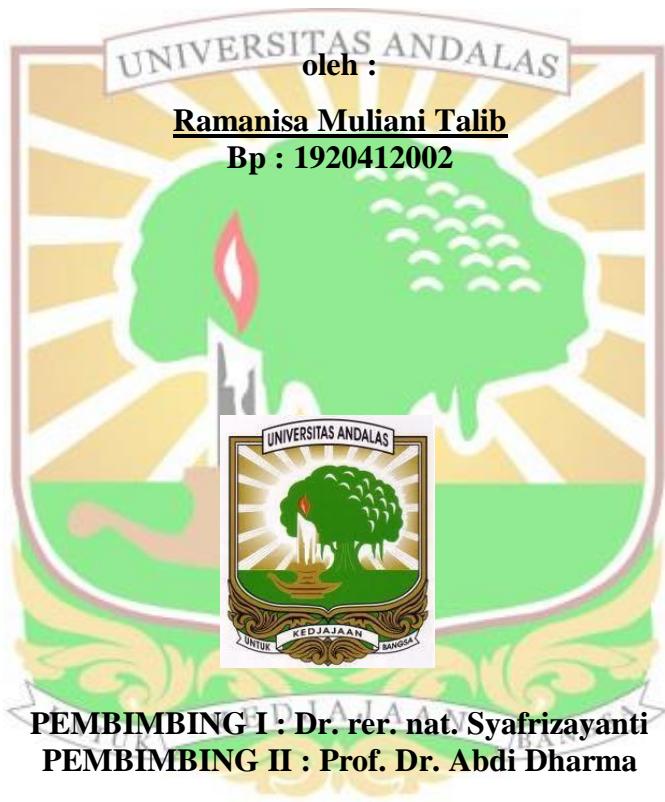


**PENGARUH GAS PEMBAKARAN BATUBARA TERHADAP
PERTUMBUHAN, KANDUNGAN LIPID DAN KAROTENOID TOTAL
SERTA PROFIL ASAM LEMAK *Chlorella emersonii***

TESIS



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2022**

**PENGARUH GAS PEMBAKARAN BATUBARA TERHADAP
PERTUMBUHAN, KANDUNGAN LIPID DAN KAROTENOID TOTAL
SERTA PROFIL ASAM LEMAK *Chlorella emersonii***

oleh :

Ramanisa Muliani Talib
Bp : 1920412002



**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Magister pada Program Studi**

**Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Andalas**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2022**

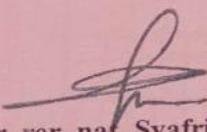
HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Tesis : Pengaruh Gas Pembakaran Batubara Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Lipid dan Karotenoid Total serta Profil Asam Lemak *Chlorella emersonii*
 Nama Mahasiswa : Ramanisa Muliani Talib
 Nomor BP : 1920412002
 Program Studi : Magister Kimia

Tesis ini telah diuji dan dipertahankan dihadapan Panitia Sidang Ujian Akhir Mahasiswa Program Studi Magister (S2) Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas dan dinyatakan lulus pada tanggal 06 Januari 2022.

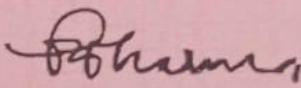
Menyetujui :

Pembimbing I



Dr. rer. nat. Syafrizayanti
NIP. 1977120192006042001

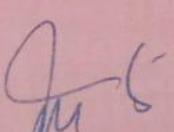
Pembimbing II



Prof. Dr. Abdi Dharma
NIP. 195011071983031001

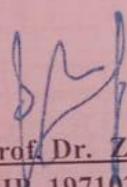
Mengetahui :

Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mai Efdi
NIP. 197205301999031003

**Ketua Program Studi
Magister Kimia**



Prof. Dr. Zulhadjri, M. Eng
NIP. 197102051997021001

HALAMAN PENGHARGAAN

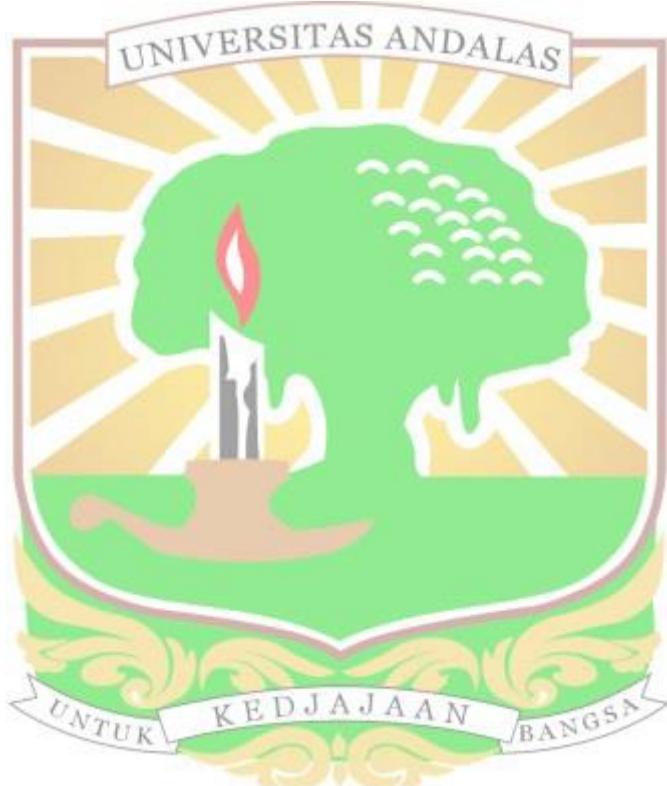
Dan perumpamaan-perumpamaan ini

Kami buat untuk manusia, dan tiada

Yang memahaminya kecuali orang-orang

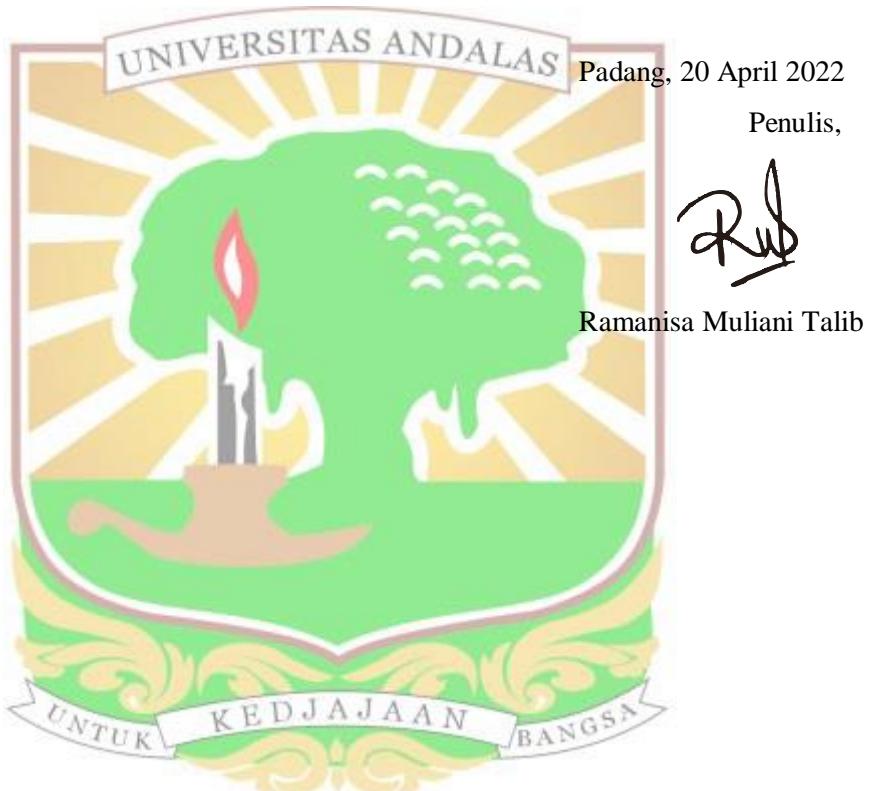
Yang berilmu

(Al qur'an surat Al-An'kaabut ayat 43)



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 20 Agustus 1996 di Lubuk Alung, sebagai anak pertama dari Bapak Abdul Mutalib, S.E dan Ibu Dra. Marleli. Penulis menamatkan SD di SDN 08 Lubuk Alung pada tahun 2008, SMP di SMPN 4 Lubuk Alung pada tahun 2011, dan SMA di SMAN 1 Lubuk Alung pada tahun 2014. Penulis memperoleh gelar Sarjana Kimia pada tahun 2018 di Universitas Andalas dan memperoleh gelar Magister Kimia pada tahun 2021 di Universitas Andalas.



HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya Ramanisa Muliani Talib yang beralamat di Singguling I, Kec. Lubuk Alung, Provinsi Sumatera Barat menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam penulisan naskah ini dan dilampirkan dalam daftar pustaka.



**Pengaruh Gas Pembakaran Batubara Terhadap Pertumbuhan,
Kandungan Lipid dan Karotenoid Total
serta Profil Asam Lemak *Chlorella emersonii***

Oleh: Ramanisa Muliani Talib (1920412002)

(Dibawah Bimbingan : Dr. rer. nat. Syafrizayanti dan Prof. Dr. Abdi Dharma)

Intisari

Karbondioksida (CO_2) pembakaran batubara merupakan salah satu penyebab emisi gas rumah kaca. Mitigasi emisi gas CO_2 dapat dilakukan secara kimiawi dan biologis. Salah satu cara biologis adalah menggunakan mikroalga seperti *Chlorella, s.p.* Mikroalga adalah mikroorganisme yang mampu melakukan fiksasi CO_2 melalui fotosintesis dan menghasilkan produksi metabolit tertentu yang tinggi. Mikroalga jenis *Chlorella* merupakan strain yang tahan terhadap CO_2 yang tinggi dan berpotensi menghasilkan lipid total, karotenoid serta asam lemak yang bisa digunakan untuk biodiesel. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh CO_2 (konsentrasi 0, 0,8%, 1,5% dan 2,3%) terhadap pertumbuhan, kandungan lipid total, karotenoid, profil asam lemak dari mikroalga *C. emersonii*. Pertumbuhan mikroalga ditentukan dengan cara mengukur kerapatan sel menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada 680 nm. Lipid total ditentukan secara gravimetri sedangkan karotenoid total ditentukan secara spektrofotometer. Profil asam lemak ditentukan dengan GC-MS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi 2,3% CO_2 hasil pembakaran batubara mampu mempengaruhi peningkatan biomassa, lipid total dan karotenoid serta menghasilkan asam lemak yg tinggi. Biomassa kering mikroalga yang ditumbuhkan pada 2,3% CO_2 diperoleh sebesar 706,4 mg/L atau terjadi peningkatan 40% dari kontrol. Produktifitas lipid total diperoleh 8,6 mg/L atau terjadi peningkatan sebesar 0,3% dan total karotenoid sebesar 11,6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ atau terjadi peningkatan sebesar 52%. Konstituen asam lemak terbanyak berupa C16:0 (16,62%) dan C18:3 (8,58%). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa mikroalga *C. emersonii* mampu menyerap CO_2 dengan baik serta menghasilkan kandungan lipid total, karotenoid serta asam lemak yang bagus berpotensi sebagai biodiesel.

Kata Kunci: *Chlorella emersonii*, CO_2 , lipid total, asam lemak, karotenoid

**The Effect of Coal Combustion Gas on Growth,
Lipid Content and Total Carotenoid and
The Fatty Acid Profile of *Chlorella emersonii***

By: Ramanisa Muliani Talib (1920412002)

(Supervised : Dr. rer. nat. Syafrizayanti dan Prof. Dr. Abdi Dharma)

Abstract

Carbon dioxide (CO_2) burning coal is one of the causes of greenhouse gas emissions. CO_2 emission mitigation can be done chemically and biologically. One of the biological methods is to use microalgae such as *Chlorella*, s.p. Microalgae are microorganisms that are able to fix CO_2 through photosynthesis and produce high production of certain metabolites. *Chlorella* microalgae is a strain that is resistant to high CO_2 and has the potential to produce total lipids, carotenoids and fatty acids that can be used for biodiesel. This study was conducted to determine the effect of CO_2 (concentrations 0, 0.8%, 1.5% and 2.3%) on growth, total lipid content, carotenoids, and fatty acid profile of the microalgae *C. emersonii*.

Microalgae growth was determined by measuring cell density using a UV-Vis spectrophotometer at 680 nm. Total lipids were determined gravimetrically while total carotenoids were determined spectrophotometrically. The fatty acid profile was determined by GC-MS. The results showed that the concentration of 2.3% CO_2 from coal combustion was able to affect the increase in biomass, total lipids and carotenoids and produce high fatty acids. Microalgae dry biomass grown at 2.3% CO_2 was 706.4 mg/L or an increase of 40% from the control. Total lipid productivity was obtained by 8.6 mg/L or an increase of 0.3% and total carotenoids by 11.6 g/mL or an increase of 52%. The most fatty acid constituents were C16:0 (16.62%) and C18:3 (8.58%). In this study, it was shown that the microalgae *C. emersonii* was able to absorb CO_2 well and produced a good total lipid content, carotenoids and fatty acids which have the potential as biodiesel.

Kata Kunci: *Chlorella emersonii*, CO_2 , total lipids, fattyacids, carotenoid

KATA PENGANTAR

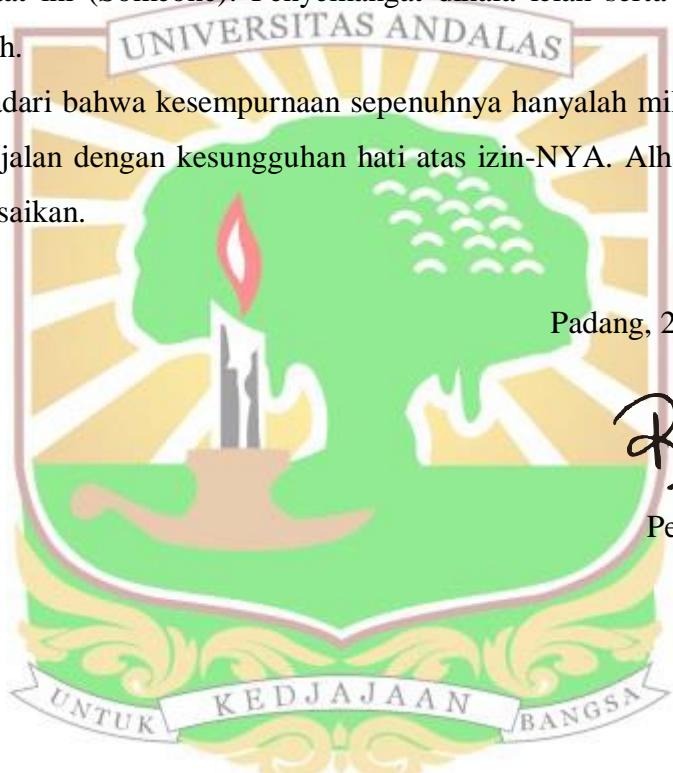
Dengan syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan judul “Pengaruh Gas pembakaran Batubara Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Lipid dan Karotenoid Total serta Profil Asam Lemak *Chlorella emersonii*” dengan kerendahan hati serta penulisan yang baik dan benar. Dalam penyusunan tesis ini penulis telah banyak mendapat bimbingan, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih serta penelitian ini dedikasikan kepada :

1. Bapak Ibu dosen pembimbing, Ibu Dr. rer. nat. Syafrizayanti (Pembimbing I) dan Bapak Prof. Dr. Abdi Dharma (Pembimbing II) dengan sabar dan keikhlasan telah membimbing serta meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan bantuan kepada penulis.
2. Bapak Ibu dosen Penguji Bapak Prof. Dr. Zulkarnain Chadir, Bapak Prof. Dr. Adlis Santoni serta Ibu Prof. Dr. Sumaryati Syukur yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Zulhadjri, M. Eng selaku Ketua Kaprodi Program Studi S2 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, Bapak Dr. Mei Efdi selaku Ketua Jurusan dan Ibu Dr. Eng Yulia Eka Putri, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia Universitas Andalas, terima kasih sudah memberikan banyak bantuan dan arahannya selama masa studi.
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, terima kasih atas kesabarannya dalam mendidik setiap Mahasiswa, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang dilakukan.
5. Seluruh Bapak/Ibu staff Jurusan Kimia FMIPA Univeristas Andalas yang membantu demi kelancaran setiap proses administrasi di jurusan selama proses perkuliahan.

6. Kedua orang tua, Ayah Abdul Mutalib, S.E dan Bunda Dra. Marleli beserta keluarga besar lainnya, yang telah memberikan dukungan, semangat serta doa yang tulus kepada penulis selama masa studi berlangsung.
7. Rekan Kerja Penelitian (Kak Rahmatika Yani, M.Si dan Kak Eva Musifa, M.Si), serta kakak, abang, dan teman-teman laboratorium Biokimia Universitas Andalas yang senantiasa memberikan dukungan dalam bentuk apapun sehingga penulis selalu semangat menyelesaikan tesis ini.
8. Sahabat dikala suka dan duka, konco F.A, *roomate* (Kak Dini), dan sahabat spesial disaat ini (Someone). Penyemangat dikala lelah serta penghibur hati yang gundah.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan sepenuhnya hanyalah milik Allah SWT, kita hanya berjalan dengan kesungguhan hati atas izin-NYA. Alhamdulillah satu persatu terselesaikan.



