar 4.28 berikut.



**Gambar 4.27 Grafik DO Penambahan Minyak Solar 346 ppm Pencahayaan 12 Jam**



**Gambar 4.28 Grafik DO Penambahan Minyak Solar 346 ppm Pencahayaan 24 Jam**

Dari grafik-grafik di atas dapat terlihat bahwa nilai DO pada sore hari lebih tinggi jika dibandingkan dengan malam hari baik itu pada pencahayaan 12 jam maupun pada pencahayaan 24 jam. Hal ini menunjukkan intensitas cahaya sangat berpengaruh pada keberadaan nilai DO di dalam air. Intensitas cahaya pada siang hari dengan menggunakan cahaya matahari memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan intensitas cahaya pada malam hari dengan menggunakan lampu. Sehingga nilai DO yang dihasilkan dari proses fotosintesis lebih besar pada DO sore hari dibandingkan dengan nilai DO di pagi hari.

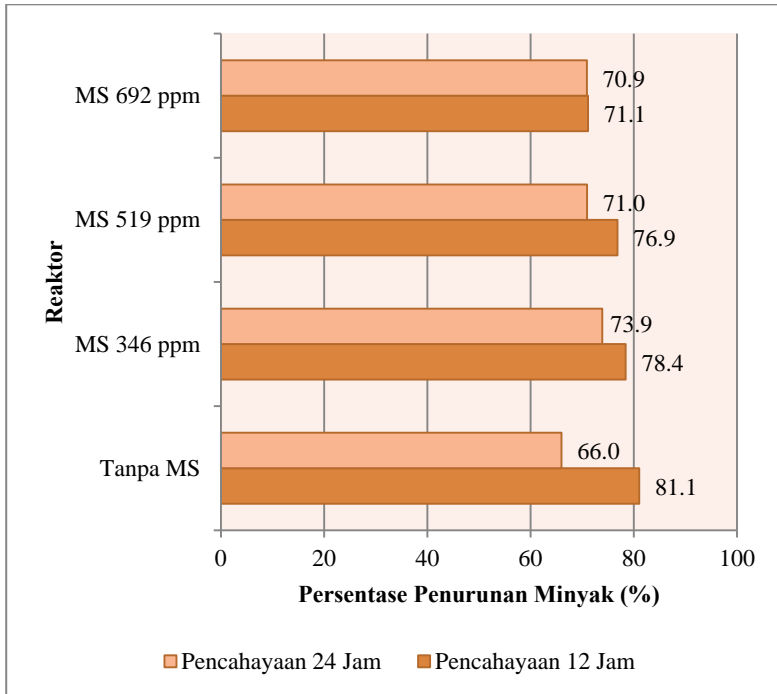
#### **4.4.8. Hasil Analisis *Oil and Grease***

Pada penelitian ini dilakukan analisis *oil and grease* dalam mengukur konsentrasi minyak yang terdegradasi oleh sistem HRAR di dalam reaktor. Pengambilan sampel *oil and grease* ini dilakukan pada awal dan akhir penelitian yaitu hari ke-0 dan hari ke-14 setiap pukul 08.00 WIB. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah persentase efisiensi penurunan konsentrasi minyak dari masing-masing reaktor. Analisis *oil and grease* yang dipilih adalah dengan menggunakan *soxhlet extraction method* berdasarkan Standard Methods 5520 D (APHA, 1998).

Awalnya penelitian ini menggunakan metode GC-MS untuk mengukur nilai TPH di dalam sampel, namun karena adanya kerusakan alat pada GC-MS di Jurusan Kimia di ITS maka analisis minyak di dalam air diganti metodenya dengan menggunakan analisis *oil and grease* seperti yang dijelaskan di atas.

Pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi minyak pada masing-masing reaktor memiliki nilai yang cukup beragam. Pada reaktor tanpa penambahan minyak, diduga nilai konsentrasi minyak yang didapatkan berasal dari konsentrasi alga. Hal ini dapat terjadi dikarenakan di dalam alga terdapat kandungan minyak nabati. Tingginya kandungan minyak nabati mengidentifikasi besarnya kandungan asam lemak di dalam alga. Semakin tinggi kandungan asam lemak di dalam

suatu bahan, maka akan semakin besar pula potensi bahan tersebut untuk menghasilkan biodiesel (Rachmaniah *et al.*, 2010).



**Gambar 4.29 Persentase Efisiensi Penurunan Konsentrasi Minyak Solar (MS)**

Nilai kandungan minyak yang terbaca di dalam reaktor tanpa penambahan minyak pun terlihat lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai konsentrasi minyak pada reaktor dengan penambahan minyak solar seperti yang terlihat pada Tabel 4.8. Rendahnya kandungan minyak ini terjadi karena pada reaktor tanpa penambahan minyak, nilai kandungan minyak hanya merepresentasikan nilai minyak yang didapatkan dari alga sedangkan pada reaktor lain, nilai kandungan minyak dipengaruhi oleh konsentrasi solar yang dimasukkan ke dalam reaktor

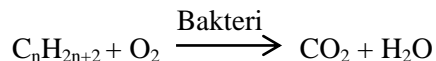


**Tabel 4.8 Persentase Efisiensi Penurunan Konsentrasi Minyak**

No	Sampel	Hari 0 (mg/L)	Hari 14 (mg/L)	Efisiensi (%)
1	DA1	23.75	4.5	81.1
2	DA2	313	67.5	78.4
3	DA3	477.5	110.5	76.9
4	DA4	636	183.5	71.1
5	DB1	25	8.5	66.0
6	DB2	308.5	80.5	73.9
7	DB3	496	144	71.0
8	DB4	660	192	70.9

Sedangkan pada reaktor dengan penambahan konsentrasi minyak dapat terlihat bahwa durasi pencahayaan selama 12 jam lebih efisien dalam menurunkan kadar minyak jika dibandingkan dengan durasi pencahayaan selama 24 jam. Dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi minyak paling efisien terdapat pada reaktor dengan penambahan minyak solar sebesar 346 ppm dengan durasi pencahayaan selama 12 jam.

Penurunan konsentrasi minyak di dalam air ini dapat terjadi karena beberapa hal. Salah satu faktor utama adalah karena menempelnya minyak pada alga. Sistem *mixing* selama 24 jam yang digunakan pada reaktor ini tentunya memiliki efek yang besar terhadap tersebarnya alga yang sudah tertempel minyak ke pinggiran reaktor. Sehingga konsentrasi minyak yang tercampur di dalam air pun semakin menurun. Selain itu peran bakteri juga dapat mempengaruhi penurunan konsentrasi minyak di dalam air.



Pada persamaan reaksi di atas dapat dilihat bahwa bakteri menggunakan atom C yang terdapat pada minyak untuk

melakukan proses metabolisme, sehingga penurunan konsentrasi minyak terjadi karena degradasi oleh bakteri.

#### **4.5. Hasil Analisis Korelasi Antar Parameter**

Pada penelitian ini dilakukan korelasi antar parameter untuk mengetahui hubungan antara satu parameter dengan parameter lain. Seperti yang kita ketahui dalam sistem *batch* seperti ini, tentunya salah satu efek yang terjadi pada salah satu parameter memberikan efek pada parameter yang lainnya.

Korelasi parameter yang akan dijelaskan dalam penelitian ini adalah korelasi antara MLSS dan klorofil a, MLSS dan COD, dan yang terakhir klorofil a dan intensitas cahaya. Ketiga korelasi ini dipilih karena dianggap mewakili keberadaan alga dan bakteri yang tahan terhadap keberadaan limbah minyak solar yang masuk ke dalam reaktor. Selain itu juga dapat melihat efek yang diberikan dari adanya durasi pencahayaan dalam mempengaruhi kemampuan alga dan bakteri di dalam reaktor.

##### **4.5.1. Korelasi MLSS dan Klorofil a**

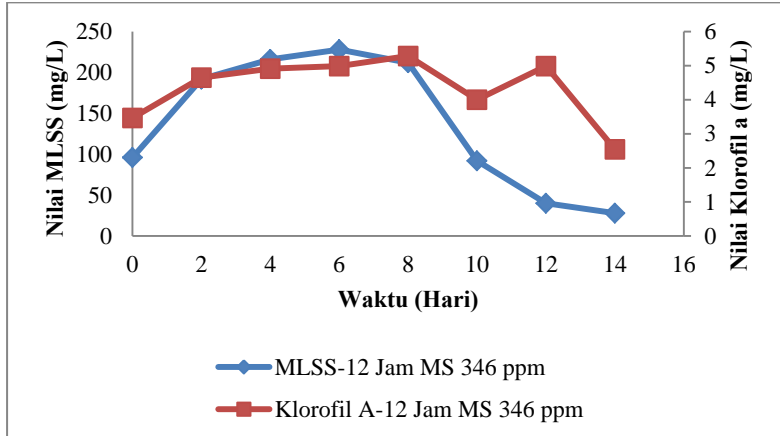
Korelasi MLSS dan klorofil a pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara keberadaan konsentrasi bakteri dan alga yang terdapat di dalam reaktor. Hal ini dapat dilakukan karena menurut Afifah (2013), MLSS mewakili keberadaan nilai alga, bakteri dan komponen-komponen lain yang tidak tervolatil. Sehingga jika nilai MLSS di dalam reaktor mengalami peningkatan yang diikuti dengan peningkatan klorofil a maka diketahui bahwa konsentrasi alga di dalam reaktor meningkat diikuti dengan keberadaan bakteri di dalamnya.

Berikut contoh salah satu grafik korelasi MLSS dan klorofil a pada reaktor dengan pencahayaan durasi 12 jam dengan penambahan minyak sebesar 346 ppm. Grafik pada konsentrasi lain dapat dilihat di Lampiran E. Dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya nilai klorofil a diikuti dengan peningkatan konsentrasi MLSS di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi karena

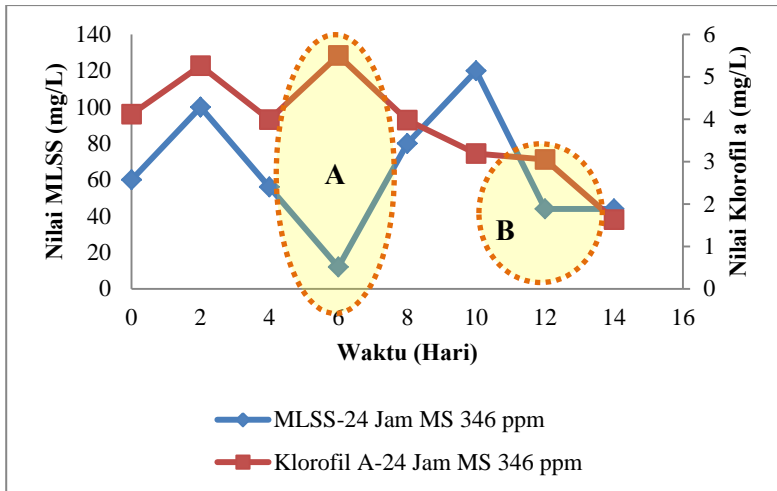
semakin tinggi nilai klorofil a di dalam air maka akan semakin banyak kadar oksigen yang dihasilkan oleh alga di dalam reaktor.

Oksigen yang dihasilkan oleh alga digunakan bakteri dalam mendegradasi kadar organik termasuk minyak di dalam air. Sehingga melimpahnya oksigen yang terdapat di dalam air akibat tumbuhnya alga diikuti dengan meningkatnya kehidupan bakteri di dalam air. Begitu pun dengan penurunan alga dan bakteri di dalam air seperti pada Gambar 4.30.

Hal yang sama juga terjadi pada reaktor dengan durasi pencahayaan 24 jam dengan penambahan minyak sebesar 346 ppm pada Gambar 4.31. namun pada beberapa titik dapat terlihat bahwa di tengah penelitian yaitu pada titik A dan B nilai klorofil a lebih meningkat sedangkan nilai MLSS menurun. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi alga di tengah penelitian diikuti dengan penurunan konsentrasi bakteri di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kondisi bakteri yang mengalami lisis pada tengah dan akhir penelitian.



