

**APLIKASI GC UNTUK ANALISIS PROFIL ASAM LEMAK
EKSTRAK *Cyclotella striata* HASIL KULTIVASI MENGGUNAKAN
MEDIUM LIMBAH CAIR TAHU**

(Skripsi)

Oleh

**SINUR ANGELINA PUTRI
1917011091**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

APLIKASI GC UNTUK ANALISIS PROFIL ASAM LEMAK EKSTRAK *Cyclotella striata* HASIL KULTIVASI MENGGUNAKAN MEDIUM LIMBAH CAIR TAHU

Oleh

SINUR ANGELINA PUTRI

Mikroalga diketahui memiliki kemampuan memproduksi lipid (asam lemak). Pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya pH, cahaya, suhu, salinitas dan nutrisi (medium kultivasi). Pemenuhan nutrisi menjadi masalah yang dihadapi dalam kultivasi skala industri. Limbah cair tahu diketahui memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi dalam kultivasi mikroalga. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh medium terhadap profil asam lemak dari mikroalga *C. striata* yang dikultivasi dalam medium buatan dengan penambahan limbah cair tahu. Aklimatisasi *C. striata* dilakukan dalam medium dengan konsentrasi limbah cair tahu 1% kemudian ditingkatkan menjadi 5% yang selanjutnya dijadikan inokulum untuk kultivasi *C. striata* pada konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20%. Kepadatan sel *C. striata* diamati menggunakan hemasitometer dan mikroskop. Kepadatan dan produksi biomassa tertinggi didapatkan dari *C. striata* yang dikultivasi dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 20% secara berturut-turut sebesar $13,65 \times 10^5$ sel/mL dan 7,3 g/L. Biomassa yang didapat diekstrak, kemudian ditransesterifikasi. Diuji kromatografi lapis tipis (KLT) hasil transesterifikasi (*Fatty Acids Methyl Ester* = FAME) dan didapatkan nilai *R_f* 0,86. *Fatty Acids Methyl Ester* (FAME) yang didapat kemudian dimurnikan dengan kromatografi kolom dan diuji kromatografi lapis tipis (KLT) kembali. *Fatty Acids Methyl Ester* (FAME) hasil pemurnian kemudian dikeringkan dan dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Hasil karakterisasi memperlihatkan 9 puncak metil ester yang terdiri dari metil kaproat, metil kaprilat, metil dekanolat/kaprat, metil laurat, metil miristat, metil palmitat, metil stearat, metil oleat (omega-9) dan metil linoleat (omega-6). Mikroalga *C. striata* dapat tumbuh dalam medium limbah cair tahu dan dapat menghasilkan metil ester yang dapat dijadikan kajian lebih lanjut terkait pengembangan dalam industri farmasi.

Kata Kunci: aklimatisasi, asam lemak, *Cyclotella striata*, limbah cair tahu

ABSTRACT

GC APPLICATION FOR FATTY ACID PROFILE ANALYSIS EXTRACT OF *Cyclotella striata* CULTIVATED USING TOFU LIQUID WASTE MEDIUM

By

SINUR ANGELINA PUTRI

Microalgae are known have the ability to produce lipids (fatty acids). Microalgae growth is affected by several factors including pH, light, temperature, salinity and nutrients (cultivation medium). Nutrient fulfillment is a problem faced in industrial-scale cultivation. Tofu liquid waste is known to have a high content of organic matter that can be utilized as nutrients in microalgae cultivation. This research aims to see the effect of the medium on the fatty acid profile of microalgae *C. striata* cultivated in artificial medium with the addition of tofu liquid waste. Acclimatization of *C. striata* was carried out in a medium with a concentration of 1% tofu liquid waste and then increased to 5% which was then used as inoculum for cultivation of *C. striata* at concentrations of 5%, 10%, 15% and 20%. Cell density of *C. striata* was observed using a haemocytometer and microscope. The highest density and biomass production were obtained from *C. striata* cultivated in the addition of tofu liquid waste at a concentration of 20% with 13.65×10^5 cells/mL and 7.3 g/L, respectively. The biomass was extracted and then transesterified. Thin layer chromatography (TLC) test of transesterification results (Fatty Acids Methyl Ester = FAME) obtained an R_f value of 0.86. The obtained Fatty Acids Methyl Ester (FAME) was then purified by column chromatography and retested by thin layer chromatography (TLC). The purified Fatty Acids Methyl Ester (FAME) was dried and characterized using Gas Chromatography (GC). The characterization results showed 9 methyl ester peaks consisting of methyl caproate, methyl caprylate, methyl decanoate/caproate, methyl laurate, methyl myristate, methyl palmitate, methyl stearate, methyl oleate (omega-9) and methyl linoleate (omega-6). Microalgae *C. striata* can grow in tofu liquid waste medium and can produce methyl esters that can be used as further studies related to development in the pharmaceutical industry.

Keywords: acclimatization, *Cyclotella striata*, fatty acid, tofu liquid waste

**APLIKASI GC UNTUK ANALISIS PROFIL ASAM LEMAK
EKSTRAK *Cyclotella striata* HASIL KULTIVASI MENGGUNAKAN
MEDIUM LIMBAH CAIR TAHU**

Oleh

SINUR ANGELINA PUTRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

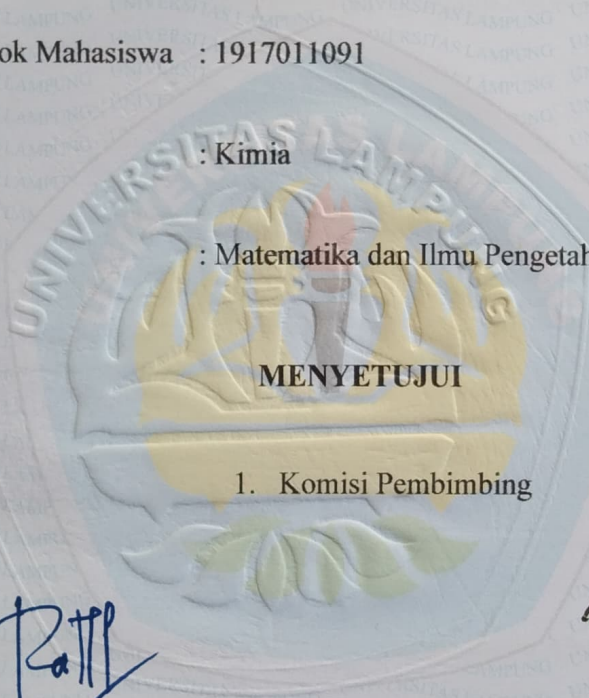
Judul Penelitian : **APLIKASI GC UNTUK ANALISIS PROFIL ASAM LEMAK EKSTRAK *Cyclotella striata* HASIL KULTIVASI MENGGUNAKAN MEDIUM LIMBAH CAIR TAHU**

Nama Mahasiswa : **Sinur Angelina Putri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011091

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M. Si.
NIP. 197707132009122002

Prof. Andi Setiawan, Ph. D.
NIP. 195809221988111001

2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNILA**

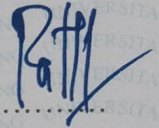
Mulyono, Ph. D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

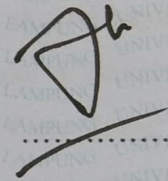
Ketua

: **Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M. Si**



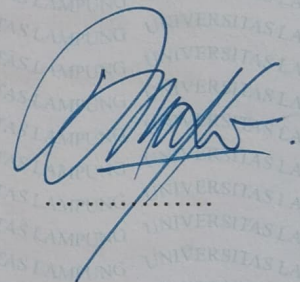
Sekretaris

: **Prof. Andi Setiawan, Ph. D**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Diky Hidayat, M. Sc**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, M. Si

NIP 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **14 Desember 2023**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sinur Angelina Putri

NPM : 1917011091

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul “**Aplikasi GC Untuk Analisis Profil Asam Lemak Ekstrak *Cyclotella striata* Hasil Kultivasi Menggunakan Medium Limbah Cair Tahu**” adalah benar karya saya sendiri, bukan karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 16 Januari 2024



Sinur Angelina Putri

NPM 1917011091

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pugung Raharjo, Lampung Timur pada tanggal 16 Maret 2001. Anak pertama dari empat bersaudara, putri dari Bapak Anton Nainggolan dan Ibu Rosina Sirait.

