

**KANDUNGAN LIPID TOTAL PADA FITOPLANKTON LAUT YANG
DIKULTUR PADA MEDIA YANG BERBEDA**

(Skripsi)

Oleh

**MELATI LAURENSIA
NPM 1854221003**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

THE CRUDE LIPID CONTENT OF MARINE PHYTOPLANKTON CULTURED IN DIFFERENT MEDIA

By

MELATI LAURENSIA

Phytoplankton is a microscopic organism lives in the water column, that has many roles and benefits, ranging from ecological to economic. These roles and benefits indicate that phytoplankton bioprospecting is extensive. One of the bioprospecting from phytoplankton is lipid bioprospecting, such as biofuels. Phytoplankton lipid can be increased by modifying the cultured media. The research conducted on December 2022 to January 2023 at the Oceanography Laboratory (Lampung University), Center for Marine Cultivation Fisheries of Lampung (BBPBL), and Agricultural Technology Laboratory (Lampung State Polytechnic). The research aimed to analyse the density, growth phase, and the crude lipid content of *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., and *Spirulina* sp. cultured in conwy and TMRL media. Density and growth phase of the phytoplankton were analysed using exponential trendline and crude lipid content was extracted using Soxhlet method. The research showed that *Porphyridium* sp. cultured in conwy media had the highest density and fastest growth phase. The research also showed phytoplankton that were cultured in conwy media produced higher crude lipid. *Thalassiosira* sp. cultured in conwy media had the highest crude lipid.

Keywords: *phytoplankton, cultured media, conwy, TMRL, crude lipid*

ABSTRAK

KANDUNGAN LIPID TOTAL PADA FITOPLANKTON LAUT YANG DIKULTUR PADA MEDIA YANG BERBEDA

Oleh

MELATI LAURENSIA

Fitoplankton adalah organisme mikroskopis yang hidup mengapung pada kolom air. Fitoplankton memiliki banyak peran serta manfaat, mulai dari peran ekologi hingga peran ekonomi. Banyaknya peran dan manfaat fitoplankton menunjukkan bahwa bioprospeksi fitoplankton tergolong luas. Salah satu bioprospeksi dari fitoplankton adalah bioprospeksi lipid seperti *biofuel*. Lipid fitoplankton dapat ditingkatkan dengan dilakukannya modifikasi pada media kultur. Media kultur yang digunakan pada penelitian adalah media conwy dan TMRL. Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Desember 2022 hingga Januari 2023 pada Laboratorium Oseanografi (Universitas Lampung), Balai Besar Perikanan Budidaya Laut Lampung, dan Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian (Politeknik Negeri Lampung). Penelitian bertujuan untuk menganalisis kepadatan, fase pertumbuhan, dan kandungan lipid total dari fitoplankton laut *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp. yang dikultur pada media conwy dan media TMRL. Kepadatan dan fase pertumbuhan fitoplankton dianalisis dengan *trendline exponential* dan kandungan lipid total diekstraksi menggunakan metode Soxhlet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan tertinggi dan fase pertumbuhan tercepat dicapai oleh *Porphyridium* sp. yang dikultur pada media conwy. Penelitian juga menunjukkan bahwa fitoplankton yang dikultur dengan media conwy menghasilkan lipid total yang lebih tinggi. *Thalassiosira* sp. yang dikultur pada media conwy menghasilkan lipid tertinggi.

Kata kunci: *fitoplankton, media kultur, conwy, TMRL, lipid total*

**KANDUNGAN LIPID TOTAL FITOPLANKTON LAUT YANG
DIKULTUR PADA MEDIA YANG BERBEDA**

Oleh

MELATI LAURENSIA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : **KANDUNGAN LIPID TOTAL PADA FITOPLANKTON LAUT YANG DIKULTUR PADA MEDIA YANG BERBEDA**

Nama Mahasiswa : **Melati Laurensia**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1854221003**

Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan : **Perikanan dan Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.

Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.

NIP. 197412122000031002

NIP. 197505152002121007

2. **Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan**

Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.

NIP. 19700815199031001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.

Sekretaris : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.

Anggota : Eko Efendi, S.T., M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ar Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 1964111781989021002

Tanggal lulus ujian skripsi : 04 Januari 2024

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Melati Laurensia

NPM : 1854221003

Judul Skripsi : Kandungan Lipid Total pada Fitoplankton Laut yang Dikultur pada Media yang Berbeda

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah murni hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan data yang saya dapatkan. Karya ini belum pernah dipublikasikan sebelumnya dan bukan plagiat dari karya orang lain. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Februari 2024



Melati Laurensia

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten, pada tanggal 5 Oktober 2000 sebagai anak dari pasangan suami istri Bapak Lee Kyun Jam dan Ibu Pipit, yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis memiliki satu orang adik bernama Meisya Arnetta.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Citra Berkat pada tahun 2006 – 2009 dan SD Harapan Bangsa pada tahun 2009 – 2012, pendidikan menengah pertama di SMP Citra Berkat pada tahun 2012 – 2015, dan pendidikan menengah atas di SMA Citra Berkat pada tahun 2015 – 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di tahun 2018 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis pernah aktif pada Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan sebagai anggota Bidang Pengembangan Minat dan Bakat pada periode 2019 - 2020. Penulis juga pernah aktif pada Himpunan Mahasiswa Banten Lampung sebagai sekretaris Bidang Kominfo pada periode 2020-2021. Penulis pernah mengikuti Kegiatan Kerja Nyata (KKN) di Desa Peusar, Kecamatan Panongan, Kabupaten Tangerang Provinsi Banten selama 40 hari pada tahun 2021. Penulis pernah melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Loka Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Laut Serang (LPSPL Serang) pada tahun 2021 dengan judul “Keanekaragaman dan Teknik Rehabilitasi pada Ekosistem Mangrove”.

MOTO HIDUP

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al Insyirah: 5)

“Allah pencipta langit dan bumi. Apabila Dia hendak menetapkan sesuatu, Dia hanya berkata kepadanya, “Jadilah!” Maka jadilah sesuatu itu”

(QS. Al Baqarah: 117)

“Go easy on yourself, for the outcome of all affairs is determined by Allah’s decree. If something is meant to go elsewhere, it will never come your way, but if it is yours by destiny, from you it cannot flee”

(Umar bin Khattab)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmannirrohim

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas karunia dan rahmat yang Engkau berikan, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam selalu dicurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Dengan rasa syukur dan segala kerendahan hati kupersembahkan karya ini untuk orang-orang tercinta sepanjang hidupku:

Orang tuaku tercinta yang telah memberikan limpahan cinta dan kasih sayang yang tak terbatas, selalu menguatkan, mendoakan serta senantiasa memberi dukungan dalam segala langkahku.

Adikku tersayang, Meisya Arnetta, yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama ini.

Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas serta teman teman Prodi Ilmu Kelautan 2018.

Serta

Almamaterku tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur selalu terpanjatkan kepada ke hadirat Allah SWT, tak lupa sholawat dan salam penulis curahkan dan limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah melimpahkan segala rahmat beserta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Kandungan Lipid Total pada Fitoplankton Laut yang Dikultur pada Media yang Berbeda”. Skripsi disusun untuk memenuhi syarat lulus sebagai sarjana sains (S.Si.).

Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan.
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan serta arahan dalam proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
4. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang membantu memberi arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi.
5. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberi saran serta masukan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Valentina R.I., S.Si., dan staf BBPBL lainnya yang telah memberi pengalaman dan pengetahuan serta membantu dalam melaksanakan penelitian.
7. Orang tua, saudara, dan keluarga besar tercinta yang telah memberikan banyak dukungan, doa, dan dorongan baik moril maupun material.

8. Fenti Dwi Saputri, Yuli Dwi Putri, Marcella Bakhita Samara, Agnes Valentina Christa, Irsyadi Hakim, Wahyu Rahman, Rizky Aditya, Daffa Rizky Syafutra, Caroline Lydia Aulia, Nazolla Audia Laresty, dan Dewi Ratna Sari yang selalu memberi dukungan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
9. Teman-teman Ilmu Kelautan angkatan 2018 yang selalu memberi bantuan dan dukungan selama perkuliahan ini.

Semoga bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapat pahala dan hikmah dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan, karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat diharapkan. Selain itu, semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Februari 2024



Melati Laurensia
NPM. 1854221003

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
1.4 Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fitoplankton di Ekosistem Laut	5
2.2 Klasifikasi dan Morfologi	6
2.2.1 <i>Porphyridium</i> sp.....	6
2.2.2 <i>Thalassiosira</i> sp.....	7
2.2.3 <i>Spirulina</i> sp.....	8
2.3 Faktor Pembatas	9
2.3.1 Suhu	9
2.3.2 Salinitas	10
2.3.3 pH	10
2.3.4 Cahaya	11
2.3.5 CO ₂	12
2.3.6 DO	12
2.3.7 Nutrien.....	13
2.4 Lipid pada Fitoplankton Laut.....	14
III. METODOLOGI	17
3.1 Waktu dan Tempat	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17

3.3	Prosedur Penelitian	18
3.3.1	Sterilisasi	19
3.3.2	Pembuatan Media Kultur.....	19
3.3.3	Teknik Kultur	20
3.3.4	Analisis Lipid	21
3.4	Rancangan Penelitian.....	22
3.4.1	Penelitian Pendahuluan	22
3.4.2	Kepadatan Awal Fitoplankton pada Penelitian Pendahuluan.....	22
3.4.3	Rancangan Lingkungan.....	23
3.4.4	Perhitungan Sampel.....	24
3.5	Analisis Data.....	24
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	Kepadatan dan Fase Pertumbuhan Fitoplankton.....	25
4.2	Lipid Total	32
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1	Simpulan	37
5.2	Saran.....	37
	DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat penelitian	17
2. Bahan penelitian.....	18
3. Komposisi media conwy dan TMRL.....	20
4. Kepadatan awal penelitian pendahuluan.....	23
5. Fase pertumbuhan fitoplankton yang dikultur dengan media conwy pada penelitian pendahuluan	27
6. Fase pertumbuhan fitoplankton yang dikultur dengan media TMRL pada penelitian pendahuluan	27
7. Hasil lipid total penelitian	34
8. Hasil lipid total penelitian terdahulu.....	34
9. Kandungan media ASW, f/2, zarrouk, conwy, dan TMRL	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	4
2. <i>Porphyridium</i> sp.....	6
3. <i>Thalassiosira</i> sp	8
4. <i>Spirulina</i> sp	9
5. Prosedur penelitian.....	18
6. Tata letak unit perlakuan kultur fitoplankton.....	23
7. Kepadatan sel fitoplankton pada penelitian pendahuluan.....	26
8. Kepadatan sel fitoplankton pada media kultur yang berbeda	29

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fitoplankton merupakan sebuah tumbuhan mikroskopik yang hidupnya melayang atau mengapung pada kolom air (Soetrisno & Garno, 2008). Peranan fitoplankton sangat penting, baik segi ekologi maupun segi ekonomi (Sulastri, 2018). Pada segi ekologi, fitoplankton mempunyai peran sebagai mangsa bagi predator dan sebagai produsen primer di ekosistem perairan (Makmur & Ruskiah, 2012). Fitoplankton berperan sebagai penyumbang oksigen terbesar di bumi dengan persentase antara 50-85% (Firdaus & Wijayanti, 2019). Pada segi ekonomi, peranan dari fitoplankton sebagai bioprospeksi berperan di berbagai aspek, mulai dari bidang perikanan, bidang kesehatan, hingga bidang kecantikan. Pada bidang perikanan, fitoplankton umumnya dimanfaatkan sebagai pakan alami bagi kultur zooplankton, larva ikan, dan udang (Yanuhar *et al.*, 2018).

