

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Jumlah produksi kelapa sawit di Indonesia meningkat pesat karena permintaan ekspor yang tinggi, yaitu mencapai 25,7 juta ton sawit (sekitar 46,6% produksi dunia). Seiring dengan penambahan jumlah produksi, volume limbah kelapa sawit yang dihasilkan juga meningkat (Susanto dkk., 2017). Salah satu limbah terbesar yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit adalah limbah cair yang dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Total limbah POME mencapai 50-60% dari komposisi kelapa sawit. Limbah POME masih mengandung senyawa-senyawa organik yang tinggi sehingga berpotensi besar untuk diolah kembali. Saat ini, salah satu pengolahan limbah POME adalah untuk produksi biogas. Sebanyak 28 m<sup>3</sup> biogas dihasilkan dari 1 m<sup>3</sup> limbah POME (Ahmed dkk., 2015). Total energi yang dihasilkan oleh biogas dari limbah POME dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi di industri atau kebutuhan listrik masyarakat sekitar industri.

Biogas dari limbah POME sebagai sumber energi alternatif menemui beberapa tantangan produksi. Salah satunya terkait dengan nilai densitas energi yang lebih rendah dibandingkan dengan gas alam. Kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang tinggi menyebabkan biogas dari limbah POME tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar. Dengan demikian, perlu adanya proses hilir berupa purifikasi biogas dari limbah POME untuk menurunkan hingga menghilangkan kandungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dan menaikkan nilai energi metana pada biogas (Choong dkk., 2018).

Penelitian yang telah banyak dilakukan untuk proses purifikasi biogas antara lain menggunakan teknologi fisis dan kimiawi melalui *water scrubbing*, *organic solvent scrubbing*, *chemical scrubbing*, *pressure swing adsorption*, *membrane separation*, dan *cryogenic separation* (Manoz dkk., 2015). Metode-metode ini memiliki tahapan sangat panjang dan memakan energi operasi yang tinggi. Oleh karena itu, dikembangkan metode yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan yaitu teknologi purifikasi secara biologis. Teknologi ini menggunakan agen

biologis untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor untuk mencapai kemurnian biogas yang tinggi. Salah satu agen yang mampu menjadi biokonvertor adalah kelompok mikroalga. Prinsip dasarnya adalah memanfaatkan kemampuan fotosintesis sel-sel mikroalga sehingga senyawa CO<sub>2</sub> dalam biogas dimanfaatkan oleh mikroalga sebagai sumber karbon pembentuk biomassa (Manoz dkk., 2015). Konsep ini juga mendukung sistem *biorefinery* atau *zero waste* sehingga meminimalisasi buangan pada akhir proses purifikasi.

Kelimpahan mikroalga di dunia diperkirakan mencapai 200.000-800.000 spesies, dengan spesies terbesar yang tumbuh pada iklim Asia antara lain: *Spirulina sp.*, *Chlorella sp.*, dan *Dunaliella salina*. Batten dkk (2011) menerangkan bahwa Indonesia adalah negara ketiga di anggota APEC yang memiliki potensi besar dalam produksi mikroalga. Van Harmelen dan Oonk (2006) menyatakan bahwa wilayah bersuhu di atas 15°C cocok digunakan sebagai suhu optimum produksi mikroalga. Mikroalga dapat dimanfaatkan dalam pengolahan limbah organik. Mikroalga memiliki kemampuan menyerap senyawa organik pada limbah sebagai nutrisi untuk tumbuh. Melalui proses fotosintesis, mikroalga menghasilkan oksigen yang dapat menurunkan kadar BOD dan COD dalam limbah (Hadiyanto dan Azim, 2012). Dengan demikian, mikroalga berpotensi sebagai agen purifikasi biometana dalam limbah POME dengan menurunkan kadar CO<sub>2</sub>.