**Gambar 4.30 Korelasi MLSS Klorofil a Penambahan Minyak Solar (MS) 346 ppm - 12 Jam**



**Gambar 4.31 Korelasi MLSS Klorofil a Penambahan Minyak Solar (MS) 346 ppm - 24 Jam**

Pada korelasi penelitian ini dapat diketahui bahwa pada durasi pencahayaan 12 jam, alga dan bakteri yang paling resisten terhadap pemberian konsentrasi minyak solar paling baik terdapat pada reaktor dengan penambahan minyak solar 346 ppm. Sedangkan pada penambahan minyak solar 519 ppm konsentrasi klorofil a mengalami peningkatan namun tidak diikuti dengan konsentrasi MLSS. Hal tersebut diduga terjadi dikarenakan pada konsentrasi tersebut bakteri tidak dapat bertahan hidup pada konsentrasi minyak solar dengan kadar 519 ppm. Sedangkan pada konsentrasi 692 ppm tidak terjadi peningkatan konsentrasi alga maupun bakteri. Sehingga dapat disimpulkan pada durasi pencahayaan 12 jam, alga dan bakteri paling optimum dapat bertahan pada minyak dengan konsentrasi minyak solar 346 ppm.

Sedangkan pada durasi pencahayaan 24 jam, konsentrasi alga meningkat dari awal penelitian hingga hari ke-6 kemudian mengalami penurunan pada hari ke-8 hingga akhir penelitian. Sedangkan keberadaan bakteri optimum berada pada konsentrasi dengan penambahan minyak solar 346 ppm. Semakin tinggi

konsentrasi minyak solar yang ditambahkan maka akan semakin menurun konsentrasi bakteri di dalam reaktor. Sehingga dapat disimpulkan pada durasi pencahayaan 24 jam, alga dan bakteri paling optimum dapat bertahan pada minyak dengan konsentrasi minyak solar 346 ppm.

#### 4.5.2. Korelasi MLSS dan COD

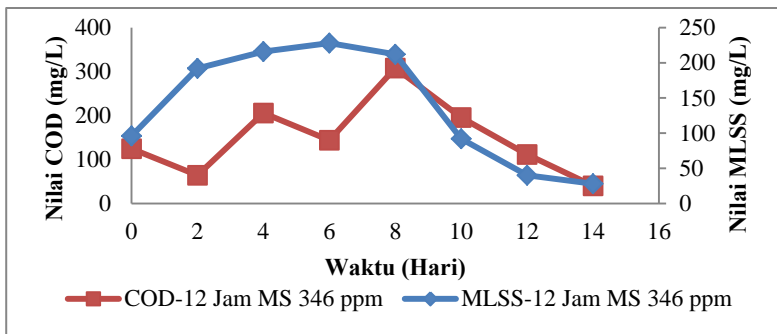
Korelasi antara MLSS dan COD dilakukan untuk mengetahui kemampuan alga dan bakteri dalam mendegradasi kandungan organik di dalam air. Analisis COD yang dilakukan dalam penelitian ini mengukur kandungan organik terlarut yang terdapat di dalam air termasuk kandungan minyak yang terdapat di dalamnya.

Pada Gambar 4.32 dapat terlihat korelasi antara keberadaan MLSS dan COD di dalam reaktor dengan durasi pencahayaan 12 jam MS 346 ppm. Pada reaktor dapat terlihat bahwa pada 8 hari pertama terjadi peningkatan nilai konsentrasi COD di dalam air diikuti dengan peningkatan konsentrasi bakteri di dalam air.

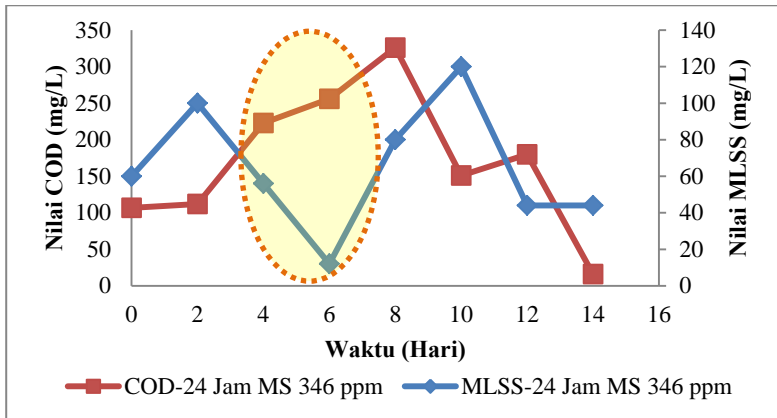
Menurut Isnadia (2013), peningkatan nilai COD diduga terjadi dikarenakan produksi nilai *dissolved organic carbon* (DOC) di dalam air karena pelepasan intrasel. Hal ini dapat terjadi pada awal penelitian dikarenakan bakteri masih melakukan adaptasi terhadap kondisi lingkungannya. DOC biasanya terjadi pada bakteri yang mengalami depresi pada awal penelitian karena limbah yang dimasukkan ke dalam reaktor tanpa mengalami proses kematian. Sehingga pada awal penelitian terjadi peningkatan nilai COD yang diikuti peningkatan nilai MLSS. Sedangkan pada akhir penelitian penurunan nilai MLSS diikuti dengan konsentrasi COD dikarenakan bakteri sudah memasuki fase kematian sedangkan nilai COD turun dikarenakan turunnya konsentrasi minyak di dalam air.

Penurunan ini diketahui dari banyaknya minyak yang menempel pada pinggiran reaktor sehingga minyak terlarut di dalam reaktor pun menurun sesuai dengan berjalannya waktu. Menurut Suyasa *et al.* (2012) diketahui bahwa pada limbah yang

mengandung minyak dengan proses aerasi selama 24 jam akan mengalami penempelan minyak pada pinggiran reaktor jika tidak dilakukan penyamplingan dalam waktu cepat. Hal ini dapat terjadi karena gelembung udara akan mengikat partikel padatan termasuk minyak untuk didorong ke permukaan bak pengolahan. Sehingga semakin lama waktu yang diperlukan dalam proses aerasi maka akan semakin kecil minyak terlarut di dalam limbah.



**Gambar 4.32 Korelasi MLSS COD Penambahan Minyak Solar (MS) 346 ppm - 12 Jam**

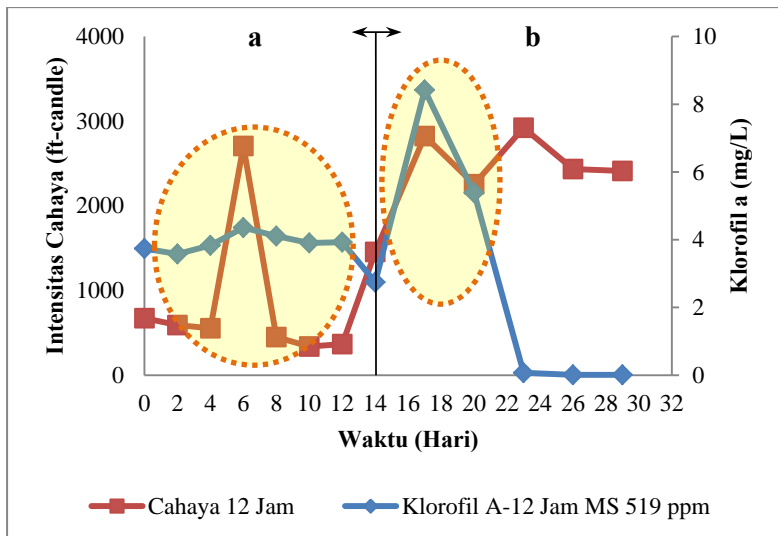


**Gambar 4.33 Korelasi MLSS COD Penambahan Minyak Solar (MS) 346 ppm - 24 Jam**

Sedangkan pada Gambar 4.33 di atas terlihat bahwa pada reaktor dengan durasi pencahayaan 24 jam MS 346 ppm bahwa pada tengah penelitian terjadi kematian bakteri yang diikuti dengan peningkatan nilai COD di dalam reaktor. Peningkatan nilai COD ini diduga terjadi dikarenakan proses lisis yang terjadi terhadap bakteri sehingga meningkatkan konsentrasi nilai organik di dalam air.

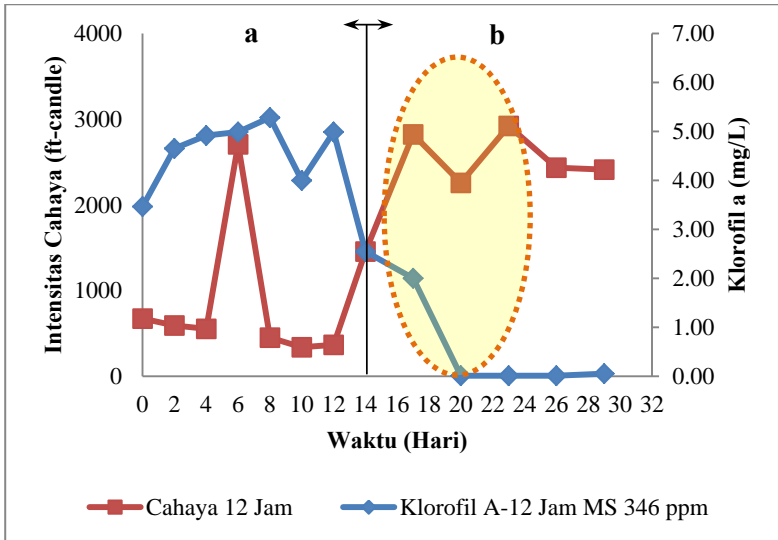
#### 4.5.3. Korelasi Klorofil a dan Intensitas Cahaya

Korelasi antara klorofil a dan intensitas cahaya dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh intensitas cahaya terhadap nilai klorofil a di dalam air. Pada Gambar 4.34 di bawah ini dapat terlihat bahwa pada contoh gambar dengan durasi pencahayaan selama 12 jam MS 519 ppm.



**Gambar 4.34 Korelasi Cahaya dan Klorofil a Penambahan Minyak Solar (MS) 519 ppm - 12 Jam:**  
**(a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar**  
**(b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru**

Dapat diketahui bahwa pada *running* pertama nilai klorofil a cukup stagnan walaupun menunjukkan kenaikan konsentrasi. Hal ini terjadi dikarenakan intensitas cahaya pada *running* pertama rendah cenderung stagnan. Sedangkan pada *running* kedua, nilai klorofil a terlihat cukup berfluktuatif dikarenakan nilai intensitas cahaya yang cenderung tinggi.



**Gambar 4.35 Korelasi Cahaya dan Klorofil a dengan Penambahan Minyak Solar (MS) 346 ppm - 12 Jam:**

- (a) Kondisi setelah ditambahkan minyak solar  
 (b) Kondisi setelah ditambahkan alga baru

Sedangkan pada Gambar 4.36 di atas dapat dilihat pada durasi pencahayaan 12 jam MS 346 ppm pada *running* kedua bahwa peningkatan nilai intensitas cahaya tidak mempengaruhi pertumbuhan alga di dalam reaktor. Hal ini dapat terjadi dikarenakan intensitas cahaya bukan merupakan satu-satunya faktor yang mempengaruhi tumbuh kembang alga. Faktor lain



yang mendukung tumbuh kembangnya alga di dalam reaktor adalah kandungan nutrisi, beban pencemar, pH, suhu dan faktor lain yang terdapat di dalamnya.

Dari grafik-grafik di atas dapat disimpulkan bahwa pada *running* pertama intensitas cahaya memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap tumbuh kembang alga. Namun semakin tinggi beban pencemar di dalam air mengakibatkan semakin rendah nilai klorofil a yang diproduksi oleh alga walaupun diiringi dengan intensitas cahaya yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan alga yang terdapat di dalam reaktor tergantung dari seberapa besar konsentrasi beban pencemar dan konsentrasi sumber nutrisi yang terdapat di dalam air.

#### **4.6. Pengaruh Durasi Pencahayaan Terhadap Penurunan Konsentrasi Minyak**

Penurunan konsentrasi minyak di dalam penelitian ini tentunya dipengaruhi oleh macam-macam faktor. Salah satunya faktor durasi pencahayaan. Dari Gambar 4.29 di sub bab hasil analisis *oil and grease* 4.4.8 diketahui bahwa konsentrasi penurunan minyak tertinggi terjadi pada reaktor dengan durasi pencahayaan selama 12 jam sebesar 78,4%. Hal ini dapat terjadi karena pada durasi pencahayaan selama 12 jam juga didapatkan nilai konsentrasi alga dan bakteri yang lebih tinggi jika dibandingkan pada reaktor dengan durasi pencahayaan selama 24 jam. Sehingga durasi pencahayaan selama 12 jam memberikan efek yang baik pada kondisi bakteri dan alga di dalam reaktor dengan penambahan konsentrasi minyak.

Pencahayaan 12 jam lebih baik pada pertumbuhan alga dibandingkan pencahayaan selama 24 jam karena pada pencahayaan selama 24 jam alga dipaksa untuk terus menerus melakukan proses fotosintesis sehingga produktivitas alga menurun (Ardhanareswari, 2011). Menurunnya produktivitas alga tentunya juga akan mempengaruhi konsentrasi jumlah bakteri di

dalam reaktor karena proses simbiosis antara bakteri dan alga tersebut.