Penulis mulai menempuh pendidikan pada tahun 2006 di Taman Kanak-Kanak (TK) Kristen 2 Pugung Raharjo, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Kristen 5 Pugung Raharjo pada tahun 2007 dan aktif dalam mengikuti kegiatan ekstrakurikuler paduan suara serta pernah mendapatkan piagam penghargaan sebagai Juara 1 Paduan Suara Tingkat Kecamatan. Tahun 2013 penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 2 Sekampung Udik dan aktif mengikuti kegiatan OSIS, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Bandar Sribhawono pada tahun 2016. Semasa duduk di bangku SMA penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler Karya Ilmiah Remaja (KIR) dan Teenager English Club (TEC). Tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam jurusan Kimia melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Semasa berkuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, volunteer dan magang yang dilakukan secara virtual diantaranya Koordinator Sie Doa dan Pemerhati Persekutuan Oikumene Mahasiswa MIPA (POM MIPA) tahun 2021-2022, Member of Indonesia Millennial Connect tahun 2020-2021, Sosial Media Staff di CGI Creative Lab, Ekan Indonesia dan Litani Bestari tahun 2022, Digital Marketing Staff di Mewina Bakery tahun 2022, dan Publication Officer Staff di Det-Urgent Indonesia tahun 2021.

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menyertai dan melimpahkan berkat kemurahan-Nya dalam setiap perjalanan kehidupan penulis. Dengan penuh ucapan syukur dan kerendahan hati kupersembahkan karya yang sederhana ini kepada:

Bapak dan Mamak yang terus mendoakan, memotivasi dan mendukung penulis dalam menyelesaikan pendidikan. Terlebih khusus untuk Mamak yang terus menguatkan penulis selama ini.

Adik-adikku tersayang Yolatri Marsella br Nainggolan, Widya Lestari Nainggolan dan Uli Septiani Nainggolan beserta keluarga besar yang terus mendoakan keberhasilan bagi penulis.

Rasa hormat saya kepada:

Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M. Si

Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph. D

Bapak Diky Hidayat, M. Sc

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

MOTTO

Serahkanlah segala kekuatiranmu kepada-Nya, sebab Ia yang memelihara kamu.

(1 Petrus 5:7)

Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku.

(Filipi 4:13)

Life is a mountain. Your goal is to find your path, not to reach the top.

(Maxime Lagace)

The only way out is through.

(Robert Frost)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang baik, yang selalu menyatakan kasih dan kemurahan-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Skripsi dengan judul “Aplikasi GC Untuk Analisis Profil Asam Lemak Ekstrak *Cyclotella striata* Hasil Kultivasi Menggunakan Medium Limbah Cair Tahu” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Eng. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M. Si selaku Pembimbing Pertama yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan bimbingan, semangat, motivasi dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Andi Setiawan, Ph. D selaku Pembimbing Kedua yang telah sabar membimbing, memberikan saran dan nasihat serta membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini.
3. Bapak Diky Hidayat, M. Sc selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bimbingan, kritik, saran dan masukan bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Yandri A. S., M. S selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing serta memberikan saran dan nasihat bagi penulis selama menjalani proses akademik.

5. Bapak Mulyono, Ph. D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Ibu Mita Rilyanti, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M. Si selaku Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staff Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, khususnya jurusan Kimia atas bantuan dan dukungannya yang diberikan kepada penulis.
9. Kedua orang tua, terlebih khusus Mamak yang menjadi penguat bagi penulis serta adik-adikku tersayang Yola, Tari dan Uli yang terus memberikan semangat kepada penulis.
10. Keluarga besar Sirait dan Nainggolan yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
11. Bapak dan Ibu Gembala serta seluruh jemaat GPdI Kawat Sari yang terus mendoakan serta mendukung penulis dalam menyelesaikan pendidikan penulis.
12. Teman-teman Gapen Squad Ayuni, Ayusifa, Devani, Rendi, Nanang dan Roy yang terus saling mendukung dan memberikan semangat serta memberikan warna dalam kehidupan pendidikan penulis.
13. Teman-teman saya Ify, Silvi, Opi, Leha, Jihan dan Aidha yang sudah memberikan semangat serta bantuan kepada penulis dari awal memulai perkuliahan hingga penelitian selesai.
14. Kakak-kakak NGRJ Research yang telah membantu serta adik-adik seperbimbingan angkatan 2020: Fyra, Risdi, Olive dan Riyadi yang terus memberikan semangat selama penulis melaksanakan penelitian.

15. Teman-teman kimia angkatan 2019 dan teman-teman KKN yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih untuk bantuan, keceriaan dan kebersamaannya selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
16. Semua pihak lain yang telah membantu penulis selama perkuliahan hingga selesainya penyusunan skripsi ini.

Atas segala kebaikan, bantuan, dukungan, motivasi dan doa yang telah diberikan, kiranya Tuhan Yang Maha Pengasih membalaskannya dengan segala berkat dan hal-hal baik berlipat kali ganda. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 16 Januari 2024
Penulis

Sinur Angelina Putri

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Mikroalga.....	4
2.2. <i>Cyclotella striata</i>	4
2.3. Medium Kultivasi Mikroalga Dan Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan	5
2.4. Limbah Cair Tahu	6
2.5. Aklimatisasi	7
2.6. Lipid (lemak)	7
2.7. Reaksi Transesterifikasi	8
2.8. Kromatografi Lapis Tipis (KLT)	8
2.9. <i>Gas Chromatography</i> (GC)	9
III. METODE PENELITIAN	11
3.1. Waktu dan Tempat.....	11
3.2. Alat dan Bahan.....	11
3.3. Prosedur Penelitian	12
3.3.1. Kultivasi <i>Cyclotella striata</i>	12
3.3.2. Pemanenan dan Ekstraksi Lipid <i>C. striata</i>	13

