

## PEMANFAATAN AIR LINDI TPA JATIBARANG SEBAGAI MEDIA ALTERNATIF KULTIVASI MIKROALGA UNTUK PEROLEHAN LIPID

Andika Dimas P., Titik Istirokhatun<sup>\*\*</sup>), Swastika Praharyawan<sup>\*)</sup>

<sup>\*\*</sup>)Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
<sup>\*)</sup>Pusat Penelitian Bioteknologi – LIPI Cibinong Science Center  
Jl. Raya Bogor, Km.46, Cibinong, Bogor  
email: [andikadpri@gmail.com](mailto:andikadpri@gmail.com)

### Abstrak

Lindi merupakan salah satu permasalahan yang timbul dari keberadaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Kandungan lindi yang terdiri dari banyaknya senyawa organik serta berbagai ion logam mencemari lingkungan sehingga perlu adanya pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan, namun air lindi memiliki kandungan nutrient bagi organisme autotrof. Dewasa ini organisme autotrof seperti mikroalga sedang dikembangkan karena memiliki berbagai manfaat terutama pada potensi sumber lipid untuk produksi biodiesel, prospek mikroalga sebagai penghasil lipid (asam lemak) lebih menguntungkan dibandingkan sumber lainnya karena mikroalga mempunyai laju pertumbuhan yang cepat dan produktivitas yang tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa pertumbuhan dan produktivitas mikroalga isolat LBB-LIPI pada medium air lindi, variable yang dipelajari adalah jenis mikroalga yang memiliki performa pertumbuhan dan produktivitas biomassa dan lipid terbaik pada medium air lindi. Penelitian ini diawali dengan screening menyeleksi 12 isolat mikroalga LBB-LIPI dengan performa pertumbuhan paling baik berbasis pada nilai fluorescence, hasilnya terdapat tiga isolate mikroalga dengan performa paling baik yaitu LBB 13 AL001, LBB 13 AL010 dan LBB 13 AL039. Ketiga mikroalga tersebut masuk tahap kultivasi pada wadah 500ml dimana terdapat dua media yaitu konsentrasi air lindi 10% dan kontrol menggunakan media AF6. Hasil penelitian menunjukkan pada tahap kultivasi menghasilkan data kepadatan sel (optical density) tertinggi adalah strain LBB 13 AL039 pada media AF6, untuk produktivitas biomassa dan lipid tertinggi adalah strain LBB 13 AL039 pada media AF6 yaitu sebesar 0.0732 gr/l/hari dan 0.034245 gr/l/hari. sedangkan nilai kandungan lipid (lipid content) terbesar yaitu strain LBB 13 AL010 dengan prosentase 50.6633 % pada media air lindi.

**Kata Kunci:** Mikroalga Isolat LBB, Air Lindi, AF6, Fluorescence, Biomassa, Kandungan Lipid

### Abstract

*[Utilization of Leachate From Jatibarang Landfill as an Alternative Medium For Microalgae Cultivation to Produce Lipid]. Leachate is one of the problems arising from the existence of Landfill (TPA). The content of the leachate that consists of many organic compounds and various metal ions is contaminated the environment so that need for treatment before being discharged into the environment, but the leachate contains nutrients for autotrophic organisms. Today organisms such as microalgae is being developed because it has many benefits, especially on the potential sources of lipids for biodiesel production, the*

*prospects of microalgae as a producer of lipids (fatty acids) is more profitable than any other source for microalgae has a rapid growth rate and high productivity. This study aims to analyze the performance of growth and productivity in microalgae isolates LBB-LIPI in the medium of leachate, the variables studied are the type of microalgae which has a growth performance and productivity of biomass and lipids best on medium leachate. This study begins with selecting the 12 isolates of microalgae screening LBB-LIPI with the best growth performance based on the value of fluorescence, the result is that there are three microalgae isolates with the best performance, namely LBB 13 AL001, LBB 13 AL010 and LBB 13 AL039. These microalgae strain entrance cultivation stage on a 500ml container where there are two media namely leachate concentration of 10% and AF6 medium as control. The results showed that LBB 13 AL039 cultivated in AF6 medium is the highest strain on optical density measurement, for the productivity of biomass and lipid the highest strain is LBB 13 AL039 cultivated in AF6 medium with 0.0732 g / l / day biomass and 0.034245 g / l / day lipid. While the highest lipid content is earned to LBB 13 AL010 with a percentage of 50.6633% on leachate medium.*

**Keywords:** *Isolate microalgae LBB, Leachate, AF6, Fluorescence, Biomass, Lipid Content*

## PENDAHULUAN

Air lindi (leachate) merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak sekali senyawa yang ada sehingga memiliki kandungan pencemar khususnya zat organik yang sangat tinggi. Lindi sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air, baik air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik. Lindi akan terjadi apabila ada air eksternal yang berinfiltrasi ke dalam timbunan sampah, misalnya dari air permukaan, air hujan, air tanah atau sumber lain. Cairan tersebut kemudian mengisi rongga-rongga pada sampah, dan bila kapasitasnya telah melampaui kapasitas tekanan air dari sampah, maka cairan tersebut akan keluar dan mengekstraksi bahan organik dan anorganik hasil proses fisika, kimia dan biologis yang terjadi pada sampah. (Tchobanoglous et al., 1993). Umumnya, lindi mengandung banyak bahan organik (biodegradable, tetapi juga tahan terhadap biodegradasi), seperti amonia-nitrogen, logam berat, garam anorganik dan diklorinasi organik, yang merupakan ancaman besar bagi tanah

disekitarnya, air tanah dan bahkan badan air (S.Renou et al., 2008 dan Robinson, A.H., 2005).

Pada tahap awal pengoperasian TPA, lindi akan mengandung sejumlah padatan terlarut, BOD, COD, nutrisi, dan logam berat. Pada saat diresirkulasi, komponen tersebut akan bertahan dan terproses oleh mikroorganisme diresirkulasi, komponen tersebut akan tertahan dan terproses oleh mikroorganisme biologis dan berbagai proses kimia maupun fisika. Sebagai contoh, asam organik sederhana yang terkandung dalam lindi akan terproses menjadi metan dan karbondioksida. Peningkatan keasaman yang terjadi akan menyebabkan presipitasi logam sehingga tertinggal timbunan sampah (Darmasetiawan, 2004).

Mikroalga atau alga renik adalah organisme tumbuhan yang berukuran mikroskopik (diameter antara 3-30  $\mu\text{m}$ ). yang termasuk mikroorganisme fotosintetik dan tergolong organisme prokariot atau eukariot dapat tumbuh secara cepat dengan struktur uniselular atau multiselular (Quinn, 2011). Seperti alga

pada umumnya, mikroalga dapat hidup sebagai koloni maupun sel tunggal di seluruh perairan tawar maupun laut. Morfologi sel mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya, hal itu yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004).