Baiknya kondisi alga dan bakteri pada pencahayaan selama 12 jam mempengaruhi kandungan minyak di dalam air. Semakin banyak alga di dalam reaktor, maka akan semakin besar kemungkinan minyak untuk menempel dengan alga. Proses *mixing* selama 24 jam pada penelitian ini nantinya akan mengakibatkan minyak yang tertempel pada alga tersebar ke seluruh reaktor dan menempel di pinggiran reaktor. Sehingga konsentrasi minyak mengalami penurunan.

Selain itu semakin tingginya konsentrasi bakteri di dalam reaktor juga menandakan semakin besar kadar organik termasuk minyak yang digunakan bakteri untuk melakukan proses metabolisme. Sehingga nilai konsentrasi minyak di dalam reaktor pun menurun. Namun, penyisihan minyak solar pada penelitian ini didominasi oleh proses secara fisik yaitu penempelan minyak solar pada alga secara adsorpsi.

Dari penjelasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa pencahayaan alami selama 12 jam memiliki efek yang lebih baik terhadap penurunan konsentrasi minyak dan pertumbuhan alga dan bakteri di dalam reaktor dibandingkan pencahayaan selama 24 jam dengan bantuan lampu. Hal ini dikarenakan nilai konsentrasi bakteri, alga dan minyak di dalam reaktor lebih optimum didapatkan pada reaktor dengan durasi pencahayaan 12 jam.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Efisiensi penurunan kandungan minyak solar terbaik didapatkan pada reaktor dengan durasi pencahayaan selama 12 jam dan penambahan minyak solar sebesar 346 ppm yaitu sebesar 78,4%.
2. Pencahayaan secara alami memiliki efek lebih baik terhadap penurunan konsentrasi minyak solar yang diikuti dengan baiknya pertumbuhan alga dan bakteri di dalam reaktor dibandingkan pencahayaan selama 24 jam dengan penambahan lampu *fluorescent*. Hal ini dapat terlihat dari penurunan kandungan minyak pada reaktor dengan durasi pencahayaan selama 12 jam dan penambahan minyak sebesar 346 ppm adalah sebesar 78,4%.

#### **5.2. Saran**

1. Perlu ditambahkan variasi penambahan konsentrasi minyak solar untuk mengetahui dosis optimum alga dalam menerima kandungan minyak solar di air limbah.
2. Diperlukan adanya pengukuran terhadap parameter tambahan lain seperti kandungan mineral dan parameter senyawa non hidrokarbon pada penambahan solar ke dalam alga seperti fenol, sulfur, nikel, besi dan lain sebagainya.
3. Perlu dilakukan *range finding test* terhadap penelitian ini untuk mengetahui konsentrasi solar optimum sehingga range minyak solar pada penelitian pendahuluan dapat dipersempit.
4. Penambahan reaktor kontrol yang berisi bakteri saja tanpa penambahan alga, untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi minyak solar yang dapat didegradasi oleh bakteri.

5. Perlunya melakukan pengecekan parameter konsentrasi minyak setiap hari, untuk mengetahui pada hari keberapa konsentrasi minyak tertinggi mengalami penurunan.
6. Perlu dilakukan variasi durasi pencahayaan lain seperti durasi pencahayaan 14 jam pencahayaan alami dikombinasikan 10 jam pencahayaan lampu, 16 jam pencahayaan alami dikombinasikan 8 jam pencahayaan lampu, dan lain sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A. S. 2013. Efek aerasi dan konsentrasi substrat pada laju pertumbuhan alga menggunakan sistem bioreaktor proses batch. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Afiuddin, A. E. 2013. Analisis kemampuan alga dalam menyerap karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Laporan Thesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Alwi, J. 2011. Pengaruh durasi pencahayaan dan kedalaman pada *high rate algae reactor* (HRAR) terhadap penurunan konsentrasi kadar organik limbah perkotaan. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ambas, I. 2006. Pelatihan budidaya laut. Makassar: Yayasan Mattirotasi.
- Anggraeni, F. 2007. Penerapan metode fitoremediasi dengan menggunakan kayu apu pada air yang tercemar minyak pelumas bekas kendaraan. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anggriawan, D., Arisya, Y., dan Hanifah, H. 2013. Oksigen terlarut. Bandung: Universitas Padjajaran.
- APHA. 1998. Standar methods for the examination of water and wastewater 20<sup>th</sup> edition. Water Environment Federation.
- APHA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater 21<sup>th</sup> edition. Water Environment Federation.
- Ardhanareswari, S. A. 2011. Pengaruh durasi pencahayaan dan kedalaman pada *high rate algae reactor* (HRAR) terhadap penurunan nitrogen dan fosfat limbah perkotaan. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aslan, L. 1998. Budidaya Rumput Laut Edisi Revisi. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Asmadi dan Suharno. 2012. Dasar-dasar teknologi pengolahan limbah cair. Yogyakarta: Gosen Publishing.

- Baker, K. H. and Hersom, D. S. 1994. Bioremediation. New York: Mc Graw Hill Co.
- Bosma, R. 2010. Towards high productivities of microalgae in photobioreactors. PhD Thesis. Netherland: Wageningen University.
- Bundy, J. G., Paton G. I., and Cambell C. D. 2004. Combined microbial community level and single species biosensor responses to monitor recovery of oil polluted soil. 36: 1149-1159.
- Coutteau, P. 1996. Micro-algae: Manual on the production and use of live food for aquaculture. Rome: FAO Fisheries Technical Paper 361.
- Darley. 1982. Alga biology: A physiological approach. Boston: Blackwell Scietific Publications.
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2004. Tinjauan persiapan penerapan standard kendaraan tipe baru 2005.
- Eddy dan Metcalf. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse 4th edition. New York: Mc Graw Hill, Inc.
- Eddy and Metcalf. 2004. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. New York: McGraw Hill, Inc.
- Effendi, H. 2003. Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan cetakan kelima. Yogyakarta: Kanisius.
- Eryanto, A., et al. 2003. Suatu pendekatan biologi dan manajemen plankton dalam budidaya udang. Surabaya: PT CPB.
- Fallowfield, H. J. and Garrett M. K. 1986. The treatment of wastes by alga culture. Symposium supplement. Volume 59 (14): 187S-205S.
- Febrianty, E. 2011. Produktivitas alga *hydrodictyon* pada sistem perairan tertutup (*closed system*). Laporan Tugas Akhir. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Fidiantyo, E. 2013. Pengaruh pencahayaan dan konsentrasi nutrien terhadap kemampuan alga sebagai penyerap karbon

- dengan injeksi gas karbon dioksida. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ginting, P. 2007. Sistem pengelolaan lingkungan dan limbah industri. Jakarta: CV Yrama Widya
- Goldman, C. R., and Horne, A. J. 1983. Limnology. Tokyo: McGrawHill Book Company.
- Gunawan. 2012. Pengaruh perbedaan pH pada pertumbuhan mikroalga klas *chlorophyta*. Banjarbaru: Universitas Lambung Mangkurat.
- Haslam, S. M. 1995. River pollution an ecological perspective. London: Belhaven Press.
- Hickling, C. F. 1971. Fish culture. London: Faber and Faber.
- Indarto. 1999. Uji kemampuan biodegradasi senyawa hidrokarbon dari minyak mentah dengan media tanah di PT. Caltex Pasifik Indonesia. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Inthe, I. C. E. 2012. Efek pencahayaan terhadap produksi biomassa nannochloropsos sp. pada reaktor pelat datar. Laporan Tugas Akhir. Depok: Program Studi Teknologi Bioproses.
- Isnadia, D. R. M. 2013. Pengaruh konsentrasi bahan organik, salinitas, dan pH terhadap laju pertumbuhan alga. Laporan Thesis. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Iswara, A. P. 2011. Pengaruh aerasi dan pencahayaan alami pada kemampuan *high rate algae reactor* (HRAR) dalam penurunan bahan organik limbah doestik perkotaan. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kalff, J. 2002. Limnology. New Jersey: Prentice Hall In.
- Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D. W., dan Augustine, D. 2009. Laju pertumbuhan spesifik *chlorella sp.* dan *dunaliella sp.* berdasarkan perbedaan nutrien dan fotoperiode. Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia Jilid 16, 1 : 73-77.

- Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. 2009. *Handbook of Energy and Economic statistic of Indonesia*. Jakarta: Ministry Energy and Mineral Resources.
- Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Tahun. 2006. Standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis minyak solar yang dipasarkan di dalam negeri.
- Kramer, D.J., dan Kozlowsky, T. T. 1979. *Physiology of trees*. Manila: Mc Graw Hill Inc.
- Mahida, U. N. 1984. Pencemaran air dan pemanfaatan limbah industri. Jakarta: Penerbit Rajawali.
- Mujab, A. S. 2011. Penggunaan biokompos dalam bioremediasi lahan tercemar limbah lumpur minyak bumi. Laporan Tugas Akhir. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Nababan, B. 2008. Isolasi dan uji potensi bakteri pendegradasi minyak solar dari laut belawan. Laporan Thesis. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Naibaho, P. M. 1996. Teknologi pengolahan kelapa sawit. Medan: Pusat penelitian kelapa sawit.
- Nontji, A. 1981. Fotosintesis dan fitoplankton laut. Laporan Thesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Polprasert, C. 1996. *Organic waste recycling*. Thailand: Asian Institute of Technology.
- Rachmaniah, O., Setyarini, R. D., dan Maulida, L. 2010. Pemilihan metode ekstraksi minyak alga dari *Chlorella sp.* dan prediksinya sebagai biodisel. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramimohtarto, K. 2004. *Meroplankton laut*. Jakarta: Penerbit Djembatan.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. M., and Richards, F. A. 1963. *The influence of organism on the composition of seawater*. New York: Wiley-Interscience.
- Reynolds, C. 2006. *Ecology of phytoplankton*. England: Cambridge University Press.



- Reynolds, T. D. 1996. Unit operations and process in environmental engineering. Boston: PWS Publishing Company.
- Riser and Roberts. 1992. Bioremediation of petroleum contaminated sites. Boca Raton: CRC Press, Inc.
- Riyono, S.H. 2007. Beberapa sifat umum dari klorofil fitoplankton. *Jurnal Oseana* Vol. XXXII, 1: 23-13.
- Sami, F. J. 2009. Kandungan polisiklik aromatik hidrokarbon di wilayah perairan teluk doreri manokwari. Laporan Tugas Akhir. Manokwari: Universitas Negeri Papua.
- Santi, D. N. 2004. Pengelolaan limbah cair pada industri penyamakan kulit industri pulp dan kertas industri kelapa sawit. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Santoso, A.D., R.A. Darmawan, dan A. Setiawan. 2011. *Mikroalga Untuk Penyerapan Emisi CO<sub>2</sub> dan Pengolahan Limbah Cair di Lokasi Industri*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan*, 3(2):62-70.
- Sediadi, A., dan Edward. 2000. Kandungan klorofil A fitoplankton di perairan pula-pulau lease maluku tengah. Salatiga: Puslitbang Oseonologi LIPI.
- Soepanan. 2002. Crude oil (minyak bumi). Cepu: Pusat pengembangan tenaga perminyakan dan gas bumi.
- Summers. 2008. *Alga a lesson on ecology*. Bethesda: American Physiological.
- Utomo, B. 2007. Fotosintesis pada tumbuhan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Wati, S. M. 2012. Model perhitungan viskositas terhadap limbah minyak bumi mengandung surfaktan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Weisman, W. 1998. Total petroleum hydrocarbon criteria working group series. Association of American Railroads BP Oil Company.
- Wells R. D. S., Hall J. A., Clayton J. S., Champion P. D., Payne G.W., and Hofstra D.E. 1999. The rise and fall of water net

- (*hydrodictyon reticulatum*). New Zealand: J. Aquat. Plant Manage. 37: 49-55.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology. Philadelphia: Saunder Company.
- Widjaja, T., dan Sunarko, L. 2007. Pengaruh perbandingan nutrisi terhadap pengolahan minyak secara biologis dengan bakteri *mixed culture*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wong, Y., and Tam, N. 1997. Wastewater treatment with algae. New York: Springer.
- Yonas, R., Irzandi, U., dan Satriadi, H. 2012. Pengolahan limbah POME dengan menggunakan mikroalga. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, 1(1):7-13.

