

MONOGRAFI

**KONSORSIUM MIKROALGA
ASAL ALAM WALLACEA DI
NUSA TENGGARA BARAT
UNTUK PRODUKSI BIODIESEL**

KONSORSIUM MIKROALGA ASAL ALAM WALLACEA DI NUSA TENGGARA BARAT UNTUK PRODUKSI BIODIESEL

Penulis:
**SURIPTO
LALU JAPA**



Penerbit Arga Puji Press

KONSORSIUM MIKROALGA ASAL ALAM WALLACEA DI NUSA TENGGARA BARAT UNTUK PRODUKSI BIODIESEL

Penulis:

**SURIPTO
LALU JAPA**

Lay Out:

Muzani

Desain Cover:

M. Tahir

Penerbit Arga Puji Press Mataram Lombok

Jl. Berlian Raya Klaster Rinjani 11, Perumahan Bumi Selaparang
Asri, Midang, Gunung Sari, Lombok Barat NTB, Tlp: 081-93-1234-
271. e-mail: argapujilombok@gmail.com. web site:
www.argapuji.com

Cetakan Pertama, Juli 2018

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

All Rights Reserved

ix + 109 hlm. 24 cm x 16 cm.

ISBN: 978-602-6800-92-3

KATA PENGANTAR

Buku ini memuat kajian kekayaan jenis mikroalga penghasil biodiesel di perairan Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia dan produksi biodiesel dari biomasa mikroalga.

Miliaran tahun yang lalu atmosfer bumi dipenuhi dengan CO₂. Jadi waktu itu tidak ada kehidupan di bumi. Kehidupan di bumi dimulai dengan Cyanobacteria dan alga. Organisme fotosintesis yang sederhana ini menghisap CO₂ di atmosfer dan mulai melepaskan oksigen. Akibatnya, kadar CO₂ mulai menurun sedemikian rupa sehingga kehidupan berevolusi di bumi. Sekali lagi organisme terkecil ini siap untuk menyelamatkan kita dari ancaman pemanasan global

Dari seluruh jenis mikroalga yang dijaring di perairan tawar dan perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia, teridentifikasi 13 jenis mikroalga air tawar dan 53 jenis mikroalga air laut yang potensial sebagai penghasil biodiesel. Dari jenis-jenis mikroalga penghasil biodiesel, dipilih tiga jenis, *Chaetoceros amini*, *Nannochloropsis oculata*, dan *Nitzschia* sp. untuk dikultur. Kultur dilakukan dengan mengembangkan perlakuan spektrum cahaya dan pengaturan salinitas medium untuk memperoleh produktivitas dan kadar minyak yang tinggi dari biomasa mikroalga. Hasil studi

ini mempertegas kajian-kajian sebelumnya akan tingginya ketersediaan mikroalga (availability) dan keunggulan-keunggulan dari minyak biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel daripada solar minyak bumi. Ciri pembeda yang paling nyata dari minyak mikroalga adalah hasil minyaknya, yaitu hasil biodieselnnya. Menurut beberapa perkiraan, imbal hasil (per hektar) minyak dari mikroalga lebih dari 200 kali minyak nabati / hasil minyak dari tanaman yang terbaik sekalipun.

Dari seluruh jenis mikroalga baik di perairan tawar maupun di perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat, diketahui bahwa jenis-jenis mikroalga yang potensial sebagai penghasil biodiesel masing-masing bukan merupakan jenis yang dominan di komunitasnya. Hal ini menuntut perhatian agar kita perlu melakukan langkah-langkah konservasi untuk melestarikan jenis-jenis mikroalga penghasil biodiesel tersebut. Langkah mana, baik dilakukan untuk menjaga kesehatan habitatnya dengan cara mencegah kerusakan fisik habitat dan mencegah pencemaran lingkungan maupun meremediasi sistem-sistem perairan yang telah mengalami kerusakan atau telah mengalami pencemaran.

Dalam konteks perubahan iklim dan kenaikan harga untuk satu barel minyak bumi, biofuel sekarang disajikan sebagai

alternatif energi terbarukan. Saat ini, penelitian sedang dilakukan pada alga mikroskopis, atau mikroalga, yang khususnya kaya minyak dan yang menghasilkan per hektar jauh lebih tinggi daripada bunga matahari atau biji-bijian.

Alga akan menjadi sumber biofuel yang paling penting di masa depan. Mikroalga tampaknya menjadi satu-satunya sumber biodiesel terbarukan yang mampu memenuhi permintaan global untuk bahan bakar transportasi. Mikroalga secara teoritis merupakan sumber biodiesel yang sangat menjanjikan. Alga adalah tanaman yang tumbuh paling cepat di dunia. Reaktor industri untuk budidaya alga adalah kolam terbuka, fotobioreaktor, dan sistem tertutup.