Mikroalga dikelompokkan dalam filum *Thallophyta* karena tidak memiliki akar, batang dan daun sejati, namun memiliki zat pigmen klorofil yang meliputi bermacam-macam organisme. Mikroalga melakukan aktivitas fotosintesis dengan bantuan air, O<sub>2</sub> dan sinar matahari, serta menggunakan bahan anorganik seperti NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>-</sup>, dan PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, sehingga menghasilkan energy kimiawi dalam bentuk biomassa seperti karbohidrat, lemak, protein dan lain-lain. Kemudian energy tersebut digunakan untuk biosintesis sel, pertumbuhan sel, bergerak dan berpindah serta reproduksi (Kabinawa, 2001).

Mikroalga memiliki potensi besar sebagai sumber biodiesel untuk menggantikan penggunaan fosil diesel. mikroalga memiliki pertumbuhan yang cepat dan banyak mengandung minyak nabati, kandungan minyak (*oil content*) dalam mikroalga bisa mencapai 80% dari berat biomasanya (Metting, 1996; Spolaore et.al., 2006)

Menurut Pratoomyot et al (2005), keragaman spesies mikroalga akan membuat kandungan asam lemak pada mikroalga bervariasi, asam lemak yang bervariasi pada mikroalga salah satunya dapat dimanfaatkan untuk biodiesel. Namun tidak semua minyak dari mikroalga dapat menjadi biodiesel dengan kualitas yang sesuai standar, tetapi kebanyakan

minyak mikroalga cocok untuk menjadi biodiesel, pertimbangan mikroalga untuk dijadikan biodiesel dilihat pada tingkat produktivitasnya, produktivitas minyak (*oil productivity*) adalah berat minyak yang dihasilkan per unit volume dalam biomassa per hari, nilainya tergantung pada laju pertumbuhan mikroalga dan kandungan minyak (*oil content*) dari biomassa setiap jenis mikroalga (Chisti, Y., 2007).

Biodiesel adalah bahan bakar yang tersusun dari monoalkil ester rantai panjang fatty acids yang merupakan turunan dari minyak tumbuhan dan lemak hewani, Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alcohol rantai pendek seperti methanol menghasilkan metil ester asam lemak (*fatty Acids Methyl Esters/FAME*) atau biodiesel dan gliserol, Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan bakar konvensional antara lain berupa sifatnya yang dapat diperbaharui dan tidak beracun sehingga merupakan alternative potensial dalam mengatasi permasalahan keterbatasan sumber energi yang berasal dari fosil (Ma et al., 1999)

Berdasarkan uraian diatas penelitian ini bertujuan untuk mengetahui strain mikroalga yang memiliki performa pertumbuhan terbaik pada media air lindi dan kontrol serta menganalisis produktivitas biomassa dan lipid.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioproses dan Bioenergi, Pusat Penelitian Bioteknologi – LIPI, Cibinong, Bogor. dengan bahan air lindi yang diambil dari TPA Jatibarang, Semarang. Mikroalga yang digunakan adalah isolate koleksi LIPI terdapat 12 isolat mikroalga yaitu :

LBB 12\_AL002, LBB 12\_AL003, LBB 13\_AL001, LBB 13\_AL006 ,LBB 13\_AL010, LBB 13\_AL018 ,LBB 13\_AL019, LBB 13\_AL020 ,LBB 13\_AL022, LBB 13\_AL039 ,LBB13\_AL045,dan LBB13\_AL048.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui isolate mikroalga yang memiliki karakteristik paling unggul dengan melihat produktivitas biomassa, lipid dan kemampuan penyisihan pencemar (*efficiency removal*) pada media alternative yaitu air lindi TPA Jatibarang yang memiliki potensi nutrisi bagi pertumbuhan mikroalga.

### Pembuatan Media Kultivasi

Media kultivasi mikroalga yang digunakan merupakan air lindi dan AF6 sebagai kontrol, untuk media air lindi diperlukan perlakuan *pre-treatment* terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan BOD,COD dan TDS yang masih tinggi selain itu untuk menjadikan media steril dari organisme *contaminant*. Konsentrasi air lindi sebesar 10% yang digunakan, proses *pre-treatment* air lindi terbagi tiga tahapan yaitu filterisasi, pengenceran dan sterilisasi.

Sedangkan media AF6 merupakan media standar bagi kultivasi mikroalga yang sudah banyak digunakan,Pembuatan media AF6 diawali dengan menyiapkan botol *schott* ukuran 1l, lalu masukan semua

bahan-bahan komposisi AF6. komposisi media AF6 terlihat pada **Tabel 1.1**

**Tabel 1.1 Komposisi Medium AF6**

No.	Bahan	Nama Umum	Vol. 1l (gr)	Vol. 10l (gr)
1	NaNO <sub>3</sub>	Sodium Nitrate	0.14	1.4
2	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ammonium Nitrate	0.022	0.22
3	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Magensium Sulfate Heptahydrate	0.03	0.3
4	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Monopotassium Phosphate	0.01	0.1
5	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Dipotassium Phosphate	0.005	0.05
6	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Calcium Chloride Dihydrate	0.01	0.1
7	CaCO <sub>3</sub>	Calcium Carbonate	0.01	0.1
8	Fe Citrate	Fe Sitrat	0.002	0.02
9	Citric Acid	Asam Sitrat	0.002	0.02

Sumber : *The Japanese Journal of Phycology*, 2009

Setelah bahan-bahan media AF6 dimasukkan kemudian tambahkan aqudest sebanyak 1l aduk menggunakan *magnetic stirrer*, setelah itu sterilkan dalam *autoclave* selama 1 jam dengan suhu 121<sup>0</sup> C, kemudian simpan dalam lemari pendingin, media AF6 sudah bisa digunakan.

### Screening Mikroalga

Screening mikroalga bertujuan untuk menyeleksi strain mikroalga dengan mengetahui performa pertumbuhan mikroalga. Sampel mikroalga yang diseleksi berjumlah 12, *screening* menggunakan alat *spectrofluorometer* varioskan flash untuk mengukur kandungan zat hijau (klorofil) dengan pengukuran *fluoroscences* pada panjang gelombang *excitation* 440 nm dan *emission* 680 nm, selain itu diukur juga nilai kepadatan sel dengan *absorbance* dengan prinsip *photometric* pada panjang gelombang 680 nm, *screening* berlangsung selama 27 hari, hasilnya akan dipilih tiga strain mikroalga yang memiliki laju pertumbuhan yang paling baik.laju pertumbuhan sel mikroalga ditentukan menggunakan rumus Krichnavaruk (2004).