Pada aktivitas nonperikanan, peranan fitoplankton dalam bidang kesehatan dapat diketahui dari penelitian Sharp *et al.* (2020) yang menyebutkan bahwa suplemen *oceanix* (OCX) yang berbahan dasar fitoplankton terbukti berpengaruh dalam penyembuhan cedera otot pada manusia. Selain bidang kesehatan, fitoplankton juga berperan dalam bidang kecantikan. Menurut Guillerme *et al.* (2017), fitoplankton digunakan dalam rangkaian *skincare* seperti krim pelembab dan krim *anti-aging*. Penelitian (Srinivasakumar & Rajashekhar, 2009) menyatakan bahwa fitoplankton juga dapat dijadikan sebagai bahan pengawet pada produk kecantikan.

Banyaknya peranan serta manfaat fitoplankton menunjukkan bahwa bioprospeksi fitoplankton sangat luas. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.2/MENLHK/SETJEN/KUM.1/1/2018,

bioprospeksi adalah kegiatan eksplorasi, ekstraksi, dan penapisan sumber daya alam hayati untuk pemanfaatan secara komersial baik dari sumber daya genetik, spesies, dan atau biokimia beserta turunannya. Salah satu potensi bioprospeksi fitoplankton yang menjadi objek penelitian yang patut diteliti lebih lanjut adalah bioprospeksi lipid fitoplankton, seperti biofuel (Napiórkowska-Krzebietke, 2017). Kemampuan fitoplankton dalam menghasilkan biomassa dan lipid yang banyak dengan lahan yang minim menjadikan fitoplankton berpotensi sebagai sumber energi terbarukan (Culaba *et al.*, 2020).

Udayan *et al.* (2022) menyatakan bahwa fitoplankton yang menghasilkan lipid tertinggi adalah *Chlorella* sp., *Dunaliella* sp., dan *Scenedesmus* sp.. Oleh karena itu, digunakan fitoplankton lain pada penelitian penulis yang memiliki kemungkinan produksi lipid total yang tinggi, seperti *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp.. Penggunaan ketiga fitoplankton tersebut didasarkan karena manfaat dari *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp. yang umum dijadikan pakan alami hingga produk kecantikan. Dalam kultur fitoplankton, media kultur digunakan sesuai dengan tujuan dilakukannya kultur. Media kultur adalah media yang berisi kandungan nutrisi yang berguna untuk pertumbuhan dari fitoplankton yang dikultur (Atmanto *et al.*, 2022). Ada beragam jenis media kultur yang dapat digunakan untuk pertumbuhan fitoplankton, dimana media yang umum digunakan adalah conwy karena memiliki kandungan nutrisi yang cukup lengkap (Negara *et al.*, 2019). Selain conwy, terdapat media kultur TMRL yang memiliki kandungan nutrisi yang lebih sederhana dibandingkan dengan media conwy. Meskipun media TMRL memiliki kandungan nutrisi yang lebih sederhana, nutrisi yang terdapat pada media TMRL merupakan nutrisi yang penting untuk pertumbuhan dari fitoplankton sehingga ada kemungkinannya bagi fitoplankton yang dikultur dengan media TMRL memiliki pertumbuhan dan lipid total yang lebih tinggi dibandingkan dengan fitoplankton yang dikultur dengan media conwy. Jati *et al.* (2012) menyatakan bahwa perbedaan penggunaan media kultur dapat memengaruhi pola pertumbuhan, kandungan protein, hingga kandungan asam lemak pada fitoplankton. Oleh karena hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai kandungan lipid total *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp. yang dikultur

pada media kultur conwy dan TMRL untuk membandingkan kepadatan dan lipid total fitoplankton yang dikultur dengan jenis fitoplankton dan media kultur yang berbeda.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah:

1. menganalisis kepadatan sel fitoplankton laut yang dikultur dengan media kultur conwy dan TMRL;
2. menganalisis fase pertumbuhan fitoplankton laut yang dikultur dengan media kultur conwy dan TMRL; dan
3. menganalisis kadar lipid total tertinggi pada fitoplankton laut yang dikultur dengan media kultur conwy dan TMRL.

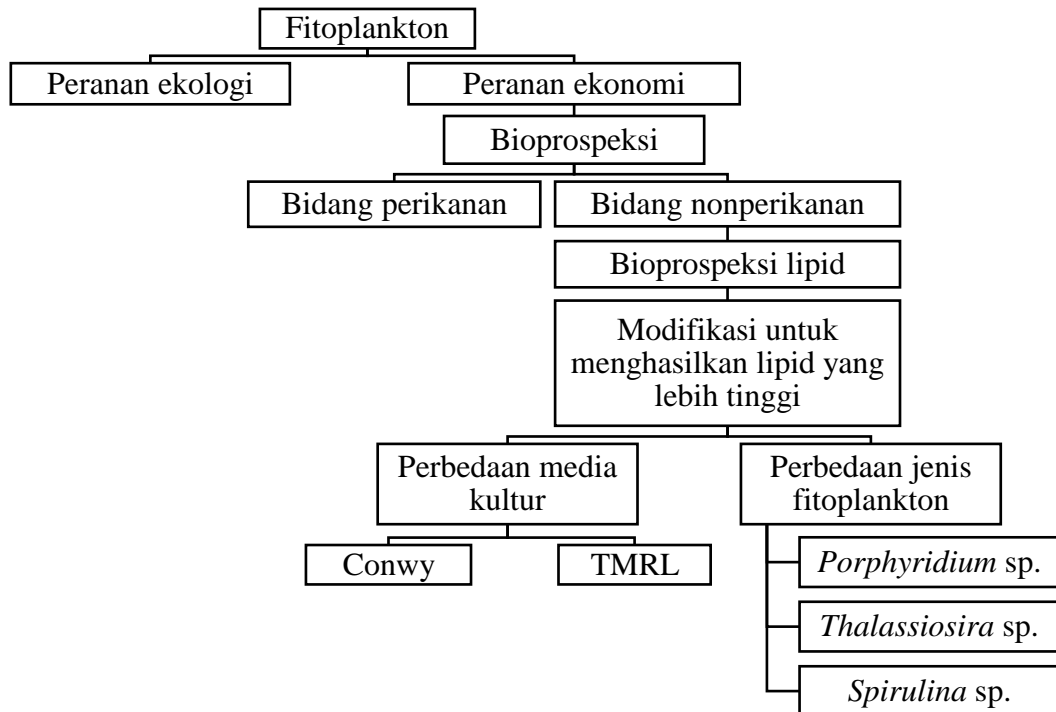
1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai bahan informasi dalam penggunaan lipid total *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp. yang dikultur pada media kultur conwy dan TMRL.

1.4 Kerangka Pemikiran

Fitoplankton merupakan mikroorganisme yang hidupnya melayang di kolom air. Meskipun memiliki ukuran yang kecil, fitoplankton mempunyai banyak peranan, mulai dari peranan ekologis hingga peranan ekonomi. Peranan fitoplankton dari segi ekonomi salah satunya adalah bioprospeksi. Bioprospeksi fitoplankton merupakan kegiatan eksplorasi fitoplankton untuk pemanfaatan secara komersial. Bioprospeksi fitoplankton sangatlah luas, mulai dari bidang perikanan hingga bidang nonperikanan. Salah satu bioprospeksi fitoplankton dalam bidang nonperikanan adalah bioprospeksi lipid fitoplankton. Lipid fitoplankton dapat digunakan sebagai *biofuel* hingga sumber omega 3 dan omega 6 yang menjadikan fitoplankton sebagai mikroorganisme yang penting untuk diteliti lebih lanjut. Kandungan lipid total pada fitoplankton dapat ditingkatkan dengan dilakukannya modifikasi dalam proses kultur fitoplankton. Modifikasi yang dilakukan pada penelitian adalah penggu-

naan media yang berbeda, yakni media conwy dan media TMRL, dan penggunaan jenis fitoplankton yang berbeda, yakni *Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp., dan *Spirulina* sp.. Kerangka pemikiran penelitian disajikan dalam bentuk bagan alur pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fitoplankton di Ekosistem Laut

Fitoplankton adalah organisme mikroskopis yang hidup dengan mengapung atau melayang di perairan (Rohmi, 2019). Fitoplankton memiliki ukuran yang beraneka ragam, mulai kurang dari 2 μm hingga lebih dari 50 μm . Berdasarkan ukurannya, fitoplankton dapat dibagi menjadi 3 jenis, yakni: 1) *Picophytoplankton* (0,2-2,0 μm), 2) *Nanophytoplankton* (2,0-20 μm), dan 3) *Microphytoplankton* (20-200 μm) (Kyewalyanga, 2016). Menurut Mitra (2018), fitoplankton dapat dibagi menjadi beberapa klasifikasi berdasarkan dari karakteristik selnya dengan pembagian sebagai berikut: 1) cyanophyceae, 2) rhodophyceae, 3) cryptophyceae, 4) chryso-phyceae, 5) bacillariophyceae, 6) raphidophyceae, 7) xantophyceae, 8) chlorophyceae, 9) prymnesiophyceae, 10) euglenophyceae, 11) prasiophyceae, 12) pyrophyceae, dan 13) eustigmatophyceae.

Persamaan dari setiap fitoplankton terletak pada adanya klorofil-a pada sel. Selain klorofil-a, fitoplankton juga memiliki klorofil-b, klorofil-c, dan klorofil-d (Barlow *et al.*, 2008). Pigmen klorofil berguna dalam penyerapan energi cahaya dan dapat mengubah karbon dioksida serta air menjadi karbon organik yang digunakan saat proses sintesis komponen-komponen penting seperti asam nukleat, lipid, protein, dan juga polisakarida (Kyewalyanga, 2016).

Fitoplankton memiliki peranan penting dalam siklus oksigen, karbon, dan nitrogen (Falkowski *et al.*, 2003). Selain berperan dalam siklus oksigen, karbon, dan nitrogen, fitoplankton juga berperan penting dalam bidang akuakultur. Dalam bidang akuakultur, fitoplankton berperan sebagai pakan alami bagi larva ikan dan udang.

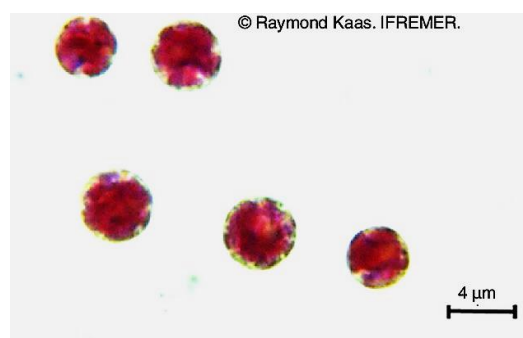
Menurut penelitian Kumar *et al.* (2020), bertambahnya mortalitas fase larva pada akuakultur dapat disebabkan dari kurangnya makanan yang cocok bagi larva. Pada ekosistem laut, fitoplankton berperan sebagai produsen primer yang menjadi fondasi dari jaring makanan di laut (Adinugroho *et al.*, 2014). Peranan fitoplankton sebagai produsen menjadikan fitoplankton juga berguna dalam bidang ekonomi sebagai bahan pakan alami dalam bidang akuakultur (Makmur & Ruskiah, 2012).

2.2 Klasifikasi dan Morfologi

2.2.1 *Porphyridium* sp.

Porphyridium sp. merupakan salah satu spesies dari alga merah (Li *et al.*, 2019). *Porphyridium* sp. memiliki pigmen r-fikoeritrin dan r-fikosianin yang merupakan pigmen yang dominan pada sel *Porphyridium* sp. sehingga menyebabkan sel dari *Porphyridium* sp. berwarna merah, yang disajikan pada Gambar 2 (Arlyza, 2005). Klasifikasi dari *Porphyridium* sp. adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	Plantae
Subkingdom	:	Biliphyta
Filum	:	Rhodophyta
Subfilum	:	Proteorhodophytina
Kelas	:	Porphyridiophyceae
Ordo	:	Porphyridiales
Famili	:	Porphyridiaphyceae
Genus	:	<i>Porphyridium</i>
Spesies	:	<i>Porphyridium</i> sp. (Nägeli, 1849).