Alga sangat penting sebagai sumber biomassa dan suatu saat akan kompetitif sebagai sumber biofuel. Spesies alga yang berbeda mungkin lebih cocok untuk berbagai jenis bahan bakar. Alga dapat ditanam hampir di mana saja, bahkan di air limbah atau air asin, dan tidak memerlukan lahan subur atau tanaman pangan, dan pengolahannya membutuhkan lebih sedikit energi daripada yang disediakan alga. Alga dapat menjadi pengganti bahan bakar berbasis minyak, yang lebih efektif dan tidak memiliki kerugian. Alga adalah salah satu tanaman yang tumbuh paling cepat di dunia, dan sekitar 50%

dari berat mereka adalah minyak. Minyak lipid ini dapat digunakan untuk membuat biodiesel untuk mobil, truk, dan pesawat terbang. Mikroalga memiliki tingkat pertumbuhan yang jauh lebih cepat daripada tanaman terestrial. Hasil per satuan luas minyak dari alga diperkirakan antara 20.000 dan 80.000 L per acre per tahun; ini 7 hingga 31 kali lebih besar dari yang berikutnya panen terbaik, minyak sawit.

Sebagian besar penelitian saat ini tentang ekstraksi minyak difokuskan pada mikroalga untuk menghasilkan biodiesel dari minyak alga. Minyak alga diproses menjadi biodiesel dengan mudah, dengan kemudahan yang sama dengan memproduksi minyak yang berasal dari tanaman berbasis lahan. Biomassa alga dapat memainkan peran penting dalam memecahkan masalah makanan atau biofuel dalam waktu dekat. Mikroalga mengandung minyak, atau lipid, yang dapat diubah menjadi biodiesel. Ide menggunakan mikroalga untuk menghasilkan bahan bakar bukanlah hal baru, tetapi telah menerima perhatian baru-baru ini dalam pencarian energi berkelanjutan. Biodiesel biasanya diproduksi dari minyak nabati, tetapi ada kekhawatiran yang disuarakan secara luas tentang keberlanjutan praktek ini. Biodiesel yang dihasilkan dari mikroalga sedang diselidiki sebagai alternatif menggunakan

tanaman konvensional seperti rapeseed; mikroalga biasanya menghasilkan lebih banyak minyak, mengkonsumsi lebih sedikit ruang, dan bisa ditanam di lahan yang tidak cocok untuk pertanian.

Buku tentang konsorsium mikroalga untuk produksi biodiesel ini mencoba untuk menjawab kebutuhan para peneliti energi, mahasiswa Biologi dan Kimia, petani, dan lainnya yang tertarik pada alat praktis untuk mengejar kepentingan mereka dalam kaitannya dengan bioenergi. Setiap bab dalam buku dimulai dengan penjelasan dasar yang cocok untuk pembaca umum dan diakhiri dengan rincian ilmiah mendalam yang cocok untuk pembaca ahli. Pembaca umum termasuk orang-orang yang tertarik untuk belajar tentang solusi untuk krisis bahan bakar dan lingkungan saat ini. Buku ini bahkan dapat diadopsi sebagai buku teks untuk program kuliah yang berhubungan dengan energi terbarukan dan keberlanjutan.

Mataram, 26 Juni 2018

Suripto

Lalu Japa

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, yang dengan ijinNya maka penulisan monograf dengan judul Konsorsium Mikroalga Asal Alam Wallacea Di Nusa Tenggara Barat untuk Produksi Biodiesel dapat diselesaikan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.

Monograf ini sepenuhnya merupakan hasil review penulis dari hasil-hasil penelitian yang telah penulis lakukan sebelumnya dan ditunjang dengan review hasil penelitian atau kajian lainnya yang berkaitan.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI, yang telah memberikan kepercayaan dan mendukung dana sepenuhnya kepada penulis untuk melaksanakan penelitian-penelitian yang menunjang penulisan monograf ini. Akhirnya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Mataram, 26 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan dan Manfaat	11
BAB II. KEKAYAAN JENIS MIKROALGA PENGHASIL BIODIESEL DI WILAYAH PERAIRAN NUSA TENGGARA BARAT	13
A. Pemetaan Mikroalga Penghasil Biodiesel Di Wilayah Nusa Tenggara Barat	13
B. Komunitas Mikroalga Perairan Tawar Di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat	18
C. Komunitas Mikroalga Perairan Laut Pantai Di Provinsi Nusa Tenggara Barat	33

BAB III. PRODUKSI BIODIESEL DARI BIOMASA MIKROALGA	55
A. Kultur Mikroalga untuk Produksi Biodiesel	55
B. Biodiesel dari Biomasa Mikroalga	72
BAB IV. PENUTUP	87
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