### Tahap Kultivasi

Setelah mendapatkan tiga mikroalga yang terbaik dari tahap *screening* kemudian bibit mikroalga tersebut diperbanyak, sampai cukup untuk tahap kultivasi, pada tahap ini tiga mikroalga dikultivasi pada media air lindi *pre-treatment* dengan konsentrasi 10% dan media AF6, volume sebesar 500ml, aerasi 24 jam dan kultivasi berada di luar ruangan *outdoor*. Pada tahap kultivasi akan diambil data performa pertumbuhan mikroalga yaitu kepadatan sel (*optical density*) dengan metode spektrofotometer pada panjang gelombang 680 nm (*shimadzu*), selain itu diambil sampel untuk penghitungan bobot biomassa dan pengukuran parameter lingkungan berupa suhu, intensitas cahaya (lux) dan pH, kultivasi berlangsung selama 22 hari.

### Pengukuran Growth Rate

Growth rate atau laju pertumbuhan spesifik merupakan nilai kecepatan sel untuk tumbuh pada satu hari dalam masa kultivasi, perhitungan laju pertumbuhan dapat dihitung dengan rumus Krichnavaruk (2004).

$$\mu = \frac{\ln(OD_2) - \ln(OD_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Dimana  $OD_1$  merupakan titik awal fase eksponensial,  $OD_2$  titik akhir fase eksponensial,  $t_1$  waktu awal dan  $t_2$  waktu akhir fase eksponensial.

### Penghitungan Produktivitas Biomassa

Produktivitas biomassa merupakan nilai rata-rata biomassa yang dapat diproduksi atau diperoleh dalam satuan volume perhari (gr/l/hari), penghitungan menggunakan rumus, sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas Biomassa} = \frac{X_t - X_0}{T_1 - T_0} \quad (2)$$

Keterangan :

$X_t$  = Berat biomassa pada hari ke-x (gr/l)

$X_0$  = Berat biomassa pada hari awal (gr/l)

$T_1$  = Hari ke-x (hari)

$T_0$  = Hari awal (hari)

Berat biomassa dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Biomassa kering (gram/l)} = W_2 \text{ (gram)} - W_1 \text{ (gram)} \quad (3)$$

Biomassa didapatkan dari hasil sentrifugasi sampel mikroalga, supernatant dibuang kemudian biomassa dikeringkan dalam oven minimal 30 menit, setelah itu diukur selisih antara botol kosong ( $W_1$ ) dan botol berisi biomassa kering ( $W_2$ ).

### Penghitungan Produktivitas Lipid

Kandungan lipid atau minyak pada mikroalga dilakukan pada saat akhir masa kultivasi atau saat mikroalga akan dipanen. Kandungan lipid di ekstraksi menggunakan metode Bligh and Dyer (1959) menggunakan pelarut organik. Setelah melalui proses yang sudah dijelaskan sebelumnya maka penghitungan berat lipid dapat dijabarkan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat Lipid (gram/l)} = W_2 \text{ (gram)} - W_1 \text{ (gram)} \quad (4)$$

Keterangan :

$W_1$  = Berat Cawan Kosong

$W_2$  = Berat Cawan ditambah Lipid

Setelah didapat berat lipid, maka dapat diketahui juga nilai kandungan lipid (*lipid content*) pada setiap jenis mikroalga dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kandungan Lipid (\%)} = \frac{A}{B+A} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

A = Berat Lipid (gr/liter)

B = Berat Biomassa Kering (gr/liter)

Kandungan lipid (*lipid content*) merupakan nilai yang dibutuhkan untuk mengetahui kandungan prosentase lipid (minyak) pada suatu jenis mikroalga sehingga dapat diprediksi jumlah lipid yang dapat dihasilkan setelah kandungan lipid didapat maka nilai produktivitas lipid pun dapat dihitung dimana produktivitas lipid merupakan nilai lipid yang dapat diperoleh dalam satuan gram per volume per hari (gr/l/hari), rumus untuk menghitung produktivitas lipid sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas lipid} = LP (\%) \times P \quad (6)$$

Keterangan :

LP = Lipid content (%)

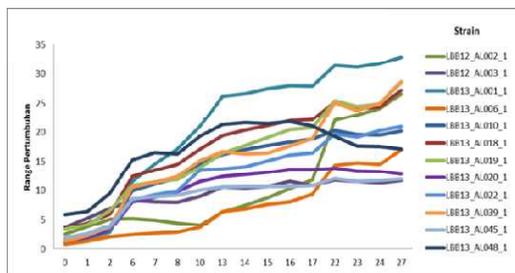
P = Produktivitas Biomassa (gr/l/hari)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Screening Mikroalga

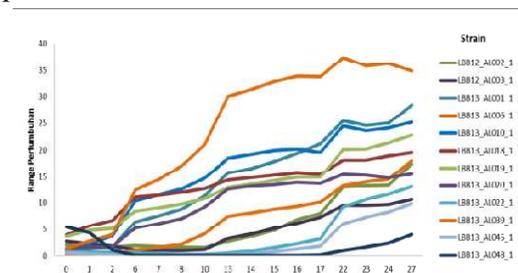
Screening atau tahap penyeleksi mikroalga dilakukan untuk memilih jenis mikroalga yang dapat tumbuh dengan baik pada suatu media kultivasi, hasil dari screening juga dapat dijadikan dasar untuk penelitian selanjutnya. Pada penelitian ini diseleksi jenis mikroalga yang dapat tumbuh pada media air lindi, karena belum ada penelitian yang relevan dalam kultivasi mikroalga dengan menggunakan media air lindi sehingga screening sangat dibutuhkan untuk tahap penelitian berikutnya.