3.3.3. Reaksi Transesterifikasi	13
3.3.4. Analisis Profil Asam Lemak dengan <i>Gas Chromatography</i> (GC)	13
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1. Isolat <i>Cyclotella striata</i>	15
4.2. Aklimatisasi <i>C. striata</i> dalam Medium Limbah Cair Tahu	15
4.3. Kultivasi dan Pertumbuhan <i>C. striata</i> Dalam Variasi Konsentrasi Limbah Cair Tahu	16
4.4. Transesterifikasi Lipid <i>C. striata</i>	19
4.5. Profil Metil Ester Lipid <i>C. striata</i>	21
V. KESIMPULAN DAN SARAN	26
5.1. Kesimpulan	26
5.2. Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik Kimia Limbah Cair Tahu Industri Bandar Lampung	6
2. Profil <i>Fatty Acids Methyl Ester</i> (FAME) <i>C. striata</i>	23
3. Data kepadatan sel <i>Cyclotella striata</i> dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 0% (standar)	38
4. Data kepadatan sel <i>Cyclotella striata</i> dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 5%	38
5. Data kepadatan sel <i>Cyclotella striata</i> dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 10%	39
6. Data kepadatan sel <i>Cyclotella striata</i> dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 15%	39
7. Data kepadatan sel <i>Cyclotella striata</i> dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 20%	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Blok Sistem Kromatografi Gas (Terry, 1975)	10
2. Penampakan mikroalga <i>Cyclotella striata</i> secara mikroskopik	15
3. a) Kultur hari ke-1, b) Kultur hari ke-8	16
4. Kurva Pertumbuhan <i>C. striata</i> yang dikultivasi dalam medium standar dan medium standar dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20%	17
5. a) KLT Ekstrak Lipid (<i>crude</i>) <i>C. striata</i> , b) KLT Hasil Transesterifikasi <i>C. Striata</i>	20
6. a) Kromatografi Kolom <i>Fatty Acids Methyl Ester</i> (FAME), b) KLT Hasil Kromatografi Kolom <i>Fatty Acids Methyl Ester</i> (FAME)	21
7. Kromatogram <i>Fatty Acids Methyl Ester</i> (FAME) <i>C. striata</i>	22

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Asam lemak memiliki peran dalam berbagai proses biologis, dalam tubuh asam lemak berperan dalam metabolisme dan kesehatan manusia. Studi epidemiologis menunjukkan perannya sebagai anti-inflamasi (mengurangi keparahan pada peradangan kulit) (Chen *et al.*, 2019), mengurangi konsentrasi Low Density Lipoprotein (LDL) (Froyen and Burns-Whitmore, 2020), peningkatan aktivitas sekresi pankreas, mengurangi risiko ulkus lambung-duodenal (Bermudez *et al.*, 2011), pemeliharaan kadar kolesterol darah (EFSA, 2011), anti-bakteri (Nitbani *et al.*, 2016), mempercepat penyembuhan luka (Zhang *et al.*, 2010) dan mengurangi risiko terkena penyakit kardiovaskular (Briggs *et al.*, 2017).

Asam lemak berdasarkan tingkat kejenuhannya dibedakan menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Asam lemak jenuh tidak memiliki ikatan rangkap pada atom karbonnya sedangkan asam lemak tak jenuh memiliki satu atau lebih ikatan rangkap pada atom karbonnya (Sartika, 2008). Asam lemak menjadi salah satu zat gizi yang dibutuhkan oleh tubuh. Beberapa asam lemak dapat disintesis oleh tubuh namun ada pula asam lemak (khususnya asam lemak tak jenuh) yang tidak dapat disintesis oleh tubuh sehingga untuk memperoleh manfaatnya didapatkan melalui makanan/suplemen yang dikonsumsi.

Sumber asam lemak (khususnya asam lemak tak jenuh) umumnya didapatkan dari ikan. Lebih dari 1 juta ton minyak ikan diproduksi per tahunnya. Populasi dunia yang terus bertambah setiap tahun, berdampak terhadap peningkatan kebutuhan pangan dunia termasuk produk-produk hasil yang berasal dari ikan. Ekstraksi asam lemak yang berasal dari ikan akan menyebabkan eksploitasi ikan secara besar-besaran untuk memenuhi kebutuhan asam lemak dan apabila dilakukan secara terus menerus akan berdampak terhadap kerusakan ekosistem laut. Asam

lemak yang didapatkan dari ikan tidak diproduksi oleh ikan secara langsung melainkan dari sumber makanan ikan itu sendiri yang mengandung asam lemak (Barra *et al.*, 2017).

Alternatif lain untuk memperoleh asam lemak, bisa didapatkan dari mikroalga. Mikroalga diketahui memiliki potensi sumber senyawa organik seperti protein, lipid, pigmen, sterol dan juga karbohidrat yang dapat digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, *biofuel* dan suplemen untuk kesehatan (Yang *et al.*, 2020). Mikroalga membutuhkan nutrisi untuk mendukung pertumbuhannya. Budidaya mikroalga dalam skala industri memerlukan biaya yang cukup besar untuk memenuhi nutrisi pertumbuhan mikroalga. Diperlukan solusi untuk menekan biaya budidayanya yakni dengan mencari pengganti nutrisi standar dengan nutrisi yang lebih terjangkau, contohnya dengan memanfaatkan limbah cair tahu.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui profil asam lemak pada mikroalga *Cyclotella striata* (*C. striata*) yang dikultivasi dalam medium buatan dengan modifikasi penambahan limbah cair tahu sebagai nutrisi. Nitrogen dan fosfor merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan mikroalga. Limbah cair tahu diketahui mengandung bahan karbon organik yang tinggi serta unsur hara sehingga dapat dimanfaatkan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga. Penelitian sebelumnya oleh Arinto dkk. (2013) memperlihatkan kemampuan mikroalga *Chlorella sp.* untuk dapat tumbuh dalam medium kultivasi dengan penambahan limbah cair tahu sebagai nutrisi dan memberikan produksi biomassa dua kali lebih banyak dibandingkan dengan *Chlorella sp.* yang dikultivasi dalam medium standar. Profil asam lemak pada mikroalga *C. striata* dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography* (GC). Metode *Gas Chromatography* (GC) dipilih karena memiliki kelebihan antara lain waktu analisis yang cepat, volume sampel yang rendah dan akurat (Tang and Row, 2013). Sampel (volatil) akan dibawa oleh aliran gas ke dalam kolom pemisah dan hasil pemisahan akan terlihat pada kromatogram yang didapat. Pemanfaatan *Gas Chromatography* (GC) untuk analisis asam lemak mikroalga sebelumnya telah dilakukan oleh Kurnia *et al.* (2019) pada mikroalga laut

Chlorella vulgaris dan memberikan hasil kromatogram yang memperlihatkan 18 puncak senyawa metil ester asam lemak.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan limbah cair tahu sebagai medium kultivasi mikroalga *C. striata*.
2. Mendapatkan informasi profil asam lemak pada mikroalga *C. striata* menggunakan instrumen *Gas Chromatography* (GC).

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait penggunaan limbah cair tahu sebagai medium kultivasi mikroalga yang lebih ekonomis untuk produksi biomassa mikroalga serta mengetahui profil asam lemak yang terkandung dalam mikroalga *C. striata* hasil kultivasi menggunakan limbah cair tahu sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pengaplikasiannya di berbagai industri seperti industri farmasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mikroalga

Mikroalga merupakan kelompok autotrof fotosintetik yang dapat hidup di air laut, payau dan juga air tawar. Mikroalga menghasilkan oksigen melalui proses fotosintesis dengan mengubah air dan karbon dioksida menjadi karbohidrat dan oksigen menggunakan energi cahaya matahari (Tan *et al.*, 2020). Kelompok mikroalga sangat beragam dan mencakup banyak filum berbeda dengan karakteristik dan sifat uniknya masing-masing mulai dari *Cyanobacteria* seluler tunggal prokariotik hingga mikroalga eukariotik multiseluler yang lebih kompleks. Sel mikroalga tersusun oleh lipid, protein, karbohidrat, klorofil dan karotenoid.