## **1.2 Tujuan penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi medium pertumbuhan mikroalga untuk purifikasi biogas dari limbah POME guna mendapatkan kemurnian biometana yang tinggi. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan jenis mikroalga yang sesuai untuk proses pemurnian biometana dari limbah POME dengan kultur murni dan konsorsium
2. Menentukan laju pertumbuhan spesifik mikroalga kultur murni dan konsorsium dalam variasi medium berbeda
3. Menentukan kadar kemurnian biometana sintetik hasil purifikasi menggunakan mikroalga yang pertumbuhannya telah teroptimasi

### **1.3 Hipotesis**

Hipotesis yang peneliti ajukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Jenis mikroalga yang sesuai untuk proses pemurnian biometana dari limbah POME adalah konsorsium *Chlorella sp.*, *Halospirulina sp.*, dan *Picochlorum sp.*
2. Laju pertumbuhan spesifik tertinggi terdapat pada variasi medium dengan komposisi CO<sub>2</sub> sebesar 15% serta penambahan senyawa prekursor Mg<sup>2+</sup>
3. Kemurnian biometana sintetik yang telah dipurifikasi menggunakan mikroalga yang pertumbuhannya telah teroptimasi mencapai 95%

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

## 2.1 Limbah POME

Limbah *Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak kelapa sawit. Sekitar 50-60% kandungan limbah kelapa sawit adalah limbah POME. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi keseluruhan kelapa sawit.

**Tabel 2.1** Komposisi umum kelapa sawit (Susanto dkk., 2017)

Limbah sawit	% (dari total limbah)
TTKS	23
Cangkang	6,5
Lumpur sawit	4
Serabut	13
POME	50-60

Kapasitas pembangkit listrik limbah POME sebesar 13,6 MW dengan kelimpahan POME di Indonesia mencapai 600-700 liter POME per 1 ton tandan kelapa sawit (Susanto dkk., 2017). Tabel 2.2 menunjukkan karakteristik umum dari limbah POME yang tinggi akan kandungan senyawa-senyawa organik sisa pengolahan minyak kelapa sawit.

**Tabel 2.2** Karakteristik umum limbah POME (Ohimain dan Izah, 2017)

Karakteristik	Komposisi
COD (g/L)	43-84
BOD (g/L)	38-57
Total solids (g/L)	11,5-79
TTS (g/L)	40
Volatile solids (g/L)	9-72
Karbohidrat	8,76
Alkalinitas	1,05
N total (mg/l)	400-1100
Mg (mg/l)	170-344
Fe (mg/l)	2-200
pH	3,6-4,6

## 2.2 Biometana dari limbah POME

POME dijadikan sebagai bahan baku dalam proses produksi biogas dalam *anaerobic digestion* (Ohimain dan Izah, 2017). Kandungan biogas yang dihasilkan dari limbah POME ditunjukkan pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Komposisi biogas dari limbah POME (Zain dan Mohamed, 2018)

Senyawa	Komposisi (%)
CH <sub>4</sub>	55-60
CO <sub>2</sub>	35-40
H <sub>2</sub> S	0,8-1
NH <sub>3</sub>	1
O <sub>2</sub>	<1
N <sub>2</sub>	1
CO	<1

## 2.3 Mikroalga

### 2.3.1 Pengenalan mikroalga

Mikroalga adalah organisme autotrof uniseluler dengan karakteristik eukariotik. Mikroalga memiliki kemampuan fotosintesis seperti kelompok tumbuhan, namun juga memiliki periode tumbuh yang lebih cepat seperti mikroorganisme bakteri, jamur, dan *yeast*. Secara fisiologis, mikroalga merupakan sel-sel berukuran rentang 3-30 µm. Mikroalga telah banyak dimanfaatkan sebagai sumber pangan fungsional, penghasil bioenergi, serta sebagai agen remediator karena memiliki berbagai macam enzim dan senyawa-senyawa aktif yang bernilai tambah (Hadiyanto dan Azim, 2012).

### 2.3.2 Faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroalga

Beberapa faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroalga antara lain: intensitas cahaya, suhu, media pertumbuhan, pH, salinitas, dan kandungan CO<sub>2</sub> (Hadiyanto dan Azim, 2012). Jeon *dkk.* (2005) melaporkan bahwa aktivitas

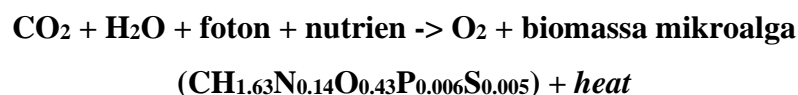
fotosintesis naik seiring kenaikan intensitas cahaya. Penelitian sering menggunakan durasi pencahayaan rasio light:dark (L/D) antara lain 16:8, 14:10 atau 12:12 waktu pencahayaan. Sebagian besar alga dapat tumbuh pada suhu antara 15 sampai 40<sup>0</sup>C. Beberapa mikroalga dapat tumbuh subur pada kondisi suhu kisaran 24-26<sup>0</sup>C. Jika di bawah suhu optimum, tumbuh dengan lambat. Jika di atas rentang suhu pertumbuhan, sel akan mengalami lisis.