Hasil pengamatan *fluorometric* pada media AF6 tersaji pada **Gambar 1.1**



**Gambar 1.1 Fluorometric pada Media AF6**

Grafik pada **Gambar 1.1** menunjukkan nilai *fluorescence* dari mikroalga yang dikultur pada wadah *microplate* 24 slot dengan media AF6, pengamatan pada media AF6 dilakukan karena AF6 merupakan media standar yang sudah banyak digunakan dalam kultivasi mikroalga. Pada pengamatan hari pertama nilai *fluorescence* pada mikroalga berkisar antara 0 – 5, semua jenis mikroalga dapat tumbuh pada media AF6 terlihat pada grafik yang menunjukkan bahwa tidak ada strain mikroalga yang mengalami penurunan grafik, strain mikroalga yang paling baik pertumbuhannya yaitu LBB 13 AL001 dengan rata-rata nilai *fluorescence* sebesar 30. Pengamatan *fluorescence* dilakukan juga pada media air lindi yang sudah di-*treatment* hasilnya seperti terlihat pada **Gambar 1.2**



**Gambar 1.2 Fluorometric Media Air Lindi**

Pengamatan nilai *fluorescence* pada media air lindi steril menunjukkan bahwa semua mikroalga ternyata dapat tumbuh pada media air lindi dimana pada hari pertama nilai *fluorescence* berkisar antara 0 – 5, jenis LBB 13 AL048 memiliki nilai tertinggi pada hari pertama yaitu 5,4225 namun pada hari ke-3 mikroalga LBB 13 AL048 mengalami penurunan *fluorescence* yang sangat tajam sampai ke angka 0.0829 diperkirakan jenis ini tidak bisa beradaptasi dengan media air lindi namun beberapa mikroalga seperti LBB 13 AL039, LBB 13

AL010 dan LBB 13 AL018 mengalami pertumbuhan yang sangat baik.

Berdasarkan data diatas sudah bisa dipilih beberapa jenis mikroalga sebagai kandidat untuk tahap penelitian selanjutnya yaitu kultivasi, namun untuk lebih memastikan kandidat yang terbaik maka dilihat laju pertumbuhan spesifik mikroalga, laju pertumbuhan atau *growth rate* didapat dari rumus Krichnavaruk *et.al*(2004). Kemudian nilai *growth rate* dibandingkan dengan *fluorescence* antara nilai hari pertama (nilai awal) dan nilai puncak, seperti tersaji pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1.2** Nilai Growth Rate pada Tahap *Screening*

Nilai Growth Rate ( $\mu$ maks)			
No.	Strain	Media AF6	Media Air Lindi
1	LBB12 AL002 1	3.2461	2.8364
2	LBB12 AL003 1	2.4017	2.3366
3	LBB13 AL001 1	3.4962	3.3547
4	LBB13 AL006 1	2.8416	2.9488
5	LBB13 AL010 1	3.0013	3.2255
6	LBB13 AL018 1	3.2580	2.9273
7	LBB13 AL019 1	3.3051	3.0819
8	LBB13 AL020 1	2.6146	2.7353
9	LBB13 AL022 1	3.0242	2.5833
10	LBB13 AL039 1	3.3464	3.6072
11	LBB13 AL045 1	2.4541	2.3054
12	LBB13 AL048 1	2.9715	1.3088

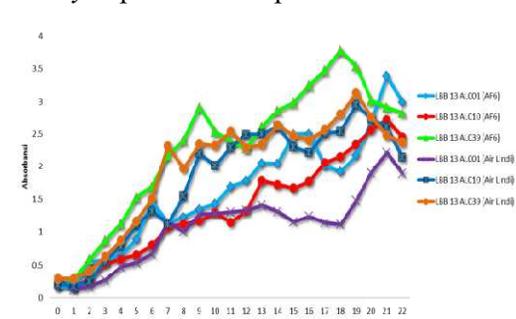
Pada tabel diatas dapat dipilih tiga strain mikroalga yang memiliki nilai growth rate paling tinggi yaitu strain mikroalga LBB 13 AL001, LBB 13 AL010 dan LBB 13 AL039, selanjutnya ketiga mikroalga akan masuk tahap *scale up* atau perbanyakkan bibit untuk dikultivasi dan diamati pertumbuhannya lalu diekstraksi kandungan lipidnya yang memiliki potensi menjadi bahan baku biodiesel.

### Kepadatan sel (*Optical Density*) Mikroalga

Kepadatan sel atau densitas adalah suatu nilai yang menunjukkan pertumbuhan sel mikroalga dimana semakin besar nilainya menunjukkan semakin banyak sel mikroalga yang tumbuh. Pada penelitian ini

kepadatan sel berdasarkan nilai *optical density* dimana nilai pengamatan kepadatan sel menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 680 nm yang nilainya dinyatakan dengan absorbansi.

Terdapat tiga mikroalga yang diamati, kultivasi pada wadah 500ml, diberi aerasi selama 24 jam dan 22 hari masa kultivasi. Terdapat dua media kultivasi yaitu media air lindi steril dan AF6 sebagai kontrol penelitian, hasil pengamatan *optical density* seperti terlihat pada **Gambar 1.3**



**Gambar 1.3** *Optical Density* Mikroalga

Berdasarkan **Gambar 1.3** terlihat bahwa strain mikroalga LBB 13 AL039 memiliki nilai OD yang paling tinggi dibandingkan jenis mikroalga lainnya, LBB 13 AL039 yang dikultivasi pada media AF6 mempunyai nilai OD pada puncak fase ekspnsional sebesar 2.916 dan puncak pertumbuhan sel pada fase stationer sebesar 3.7827, hal ini menunjukkan mikroalga LBB 13 AL039 memiliki kemampuan pertumbuhan dan tingkat adaptasi paling baik diantara kedua mikroalga lainnya selain itu media kultivasi menggunakan AF6 masih lebih baik dibandingkan media air lindi, sedangkan untuk mikroalga yang pertumbuhannya kurang optimal yaitu LBB 13 AL001 pada media air lindi.

Kurang optimalnya pertumbuhan mikroalga pada media air lindi dapat disebabkan beberapa faktor, seperti

kandungan residu terlarut yang dapat mempengaruhi performa pertumbuhan mikroalga, berdasarkan data nilai TDS dan TSS media air lindi tergolong tinggi sedangkan pada media AF6 nilai TDS dan TSS sangat kecil karena aquades merupakan air bersih berwarna jernih yang telah diolah sebelumnya sehingga parameter-parameter pencemar sangat kecil jumlahnya.

Banyaknya kandungan bahan – bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh terhadap proses fotosintesis (Effendi, 2003).