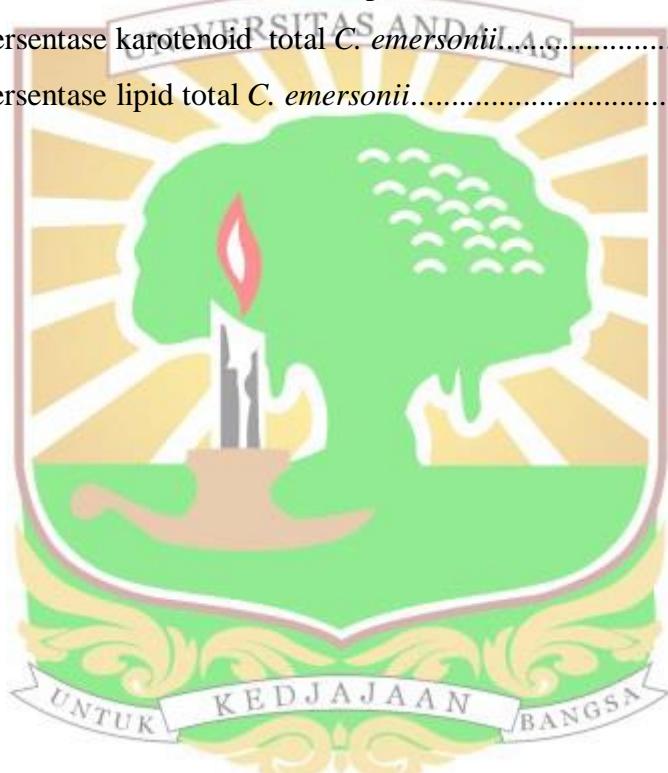
DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGHARGAAN	ii
RIWAYAT HIDUP	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
INTISARI	v
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Fiksasi CO ₂ pada Mikroalga	4
2.2 Strain Mikroalga yang Tahan CO ₂	4
2.3 Mikroalga dengan Lipid Tertinggi	6
2.4 Biosintesis Lipid Mikroalga	7
2.5 Karotenoid Mikroalga	9
BAB III. METODA KERJA	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.2.1 Alat	13

3.2.2 Bahan	13
3.3 Prosedur kerja	13
3.3.1 Pengamatan morfologi dan Inokulasi <i>C. emersonii</i>	13
3.3.2 Produksi dan Penyimpanan CO ₂ Pembakaran Batubara	13
3.3.3 Penentuan Konsentrasi Gas CO ₂ Asap Pembakaran Batubara	14
3.3.4 Laju Pertumbuhan Mikroalga.....	14
3.3.5 Penentuan Karotenoid Total.....	15
3.3.6 Penentuan Lipid Total.....	15
3.3.7 Analisis Profil Asam Lemak menggunakan GC-MS.....	16
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Mikroalga <i>C. emersonii</i>	17
4.2 Kosentrasi Gas CO ₂ Pembakaran Batubara	18
4.3 Laju Pertumbuhan Mikroalga dengan Variasi CO ₂	19
4.4 Kandungan Karotenoid Total.....	21
4.5 Kandungan Lipid Total dan Profil Asam Lemak Mikroalga	23
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran.....	29
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN	36

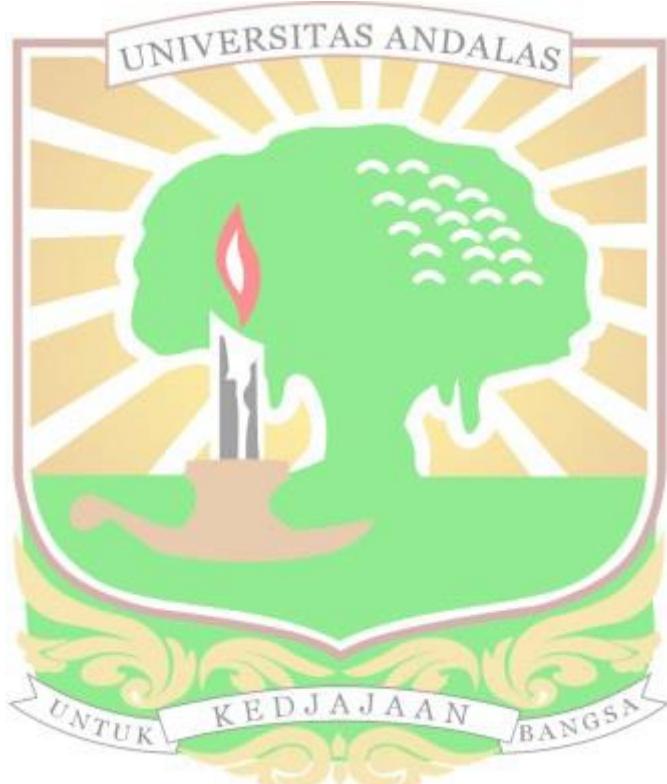
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jalur sintesis lipid mikroalga.....	8
Gambar 2.2. Jalur sintesis asam lemak.....	9
Gambar 2.3 Jalur sintesis karotenoid dalam mikroalga.....	11
Gambar 3.1. Rancangan alat penelitian.....	14
Gambar 4.1 Bentuk sel mikroalga <i>C. emersonii</i> hasil mikroskopik.....	17
Gambar 4.2 Kurva pertumbuhan mikroalga <i>C. emersonii</i>	19
Gambar 4.3 Produktifitas biomassa terhadap variasi CO ₂	20
Gambar 4.4 Persentase karotenoid total <i>C. emersonii</i>	22
Gambar 4.4 Persentase lipid total <i>C. emersonii</i>	24



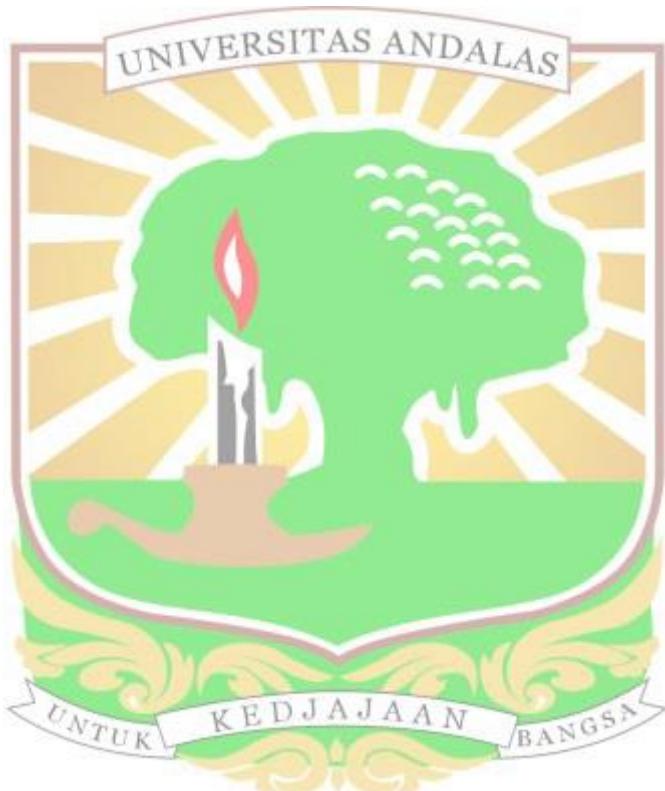
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penyerapan CO ₂ dan produktifitas biomassa mikroalga.....	5
Tabel 2.2	Kandungan serta produktifitas lipid mikroalga.....	6
Tabel 2.3	Kandungan karotenoid total mikroalga.....	10
Tabel 4.1	Lama pemberian CO ₂ asap pembakaran batubara.....	18
Tabel 4.2	Produktifitas karotenoid total terhadap variasi konsentrasi CO ₂	21
Tabel 4.3	Produktifitas lipid total terhadap variasi konsentrasi CO ₂	23
Tabel 4.4	Perbandingan Profil Asam Lemak <i>Chlorella emersonii</i>	26



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Skema Kerja Mikroalga.....	36
Lampiran II. Komposisi BBM (Bold Bassal Medium).....	39
Lampiran III. Data Penelitian.....	40
Lampiran IV. Gambar Penelitian.....	45



BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Batubara merupakan sumber alternatif yang bisa digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk saat ini. Batubara mampu memenuhi kebutuhan energi baik ditingkat nasional maupun internasional. Penggunaan batubara di Indonesia hingga tahun 2019 sebesar 21,01 ton. Sementara penggunaan batubara didunia hingga tahun 2019 adalah sebesar 1.723,15 ton. Penggunaan batubara yang meningkat setiap tahunnya, menyebabkan emisi gas CO₂. Akibat emisi CO₂ yang dihasilkan menjadikan lingkungan tercemar. *Statistical Review of World Energy* (2019) melaporkan bahwa emisi gas rumah kaca di Indonesia dari tahun ketahun mengalami peningkatan. Jumlah emisi gas CO₂ hingga tahun 2019 mencapai 5.568,1 juta ton. Begitupun total emisi CO₂ dunia hingga tahun 2019 mencapai 357.857,6 juta ton (BP, 2020). Untuk meminimalisir jumlah emisi CO₂ dapat dilakukan dengan strategi mitigasi berbasis pendekatan secara kimia dan biologis. Strategi berbasis kimia tentunya memiliki kelemahan yaitu membutuhkan biaya yang besar. Untuk meminimalisir emisi gas CO₂ strategi biologis merupakan cara yang efisien (Wang *et al.*, 2008). Upaya berkelanjutan yang dapat dilakukan guna untuk menanggani emisi gas rumah kaca adalah dengan menggunakan mikroalga, karena mikroalga membutuhkan gas CO₂ untuk melakukan fotosintesis.

Mikroalga termasuk salah satu mikroorganisme yang mampu melakukan fiksasi karbon karena kemampuan fotosintesis dan reproduksi yang tinggi. Terdapat beberapa strain yang mampu bertahan terhadap konsentrasi CO₂ dengan kemampuan biofiksasi yang beragam. Mikroalga jenis *Chlorella sp.* mampu bertahan pada konsentrasi 30% sedangkan *Scenedemus sp.* dan *Botryococcus braunii* masing-masing bisa bertahan hidup dengan 5% CO₂ murni (Hanagata *et al.*, 1992). Salah satu jenis *Chlorella* yang tahan terhadap konsentrasi CO₂ yang tinggi adalah strains *C. emersonii*. Mikroalga ini mampu bertahan hidup dengan gas limbah industri semen pada konsentrasi 15% karbondioksida (Dineshkumar & Sen, 2020),(Borkenstein *et al.*, 2011).

Proses pemberian CO₂ dapat mempengaruhi jalur biosintesis lipid dan karotenoid pada mikroalga. Konsentrasi CO₂ asap pembakaran batubara mempengaruhi kloroplas menghasilkan 3-fosfoglisrat (3-PGA) setelah melewati siklus calvin terlebih dahulu, kemudian membentuk piruvat. Piruvat merupakan prekusor utama pembentukan lipid dan karotenoid secara bersamaan, sehingga ketika CO₂ mempengaruhi mikroalga maka secara bersamaan jalur dari biosintesis lipid dan karotenoid terbentuk. Mikroalga dikenal sebagai tumbuhan tingkat rendah yang berpotensi sebagai penghasil lipid dan asam lemak yang baik, mikroalga diisolasi dari berbagai perairan, sehingga para peneliti sudah banyak melakukan analisis lipid dan asam lemak (Dineshkumar & Sen, 2020). Pengaruh dari CO₂ asap pembakaran batubara terhadap pertumbuhan, kandungan lipid total serta analisis asam lemak pada mikroalga *C. emersonii* belum dilakukan.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian terkait pengaruh CO₂ asap pembakaran batubara terhadap kandungan lipid, kandungan asam lemak mikroalga *C. emersonii*. Sehingga pada penelitian ini diharapkan nantinya strain *C. emersonii* yang dikultivasi dengan konsentrasi CO₂ maksimum dapat membantu industri batubara dalam mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan, dan juga kandungan lipid dari mikroalga *C. emersonii* nantinya dapat digunakan sebagai sumber biodiesel.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Berapa konsentrasi CO₂ pembakaran batubara untuk pertumbuhan *C. emersonii* ?
2. Berapa kandungan total lipid setelah pemberian CO₂ pembakaran batubara ?
3. Berapa kandungan total karotenoid setelah pemberian CO₂ pembakaran batubara ?
4. Bagaimana pengaruh CO₂ pembakaran batubara terhadap kandungan asam lemak mikroalga *C. emersonii* ?

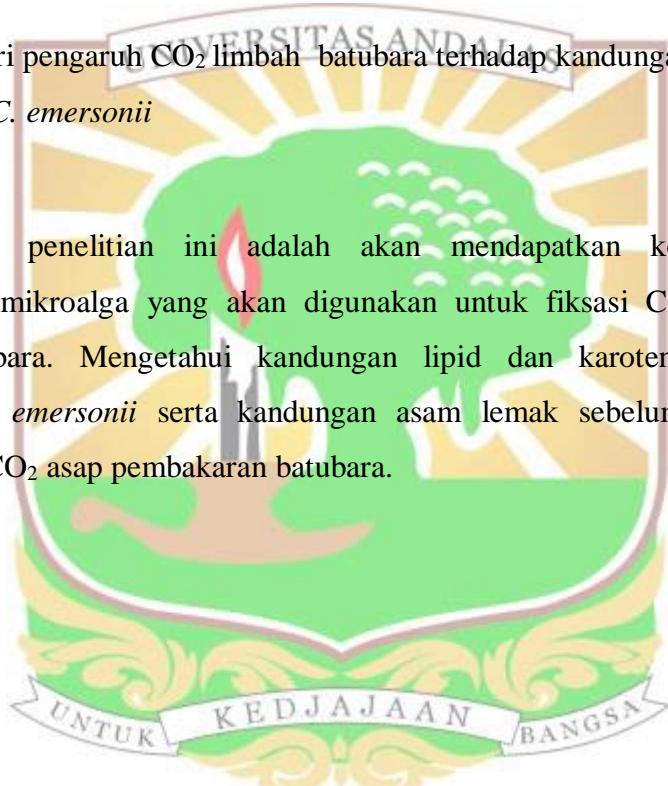
1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitunya :

1. Menentukan konsentrasi CO₂ limbah batubara terhadap pertumbuhan mikroalga *C. emersonii*
2. Menentukan kandungan total lipid sebelum dan sesudah pemberian CO₂ pembakaran batubara
3. Menentukan kandungan total karotenoid sebelum dan sesudah pemberian CO₂ pembakaran batubara
4. Mempelajari pengaruh CO₂ limbah batubara terhadap kandungan asam lemak mikroalga *C. emersonii*

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah akan mendapatkan kondisi optimal pertumbuhan mikroalga yang akan digunakan untuk fiksasi CO₂ dari limbah industri batubara. Mengetahui kandungan lipid dan karotenoid total dari mikroalga *C. emersonii* serta kandungan asam lemak sebelum dan sesudah penambahan CO₂ asap pembakaran batubara.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fiksasi CO₂ pada Mikroalga

Mitigasi CO₂ secara biologis telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena mengarah pada produksi energi biomassa melalui proses fiksasi CO₂ melalui fotosintesis. Strategi mitigasi terhadap emisi CO₂ memiliki banyak keuntungan. Pertama, mikroalga mampu mengalami pertumbuhan yang tinggi serta kemampuan fiksasi CO₂ yang tinggi dibandingkan dengan tumbuhan tingkat tinggi, baik dari pertanian, dan tanaman air. Kedua, mikroalga sepenuhnya dapat menjadi agen bioremediasi CO₂, karena karbon dioksida diubah menjadi energi kimia melalui fotosintesis, yang dapat diubah menjadi bahan bakar menggunakan teknologi yang ada (Wang *et al.*, 2008). Mikroalga dapat menyerap karbon dioksida dari berbagai sumber seperti: (1) CO₂ dari atmosfer, (2) CO₂ dari gas buang industri, (3) CO₂ dalam bentuk larut karbonat (NaHCO₃ dan Na₂CO₃). Gas buang dari pembangkit listrik dihasilkan lebih dari 7% dari total emisi CO₂ didunia dari penggunaan energi sumber lainnya. Selain itu, gas buang industri mengandung hingga 15% CO₂ efisien untuk biofiksasi (Mata *et al.*, 2010). Dengan daya serap CO₂ yang tinggi, menjadikan budidaya mikroalga dapat dikultur dalam skala besar dan juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, sangat menguntungkan jika mikroalga toleran terhadap kadar karbondioksida yang tinggi untuk digunakan sebagai fiksasi dari gas buang.