Sebagian besar mikroalga membutuhkan makronutrien seperti karbon, (C), nitrogen (N), hidrogen (H), sulfur (S), kalium (K), magnesium (Mg), dan fosfor (P) Sedangkan mikronutrien digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan sel dan metabolisme. Mikronutrien yang digunakan antara lain zat besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), vanadium (Va), silikon (Si), selenium (Se), cuprum (Cu), nikel (Ni), dan molybdenum (Mo). Rentang pH tumbuh sebagian besar alga adalah di antara 6-8. Beberapa algae jenis *cyanobacteria* seperti *Spirulina platensis* hanya dapat tumbuh pada kondisi alkali/basa. Sementara *Chlorella sp.* secara umum dapat hidup dalam kondisi pH antara 7-8.

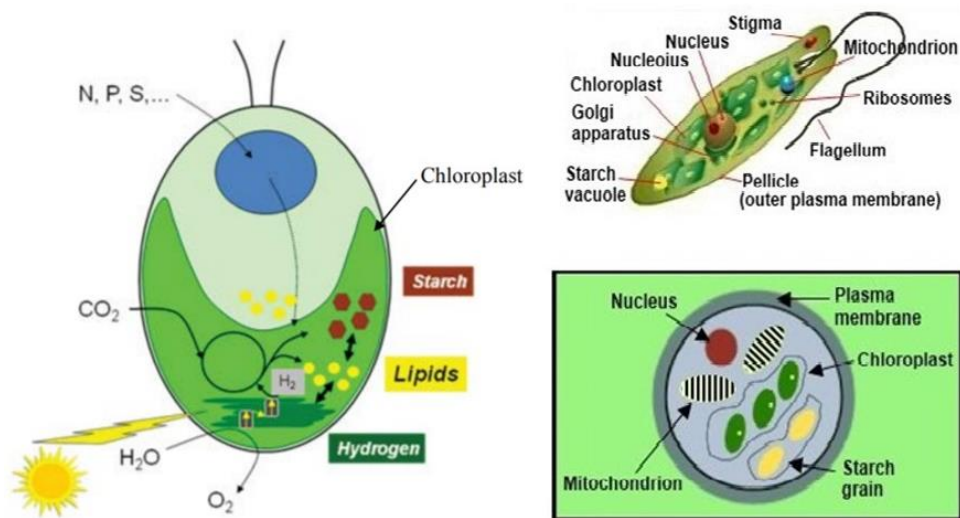
Mikroalga air laut umumnya rentan terhadap perubahan salinitas pada medium. *Dunaliella salina* dan *Spirulina platensis* adalah contoh mikroalga yang dapat tumbuh subur pada salinitas yang tinggi (Graneli dan Salomon, 2010). Kong dkk. (2010) melakukan penelitian transfer masa CO<sub>2</sub> dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan mikroalga. Didapat hasil bahwa semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> (> 33% dari komposisi udara normal), laju pertumbuhan mikroalga menjadi terhambat.

### 2.3.3 Fotosintesis mikroalga

Mikroalga memiliki kemampuan fotosintesis seperti pada tumbuhan. Reaksi umum fotosintesis mikroalga dapat dilihat pada persamaan berikut (Manoz dkk., 2015):