Budidaya mikroalga tidak memerlukan lahan subur, air tawar dalam jumlah besar, serta herbisida dan pestisida jika dibandingkan dengan tanaman lain sehingga tidak akan bersaing memperebutkan sumber daya. Budidaya mikroalga bahkan dapat dilakukan dengan menggunakan air limbah seperti air limbah domestik dan limbah penggilingan kelapa sawit yang dapat membantu dalam bioremediasi air limbah. Selain pengolahan air limbah, budidaya mikroalga juga dapat membantu pengurangan karbon dioksida di atmosfer melalui fotosintesis, sehingga secara efektif berkontribusi terhadap upaya mengatasi efek rumah kaca dan pemanasan global (Randrianarison and Ashraf, 2017).

2.2. *Cyclotella striata*

Cyclotella striata memiliki pigmen hijau kekuningan sampai coklat keemasan, dinding selnya disusun oleh dua belahan (*hipoteca* dan *epiteca*), memiliki klorofil, dan berbentuk bulat.

Berdasarkan AlgaeBase, *C. striata* diklasifikan sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Chromista</i>
Filum	: <i>Bacillariophyta</i>
Subfilum	: <i>Bacillariophytina</i>
Kelas	: <i>Mediophyceae</i>
Subkelas	: <i>Thalassiosirophycidae</i>
Ordo	: <i>Stephanodiscales</i>
Famili	: <i>Stephanodiscaceae</i>
Genus	: <i>Cyclotella</i>
Spesies	: <i>Cyclotella striata</i> (Guiry <i>et al.</i> , 2014)

2.3. Medium Kultivasi Mikroalga Dan Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan

Medium kultivasi mikroalga adalah campuran bahan-bahan sumber nutrisi (makro dan mikro) yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk tumbuh (Andersen, 2005). Makronutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroalga antara lain C, H, N, P, K, S, Mg, dan Ca, sedangkan mikronutrien yang dibutuhkan antara lain Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Vn dan Si (Kawaroe *et al.*, 2010). Pemenuhan nutrisi pada medium kultivasi dinilai dapat mempengaruhi biomassa hasil kultivasi mikroalga.

Pertumbuhan mikroalga juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya cahaya, suhu, CO₂, pH, aerasi dan salinitas. Cahaya dibutuhkan oleh mikroalga untuk proses fotosintesis (Krzeminska *et al.*, 2014). Kultivasi mikroalga dalam skala laboratorium dilakukan dengan mengatur pencahayaan (gelap terang) untuk mendukung proses fotosintesis. Suhu optimal yang dibutuhkan untuk kultivasi mikroalga berkisar antara 20-30°C (Thorton *et al.*, 2010). Sama seperti tumbuhan, mikroalga juga melakukan fotosintesis sehingga membutuhkan CO₂. pH umum untuk kultivasi mikroalga berkisar antara 6-8. Aerasi berfungsi untuk mencegah pengendapan biomassa, untuk pencampuran nutrisi dan meningkatkan difusivitas gas CO₂. Salinitas merupakan kadar garam yang terlarut dalam air yang biasa dinyatakan dalam satuan ppt (*part per thousand*), pada mikroalga *Spirulina sp.*

nilai salinitas untuk pertumbuhan optimalnya berada dikisaran 15-25 ppt (*part per thousand*) (Haryati, 2008).

2.4. Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu diperoleh dari proses pencucian, perendaman, perebusan dan pencetakan tahu. Pembuangan limbah cair tahu secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat berdampak buruk bagi lingkungan, seperti turunnya kualitas air dan terganggunya kehidupan makhluk hidup serta mikroorganisme perairan. Limbah cair tahu mengandung padatan tersuspensi yang menyebabkan air limbah menjadi terlihat kotor/keruh (Subekti, 2011) serta kandungan senyawa organik yang cukup tinggi yang kemudian terurai dan menimbulkan bau tidak sedap serta meningkatkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD).

Senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tahu antara lain protein (40-60%), karbohidrat (25-50%) dan lemak (10%) (Sugiharto, 1997). Selain itu limbah cair tahu juga mengandung unsur hara seperti N (1,24%), P₂O₅ (5,54%), K₂O (1,34%), dan C-organik (5,803%) (Asmoro, 2008). Kandungan unsur hara ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman dan nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga. Tabel 1 menyajikan hasil karakterisasi limbah cair tahu dari industri tahu di Bandar Lampung (Asril, dkk., 2019).

Tabel 1. Karakteristik Kimia Limbah Cair Tahu Industri Bandar Lampung

Parameter	Nilai	Baku Mutu
BOD (mg/L)	3210	150
COD (mg/L)	7102	300
Total Protein	20,74	-
pH	5	6-9

2.5. Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah tahap penyesuaian diri suatu organisme terhadap lingkungan baru tempat hidupnya (Hazarika, 2003). Aklimatisasi dilakukan agar mendapatkan bibit unggul yang mampu bertahan hidup di lingkungan barunya. Dalam proses aklimatisasi suatu organisme akan berusaha menyesuaikan perilaku, morfologi dan juga jalur metabolismenya pada lingkungan yang baru. Proses aklimatisasi bisa saja gagal apabila faktor yang mempengaruhi proses tumbuh kembangnya terlalu banyak perubahan. Kegagalan dapat diminimalisir dengan melakukan proses aklimatisasi secara bertahap dalam peningkatan stress lingkungannya.

Suhu, derajat keasaman, dan kadar oksigen merupakan komponen yang umumnya diperhatikan dalam aklimatisasi, lama waktu aklimatisasi bergantung pada perbedaan antara lingkungan hidup lama dengan yang baru (Rittner and Bailey, 2005). Aklimatisasi diaplikasikan pada proses pembenihan tanaman, pembenihan ikan, teknik kultur jaringan, pembudidayaan tanaman dan penumbuhan mikroorganisme.

2.6. Lipid (lemak)

Dalam tubuh lemak berfungsi sebagai sumber energi, komponen dari membran sel, mediator aktivitas biologis antar sel, isolator dalam menjaga keseimbangan suhu tubuh, pelindung organ tubuh serta pelarut vitamin A, D, E, dan K. Dalam tubuh, lemak menghasilkan energi dua kali lebih banyak dibandingkan dengan protein dan karbohidrat. Komponen dasar lemak adalah asam lemak dan gliserol yang diperoleh dari hasil hidrolisis lemak, minyak maupun senyawa lipid lainnya. Asam lemak pembentuk lemak dapat dibedakan berdasarkan jumlah atom C (karbon), ada atau tidaknya ikatan rangkap, jumlah ikatan rangkap serta letak ikatan rangkap.

Berdasarkan struktur kimianya, asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid/SFA*) yaitu asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap, sedangkan asam lemak yang memiliki ikatan rangkap disebut sebagai asam lemak

tidak jenuh (*Unsaturated Fatty Acids*), dibedakan menjadi *Mono-Unsaturated Fatty Acid* (MUFA) memiliki 1 (satu) ikatan rangkap, dan *Poly-Unsaturated Fatty Acid* (PUFA) dengan satu atau lebih ikatan rangkap (Ketaren, 1986).

2.7. Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang terjadi antara minyak (trigliserida) dengan alkohol (Darnoko and Cheryan, 2000). Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi setimbang dan transformasinya terjadi karena adanya pencampuran reaktan. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi tiga tahap reversibel dimana mono dan digliserida terbentuk sebagai intermediate (Freedman *et al.*, 1986). *Yield* alkil ester dapat dimaksimalkan perolehannya dengan penggunaan alkohol berlebih untuk memudahkan pemisahan fasanya (Schuchardt *et al.*, 1998).