**LAMPIRAN A**  
**DATA ANALISIS PENELITIAN PENDAHULUAN**

**A. Parameter Klorofil A**

No	Sampel	Klorofil A (mg/L)				
		0	2	4	6	8
1	Blanko	11,79	8,99	4,15	3,85	3,75
2	MS 173 ppm	13,16	6,29	1,51	0,74	0,26
3	MS 519 ppm	11,87	7,27	2,85	1,74	1,63
4	MS 865 ppm	12,20	6,65	1,03	0,91	0,64
5	MS 1.2111 ppm	12,63	5,04	0,40	0,63	0,79

**B. Parameter MLSS**

No	Sampel	MLSS (mg/L)				
		0	2	4	6	8
1	Blanko	104	80	56	64	44
2	MS 173 ppm	112	64	12	56	16
3	MS 519 ppm	48	24	24	4	8
4	MS 865 ppm	404	40	52	76	20
5	MS 1.2111 ppm	384	140	60	80	48

**B. Parameter pH**

No	Sampel	pH				
		0	2	4	6	8
1	Blanko	8,62	8,25	8,18	8,14	8,6
2	MS 173 ppm	8,32	8,10	8,02	7,98	7,7

No	Sampel	pH				
		0	2	4	6	8
3	MS 519 ppm	8,36	8,11	7,93	8,07	7,96
4	MS 865 ppm	8,30	7,58	7,84	7,88	7,71
5	MS 1.2111 ppm	8,18	7,45	7,67	7,67	7,76

**LAMPIRAN B**  
**DATA ANALISIS PENELITIAN PENDAHULUAN**

**A. Parameter Klorofil A *Running 1***

No	Sampel	Klorofil a (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	3,25	4,98	3,04	2,67	3,44	2,62	0,43	0,01
2	12 Jam-MS 346 ppm	3,47	4,65	4,92	499	5,28	4,00	4,99	2,55
3	12 Jam-MS 519 ppm	3,74	3,58	3,83	4,36	4,11	3,91	3,93	2,75
4	12 Jam-MS 692 ppm	3,56	4,09	2,59	3,52	1,76	0,95	1,09	0,68
5	24 Jam-Tanpa MS	3,46	5,37	6,00	6,19	5,16	3,84	4,12	2,08
6	24 Jam-MS 346 ppm	4,12	5,26	3,99	5,51	3,98	3,19	3,05	1,63
7	24 Jam-MS 519 ppm	3,89	4,56	4,09	4,40	3,29	1,71	1,03	0,38
8	24 Jam-MS 692 ppm	4,03	4,55	4,05	4,66	3,95	2,81	1,81	0,37

## B. Parameter Klorofil A *Running 2*

No	Sampel	Klorofil a (mg/L)					
		14	17	20	23	26	29
1	12 Jam-Tanpa MS	0,01	0,38	0,01	0,07	0,04	0,03
2	12 Jam-MS 346 ppm	2,55	2,00	0,01	0,01	0,01	0,05
3	12 Jam-MS 519 ppm	2,75	8,42	5,39	0,07	0,01	0,01
4	12 Jam-MS 692 ppm	0,68	7,03	11,01	10,00	0,42	0,25
5	24 Jam-Tanpa MS	2,08	2,44	4,32	0,73	0,01	0,17
6	24 Jam-MS 346 ppm	1,63	9,60	11,71	0,02	0,01	0,11
7	24 Jam-MS 519 ppm	0,38	3,68	4,39	0,13	0,01	0,19
8	24 Jam-MS 692 ppm	0,37	0,04	0,31	0,69	0,88	0,74

## C. Parameter MLSS

No	Sampel	MLSS (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	244	20	20	80	136	32	16	12
2	12 Jam-MS 346 ppm	96	192	216	228	212	92	40	28

No	Sampel	MLSS (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
3	12 Jam-MS 519 ppm	112	68	16	60	24	44	48	84
4	12 Jam-MS 692 ppm	108	12	112	92	64	172	88	44
5	24 Jam-Tanpa MS	84	56	100	40	56	96	4	36
6	24 Jam-MS 346 ppm	60	100	56	12	80	120	44	44
7	24 Jam-MS 519 ppm	140	304	52	44	12	124	28	84
8	24 Jam-MS 692 ppm	96	100	40	52	28	164	52	56

#### D. Parameter COD Running 1

No	Sampel	COD (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	71,11	160,00	85,71	112,00	253,58	97.,8	85,71	8,00
2	12 Jam-MS 346 ppm	124,44	64,00	205,71	144,00	307,92	195,56	111,43	40,00
3	12 Jam-MS 519 ppm	71,11	128,00	222,86	176,00	280,75	106,67	188,57	8,00
4	12 Jam-MS 692 ppm	71,11	96,00	205,71	144,00	298,87	195,56	102,86	56,00
5	24 Jam-Tanpa MS	106,67	144,00	171,43	128,00	289,81	124,44	145,71	24,00

No	Sampel	COD (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
6	24 Jam-MS 346 ppm	106,67	112,00	222,86	256,00	326,04	151,11	180,00	16,00
7	24 Jam-MS 519 ppm	106,67	128,00	188,57	272,00	271,70	142,22	128,57	48,00
8	24 Jam-MS 692 ppm	142,22	96,00	205,71	240,00	289,81	106,67	197,14	24,00

### E. Parameter COD Running 2

No	Sampel	COD (mg/L)					
		14	17	20	23	26	29
1	12 Jam-Tanpa MS	8,00	68,57	274,29	560,00	608,00	398,77
2	12 Jam-MS 346 ppm	40,00	102,86	45,71	576,00	624,00	428,31
3	12 Jam-MS 519 ppm	8,00	222,86	167,62	552,00	688,00	457,85
4	12 Jam-MS 692 ppm	56,00	145,71	175,24	672,00	640,00	443,08
5	24 Jam-Tanpa MS	24,00	94,29	114,29	808,00	672,00	428,31
6	24 Jam-MS 346 ppm	16,00	162,86	228,57	576,00	688,00	443,08
7	24 Jam-MS 519 ppm	48,00	240,00	121,90	624,00	672,00	516,92
8	24 Jam-MS 692 ppm	24,00	68,57	106,67	576,00	688,00	398,77



### F. Parameter pH Running 1

No	Sampel	pH							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	9,12	8,80	8,31	8,50	8,25	8,15	7,76	7,81
2	12 Jam-MS 346 ppm	9,01	8,52	8,16	8,31	8,18	7,83	7,99	7,85
3	12 Jam-MS 519 ppm	8,91	8,50	8,21	8,19	8,00	7,84	7,85	7,81
4	12 Jam-MS 692 ppm	9,19	8,83	8,28	8,02	7,83	7,68	7,80	7,75
5	24 Jam-Tanpa MS	9,17	8,96	8,62	8,72	8,33	8,08	7,83	7,73
6	24 Jam-MS 346 ppm	9,02	8,64	8,41	8,15	7,93	7,81	7,90	7,81
7	24 Jam-MS 519 ppm	9,11	8,69	8,32	7,93	7,75	7,66	7,72	7,64
8	24 Jam-MS 692 ppm	9,06	8,61	8,39	8,01	7,86	7,70	7,80	7,78

### G. Parameter pH Running 2

No	Sampel	pH					
		14	17	20	23	26	29
1	12 Jam-Tanpa MS	7,81	8,51	8,13	8,50	8,01	7,74
2	12 Jam-MS 346 ppm	7,85	7,78	7,86	8,12	8,11	7,66

No	Sampel	pH					
		14	17	20	23	26	29
3	12 Jam-MS 519 ppm	7,81	8,45	8,02	7,98	7,77	7,53
4	12 Jam-MS 692 ppm	7,75	8,54	8,36	8,81	7,70	7,83
5	24 Jam-Tanpa MS	7,73	8,66	8,47	9,06	8,31	7,68
6	24 Jam-MS 346 ppm	7,81	9,11	9,18	8,95	9,34	8,24
7	24 Jam-MS 519 ppm	7,64	9,14	8,69	8,01	7,73	7,68
8	24 Jam-MS 692 ppm	7,78	7,60	9,26	9,49	8,94	8,04

#### H. Parameter DO Pagi Hari

No	Sampel	DO Pagi (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	7,70	4,90	6,00	6,70	6,30	6,5	5,9	7,2
2	12 Jam-MS 346 ppm	6,90	4,90	5,60	6,40	6,10	7	6,4	6,6
3	12 Jam-MS 519 ppm	8,20	5,00	5,20	6,30	7,50	6,1	6,35	6,6
4	12 Jam-MS 692 ppm	7,90	3,90	4,90	5,20	4,60	4,9	5,4	5,7
5	24 Jam-Tanpa MS	8,00	5,40	5,70	6,70	6,40	6,8	6,3	6,9

No	Sampel	DO Pagi (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
6	24 Jam-MS 346 ppm	8,60	5,40	5,30	5,50	5,60	5,85	5,8	6,75
7	24 Jam-MS 519 ppm	7,00	4,60	4,40	5,10	3,90	4,4	5,3	5,2
8	24 Jam-MS 692 ppm	8,00	5,00	5,50	5,50	5,40	5,5	6,3	7

### I. Parameter DO Sore Hari

No	Sampel	DO Sore (mg/L)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	6,30	6,60	6,20	8,50	6,40	6,85	6	7,75
2	12 Jam-MS 346 ppm	5,30	5,50	5,50	7,90	5,70	6,1	6,5	6
3	12 Jam-MS 519 ppm	4,70	5,50	6,20	7,40	5,50	5,95	5,6	3,8
4	12 Jam-MS 692 ppm	5,80	4,40	5,10	6,30	4,90	5,5	4,5	6,85
5	24 Jam-Tanpa MS	6,80	6,30	6,10	8,00	5,90	6	6,1	5,75
6	24 Jam-MS 346 ppm	4,85	5,70	5,60	7,10	5,15	6,1	5,5	6,65
7	24 Jam-MS 519 ppm	5,00	5,10	4,20	5,40	4,00	5,5	5,4	6,35
8	24 Jam-MS 692 ppm	5,35	5,60	3,70	6,30	4,50	4,9	4,7	5,1

## J. Parameter Suhu

No	Sampel	Suhu (°C)							
		0	2	4	6	8	10	12	14
1	12 Jam-Tanpa MS	35	32	30	32	32	30,5	30	30,5
2	12 Jam-MS 346 ppm	35	33	29,5	32	32	30	30	30
3	12 Jam-MS 519 ppm	35	33	31	32	32	31	30,5	30,5
4	12 Jam-MS 692 ppm	36	33	30,5	32	32	31	30,5	30,5
5	24 Jam-Tanpa MS	34	32	30	32	32	30	30	30
6	24 Jam-MS 346 ppm	36	33	30	34	34	31	30	31
7	24 Jam-MS 519 ppm	36	33	31,5	33	33	31,5	31	31
8	24 Jam-MS 692 ppm	35,5	33	31	32	32,5	31	30	30,5

## K. Parameter Intensitas Cahaya Alami

Intensitas Cahaya Alami (ft-candle)							
0	2	4	6	8	10	12	14
673	593	553	2707	451	338	366	1456

### L. Parameter *Oil and Grease*

No	Sampel	Hari ke-0			Hari ke-14			Efisiensi (%)
		Volume (mL)	Berat (gr)	Konsentrasi Minyak (ppm)	Volume (mL)	Berat (gr)	Konsentrasi Minyak (ppm)	
1	12 Jam-Tanpa MS	200	0,00475	23,75	200	0,0009	4,5	81,1
2	12 Jam-MS 346 ppm	200	0,0626	313	200	0,0135	67,5	78,4
3	12 Jam-MS 519 ppm	200	0,0955	477,5	200	0,0221	110,5	76,9
4	12 Jam-MS 692 ppm	200	0,1272	636	200	0,0367	183,5	71,1
5	24 Jam-Tanpa MS	200	0,005	25	200	0,0017	8,5	66,0
6	24 Jam-MS 346 ppm	200	0,0617	308,5	200	0,0161	80,5	73,9
7	24 Jam-MS 519 ppm	200	0,0992	496	200	0,0288	144	71,0
8	24 Jam-MS 692 ppm	200	0,132	660	200	0,0384	192	70,9



## LAMPIRAN C

### PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

#### Prosedur Analisis *Dissolved Oxygen* (DO)

##### **A. Alat dan Bahan**

1. Larutan Mangan Sulfat ( $\text{MnSO}_4$ )
2. Larutan Alkali-Iodida-Azida atau Larutan Pereaksi Oksigen
3. Indikator Amilum 0,5%
4. Larutan Natrium Thiosulfat 0,0125 N
5. Larutan Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pekat
6. Botol winkler 1 buah
7. Buret 25 mL atau 50mL
8. Pipet 10mL, 5 mL
9. Gelas ukur 100mL 1 buah
10. Erlenmeyer 250mL 1 buah

##### **B. Prosedur Analisis**

1. Diambil sampel langsung dari dalam reaktor ke dalam botol UC 1000 yang sudah disterilisasi. Botol tersebut dimasukkan ke dalam air hingga botol penuh kemudian ditutup.
2. Ditambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat.
3. Ditambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
4. Ditutup botol dengan hati-hati agar tidak ada udara yang masuk ke dalam botol. Kemudian dibolak-balikkan reaktor beberapa kali hingga larutan tercampur.
5. Dibiarkan gumpalan mengendap dalam waktu 10-15 menit.
6. Ditambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan botol beberapa kali hingga endapan menghilang.
7. Diambil air dari dalam botol sebanyak 100 mL dengan menggunakan gelas ukur dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
8. Dititrasi dengan menggunakan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N hingga warna menjadi cokelat muda.

9. Ditambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan dititrasi kembali dengan menggunakan Natrium Tiosulfat sampai warna biru menghilang pertama kali.
10. Hitung oksigen terlarut dengan menggunakan rumus berikut:

$$OT(mg O_2/L) = \frac{a \times n \times 8000}{100 mL}$$

dimana: OT = oksigen terlarut  
 a = volume titrasi Natrium Tiosulfat  
 N = normalitas Natrium Tiosulfat

### **Prosedur Analisis Klorofil A**

#### **A. Alat dan Bahan**

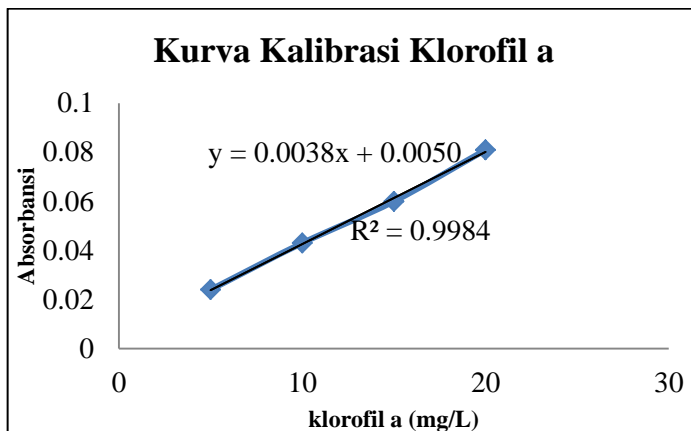
1. Labu centrifuge
2. Alat centrifuge
3. Pipet Volumetrik
4. Gelas Ukur 25 mL
5. Spektrofotometer
6. Sampel sebanyak 50 mL
7. Larutan aseton 2 mL
8. Aquades 10 mL

#### **B. Prosedur Analisis**

1. Sampel diambil sebanyak 50 mL dengan labu centrifuge yang tertutup
2. Sampel dicentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit
3. Endapan hijau yang terbentuk diambil menggunakan pipa volumetrik
4. Endapan hijau dimasukkan ke dalam gelas ukur 25 mL
5. Ditambahkan larutan aseton sebanyak 2 mL kemudian digoyang-goyangkan



6. Ditambahkan aquades hingga 10 mL kemudian dimasukkan dalam labu centrifuge
7. Larutan dicentrifuge dengan kecepatan 500 rpm selama 20 menit
8. Kemudian dilakukan pembacaan spektrofotometer dengan panjang gelombang 645 nm
9. Hasil absorbansi dimasukkan dalam kurva kalibrasi klorofil a seperti di bawah ini



10. Kandungan klorofil a dihitung menggunakan rumus

$$\text{klorofil a mg/L} = x \times \frac{\text{Volume aseton}}{\text{Volume sampel}}$$

dimana: x = Nilai x dari persamaan kalibrasi

### **Prosedur Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)**

#### **A. Alat dan Bahan**

1. Erlenmeyer 2 buah
2. Pemanas
3. Kristal  $\text{Hg}_2\text{SO}_4$

4. Aquades 170 mL
5. Kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 10 mL
6. Larutan campuran asam  $H_2SO_4$  dan  $Ag_2SO_4$
7. Indikator ferroin 3 tetes
8. Larutan FAS 0,05 N

## B. Prosedur Analisis

1. 2 buah erlenmeyer COD disiapkan, lalu kristal  $Hg_2SO_4$  dimasukkan sebanyak sepucuk spatula ke dalam masing-masing tabung COD. 2,5 ml sampel yang telah disaring dan 2,5 ml air aquadest sebagai blanko dimasukkan ke dalam masing-masing tabung COD.
2. Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
3. Larutan campuran asam  $H_2SO_4$  dan  $Ag_2SO_4$  ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
4. Tutup tabung COD dengan rapat, kemudian dinginkan hingga mencapai suhu ruangan.
5. Panaskan tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
6. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
7. Larutan sampel dan blanko masing-masing dimasukkan dalam erlenmeyer.
8. Indikator ferroin ditambahkan sebanyak 1 tetes.
9. Kedua erlenmeyer dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
10. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$COD \text{ (mg } O_2/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{Vol \text{ sampel}} \times p$$

Keterangan :

A	= mL FAS titrasi blanko
B	= mL FAS titrasi sampel
N	= normalitas larutan FAS
P	= pengenceran

## **Prosedur Analisis MLVSS (Mixed Liquor Volatile Suspended Solid)**

### **A. Alat dan Bahan**

1. Cawan porselin
2. Oven
3. Kertas saring
4. Desikator
5. Timbangan analitis
6. Vacum filter

### **B. Prosedur Analisis**

#### MLSS

1. Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke oven selama 105°C selama 15 jam.
2. Kertas saring dimasukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
3. Cawan dan kertas saring kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
4. Cawan dan kertas saring ditimbang dengan timbangan analitis (e mg)
5. Kertas saring yang telah ditimbang diletakkan pada vacum filter.
6. 25 ml sampel dituangkan diatas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, lalu dicatat volume sampel (g ml)
7. Sampel disaring sampai kering atau airnya habis.
8. Kertas saring diletakkan pada cawan petri dan dimasukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
9. Didinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
10. Ditimbang dengan timbangan analitis (f mg).
11. Jumlah MLSS dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{MLSS (mg/L)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

dimana:

- e = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan oven 105°C
- f = cawan dan residu setelah dioven 105°C
- g = volume sampel

### **Prosedur Analisis Oil & grease**

#### **A. Alat dan Bahan**

1. Peralatan ekstraksi: labu soxhlet, labu destilasi, dan kondensor
2. Corong pemisah 1000 mL
3. Propipet
4. Kompor listrik
5. Corong plastik
6. Kertas saring
7. Oven
8. Desikator
9. Neraca analitis
10. Penjepit besi
11. HCl
12. Dichloromethane sebagai pelarut organik

#### **B. Prosedur Analisis**

1. Panaskan labu destilasi kosong pada suhu 105°C selama 1 jam. Usai dipanaskan dalam oven, pindahkan labu destilasi dari oven dengan penjepit besi ke dalam desikator selama 15 menit. Ambil labu destilasi kosong tersebut dari dalam desikator dan timbang massanya (a gram).
2. Diambil sampel sebanyak 200 mL ke dalam tabung centrifuge 50 mL kemudian dicentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit.
3. Diambil bagian air mengandung minyak yang sudah dipisahkan dari endapan alga
4. Dimasukkan sampel ke dalam corong pemisah 1000 mL dan diasamkan dengan perbandingan HCl 1:1 atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

1:1 menuju pH 2 atau lebih rendah (umumnya, 5 mL cukup untuk 1 L sampel). Pada penelitian ini digunakan 1 mL HCl.

5. Dicampur sampel dengan dichlorometane sebanyak 20 mL. Dikocok hingga terbentuk dua lapisan secara jelas di dalam corong pemisah. Lapisan atas merupakan air biasa. Lapisan bawah yang mengendap, merupakan lapisan minyak yang terikat dengan pelarut organik. Ambil lapisan minyak dan pelarut dari corong pemisah dengan memutar katup corong pemisah. Pengocokan dilakukan dua kali lagi dengan volume DCM masing-masing 10 mL.
6. Ambil kertas saring. Masukkan kertas saring ke dalam dasar labu soxhlet.
7. Nyalakan kompor listrik. Isi labu soxhlet berisi kertas saring tersebut dengan pelarut organik hingga melebihi lubang selang kapiler menuju labu destilasi ( $\pm 1$  cm di atas selang kapiler). Pastikan terjadi aliran dalam selang kapiler. Ekstrak minyak dalam peralatan ekstraksi sampai dalam labu soxhlet muncul asap.
8. Labu soxhlet berisi minyak dimasukkan ke dalam oven  $105^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit agar terpisahkan dari pelarut organik.
9. Letakkan labu soxhlet di dalam desikator selama 15 menit. Timbang massa labu ekstraksi (b gram).
10. Perhitungan :

$$\text{mg minyak/L} = \frac{(b - a) \text{ mg}}{\text{L sampel}}$$

Dimana :

b = mg labu soxhlet berisi minyak hasil ekstraksi

a = mg labu soxhlet kosong

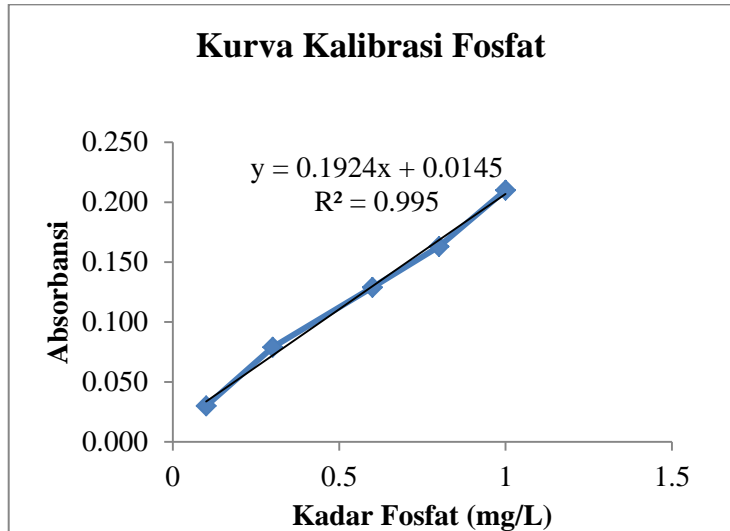
## Prosedur Analisis Fosfat

### A. Alat dan Bahan

1. Larutan Ammonium Molybdate
2. Larutan Klorid Timah
3. Erlenmeyer 100 mL 2 buah
4. Spektrofotometri dan kuvet
5. Pipet

### B. Prosedur Analisis

1. Ambil erlenmeyer 100 mL, isi masing-masing dengan sampel air dan aquadest sebanyak 25 mL.
2. Tambahkan 1 mL larutan Ammonium Molybdate
3. Tambahkan 2-3 tetes larutan Klorid Timah
4. Aduk dan biarkan selama 7 menit
5. Baca pada absorbansi dengan panjang gelombang 650  $\mu\text{m}$
6. Absorbansi hasil pembacaan dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi



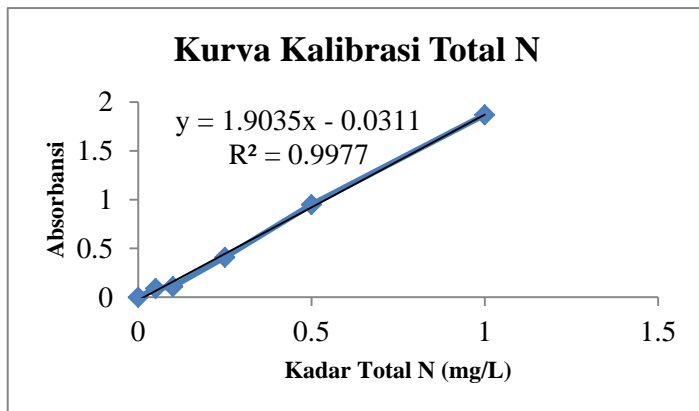
## **Prosedur Analisis Total N**

### **A. Alat dan Bahan**

1. Larutan Digest N
2. Larutan Garam Signet
3. Larutan Nessler
4. Spektrofotometri dan kuvet
5. Erlemenyer

### **B. Prosedur Analisis**

1. Ambil erlenmeyer 100 mL, isi masing-masing dengan sampel air dan aquadest sebanyak 25 mL.
2. Tambahkan 2 mL larutan Digest N dan didiamkan selama 1 hari. Dipanaskan sampel hingga larutan berwarna cokelat gelap cenderung hitam.
3. Kemudian didinginkan sampel dan ditambahkan aquades hingga volumenya menjadi 25 mL.
4. Tambahkan 1 mL larutan Nessler
5. Tambahkan 1 mL larutan Garam Signet
6. Aduk dan biarkan selama 10 menit
7. Baca pada absorbansi dengan panjang gelombang 410  $\mu\text{m}$
8. Absorbansi hasil pembacaan dihitung dengan rumus hasil kalibrasi atau dibaca dengan kurva kalibrasi