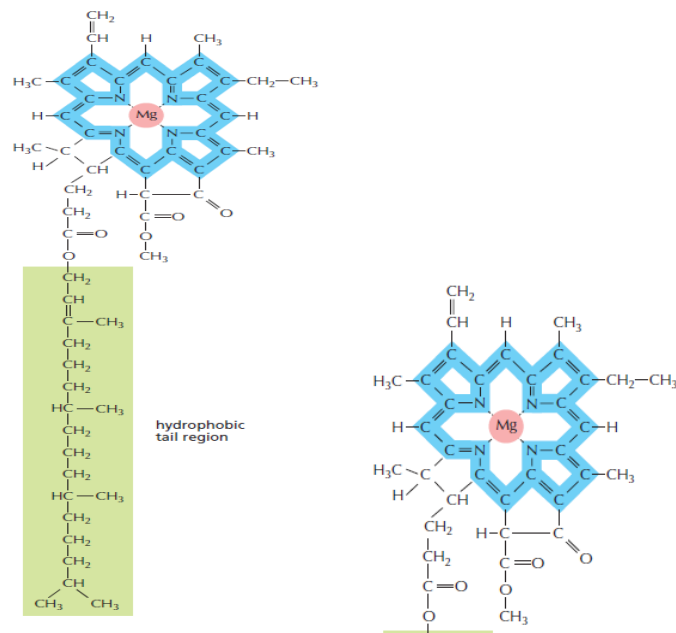


CO<sub>2</sub> sebagai sumber karbon akan diserap masuk ke dalam sel mikroalga melalui proses reaksi gelap fotosintesis. Dengan bantuan fotolisis air pada reaksi terang, elektron-elektron akan menyumbang energi bagi pembentukan glukosa di akhir proses fotosintesis. Ilustrasi alur proses fotosintesis dalam sel mikroalga ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Gambaran umum proses fotosintesis mikroalga  
(Hattab dan Ghaly, 2015)

Salah satu komponen yang berperan penting dalam proses fotosintesis adalah membran tilakoid dalam kloroplas. Terdapat klorofil yang merupakan pigmen dalam kloroplas yang membantu konversi energi matahari menjadi energi kimia yang digunakan pada proses fotosintesis oleh sel mikroalga. Struktur pigmen klorofil (Gambar 2.2) menunjukkan adanya peran penting unsur magnesium (Mg) untuk pembentukan pigmen klorofil agar dapat berperan secara optimum (Alberts, 2016).



**Gambar 2.2** Struktur umum pigmen klorofil (Alberts, 2016)

Kation magnesium ( $Mg^{2+}$ ) merupakan molekul inti pembentuk klorofil. Penelitian Datu dkk. (2013) menyatakan dengan penambahan  $Mg^{2+}$  sebesar 0,4 ppm pada kultur mikroalga *Chlorella vulgaris* meningkatkan pertumbuhan dan produksi lipid untuk biodiesel. Ion magnesium dalam bentuk garam  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  yang ditambahkan ke dalam medium pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus sp.* juga berperan meningkatkan komposisi lipid total pada konsentrasi 0,1 ppm (Astuti dkk., 2011).

#### 2.3.4 Jenis-jenis mikroalga potensial untuk purifikasi biogas

Beberapa penelitian potensi mikroalga sebagai agen purifikasi biogas telah dilakukan. Jenis-jenis mikroalga yang dapat digunakan harus memiliki beberapa karakteristik berikut: mampu hidup dalam konsentrasi  $CO_2$  dan  $H_2S$  yang tinggi, mampu hidup pada kondisi medium sangat basa, serta memiliki laju pertumbuhan yang relatif singkat (Franco-Morgado dkk., 2017). Tabel 2.4 menunjukkan jenis-jenis mikroalga yang potensial digunakan dalam proses purifikasi biogas.



**Tabel 2.4** Jenis-jenis mikroalga potensial untuk purifikasi biogas

Jenis mikroalga	Parameter yang dikaji			
	Manfaat/kegunaan	Profil pertumbuhan	Kemampuan penyerapan CO <sub>2</sub>	Potensi tumbuh dalam limbah biogas
<i>Arthrospira sp.</i>	Pengolahan limbah, produksi biohidrogen, pupuk kaya N	$\mu = 0,40$ /hari	Toleransi terhadap CO <sub>2</sub> tinggi	Kemurnian CH <sub>4</sub> mencapai 82%
<i>Chlamydomonas sp.<sup>c</sup></i>	Pengolahan limbah, absorpsi logam berat Cu, produksi biodiesel	$\mu = 0,285$ /hari	bertahan pada konsentrasi CO <sub>2</sub> 15%	Menurunkan kadar COD hingga 56%
<i>Chroocolla sp.<sup>b,f</sup></i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan pada pemurnian air limbah pabrik</li> <li>• Penghasil metabolit canthaxantin sebagai perwarna</li> <li>• Pakan budidaya peternakan ikan, pangan</li> <li>• Produksi biogas karena kandungan organik mikroalga tinggi</li> </ul>	$\mu = 0,311$ /hari	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi uptake CO<sub>2</sub> hingga 50 %</li> <li>• Bertahan pada konsentrasi CO<sub>2</sub> 15%</li> <li>• Toleransi terhadap CO<sub>2</sub> tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat tumbuh pada medium dengan biogas (pertumbuhan 5x lebih tinggi)</li> <li>• Kemurnian CH<sub>4</sub> bisa dicapai 97,07-100%</li> </ul>
<i>Halospirulina sp.<sup>a</sup></i>	Produksi biogas		Penyerapan 94% CO <sub>2</sub> pada kultur konsorsium dengan <i>Picochlorum sp</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toleransi terhadap alkalinitas tinggi</li> <li>• 99,05% H<sub>2</sub>S dihilangkan pada kultur konsorsium dengan <i>Picochlorum sp.</i></li> </ul>