#### Bobot dan Produktivitas Biomassa

Biomassa mikroalga didapatkan dengan berbagai cara tergantung pada ketersediaan alat dan bahan serta skala kultivasi, pada penelitian ini biomassa didapatkan dengan mengambil sampel mikroalga dari reactor lalu sentrifugasi dengan kecepatan 6000rpm selama 10 menit, setelah itu memisahkan antara biomassa dan larutan supernatannya. Bobot biomassa mikroalga yang teramat pada media AF6 dan media air lindi dalam masa kultivasi tersaji pada **Tabel 1.3**

**Tabel 1.3 Bobot Biomassa Kering Mikroalga**

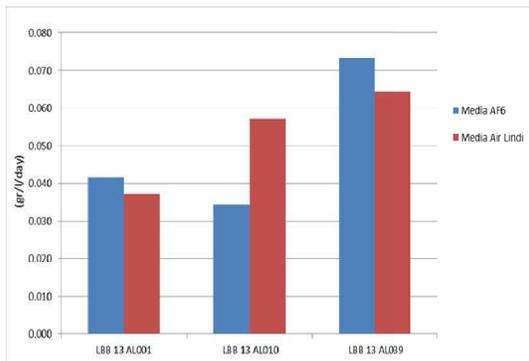
Waktu (Hari ke-)	Strain Mikroalga	Bobot Biomassa (gr/l)	
		Media AF6	Media Air Lindi
0	LBB 13 AL 001	0.076	0.064
5		0.116	0.100
10		0.492	0.436
15		0.626	0.375
20		0.675	0.465
0	LBB 13 AL 010	0.064	0.052
5		0.084	0.136
10		0.408	0.624
15		0.437	0.609
20		0.596	0.668
0	LBB 13 AL 039	0.088	0.068
5		0.212	0.156
10		0.820	0.712
15		0.895	0.725
20		0.914	0.777

Berdasarkan **Tabel 1.3**, bobot biomassa diamati pada fase adaptasi, fase eksponensial dan fase stasioner yaitu hari ke-0, 5, 10, 15 dan 20 nilai bobot biomassa pada hari tersebut dapat mewakili informasi mengenai nilai biomassa pada mikroalga yang dikultivasi pada media AF6 dan media air lindi, bobot biomassa pada media AF6 lebih besar dibandingkan dengan media air lindi terkecuali pada mikroalga LBB 13 AL010 dimana bobot biomassa pada media air lindi lebih besar, penurunan dan kenaikan biomassa berhubungan dengan jumlah sel mikroalga, *stress* pada mikroalga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dalam pertumbuhan sel, jika mikroalga tidak dapat beradaptasi dengan media dikarenakan kekurangan nutrient yang dibutuhkan maka akan terjadi *stress*.

Selain disebabkan media, *stress* pada mikroalga dapat juga disebabkan oleh pengadukan (*mixing*) yang berlebihan menurut Gudin dan Chaumont (1991) bahwa semburan udara yang berlebihan merupakan suatu masalah dalam fotobioreaktor dan semburan udara tersebut dapat merusak sel. Penggunaan pompa air mekanik juga diduga menimbulkan kerusakan pada sel mikroalga. Menurut Chisti, Y. (2007) bahwa faktor nutrient seperti nitrat, fosfat dan pengaturan faktor lingkungan seperti cahaya, pH, temperatur dan salinitas dapat berpengaruh terhadap kuantitas dan komposisi nutrisi yang terkandung dalam mikroalga.

Setelah data bobot biomassa kering didapatkan selanjutnya data tersebut digunakan untuk mencari nilai produktivitas biomassa. Produktivitas biomassa adalah perkiraan bobot biomassa kering yang dapat dihasilkan dalam

gram/liter per hari kultivasi. Produktivitas biomassa hanya diamati pada hari ke-10, karena pada hari tersebut umumnya mikroalga sudah memasuki fase eksponensial (lag) pada fase ini pertumbuhan sel mikroalga sangat cepat dan bisa mencapai puncak pertumbuhannya. Pengamatan biomassa dapat dilakukan setiap hari namun pada penelitian ini volume wadah yang kecil tidak memungkinkan dilakukannya pengamatan biomassa setiap hari, nilai produktivitas biomassa tersaji pada **Gambar 1.4.**



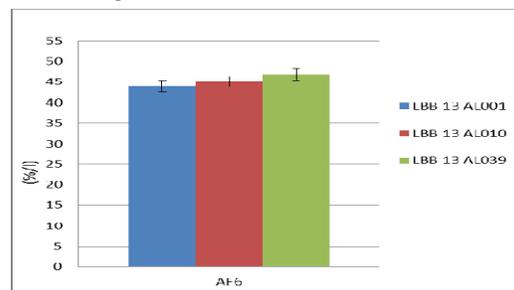
**Gambar 1.4 Produktivitas Biomassa Pada Media AF6**

Nilai produktivitas biomassa tiga jenis mikroalga pada media AF6 dan air lindi dapat terlihat bahwa jenis LBB 13 AL039 menempati urutan paling atas dimana nilai produktivitas biomasanya paling besar yaitu 0.0732 gr/l/day pada media AF6 dan 0.0644 gr/l/day pada media air lindi, selanjutnya LBB 13 AL001 sebesar 0.0420 gr/l/day pada media AF6 dan 0.0370 gr/l/day pada media air lindi. Sedangkan mikroalga LBB 13 AL010 memiliki nilai produktivitas paling rendah dibandingkan jenis lainnya yaitu pada media AF6 sebesar 0.0340 gr/l/day namun memiliki nilai produktivitas yang cukup besar pada media air lindi yaitu 0.0570 gr/l/day.

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai produktivitas biomassa paling besar adalah mikroalga LBB 13 AL039 pada media AF6 dan mikroalga yang dikultivasi pada media AF6 menghasilkan biomassa lebih banyak dibandingkan pada media air lindi. Hal ini dikarenakan oleh media yang terkandung pada media AF6 yang memiliki variasi nutrisi dan tingkat penetrasi cahaya yang lebih baik dibandingkan dengan media air lindi, sehingga proses fotosintesis pada media AF6 berjalan lebih optimal.

### **Kandungan Lipid (*Lipid Content*) dan Produktivitas Lipid**

Hasil penelitian pada ekstraksi lipid menunjukkan bahwa ketiga jenis mikroalga memiliki prosentase kandungan lipid yang berbeda. Perbedaan jenis media kultivasi dapat memberikan perbedaan kadar lipid pada ketiga jenis mikroalga. Data kandungan lipid dari ketiga jenis mikroalga yang dikultivasi pada media air lindi dan AF6 tersaji pada **Gambar 1.5** dan **Gambar 1.6**, Sebagai berikut:

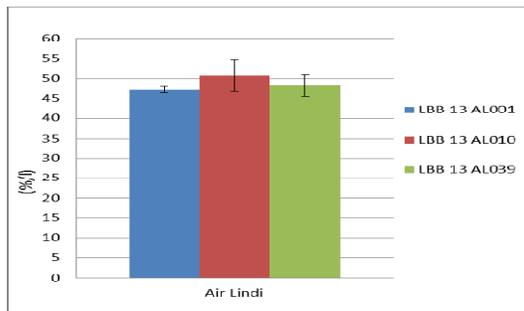


**Gambar 1.5 Lipid Content Pada Media AF6**

Berdasarkan gambar dapat terlihat bahwa prosentase nilai lipid content yang paling tinggi adalah jenis LBB 13 AL039 dengan nilai rata-rata 46,7832 % menyusul kemudian jenis LBB 13 AL010 dengan nilai rata-rata 45.0809 % dan terakhir jenis LBB 13 AL001 dengan nilai rata-rata 43.91414 %, dari data ketiga jenis

mikroalga tersebut nilai prosentase tidak jauh berbeda, hal ini dapat terjadi karena karakteristik mikroalga yang memiliki kesamaan secara morfologi dan habitat pertumbuhan dalam hal ini semua jenis mikroalga air tawar, ditambah pula keadaan lingkungan pada saat kultivasi yang sama. kandungan lipid pada air lindi tersaji pada

**Gambar 1.6**



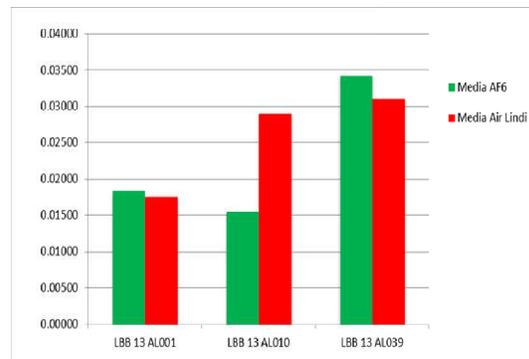
**Gambar 1.6 Lipid Content Pada Media Air Lindi**

Pada grafik diatas dapat terlihat bahwa nilai rata-rata prosentase kandungan lipid paling tinggi adalah jenis LBB 13 AL010 dengan rata-rata prosentase 50.66339 %, kemudian disusul jenis LBB 13 AL039 dengan rata-rata prosentase 48.23155 % sedangkan untuk jenis LBB 13 AL001 memiliki nilai paling kecil dengan rata-rata prosentase sebesar 47.17955 %.. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa nilai lipid content pada media air lindi lebih besar dibandingkan dengan media AF6 walaupun tidak terlalu signifikan, hal ini dapat terjadi karena lipid dari mikroalga cenderung berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan sel dan berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi proporsi relatif asam lemak dan total kandungan lipid (Borowitzka, 1987).

Pada penelitian Endrawati, H., *et.al*, (2013) menunjukkan bahwa pertumbuhan sel tinggi belum tentu menghasilkan lipid yang tinggi. Pada suhu yang tinggi,

pertumbuhan mikroalga *N. oculata* tidak optimal, keadaan tersebut berbanding terbalik dengan kadar total lipid yang menunjukkan hasil produksi yang optimal. Menurut Schenk *et.al.*, (2008) mikroalga di habitat alam mengakumulasi lipid pada keadaan tertentu. Pada kondisi tidak optimal mikroalga tetap melakukan fotosintesis dengan bantuan CO<sub>2</sub> dan mengakumulasinya dalam bentuk karbohidrat dan lipid. Mikroalga mengakumulasi lipid dalam jumlah banyak sampai menemukan kondisi lingkungan untuk tumbuh yang baik.

Setelah mendapatkan data kandungan lipid (*lipid content*) maka dapat diketahui nilai produktivitas lipid dari setiap jenis mikroalga. produktivitas lipid merupakan nilai lipid yang dihasilkan dari biomassa dalam satuan gram perhari, nilai produktivitas lipid didapatkan dari perkalian antara prosentase kandungan lipid dengan produktivitas biomassa. Hasil pengamatan seperti tersaji pada **Gambar 1.7**



**Gambar 1.7 Produktivitas Lipid Pada Media AF6**

Nilai produktivitas lipid tiga jenis mikroalga pada media AF6 dan air lindi dapat terlihat bahwa jenis LBB 13 AL039 menempati urutan paling atas dimana nilai produktivitas lipidnya paling besar yaitu 0.03425 gr/l/day pada media AF6 dan

0.03106 gr/l/day pada media air lindi, selanjutnya LBB 13 AL001 sebesar 0.01827 gr/l/day pada media AF6 dan 0.01755 gr/l/day pada media air lindi. Sedangkan mikroalga LBB 13 AL010 memiliki nilai produktivitas paling rendah dibandingkan jenis lainnya yaitu pada media AF6 sebesar 0.01551 gr/l/day namun memiliki nilai produktivitas lipid yang cukup besar pada media air lindi yaitu 0.02898 gr/l/day.

Berdasarkan data nilai produktivitas lipid, mikroalga isolate LBB 13 AL039 memiliki nilai produktivitas lipid paling tinggi dibandingkan mikroalga lainnya pada kedua media kultivasi, hal ini menunjukkan jenis LBB 13 AL039 merupakan mikroalga dengan karakteristik yang unggul dan produktif. Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa nilai produktivitas lipid cenderung lebih besar pada mikroalga yang dikultivasi media AF6 dibandingkan dengan media air lindi, hal ini terjadi karena nilai produktivitas lipid tergantung pada besarnya nilai produktivitas biomassa, sehingga semakin besar nilai produktivitas biomassa maka semakin besar pula nilai produktivitas lipid, karena produktivitas biomassa pada media AF6 lebih besar nilainya maka nilai produktivitas lipid akan berpengaruh, disamping itu faktor lipid content juga berpengaruh terhadap besarnya nilai produktivitas lipid.

#### Penyisihan Parameter BOD, COD dan Total Nitrogen Oleh Mikroalga

Pada penelitian ini parameter BOD, COD dan Total Nitrogen diamati laju penurunannya pada hari awal (H0) dan hari terakhir kultivasi (H22). Parameter BOD menggambarkan kadar bahan organik, yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh

mikroba aerob untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Davis dan Cornwell, 1991).