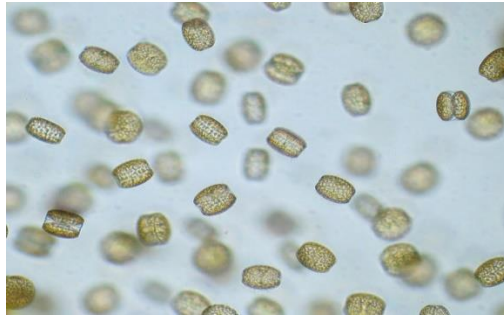
Gambar 2. *Porphyridium* sp.
Sumber: Juin *et al.* (2018).

Genus *Porphyridium* merupakan fitoplankton merah yang hidup soliter atau berkoloni kecil dengan menyekresikan senyawa polisakarida sebagai pelindung sel (Al Adawiyah *et al.*, 2020). Pelindung sel disebut sebagai mucilago dan bersifat larut dalam air (Csögör *et al.*, 2001). *Porphyridium* sp. mempunyai bentuk yang bulat berukuran 4-9 μm (Mulyadi, 2007). Struktur sel fitoplankton *Porphyridium* sp. terdiri dari nukleus, badan golgi, mitokondria, retikulum endoplasma, vakuola, dan kloroplas yang berbentuk bintang dengan pirenoid di tengah (Li *et al.*, 2022). *Porphyridium* sp. dapat hidup baik di perairan tawar, perairan payau, ataupun laut (Mulyadi, 2007). Menurut penelitian Irwani *et al.* (2013), *Porphyridium* sp. yang dikultur pada media conwy dengan tambahan silika mengalami fase stasioner mulai pada hari ke-5. Penelitian Setyaningsih *et al.* (2013) menjelaskan bahwa hasil lipid total *Porphyridium* sp. yang diekstraksi menggunakan metode Soxhlet menghasilkan lipid total sebanyak 0,37% pada kondisi kering. Lipid yang diproduksi oleh *Porphyridium* sp. didominasi oleh asam lemak tak jenuh seperti *arachidonic acid* (ARA) dan *eicosapentaenoic acid* (EPA) (Rudi *et al.*, 2023).

2.2.2 *Thalassiosira* sp.

Thalassiosira sp. merupakan fitoplankton yang sering dijadikan pakan alami bagi larva udang (Erlangga *et al.*, 2021). *Thalassiosira* sp. adalah diatom karena termasuk dalam kelas Bacillariophyceae. *Thalassiosira* sp. memiliki pigmen fukosantin yang dominan sehingga *Thalassiosira* sp. memiliki warna kecoklatan, seperti pada Gambar 3 (Bai *et al.*, 2022). Klasifikasi *Thalassiosira* sp. adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	Chromista
Subkingdom	:	Harosa
Filum	:	Ochrophyta
Subfilum	:	Khakista
Kelas	:	Bacillariophyceae
Ordo	:	Thalassiosirales
Famili	:	Thalassiosiraceae
Genus	:	<i>Thalassiosira</i>
Spesies	:	<i>Thalassiosira</i> sp. (Cleve, 1873).



Gambar 3. *Thalassiosira* sp.
Sumber: Sabbe (2013).

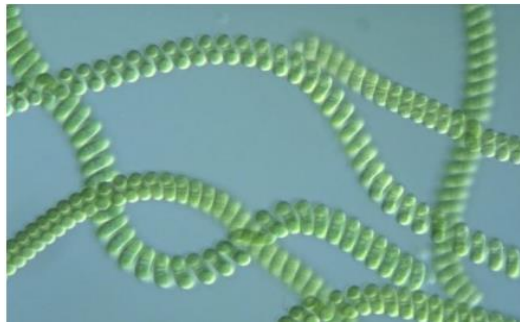
Thalassiosira sp. berukuran antara 4-32 μm (Etesami *et al.*, 2022). *Thalassiosira* sp. memiliki silika yang dominan pada dinding selnya dan memiliki bagian tubuh bernama fultoportula yang mampu mensekresikan β -kitin yang berfungsi sebagai alasan *Thalassiosira* sp. tetap terapung pada perairan (Hevia-Orube *et al.*, 2016). *Thalassiosira* sp. termasuk jenis diatom berbentuk panjang yang memiliki *frustule* dengan 2 *valves* dan juga 1 *girdle* (Karimah, 2018). *Thalassiosira* sp. ditemukan tumbuh pada perairan laut dan perairan tawar (Lee *et al.*, 2019). Pada penelitian Prihardianto *et al.* (2023), *Thalassiosira* sp. yang dikultur pada media walne modifikasi mulai mengalami fase stasioner pada hari ke-3. Kandungan lipid *Thalassiosira* sp. menurut Prartono *et al.* (2013) mencapai 7,80% pada kondisi kering saat diekstraksi menggunakan heksana dan 10,43% saat diekstraksi menggunakan kloroform. Lipid yang mendominasi pada *Thalassiosira* sp. adalah *myristic acid* (Sas *et al.*, 2023).

2.2.3 *Spirulina* sp.

Spirulina sp. adalah fitoplankton biru-hijau yang termasuk dalam Cyanobacteria (Budiardi *et al.*, 2010). *Spirulina* sp. memiliki pigmen fikosianin yang dominan ($14000 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) yang menyebabkan *Spirulina* sp. berwarna biru-hijau, disusul oleh pigmen klorofil-a ($1.000 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) dan pigmen karotenoid ($370 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$) (Pirenantyo & Limantara, 2008). Gambar sel *Spirulina* sp. dapat dilihat pada Gambar 4. Adapun klasifikasi dari *Spirulina* sp. adalah sebagai berikut:

Kingdom	:	Eubacteria
Filum	:	Cyanobacteria
Kelas	:	Cyanophyceae

Subkelas	: Oscillatoriophycidae
Ordo	: Spirulinales
Famili	: Spirulinaceae
Genus	: <i>Spirulina</i>
Spesies	: <i>Spirulina</i> sp. (Turpin ex Gomont, 1892)



Gambar 4. *Spirulina* sp.
Sumber: Choopani *et al.* (2016).

Spirulina sp. hidup dengan membentuk koloni yang terdiri dari sel silindris yang membentuk filamen menyerupai spiral (Gami *et al.*, 2011). Menurut Jung *et al.* (2021), *Spirulina* sp. memiliki panjang rata-rata trikoma sebesar 200 μm . Trikoma adalah bagian dari *Spirulina* sp. berguna dalam fotosintesis. *Spirulina* sp. memiliki lapisan dinding sebanyak 4 lapisan (Mishra *et al.*, 2013). *Spirulina* sp. dapat tumbuh dengan baik pada perairan tawar, perairan laut, ataupun pada permukaan tanah yang lembab (Christwardana *et al.*, 2011). Penelitian Budiardi *et al.* (2010) menyatakan bahwa fase stasioner *Spirulina* sp. yang dikultur menggunakan pupuk urea, pupuk ZA, dan pupuk TSP dimulai pada hari ke-3 kultur. Kandungan lipid total *Spirulina* sp. yang dikultur pada media walne pada penelitian Widianingsih *et al.* (2008) adalah 0,51% pada kondisi kering. Seghiri *et al.* (2019), kandungan lipid terbesar (30-35%) pada *Spirulina* sp. adalah asam gamma-linoleat yang merupakan omega 6.

2.3 Faktor Pembatas

2.3.1 Suhu

Menurut Joseph & Ajithkumar (2013), suhu yang digunakan secara umum untuk pertumbuhan fitoplankton adalah antara 16-27°C dengan suhu optimal 18-24°C.

Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak produksi enzim yang menghasilkan kerusakan pada metabolisme sel dan berdampak pada produktivitas dari fitoplankton yang menurun (Renaud *et al.*, 2002). Adapun suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan susunan sel pada fitoplankton menyusut atau berkurang (Bernard & Rémond, 2012). Menurut Morales *et al.* (2021), suhu yang lebih tinggi mendekati batas suhu optimal umumnya dapat meningkatkan laju pertumbuhan, menurunkan kandungan protein, dan meningkatkan lipid serta karbohidrat fitoplankton karena kondisi stres pada fitoplankton. Golueke & Oswald (1962) menyatakan suhu optimal untuk pertumbuhan *Porphyridium* sp. adalah 21-26 °C. *Thalassiosira* sp. dapat tumbuh dengan optimal pada suhu 25°C (Boyd *et al.*, 2013). Soni *et al.* (2017) menyatakan bahwa *Spirulina* sp. dapat dikultur optimal pada suhu antara 29-35°C.

2.3.2 Salinitas

Rentang salinitas yang dibutuhkan untuk pertumbuhan fitoplankton adalah 12-40 ppt, dengan salinitas optimal antara 20-24 ppt (Joseph & Ajithkumar, 2013). Toleransi fitoplankton terhadap salinitas dapat dibagi menjadi 3 kategori, yakni 1) *oligohaline*, yaitu fitoplankton yang dapat tumbuh pada rentang salinitas antara 0,5-5 ppt, 2) *mesohaline*, yaitu fitoplankton yang dapat tumbuh pada rentang salinitas 5-18 ppt, 3) *polyhaline*, yaitu fitoplankton yang dapat tumbuh pada rentang salinitas 18-30 ppt (Mohan & Devi, 2014). Hariyati (2008) menyatakan *Spirulina* sp. dapat tumbuh pada salinitas antara 15-20 ppt. *Thalassiosira* sp. mampu tumbuh optimal pada salinitas 25-30 ppt (Sas *et al.*, 2023). *Porphyridium* sp. akan tumbuh dengan optimal pada salinitas 35-46 ppt (Li *et al.*, 2023). Menurut Morales *et al.* (2021), peningkatan salinitas akan berdampak pada peningkatan kandungan lipid dari fitoplankton sebagai cadangan energi. Pada penelitian Ningsih *et al.* (2017), lipid tertinggi untuk fitoplankton *Nannochloropsis* sp. dan *Porphyridium* sp. dicapai pada salinitas 30 ppt.

2.3.3 pH

Rai & Gupta (2017) menyatakan bahwa toleransi pertumbuhan fitoplankton terhadap pH bervariasi tiap spesies. pH yang optimal untuk fitoplankton memiliki rentang dari netral hingga basa, yakni 7-10 (Lu *et al.*, 2014). Umumnya, pH yang

optimal untuk kultur fitoplankton berkisar antara 8,2-8,7 (Joseph & Ajithkumar, 2013). Jia & Yuan (2016) menyatakan bahwa pH di bawah dari rentang optimal (cenderung ke asam) akan membuat enzim pada sel menjadi tidak aktif dan dapat mengurangi biomassa fitoplankton. Hal yang sama berlaku apabila pH yang lebih tinggi dari rentang optimal akan menyebabkan biomassa fitoplankton berkurang karena terjadinya kerusakan pada sel fitoplankton. Selain merusak sel dari fitoplankton, meningkatnya pH menyebabkan keseimbangan kimia karbon organik yang ada cenderung kepada pembuatan karbonat yang tidak cocok bagi pertumbuhan fitoplankton (CO_3^{2-}) (Guštin & Logar, 2011).

Porphyridium sp. dapat tumbuh optimal pada pH antara 7,5-8,0 (Lu *et al.*, 2020). Menurut Nurdin (2017), *Thalassiosira* sp. akan tumbuh optimal pada pH antara 7-8, sedangkan *Spirulina* sp. mampu tumbuh optimal pada pH yang lebih basa yakni antara 9-11. Kadar pH yang lebih basa pada kultur *Spirulina* sp. menandakan lingkungan yang sehat karena dapat mencegah terjadinya kontaminasi pada kultur akibat dari tingginya pH (Soni *et al.*, 2017). AlFadhly *et al.* (2022) menyatakan bahwa enzim yang aktif dalam fotosintesis dan respirasi *Spirulina* sp. lebih berfungsi maksimal pada pH 10. Hasil penelitian Almutairi *et al.* (2020) menjelaskan bahwa pH yang terlalu basa menyebabkan kandungan lipid fitoplankton *Tisochrysis lutea* meningkat akibat dari kondisi lingkungan yang membuat *Tisochrysis lutea* berada dalam kondisi stres. Saat terjadi kondisi stres, *Tisochrysis lutea* akan mengakumulasi lipid sebagai mekanisme pertahanannya.