<i>Nannochloris sp.</i> <sup>d</sup>	Potensi untuk produksi biodiesel		Menurunkan 3% dari kadar CO <sub>2</sub> awal	Dapat menangkap CO <sub>2</sub> dari biogas
<i>Picochlorum sp.</i> <sup>a</sup>	Produksi biogas, pengolahan air limbah	$\mu = 0,50$ /hari	Penyerapan 94% CO <sub>2</sub> pada kultur konsorsium dengan <i>Halospirulina sp.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toleransi terhadap alkalinitas tinggi</li> <li>• 99,05% H<sub>2</sub>S dihilangkan pada kultur konsorsium dengan <i>Halospirulina sp</i></li> </ul>
<i>Scenedesmus sp.</i> <sup>f</sup>	Penghasil zat lutein yang bermanfaat sebagai antioksidan	Pertumbuhan yang lebih besar pada <i>slurry</i> dibanding medium standar	kemampuan uptake CO <sub>2</sub> mencapai 80%	mampu menangkap CO <sub>2</sub> dalam biometana
<i>Spirulina sp.</i> <sup>e</sup>	Produksi biogas; sumber pangan	$\mu = 0,40$ /hari	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toleransi terhadap CO<sub>2</sub> tinggi</li> <li>• Efisiensi uptake CO<sub>2</sub> 86%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemurnian CH<sub>4</sub> bisa dicapai 74%</li> <li>• Penurunan CO<sub>2</sub> sampai 90%, H<sub>2</sub>S 100% pada konsorsium dengan bakteri</li> </ul>

<sup>a</sup>Franco-Morgado dkk., 2017; <sup>b</sup>Hadiyanto dan Azim, 2012; <sup>c</sup>Hamzan dkk, 2018; <sup>d</sup>Meier dkk., 2015, <sup>e</sup>Ramanan dkk., 2010; <sup>f</sup>Ramaraj dan Dussadee, 2014

## **2.4 Teknologi bioproses mikroalga untuk purifikasi biometana**

Tujuan utama purifikasi biometana adalah untuk meningkatkan nilai kalori pada produk biogas dan untuk mengurangi peluang kerusakan pada alat-alat proses hilir karena pembentukan senyawa berbahaya. Dengan menggunakan teknologi bioproses mikroalga, kontak langsung antara biogas dan kultur mikroalga seringkali menghadapi kendala karena adanya desorpsi oksigen ke fase gas.