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## LAMPIRAN D PERHITUNGAN

### A. Perhitungan Jumlah Gula yang Dimasukkan

- Konsentrasi COD yang kurang = 89,23 mg/L
- Konsentrasi COD dalam 1 g gula = 1,113,6 mg/L
- Rumus penambahan gula

$$\frac{1}{x} = \frac{a}{b}$$

Di mana: x = kebutuhan gula pasir per liter air

a = kandungan COD pada 1 gram gula per liter

b = kandungan COD yang diinginkan

- Perhitungan:

$$Gula (g) = \frac{COD}{1113,6} = \frac{89,23}{1113,6} = 0,08013 \text{ g/1 L air}$$

Karena reaktor yang digunakan berkapasitas 18L, maka:

$$Gula = 0,08013 \text{ g} \times 18 = 1,4423 \text{ g}$$

### B. Perhitungan Jumlah NPK yang Dimasukkan

- Menghitung konsentrasi N yang kurang
  - Konsentrasi COD, N dan P
  - Rasio C : N : P nya adalah 100 : 16 : 1
  - Perhitungan

$$N = \frac{\frac{16}{200} \frac{mg}{L}}{100} - 3,71 \frac{mg}{L} = 28,2950$$

- Jumlah NPK yang ditambahkan
  - Jumlah N di dalam NPK adalah 14%, sehingga di dalam 1 g/L pupuk mengandung N sebesar 140 mg/L.

$$NPK = \frac{28,2950}{140} \times 1 \text{ g} = 0,2021 \text{ g}$$

Karena reaktor yang digunakan berkapasitas 18L,  
maka:

$$NPK = 0,2021 \text{ g} \times 18 = 3,6379 \text{ g}$$

### C. Perhitungan Konversi Minyak ke ppm

- Massa Jenis Solar

Massa jenis solar didapatkan dari penimbangan solar di dalam wadah. Hasil penimbangannya adalah sebagai berikut:

Sampel	Awal (g)	Akhir (g)	Volume minyak (mL)	Massa jenis (g/mL)	Massa jenis rata-rata (mg/L)
R1	48.193	62.141	20	0.6974	0.692
R2	47.813	62.031	20	0.7109	
R3	53.712	67.07	20	0.6678	

- Contoh Perhitungan Penambahan Minyak 9 mL

- Konversi perhitungan ke ppm:

$$= \frac{9 \text{ mL}}{18.000 \text{ mL}} \times 0,692 \text{ g/mL} \times 1.000.000$$

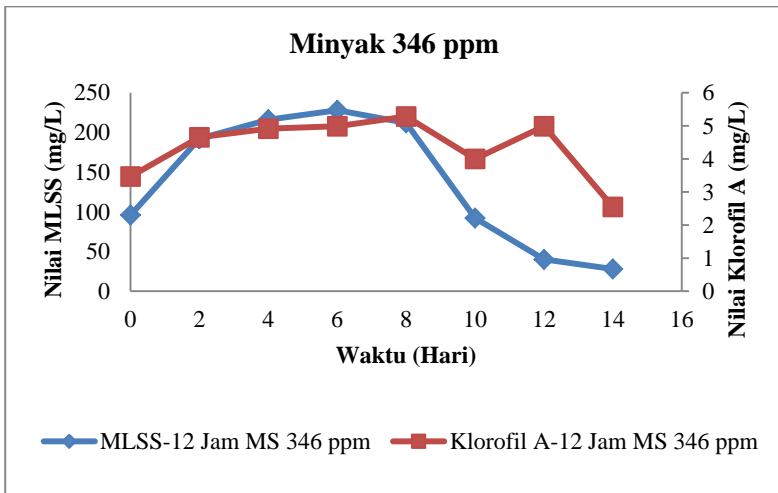
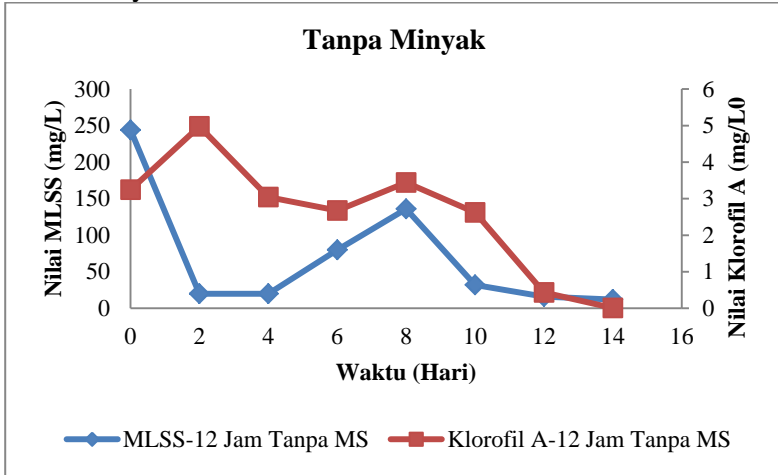
$$= 346 \text{ mg/L}$$

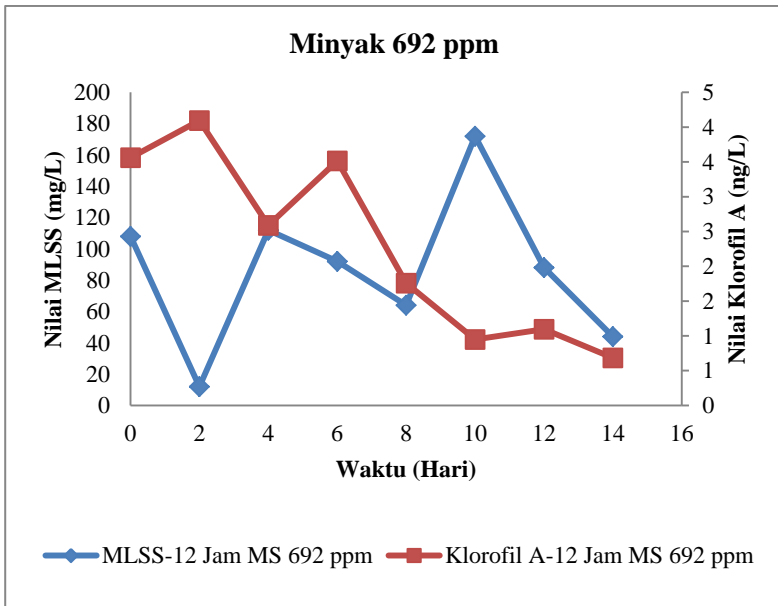
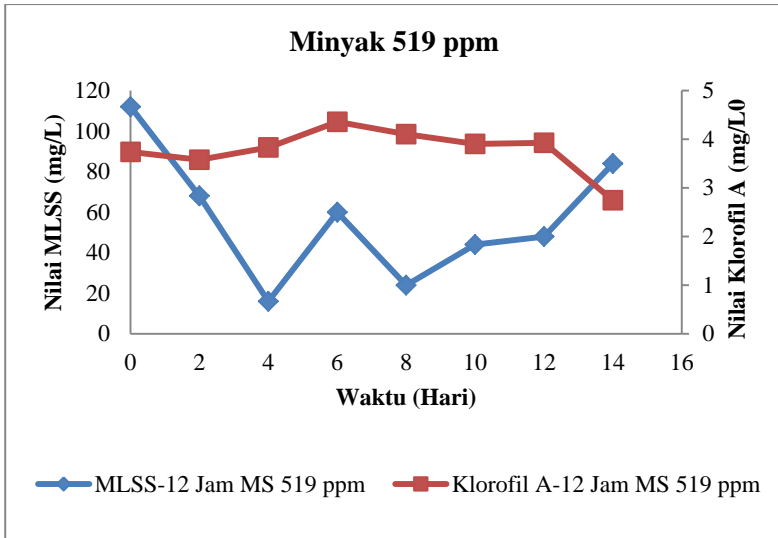
$$= 346 \text{ ppm}$$

## LAMPIRAN E GRAFIK

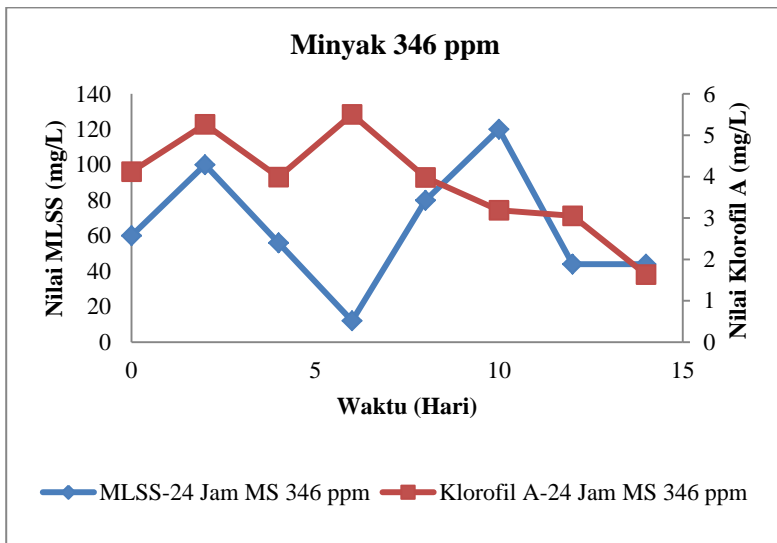
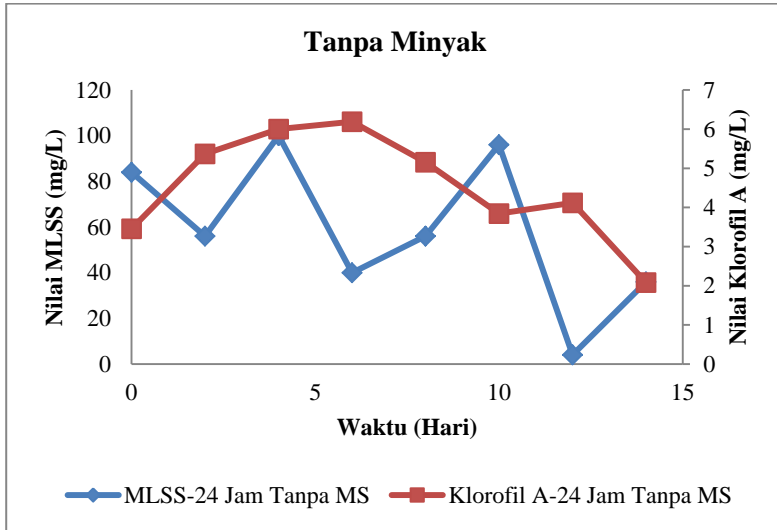
### A. Grafik Korelasi Parameter Klorofil A dan MLSS

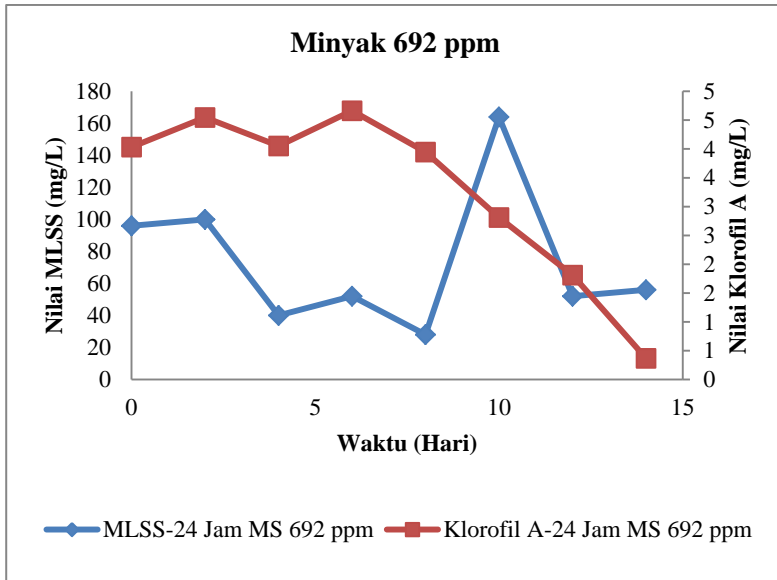
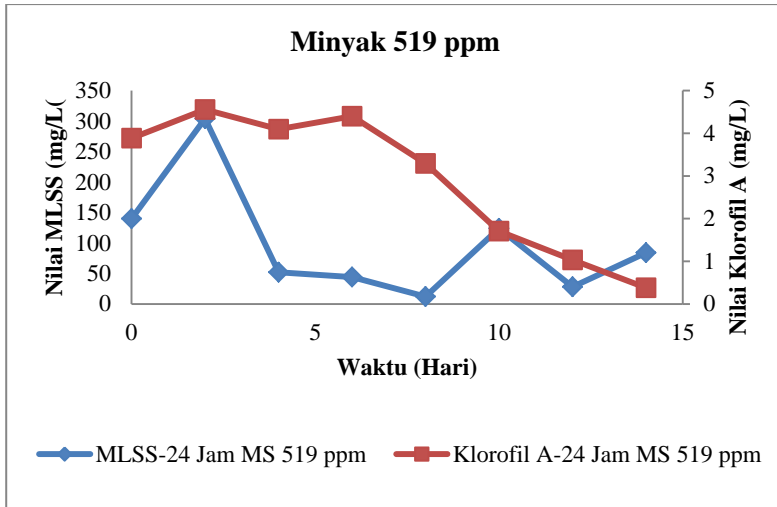
#### 1. Pencahayaan 12 Jam