Faktor yang mempengaruhi proses transesterifikasi antara lain suhu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis serta perbandingan alkohol-asam lemak. Pengadukan akan membantu difusi lemak hingga terbentuk metil ester (Hui, 1996). Katalis membantu mempercepat terjadinya reaksi. Alkohol yang umum digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah metanol karena merupakan alkohol rantai pendek yang stabil.

2.8. Kromatografi Lapis Tipis (KLT)

Kromatografi lapis tipis adalah teknik kromatografi yang digunakan untuk memeriksa kemurnian suatu produk, kromatografi lapis tipis memiliki kelebihan yakni penggunaan yang mudah, biaya yang relatif murah, sederhana dan cepat. Kromatografi lapis tipis menggunakan plat silika gel sebagai fase diam dan pelarut sebagai fase gerak. Pemilihan pelarut sebagai fase gerak dipengaruhi oleh polaritas senyawa kimia yang akan dipisahkan.

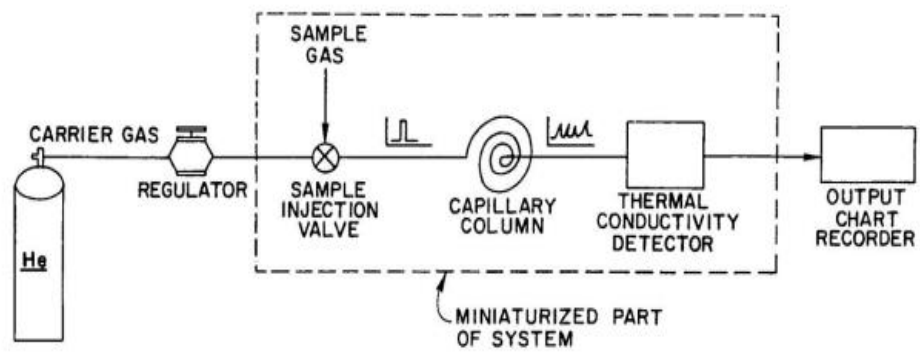
Setiap senyawa mempunyai nilai faktor retardasi (*Retention factor = Rf*) masing-masing. Akhir dari proses pemisahan komponen akan terlihat berupa noda spot

pada plat. Jarak yang ditempuh spot pada plat KLT diukur dan dihitung nilai R_f -nya (Khopkar, 2007). Senyawa yang didapat diidentifikasi melalui nilai R_f yang didapat. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi nilai R_f antara lain dimensi dan jenis ruang, sifat dan ukuran lempeng, kondisi kesetimbangan, waktu, arah aliran fase gerak, volume dan komposisi fase gerak.

2.9. Gas Chromatography (GC)

Gas Chromatography adalah salah satu teknik kromatografi yang digunakan untuk mendeteksi senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah serta dapat dipanaskan (Drozd, 1985). Pemisahan dengan *gas chromatography* didasarkan pada sebaran cuplikan sebagai fase diam dan gas sebagai fase gerak yang melulusi fase diam. Adapun cara kerja *gas chromatography* adalah fase gerak yang merupakan gas mengalir dibawah tekanan melalui pipa yang dipanaskan dan disalut dengan fase diam cair. Analit akan dimuatkan ke bagian atas kolom melalui injeksi yang dipanaskan. Kemudian akan terjadi pemisahan antar komponen, dimana proses pemisahan ini bergantung pada waktu relative yang dibutuhkan oleh komponen-komponen di fase diam (Sparkman *et al.*, 2011).

Waktu retensi adalah waktu yang menunjukkan berapa lama suatu senyawa tertahan di kolom yang diukur mulai saat injeksi sampai elusi terjadi. Menurut Eaton (1989), hal yang mempengaruhi waktu retensi diantaranya sifat senyawa, sifat adsorben, konsentrasi adsorben, temperature kolom, aliran gas pemabawa dan panjang kolom.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kromatografi Gas (Terry, 1975)

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2022 - Juli 2023 di Laboratorium Kimia Dasar Universitas Lampung dan Balai Besar Industri Agro Bogor. Kultivasi mikroalga dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar Universitas Lampung. Karakterisasi *Gas Chromatography* (GC) dilakukan di Balai Besar Industri Agro Bogor.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat-alat gelas (gelas beaker, gelas ukur, pengaduk kaca, erlenmeyer, labu ukur, pipet tetes, tabung reaksi, penjepit tabung reaksi, botol vial 20 mL, labu evaporator), botol 1 liter, spatula, aluminium foil, lakban, serangkaian alat penyaring air, timbangan elektrik KERN 440-47N, plastik tahan panas, mikropipet Volac Smart Gen-Next Pipette (100-1000 μ L), perlengkapan KLT, pipa kapiler, plastik wrap, tisu, kapas, karet gelang, aerator SPA-602 Double Type, lampu tube light 35 watt, *centrifuge* Hitachi CF16RXII, *autoclave* Tomy SX-700 High Pressure Steam Sterilizer, *rotary evaporator* Buchi/Ratavor R-20, *haemocytometer* Improved Neubauer, mikroskop ZEISS Axio Imager Z2m, penangas Hot Plate Wiggens Houser HPS 630, kaca preparat, ultrasonik Bandelin/Sonorex Technic 80 Hz, *Gas Chromatography-Flame Ionization Detector* (GC-FID) Shimadzu TR-CN100, pH indikator, salinometer WT-11 dan *magnetic stirrer* Stuart SD 162.

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain isolat *C. striata* koleksi Laboratorium Biokimia Gedung Riset dan Inovasi Institut Teknologi Bandung, hasil sampling di Pulau Tanjung Bidadari, Kepulauan Seribu, Jakarta Indonesia, limbah cair tahu, air laut buatan, akuadest, bayclin, FeCl_3 ,

KNO₃, TSP, NaSiO₃, Na₂CO₃, NaOH, plat KLT 60G F254, H₂SO₄, metanol dan etanol.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Kultivasi *Cyclotella striata*

Kultivasi Dalam Medium Standar (Walne) : air laut, nutrisi dan alat yang digunakan dalam kultivasi disterilisasi menggunakan autoclave selama 15 menit dengan suhu 121°C pada 1,2 Mpa (Bochenski, 2019). Kultivasi *C. striata* mengacu pada Nurachman *et al.* (2012), *C. striata* ditumbuhkan pada medium air laut buatan dengan salinitas air 22 ppt (*part per thousand*) dengan penambahan nutrisi diantaranya 1,8 mL KNO₃; 1,8 mL FeCl₃; 2,3 mL TSP; 1,38 mL NaSiO₃ dan 1 mL Na₂CO₃ dalam 700 mL air laut buatan. Inokulum (*C. striata*) yang digunakan sebanyak 200 mL. Medium kultivasi mikroalga diatur rentang pH-nya antara 7,4 - 8,2 dengan pencahayaan 12 jam terang dan 12 jam gelap menggunakan lampu fluoresen. Suplai O₂ dan pengadukan dilakukan menggunakan aerator serta diatur suhu $\pm 27^{\circ}\text{C}$ (Boopathy *et al.*, 2018). Pertumbuhan *C. striata* diukur setiap hari hingga fase stasioner dan kepadatan sel diamati menggunakan mikroskop ZEISS Axio Imager Z2m.