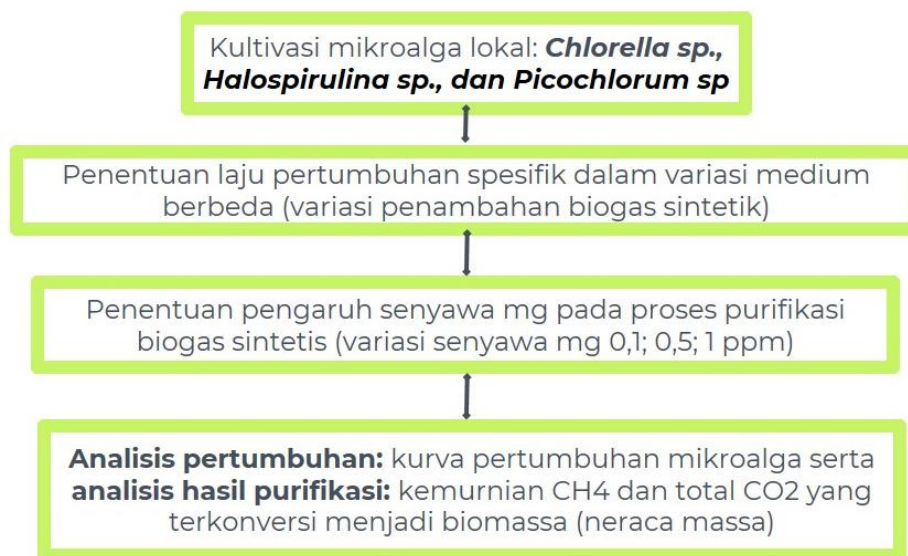
Dengan demikian, dikembangkan proses dua tahap (*two-stage-processes*) yang menggunakan fotobioreaktor yang disambungkan dengan unit transfer gas/cairan. Metode ini bertujuan untuk mengeluarkan CO<sub>2</sub> dari biogas dan menjaga level oksigen tetap rendah dalam proses purifikasi biogas oleh mikroalga. Kondisi alkali/basa akan meningkatkan kemampuan absorpsi CO<sub>2</sub> dari biogas dan dapat mengoptimasi pertumbuhan komunitas mikroalga pada fotobioreaktor terbuka. (Meier dkk., 2015).

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram alir metode kerja

Untuk menentukan kemampuan mikroalga dalam proses purifikasi biogas, beberapa tahapan penelitian akan dilakukan. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir metode kerja penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram alir metode kerja penelitian

#### 3.2 Tahapan penelitian

##### 3.2.1 Penentuan kinetika pertumbuhan mikroalga pada kultur murni maupun konsorsium

Mikroalga jenis *Chlorella sp.*, *Halospirulina sp.*, dan *Picochlorum sp.* diambil dari Balai Besar Budidaya Air Payau. Mikroalga ditumbuhkan dalam medium f/2 dengan penambahan biogas sintetik pada variasi komposisi CO<sub>2</sub> (5%, 15%, 30%). Kondisi tumbuh mikroalga meliputi pH 7-8, suhu ruang (25-26°C), rasio pencahayaan 12:12. Periode pertumbuhan selama 14 hari dengan pengambilan sampel setiap 24 jam. Profil pertumbuhan yang ditentukan adalah laju pertumbuhan spesifik pada kultur murni dan kultur konsorsium dengan

mengukur OD menggunakan metode spektrofotometri. Kurva pertumbuhan ditentukan untuk mengetahui variasi kultur dengan laju pertumbuhan tertinggi.

### 3.2.2 Penambahan senyawa prekursor $Mg^{2+}$ pada proses purifikasi biogas sintetik

Kultur yang menunjukkan profil terbaik pada variasi konsentrasi biogas sintetik ditambahkan senyawa  $Mg^{2+}$  (0,1; 0,5; 1 ppm) untuk melihat pengaruhnya terhadap peningkatan pertumbuhan dan purifikasi biogas oleh mikroalga. Kadar awal dan akhir biogas ditentukan.

### 3.2.3 Analisis produk

Total biomassa mikroalga dianalisis dengan menggunakan pengukuran berat kering dan densitas sel (OD) pada spektrofotometer. Kadar biogas awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan metode *gas chromatography* (GC).

## 3.3 Interpretasi data

Untuk menentukan biomassa tumbuhan, data berat kering atau OD diinterpretasikan dalam kurva pertumbuhan mikroorganisme dengan asumsi kondisi kultur tunak/ *batch*. Persamaan matematis untuk menentukan laju pertumbuhan spesifik ( $\mu$ ) dan waktu penggandaan (*doubling time*) adalah sebagai berikut:

$$dX/(dt) = \mu X;$$

maka

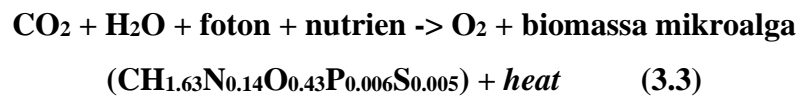
$$\mu = \ln [X - \ln X_0] / t \quad (3.1)$$

dengan  $\mu$  adalah laju pertumbuhan spesifik mikroalga., X dan  $X_0$  adalah biomassa kering mikroalga pada waktu t dan t = 0.