2.3.4 Cahaya

Pencahayaan merupakan faktor yang berpengaruh pada pertumbuhan fitoplankton karena pencahayaan membantu proses asimilasi nutrisi saat fotosintesis (Richmond, 2013). Pada skala laboratorium, intensitas cahaya yang dibutuhkan dalam kultur fitoplankton dapat dipenuhi hanya dengan lampu *tube light* (TL) dengan kisaran cahaya optimal antara 1.500-3.000 lux (Widayati, 2014). Intensitas cahaya yang dibutuhkan pada kultur di luar laboratorium adalah kisaran antara 500-5.000 lux. Intensitas cahaya akan memengaruhi laju pertumbuhan dari fitoplankton. Semakin tingginya intensitas cahaya, laju fotosintesis akan bertambah hingga akhirnya laju

akan mencapai titik jenuh (da Fontoura *et al.*, 2017). Hadiyanto & Nur (2012) menyatakan bahwa hubungan antara intensitas cahaya, aktivitas fotosintesis, dan produksi oksigen sejajar sampai dengan intensitas cahaya sama dengan 5.000 lux. Intensitas cahaya yang lebih dari 5.000 lux dapat menyebabkan terjadinya fotoinhibisi. Fotoinhibisi adalah terhambatnya proses fotosintesis akibat tingginya intensitas cahaya yang menyebabkan kerusakan pada kloroplas (Efendi *et al.*, 2018). Menurut penelitian Nzayisenga *et al.* (2020), lipid pada fitoplankton akan bertambah seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya mendekati batas optimal.

2.3.5 CO₂

Fernández *et al.* (2013) menyatakan bahwa diperlukan 1,8 hingga 2,0 kg CO₂ untuk memproduksi 1 kg biomassa fitoplankton, sementara jumlah CO₂ yang terdapat di udara hanyalah 0,03% dari CO₂ yang dibutuhkan. Oleh karenanya, diperlukan CO₂ tambahan untuk meningkatkan produktivitas fitoplankton (Chowdury *et al.*, 2020). Menurut Hadiyanto & Nur (2012), CO₂ akan memengaruhi kondisi pH pada media kultur. Penambahan CO₂ pada kultur fitoplankton mampu menaikkan biomassa fitoplankton, namun akan mengurangi pH sehingga dapat menjadi penghalang bagi pertumbuhan untuk beberapa spesies fitoplankton (Pires *et al.*, 2012). Morales *et al.* (2021) menyatakan bahwa peningkatan CO₂ mampu meningkatkan kadar lipid fitoplankton sesuai dengan kondisi optimal dari setiap spesies. Yani *et al.* (2023) membuktikan bahwa kandungan lipid *Chlorella emersonii* meningkat sebesar 52,31%, setelah dilakukannya pemaparan gas CO₂ selama 10 menit.

2.3.6 DO

Kadar oksigen terlarut pada medium fitoplankton berhubungan dengan kadar pH. Kadar pH yang menurun akan membuat kadar DO menurun. Hal tersebut disebabkan oleh reaksi yang terjadi antara ion hidrogen terhadap oksigen yang ada di air (Zang *et al.*, 2011). Lannan (2011) menyatakan bahwa kadar oksigen terlarut pada media yang terlalu tinggi dapat membahayakan proses fotosintesis. Tingginya kadar oksigen terlarut dapat menyebabkan enzim Rubisco yang terdapat pada sel fitoplankton gagal menfiksasikan CO₂ dan akan menfiksasikan O₂. Enzim Rubisco merupakan enzim yang berguna dalam proses fiksasi CO₂ pada proses fotosintesis

(Neofotis *et al.*, 2021). Menurut Sofarini (2012), kadar DO yang optimum untuk kultur adalah di atas 4 ppm.

2.3.7 Nutrien

Nutrien merupakan salah satu faktor yang sangat penting bagi pertumbuhan fitoplankton. Nutrien terbagi menjadi 2, yakni makronutrien, seperti nitrogen, karbon, sulfur, hidrogen, kalium, magnesium, serta fosfor dan mikronutrien, seperti boron, zat besi, mangan, silikon, selenium, molibdenum, dan tembaga (Hadiyanto & Nur, 2012). Media yang ideal bagi kultur fitoplankton harus mengandung beberapa nutrien seperti karbon, nitrogen, fosfor, dan juga zat besi (Richmond, 2003). Karbon merupakan nutrien yang paling banyak dibutuhkan untuk kultur fitoplankton. Hal tersebut disebabkan karbon dibutuhkan dalam proses sintesis semua substansi organik seperti karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat, dan juga vitamin saat proses fotosintesis (Fernández *et al.*, 2013). Bentuk dari karbon yang dibutuhkan oleh fitoplankton adalah CO_2 dan bikarbonat (HCO_3^-) (Richmond, 2003).

Nitrogen adalah nutrien yang penting bagi fitoplankton dan menjadi nutrien kedua terbanyak setelah karbon (Chowdury *et al.*, 2020). Nitrogen berguna dalam pembentukan protein, asam nukleat, vitamin, dan pigmen-pigmen fotosintesis pada fitoplankton (Richmond, 2003). Menurut Perez-Garcia *et al.* (2011), bentuk nitrogen yang dibutuhkan adalah berupa NO_3^- , NO_2^- , NO , dan NH_4^+ . Dampak dari kurangnya nitrogen adalah hilangnya warna sel fitoplankton karena berkurangnya klorofil dan bertambahnya karotenoid (Chowdury *et al.*, 2020). Kadar nitrogen pada media akan menurun pada fase awal stasioner akibat adanya proses sintesis protein untuk produksi biomassa (Safitri *et al.*, 2013). Bila kadar nitrogen pada media menurun, kandungan lipid pada fitoplankton akan terakumulasi sehingga terjadinya peningkatan kandungan lipid (Eka, 2021). Fosfor adalah nutrien yang dibutuhkan untuk pertumbuhan serta aktivitas metabolisme fitoplankton, seperti perpindahan energi, sintesis asam nukleat, dan sintesis DNA (Richmond, 2003). Apabila fitoplankton mengalami kekurangan fosfor, fitoplankton mengurangi kebutuhan fosfor dengan mengganti fosfolipid menjadi sulfur (Lin, 2023).

Zat besi dan natrium berguna dalam pembentukan klorofil pada fitoplankton. Zat besi sangat dibutuhkan karena berfungsi dalam transpor elektron pada proses fotosintesis (Chowdury *et al.*, 2020). Penambahan zat besi saat kultur fitoplankton dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan mengakumulasi lipid yang lebih tinggi (Morales *et al.*, 2021). Menurut Isnansetyo & Kurniastuty (1995), kalium pada media kultur berguna dalam metabolisme karbohidrat. Penambahan magnesium ke dalam media kultur fitoplankton meningkatkan aktivitas enzim seperti enzim asetil Co-A karboksilase yang berguna dalam proses sintesis asam lemak (Ren *et al.*, 2014). Silika dan kalsium berguna dalam proses pembentukan dinding sel dari fitoplankton. Penambahan kalsium yang sesuai saat kultur fitoplankton dapat meningkatkan kandungan lipid fitoplankton. Akan tetapi, penambahan kalsium yang berlebih akan mengurangi kandungan lipid dan bersifat mematikan bagi fitoplankton (Morales *et al.*, 2021). Penambahan *trace metals* yang sesuai pada media dapat meningkatkan kandungan lipid fitoplankton. Jika *trace metals* ditambahkan secara berlebihan, *trace metals* yang terdapat pada media dapat mengakibatkan kematian karena bersifat toksik bagi fitoplankton (Caturwati, 2019).

2.4 Lipid pada Fitoplankton Laut

Lipid adalah senyawa organik kompleks yang tidak dapat larut dalam air, namun dapat larut dalam pelarut organik (Fahy *et al.*, 2011). Lipid dibagi ke dalam tiga kelompok besar, yakni 1) lipid sederhana; 2) lipid kompleks; dan 3) derivat lipid. Lipid sederhana adalah gabungan senyawa ester asam lemak dan alkohol. Contoh dari lipid sederhana adalah *wax*. Lipid kompleks merupakan senyawa ester asam lemak yang mengandung gugus alkalis, nitrogen, dan substituen lain. Contoh dari lipid kompleks adalah fosfolipid, glikolipid, sulfolipid, dan lipoprotein. Derivat lipid adalah turunan lipid yang mencakup asam lemak, gliserol, sterol, dan vitamin yang larut dalam bahan organik (Wahjuni, 2014).

Fitoplankton memproduksi berbagai jenis lipid, seperti gliserida, hidrokarbon, dan sterol. Gliserida merupakan lipid gabungan antara gliserol dan asam lemak dengan jumlah paling besar di fitoplankton (Klok *et al.*, 2014). Gliserida dibagi ke dalam dua kelas, yaitu lipid struktural dan lipid penyimpanan. Lipid yang termasuk lipid

struktural adalah fosfolipid dan glikolipid. Hal tersebut disebabkan fosfolipid dan glikolipid termasuk lipid polar (Breuer *et al.*, 2013). Lipid polar umumnya memiliki rantai asam lemak yang panjang yang berupa asam lemak tak jenuh (Aratboni *et al.*, 2019). Lipid yang termasuk ke dalam lipid penyimpanan adalah trigliserida (Triglyceride, TAG).

Trigliserida merupakan lipid nonpolar yang berfungsi penting dalam penyimpanan energi sel fitoplankton, dimana gliserol 3P akan diubah menjadi molekul lain pada proses fotosintesis (Aratboni *et al.*, 2019). Komposisi trigliserida terdiri dari gliserida dan gabungan 3 grup asam lemak (Ördög *et al.*, 2016). Asam lemak yang terdapat pada fitoplankton lebih beragam jika dibandingkan dengan asam lemak pada tumbuhan di daratan (Breuer *et al.*, 2013). Asam lemak dibagi tiga, yaitu asam lemak jenuh (SAF, *saturated fatty acid*), asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA, *monounsaturated fatty acid*), dan asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acid*, PUFA) (Morales *et al.*, 2021). Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) merupakan asam lemak yang berguna dalam pembuatan biodiesel. Selain berperan sebagai biodiesel, asam lemak tak jenuh ganda juga berguna dalam bidang farmasi dan komoditas makanan karena memiliki kandungan yang bernutrisi, seperti *eicosapentaenoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA) yang termasuk omega 3 (Shen *et al.*, 2016). Aratboni *et al.* (2019) menyatakan bahwa fitoplankton *Porphyridium cruentum* merupakan satu-satunya fitoplankton yang dapat mengakumulasi asam lemak tak jenuh ganda pada trigliserida dalam jumlah besar.

Proses biosintesis lipid pada fitoplankton terjadi pada bagian plastid (Kim, 2020). Proses biosintesis lipid fitoplankton terjadi melalui beberapa tahap, yaitu fiksasi karbon, pembentukan asam lemak, dan pembentukan lipid (Kwangdinata *et al.*, 2013). Fiksasi karbon terjadi pada saat proses fotosintesis, dimana sebanyak 80% karbon yang terfiksasi pada fitoplankton akan membentuk asam lemak dan gliserol melalui siklus asam sitrat (Kong *et al.*, 2018). Setelah asam lemak dan gliserol terbentuk, terjadinya proses sintesis berbagai macam lipid, seperti sintesis galaktolipid pada kloroplas, sintesis fosfolipid pada sitoplasma, dan sintesis trigliserida pada endoplasma retikulum fitoplankton (Chapman & Ohlrogge, 2012).