Kultivasi Dalam Medium Standar (Walne) Dengan Penambahan Limbah Cair Tahu: limbah cair tahu didapatkan dari industri tahu di Bandar Lampung. Limbah cair tahu yang didapat selanjutnya disaring untuk menghilangkan partikel pengotor dan disimpan pada suhu -20°C untuk mencegah degradasi. Aklimatisasi merujuk pada Sinha *et al.* (2015) dengan sedikit modifikasi. Aklimatisasi diawali dengan kultivasi mikroalga *C. striata* pada medium standar dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 1%. Nutrisi yang ditambahkan sebanyak setengah dari kultivasi yang dilakukan pada medium standar kemudian ditambahkan NaOH sampai medium memiliki nilai pH 8. Hasil kultivasi mikroalga *C. striata* aklimatisasi limbah cair tahu konsentrasi 1% (hari ke-8) dijadikan sebagai inokulum untuk aklimatisasi lanjutan dengan peningkatan konsentrasi limbah cair tahu menjadi 5%. Aklimatisasi *C. striata* pada konsentrasi limbah cair tahu 5%

dilakukan sebanyak dua kali hingga pertumbuhan sel stabil. Kondisi lingkungan saat aklimatisasi dibuat sama seperti kultivasi di medium standar.

3.3.2. Pemanenan dan Ekstraksi Lipid *C. striata*

Biomassa mikroalga *C. striata* dipanen menggunakan teknik sentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit (Medina *et al.*, 2019). Ekstraksi dilakukan menggunakan metode sonikasi dengan frekuensi 50 Hz selama 15 menit. Pelarut etanol dan n-heksana digunakan untuk ekstraksi lipid dengan perbandingan 1:3 (biomassa : pelarut). Hasil ekstraksi disaring menggunakan kertas saring dan dihilangkan pelarutnya menggunakan *rotary vacuum evaporator* dengan suhu 40°C, kecepatan 60 rpm dan tekanan 200 mBar (Adhianata, 2012).

3.3.3. Reaksi Transesterifikasi

Ekstrak lipid *C. striata* sebanyak 1 mL direaksikan dengan metanol dengan perbandingan 1:3 untuk melakukan reaksi transesterifikasi (Thao *et al.*, 2013) dan dibantu katalis asam H₂SO₄ untuk mempercepat terjadinya reaksi. Campuran ekstrak lipid *C. striata* dan katalis dipanaskan dalam tabung reaksi menggunakan waterbath pada suhu 40°C. Kromatografi lapis tipis (KLT) dilakukan untuk mengetahui telah terbentuknya metil ester hasil reaksi transesterifikasi.

3.3.4. Analisis Profil Asam Lemak dengan *Gas Chromatography* (GC)

Profil asam lemak dalam lipid mikroalga *C. striata* dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* (GC) dengan kondisi alat sebagai berikut:

Detektor	: FID, temperatur = 260°C
Aliran H ₂	: 40 mL/ menit
Aliran udara	: 350 mL/menit
Kolom	: TR-CN100, serial number = C12264, max temperatur = 250°C

Panjang kolom : 60 m
Gas pembawa : He
Tekanan : 165 kPa
Injection mode : Split, temperatur = 250°C

Metil ester asam lemak yang terbentuk dari reaksi transesterifikasi akan memudahkan analisis *Gas Chromatography* (GC) karena turunan asam lemak ini mudah menguap dan stabil (Khopkar, 2007).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Limbah cair tahu dapat dimanfaatkan sebagai medium kultivasi mikroalga *C. striata*. Penambahan limbah cair tahu meningkatkan laju pertumbuhan, kepadatan sel dan produksi biomassa.
2. *Cyclotella striata* yang dikultivasi dengan penambahan limbah cair tahu konsentrasi 20% memberikan kepadatan sel tertinggi dan produksi biomassa yang lebih besar secara berturut-turut sebanyak $13,65 \times 10^5$ sel/mL dan 7,3 g/L dibandingkan dengan *C. striata* yang dikultivasi dalam medium standar dengan kepadatan sel sebanyak $7,35 \times 10^5$ sel/mL dan produksi biomassa sebanyak 3,5 g/L.
3. *Fatty Acids Methyl Ester* (FAME) yang didapat dari hasil transesterifikasi diuji KLT dan diperoleh nilai R_f 0,86.
4. Hasil analisis *Gas Chromatography* (GC) diperoleh 9 jenis metil ester yang terdiri dari metil kaproat, metil kaprilat, metil dekanat/kaprat, metil laurat, metil miristat, metil palmitat, metil stearat, metil oleat (omega-9) dan metil linoleat (omega-6).

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk uji klinis pemanfaatan asam lemak yang terkandung dalam mikroalga *C. striata* hasil kultivasi dalam medium limbah cair tahu.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhianata, H. 2012. Uji Aktivitas Senyawa Anti Mikroba Ekstrak Mikroalga (*Tetraselmis chuii*) Metode Sonikasi. *Thesis*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Andersen, A and Robert. 2005. *Alga Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. USA.
- Arinto, D. J., Paramastri, H. P. dan Soetrisnanto, D. 2013. Potensi Air Dadih (*Whey*) Tahu sebagai Nutrien Dalam Kultivasi *Chlorella sp.* untuk Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2. 4:233-242.
- Armada, D. T. 2013. Pertumbuhan Kultur Mikroalga Diatom *Skeletonema costatum* (Grenville) Cleve Isolat Jepara pada Medium *f/2* dan Medium *Conway*. *J. Bioma*. 2:1.
- Asmoro, Y. 2008. Pemanfaatan Limbah Tahu untuk Peningkatan Hasil Tanaman Petai (*Brassica chinensis*). *Jurnal Bioteknologi*. 5. 2:51-55.
- Asril, M., Oktaviani, I., dan Leksikowati, S. S. 2019. Isolasi Bakteri *Indigineous* dari Limbah Cair Tahu Dalam Mendegradasi Protein dan Melarutkan Fosfat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 20. 1.
- Aziz, I., Nurbayti, S. dan Ulum, B. 2011. Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Valensi*. 2:443-448.
- Barra M., Rivera A. L., Cruzat F., Maureira N. P., and Saldia G. R. R. 2017. The Marine Fungi *Rhodotorula sp.* (strain cny4007) as A Potential Feed Source for Fish Larvae Nutrition. *Marine Drugs*. 15. 12:369.