Perairan yang memiliki nilai BOD lebih dari 10 mg/l dianggap telah mengalami pencemaran (UNESCO, 1992). sedangkan COD atau kadar kebutuhan oksigen kimiawi dalam perairan menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi (Kawaroe, M., 2011) dan nilai Total N adalah jumlah atau kadar keseluruhan nitrogen (nitrat, nitrit, ammonia dan N-organik) yang terdapat dalam limbah cair atau sampel, air permukaan dan lainnya. Pengamatan penyisihan BOD, COD dan Total N, seperti terlihat pada **Tabel 1.4**

**Tabel 1.4**Efsiensi Penyisihan BOD, COD dan Total N

No.	Parameter (mg/l)	Strain Mikroalga	Nilai Awal (H0)	Nilai Akhir (H22)	Efisiensi Removal (%)
1	BOD	LBB 13 AL001	243	75.2	69.1
		LBB 13 AL010	243	51.9	78.6
		LBB 13 AL039	243	18.8	92.3
2	COD	LBB 13 AL001	552	129.9	76.5
		LBB 13 AL010	552	107.9	80.5
		LBB 13 AL039	552	42.6	92.3
3	Total N	LBB 13 AL001	103	23.3	77.4
		LBB 13 AL010	103	12.6	87.8
		LBB 13 AL039	103	2.66	97.4

Nilai parameter pencemar pada media air lindi pada awal kultivasi sebesar BOD 243 mg/l, COD 552 mg/l, dan Total N 103 mg/l. Selama 22 hari masa kultivasi nilai zat pencemar tersebut menurun, penurunan berdasarkan pengamatan pada hari awal kultivasi dan hari terakhir kultivasi. hasil pengamatan pada hari terakhir menunjukkan nilai sebagai berikut, strain mikroalga LBB 13 AL039 memiliki nilai efisiensi removal yang paling tinggi dibandingkan dua isolate lainnya yaitu pada parameter BOD memiliki efisiensi 92,3% dengan nilai akhir 18.8 mg/l ,COD

memiliki efisiensi 92,3% dengan nilai akhir 42.6 mg/l, dan Total N memiliki efisiensi 97,4% dengan hasil akhir 2.66 mg/l.

Hubungan pertumbuhan mikroalga dan parameter BOD,COD dan Total N dapat dianalisis dimana nilai OD (*optical density*) cenderung semakin meningkat, yang mengindikasikan sel mikroalga yang tumbuh, pada parameter BOD dan COD semakin banyak sel mikroalga mengakibatkan zat organik yang terkandung pada media air lindi berkurang dikarenakan zat organik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai makanan melalui rangkaian reaksi biokimia yang kompleks (Effendi, 2003). Sedangkan senyawa nitrogen yang digunakan dalam metabolisme sel mikroalga berupa ammonium. Nitrogen dalam air limbah dibutuhkan mikroalga sebagai makronutrient untuk sintesis protein, pembentukan klorofil, asam nukleat (DNA dan RNA) juga sintesis asam-asam lemak tak jenuh seperti omega 6 (Sasson, 1961 dalam Kawaroe, 2011).

Hasil pengamatan membuktikan bahwa setiap isolate mikroalga memiliki kemampuan dalam mengolah kandungan zat organik yang berbeda. Nilai BOD,COD dan Total N pada akhir masa kultivasi sudah memenuhi standar baku mutu menurut aturan Perda Jateng No.5 Tahun 2012, dari data tersebut juga menunjukkan terjadi penyisihan zat pencemar dari hari pertama sampai akhir masa kultivasi.

### Pembahasan Mikroalga Berkarakteristik Unggul

Penelitian ini bertujuan untuk mencari isolate mikroalga yang memiliki kualitas unggul dibandingkan mikroalga lainnya, karena mikroalga yang berkarakteristik unggul sangat dibutuhkan

untuk pemanfaatan selanjutnya. Beberapa kriteria mikroalga yang berkarakteristik unggul diantaranya memiliki performa pertumbuhan yang baik, produktivitas yang baik dan mampu menyisihkan keberadaan parameter pencemar dengan efisien. Dalam penelitian ini dipilih diantara tiga isolate mikroalga yaitu LBB 13 AL001, LBB 13 AL010 dan LBB 13 AL039 untuk menjadi strain mikroalga yang paling unggul. Penilaian berdasarkan kriteria yang telah disebutkan sebelumnya, tersaji pada **Tabel 1.5**

**Tabel 1.5 Perbandingan Kualitas Isolat Mikroalga**

No.	Strain Mikroalga	Laju Pertumbuhan Spesifik ( $\mu$ )		Produktivitas Biomassa (g/hari)		Lipid Content (%)		Produktivitas Lipid (g/hari)		Efisiensi Removal BOD,COD dan Total N pada Air Lindi (%)	
		AF6	Air Lindi	AF6	Air Lindi	AF6	Air Lindi	AF6	Air Lindi		
1	LBB 13 AL001	0.6801	0.3347	0.042	0.037	43.9141	47.1795	0.01827	0.01755	BOD	69.1
										COD	76.5
										Total N	77.4
2	LBB 13 AL010	0.422	0.971	0.034	0.057	45.081	50.6633	0.01551	0.02898	BOD	78.6
										COD	80.5
										Total N	87.8
3	LBB 13 AL039	1.2141	1.0192	0.0732	0.0644	46.7832	48.2315	0.03425	0.03106	BOD	92.3
										COD	92.3
										Total N	97.4

Pada **Tabel 1.5** terlihat ketiga isolate mikroalga yang memiliki nilai produktivitas yang berbeda-beda padahal dikultivasi pada lingkungan yang sama tanpa ada perbedaan perlakuan antar isolate mikroalga. Berdasarkan tabel mikroalga LBB 13 AL039 unggul dibandingkan mikroalga lainnya, yaitu memiliki nilai laju pertumbuhan tertinggi pada media AF6 sebesar 1,2141 dimana laju pertumbuhan spesifik menandakan kecepatan pertumbuhan sel mikroalga pada fase eksponensial, berarti LBB 13 AL039 memiliki tingkat adaptasi terhadap media dan perkembangan sel yang unggul dibandingkan mikroalga lainnya. Pada

penilaian produktivitas pun sama dimana mikroalga LBB 13 AL039 memiliki nilai yang unggul dibandingkan mikroalga lainnya yaitu 0.03425 g/l/hari produktivitas lipid dan 0.0732 g/l/hari produktivitas biomassa.

Pada penelitian ini diamati tingkat efisiensi removal ketiga isolate mikroalga terhadap pencemar yaitu BOD, COD dan Total N. hasilnya pada tabel terlihat bahwa mikroalga LBB 13 AL039 memiliki nilai efisiensi removal BOD, COD dan Total N yang paling tinggi berkisar diatas 90% jauh lebih tinggi dibandingkan kedua mikroalga lainnya. Hal ini menandakan bahwa isolate mikroalga LBB 13 AL039 dapat memanfaatkan keberadaan zat organik dalam air lindi sebagai nutrient bagi pertumbuhan sel dengan efisien. Berdasarkan kriteria-kriteria yang telah dipaparkan maka dapat dipilih satu jenis isolate mikroalga yang memiliki karakteristik unggul, yaitu LBB 13 AL039 dimana kualitas performa pertumbuhan, produktivitas, dan efisiensi removalnya lebih baik dibandingkan kedua isolat mikroalga lainnya.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan

1. Air lindi TPA Jatibarang dengan kandungan Total Phosphate 62,1 mg/l dan Total N 31,6 mg/l, dapat menjadi media alternative kultivasi mikroalga.
2. Strain mikroalga LBB 13 AL039 merupakan strain unggul, berdasarkan data kepadatan sel (OD) dapat tumbuh optimal pada kedua medium.
3. Hasil pengamatan produktivitas biomassa dan lipid menunjukkan bahwa strain mikroalga LBB 13 AL039 memiliki nilai produktivitas biomassa

dan lipid terbesar yaitu 0.0732gr/l/hari, dan 0.03425 gr/l/hari, pada media AF6, sedangkan untuk nilai kandungan lipid prosentase terbesar yaitu jenis LBB 13 AL010 pada media air lindi dengan prosentase 50.6633 %. Dibandingkan mikroalga lainnya, jenis mikroalga LBB 13 AL039 lebih produktif.