No.	Judul Tabel	Hal
1.	Potensi dan ketersediaan bahan-bahan bakar motor	6
2.	Jenis-jenis mikroalga yang tercatat dominan di beberapa system perairan di Nusa Tenggara Barat	14
3.	Daftar lokasi sampling komunitas mikroalga perairan tawar dan mikroalga perairan laut pantai di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat	16
4.	Kekayaan jenis mikroalga di berbagai system perairan tawar di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat	18
5.	Daftar jenis mikroalga penghasil biodiesel di berbagai sistem perairan tawar di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat	20
6.	Daftar jenis mikroalga di perairan kolam limbah TPA Kebun Kongok Lombok Barat	24
7.	Daftar jenis mikroalga di perairan sawah Labulia Lombok Tengah	25
8.	Daftar jenis mikroalga di perairan Bendungan Batujai Lombok Tengah	26
9.	Daftar jenis mikroalga di perairan Danau Gili Meno	28

10.	Daftar jenis mikroalga di perairan kolam Taman Loang Baloq Mataram	29
11.	Daftar jenis mikroalga perairan sawah di Desa Sukarara Kabupaten Lombok Tengah	29
<hr/>		
12.	Daftar jenis mikroalga di perairan kolam ikan Desa Lingsar Lombok Barat	30
13.	Kekayaan jenis mikroalga di berbagai sistem perairan laut pantai Nusa Tenggara Barat	34
14.	Daftar jenis mikroalga penghasil biodiesel di berbagai perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat	36
15.	Daftar jenis mikroalga air laut di Teluk Nare Kabupaten Lombok Utara	42
16.	Daftar jenis mikroalga di perairan Labuhan Pandan Lombok Timur	44
17.	Daftar jenis mikroalga laut pantai di Tanjung Ringgit Lombok Timur	45
18.	Daftar jenis mikroalga air laut Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat	47
19.	Dafar jenis mikroalga laut pantai Teluk Saleh Kabupaten Bima	48
20.	Daftar jenis mikroalga laut pantai Teluk Lalar Kabupaten Sumbawa Barat	50
21.	Jenis-jenis mikroalga dominan di berbagai system perairan tawar pada musim penghujan di wilayah Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat	54

22.	Kandungan minyak pada beberapa jenis mikroalga perairan laut pantai di beberapa daerah tropis	80
-----	---	----

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul Gambar	Hal
1.	Sebaran lokasi sampling mikroalga di Nusa Tenggara Barat	17
2.	Sebaran jenis mikroalga penghasil biodiesel dari komunitas mikroalga perairan tawar di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat	19
3.	<i>Chlamydomonas</i> sp.	23
4.	<i>Oscillatoria</i> sp.	25
5.	<i>Nitzschia</i> sp.	27
6.	<i>Nostoc</i> sp.	27
7.	<i>Pediastrum</i> sp.	28
8.	<i>Pediastrum</i> sp.	32
9.	<i>Scenedesmus</i> sp.	32
10.	<i>Anabaena</i> sp.	33
11.	Kekayaan jenis mikroalga penghasil biodiesel di perairan laut pantai Nusa Tenggara Barat	35
12.	<i>Chaetoceros amini</i>	41
13.	Kultur <i>Nannochloropsis oculata</i>	52
14.	Kultur <i>Nitzschia</i> sp.	53

15. Kultur <i>Chaetoceros amini</i>	53
16. Sistem tertutup bioreaktor kultur mikroalga	59
<hr/>	
17. Rancangan perlakuan spektrum cahaya pada kultur mikroalga	62
18. Rancangan perlakuan penurunan salinitas secara bertahap medium kultur mikroalga	63
19. Open pond algal farm system	64
20. Tampak atas sebuah kolam raceway yang lebih efisien tempat, dimodifikasi dari Demirbas & Demirbas (2010)	65
21. Kultur (a) dan koloni (b) <i>Chaetoceros amini</i> pada tujuh hari setelah isolasi	67
22. Kultur (a) dan individu (b) <i>Nannochloropsis oculata</i> tujuh hari setelah isolasi	69
23. Kultur (a) dan Individu (b) <i>Nitzschia</i> sp. tujuh hari setelah isolasi	71
24. Penyairam (liquefaction) sel-sel alga dengan ekstraksi heksan untuk mendapatkan minyak primer.	76
25. Bagan alir keja pembuatan biodiesel dari biomasa mikroalga	77

25. Bagan alir kerja pembuatan biodiesel dari biomasa mikroalga	77
25. Bagan alir kerja pembuatan biodiesel dari biomasa mikroalga	77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ancaman akan habisnya sumber-sumber bahan bakar minyak bumi semakin lama semakin mendekati kenyataan. Hal ini karena semakin besarnya penduduk dunia, yang berarti semakin besar pula kecepatan pemakaian bahan bakar minyak bumi tersebut, terutama digunakan untuk sektor transportasi. Keseluruhan bensin yang digunakan Indonesia di sektor transportasi pada saat ini mencapai lebih dari 20 milyar liter per tahun (Setiogi, 2004; Kanibawa, 2009).