- Bermudez, B., Lopez, S., Ortega, A., Varela, L.M., Pacheco, Y.M., Abia, R. and Muriana, F.J. 2011. Oleic Acid in Olive Oil: From A Metabolic Framework Toward A Clinical Perspective. *Curr. Pharm.* 17:831-843.
- Birkholz, M., Malti, D. E., Hartmann, S. and Neubauer, P. 2022. Separation of Heterotrophic Microalgae *Cryptocodinium cohnii* By Dielectrophoresis. *Frontiers in bioengineering and biotechnology.* 10.
- Bochenski, T., Chaturvedi, T., Thomsen, M. H. and Schmidt, J. E. 2019. Evaluation of Marine *Synechococcus* for An Algal Biorefinery in Arid Regions. *Energies.* 12. 12:2233.
- Boopathy, A. B., Jayakumar, T., Rajaram, M. G., Mohan, N., Senthil, C., Nagaraj, S., Rengasamy, R., Manubolu, M., Sheu, J. R. and Chang, C. C. 2018. Mass Cultivation of New Algae *Tetraselmis striata* BBRR I Under Open Raceway Ponds for Biodiesel and Biocrude Production. *Preprints.* University of Madras.
- Breuer, G., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B. and Wijffels, R. H. 2012. The Impact of Nitrogen Starvation on The Dynamics of Triacylglycerol Accumulation in Nine Microalgae Strains. *Bioresource Technology.* 124:217-226.
- Briggs, M. A., Petersen, K. S. and Kris-Etherton, P. M. 2017. Saturated Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Replacements for Saturated Fat to Reduce Cardiovascular Risk. *Healthcare (Basel).* 5. 2:29.
- Chattopadhyay, S., Das, S. and Sen, R. 2011. Rapid and Precise Estimation of Biodiesel by High Performance Thin Layer Chromatography. *Applied Energy.* 88:5188-5192.
- Chen, C. Y., Lee, Y. H., Chang, S. H., Tsai, Y. F., Fang, J. Y. and Hwang, T. L. 2019. Oleic Acid-Loaded Nanostructured Lipid Carrier Inhibits Neutrophil Activities in The Presence of Albumin and Alleviates Skin Inflammation. *Int J Nanomedicine.* 14:6539-6553.
- Choi, S., Won, S. and Rhee, H. 2010. *Oleic Acid and Inhibition of Glucosyltransferase: Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention.* Elsevier Inc. Amsterdam.

- Darnoko, D. dan Cheryan, M. 2000. Continuous Production of Palm Metyl Ester. *J. Am.Oil Chem.Soc.* 77:1269- 1272.
- Daryono, E. D. 2020. Proses Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel dengan Co-Solvent Metil Ester. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan.* 4:1-8.
- Daryono, E. D., Rahman, F. F. A. dan Zukhriyah, Z. 2022. Penggunaan Metanol Sisa Reaksi sebagai Reaktan pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknologi.* 14. 2.
- Deba, Grace Nadya Putri. 2021. Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan *Cyclotella striata*. *Skripsi.* FMIPA Universitas Lampung, Lampung.
- Drozd, J. 1985. Chemical Derivatization in Gas Chromatography. *Journal of Chromatography Library.* 19.
- Eaton, D. C. 1989. *Laboratory Investigationd in Organic Chemistry.* Mc Graw Hill. USA.
- Elystia, S., Larasati, D. dan Muria, S. R. 2020. Produksi Lipid dari Mikroalga *Scenedesmus sp.* pada Media Limbah Cair Tahu dengan Variasi Konsentrasi Limbah dan Photoperiod. *Jurnal Teknik Lingkungan.* 5. 2: 54-61.
- European Food Safety Authority. 2011. Scientific Opinion on The Substantiation of Health Claims Related to Polyphenols in Olive and Protection of LDL Particles from Oxidative Damage (ID 1333, 1638, 1639, 1696, 2865), Maintenance of Normal Blood HDL-Cholesterol Concentrations (ID 1639), Maintenance of Normal Blood Pressure (ID 3781), “Anti-Inflammatory Properties” (ID 1882), “Contributes to The Upper Respiratory Tract Health” (ID 3468), “Can Help to Maintain A Normal Function of Gastrointestinal Tract” (3779), and “Contributes to Body Defences Against External Agents” (ID 3467) Pursuant to Article 13 (1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal.* 9. 4:2033.
- Endrawati, H. dan Riniatsih, I. 2013. Kadar Total Lipid Mikroalga *Nannochloropsis oculata* yang Dikultur dengan Suhu Yang Berbeda. *Buletin Oseanografi Marina.* 1:25-33.

- Farvid, M. S., Ding, M., Pan, A., Sun, Q., Chiuve, S. E., Steffen, L. M., Willett, W. C. and Hu, F. B. 2014. Dietary Linoleic Acid and Risk of Coronary Heart Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Circulation*. 130. 18:1568-78.
- Freedman, B., Butterfield, R. O. and Pryde, E. H. 1986. Transesterification Kinetics of Soybean Oil. *J Am Oil Chem Soc*. 63:1375-80.
- Froyen, E. and Burns-Whitmore, B. 2020. The Effects of Linoleic Acid Consumption on Lipid Risk Markers for Cardiovascular Disease in Healthy Individuals: A Review of Human Intervention Trials. *Nutrients*. 12. 8:2329.
- Guiry, M. D., Guiry, G. M., Morrison, L., Rindi, F., Valenzuela, M. S., Mathieson, A. C., Parker, B. C., Langangen, A., John, D. M., Barbara, I., Carter, C. F., Kuipers, P. and Garbary, D. J. 2014. Algaebase: An On-Line Resource for Algae. *Algologie*. 2:105-115.
- Haryati, R. 2008. Pertumbuhan dan Biomassa *Spirulina sp.* dalam Skala Laboratoris. *BIOMA*. 10. 1:19-22.
- Hazarika, B. N. 2003. Acclimattization of Tissue Cultured Plants. *Current Science*. 85. 12:1704-1712.
- Hui, Y. 1996. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Hooper, L., Al-Khudairy, L., Abdelhamid, A. S., Rees, K., Brainard, J. S., Brown, T. J., Ajabnoor, S. M., O'Brien, A. T., Winstanley, L. E., Donaldson, D. H., Song, F. and Deane, K. H. 2018. Omega-6 Fats for The Primary and Secondary Prevention of Cardiovascular Disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 11. 11.
- Istirokhatun, T., Aulia, M. dan Sudarno. 2017. Potensi *Chlorella sp.* untuk Menyisihkan COD dan Nitrat dalam Limbah Cair Tahu. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 14. 2.

- Kawaroe, M., T., Partono, A., Sunudin, D. S., Wulan, D. dan Augustine. 2010. *Mikroalga: Potensi dan Pemanfaatannya untuk Produksi Bio Bahan Bakar*. IPB Press. Bogor.
- Ketaren, S. 1996. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press. Jakarta.
- Khopkar, S. M. 2007. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press. Jakarta.
- Krzeminska, I., Pawlink S. B., Trzcinska, M. and Tys, J. 2014. Influence of Photoperiods on The Growth Rate Biomass Productivity of Green Microalgae. *J. Bioproc. Biosystems Eng.* 37:735-741.
- Kurnia, D., Yuliantini, A. and Nurachman, Z. 2019. Fatty Acid Analysis of Marine Microalgae *Chlorella vulgaris* in Modified Medium Used GC-FID. *Journal Of Physics: Conf. Series.* 1338.
- Medina, E., Cerezal, P., Morales, J. and Dominguez, M. C. R. 2019. Fucoxanthin from Marine Microalga *Isochrysis galbana*: Optimization of Extraction Methods With Organic Solvents. *DYNA.* 86. 210:174-178.
- Mir, Y., Brakez, Z., El Alem, Y. and Bazzi, L. 2020. Investigation of Lipid Production and Fatty Acid Composition in Some Native Microalgae from Agadir Region in Morocco. *African Journal of Biotechnology.* 19. 10:754-762.
- Mourelle, M., Gomez, C. and Legido, J. 2017. The Potential Use of Marine Microalgae and Cyanobacteria in Cosmetics and Thalassotherapy. *Cosmetics.* 4:46.
- Mulya, M dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumental*. Airlangga University Press. Surabaya.
- Nasution, Azlaini Yus dan Renni Izmi Indriani. 2021. Determination of Lead (Pb) in Patin Fish Oil (*Pangasius hypophthalmus*) Using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Proteksi Tanaman.* 10. 1:1-5.