Lipid fitoplankton umumnya diekstraksi menggunakan pelarut. Metode ekstraksi dengan pelarut merupakan metode yang menggunakan pelarut kimia organik saat proses ekstraksi, seperti kloroform, metanol, dan juga heksana (Eka, 2021). Metode ekstraksi lipid dengan pelarut sudah digunakan sejak lama. Beberapa metode ekstraksi yang klasik antara lain adalah metode Soxhlet, metode Folch, dan metode Bligh and Dyer (Zhou *et al.*, 2022). Kelebihan dari metode klasik adalah lebih mudah dioperasikan dan biaya operasinya lebih rendah. Kekurangan dari metode klasik adalah banyaknya pelarut yang dibutuhkan untuk ekstraksi dan waktu untuk ekstraksi yang lama. Selain metode klasik, terdapat metode yang lebih inovatif, seperti *supercritical fluid extraction*, *ultrasound-assisted extraction*, dan metode *microwave-assisted* (Karim *et al.*, 2019). Kelebihan dari metode inovatif adalah pelarut yang digunakan memiliki tingkat keracunan yang lebih rendah bagi manusia, waktu ekstraksi lipid yang lebih singkat, dan penggunaan pelarut yang lebih sedikit. Meskipun memiliki kelebihan yang banyak, metode yang lebih inovatif menggunakan energi yang lebih besar dan biaya operasional yang lebih tinggi.

III. METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di beberapa tempat, yakni kultur fitoplankton yang bertempat di Balai Besar Perikanan Budidaya Laut (BBPBL) Lampung, preparasi sampel uji yang bertempat di Laboratorium Oseanografi, Universitas Lampung, dan uji kandungan lipid fitoplankton laut dengan metode Soxhlet yang bertempat di Laboratorium THP, Politeknik Negeri Lampung. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2022 hingga Februari 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat penelitian

No.	Alat	Kegunaan
1	Toples plastik 1,5 liter	Kultur fitoplankton.
2	Aluminium foil	Penutup toples kultur fitoplankton.
3	Aerator dan selang aerator	Aerasi kultur fitoplankton.
4	Lampu TL 40 watt	Pencahayaan kultur fitoplankton.
5	Hand refraktometer	Pengukuran salinitas kultur fitoplankton.
6	pH meter	Pengukuran pH kultur fitoplankton.
7	DO meter	Pengukuran kadar DO kultur fitoplankton.
8	Thermometer	Pengukuran suhu kultur fitoplankton.
9	Pipet tetes	Pengambilan kultur dan media kultur.
10	<i>Haemocytometer</i>	Perhitungan jumlah kepadatan fitoplankton.
11	<i>Sedgewick rafter counter</i>	Perhitungan jumlah kepadatan fitoplankton.
12	Mikroskop	Perhitungan jumlah kepadatan fitoplankton.
13	<i>Hand counter</i>	Perhitungan jumlah kepadatan fitoplankton.
14	<i>Plankton net</i> 90 mikron	Panen fitoplankton.
15	Kertas saring	Analisis lipid.
16	Timbangan analitik	Analisis lipid.
17	Soxhlet apparatus	Analisis lipid.

Tabel 1. Alat penelitian (lanjutan)

No.	Alat	Kegunaan
18	Oven	Analisis lipid.
19	Desikator	Analisis lipid.
20	Tang penjepit	Analisis lipid.
21	Gelas beaker 1 L	Pembuatan media kultur.

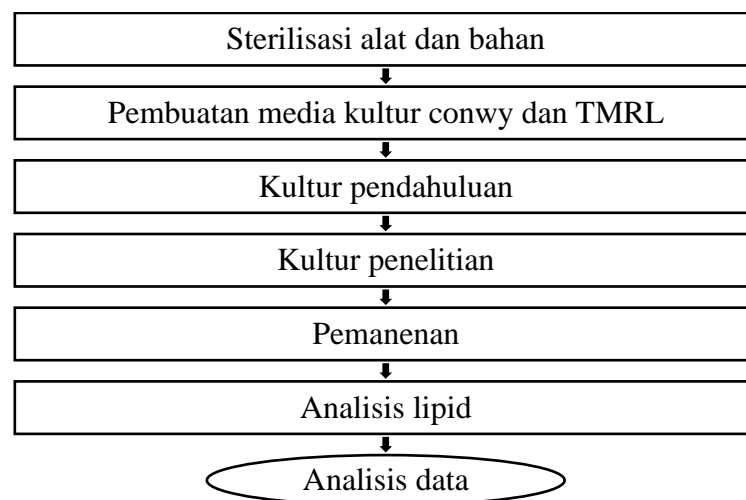
Bahan yang digunakan pada penelitian dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan penelitian

No.	Bahan	Kegunaan
1	<i>Thalassiosira</i> sp.	Kultur fitoplankton.
2	<i>Porphyridium</i> sp.	Kultur fitoplankton.
3	<i>Spirulina</i> sp.	Kultur fitoplankton.
4	Media conwy	Kultur fitoplankton.
5	Media TMRL	Kultur fitoplankton.
6	Air laut steril	Kultur fitoplankton.
7	Akuades	Pemanenan fitoplankton.
8	Larutan NaOH 1 N	Pemanenan fitoplankton.
9	Heksana	Analisis lipid.
10	Larutan kaporit 100 ppm	Sterilisasi alat.
11	Sabun cuci piring	Sterilisasi alat.
12	Alkohol 70%	Sterilisasi alat.

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Prosedur penelitian.

3.3.1 Sterilisasi Alat dan Bahan

Adapun tahapan sterilisasi alat dan air laut sebagai berikut (Muhaemin *et al.*, 2014):

1. alat dan bahan yang digunakan pada penelitian disiapkan;
2. alat yang digunakan direndam larutan kaporit 100 ppm selama 1 hari, kemudian dicuci dengan sabun cuci piring dan dibilas menggunakan air tawar;
3. alat yang sudah disterilisasi kemudian disemprot menggunakan alkohol 70%, khusus untuk selang aerasi direbus selama 15 menit tanpa disemprot alkohol;
4. air laut yang akan disterilisasikan dialirkan ke *sand filter* dan *UV sterilizer* lalu diberi ozon dengan menggunakan *ozone sterilizer* selama 15 menit; dan
5. air laut yang sudah diberi ozon kemudian didihkan dan disaring menggunakan *plankton net* 20 μ m dan didihkan kembali selama 30 menit.

3.3.2 Pembuatan Media Kultur

Media kultur adalah media pertumbuhan yang berisi nutrisi dan berguna untuk pertumbuhan dari mikroorganisme yang diteliti (Atmanto *et al.*, 2022). Pada penelitian, digunakan media conwy dan TMRL yang dibedakan dari komposisi nutrisi yang terdapat pada media kultur.

Adapun tahapan pada pembuatan media kultur, baik media conwy ataupun media TMRL, sebagai berikut (Muhaemin, 2005):

1. bahan-bahan media kultur disiapkan dan ditimbang berurutan sesuai dengan takaran;
2. alat-alat yang digunakan, seperti pipet tetes, gelas beaker, dan sendok disiapkan pada meja preparasi;
3. air laut yang sudah disterilisasi dimasukkan ke dalam gelas beaker ukuran 1 L sebanyak 800 mL, kemudian bahan-bahan media kultur dimasukkan ke dalam gelas beaker dan dilarutkan satu per satu sesuai urutan; dan
4. setelah semua larut, ditambahkan lagi air laut steril ke dalam larutan media kultur hingga menjadi 1 liter.

Komposisi dari media conwy dan TMRL dicantumkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi media conwy dan TMRL

No	Bahan kimia	conwy	TMRL
1	EDTA	45 gram	-
2	FeCl ₃	1,5 gram	3,0 gram
3	H ₃ BO ₃	33,6 gram	-
4	NaH ₂ PO ₄	20 gram	10 gram
5	MnCl ₂	0,5 gram	-
6	NaNO ₃	100 gram	100 gram
7	Na ₂ SiO ₃	-	1 gram
8	<i>Trace metal solution</i>	1 mL	-
	Komposisi:		
	ZnCl ₂	2,1 gram	
	CuSO ₄ • 5H ₂ O	2,0 gram	
	ZnSO ₄ • 7H ₂ O	2,0 gram	
	CoCl ₂ • 6H ₂ O	2,0 gram	
	(NH ₄) ₆ • Mo ₇ O ₂₄ • 4H ₂ O	0,9 gram	
	<i>Distilled</i>	100 mL	
9	Air laut steril	hingga 1 liter	hingga 1 liter

Sumber: Pujiastuti *et al.* (2012); Muhaemin *et al.* (2014)

3.3.3 Teknik Kultur

Adapun tahapan pada teknik kultur fitoplankton berskala laboratorium sesuai dengan arahan dari BBPBL Lampung sebagai berikut:

1. bibit fitoplankton disiapkan dengan cara pengenceran dari stok yang telah dikultur selama 5 hari;
2. air laut steril disiapkan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan untuk menentukan bibit awal dengan menggunakan persamaan (1) (Tambunan *et al.*, (2022));

$$V_1 = \frac{V_2 \times N_2}{N_1} \dots\dots\dots(1)$$

keterangan:

V₁ = volume penakaran bibit awal (mL)

V₂ = volume media air laut yang dikehendaki (mL)

N₁ = stok panen bibit stok (sel/mL)

N₂ = stok bibit yang dikehendaki (sel/mL);

3. media kultur diberikan sebanyak 1mL/liter kultur;

4. kualitas air seperti pH, DO, suhu, dan salinitas diukur setelah fitoplankton dimasukkan ke dalam media kultur yang telah disiapkan;
5. kultur diberi aerasi dan pencahayaan;
6. pengamatan kepadatan fitoplankton dilakukan setiap 12 jam sekali menggunakan mikroskop dan *hemocytometer*;
7. fitoplankton jenis *Spirulina* sp. dilihat menggunakan *sedgewick rafter cell* (SRC) setelah diencerkan sebanyak 2x dan dihitung kepadatannya;
8. setelah kultur mencapai fase akhir eksponensial atau fase awal stasioner, dilakukan pengukuran kualitas air;
9. kultur dipanen dengan menggunakan larutan NaOH 1M dan *plankton net* yang sesuai untuk setiap fitoplankton; dan
10. hasil basah kultur yang telah dipanen dimasukkan ke dalam tabung plastik untuk selanjutnya dilakukan ekstraksi lipid.

3.3.4 Ekstraksi Lipid

Adapun tahapan pada analisis lipid sesuai dengan arahan dari Laboratorium THP, Politeknik Negeri Lampung adalah sebagai berikut (Sudarmadji *et al.*, 1984):

1. sebanyak 0,5-2 gram sampel yang akan dianalisis ditimbang menggunakan timbangan analitik;
2. sampel yang telah ditimbang kemudian dibungkus dengan kertas saring dan dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi Soxhlet;
3. cawan lemak yang akan digunakan ditimbang menggunakan timbangan analitik;
4. cawan lemak yang telah ditimbang dipasangkan ke alat Soxhlet;
5. tabung ekstraksi dipasangkan pada alat distilasi Soxhlet dan diisi pelarut nonpolar hingga turun ke cawan lemak (sekitar 50 mL);
6. alat ekstraksi dirangkai dengan tepat agar terhindar dari kebocoran;
7. kondensor dipasangkan ke alat Soxhlet dan dialirkan air pendingin;
8. soxhlet dinyalakan dan dibiarkan untuk proses ekstraksi selama 4-5 jam;
9. setelah proses ekstraksi selesai, cawan lemak yang berisi lipid dikeringkan pada oven dengan suhu 100-105°C selama 30 menit; dan

10. berat residu dalam cawan lemak dinyatakan sebagai berat lipid dan dapat dihitung dengan persamaan (5) (Sudarmadji *et al.*, 1984).

$$\text{Kandungan lipid (\%)} = \frac{B - C}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

keterangan:

A = bobot sampel lipid kering (gram)

B = bobot cawan lemak dan sampel (gram)

C = bobot cawan lemak (gram).

11. hasil kandungan lipid yang telah diperoleh dianalisis perbedaannya antar media kultur dengan menggunakan persamaan (6).

$$\text{Perbedaan (\%)} = \frac{\text{KL pada media yang tertinggi} - \text{KL pada media yang terendah}}{\text{KL pada media yang terendah}} \times 100\% \dots(3)$$

keterangan:

KL = kandungan lipid.