2.2 Strain Mikroalga yang Tahan CO₂

Terdapat beberapa strain mikroalga yang tahan akan CO₂ (Tabel 2.1) seperti, *Chlorococcum littoralese* jenis alga laut, menunjukkan toleransi luar biasa terhadap CO₂ konsentrasi yang tinggi hingga mencapai 40% (Iwasaki *et al.*, 1998). Strain *Chlorella* dari mata air panas, juga terbukti toleran terhadap konsentrasi 40% CO₂ dan mampu melakukan fiksasi dari gas buang industri(Ríos *et al.*, 2013). Mikroalga *S. obliquus* dan *C.kessleri*, yang diisolasi dari kolam pengolahan limbah pembangkit listrik termoelektrik berbahan bakar batubara Presidente Médici, juga menunjukkan toleransi yang baik terhadap CO₂ tinggi (Alberto & Costa, 2007). *Nannochloropsis salina* toleran terhadap konsentrasi

10–11% CO₂, *Botryococcus brauni* toleran pada konsentrasi 5% CO₂, serta *C. emersonii* dan *Scenedesmus dimorphus* mampu bertahan pada konsentrasi 15% CO₂. Produktifitas biomassa dari beberapa mikroalga beserta Konsentrasi CO₂ (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Penyerapan CO₂ dan produktifitas biomassa mikroalga

Strain Mikroalga	CO ₂ (% V/V)	Photobioreaktor	Produktifitas Biomassa (mgL ⁻¹ d ⁻¹)	Fiksasi CO ₂ (mgL ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Botryococcusbrauni</i>	5	Fermentor	263	496
<i>Chlorella emersonii</i>	15	Airlift column	67	113
<i>Chlorella sorokiniana</i>	4	Airlift reactor	150	251
<i>Chlorella sp.</i> <i>AG10002</i>	5	Bubble column	335	630
<i>Chlorella sp. MTF-15</i>	23-27	Bubble column	197	370
<i>Chlorella varianilis</i>	0.03	Raceway Pond	120	219
<i>Chlorella vulgaris</i>	5	Flat Panel	830	1510
<i>Nannochloropsis salina</i>	10-11	Raceway Pond	32	60
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	15	Bubble column	485	669

Diadaptasi dari : (Dineshkumar & Sen, 2020)
Mikroalga jenis *Chlorella* memiliki ketahanan yang tinggi terhadap CO₂ (0,003 – 27%), dibandingkan dengan mikroalga jenis lainnya seperti *Botryococcusbrauni*, *Nannochloropsis salina*, dan *Scenedesmus dimophus* yang hanya tahan pada konsentrasi CO₂ sebesar (5-15%). Fiksasi CO₂ dari mikroalga sendiri beragam tergantung jenis mikroalga tersebut. Mikroalga jenis *Chlorella* dapat melakukan fiksasi terbanyak sebesar 1.510 mgL⁻¹d⁻¹(Dineshkumar & Sen, 2020).

2.3 Mikroalga dengan Lipid Tertinggi

Dengan menggunakan karbon yang tersimpan, mikroalga dapat menghasilkan berbagai produk minyak termasuk lipid seperti triasilgliserida (TAG) dan struktur lipid lainnya seperti fosfolipid, glikolipid dan sterol (Ferreira *et al.*, 2019). Beberapa jenis mikroalga dapat menghasilkan lipid dari berbagai konsentrasi limbah CO₂ industri (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Kandungan serta produktifitas lipid mikroalga

Mikroalga	Kandungan lipid (% berat biomassa kering)	Produktifitas lipid (gL ⁻¹ d ⁻¹)
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	24,0-31,0	0,09
<i>Botryococcus braunii</i>	25,0-75,0	0,18
<i>Chlorella emersonii</i>	25,0-63,0	0,29
<i>Chlorella salina</i>	25,0-63,0	0,17
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19,0-22,0	0,27
<i>Chlorella vulgaris</i>	5,0-58,0	0,46
<i>Chlorella pyrenedoisa</i>	2,0	2,90-3,64
<i>Dunaliella salina</i> (UTEX)	23-25	0,15
<i>Haematococcus pluvialis</i>	25,0	0,06
<i>Scenedesmus sp.</i>	13,3-31,8	0,10

Diadaptasi dari: (Elhadi Sulieman *et al.*, 2020)

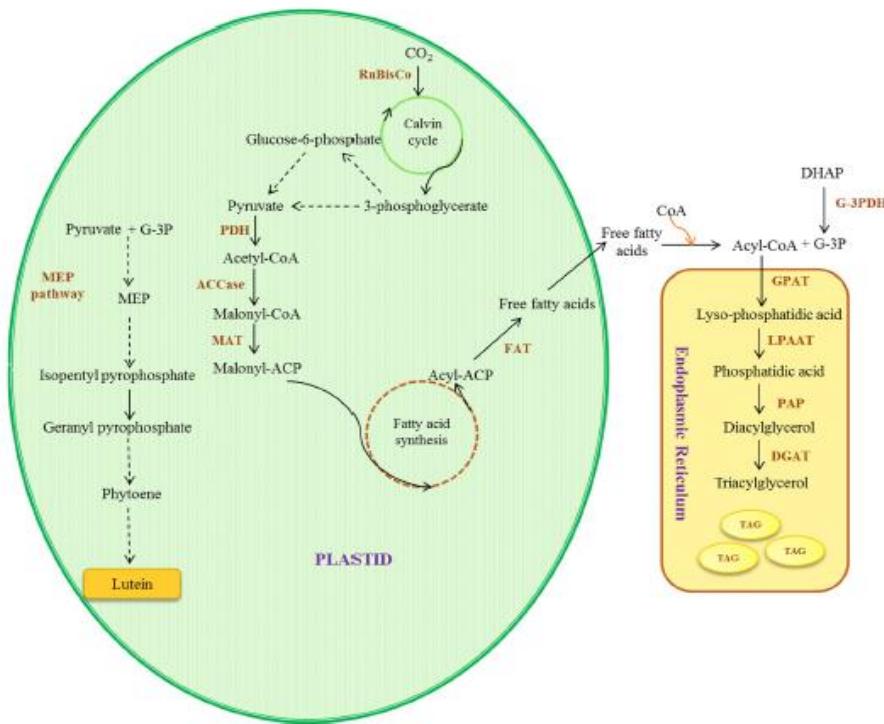
Mikroalga menghasilkan lipid, hidrokarbon, dan minyak kompleks lainnya. Secara umum, banyak spesies alga memiliki kandungan minyak dari 20 hingga 50% berat kering biomassa, dan beberapa diantaranya memiliki kandungan minyak hingga 80%. Minyak yang dihasilkan mikroalga secara signifikan lebih tinggi (100000 L /ha) dibandingkan tumbuhan lain, misalnya kedelai (446 L/ha), bunga matahari (952 L/ha), jarak (1413 L/ha), kelapa (2689 L/ha) dan sawit (5.950 L/ha). Dalam pembuatan biodiesel mikroalga menghasilkan 15-300 kali lebih banyak minyak daripada tumbuhan yang dipanen di lahan dengan menghabiskan lahan per hektar. Mikroalga hanya membutuhkan 23% lahan, jika

dibandingkan perkebunan kelapa sawit yang memerlukan lahan sebanyak 61% lahan (Elhadi Sulieman *et al.*, 2020).

2.4 Biosintesis Lipid Mikroalga

Sintesis lipid (Gambar 2.1) dimulai dari asetyl-KoA diubah menjadi malonil-CoA oleh enzim *asetil-KoA karboksilase* (ACCase), dan akhirnya *triacylglycerol* (TAG) akan diproduksi oleh sintase asam lemak dan enzim lainnya. TAG lipid kemudian diekstraksi dari sel dan ditransesterifikasi untuk menghasilkan asam lemak *alkyl ester* yaitu biodiesel. Parameter medium dan proses bisa diatur dari enzim atau bertindak sebagai kofaktor dalam jalur metabolisme lipid. Mikroalga fotosintetik memfiksasi CO₂ menjadi gula dengan adanya energi foton. Kloroplas menghasilkan *3-fosfoglisrat* (3-PGA) dengan CO₂, setelah siklus Calvin, diikuti oleh jalur glikolitik ke bentuk piruvat. Piruvat melepaskan CO₂, dan menghasilkan asetyl-*asetil koenzim* (KoA) dengan enzim *piruvat dehydrogenase* (PDH). Asetil-KoA yang disediakan oleh fotosintesis berfungsi sebagai prekursor sintesis asam lemak dalam kloroplas (Faried *et al.*, 2017).

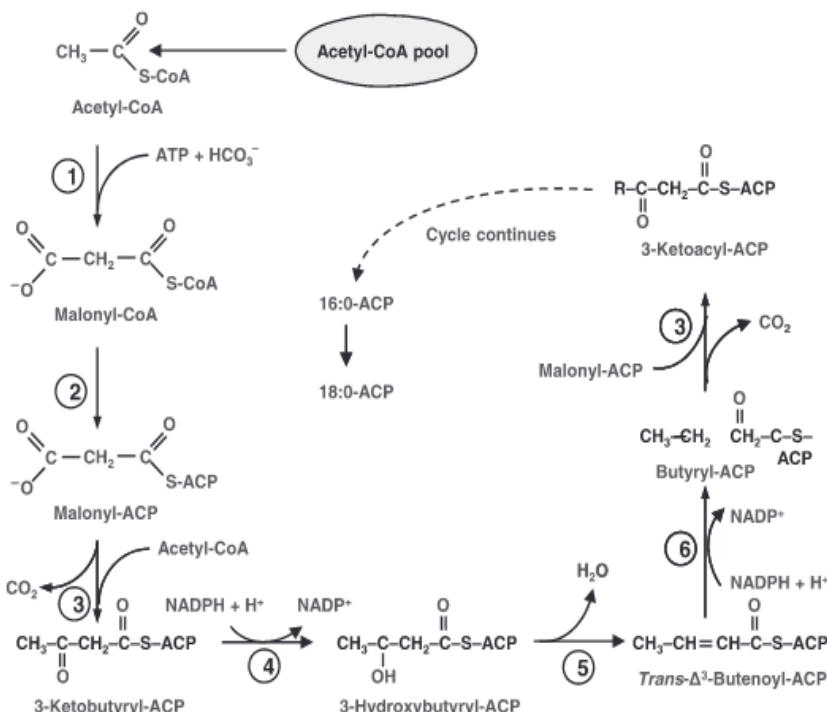
Triacylglycerol (TGA) diproduksi oleh sintase asam lemak, *Triacylglycerols* dibentuk oleh asilasi sekuensial *gliserol-3-fosfat* (G3P) tulang punggung dengan tiga asil-KoA yang dikatalisis oleh sekelompok enzim seperti, asilasi dari G3P menggunakan *gliserol-3-fosfat acyltransferase* (GPAT) menghasilkan *asam liso-fosfatidat* (LPA). LPA (*lyso-phosphatidic acid*) selanjutnya diasilasi oleh LPAT (*lysophosphatidic acid acyltransferase*) membentuk PA (*asam fosfatidat*), *phosphatidic acid phosphatase* (PAP) mengkatalisis pengangkatan gugus fosfat dari PA untuk menghasilkan *diacylglycerol* (DAG). Sintesis minyak dirangsang oleh *diacylglycerol acyltransferase* (DGAT) dari DAG untuk menandai. TGA disimpan dalam bentuk lemak tubuh (Lipid Bodies) di dalam sel alga. Dalam proses ini, PA dan DAG juga dapat disintesis sebagai lipid polar substrat (*galaktolipid* dan *fosfatidil kolin*) (Faried *et al.*, 2017).



Gambar 2.1. Jalur sintesis lipid mikroalga(Dineshkumar & Sen, 2020).

Biosintesis lipid dimulai dari gliseraldehid-3-fosfat (G3P) yang dihasilkan dari siklus Calvin menjadi piruvat pada jalur glikolisis, Acetyl-CoA dihasilkan oleh enzim piruvat dehidrogenase dengan menggunakan piruvat yang dibentuk pada glikolisis di sitosol. Bahan utama yang digunakan pada biosintesis asam lemak adalah senyawa asetil CoA dan senyawa malonil CoA. Malonil CoA disintesis dari asetil CoA dengan penambahan CO₂ oleh asetil CoA karboksilase. Reaksi pertama pada biosintesis asam lemak adalah pemindahan gugus asetil dan gugus malonil dari CoA ke ACP dengan katalis CoA, ACP transilase dan malonil-CoA. Reaksi berikutnya reaksi kondensasi dengan asil ACP (atau akseptor asetil KoA) oleh Kelompok malonil dari malonil ACP. Reaksi kondensasi pertama terbentuk produk empat karbon, dan dikatalisis oleh kondensasi enzim, 3-ketoacyl ACP synthase III (KAS III). Enzim kondensasi lainnya, KAS I, bertanggung jawab untuk menghasilkan panjang rantai yang bervariasi (6-16 karbon). Tiga reaksi tambahan terjadi setelah setiap kondensasi. Setelah penkondensasian asetil dengan malonil, tahapan selanjutnya terdiri dari reduksi dan dehidrasi. Proses reduksi terjadi oleh enzim 3-ketoasil ACP reduktase membentuk asam lemak

jenuh produk 3-ketoacyl ACP. Reaksi dehidrasi oleh hidroksiasil ACP dehidratase dan kemudian direduksi oleh enzim enoyl ACP reduktase (Gambar 2). Keempat reaksi ini menyebabkan pemanjangan asam lemak prekursor dengan dua karbon. Jalur biosintesis asam lemak menghasilkan jenuh 16:0- dan 18:0-ACP (Hu *et al.*, 2008).



Gambar 2.2. Jalur sintesis asam lemak (Hu *et al.*, 2008).

2.5 Karotenoid Mikroalga

Mikroalga hidup dilingkungan yang kompleks dan kondisi ekstrim, sehingga menghasilkan berbagai macam senyawa yang spesifik dan berharga. Dimana kelompok pigmen sangat diminati, kelompok utama pigmen yang sangat diminati yaitunya klorofil, karotenoid, antosianin, dan betanin yang bermanfaat untuk pewarnaan makanan. Kelompok karotenoid primer (*lutein*) yang berperan dalam menyerap cahaya dan sangat terkait fotosintesis. Karotenoid sekunder (*astaxanthin* dan *canthaxanthin*) yang berperan sebagai pelindung sel. Senyawa karotenoid yang dihasilkan tergantung faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi kultur mikroalga terebut (Tabel 2.3). Beberapa jenis mikroalga dapat

menghasilkan kaotenoid dari perlakuan yang spesifik (Rehmanji *et al.*, 2021).

Tabel 2.3. Kandungan karotenoid total mikroalga

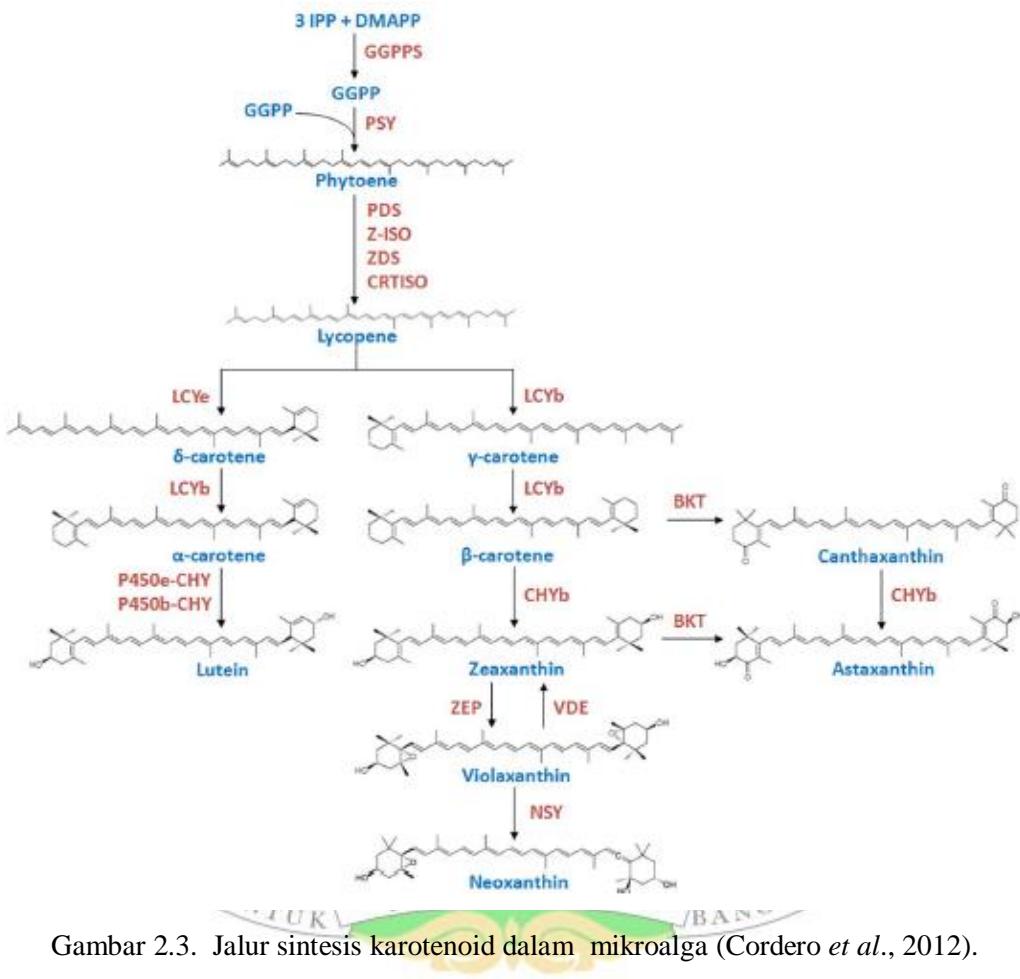
Mikroalga	Senyawa	Kondisi			Total Kaotenoid (mgL ⁻¹)
		Tahapan Kultivasi	Suhu (°C)	Bioreaktor	
<i>Phormidium autumnale</i>	β -carotene	Heterotrofik			183,03 ± 0,9
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	β -carotene	25±1			11,72
<i>Dunaliella salina</i>			25±1		102,5
<i>Chlorella saccharophila</i>	Zeaxanthin	Heterotrofik			16,39
<i>Chlorella emersonii</i>	Canthaxanthin	Airlift column			

Diadaptasi dari: (Rehmanji *et al.*, 2021)(Rodrigues *et al.*, 2014)

Kemajuan ilmiah dibidang genomik, transkriptomik, dan proteomik berpengaruh terhadap peningkatan karotenoid, dimana peningkatan karotenoid disebabkan oleh gen dan jalur metabolisme dalam fisiologi mikroalga untuk pengembangan strategi rekayasa metabolit dan transkripsi mikroalga (Lafarga & Clemente, 2020).