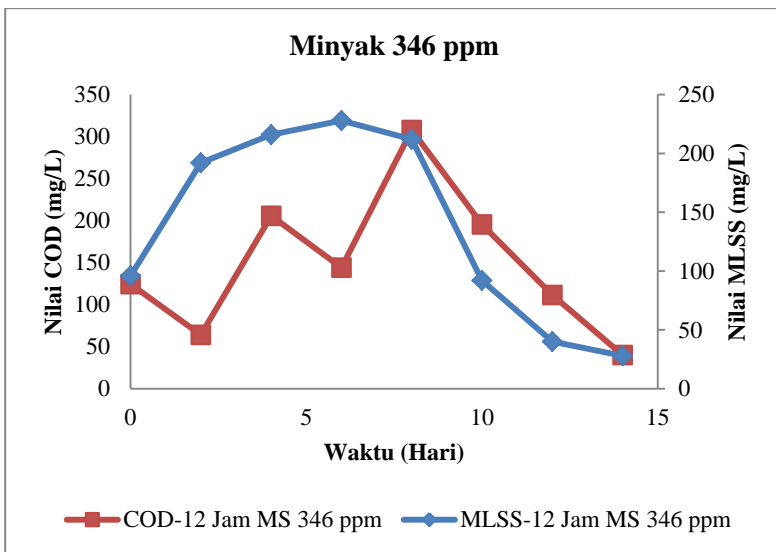
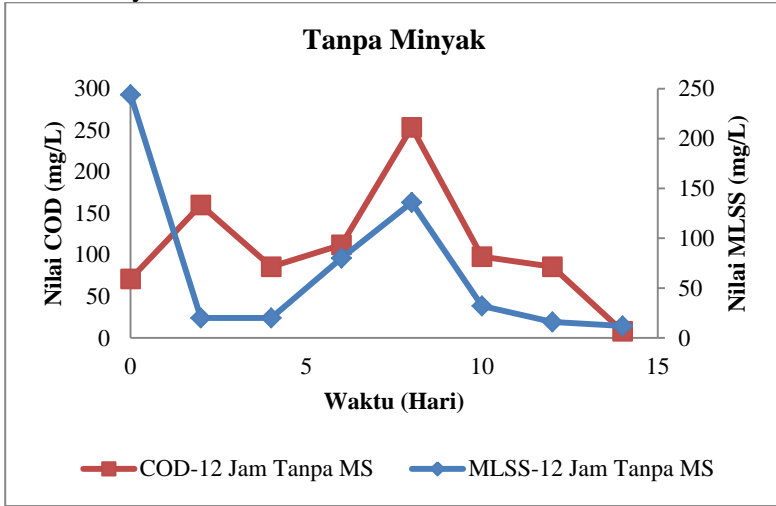
## 2. Pencapaian 24 Jam

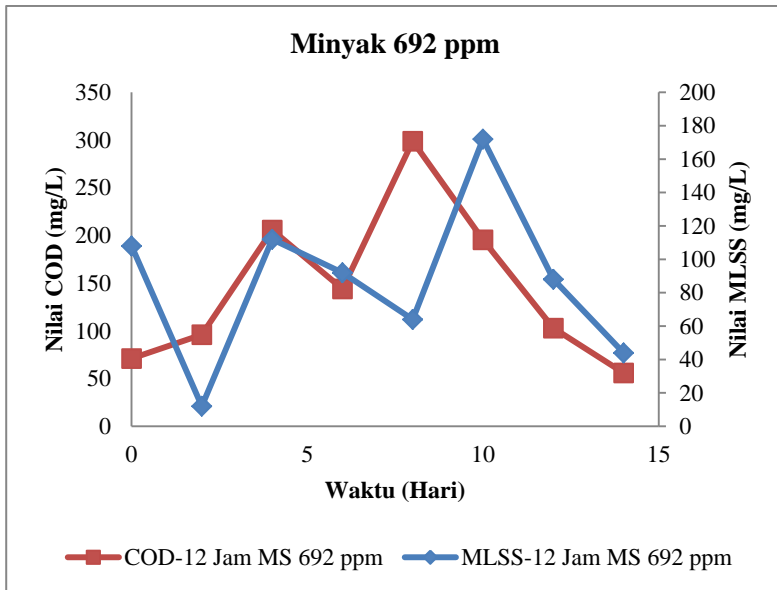
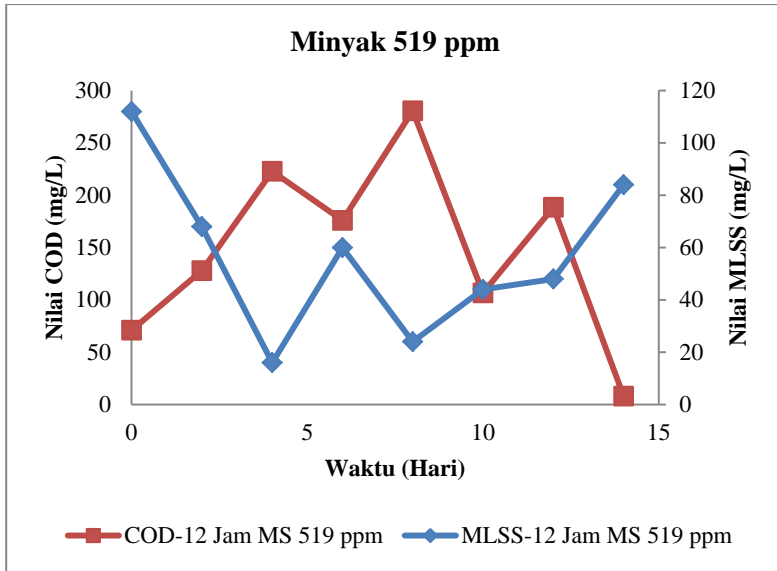




## b. Grafik Korelasi Parameter MLSS dan COD

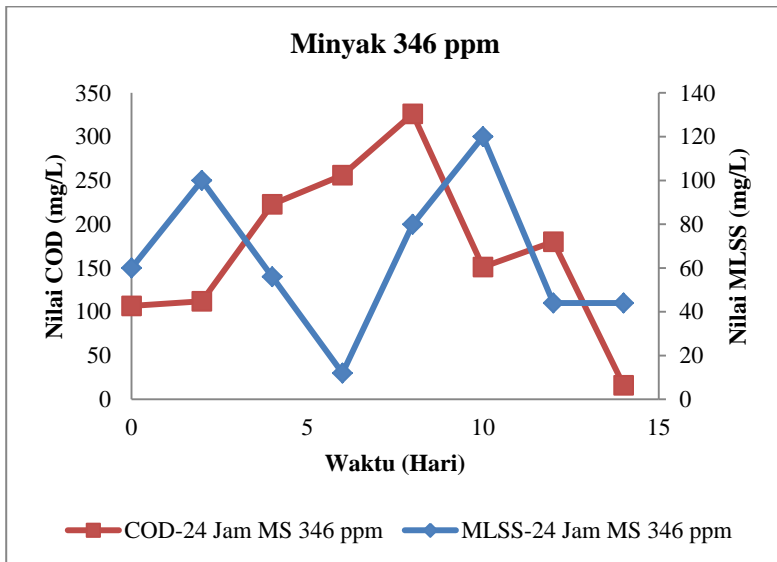
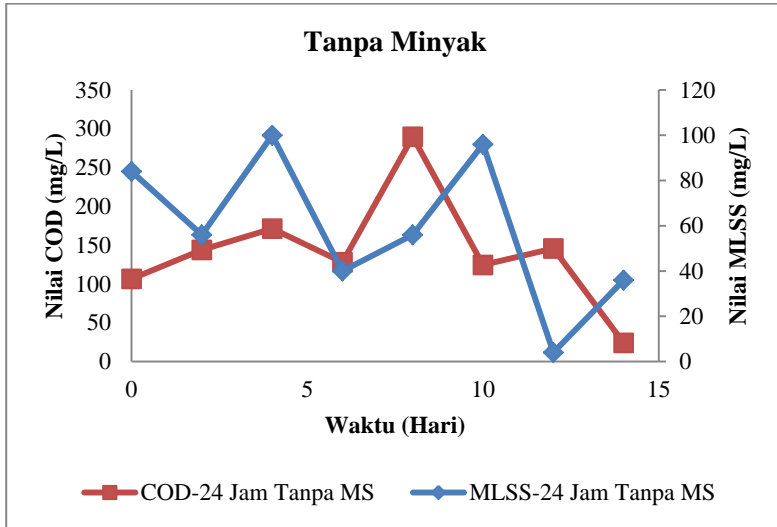
### 1. Pencahayaayaan 12 Jam

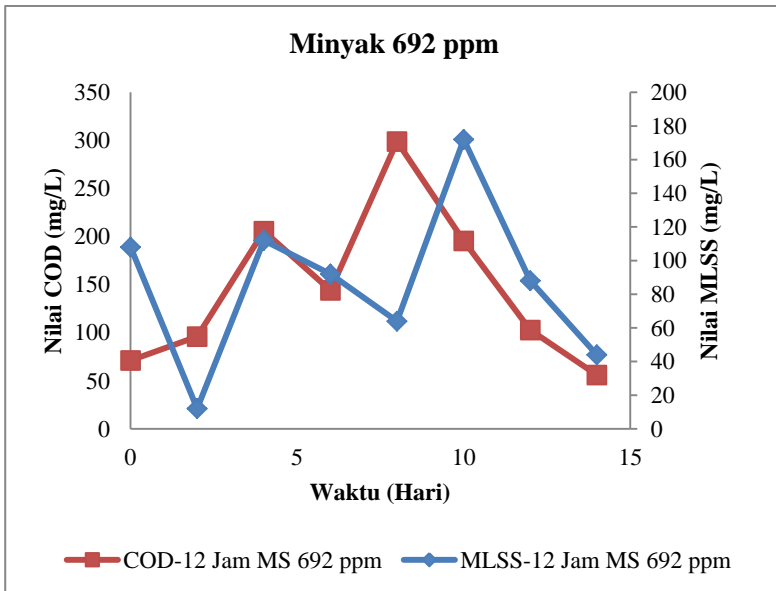
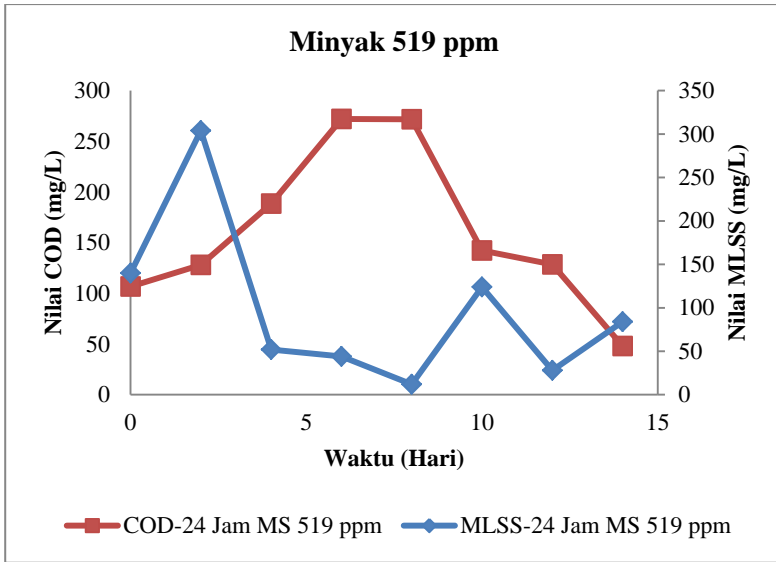