3.4 Rancangan Penelitian

3.4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui waktu panen pada setiap spesies fitoplankton uji. Waktu panen fitoplankton uji pada penelitian adalah pada fase akhir eksponensial atau fase awal stasioner. Kepadatan sel setiap spesies fitoplankton dihitung setiap 12 jam waktu kultur. Hasil pengamatan kepadatan selanjutnya diplotkan dalam grafik yang menghubungkan antara waktu kultur (sebagai sumbu X) dengan kepadatan sel setiap fitoplankton (sebagai sumbu Y). Pada penelitian pendahuluan, *trendline* yang sesuai digunakan pada aplikasi Microsoft Excel 2016 untuk melihat koefisien korelasi dan koefisien determinasi fase pertumbuhan dari setiap fitoplankton uji yang dikultur pada media yang berbeda. Grafik yang terbentuk selanjutnya dijadikan acuan di tahapan proses pengambilan sampel penelitian saat dianalisis kandungan lipidnya.

3.4.2 Kepadatan Awal Fitoplankton pada Penelitian Pendahuluan

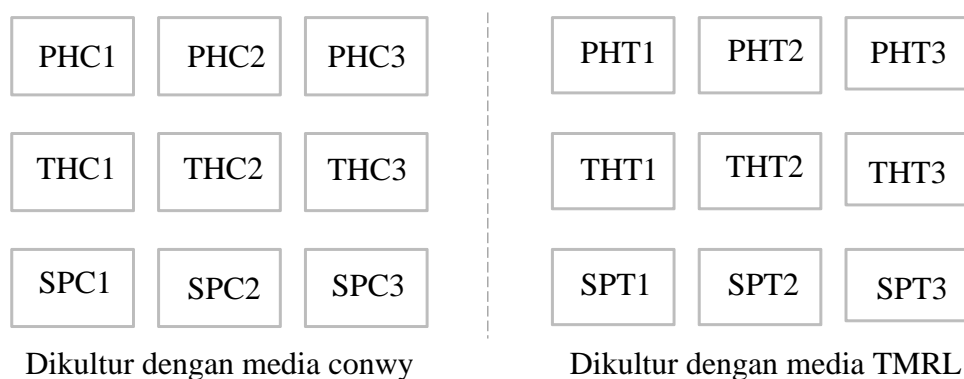
Kepadatan awal setiap spesies fitoplankton uji yang digunakan pada penelitian pendahuluan disajikan pada Tabel 4. Perbedaan kepadatan awal setiap spesies fitoplankton uji disebabkan adanya perbedaan pada ukuran sel setiap spesies.

Tabel 4. Kepadatan awal penelitian pendahuluan

No.	Jenis fitoplankton	Kepadatan awal (sel/mL)
1	<i>Porphyridium</i> sp.	70×10^4
2	<i>Thalassiosira</i> sp.	15×10^4
3	<i>Spirulina</i> sp.	1×10^4

3.4.3 Rancangan Lingkungan

Penelitian dilakukan dengan mengkultur 3 spesies fitoplankton laut yang berbeda (*Porphyridium* sp., *Thalassiosira* sp. dan *Spirulina* sp.) pada 2 media kultur yang berbeda (conwy dan TMRL) pada skala laboratorium dengan pengulangan sebanyak 3 kali setiap perlakuan, sehingga terdapat 18 unit perlakuan kultur dari fitoplankton laut. Penelitian dilakukan di ruangan tertutup pada Laboratorium Zooplankton, BBPBL Lampung, dengan tempat khusus yang disiapkan untuk meminimalisir terjadinya kontaminasi pada unit perlakuan kultur dari fitoplankton laut. Rancangan peletakkan unit perlakuan kultur fitoplankton laut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tata letak unit perlakuan kultur fitoplankton.

Keterangan:

PH : *Porphyridium* sp.

TH : *Thalassiosira* sp.

SP : *Spirulina* sp.

C : Media conwy

T : Media TMRL

1,2,3 : Ulangan sampel

3.4.4 Perhitungan Sampel

Perhitungan sampel dilakukan setiap 12 jam waktu kultur untuk setiap unit perlakuan. Sampel setiap unit perlakuan fitoplankton laut yang dihitung kepadatannya diambil sebanyak 0,1-0,5 mL menggunakan pipet tetes steril. Sampel fitoplankton jenis *Porphyridium* sp. dan *Thalassiosira* sp. dihitung menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40 kali dan *haemocytometer*. Sementara untuk jenis *Spirulina* sp., perhitungan sampel dilakukan dengan mengencerkan sampel sebanyak 2 kali dan menggunakan *sedgewick rafter counter* pada mikroskop dengan perbesaran 10 kali. Persamaan kepadatan fitoplankton yang digunakan untuk setiap spesies berbeda. Fitoplankton jenis *Porphyridium* sp. menggunakan persamaan (4) dan *Thalassiosira* sp. menggunakan persamaan (5) (Mukhlis *et al.*, 2017; Ernawati *et al.*, 2023).

$$\text{Kepadatan fitoplankton} = \frac{n}{5} \times 25 \times 10^4 \text{ sel/mL} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Kepadatan fitoplankton} = n \times 10^4 \text{ sel/mL} \dots\dots\dots(5)$$

Sementara perhitungan sampel jenis *Spirulina* sp. menggunakan persamaan (6).

$$\text{Kepadatan fitoplankton} = n \times 10^2 \text{ sel/mL} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

n = jumlah fitoplankton yang teramati

3.5 Analisis Data

Data kepadatan dan fase pertumbuhan fitoplankton yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan *trendline* yang sesuai pada aplikasi Microsoft Excel 2016 dan dianalisis hubungan antara kepadatan dan fase pertumbuhan setiap jenis fitoplankton terhadap media yang digunakan. Data kandungan lipid total setiap jenis fitoplankton yang telah diperoleh dianalisis secara deskriptif.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan yang didapatkan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Kepadatan sel fitoplankton tertinggi dicapai oleh *Porphyridium* sp., sedangkan yang terendah dicapai oleh *Spirulina* sp..
2. Fase lag fitoplankton tercepat dicapai oleh *Porphyridium* sp.. Fase eksponensial setiap fitoplankton dicapai hingga jam ke-108 waktu kultur, kecuali *Porphyridium* sp. yang dikultur pada media TMRL mengalami fase eksponensial hingga jam ke-144 waktu kultur.
3. Kandungan lipid total fitoplankton tertinggi dihasilkan pada fitoplankton yang dikultur dengan media conwy. Lipid total tertinggi fitoplankton yang dikultur pada media conwy adalah *Thalassiosira* sp. dan pada media TMRL adalah *Spirulina* sp..

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Porphyridium* sp. yang dikultur dengan media kultur conwy cocok untuk kultur yang memerlukan kepadatan yang tinggi dan fase pertumbuhan yang cepat.
2. *Thalassiosira* sp. yang dikultur dengan media conwy cocok untuk kultur yang memerlukan lipid total yang tinggi.
3. Penelitian lanjutan diperlukan dengan menggunakan jenis fitoplankton dan media kultur yang berbeda untuk menentukan jenis fitoplankton dan media kultur yang tepat untuk bioprospeksi lipid.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, M., Subiyanto, & Haeruddin. 2014. Komposisi dan distribusi plankton di perairan Teluk Semarang. *Saintifika*. 16(2): 39–48.
- al Adawiyah, L., Ulkhaq, M. F., & Kenconoajati, H. 2020. Respon pertumbuhan kultur mikroalga *Porphyridium* sp. dalam wadah kaca dan plastik pada skala laboratorium. *Journal of Aquaculture and Fish Health*. 9(2): 155-163.
- AlFadhly, N. K. Z., Alhelfi, N., Altemimi, A. B., Verma, D. K., & Cacciola, F. 2022. Tendencies affecting the growth and cultivation of genus *Spirulina*: an investigative review on current trends. *Plants*. 11(22): 1-21.
- Almutairi, A. W., El-Sayed, A. E. K. B., & Reda, M. M. 2020. Combined effect of salinity and pH on lipid content and fatty acid composition of *Tisochrysis lutea*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 27(12): 3553–3558.
- Aratboni, H. A., Rafiei, N., Garcia-Granados, R., Alemzadeh, A., & Morones-Ramírez, J. R. 2019. Biomass and lipid induction strategies in microalgae for biofuel production and other applications. *Microbial Cell Factories*. 18(178): 1–17.
- Arlyza, I. S. 2005. Phycocyanin dari mikroalga bernilai ekonomis tinggi sebagai produk industri. *Oseana*. 30(3): 27–36.
- Atmanto, Y. K. A. A., Paramita, K., & Handayani, I. 2022. Culture media. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. 4(4): 2213–2225.
- Bai, Y., Cao, T., Dautermann, O., Buschbeck, P., Cantrell, M. B., Chen, Y., Lein, C. D., Shi, X., Ware, M. A., Yang, F., Zhang, H., Zhang, L., Peers, G., Li, X., & Lohr, M. 2022. Green diatom mutants reveal an intricate biosynthetic pathway of fucoxanthin. *PNAS*. 119(38): 1–12.
- Barlow, R., Kyewalyanga, M., Sessions, H., van den Berg, M., & Morris, T. 2008. Phytoplankton pigments, functional types, and absorption properties in the delagoa and natal bights of the agulhas ecosystem. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*. 80(2): 201–211.

- Bernard, O., & Rémond, B. 2012. Validation of a simple model accounting for light and temperature effect on microalgal growth. *Bioresource Technology*. 123: 520–527.
- Boyd, P. W., Rynearson, T. A., Armstrong, E. A., Fu, F., Hayashi, K., Hu, Z., Hutchins, D. A., Kudela, R. M., Litchman, E., Mulholland, M. R., Passow, U., Strzepek, R. F., Whittaker, K. A., Yu, E., & Thomas, M. K. 2013. Marine phytoplankton temperature versus growth responses from polar to tropical waters - outcome of a scientific community-wide study. *PLoS ONE*. 8(5): 1–17.
- Breuer, G., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B., & Wijffels, R. H. 2013. Effect of light intensity, pH, and temperature on triacylglycerol (TAG) accumulation induced by nitrogen starvation in *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology*. 143: 1–9.
- Budiardi, T., Bambang, N., Utomo, P., & Santosa, A. 2010. Pertumbuhan dan kandungan nutrisi *Spirulina* sp. pada fotoperiode yang berbeda. *Jurnal Akuakultur Indonesia*. 9(2): 146–156.
- Budiyono, Syaichurrozi, I., Sumardiono, S., & Sasongko, S. B. 2014. Production of *Spirulina platensis* biomass using digested vinasee as cultivation medium. *Trends in Applied Sciences Research*. 9(2): 93–102.
- Can, S. S., Koru, E., & Cirik, S. 2017. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Spirulina platensis* and biodiesel production. *Aquaculture International*. 25(4): 1485–1493.
- Caturwati, L. N. 2019. *Optimasi Pertumbuhan Spirulina sp. pada Media Walne dengan Variasi Suplai Urea dan NaHCO₃*. (Skripsi). Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta. 162 hlm.
- Chapman, K. D. & Ohlrogge, J. B. 2012. Compartmentation of triacylglycerol accumulation in plants. *Journal of Biological Chemistry*. 287(4): 2288–2294.
- Choopani, A., Asghari, A., Fazilati, M., Latifi, A. M., & Salavati, H. 2016. A review on antioxidant properties of *Spirulina*. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 3(1): 345–351.
- Chowdury, K. H., Nahar, N., & Deb, U. K. 2020. The growth factors involved in microalgae cultivation for biofuel production: a review. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*. 9(4): 185–215.
- Christwardana, M., Nur, M. M. A., & Hadiyanto, H. 2011. *Spirulina platensis*: potensinya sebagai bahan pangan fungsional. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 2(1): 1–4.