Jalur biosintesis karotenoid (Gambar 2.3) mikroalga sangat dipengaruhi oleh enzim dan gen yang berperan dalam pembentukan karotenoid tersebut. Gen yang berperan diantaranya, gen *Sintase GGDP* (*CrtE*), *Sintase phytoene* (*CrtB*), *Sintase phytoene*(*PSY*), *Desaturase phytoene* (tipe *crtP*) (*PDS*), β - *C-4-oksigenase/β-karoten ketolase* (*CrtW* / *bkt2*), *Zeaxanthin glukosil transferase* (*CrtX*), dan β -*karoten hidroksilase* (*CrtZ*)⁶. Penelitian terhadap biosintesis karotenoid belakangan ini mulai banyak dilakukan. Terdapat beberapa mikroalga yang digunakan untuk melihat ekspresi gen karotenoid, seperti, penelitian dalam

melihat ekspresi gen PSY dan PDS pada mikroalga *Chlamydomonas reinhardtii*, penelitian lainnya terhadap ekspresi gen PDS pada mikroalga *Haematococcus pluvialis*. Serta penelitian terhadap ekspresi gen *crto* dalam biosintesis karotenoid pada mikroalga *Chlorella zofingiensis* (Bohne & Linden, 2002)(Eckert *et al.*, 2000)(Huang *et al.*, 2006).

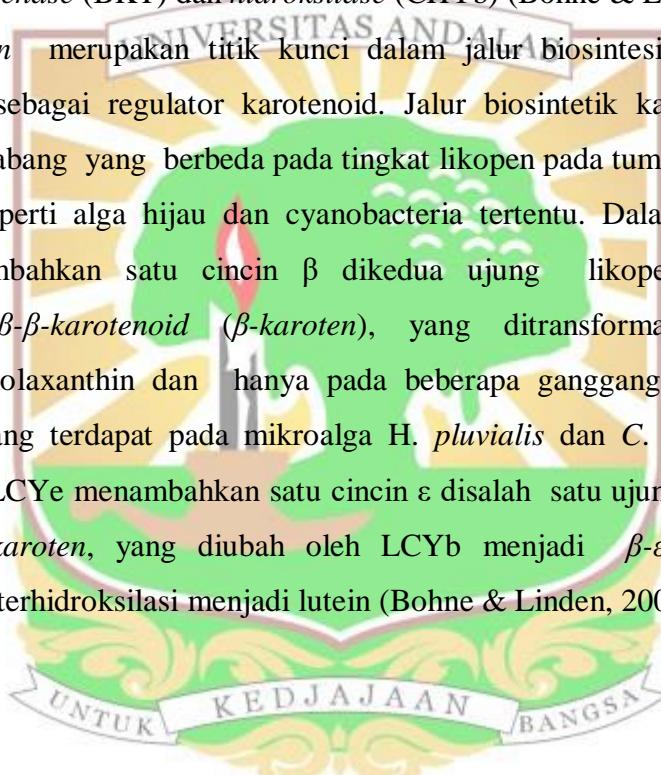


Gambar 2.3. Jalur sintesis karotenoid dalam mikroalga (Cordero *et al.*, 2012).

PSY telah terbukti membatasi laju sintesis karotenoid pada tanaman dan alga. *Phytoene didesaturasi* oleh *phytoene* dan ζ -*carotene desaturases* (PDS dan ZDS) dan diisomerisasi oleh 15-cis- ζ -*carotene isomerase* (Z-ISO) dan *carotene isomerase* (CRTISO) untuk membentuk semua trans-likopen linier. Likopen diubah menjadi β -*karoten* dengan aksi *likopen β -siklase* (LCYb) atau menjadi α -*karoten* dengan aksilik open ϵ -*siklase* (LCYe) dan LCYb. Siklasi likopen menjadi α -atau β -*karoten* adalah titik cabang kunci dalam jalur biosintesis karotenoid pada tumbuhan dan beberapa kelas alga dan telah diusulkan sebagai langkah

control aktivitas relative LCYe dan LCYb menentukan proporsi karotenoid yang diarahkan kesetiap cabang jalur. α -karoten diubah menjadi *lutein* oleh hidroksilase P450b-CHY dan P450e-CHY, dan β -*karoten* dihidroksilasi oleh CHYb menjadi *zeaxanthin*. *Zeaxanthin* epoxidase (ZEP) dan *violaxanthinide-epoxidase* (VDE) mengkatalisasi inter konversi *zeaxanthin* dan *violaxanthin*, dan *neoxanthin* dibentuk dari *violaxanthin* melalui aksi *neoxanthin synthase* (NSY). Sejumlah organism termasuk beberapa alga hijau seperti *Haematococcus pluvialis* dan *C. zofingiensis* dapat mensintesis *astaxanthin* dari β -*karoten* dengan aksi *ketolase /oksigenase* (BKT) dan *hidroksilase* (CHYb) (Bohne & Linden, 2002).

Likopen merupakan titik kunci dalam jalur biosintesis, *likopen* juga disebut juga sebagai regulator karotenoid. Jalur biosintetik karotenoid dibagi menjadi dua cabang yang berbeda pada tingkat likopen pada tumbuhan, beberapa kelas alga, seperti alga hijau dan cyanobacteria tertentu. Dalam satu cabang, LCYb menambahkan satu cincin β dikedua ujung likopen linier untuk membentuk β - β -karotenoid (β -*karoten*), yang ditransformasikan menjadi *zeaxanthin*, *violaxanthin* dan hanya pada beberapa ganggang hijau, menjadi *astaxanthin* yang terdapat pada mikroalga *H. pluvialis* dan *C. zofingiensis*. Di cabang lain, LCYe menambahkan satu cincin ϵ disalah satu ujung likopen untuk membentuk δ -*karoten*, yang diubah oleh LCYb menjadi β - ϵ -karotenoid, α -*karoten*, yang terhidroksilasi menjadi *lutein* (Bohne & Linden, 2002).



BAB III. METODA KERJA

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Biokimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2020 hingga Oktober 2021.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan, yaitu Spektrofotometer UV-Vis (*Thermo Scientific Genesys 20*), Kompressor (Boston), Neraca analitik, Mikroskop cahaya, Autoklaf, Aerator, Sentrifus, Pipet Tetes, Tube, Sensor CO₂ (COZIR-WX-5) dan Alat-alat kaca lainnya.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan terdiri dari Mikroalga dari Laboratorium Biokimia Unand, Batubara yang diambil dari Teluk Bayur, Medium *Bold's Basal*, Metanol, n-heksana, Kloroform.

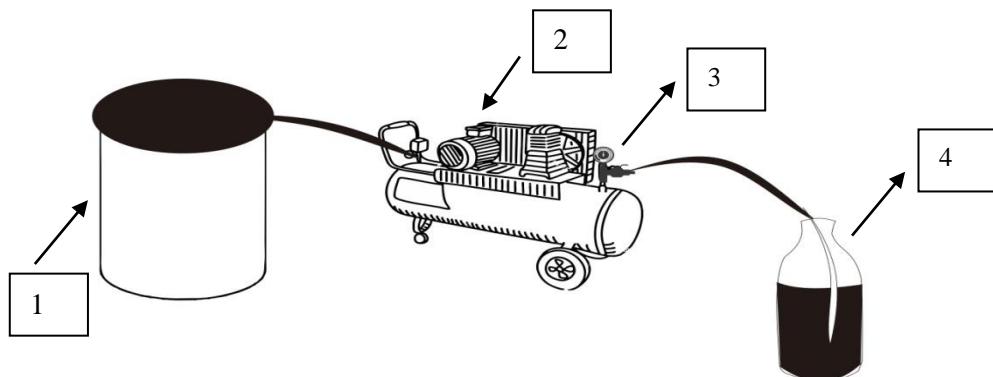
3.3 Prosedur kerja

3.3.1 Pengamatan morfologi dan Inokulasi *C. emersonii*

Mikroalga *C. emersonii* diperoleh dari Laboratorium Biokimia Unand. Pengamatan morfologi sampel mikroalga dilakukan dengan mikroskop cahaya (Olympus BX40) dengan perbesaran 1000X. Untuk mengetahui spesies mikroalga, morfologi hasil pengamatan diidentifikasi menggunakan Algae Resource Database. Kultur mikroalga diperbanyak dari isolat mikroalga sebanyak 100 mL dimasukan kedalam 1000 mL BBM dan ditumbuhkan sampai densitas sel inisial $\pm 0,1$ pada OD₆₈₀. Selanjutnya, mikroalga siap untuk dijadikan starter pada proses optimasi selanjutnya.

3.3.2 Produksi dan Penyimpanan CO₂ Pembakaran Batubara

Gas CO₂ pembakaran batubara diperoleh dengan membakar batubara didalam tanki silinder, kemudian asap pembakaran disedot menggunakan kompressor dan dialirkan ke tabung kompressor. Gas CO₂ disimpan sampai waktu digunakan. Terdapat rancangan alat seperti (Gambar 3.1)



Gambar 3.1. Rancangan Alat Penelitian

Keterangan: (1) Wadah pembakaran batubara (2) Kompresor (3) Alat Ukur Tekanan (4)Isolat Mikroalga

3.3.3 Penentuan Konsentrasi Gas CO₂ Asap Pembakaran Batubara

Konsentrasi gas CO₂ asap pembakaran batubara terlebih dahulu ditentukan dengan sensor CO₂ (COZIR-WX-5) sebelum dialirkan kedalam kultur mikroalga. Dimana asap hasil pembakaran batubara terlebih dahulu dialirkan kedalam wadah akrilik dilengkapi sensor CO₂ dengan variasi waktu alir (0 menit, 1 menit, 2,5 menit, dan 4 menit) (Chiu *et al.*, 2011). Konsentrasi CO₂ didalam akrilik dapat dibaca pada layar PC. Setelah didapatkan masing-masing konsentrasi CO₂ selanjutnya asap hasil pembakaran batubara dialirkan kedalam wadah kultur. Kultur mikroalga didalam medium BBM yang diaerasi dengan udara OD₆₈₀ 0,1. Pengaliran gas CO₂ selama 0, 1, 2,5 dan 4 menit memberikan konsentrasi CO₂ didalam kultur sebesar 0, 0,8%, 1,5% dan 2,3% CO₂. Konsentrasi gas CO₂ diukur dengan sensor CO₂. Pengukuran total lipid dan karotenoid pada fase stasioner. Selanjutnya diperoleh kondisi CO₂ optimum untuk pertumbuhan mikroalga.

3.3.4 Laju Pertumbuhan Mikroalga

Untuk mendapatkan kurva pertumbuhan pada kultur mikroalga, maka kerapatan sel mikroalga diukur setiap 2 hari sekali sampai kultur mencapai fase stasioner (26 hari). Kerapatan sel ditentukan berdasarkan nilai serapan kultur yang diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada 680 nm. Laju spesifik pertumbuhan mikroalga dihitung dengan menggunakan rumus berikut (Kawaroe *et al.*, 2009).

$$K = 3.22 \frac{\log \frac{N_t}{N_0}}{T_t - T_P}$$

Keterangan.

Nt : kepadatan mikroalga pada waktu t

N0 : kepadatan mikroalga awal, 3.22 adalah konstanta

Tt : waktu pengamatan.

Kurva laju pertumbuhan dibuat untuk mikroalga yang diberi CO₂ dan tanpa diberi CO₂

3.3.5 Penentuan Karotenoid Total

Total karotenoid ditentukan berdasarkan metode Lichtenthaler. Biomassa kering sebanyak 15 mg dilarutkan kedalam 5 mL metanol diinkubasi selama 30 menit, pada suhu 49°C, kemudian disentrifugasi selama 10 menit, 3500 rpm. Masing-masing supernatan diukur serapannya pada 470, 652, dan 665 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. Hasil absorbansi pengukuran dihitung kandungan pigmen (klorofil a, klorofil b, dan total karotenoid) ditentukan dengan rumus sebagai berikut (Pancha *et al.*, 2015).

$$\text{Chlorophyll a } (\mu\text{g/mL}) = 16,72 A_{665} - 9,16 A_{652}$$

$$\text{Chlorophyll b } (\mu\text{g/mL}) = 34,09 A_{652} - 15,28 A_{665}$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{1000 A_{470} - 1,63 C_{\text{Chlorophyll a}} - C_{\text{Chlorophyll b}}}{}$$

221

3.3.6 Penentuan Lipid Total

Kandungan lipid secara kuantitatif dilakukan dengan cara gravimetri yaitu dengan menimbang ekstrak kering lipid. Lipid diekstrak dengan cara biomassa kering mikroalga diambil sebanyak 200 mg disuspensikan kedalam 300 μL pelarut metanol : kloroform : air (2:1:1), kemudian divortex dan disentrifus pada 2500 rpm sehingga terbentuk 2 fase, selanjutnya fase atas dibuang dan fase bawah (pelet) diekstraksi kembali dengan 100 μL kloroform (sebanyak 5 kali) hingga semua lipid terekstrak yang ditandai dengan tidak adanya perubahan warna pada pelarut kemudian pelarut diuapkan. Ekstrak lipid ditimbang hingga mencapai berat konstan. Perhitungan persentase dan produktivitas lipid mikroalga didasarkan pada rumus berikut (Perdana *et al.*, 2021).

$$\% \text{ Lipid} = \frac{\text{Berat Lipid Sampel(gram)} \times 100\%}{\text{Berat Biomassa Sampel (gram)}}$$

Produktivitas Lipid (g/L/Hari) = Berat Lipid (gram)/ Volume Kultur (L) / Durasi Kultivasi (Hari)

3.3.7 Analisis Profil Asam Lemak menggunakan GC-MS

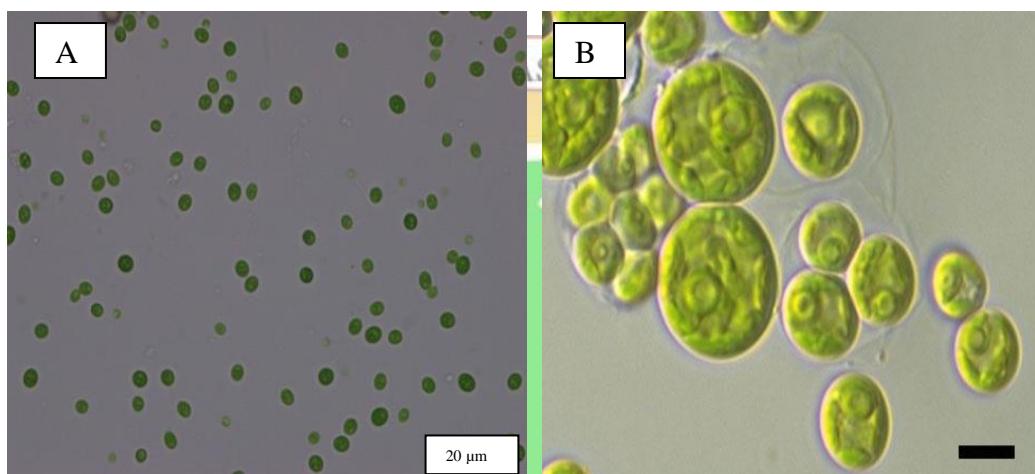
Ekstrak lipid yang didapatkan pada prosedur sebelumnya, dimetilasi dengan metode modifikasi *methanolic-HCl-transesterification*. Ekstrak lipid *C. emersonii* ditambah metanol: HCl: kloroform (10: 1: 1) diinkubasi pada suhu 90°C selama 2 jam, kemudian ditambahkan 1 mL aquades. Asam lemak metil ester diekstraksi dengan 2 mL *hexane-chloroform* (4: 1), divortex dan diambil lapisan atas. Hasil ekstrak diinjeksikan ke GC-MS (QP2010 Shimadzu) dengan spesifikasi suhu kolom 50°C, suhu injeksi 250°C, tekanan 119,3 kPa, Laju alir 60 mL/menit, waktu mulai pada 2,00 menit, waktu berakhir 60,54 menit, mulai m/z 40.00, dan akhir m/z 500.00 (Perdana *et al.*, 2021)



BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Mikroalga *C. emersonii*

Strain mikroalga *C. emersonii* pada penelitian ini diperoleh dari mikroalga yang telah dikultur di Laboratorium Biokimia Universitas Andalas. Pengamatan morfologi mikroalga dilakukan terlebih dahulu guna untuk mengidentifikasi mikroalga yang digunakan apakah sudah berisikan satu spesies mikroalga (kultur murni) dan tidak ada kontaminasi dari strain lainnya (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Bentuk sel Mikroalga hasil mikroskopik (A) mikroalga kultur (perbesaran 1000x), (B) Gambar sel yang diakses melalui *Algae Resource Database*

Dari pengamatan kultur dibawah mikroskop dan diidentifikasi berdasarkan morfologi didapatkan hasil bahwa isolat yang digunakan adalah murni *C. emersonii* (Gambar 4.1A). Berdasarkan literatur *algae resource database* (Gambar 4.1B), mikroalga yang telah dilakukan uji morfologi menggunakan mikroskop cahaya diketahui merupakan kelompok *Chlorophyta* (alga hijau), spesies *Chlorella*, dimana sel *Chlorella* adalah sel mikroskopis bulat dengan diameter 2-10 μm . Sel *Chlorella* bisa ditemukan dengan keadaan sendiri, atau berkoloni. *Chlorella* memiliki kloroplas tunggal dengan pembungkus ganda membran terdiri dari fosfolipid (Safi *et al.*, 2014). Mikroalga *C. emersonii* pada

penelitian ini memiliki ciri yaitunya berukuran 5-7 μm , dan memiliki pigmen hijau (klorofil). Pengkultivasan mikroalga *C. emersonii* dilakukan dengan medium BBM (*Bold Bassal Medium*). Mikronutrien merupakan nutrisi yang dibutuhkan dalam medium mikroalga kebutuhan nutrien melalui penambahan medium tumbuh guna menunjang pertumbuhan mikroalga (Zhao & Su, 2014). Pengkulturan dilakukan hingga densitas sel inisial mencapai $\pm 0,1$ pada OD₆₈₀

4.2 Kosentrasi Gas CO₂ Pembakaran Batubara

Pemanfaatan gas CO₂ tersebut dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi. Variasi konsentrasi gas CO₂ pembakaran batubara ditentukan dengan menggunakan sensor CO₂ (COZIR-WX-5). Variasi konsentrasi CO₂ dilakukan berdasarkan lama waktu pengaliran gas CO₂ kedalam kultur mikroalga. Terdapat 3 buah variasi CO₂ yang dilakukan berdasarkan variasi waktu. Pemberian gas CO₂ asap pembakaran batubara berdasarkan tabel 4.1

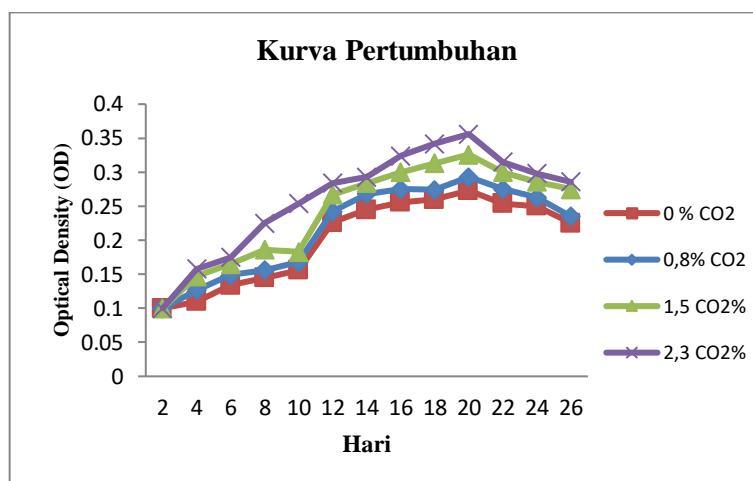
Tabel 4.1 Lama pemberian CO₂ asap pembakaran batubara

No	Tekanan (bar)	Waktu Alir (menit)	CO ₂ (%)
1	0	0	0
2	0,5	1	0,8
3	1	2,5	1,5
4	1,5	4	2,3

Metode pengaliran CO₂ berdasarkan waktu pengaliran diilakukan oleh Chiu (2011) dimana gas CO₂ asap pembakaran batubara dialirkan kedalam kultur mikroalga dalam selang waktu yang dilakukan yaitunya selama 12 jam perhari (Chiu *et al.*, 2011). Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dalam pemberian CO₂ asap pembakaran batubara dirujuk dari cara yang dilakukan Chiu (2011) dengan lama pemberian 12 jam perhari, pada penelitian ini dilakukan dengan selang waktu tertentu dikarenakan penelitian ini berdasarkan skala laboratorium. Pemberian CO₂ dengan metoda variasi waktu ini dikarenakan waktu pembuangan limbah gas batubara dari pabrik dilakukan pada waktu tertentu saja (satu kali sehari).

4.3 Laju Pertumbuhan Mikroalga dengan Variasi CO₂

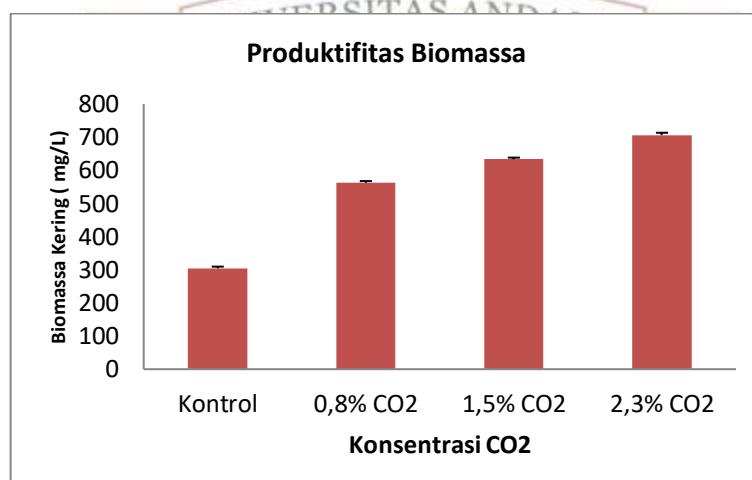
Mikroalga *C. emersonii* dikultur dengan medium BBM dengan variasi konsentrasi CO₂ (0, 0,8%, 1,5% dan 2,3%). Semakin lama waktu alir pemberian CO₂, semakin meningkat konsentrasi CO₂ yang dihasilkan dalam kultur, menyebabkan laju pertumbuhan meningkat (Gambar 4.2). Pemberian CO₂ optimal didapatkan pada konsentrasi 2,3% CO₂.



Gambar 4.2 Kurva Pertumbuhan Mikroalga *C. emersonii*

Produktifitas biomassa dari mikroalga *C. emersonii* ketika di kultur dengan udara biasa dihasilkan sebesar 0,041 g/L (Cuellar-Bermudez *et al.*, 2015). Pemberian CO₂ asap pembakaran batubara terhadap mikroalga *Chlorella* telah banyak dilakukan oleh peneliti. Penelitian terhadap *Chlorella s.p* dan *Chlorella s.p KR-11* juga dilakukan oleh Yadav (2015) dan Prevenkumar (2014) dengan konsentrasi CO₂ yang diberikan sebesar 2-10% dan 13,3 % CO₂ dari asap pembakaran batubara dengan biomassa yang dihasilkan sebesar 0,015-1,4 g/L dan 0,561 g/L (Yadav *et al.*, 2015),(Praveenkumar *et al.*, 2014). Mikroalga *C. vulgaris* juga menjadi pilihan dimana Radman (2011) dalam penelitiannya menjelaskan pengaruh konsentrasi 12% CO₂ menghasilkan biomassa sebesar 0,8 g/L (Radmann *et al.*, 2011). Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Kao melaporkan hasil penelitian berupa pengaruh pemberian konsentrasi CO₂ asap pembakaran batubara sebesar 24% pada *Chlorella s.p MTF -15* mendapatkan biomassa sebanyak 1,872 g/L (Kao *et al.*, 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Eritrastan (2016) melaporkan hasil penelitian berupa pengaruh pemberian konsentrasi CO₂ asap pembakaran batubara sebesar 5,25% pada *Chlorella s.p* mendapatkan biomassa sebanyak 0,86 g/L (Erit Taştan *et al.*, 2016). Sama seperti penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan kultivasi mikroalga *C. emersonii* dengan konsentrasi sebesar 2,3% CO₂ asap pembakaran batubara didapatkan hasil sebesar 704,6 mg/L lebih meningkat daripada kontrol. Data pertumbuhan dapat dilihat (**lampiran III**). Produktifitas biomassa yang dihasilkan oleh kultur *C. emersonii* didalam medium BBM pada kondisi kadar CO₂ yang berbeda pada hari ke 22 (Gambar 4.3)



Gambar 4.3 Variasi CO₂ terhadap produktifitas biomassa

Kativu, 2011 menjelaskan penambahan konsentrasi CO₂ serta dengan bantuan cahaya matahari kedalam kultur mikroalga mampu menghasilkan glukosa yang banyak, dikarenakan fiksasi CO₂ dilakukan secara efisien oleh enzim rubisco pada proses fotosintesis saat siklus Calvin. Pembentukan glukosa yang tinggi mengakibatkan pembentukan biomassa yang banyak, sehingga CO₂ dijadikan sebagai nutrisi oleh mikroalga. Selain dari gas CO₂ juga terdapat kandungan gas lain didalam asap pembakaran batubara seperti gas SOx dan NOx dimana gas ini juga tidak berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga, karena biomassa tidak mengalami penurunan (Kativu, 2011). Kandungan SOx dan NOx yang terkandung didalam batubara berkisar antara 0–11440 mg m⁻³ dan 0–205 mg m⁻³ (Chakraborty *et al.*, 2008).

Pengaruh dari SOx dan NOx biasanya terlihat dari perubahan pH kultur mikroalga setelah terpapar asap pembakaran batubara. Beberapa spesies mikroalga *Chlorella* toleran terhadap gas NOx dan SOx pada konsentrasi NOx sebesar 60 mg/L dan SOx sebesar 20-60 mg/L (Cuellar-Bermudez *et al.*, 2015). Pada penelitian ini gas CO₂ merupakan fokus dari pengaruh lingkungan yang diberikan ke mikroalga. Perubahan yang terjadi pada mikroalga ketika terkena CO₂ asap pembakaran batubara tergantung konsentrasi gas CO₂. Semakin banyak CO₂ yang dialirkkan kedalam kultur mikroalga semakin meningkat produktifitas biomassa yang dihasilkan

4.4 Kandungan Karotenoid Total

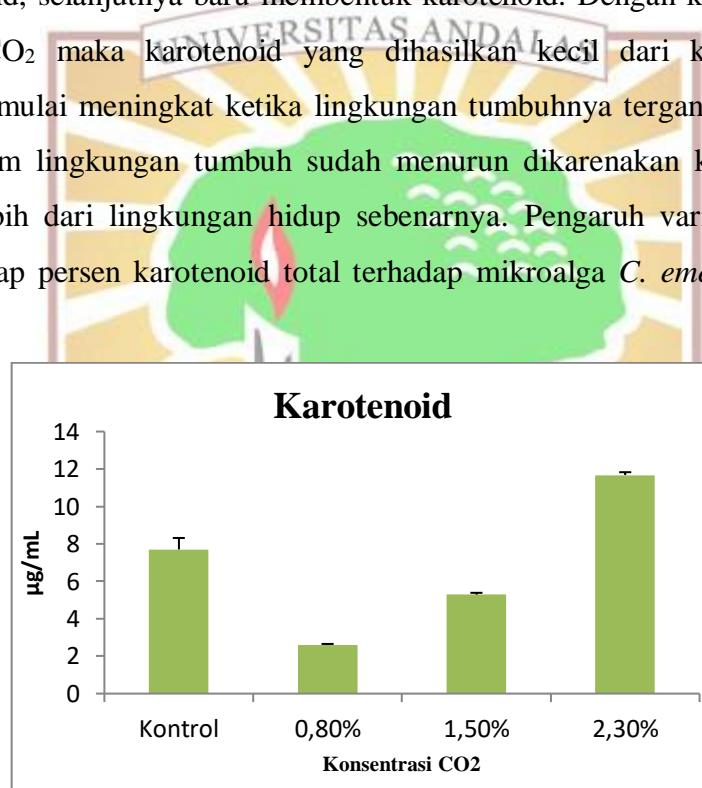
Peningkatan kandungan karotenoid dipengaruhi dari sistem budidaya, nutrisi serta faktor lingkungan. Pada penelitian ini diberikan variasi konsentrasi CO₂ dari asap pembakaran batubara sebesar 0, 0,8%, 1,5% dan 2,3%. Dampak CO₂ pada produksi karotenoid terhadap mikroalga *C. emersonii* dilihat dari kandungan karotenoid total yang dihasilkan. Pengaruh variasi konsentrasi CO₂ terhadap Produktifitas karotenoid total *C. emersonii* (Tabel 4.2)

Tabel 4.2 Produktifitas karotenoid total terhadap variasi konsentrasi CO₂

Variasi	Karotenoid Total ($\mu\text{g/mL}$)
Kontrol	7,6
0,80%	2,6
1,50%	5,3
2,30%	11,6

Kandungan karotenoid total dari mikroalga jenis *Chlorella* (*Chlorella sp*, *C. minutissima*, *C. pyrenoidosa*) tanpa diberi pengaruh CO₂ asap pembakaran batubara berkisar antara 0,051–0,35% (Bai *et al.*, 2011). Mikroalga menyerap CO₂ lebih efisien dan memiliki tingkat pertumbuhan yang lebih baik bila ditanam dimedia basa (Chhandama *et al.*, 2021). Pada penelitian ini diberikan variasi konsentrasi CO₂ dari asap pembakaran batubara sebesar 0, 0,8%, 1,5% dan 2,3%. Kandungan karotenoid total yang dihasilkan sebesar 7,71, 2,60, 5,30, dan 11,68 $\mu\text{g/mL}$. Produktifitas karotenoid tertinggi didapatkan sebesar 11,6 $\mu\text{g/mL}$ pada konsentrasi 2,3% CO₂. Contoh perhitungan dapat dilihat (**lampiran III**).

Kandungan CO₂ didalam limbah pembakaran batubara digunakan untuk fotosintesis. CO₂ sebagai substrat nantinya akan memasuki kloroplas, didalam kloroplas terdapat klorofil dan karotenoid yang terletak berdampingan sehingga karotenoid akan terbentuk saat awal terjadinya fotosintesis. Gas CO₂ yang dialirkan pada mikroalga dalam penelitian ini tidak mempengaruhi lingkungan tumbuh (stress) atau tidak membentuk lingkungan asam karena dapat terlihat dari produktifitasnya yang meningkat. Biomassa yang dihasilkan dalam bentuk yang banyak maka terlebih dahulu akan digunakan untuk pembentukan karbohidrat maupun lipid, selanjutnya baru membentuk karotenoid. Dengan konsentrasi kecil dari 2% CO₂ maka karotenoid yang dihasilkan kecil dari kontrol. Namun karotenoid mulai meningkat ketika lingkungan tumbuhnya terganggu atau ketika nutrisi dalam lingkungan tumbuh sudah menurun dikarenakan kandungan CO₂ yang berlebih dari lingkungan hidup sebenarnya. Pengaruh variasi konsentrasi CO₂ terhadap persentase karotenoid total terhadap mikroalga *C. emersonii* (gambar 4.4)



Gambar 4.4 Persentase karotenoid total *C. emersonii*

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Jesus.2021) didapatkan produksi karotenoid dari mikroalga *Parachlorella kessleri* dibudidayakan dengan CO₂ murni dengan konsentrasi sebesar 5, 15 dan 30% CO₂. Budidaya mikroalga dilakukan selama 14 hari didapatkan kandungan karotenoid tertinggi pada konsentrasi 5% (Jesus *et al.*, 2021). Selain dari kandungan karotenoid total yang dapat ditentukan peneliti juga telah secara aktif berfokus pada analisis karotenoid dari berbagai strain mikroalga, terdapat berbagai jenis karotenoid yang dihasilkan dari mikroalga

spesies *Chlorella* seperti pada mikroalga *C. vulgaris*, *C. emersonii*, *C. minutissima*, *C. elipsoidea*, *C. zofingiensis*, *C. protothecoides* dan *C. pyrenoidosa* dapat menghasilkan karotenoid berupa Canthaxanthin, Astaxanthin, Zeaxanthin, Violaxanthin, dan Lutein (De Morais *et al.*, 2015).