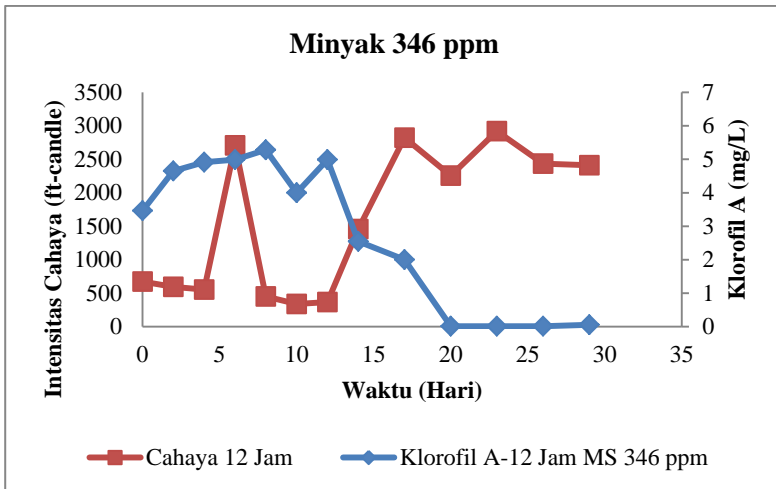
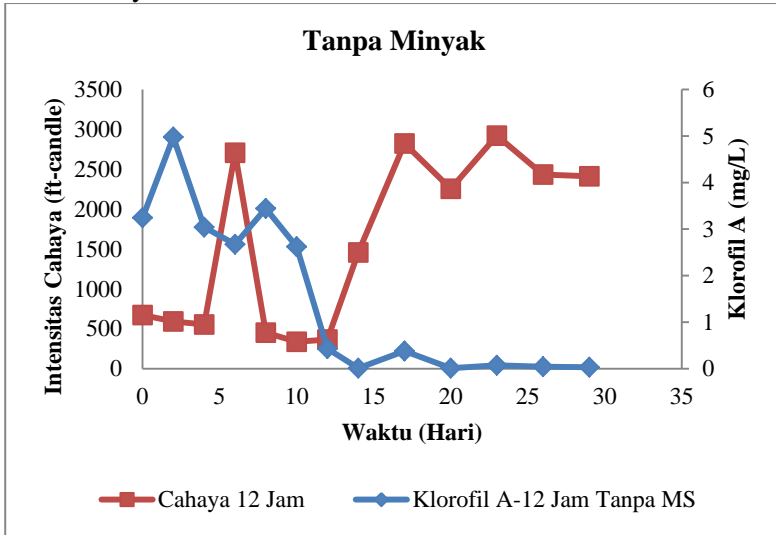
## 2. Pencapaian 24 Jam

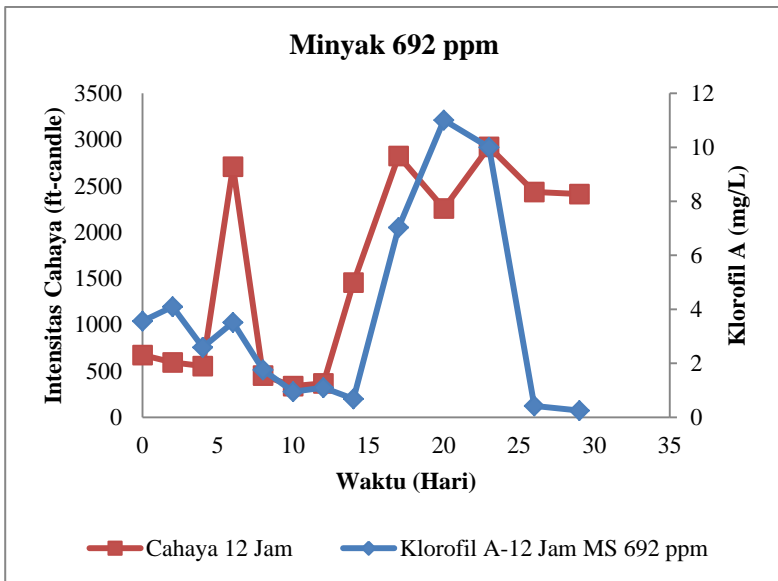
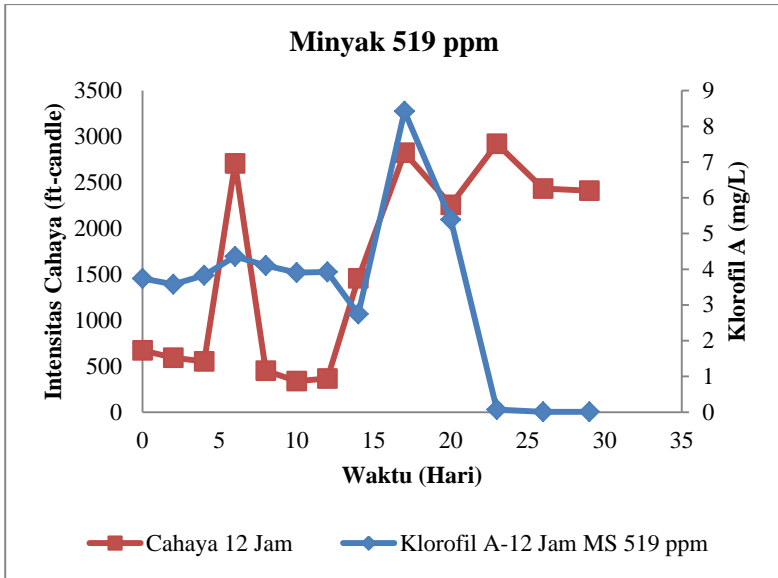




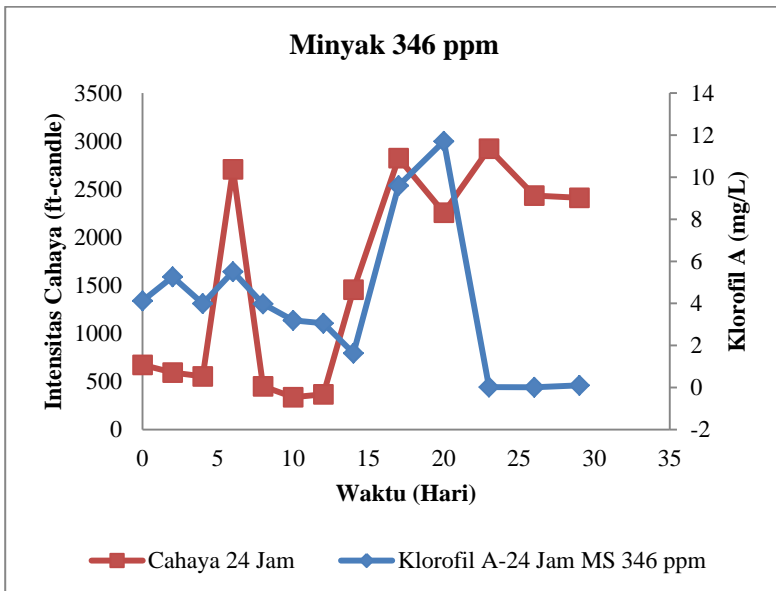
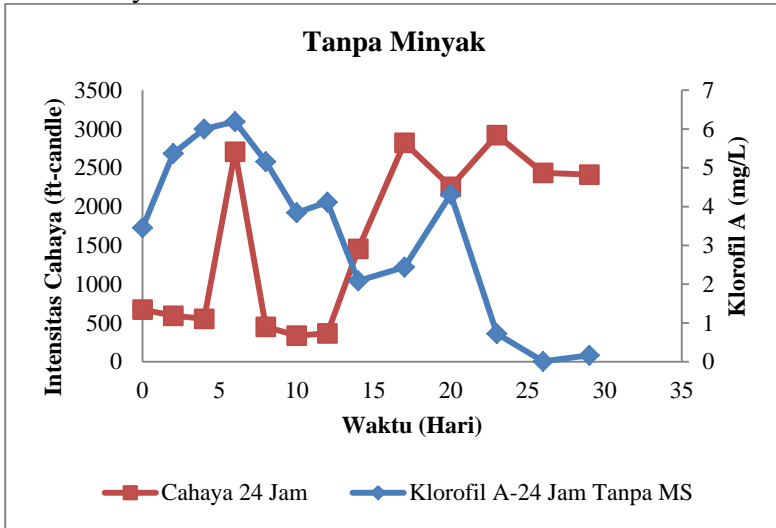
### c. Grafik Korelasi Parameter Klorofil A dan Intensitas Cahaya

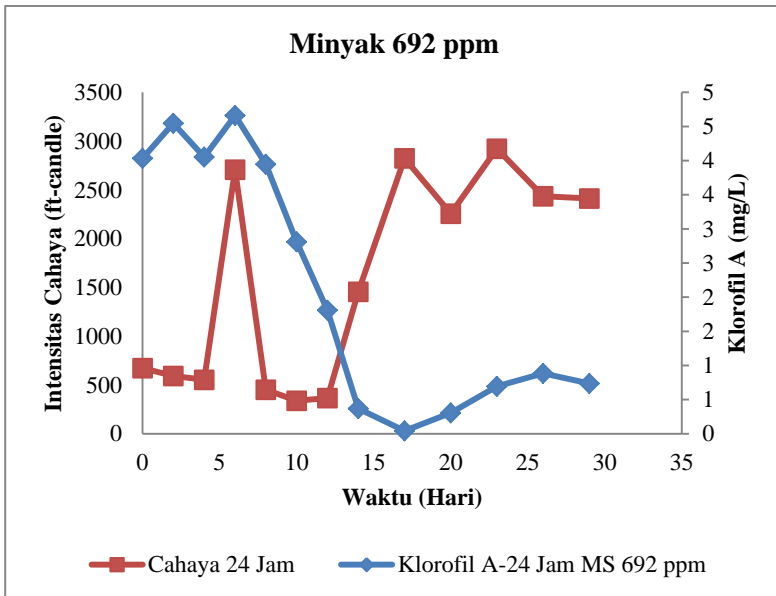
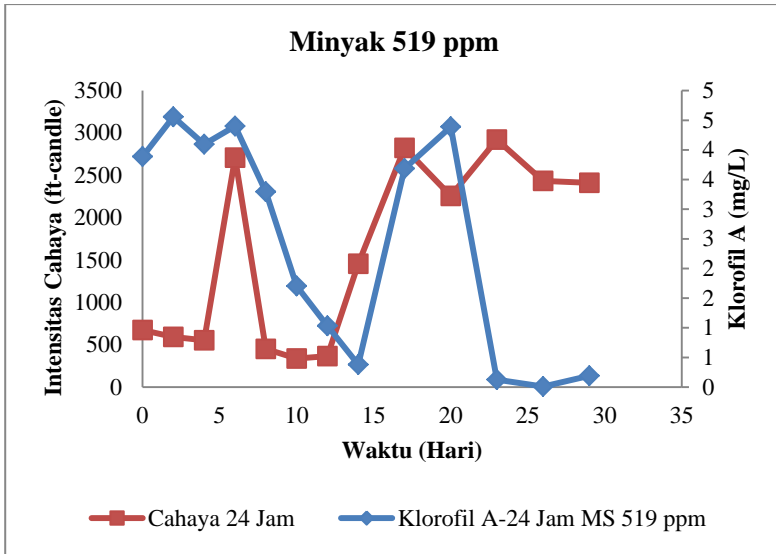
#### 1. Pencahayaan 12 Jam





## 2. Pencahayaan 24 Jam





## **Biodata Penulis**



Penulis bernama Dian Puspitasari dan dilahirkan di Yogyakarta pada tanggal 28 April 1993. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dan menjadi satu-satunya anak perempuan di keluarga. Penulis memulai pendidikan formal di SDN 2 Tenggarong, Kalimantan Timur. Namun karena mengikuti dinas ayah sewaktu SD, maka penulis sempat berpindah-pindah SD selama 4 kali dan mendapatkan ijazah SD di SD Yayasan Pupuk Kaltim, Bontang. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan formalnya di SMP Yayasan Pupuk Kaltim dan SMA Muhammadiyah 1 Yogyakarta. Penulis berhasil diterima di Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya pada tahun 2010 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Penulis sering aktif pada berbagai pelatihan, seminar dan program kerja yang diadakan oleh Jurusan Teknik Lingkungan ITS, maupun di luar itu. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium Mikrobiologi Lingkungan dan asisten laboratorium Kimia Lingkungan I pada tahun 2012. Pada tahun 2013 penulis juga sempat menjadi mahasiswa magang di PT VICO Indonesia selama 1 bulan. Dari laporan tugas akhir ini, penulis berharap adanya saran dan kritik untuk lebih baik. Penulis dapat dihubungi di [dianpuspitasari2010@gmail.com](mailto:dianpuspitasari2010@gmail.com).