- Nitbani, F., Jumina, J., Siswanta, D. and Sholikhah, E. 2016. Isolation and Antibacterial Activity Test of Lauric Acid from Crude Coconut Oil (*Cocos nucifera* L.). *Procedia Chem.* 18:132-40.
- Nurachman, Z., Hartati., Anita, S., Anward, E. E., Novirani, G., Mangindaan, B., Gandasmita, S., Syah, Y. M., Panggabean, L. M. G. and Suantika, G. 2012. Oil Productivity of The Tropical Marine Diatom *Thalassiosira* sp. *Bioresource Technology.* 108:240-244.
- Pahl, S. L., Lewis. D. M., Chen, F. and King, K. D. 2010. Growth Dynamics and The Proximate Biochemical Composition and Fatty Acid Profile of The Heterotrophically Grown Diatom *Cyclotella cryptica*. *J. Appl Phycol.* 22:165-171.
- Pebriyanti, V. P. 2021. Transesterifikasi dari Lipid *Cyclotella striata* Menjadi *Fatty Acid Methyl Esther* (FAME) Menggunakan Katalis Heterogen Aluminosilika Modifikasi dari Cangkang *Cyclotella striata*. *Skripsi.* FMIPA Universitas Lampung, Lampung.
- Pegoraro, N. S., Camponogara, C., Gehrcke, M., Giuliani, L. M., Silva, D. T., Maurer, L. H., Dias, P., Emanuelli, T., Cruz, L. and Oliveira, S. M. 2020. Oleic Acid-Containing Semisolid Dosage Forms Exhibit in Vivo Anti-Inflammatory Effect Via Glucocorticoid Receptor in A UVB Radiationinduced Skin Inflammation Model. *Inflammopharmacology.* 28. 3:773–786.
- Putra, A. W., Zahidah, H. dan Lili, W. 2012. Struktur Komunitas Plankton di Sungai Citarum Hulu Jawa Barat. *Jurnal Perikanan dan Kelautan.* 3. 4.
- Putra, I. K. R. W., Anggraeni, D. dan Arnata, I. W. 2015. Pengaruh Jenis Media terhadap Konsentrasi Biomassa dan Klorofil Mikroalga *Tetraselmis chuii*. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri.* 3. 2:40-46.
- Rabionet, M., Gorgas, K. and Sandhoff, R. 2014. Ceramide Synthesis in The Epidermis. *Biochim Biophys Acta.* 1841. 3:422-34.
- Randrianarison, G. and Ashraf, M. A. 2017. Microalgae: A Potential Plant for Energy Production. *Geology, Ecology, and Landscapes.* 1. 2:104-120.

- Rittner, D. and Bailey, R. A. 2005. *Encyclopedia of Chemistry*. Facts on File Inc. New York.
- Rodrigues, H. G., Vinolo, M. A., Magdalon, J., Vitzel, K., Nachbar, R. T., Pessoa, A. F., Santos, M. F., Hatanaka, E., Calder, P. C. and Curi, R. 2012. Oral Administration of Oleic or Linoleic Acid Accelerates The Inflammatory Phase of Wound Healing. *J Invest Dermatol*. 132. 1:208.
- Roessler, P.G. 1988. Effects of Silicon Deficiency on Lipid Composition and Metabolism in The Diatom *Cyclotella cryptica*. *Journal Of Phycology*. 24: 394-400.
- Ryckebosch, E., Muylaert, K. and Foubert, I. 2012. Optimization of An Analytical Procedure for Extraction of Lipids from Microalgae. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89:189-198.
- Sagita, A. D. 2021. Produksi Fukosantin dari *Cyclotella striata* menggunakan Media Limbah Cair Tahu. *Skripsi*. FMIPA Universitas Lampung, Lampung.
- Salim, M. A. 2013. Penggunaan Limbah Cair Tahu untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Biodiesel dari Mikroalga *Scenedesmus sp.* *Skripsi*. UIN Sunan Gunung Djati, Bandung.
- Sartika, R. A. D. 2008. Pengaruh Asam Lemak Jenuh, Tidak Jenuh dan Asam Lemak Trans Terhadap Kesehatan. *Kesehatan Masyarakat Nasional (National Public Health Journal)*. 2. 4:154-160.
- Schuchardt, U., Sercheli, R. and Matheus, V. 1998. Transesterification of Vegetable Oils: A Review. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 9. 3.
- Shetty, P., Gitau, M. M. and Maroti, G. 2019. Salinity Stress Responses and Adaptation Mechanisms in Eukaryotic Green Microalgae. *Cells*. 8. 12.
- Sinha, S. K. and Gupta, A. 2015. Acclimatization Strategy of *Chlamydomonas sp.* BTA 4152 for Growing in Natural Rubber Latex Processing Wastewater. *International Journal of Science and Research*. 4. 2:1080-1085.

- Sparkman, O.D., Penton, Z. and Fulton, G. 2011. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry : A Practical Guide*. Elsevier.
- Subekti, S. 2011. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Skripsi*. Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Padjajaran.
- Sugiharto. 1997. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Universitas Indonesia (UI) Press. Jakarta.
- Swanson, D., Robert, B., Shaker, A. M. 2012. Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA:Health Benefits Throughout Life. *Advances in Nutrition*. 3:1-7.
- Tan, J. S., Lee, S. Y., Chew, K. W., Lam, M. K., Lim, J. W., Ho, S. H., and Show, P. L. 2020. A Review on Microalgae Cultivation and Harvesting, and Their Biomass Extraction Processing Using Ionic Liquids. *Bioengineered*. 11. 1:116-129.
- Tang, B. and Row, K. H. 2013. Development of Gas Chromatography Analysis of Fatty Acids in Marine Organisms. *Journal of Chromatographic Science*. 51. 7:599-607.
- Terry, S. C. 1975. *A Gas Chromatography System Fabricated on A Silicon Wafer Using Integrated Circuit Technology*. Stanford University. California.
- Thao, N. T. P., Tin, N. T. and Thanh, B. X. 2013. Biodiesel Production from Microalgae by Extraction-Transesterification Method. *Waste Technology*. 1:6-9.
- Thorton, A., Weinhart, T., Bokhove, O., Zhang, B., Sar, van der, D. M., Kumar, K., Pisarenco, M., Rudnaya, M., Savcenko, V., Rademacher, J. D. M., Zijlstra, J., Szabelska, A., Zypych, J., Schans, van der, M., Timperio, V. and Veerman, F. 2010. Modeling and Optimization of Algae Growth. *CASA-report*. 1059:36.
- Widayat dan Hadiyanto. 2015. Pemanfaatan Limbah Cair Industri Tahu untuk Produksi Biomassa Mikroalga *Nannochloropsis sp.* sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Reaktor*. 15:253-260.

Yang, R., Wei, D., Xie, J. 2020. Diatoms As Cell Factories for High-Value Products: Chrysolaminarin, Eicosapentaenoic Acid, and Fucoxanthin. *Biotechnol.* 40:993-1009.

Zhang, Z., Wang, S., Diao, Y. and Zhang, J. 2010. Fatty Acid Extracts from *Lucilia sericata* Larvae Promote Murine Cutaneous Wound Healing by Angiogenic Activity. *Lipids Health Dis.* 9:24.

Zurzolo, C. and Bowler, C. 2001. Exploring Bioinorganic Pattern Formation in Diatoms: A Story of Polarized Trafficking. *Plant Physiol.* 127:1339-1345.