4.5 Kandungan Lipid Total dan Profil Asam Lemak Mikroalga

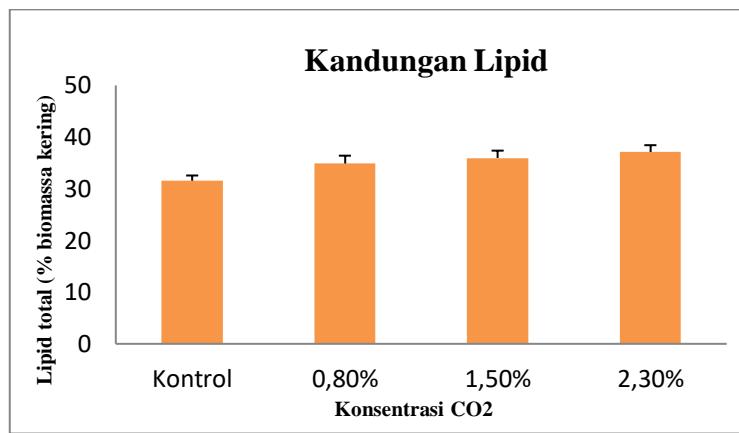
Kandungan lipid total pada mikroalga sangat dipengaruhi oleh strain mikroalga, kondisi lingkungan saat kultivasi, serta proses ekstraksi lipid yang dilakukan. (Elhadi Sulieman *et al.*, 2020). Pengujian kandungan lipid dilakukan dengan biomassa kering mikroalga, proses ekstraksi lipid terlebih dahulu dengan menggunakan metoda bligh & dryer (Cavonius *et al.*, 2014). Ekstraksi lipid dilakukan dengan pelarut metanol : Kloroform : air, dikarenakan kloroform nantinya akan menarik lipid yang ada pada mikroalga *C. emersonii* (Kativu, 2011). Lipid merupakan hasil metabolit primer dari mikroalga, selain dari lipid terdapat berapa jenis metabolit primer yang dihasilkan seperti karbohidrat dan protein. Kandungan lipid dari mikroalga jenis *Chlorella* (*Chlorella s.p*, *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa*, *C. protothecoides*, *C. emersonii*, *C. sorokiana*, dan *C. minutissima*) berkisar antara 2-63%, sedangkan kandungan karbohidrat sekitar 12-41% dan kandungan protein berkisar sekitar 10-58%. Dari beberapa jenis mikroalga *Chlorella* tersebut, jenis *C. emersonii* merupakan mikroalga penghasil lipid, karbohidrat dan protein yang tinggi. Kandungan lipid *C. emersonii* sebesar 23-63%, karbohidrat sebesar 41% dan Protein sebesar 36% (Sajjadi *et al.*, 2018). Pengaruh variasi konsentrasi CO₂ terhadap Produktifitas lipid total *C. emersonii* (Tabel 4.3)

Tabel 4.3 Produktifitas lipid total terhadap variasi konsentrasi CO₂

Variasi	Lipid (mg/L)
Kontrol	6,7
0,80%	7,2
1,50%	7,8
2,30%	8,6

Produktifitas lipid total dengan variasi konsentrasi CO₂ sebesar 0%, 0,8%, 1,5% dan 2,3% CO₂ didapatkan produktifitas lipid total sebanyak 0,0067, 0,0072,

0,0078 dan 0,0086 gram/L. Sehingga produktifitas lipid tertinggi didapatkan sebesar 0,0086 gram/L pada konsentrasi 2,3% CO₂. Peningkatan produktifitas lipid sebesar 0,3%. Pengaruh variasi konsentrasi CO₂ terhadap persen lipid total terhadap mikroalga *C. emersonii* (gambar 4.5)



Gambar 4.5 Persentase lipid total *C. emersonii*

Kandungan lipid total dengan variasi konsentrasi CO₂ sebesar 0%, 0,8%, 1,5% dan 2,3% CO₂ didapatkan persen lipid total sebanyak 31%, 34%, 35% dan 37%. Perdana(2020) pada penelitiannya melaporkan yaitu kultivasi mikroalga *C. emersonii* menggunakan medium BBM tanpa pengaruh gas CO₂ didapatkan kandungan lipid sebesar 28,8%(Perdana,2020). Pada penelitian sebelumnya Talebi (2013) melaporkan hasil penelitian kultivasi terhadap mikroalga *C. emersonii* dengan medium berupa Moh202 tanpa pengaruh gas CO₂ persen kandungan lipid total yang didapatkan sebesar 18,6% (Talebi *et al.*, 2013).

Dari penelitian yang sudah dilakukan total lipid *C. emersonii* setelah diberi konsentrasi 2,3% CO₂ didapatkan kandungan lipid tertinggi sebesar 37%, jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan perdana dengan hasil lipid 28,8%, kandungan lipid dari penelitian dengan penambahan CO₂ asap batubara lebih banyak. Contoh perhitungan dapat dilihat (**lampiran III**). Mikroalga *Chlorella* termasuk strain yang menghasilkan kandungan lipid tertinggi, Pada penelitian Duarte(2016) penelitiannya menggunakan gas buang dari pembangkit listrik tenaga batubara oleh *Chlorella fusca* LEB 111 dengan konsentrasi 10% CO₂ didapatkan kandungan lipid sebesar 15,5%, sama seperti penelitian sebelumnya total lipid *C. emersonii* setelah diberi konsentrasi 2,3% CO₂ asap pembakaran

batubara didapatkan kandungan lipid tertinggi sebesar 37% lebih tinggi dari 15,5% dibanding *Chlorella fusca* LEB 111 dengan konsentrasi 10% CO₂ gas buang dari pembangkit listrik tenaga batubara.

Analisis komposisi asam lemak didapatkan dari lipid mikroalga yang telah diesterifikasi terlebih dahulu. Asam lemak penyusun lipid adalah asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*), asam lemak tak jenuh terbagi atas *monounsaturated fatty acid* dan *polyunsaturated fatty acid* (MUFA dan PUFA) (Hu *et al.*, 2008). Kandungan asam lemak dianalisis menggunakan instrumen GC-MS. Hasil analisis dari GC-MS berupa grafik kromatogram dan data library. Kromatogram disajikan dalam bentuk grafik kelimpahan suatu senyawa asam lemak pada retention time atau dalam waktu tertentu(Bratu *et al.*, 2013). Data dan persentase kandungan asam lemak yang terkandung di dalam mikroalga *C. emersonii* sebelum dan sesudah pemberian CO₂ asap pembakaran batubara (Tabel 4.4) Dari tabel dapat dilihat total asam lemak (Jumlah FA) tertinggi terdapat pada mikroalga *C. emersonii* dimana jumlah FA didapatkan sebesar 50,94% dan 47% sesudah dan sebelum dialiri CO₂ asap pembakaran batubara. Pemberian CO₂ pada mikroalga *C. emersonii* sangat berpengaruh pada jumlah SFA (*saturated fatty acid*), dimana jumlah SFA (*saturated fatty acid*) saat tidak diberikan CO₂ asap pembakaran batubara sebesar 33,93% sedangkan tanpa CO₂ asap pembakaran batubara sebesar 19,1%. Jumlah PUFA (*Poly Unsaturated Fatty Acid*) lebih besar dari jumlah MUFA (*Mono Unsaturated Fatty Acid*). Penelitian yang dilakukan oleh Moreno (2013) melaporkan bahwa untuk *C. vulgaris*, ketika diberi konsentrasi CO₂ bervariasi dari udara normal hingga 5% CO₂ diamati peningkatan produktivitas di kategori (MUFA, dan PUFA) (Moreno *et al.*, 2013)..

Tabel 4.4 Perbandingan Profil Asam Lemak *Chlorella emersonii*

Fatty Acid Spesies	Rumus	Fatty Acid Content (% TL)	
		Kontrol	2,3% CO2
Butanedioic acid	C4 : 0	0,11	-
Hexanedioic acid	C6 : 0	1,13	-
Heptanedioic acid	C7 : 0	2,25	-
Octanoic acid	C8 : 0	2,76	-
Octanedioic acid	C8 : 0	5,66	-
Nonanoic acid	C9 : 0	0,18	-
Nonanoic acid, 9-Oxo	C9 : 0	5,54	-
Nonanedioic acid	C9 : 0	5,38	-
Hexadecanoic acid	C16 : 0	6,38	16,62
Heptadecanoic acid, 16-methyl	C17 : 0	4,54	-
Octadecanoic acid	C18 : 0	-	2,48
Octadecanoic acid Omega 12	C18 : 1 ω12	-	7,88
Octadecanoic acid Omega 10	C18 : 1 ω10	4,82	-
Octadecadienoic acid / Linoleic acid	C18 : 2 ω6	4,77	8,54
Octadecatrienoic acid / Methyl γ-linolenat acid	C18 : 3 ω3	3,48	8,58
Hexanedioic acid bis(2-ethylhexyl)Bis(2-ethylhexyl)adipate		-	6,84
Jumlah FA		47	50,94
SFA		33,93	19,1
MUFA		4,82	7,88
PUFA		8,25	17,12
Omega 3		3,48	8,58
Omega 6		4,77	8,54
Omega 10		4,82	-
Omega 12		-	7,88

Kandungan asam lemak mikroalga *C. emersonii* pada penelitian ini terdiri dari asam lemak rantai pendek maupun asam lemak rantai panjang, dimana asam lemak C4:0, C6:0, C7:0, C8:0 dan C9:0 (asam lemak rantai pendek) terbentuk ketika mikroalga *C. emersonii* tidak diberi pengaruh CO₂ asap pembakaran batubara, sedangkan ketika mikroalga diberi pengaruh CO₂ asap pembakaran batubara asam lemak rantai pendek (C4:0, C6:0, C7:0, C8:0 dan C9:0) hilang dan terbentuk asam lemak C16:0, C17:0, dan C18:0 (asam lemak rantai panjang), sehingga jumlah SFA menurun dikarenakan konsentrasi CO₂ yang rendah (<2% CO₂), dari penelitian sebelumnya dilaporkan bahwa konsentrasi CO₂ yang rendah memfasilitasi produksi asam lemak tak jenuh (C18:1, C18:2) sehingga jumlah SFA yang dihasilkan rendah dikarenakan asam lemak jenuh yang terbentuk banyak dihasilkan(Sajjadi et al., 2018). Saat terbentuknya asam lemak

rantai panjang juga terbentuk omega (ω 3,6,10 dan 12). Asam lemak yang dominan terbentuk yaitunya C16:0 dan C18:3. Jumlah C16:0 didapatkan sebesar 16,62% dan jumlah C18:0 didapatkan sebesar 2,48% saat mikroalga *C. emersonii* diberi pengaruh CO₂. Asam lemak dengan rantai karbon C16 dan C18 merupakan komponen asam lemak yang sering digunakan untuk pembuatan biodiesel. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan perdana (2020) melaporkan hasil kultivasi mikroalga *C. emersonii* dengan medium BBM tanpa diberi pengaruh CO₂ juga mendapatkan komponen asam lemak berupa C16:0, C16:1, C16:2, C16:3, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3, C:20 dan C:22, dimana komponen asam lemak didapatkan C16:0 sebesar 18,70% dan C18:0 sebesar 4,15% (Perdana,2020). Pada penelitiannya Tang(2011) melaporkan hasil profil asam lemak dari pengaruh 5% CO₂ mikroalga *C. vulgaris* yang dikultur dengan medium BG-11 didapatkan hasil berupa kandungan C16:0 sebesar 26,17% dan C18:0 sebesar 1,06% (Tang *et al.*, 2011). Pada penelitian ini kandungan asam lemak dari mikroalga *C. emersonii* yang diberi pengaruh 2,3% CO₂ asap pembakaran batubara dapat dikatakan tinggi jika dibandingkan CO₂ yang konsentrasi nya lebih besar dari 2,3% CO₂. Kandungan asam lemak pada *C. emersonii* yang diberi pengaruh 2,3% CO₂ asap pembakaran batubara pada penelitian ini didapatkan hampir mendekati 0,08% dari data kandungan asam lemak saat pemberian CO₂ dengan konsentrasi diatas 2,3% pada mikroalga *C. vulgaris*.

Gas CO₂ dari asap pembakaran batubara tersebut sangat berpengaruh terhadap pembentukan lipid total dari mikroalga. Efek pemberian CO₂ terhadap mikroalga akan meningkatkan biomassa dan juga meningkatkan kadar lipid total serta meningkatkan profil asam lemak. Pemberian CO₂ tersebut akan mengubah jalur biosintesis lipid terutama dalam jalur biosinteis pembentukan TAGs (Rouxel *et al.*, 2012). Pemberian CO₂ dalam media kultur, menghasilkan asam karbonat (HCO³⁻), sehingga menyebabkan sedikit perubahan lingkungan pada mikroalga *C. emersonii* yang biasa hidup di air tawar. Produksi lipid pada mikroalga meningkat karena menghasilkan akumulasi TAG. Akumulasi HCO₃⁻ juga dibutuhkan pada sintesis asam lemak. Prekursor *asetil-CoA* yang dengan bantuan enzim *Asetyl-CoA karboksilase* (ACC) menangkap HCO₃⁻ untuk menambah rantai karbon pada

proses *fatty acid* (Kativu, 2011).

Proses pemanjangan rantai asam lemak Asetil CoA yang digunakan untuk membentuk lemak di kloroplas, dihasilkan oleh piruvat dehidrogenase dengan menggunakan piruvat yang dibentuk pada glikolisis di sitosol. Bahan utama yang digunakan pada biosintesis asam lemak adalah senyawa asetil CoA dan senyawa malonil CoA. Malonil CoA disintesis dari asetil CoA dengan penambahan CO₂ oleh asetil CoA *karboksilase*. Reaksi pertama pada biosintesis asam lemak adalah pemindahan gugus asetil dan gugus malonil dari CoA ke ACP dengan katalis CoA, ACP *transilase* dan malonil-CoA. Reaksi berikutnya reaksi kondensasi dengan asil ACP (akseptor asetil KoA) oleh kelompok malonil dari malonil ACP. Tiga reaksi tambahan terjadi setelah setiap kondensasi. Setelah penkondensasian asetil dengan malonil, tahapan selanjutnya terdiri dari reduksi dan dehidrasi. Proses reduksi terjadi oleh enzim 3-ketoasil ACP reduktase membentuk asam lemak jenuh produk 3-ketoacyl ACP. Reaksi dehidrasi oleh hidroksiasil ACP dehidratase dan kemudian direduksi oleh enzim enoyl ACP reduktase, sehingga dihasilkan asam lemak jenuh C16:0 dan C18:0 (Hu *et al.*, 2008).

Dapat disimpulkan bahwa pengaruh CO₂ dapat meningkatkan profil asam lemak dari strain yang berbeda serta kondisi kultivasi yang berbeda. Selain itu, suplementasi CO₂ juga mengakibatkan peningkatan produktivitas pada kategori (MUFA, dan PUFA). Menurunkan jumlah SFA namun meningkatkan senyawa omega-3 PUFA. Omega-3 yang dihasilkan ditinjau dari segi ekonomi sangat menguntungkan, dikarenakan omega-3 dapat dimanfaatkan untuk nutrisi dan obat-obatan. Dari segi kesehatan omega-3 dibeberapa bidang medis, seperti dermatologi, neurologi, oftalmologi dan bahkan kanker. Omega-3 juga penting untuk esensialitas asam lemak omega-3 pada ibu hamil dan orang dengan gangguan neurologis (Ferreri, 2013).