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini yaitu

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan penyamaan tingkat nutrient terutama Nitrat dan Phosphate antara air lindi dan media standar seperti media AF6 sehingga hasil pertumbuhan dapat dibandingkan secara *fair*.
2. Perlu dilakukan variasi konsentrasi air lindi dan variable lainnya sehingga dapat diketahui nilai pertumbuhan mikroalga yang optimal pada variable tertentu.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Achmadi, SS. 1992. Teknik Kimia Organik. Bogor : Jurusan Kimia, FMIPA. Institut Pertanian Bogor
2. Agustina, A. 2002. Penggunaan NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada Sintesis Gel dari Abu Sekam Padi. Skripsi FMIPA UGM. Yogyakarta
3. Amini, S., 2005. Budidaya Chlorella sp. Prosiding Seminar Nasional Perikanan Indonesia 2005. STP. Jakarta. 322-330
4. Aryandani, Y. 2010. Kandungan Pigmen Karoten Mikroalga Chaetoceros gracilis yang Berpotensi Sebagai Antioksidan Pada Kondisi Kultur yang Berbeda. FPIK. Institut Pertanian Bogor
5. Bligh, A., Dyer, W.J. 1959. A Rapid Method of Total Lipid



- Extraction and Purification. *Can J. Biochem. Physiol.* 37, 911-917pp
6. Borowitzka, MA., 1988. Vitamin and fine chemical from microalgae. *Microalgae Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press. pp477
  7. Chisti, Y., 2007. Biodiesel From Microalgae. *Journal of Algae*, pp294-306
  8. Christensen, T.H and Kjeldsen, P., Basic biochemical processes in landfills, Chapter 2.1 in sanitary landfilling : Process, Technology and Environmental Impact, Cristensen, T.H, Cossu, R. and Stegmann, R., Eds. Academic Press : London, UK, 1989, pp29
  9. Damanhuri, Enri. 1996. Teknik Pembuangan Akhir. Bandung: Jurusan Teknik Lingkungan ITB.
  10. Davis, M.L dan Cornwell, D.A. 1991. Introduction to Environment Engineering. Second Edition. McGraw Hill, Inc., New York. 822p
  11. Darmasetiawan, Martin. 2004. Perencanaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA).
  12. Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Kanisius. Jakarta
  13. Endrawati, H. dan Riniatsih, I., 2013. Kadar Total Lipid Mikroalga *Nannochloropsis Oculata* yang dikultur pada suhu yang berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, Vol.1 : 25-33
  14. Gudin C. dan Chaumont, D., 1991. Cell fragility – The Key problem of microalgae mass production in closed photobioreactor. *Bioresource Technology* Vol.38 : 145-
  15. H. Hadiyanto, M.M. Azimatun Nur, dan G.D Hartanto. Cultivation of *Chlorella* sp. As Biofuel Sources in Palm Oil Mill Effluent (POME). *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*. 1(2), 2012 : pp45-49
  16. Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton: Pakan Alami untuk Pembenihan Organisme Laut. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
  17. Kabinawa, I.N.K. 2006. *Spirullina Ganggang Penggempur Aneka Penyakit*. Vol 1. Jakarta : Agro Media Pustaka
  18. Kawaroe M., Pratono T., Sunuddin A., Wulan Sari D., dan Augustine D., 2010. Mikroalga Potensi dan Pemanfaatannya Untuk Produksi Bio Bahan Bakar. Bogor: IPB Press.
  19. Kawaroe, M. 2011. Kultivasi *Scenedesmus* sp. Pada Medium Air Limbah. *Biota* Vol.16(2) : 193-199, IPB Press
  20. Krichnavaruk, S., Worapanne, Sorawit, dan Prasert. 2004. Optimal Growth Conditions and the Cultivation of *Chaetoceros calcitrans* in Airlift Photobioreactor. *Chemical Engineering*. 105: 91-98
  21. Ma, F. dan Hanna, M.A. 1999. Biodiesel Production : A review *Bioresources Technology*. 70.pp1-15.
  22. Pratoomyot J., Srivilas P., Noiraksar, T. 2005. Fatty Acids Composition of 10 Microalgal species. *Songklanakar J. Sci Technol*. Vol.27: 1179-1187



23. Quinn J. 2011. Microalgae To Biofuels Through Experimentally Validated Models. For Collins, Colorado: Colorado State University In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy
24. Romimoharto, Kasijan., 2004. Biologi Laut. Jakarta: Djambatan
25. Shcenk, P. M., R. Skye, R. Thomas Hall, E. Sthephens, U.C. Marx, J.H. Mussnug, C. Posten, O. Kruse, and Ben Hankamer. 2008. Second Generation Biofuel : High Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. Bioenergy. 1 : 20-43
26. S.Renou, J.G Givaudan, S.Poulain, F. Dirassouyan and P.Moulin. Landfill leachate treatment : Review and opportunity, Journal of Hazardous Materials, 150, 2008, pp468-493
27. Spolaore, P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert, A., 2006. Commercial applications of microalgae. Journal Bio-Sci Bio-Eng. 101 : 87-96
28. Susilaningsih, Dwi., Lestari, S., Kusnadi., Hidayat, T., Susanti, H. 2014. Efikasi Limbah Sagu Sebagai Substrat Kaya Nutrisi Untuk Mikroalga Isolat LIPI 11 – 2 – AL002. Journal Research Gate
29. Tchobanoglous, G., Hillary Thelsen dan Samuel Vigil. 1993. Integrated Solid Waste Management (Engineering Principles and Management Issue). New York: Mc Graw-Hill Companies.
30. UNESCO/WHO/UNEP. 1992. Water Quality Assessments. Edited by Chapman, D. Chapman and Hall Ltd, London. 585p.