- Csögör, Z., Kiessling, B., Perner, I., Fleck, P., & Posten, C. 2001. Growth and product formation of *Porphyridium purpureum*. *Journal of Applied Phycology*. 13(4): 317–324.
- Culaba, A. B., Ubando, A. T., Ching, P. M. L., Chen, W. H., & Chang, J. S. 2020. Biofuel from microalgae: sustainable pathways. *Sustainability*. 12(19): 1–19.
- da Fontoura, J. T., Rolim, G. S., Farenzena, M., & Gutterres, M. 2017. Influence of light intensity and tannery wastewater concentration on biomass production and nutrient removal by microalgae *Scenedesmus* sp. *Process Safety and Environmental Protection*. 111: 355–362.
- Efendi, D., Waspodo, S., & Damayanti, A. A. 2018. *Pengaruh Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Populasi Nannochloropsis sp. Skala Laboratorium*. (Skripsi). Universitas Mataram. Mataram. 24 hlm.
- Eka, N. Q. 2021. *Pembuatan Biodiesel dari Mikroalga Coelastrrella sp. Menggunakan Katalis Montmorillonite K-10 pada Proses Esterifikasi*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. 82 hlm.
- Endar, V., Sarjito, Hutabarat, J., & Prayitno, B. 2012. Effect of using guillard and walne technical culture media on growth and fatty acid profiles of microalgae *Skeletonema* sp. in mass culture. *Journal of Coastal Development*. 16(1): 50–56.
- Erlangga, Andira, A., Erniati, Mahdaliana, & Muliani. 2021. Peningkatan kepadatan *Thalassiosira* sp. dengan dosis pupuk silikat yang berbeda. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*. 8(3): 167–174.
- Ernawati, Irawati, Ameth, H. R., & Yunitasari, I. 2023. Pengaruh suhu terhadap kepadatan *Thalassiosira* sp. yang dikultur pada skala laboratorium. *Jurnal Perikanan Unram*. 13(1): 81–88.
- Etesami, E., Jorjani, S., & Noroozi, M. 2022. Improvement of *Thalassiosira weissflogii* as a high valuable nutritional feed. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 21(1): 15–32.
- Fadhilah, I., Annisa, T., Widiastuti, E. L., & Maharani, H. W. 2021. Lipid Contain of Three Microalgae on Culture with Different pH and Salinity. *Advances in Engineering Research*. 202: 101–112.
- Fadila, A. R., Suminto, Subandiyono, & Chilmawati, D. 2021. Pengaruh rasio N:P dalam media kultur terhadap pola pertumbuhan dan kandungan protein *Thalassiosira* sp. *Jurnal Sains Akuakultur*. 5(2): 147–158.
- Fahy, E., Cotter, D., Sud, M., & Subramaniam, S. (2011). Lipid classification, structures and tools. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids*. 1811(11): 637–647.

- Falkowski, P. G., Laws, E. A., Barber, R. T., & Murray, J. W. 2003. *Ocean Biogeochemistry: The Role of the Ocean Carbon Cycle in Global Change*. Springer Berlin Heidelberg. Berlin. 297 hlm.
- Fernández, F. G. A., Sevilla, J. M. F., & Grima, E. M. 2013. Photobioreactors for the production of microalgae. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 12(2): 131–151.
- Firdaus, M. R. & Wijayanti, L. A. S. 2019. Fitoplankton dan siklus karbon global. *Oseana*. 44(2): 35–48.
- Gami, B., Naik, A., & Patel, B. 2011. Cultivation of *Spirulina* species in different liquid media. *Journal of Algal Biomass Utilization*. 2(3): 15–26.
- Golueke, C. G., & Oswald, W. J. 1962. The mass culture of *Porphyridium cruentum*. *Applied Microbiology*. 10(2): 102–107.
- Guillerme, J. B., Couteau, C., & Coiffard, L. 2017. Applications for marine resources in cosmetics. *Cosmetics*. 4(3): 35–49.
- Guštin, S., & Logar, R. M. 2011. Effect of pH, Temperature and air flow rate on the continuous ammonia stripping of the anaerobic digestion effluent. *Process Safety and Environmental Protection*. 89(1): 61–66.
- Hadiyanto, H., & Nur, M. A. 2012. *Mikroalga: Sumber Pangan dan Energi Masa Depan*. UNDIP Press. Semarang. 18 hlm.
- Hariyati, R. 2008. Pertumbuhan dan biomassa *Spirulina* sp. dalam skala laboratoris. *BIOMA*. 10(1): 19–22.
- Hevia-Orube, J., Orive, E., David, H., Díez, A., Laza-Martínez, A., Miguel, I., & Seoane, S. 2016. Molecular and morphological analyses of solitary forms of brackish Thalassiosiroid diatoms (Coscinodiscophyceae), with emphasis on their phenotypic plasticity. *European Journal of Phycology*. 51(1): 11–30.
- Irwani, Ridlo, A., & Widianingsih. 2013. Optimalisasi total lipid mikroalga *Porphyridium cruentum* melalui pembatasan nutrisi dan fotoperiod. *Buletin Oseanografi Marina*. 2: 16–23.
- Isnansetyo, A., & Kurniastuty. 1995. *Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton*. Kanisius. Yogyakarta. 116 hlm.
- Jati, F., Hutabarat, J., & Herawati, V. E. 2012. Pengaruh penggunaan dua jenis media kultur teknis yang berbeda terhadap pola pertumbuhan, kandungan protein, dan asam lemak omega 3 EPA (*Chaetoceros gracilis*). *Journal Of Aquaculture Management and Technology*. 1(1): 221–235.

- Jia, H., & Yuan, Q. 2016. Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae–bacteria consortia. *Cogent Environmental Science*. 2(1): 1–15.
- Joseph, S., & Ajithkumar, P. B. 2013. *Microalgal Culture and Maintenance in Marine Hatcheries*. Central Marine Fisheries Research Institute. India. 304 hlm.
- Juin, C., Oliveira Junior, R. G. de, Fleury, A., Oudinet, C., Pytowski, L., Bérard, J. B., Nicolau, E., Thiéry, V., Lanneluc, I., Beugeard, L., Prunier, G., Almeida, J. R. G. D. S., & Picot, L. 2018. Zeaxanthin from *Porphyridium purpureum* induces apoptosis in human melanoma cells expressing the oncogenic BRAF V600E mutation and sensitizes them to the BRAF inhibitor vemurafenib. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 28(4): 457–467.
- Jung, C. H. G., Braune, S., Waldeck, P., Küpper, J. H., Petrick, I., & Jung, F. 2021. Morphology and growth of *Arthrospira platensis* during cultivation in a flat-type bioreactor. *Life*. 11(6): 1-8.
- Kang, K. H., Ryu, B. M., Kim, S. K., & Qian, Z. J. 2011. Characterization of growth and protein contents from microalgae *Navicula incerta* with the investigation of antioxidant activity of enzymatic hydrolysates. *Food Science and Biotechnology*. 20(1): 183–191.
- Karim, A., Amirul Islam, M., Khalid, Z. Bin, Faizal, C. K. M., Khan, M. M. R., & Yousuf, A. 2019. *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*. Elsevier. Amsterdam. 361 hlm.
- Karimah, N. H. 2018. *Teknik Kultur Pakan Alami (Thalassiosira sp.) di PT. Esaputlii Prakarsa Utama Kabupaten Barru Sulawesi Selatan*. (Skripsi). Politeknik Pertanian Negeri Pangkep. Pangkep. 31 hlm.
- Kavitha, M. D., Kathiresan, S., Bhattacharya, S., & Sarada, R. (2016). Culture media optimization of *Porphyridium purpureum*: production potential of biomass, total lipids, arachidonic and eicosapentaenoic acid. *Journal of Food Science and Technology*. 53(5): 2270–2278.
- Kim, H. U. 2020. Lipid metabolism in plants. *Plants*. 9(7): 1–4.
- Klok, A. J., Lamers, P. P., Martens, D. E., Draaisma, R. B., & Wijffels, R. H. 2014. Edible oils from microalgae: insights in TAG accumulation. *Trends in Biotechnology*. 32(10): 521–528.
- Kong, F., Romero, I. T., Warakanont, J., & Li-Beisson, Y. 2018. Lipid catabolism in microalgae. *New Phytologist*. 218(4): 1340–1348.

- Kumar, J. Y., Reddy, S. J., & Suguna, T. 2020. Role of plankton in aquaculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(9): 2848–2851.
- Kwangdinata, R., Raya, I., & Zakir, M. 2013. Produksi biodiesel dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. melalui metode ultrasonik. *Marina Chimica Acta*. 14(2): 28–36.
- Kywalyanga, M. 2016. *The Regional State of the Coast Report: Western Indian Ocean*. United Nations Environment Programme. Nairobi. 107 hlm.
- Lannan, E. 2011. *Scale-up of Algae Growth System to Cleanse Wastewater and Produce Oils for Biodiesel Production*. (Thesis). Rochester Institute of Technology. Rochester. 115 hlm.
- Lee, S. D., Yun, S. M., Cho, P. Y., Yang, H. W., & Kim, O. J. 2019. Newly recorded species of diatoms in the source of Han and Nakdong rivers, South Korea. *Phytotaxa*. 403(3): 143–170.
- Li, C., Wu, H., Xiang, W., Wu, H., Wang, N., Wu, J., & Li, T. 2022. Comparison of production and fluorescence characteristics of phycoerythrin from three strains of *Porphyridium*. *Foods*. 11(14): 1–17.
- Li, Q., Chen, Y., Liu, X., Li, Y., Xu, J., Li, T., Xiang, W., & Li, A. 2023. Effect of salinity on the biochemical characteristics and antioxidant activity of exopolysaccharide of *Porphyridium purpureum* FACHB 806. *Frontiers in Marine Science*. 9: 1–10.
- Li, T., Xu, J., Wu, H., Jiang, P., Chen, Z., & Xiang, W. 2019. Growth and biochemical composition of *Porphyridium purpureum* SCS-02 under different nitrogen concentrations. *Marine Drugs*. 17(124): 1–16.
- Lin, S. 2023. Phosphate limitation and ocean acidification co-shape phytoplankton physiology and community structure. *Nature Communications*. 14(2699): 1–5.
- Lu, D., Tabil, L. G., Wang, D., Wang, G., & Emami, S. 2014. experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. *Biomass and Bioenergy*. 69: 287–296.
- Lu, X., Nan, F., Feng, J., Lv, J., Liu, Q., Liu, X., & Xie, S. 2020. Effects of different environmental factors on the growth and bioactive substance accumulation of *Porphyridium purpureum*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(7): 1-14.
- Makmur, M. F., & Ruskiah. 2012. Struktur Komunitas Plankton dan Manfaatnya Bagi Perikanan Pesisir Kabupaten Pohuwatu di Propinsi Gorontalo. *Prosiding Indoaqua - Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*: 857–865.

- Marella, T. K., & Tiwari, A. 2020. Marine diatom *Thalassiosira weissflogii* based biorefinery for co-production of eicosapentaenoic acid and fucoxanthin. *Bioresource Technology*. 307: 1–6.
- Mishra, T., Joshi, M., Singh, S., Jain, P., Kaur, R., Ayub, S., & Kaur, K. 2013. *Spirulina*: the beneficial algae. *International Journal of Applied Microbiology Science*. 2(3): 21–35.
- Mitra, A. 2016. *Basics of Marine and Estuarine Ecology*. University of Calcutta. India. 479 hlm.
- Mohan, S. V., & Devi, M. P. 2014. Salinity stress induced lipid synthesis to harness biodiesel during dual mode cultivation of mixotrophic microalgae. *Bioresource Technology*. 165: 288–294.
- Morales, M., Aflalo, C., & Bernard, O. 2021. Microalgal lipids: a review of lipids potential and quantification for 95 phytoplankton species. *Biomass and Bioenergy*. 150: 1–25.
- Muhaemin, M., Kaswadji, R. F., & Pratono, T. 2005. Kemampuan pengikatan metaloprotein asam amino methionin terhadap Pb pada *Dunaliella salina*. *Jurnal Pertanian Terapan*. 6(2): 160-165.
- Muhaemin, M., Dona, R. S., & Tri Agustina, dan. 2014. Starvasi nitrogen dan pengaruhnya terhadap biomassa dan protein total *Nannochloropsis* sp. *Maspari Journal*. 6(2): 98–103.
- Mukhlis, A., Abidin, Z., & Rahman, I. 2017. Pengaruh konsentrasi pupuk ammonium sulfat terhadap pertumbuhan populasi sel *Nannochloropsis* sp. *Jurnal Biowallacea*. 3(3): 149–155.
- Mulyadi, A. 2007. *Mikroalga Porphyridium: Biologi dan Uji Guna In-Vitro*. Unri Press. Riau. 125 hlm.
- Napiórkowska-Krzebietke, A. 2017. Phytoplankton as a basic nutritional source in diets of fish. *Journal of Elementology*. 22(3): 831–841.
- Negara, B. F. S., Nursalim, N., Herliany, N. E., Renta, P. P., Purnama, D., & Utami, M. A. F. 2019. Peranan dan pemanfaatan *Tetraselmis chuii* sebagai bioetanol. *Jurnal Enggano*. 4(2): 136–147.
- Neofotis, P., Temple, J., Tessmer, O. L., Bibik, J., Norris, N., Pollner, E., Lucker, B., Weraduwege, S. M., Withrow, A., Sears, B., Mogos, G., Frame, M., Hall, D., Weissman, J., & Kramer, D. M. 2021. The induction of pyrenoid synthesis by hyperoxia and its implications for the natural diversity of Photosynthetic responses in *Chlamydomonas*. *Elife*. 10: 1-3.