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi CO₂ terbaik sebesar 2,3% yang diberikan terhadap mikroalga *C. emersonii* menghasilkan kandungan lipid sebesar 37% dan produktifitas lipid sebesar 8,6 mg/L atau total sehingga mengalami kenaikan sebesar 0,3% dibandingkan kontrol.
2. Kandungan total karotenoid setelah pemberian konsentrasi 2,3% CO₂ didapatkan sebesar 11,7 µg/mL dan mengalami peningkatan sebesar 52% dibanding kontrol.
3. Pengaruh dari asap pembakaran CO₂ terhadap kandungan asam lemak mikroalga *C. emersonii* mengalami peningkatan pada SFA, MUFA dan PUFA terhadap kontrol, namun akan lebih meningkat ketika diberi konsentrasi CO₂ lebih dari 5%.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar melakukan :

1. Melakukan pemberian konsentrasi CO₂ diatas 10%-60% guna melihat pengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga apabila terkena CO₂ yang tinggi.
2. Melakukan analisis terhadap kandungan asap pembakaran batubara terlebih dahulu sehingga tahu berapa konsentrasi nutrien yang ada didalam asap pembakaran batubara selain CO₂.
3. Melakukan rekayasa genetik guna untuk mempercepat terbentuknya lipid pada mikroalga *C. emersonii* yang nantinya bisa digunakan untuk biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto, J., & Costa, V. (2007). *Carbon dioxide fixation by Chlorella kessleri , C . vulgaris , Scenedesmus obliquus and Spirulina sp . cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactors.* 1349–1352. <https://doi.org/10.1007/s10529-007-9394-6>
- Bai, M. Der, Cheng, C. H., Wan, H. M., & Lin, Y. H. (2011). Microalgal pigments potential as byproducts in lipid production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(5), 783–786. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.02.003>
- Bohne, F., & Linden, H. (2002). *Regulation of carotenoid biosynthesis genes in response to light in Chlamydomonas reinhardtii.* 1579, 26–34.
- Borkenstein, C. G., Knoblechner, J., Frühwirth, H., & Schagerl, M. (2011). Cultivation of Chlorella emersonii with flue gas derived from a cement plant. *Journal of Applied Phycology*, 23(1), 131–135. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9551-5>
- BP. (2020). Statistical Review of World Energy, 2020 | 69th Edition. Bp, 66. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Bratu, A., Mihalache, M., Hangau, A., Chira, N. A., Todaşcă, M. C., & Roşca, S. (2013). Quantitative determination of fatty acids from fish oils using GC-MS method and 1H-NMR spectroscopy. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*, 75(2), 23–32.
- Cavonius, L. R., Carlsson, N. G., & Undeland, I. (2014). Quantification of total fatty acids in microalgae: Comparison of extraction and transesterification methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 406(28), 7313–7322. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-8155-3>
- Chakraborty, N., Mukherjee, I., Santra, A. K., Chowdhury, S., Chakraborty, S., Bhattacharya, S., Mitra, A. P., & Sharma, C. (2008). Measurement of CO₂, CO, SO₂, and NO emissions from coal-based thermal power plants in India. *Atmospheric Environment*, 42(6), 1073–1082. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.074>
- Chhandama, M. V. L., Satyan, K. B., Changmai, B., Vanlalveni, C., & Rokhum, S. L. (2021). Microalgae as a feedstock for the production of biodiesel: A review. *Bioresource Technology Reports*, 15(July), 100771. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100771>

- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Huang, T. T., Lin, C. J., Ong, S. C., Chen, C. Da, Chang, J. S., & Lin, C. S. (2011). Microalgal biomass production and on-site bioremediation of carbon dioxide, nitrogen oxide and sulfur dioxide from flue gas using Chlorella sp. cultures. *Bioresource Technology*, 102(19), 9135–9142. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.091>
- Cordero, B. F., Couso, I., Leon, R., Rodriguez, H., & Vargas, M. A. (2012). Isolation and characterization of a lycopene ε-cyclase gene of Chlorella (Chromochloris) zofingiensis. Regulation of the carotenogenic pathway by nitrogen and light. *Marine Drugs*, 10(9), 2069–2088. <https://doi.org/10.3390/md10092069>
- Cuellar-Bermudez, S. P., Garcia-Perez, J. S., Rittmann, B. E., & Parra-Saldivar, R. (2015). Photosynthetic bioenergy utilizing CO₂: An approach on flue gases utilization for third generation biofuels. *Journal of Cleaner Production*, 98, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.034>
- De Moraes, M. G., Vaz, B. D. S., De Moraes, E. G., & Costa, J. A. V. (2015). Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/835761>
- Dineshkumar, R., & Sen, R. (2020). A sustainable perspective of microalgal biorefinery for co-production and recovery of high-value carotenoid and biofuel with CO₂ valorization. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(4), 879–897. <https://doi.org/10.1002/bbb.2107>
- Eckert, M., Hirschberg, J., Hagen, C., Botany, G., Jena, F., Planetarium, A., & Jena, D. (2000). *Phytoene Desaturase Is Localized Exclusively in the Chloroplast and Up-Regulated at the mRNA Level during Accumulation of Secondary Carotenoids in Haematococcus pluvialis (Volvocales, Chlorophyceae)* 1, 2. 122(April), 1261–1268.
- Elhadi Suliman, A. M., Abel Rahman, E. H., & Ahmed, W. A. (2020). Capabilities of Algae to Be Utilized As a Renewable Energy Source PDF. *Academic Journal of Life Sciences*, 63, 18–26. <https://doi.org/10.32861/ajls.63.18.26>
- Ertit Taştan, B., Duygu, E., İlbaş, M., & Dönmez, G. (2016). Enhancement of microalgal biomass production and dissolved inorganic C fixation from actual coal flue gas by exogenous salicylic acid and 1-triacontanol growth promoters. *Energy*, 103, 598–604. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.020>
- Faried, M., Samer, M., Abdelsalam, E., Yousef, R. S., Attia, Y. A., & Ali, A. S. (2017). Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(July 2016), 893–913. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.199>

- Ferreira, G. F., Ríos Pinto, L. F., Maciel Filho, R., & Fregolente, L. V. (2019). A review on lipid production from microalgae: Association between cultivation using waste streams and fatty acid profiles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109(July 2018), 448–466. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.052>
- Ferreri, C. (2013). Omega 3 Fatty Acids and Bioactive Foods: From Biotechnology to Health Promotion. In *Bioactive Food as Dietary Interventions for Liver and Gastrointestinal Disease* (1st ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397154-8.00084-1>
- Hanagata, N., Takeuchi, T., Fukuju, Y., Barnes, D. J., & Karube, I. (1992). Tolerance of microalgae to high CO₂ and high temperature. *Phytochemistry*, 31(10), 3345–3348. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(92\)83682-O](https://doi.org/10.1016/0031-9422(92)83682-O)
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., & Darzins, A. (2008). Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: Perspectives and advances. *Plant Journal*, 54(4), 621–639. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03492.x>
- Huang, J. C., Wang, Y., Sandmann, G., & Chen, F. (2006). Isolation and characterization of a carotenoid oxygenase gene from Chlorella zofingiensis (Chlorophyta). *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71(4), 473–479. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0166-8>
- Iwasaki, I., Hu, Q., Kurano, N., & Miyachi, S. (1998). Effect of extremely high-CO₂ stress on energy distribution between photosystem I and photosystem II in a “high-CO₂” tolerant green alga, *Chlorococcum littorale* and the intolerant green alga *Stichococcus bacillaris*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 44(3), 184–190. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(98\)00140-7](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(98)00140-7)
- Jesus, P. da C. C. de, Mendes, M. A., Perpétuo, E. A., Basso, T. O., & Nascimento, C. A. O. do. (2021). Extracellular carotenoid production and fatty acids profile of *Parachlorella kessleri* under increased CO₂ concentrations. *Journal of Biotechnology*, 329(June 2020), 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.02.004>
- Kao, C. Y., Chen, T. Y., Chang, Y. Bin, Chiu, T. W., Lin, H. Y., Chen, C. Da, Chang, J. S., & Lin, C. S. (2014). Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga *Chlorella* sp. *Bioresource Technology*, 166, 485–493. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.094>
- Kativu, E. (2011). *Carbon Dioxide Absorption Using Fresh Water Algae and Identifying Potential Uses of Algal Biomass*. 133.

- Lafarga, T., & Clemente, I. (2020). Carotenoids from microalgae. In *Carotenoids: Properties, Processing and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817067-0.00005-1>
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2010). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 217–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>
- Moreno, R., Aita, G. M., Madsen, L., Gutierrez, D. L., Yao, S., Hurlburt, B., & Brashear, S. (2013). Identification of naturally isolated Southern Louisiana's algal strains and the effect of higher CO₂ content on fatty acid profiles for biodiesel production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 88(5), 948–957. <https://doi.org/10.1002/jctb.3930>
- Pancha, I., Chokshi, K., Maurya, R., Trivedi, K., Patidar, S. K., Ghosh, A., & Mishra, S. (2015). Salinity induced oxidative stress enhanced biofuel production potential of microalgae *Scenedesmus* sp. CCNM 1077. *Bioresource Technology*, 189, 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.017>
- Perdana, B. A., Dharma, A., Zakaria, I. J., & Syafrizayanti. (2021). Freshwater pond microalgae for biofuel: Strain isolation, identification, cultivation and fatty acid content. *Biodiversitas*, 22(2), 505–511. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220201>
- Pertumbuhan, L., Chlorella, S., Perbedaan, B., Dan, N., Kawaroe, M., Prartono, T., Sunuddin, A., Sari, D. W., & Augustine, D. (1996). According to Different Concentration of Nutrient and Photoperiod). 1, 73–77.
- Praveenkumar, R., Kim, B., Choi, E., Lee, K., Park, J. Y., Lee, J. S., Lee, Y. C., & Oh, Y. K. (2014). Improved biomass and lipid production in a mixotrophic culture of *Chlorella* sp. KR-1 with addition of coal-fired flue-gas. *Bioresource Technology*, 171, 500–505. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.112>
- Radmann, E. M., Camerini, F. V., Santos, T. D., Alberto, J., & Costa, V. (2011). Isolation and application of SO X and NO X resistant microalgae in biofixation of CO 2 from thermoelectricity plants. *Energy Conversion and Management*, 52(10), 3132–3136. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.04.021>
- Rehmanji, M., Suresh, S., Nesamma, A. A., & Jutur, P. P. (2021). Microalgal cell factories, a platform for high-value-added biorenewables to improve the economics of the biorefinery. In *Microbial and Natural Macromolecules*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820084-1.00027-2>

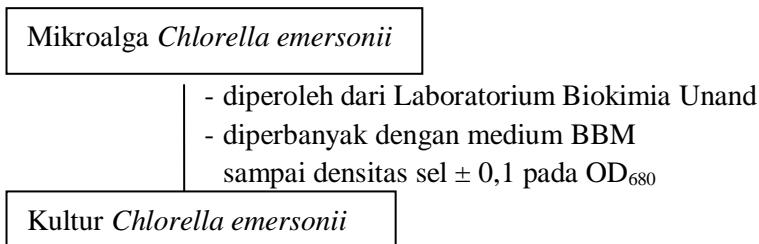
- Ríos, S. D., Castañeda, J., Torras, C., Farriol, X., & Salvadó, J. (2013). Lipid extraction methods from microalgal biomass harvested by two different paths: Screening studies toward biodiesel production. *Bioresource Technology*, 133, 378–388. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.093>
- Rodrigues, D. B., Flores, É. M. M., Barin, J. S., Mercadante, A. Z., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2014). Production of carotenoids from microalgae cultivated using agroindustrial wastes. *Food Research International*, 65(PB), 144–148. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.037>
- Rouxel, C., Dubois, N., Kaas, R., Grouas, S., Lukomska, E., Coz, L., & Cadoret, J. (2012). Enhancement of neutral lipid productivity in the microalga Isochrysis affinis Galbana (T-Iso) by a mutation-selection procedure. *Biotechnology and Bioengineering*, 109(11), 2737–2745.
- Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of Chlorella vulgaris: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- Sajjadi, B., Chen, W. Y., Raman, A. A. A., & Ibrahim, S. (2018). Microalgae lipid and biomass for biofuel production: A comprehensive review on lipid enhancement strategies and their effects on fatty acid composition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(November 2017), 200–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.050>
- Talebi, A. F., Mohtashami, S. K., Tabatabaei, M., Tohidfar, M., Bagheri, A., Zeinalabedini, M., Hadavand Mirzaei, H., Mirzajanzadeh, M., Malekzadeh Shafaroudi, S., & Bakhtiari, S. (2013). Fatty acids profiling: A selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. *Algal Research*, 2(3), 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2013.04.003>
- Tang, D., Han, W., Li, P., Miao, X., & Zhong, J. (2011). CO₂ biofixation and fatty acid composition of Scenedesmus obliquus and Chlorella pyrenoidosa in response to different CO₂ levels. *Bioresource Technology*, 102(3), 3071–3076. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.047>
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., & Lan, C. Q. (2008). CO₂ bio-mitigation using microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79(5), 707–718. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1518-y>
- Yadav, G., Karemore, A., Dash, S. K., & Sen, R. (2015). Performance evaluation of a green process for microalgal CO₂ sequestration in closed photobioreactor using flue gas generated in-situ. *Bioresource Technology*, 191, 399–406. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.040>

Zhao, B., & Su, Y. (2014). Process effect of microalgal-carbon dioxide fixation and biomass production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 121–132. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.054>



Lampiran I Skema Kerja Mikroalga

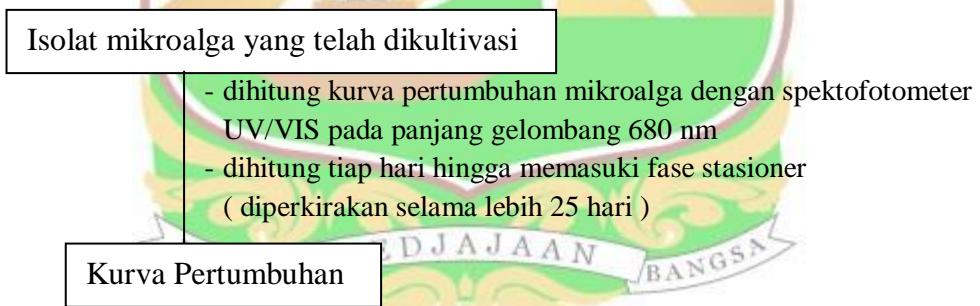
1. Inokulasi *Chlorella emersonii*



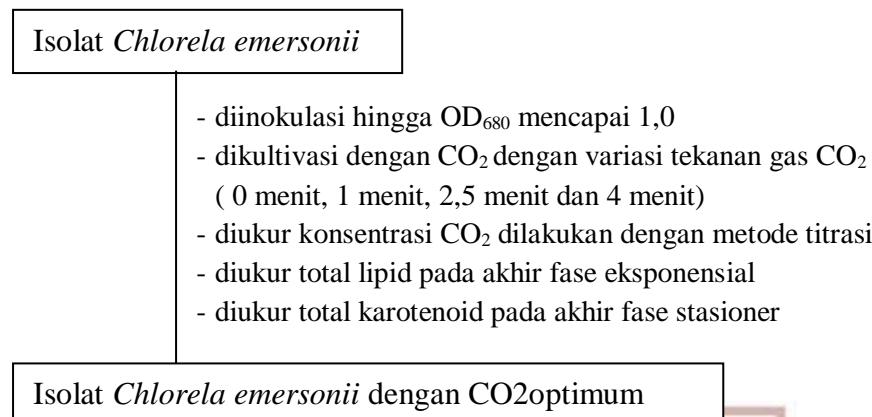
2. Produksi dan Penyimpanan CO₂ Pembakaran Batubara



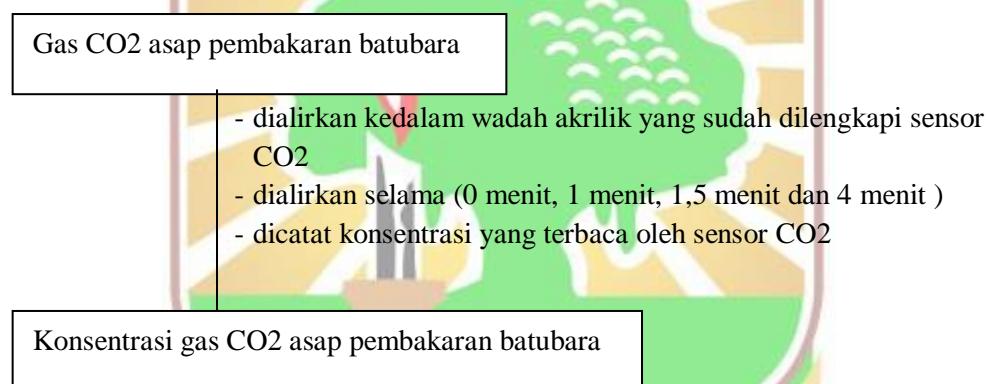
3. Laju Pertumbuhan Mikroalga



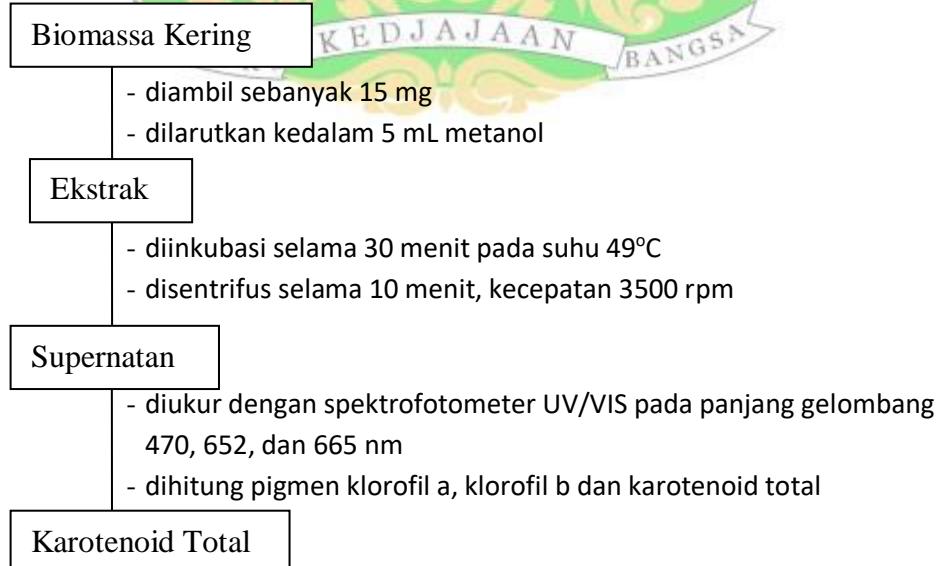
4. Optimasi Pertumbuhan Mikroalga dengan Variasi CO₂ dari Asap Pembakaran Batubara