Untuk menentukan waktu penggandaan (*doubling time*) biomassa mikroalga digunakan persamaan:

$$\mathbf{waktu\ penggandaan\ (dt) = \ln\ 2/\mu} \quad (3.2)$$

Untuk menentukan konversi CO<sub>2</sub> menjadi biomassa mikroalga, ditentukan neraca massa menggunakan persamaan:



Persentase konversi CO<sub>2</sub> juga dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\mathbf{\% \ konversi\ CO_2 = (CO_2\ awal - CO_2\ akhir)/(CO_2\ awal) \times 100\%} \quad (3.4)$$

Kemudian, ditentukan kadar kemurnian biometana hasil purifikasi menggunakan mikroalga dengan menentukan kadar CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S awal dan akhir. Persentase kemurnian ditentukan dengan persamaan:

$$\mathbf{\% \ kemurnian\ CH_4 = (CH_4)/((CH_4 + CO_2 + H_2S)) \times 100\%} \quad (3.5)$$

## BAB IV

### RENCANA KERJA PENELITIAN

No.	Kegiatan	Bulan ke-																																							
		1				2				3				4				5				6				7				8				9				10			
1	Pembelian alat dan bahan penelitian	█	█	█	█																																				
2	Penentuan kinetika pertumbuhan mikroalga dengan penambahan biogas sintetik					█	█	█	█	█	█	█	█									█	█	█	█	█	█	█	█												
3	Subkultur mikroalga							█									█								█																
4	Penambahan senyawa prekursor Mg <sup>2+</sup> pada proses purifikasi biogas sintetik									█	█	█	█	█	█	█	█									█	█	█	█	█	█	█	█								
5	Analisis produk											█														█								█							
6	Pengolahan data																																								
7	Pembuatan laporan penelitian																													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

**BAB V**  
**ANGGARAN**

<b>Alat dan Bahan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga Satuan</b>	<b>Harga Total</b>
<i>Bahan-bahan utama</i>			
Kultur murni	3 kg	Rp 150.000,00	Rp 450.000,00
Gas CO <sub>2</sub> murni	1 kg	Rp 45.000,00	Rp 45.000,00
Aquades	100 L	Rp 5.000,00	Rp 500.000,00
MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	9 gr	Rp 2.000,00	Rp 18.000,00
Medium f/2	2 L	Rp 450.000,00	Rp 900.000,00
Biogas sintetik	1 kg	Rp 90.000,00	Rp 90.000,00
Lampu LED	3 buah	Rp 34.000,00	Rp 102.000,00
<i>Bahan-bahan lain</i>			
Tips 1000 uL	200 buah	Rp 1.000,00	Rp 2.000,00
Tips 200 uL	200 buah	Rp 1.000,00	Rp 2.000,00
Mikrotube	100 buah	Rp 1.000,00	Rp 1.000,00
Kuvet	100 buah	Rp 3.000,00	Rp 3.000,00
Sarung tangan	1 pak	Rp 65.000,00	Rp 65.000,00
Tissue	3 pak	Rp 25.000,00	Rp 75.000,00
Masker	1 pak	Rp 22.000,00	Rp 22.000,00
Kertas whatmann no.1	100 buah	Rp 1.000,00	Rp 100.000,00
<i>Kebutuhan lainnya</i>			
Jasa transportasi sampel	2	Rp 250.000,00	Rp 500.000,00
Kebersihan alat	1 paket	Rp 200.000,00	Rp 200.000,00
Uji sampel GC	10	Rp 250.000,00	Rp 2.500.000,00
Publikasi	1	Rp 200.000,00	Rp 200.000,00
Pembuatan laporan	1	Rp 500.000,00	Rp 500.000,00
		<b>TOTAL</b>	<b>Rp 6.275.000,00</b>