- Ningsih, D. R., Widiastuti, E. L., Murwani, S., & Tugiyono, T. 2017. Kadar lipid tiga jenis mikroalga pada salinitas yang berbeda. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati*. 4(1): 23–29.
- Nurdin, S. 2017. Optimasi pembentukan bioflok dari *Chaetoceros* sp., *Thalassiosira* sp., dan bakteri probiotik melalui variasi salinitas secara in vitro. *Bio-nature*. 18(2): 140–151.
- Nzayisenga, J. C., Farge, X., Groll, S. L., & Sellstedt, A. 2020. Effects of light intensity on growth and lipid production in microalgae grown in wastewater. *Biotechnology for Biofuels*. 13(1): 1–8.
- Ördög, V., Stirk, W. A., Bálint, P., Aremu, A. O., Okem, A., Lovász, C., Molnár, Z., & van Staden, J. 2016. Effect of temperature and nitrogen concentration on lipid productivity and fatty acid composition in three *Chlorella* Strains. *Algal Research*. 16: 141–149.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.2/MENLHK/SETJEN/KUM.1/1/2018 tentang Akses Pada Sumber Daya Genetik Spesies Liar dan Pembagian Keuntungan atas Pemanfaatannya.
- Perez-Garcia, O., Escalante, F. M. E., de-Bashan, L. E., & Bashan, Y. 2011. Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products. *Water Research*. 45(1): 11–36.
- Pirenantyo, P., & Limantara, L. 2008. Pigmen *Spirulina* sebagai senyawa anti-kanker. *Indonesian Journal of Cancer*. 4: 155–163.
- Pires, J. C. M., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Simões, M. 2012. Carbon dioxide capture from flue gases using microalgae: engineering aspects and biorefinery concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(5): 3043–3053.
- Prartono, T., Kawaroe, M., & Katili, V. 2013. Fatty acid composition of three diatom species *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* sp., and *Chaetoceros gracilis*. *International Journal of Environment and Bioenergy*. 6(1), 28–43.
- Prayitno, J. 2016. Pola pertumbuhan dan pemanenan biomassa dalam fotobio-reaktor mikroalga untuk penangkapan karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 17(1): 45–52.
- Prihardianto, M. K., Chilmawati, D., & Subandiyono. 2023. Pola pertumbuhan *Thalassiosira* sp. pada media walne dengan rasio N/P berbeda. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*. 2: 196–206.
- Pujiastuti, A., Muhaemin, M., & Wijayanti, H. 2012. Pertumbuhan *Tetraselmis* sp. di media kultur berbeda dengan penambahan Pb^{2+} . *Aquasains*. 1(1): 31–34.

- Rai, M. P., & Gupta, S. 2017. Effect of media composition and light supply on biomass, lipid content and FAME profile for quality biofuel production from *Scenedesmus abundans*. *Energy Conversion and Management*. 141: 85–92.
- Razaghi, A., Godhe, A., & Albers, E. 2014. Effects of nitrogen on growth and carbohydrate formation in *Porphyridium cruentum*. *Central European Journal of Biology*. 9(2): 156–162.
- Ren, H.-Y., Liu, B.-F., Kong, F., Zhao, L., Xie, G.-J., & Ren, N.-Q. 2014. Enhanced lipid accumulation of green microalga *Scenedesmus* sp. by metal ions and EDTA addition. *Bioresource Technology*. 169: 763–767.
- Renaud, S. M., Thinh, L.-V., Lambrinidis, G., & Parry, D. L. 2002. Effect of temperature on growth, chemical composition and fatty acid composition of tropical australian microalgae grown in batch cultures. *Aquaculture*. 211(1): 195–214.
- Richmond, A. 2003. *Handbook of Microalgal Culture*. Blackwell Publishing Ltd. New Jersey. 719 hlm.
- Rohmi, Y. 2019. *Keanekaragaman dan Kelimpuhan Fitoplankton Sebagai Bioindikator Kualitas Lingkungan di Area Pengolahan Emas Tradisional Sekotong Kabupaten Lombok Barat*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Mataram. Mataram. 66 hlm.
- Rudi, L., Cepoi, L., Chiriac, T., Miscu, V., Valuta, A., & Djur, S. 2023. Effects of citrate-stabilized gold and silver nanoparticles on some safety parameters of *Porphyridium cruentum* biomass. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 11: 1-13.
- Safitri, M. E., Diantari, R., Moh Muhaemin, & Suparmono. 2013. Kandungan lemak total *Nannochloropsis* sp. pada fotoperiode yang berbeda. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Budidaya Perairan*. 1(2): 127–134.
- Sas, A. A. A., Arshad, A., Das, S. K., Pau, S. S. N., & Cob, Z. C. 2023. Optimum temperature and salinity conditions for growth, lipid contents, and fatty acids composition of centric diatoms *Chaetoceros calcitrans* and *Thalassiosira weissflogii*. *Pertanika Journal of Science and Technology*. 31(2): 689–707.
- Seghiri, R., Kharbach, M., & Essamri, A. 2019. Functional composition, nutritional properties, and biological activities of moroccan *Spirulina* microalga. *Journal of Food Quality*. 2019: 1-11.
- Setyaningsih, I., Salamah, E., & Rahman, D. A. (2013). Komposisi kimia dan aktivitas antihiperlipidemik biomassa dan polisakarida ekstraseluler dari mikroalga *Porphyridium cruentum*. *JPHPI*. 16(1): 79–85.

- Sharp, M., Sahin, K., Stefan, M., Orhan, C., Gheith, R., Reber, D., Sahin, N., Tuzcu, M., Lowery, R., Durkee, S., & Wilson, J. 2020. Phytoplankton supplementation lowers muscle damage and sustains performance across repeated exercise bouts in humans and improves antioxidant capacity in a mechanistic animal. *Nutrients*. 12(7): 1–16.
- Shen, P. L., Wang, H. T., Pan, Y. F., Meng, Y. Y., Wu, P. C., & Xue, S. 2016. Identification of characteristic fatty acids to quantify triacylglycerols in microalgae. *Frontiers in Plant Science*. 7(162): 1–7.
- Soetrisno, Y., & Garno. 2008. Kualitas air dan dinamika fitoplankton di perairan Pulau Harapan. *Jurnal Hidrosfir Indonesia*. 3(2): 87–94.
- Sofarini, D. 2012. Keberadaan dan kelimpahan fitoplankton sebagai salah satu indikator kesuburan lingkungan perairan di Waduk Riam Kanan. *Enviro-Scienteeae*. 8: 30–34.
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. 2017. *Spirulina* – from growth to nutritional product: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 69: 157–171.
- Srinivasakumar, K. P., & Rajashekhar, M. 2009. In vitro studies on bactericidal activity and sensitivity pattern of isolated marine microalgae against selective human bacterial pathogens. *Indian Journal of Science and Technology*. 2(8): 16-23.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., & Suhardi. 1984. *Prosedur Analisa untuk Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty. Yogyakarta. 172 hlm.
- Sugiyono. 2007. *Statistik untuk Penelitian*. Alfabeta. Jakarta. 306 hlm.
- Sulastri. 2018. *Fitoplankton Danau-Danau di Pulau Jawa: Keanekaragaman dan Perannya sebagai Bioindikator Perairan*. LIPI Press. Jakarta. 122 hlm.
- Syaichurrozi, I., & Jayanudin, J. 2016. Kultivasi *Spirulina Platensis* pada Media Bernutrisi Limbah Cair Tahu dan Sintetik. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 5(2): 68–73.
- Tambunan, A. L., Yuniar, I., & Trisyani, I. 2022. Kultur Pertumbuhan Mikroalga *Spirulina* sp. pada Media Asam, Netral, dan Alkaline Skala Laboratorium. *Jurnal Perikanan Dan Ilmu Kelautan*. 4(1): 28–37.
- Udayan, A., Pandey, A. K., Sirohi, R., Sreekumar, N., Sang, B. I., Sim, S. J., Kim, S. H., & Pandey, A. 2022. Production of microalgae with high lipid content and their potential as sources of nutraceuticals. *Proceedings of Phytochemistry Reviews: Phytochemical Society of Europe*: 1–28.

- Umiatun, S., Carmudi, C., & Christiani, C. 2017. Hubungan antara kandungan silika dengan kelimpahan diatom benthik di sepanjang Sungai Pelus Kabupaten Banyumas. *Scripta Biologica*. 4(1): 61–67.
- Vrieling, E., Poort, L., Beelen, T., & Gieskes, W. 1999. Growth and silica content of the diatoms *Thalassiosira weissflogii* and *Navicula salinarum* at different salinities and enrichments with aluminium. *European Journal of Phycology*. 34(3): 307–316.
- Wahjuni, S. 2014. *Dasar-Dasar Biokimia*. Udaya University Press. Bali. 78 hlm.
- Wahyudi, Chilmawati, D., Samidjan, I., & Suminto. 2022. Pengaruh rasio chelator dan metal pada media kultur terhadap pola pertumbuhan dan kandungan protein sel diatom *Thalassiosira* sp. *Jurnal Sains Akuakultur Tropis*. 6(1): 129–137.
- Widayati, Y. 2014. *Pemanfaatan Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao L) sebagai Sumber Nutrien dalam Kultur Spirulina sp.* (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung. 44 hlm.
- Widianingsih, Hartati, R., Endrawati, H., & Iriani, V. R. 2012. Kandungan lipid total *Nannochloropsis oculata* pada kultur dengan berbagai fotoperiod. *Ilmu Kelautan*. 17(3): 119–124.
- Yani, R., Dharma, A., & Rilda, Y. 2023. Pengaruh gas CO₂ terhadap pertumbuhan, kandungan asam lemak, lipid, dan karotenoid total *Chlorella emersonii*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 21(2): 245–250. D
- Yanuhar, U., Arfiati, D., Yuliana, & Kusriani. 2018. Opportunity plankton as vector transmission of koi herpes virus infection on carp (*Cyprinus carpio*). *AAAL Bioflux*. 11(6): 1869–1881.
- Zang, C., Huang, S., Wu, M., Du, S., Scholz, M., Gao, F., Lin, C., Guo, Y., & Dong, Y. 2011. Comparison of relationships between pH, dissolved oxygen and chlorophyll a for aquaculture and non-aquaculture waters. *Water, Air, and Soil Pollution*. 219: 157–174.
- Zhou, J., Wang, M., Saraiva, J. A., Martins, A. P., Pinto, C. A., Prieto, M. A., Simal-Gandara, J., Cao, H., Xiao, J., & Barba, F. J. 2022. Extraction of lipids from microalgae using classical and innovative approaches. *Food Chemistry*. 384: 1–15.