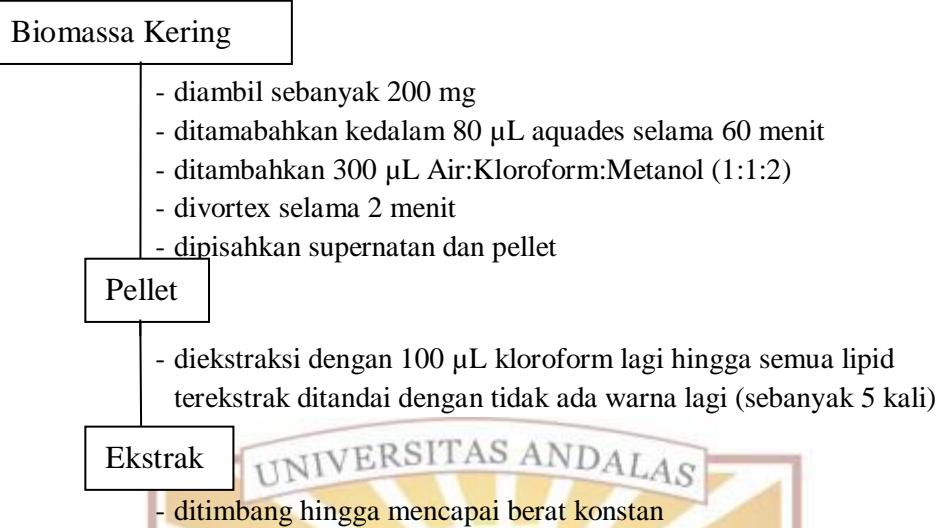
5. Penentuan Konsentrasi CO₂ Gas Pembakaran Batubara



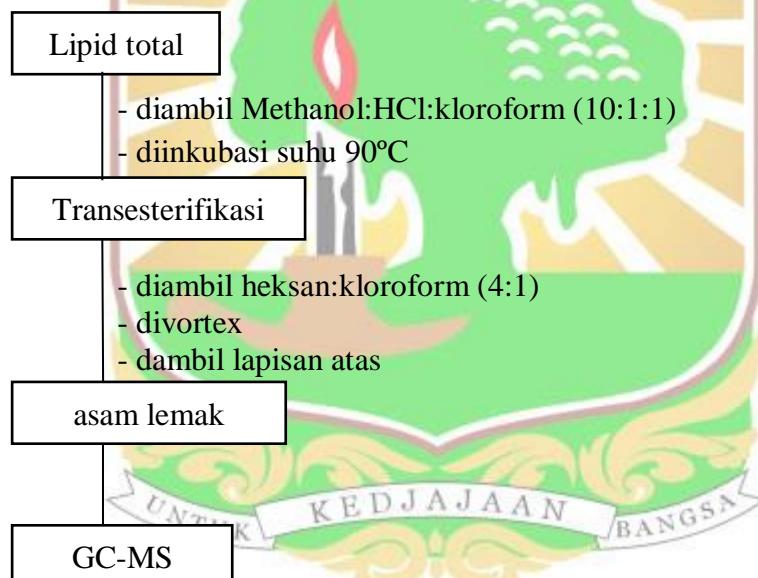
6. Penentuan Karotenoid Total



7. Penentuan Lipid Total

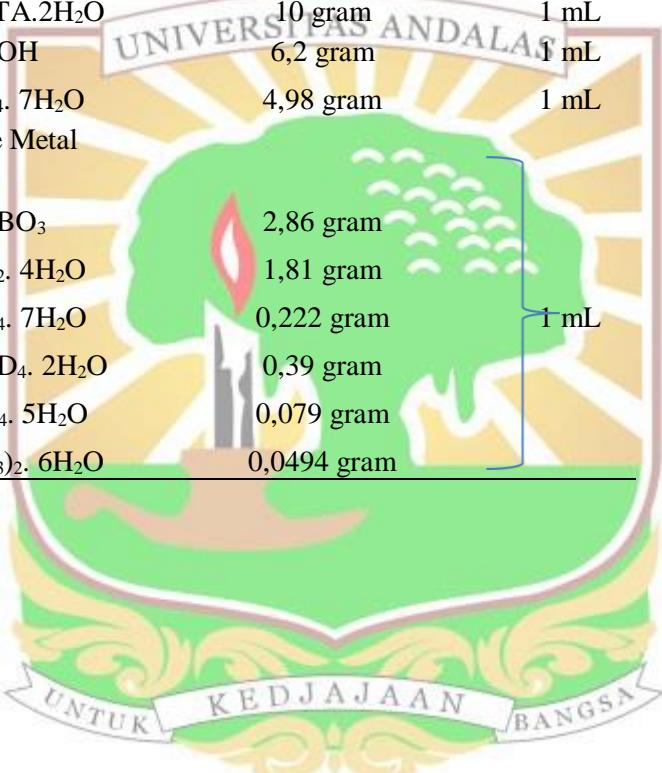


8. Analisis Asam Lemak dengan GC-MS



Lampiran II Komposisi BBM (Bold Bassal Medium)

No	Zat	Jumlah zat dalam liter	diamambil
1	KH ₂ PO ₄	17,5 gram	10 mL
2	CaCl ₂ . 2H ₂ O	25,0 gram	1 mL
3	MgSO ₄ . 7H ₂ O	75 gram	1 mL
4	NaNO ₃	250 gram	1 mL
5	K ₂ HPO ₄	7,5 gram	1 mL
6	NaCl	25 gram	1 mL
7	Na ₂ EDTA.2H ₂ O	10 gram	1 mL
8	KOH	6,2 gram	1 mL
9	FeSO ₄ . 7H ₂ O	4,98 gram	1 mL
10	Trace Metal		
	H ₃ BO ₃	2,86 gram	
	MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,81 gram	
	ZnSO ₄ . 7H ₂ O	0,222 gram	1 mL
	Na ₂ MOD ₄ . 2H ₂ O	0,39 gram	
	CuSO ₄ . 5H ₂ O	0,079 gram	
	Co(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	0,0494 gram	



Lampiran III DATA PENELITIAN

1. Data Kurva Pertumbuhan Mikroalga *C. emersonii*

Hari	Kontrol	Hari	0,8% CO ₂	Hari	1,5% CO ₂	Hari	2,3% CO ₂
2	0,1	2	0,1	2	0,1	2	0,1
4	0,11	4	0,127	4	0,147	4	0,158
6	0,134	6	0,149	6	0,165	6	0,175
8	0,145	8	0,156	8	0,186	8	0,225
10	0,156	10	0,168	10	0,183	10	0,254
12	0,226	12	0,242	12	0,267	12	0,284
14	0,245	14	0,268	14	0,284	14	0,293
16	0,256	16	0,275	16	0,3	16	0,324
18	0,26	18	0,274	18	0,313	18	0,342
20	0,273	20	0,293	20	0,326	20	0,356
22	0,254	22	0,275	22	0,3	22	0,315
24	0,25	24	0,263	24	0,286	24	0,298
26	0,225	26	0,235	26	0,275	26	0,286

2. Data Produktifitas Biomassa

Variasi CO ₂	Biomassa I (mg/L)	Biomassa II(mg/L)	Biomassa III(mg/L)	STDEV
Kontrol	309,2	298,8	304,68	7,353911
0,8% CO ₂	560	559,8	568,2	0,141421
1,5% CO ₂	638,6	629,2	633	6,646804
2,3% CO ₂	710,4	698,5	710,4	8,414571

3. Data Kandungan Lipid Total

A. Produktifitas Lipid

Stress Metabolic		Lipid (mg/L)			Rata-Rata	Standar Deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		
CO ₂	Kontrol	6,5	7,0	6,8	6,7	0,000252
	0,80%	7,3	7,0	7,5	7,2	0,000252
	1,50%	7,5	8,3	7,6	7,8	0,000436
	2,30%	7,7	8,7	9,5	8,6	0,000902

B. Rendemen

Stress Metabolic		Rendemen (%)			Standar Deviasi
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
CO ₂	Kontrol	32,5	31,7	30,5	31,56666667
	0,80%	36,5	33,5	34,7	34,9
	1,50%	37,5	34,7	35,7	35,96666667
	2,30%	38,5	35,9	37	37,13333333

4. Data Kandungan Karatenoid Total

Rumus :

$$\text{Chlorophil a (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 16,72 \times A_{665} - 9,16 \times A_{652}$$

$$\text{Chlorophil b (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 34,09 \times A_{652} - 15,28 \times A_{665}$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{(1000 \times A_{470}) - (1,63 \times \text{chlorophil a} - 104,96 \times \text{chlorophil b})}{221}$$

1. Kontrol

$$\text{Chlorophil a (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 16,72 \times 1,443 - 9,16 \times 0,952 = 15,40664$$

$$\text{Chlorophil b (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 34,09 \times 0,952 - 15,28 \times 1,443 = 10,40464$$

$$\text{Carotenoid} = \frac{(1000 \times 1,566) - (1,63 \times 15,40664 - 104,96 \times 10,40464)}{221} = 2,0$$

2. 0,8% CO₂

$$\text{Chlorophil a (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 16,72 \times 1,611 - 9,16 \times 1,057 = 17,2538$$

$$\text{Chlorophil b (} \mu\text{g/mL} \text{) } = 34,09 \times 1,057 - 15,28 \times 1,611 = 11,41705$$

$$\text{Carotenoid} = (1000 \times 1,416) - (1,63 \times 17,2538 - 104,96 \times 11,41705) / 221 \\ = 0,8$$

3. 1,5% CO₂

$$\text{Chlorophil a (} \mu\text{g/mL} \text{)} = 16,72 \times 1,30 - 9,16 \times 0,779 = 14,60036$$

$$\text{Chlorophil b (} \mu\text{g/mL} \text{)} = 34,09 \times 0,779 - 15,28 \times 1,30 = 6,69211$$

$$\text{Carotenoid} = (1000 \times 1,129) - (1,63 \times 14,60036 - 104,96 \times 6,69211) / 221 \\ = 1,8$$

4. 2,3% CO₂

$$\text{Chlorophil a (} \mu\text{g/mL} \text{)} = 16,72 \times 1,289 - 9,16 \times 0,67 = 15,4148$$

$$\text{Chlorophil b (} \mu\text{g/mL} \text{)} = 34,09 \times 0,67 - 15,28 \times 1,289 = 3,1444$$

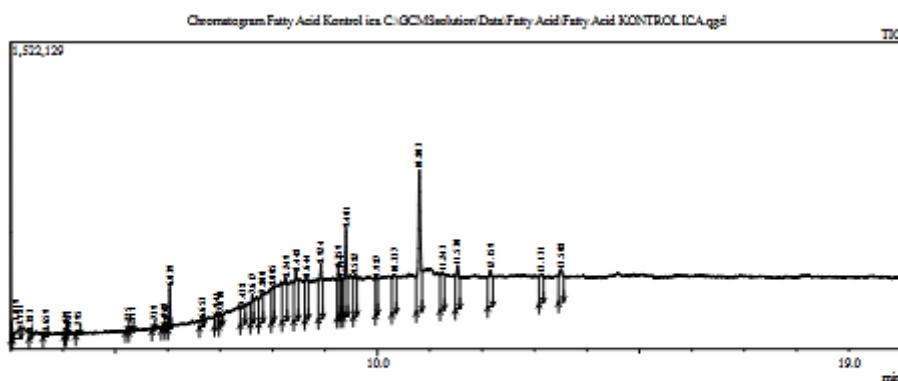
$$\text{Carotenoid} = (1000 \times 1,184) - (1,63 \times 15,4148 - 104,96 \times 3,1449) / 221 = 3,7$$

Produktifitas Karotenoid Total

		Karotenoid Total			Rata-Rata	Standar Deviasi
Stress Metabolic		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		
CO ₂	Kontrol	2	2,4	3,2	7,6	0,61101
	0,80%	0,9	0,9	0,8	2,6	0,057735
	1,50%	1,8	1,6	1,8	5,2	0,11547
	2,30%	3,7	3,9	4	11,6	0,152753

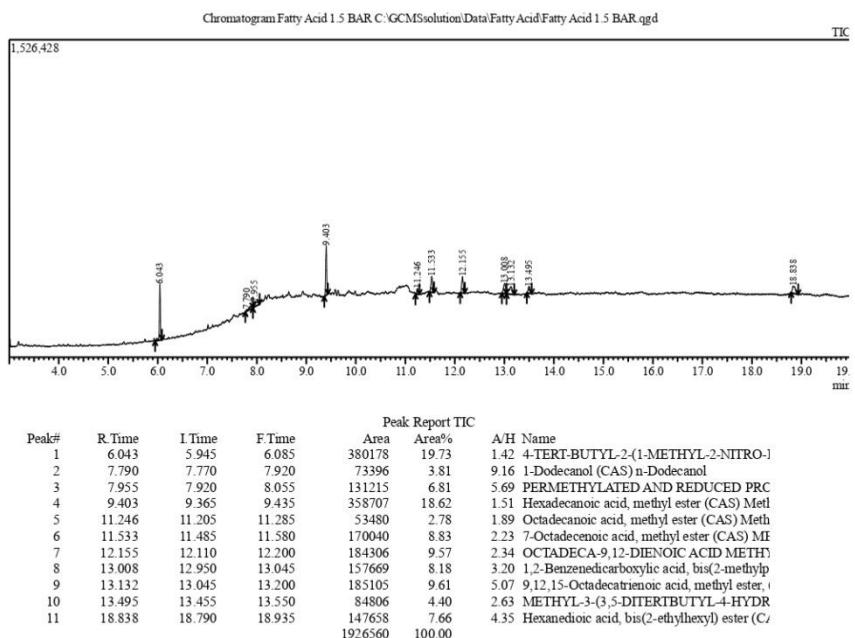
5. Data GC-MS

A. Kontrol



Peak#	Peak Report TIC				
	R.Time	I.Time	F.Time	Area	
				Area%	
1	3.019	3.010	3.035	71066	0.35
2	3.181	3.035	3.205	363393	1.81
3	3.383	3.335	3.415	91303	0.46
4	3.659	3.620	3.710	93265	0.46
5	4.039	4.020	4.065	33203	0.17
6	4.081	4.063	4.105	24125	0.12
7	4.295	4.245	4.335	36044	0.18
8	4.225	3.190	3.280	21909	0.11
9	5.311	5.260	5.345	24181	0.12
10	5.739	5.693	5.735	23308	0.14
11	5.919	5.873	5.950	54010	0.27
12	5.975	5.950	6.005	39807	0.20
13	6.039	6.005	6.070	297311	1.48
14	6.653	6.603	6.685	158430	0.79
15	6.941	6.890	6.975	227514	1.13
16	7.010	6.973	7.050	233623	1.16
17	7.438	7.383	7.480	477156	2.38
18	7.617	7.573	7.640	450677	2.25
19	7.800	7.733	7.820	671525	3.35
20	8.003	7.973	8.030	554553	2.76
21	8.249	8.180	8.230	1136267	5.66
22	8.443	8.405	8.495	1112469	5.54
23	8.644	8.613	8.683	826477	4.12
24	8.924	8.873	8.960	1079797	5.38
25	9.259	9.230	9.290	754533	3.76
26	9.311	9.290	9.330	680836	3.39
27	9.401	9.330	9.435	1302097	6.58
28	9.532	9.540	9.610	812594	4.05
29	9.987	9.960	10.010	542774	2.71
30	10.337	10.275	10.365	1000255	4.99
31	10.803	10.740	10.835	2462799	12.27
32	11.243	11.195	11.280	911764	4.54
33	11.530	11.483	11.575	966774	4.82
34	12.159	12.103	12.205	956069	4.77
35	13.131	13.083	13.170	698107	3.48
36	13.506	13.435	13.555	830199	4.24
				20065921	100.00

B. 2,3% CO₂



Lampiran IV Gambar Penelitian

<p>Pembentukan CO2 asap pembakaran batubara</p>	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Pembakaran Batubara</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Penyimpanan CO2 asap batubara kedalam kompresor</p> </div> </div>
<p>Pengaliran CO2 asap pembakaran batubara kedalam kultur mikroalga</p>	 <div style="text-align: center;"> <p>Pemberian CO2 asap pembakaran batubara kedalam kultur mikroalga</p> </div>
<p>Kultur mikroalga dan Biomassa yang dihasilkan</p>	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Kultur mikroalga <i>C. emersonii</i></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Biomassa basah</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Biomassa kering</p> </div> </div>

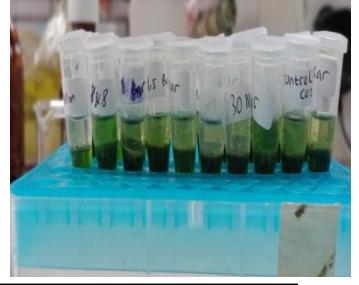
<p>Ekstraksi lipid Total</p> 		
	<p>Preparasi menimbang biomassa 0,02g</p> 	<p>Penambahan Air:Kloroform:Metanol (1:1:2)</p> 
<p>Sampel yang akan dikarakterisasi (GC-MS)</p> 	<p>Lipid Esterifikasi</p> 	<p>Fasa atas dikarakterisasi dengan GC-MS</p> 
<p>Ekstraksi Karotenoid</p>		<p>Ekstrak karotenoid total diukur dengan spektrofotometer</p>

Diagram Alir Penelitian