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Y., Yaakob, Z., Akhtar, P., dan Sopian, K. (2015). "*Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME)*." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42(2015) 1260–1278
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., dan Walter, P. 2016. *Molecular Biology of The Cell: Sixth Edition*. New York, US: Garland Science- Taylor Francis Group
- Astuti, J.T., Sriwuryandari, L. dan Sembiring, T. (2011). "*Pengaruh Penambahan Mg<sup>2+</sup> terhadap Produktivitas dan Komposisi Asam Lemak Mikroalga Scenedesmus sebagai Bahan Biodiesel*". *Jurnal Riset Industri* Vol. V, No.3, 2011, Hal 265-274
- Batten, D., Peter C., Greg T. (2011). "*Resource Potential of Algae for Sustainable Biodiesel Production in the APEC*". Presentation at APEC Workshop on Algal Biofuels San Francisco <http://www.egnret.ewg.apec.org/workshops/AlgalBiofuels/David%20Batten.pdf>
- Choong, Y.Y., Chou, K.W., dan Norli, I. (2017). "*Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review*". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.036>
- Datu, A. M., Karya, I., Zakir, M. (2013). "*Pengaruh Penambahan Ion Mg<sup>2+</sup> Terhadap Kandungan Lipid Mikroalga Chlorella vulgaris Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel dengan Metode Ultrasonik*". Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Hasanuddin
- Franco-Morgado, M., Alcantara, C., Noyola, A., Munoz, R., dan Gonzalez-Sanchez, A. (2017). "*A study of photosynthetic biogas upgrading based on a high rate algal pond under alkaline conditions: Influence of the illumination regime*". *Science of the Total Environment* 592 (2017) 419–425
- Graneli, Enda. dan Salomon, P.S. (2010). "*Factor Influenceing Allelopathy And Toxicity in Prymnesium parvum*". *Journal of The American Water Resources Association*. (46) 1
- Hadiyanto dan Azim, A. 2012. *Mikroalga: Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. Semarang: UPT UNDIP Press. ISBN: 978-602-097-298-3

- Hamzan, N.A.S., Yasin, N.H.M., Takriff, M.S., Hasan, H.A., Kamarudin, K.F., dan Hakimi, N.I. (2018). "*Integrated Palm Oil Mill Effluent Treatment and CO<sub>2</sub> Sequestration by Microalgae*". *Sains Malaysiana* 47(7)(2018): 1455–1464
- Hattab, M.A dan Ghaly, A. (2015). "*Microalgae Oil Extraction Pretreatment Methods: Critical Review and Comparative Analysis*". *J Fundam Renewable Energy Appl* 5:172. doi: 10.4172/20904541.1000172
- Jeon, M.W., Ali, M.B., Hahn, E.J., dan Paek, K.Y. (2005). "*Effect of photon flux density on the morphology, photosynthesis, and growth of a CAM orchid, Doritaenopsis during postmicropropagation acclimatization*". *Plant Growth Regul* (45) 139–147
- Kong, QX, Li, L., Martinez, B., Chen, P., and Ruan, R. (2010). "*Culture of Microalgae Chlamydomonas reinhardtii in Wastewater for Biomass Feedstock Production*". *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 160, 9-18
- Meier, L., Perez, R., Azocar, L., Rivas, M., dan Jeison, D. (2015). "Photosynthetic CO<sub>2</sub> uptake by microalgae: An attractive tool for biogas upgrading". *biomass and bioenergy* 73 (2015) 102-109
- Munoz, R., Meier, L., Diaz, I., dan Jeison, D. (2015). "*A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading*". *Rev Environ Sci Biotechnol* (2015) 14:727–759. DOI 10.1007/s11157-015-9379
- Ohimain, E.I. dan Izah, S.C. (2017). "*A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors*". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70 (2017) 242–253
- Ramanan, R., Kannan, K., Deskhar, A., Yadav, R., dan Chakrabarti, T. (2010). "*Enhanced algal CO<sub>2</sub> sequestration through calcite deposition by Chlorella sp. and Spirulina platensis in a mini-raceway pond*". *Bioresource Technology* 101 (2010) 2616–2622
- Ramaraj, R. dan Dussandee, N. (2015). "*Biological purification processes for biogas using algae cultures: A review*". *International Journal of Sustainable and Green Energy* 2015; 4(1-1): 20-32
- Susanto, J.P., Santoso, A.D., dan Suwedi, D.N. (2017). "*Perhitungan Potensi Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Sumber Energi Terbaharukan dengan Metode LCA*". *Jurnal Teknologi Lingkungan* Vol. 18, No 2, Juli 2017, 165-172

Van Harmelen, T. and Oonk, H. (2006). "*Micro-algae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to Greenhouse Gas Mitigation Options*". <http://www.fluxfarm.com/uploads/3/1/6/8/3168871/biofixation.pdf>

Zain, M.M. dan Mohamed, A.R. (2018). "*An overview on conversion technologies to produce value added products from CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> as major biogas constituents*". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 98 (2018) 56–63

Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Pertumbuhan Mikroalga Pada Medium Limbah Sawit