Penggunaan bahan bakar dari sumber non-fosil seperti LPG dan bio-fuel, baik berupa bio-etanol sebagai pengganti bensin maupun biodiesel sebagai pengganti solar hingga saat ini masih belum dapat secara nyata menggantikan bahan bakar minyak bumi (Waltermann & Streubel, 2010).

Bahan-bahan bakar nabati cair (liquid biofuels) akan menjadi penting di masa depan karena mereka mengganti bahan bakar minyak bumi (petroleum fuels). Perbedaan terbesar antara biofuels dan bahan baku minyak bumi adalah kandungan oksigennya. Biofuels adalah nonpolluting, tersedia secara lokal, terjangkau atau dapat diakses (accessible), berkelanjutan, dan bahan baku biofuel dapat diperoleh dari sumber-sumber yang terbarukan.

Biofuels dapat diklasifikasikan berdasarkan teknologi produksinya: biofuel generasi pertama (first-generation biofuels, FGB), biofuel generasi kedua (second-generation biofuels, SGB), biofuel generasi ketiga (third-generation biofuels, TGB), serta biofuel generasi keempat.

FGB mengacu pada biofuel yang terbuat dari gula, pati, minyak nabati atau lemak hewani menggunakan teknologi konvensional. Bahan baku dasar untuk produksi FGB seringkali adalah biji-bijian atau butiran biji seperti gandum yang menghasilkan pati, difermentasi menjadi bioetanol, atau biji bunga matahari, dipres untuk menghasilkan minyak nabati yang dapat digunakan dalam biodiesel.

SGB dan TGB disebut juga sebagai generasi biofuels maju. SGB dibuat dari tanaman non-pangan, jerami gandum, jagung, kayu, dan tanaman energi menggunakan teknologi canggih. Bahan bakar alga (algae fuel) termasuk dalam kategori biofuel generasi ke tiga (TGB). Rasio input/hasil alga adalah rendah (30 kali lebih banyak energi per are daripada tanaman darat), bahan baku untuk memproduksi biofuel menggunakan teknologi yang lebih canggih. Di sisi lain, bahan bakar generasi keempat yang muncul didasarkan pada konversi minyak nabati dan biodiesel menjadi biogasoline (bensin alternative) menggunakan teknologi paling canggih.

Biofuel generasi ke dua (SGB) adalah meliputi bahan-bahan bakar diesel yang terbarukan dan ramah lingkungan. Yang

pertama melibatkan teknologi yang menggabungkan minyak nabati dalam proses produksi diesel yang diturunkan dari minyak mentah untuk menghasilkan diesel berbasis karbon terbarukan tanpa kandungan oksigen dan angka cetana (cetane number) yang sangat tinggi, sedangkan yang kedua memerlukan produksi distilat menengah dengan bantuan katalis Fischer – Tropsch (FT), menggunakan gas sintesis yang dihasilkan oleh gasifikasi biomassa. Katalis FT-like (proses sintol) juga dapat menghasilkan etanol dan alkohol campuran.

Ada beberapa hambatan untuk pengembangan produksi biofuel, yaitu hambatan-hambatan teknologi, ekonomi, pasokan, penyimpanan, keamanan, dan kebijakan. Masalah bagaimana mengurangi hambatan-hambatan ini adalah merupakan salah satu faktor pendorong keterlibatan pemerintah dalam penelitian dan pengembangan biofuel. Biaya produksi bervariasi dan tidak pasti dengan bahan baku yang tersedia. Produksi biofuel dari bahan baku lignoselulosa bisa dicapai melalui dua rute pemrosesan yang sangat berbeda: biokimia dan termokimia.

Tidak ada kandidat yang jelas untuk "jalur teknologi terbaik" antara rute biokimia dan termokimia yang bersaing. Hambatan teknis untuk hidrolisis enzimatik adalah meliputi rendahnya aktivitas spesifik dari enzim komersial saat ini, tingginya biaya produksi enzim, dan kurangnya pemahaman tentang biokimia enzim dan dasar-dasar mekanistika.

Hambatan non-teknis yang utama adalah pembatasan atau klaim tentang penggunaan lahan (pangan, energi, kemudahan penggunaan, perumahan, perdagangan, industri, rekreasi atau sebutan sebagai bidang keindahan alam, minat ilmiah khusus dan lain-lain.), serta lingkungan dan efek ekologis dari area monokultur yang luas. Misalnya, minyak nabati adalah sumber energi terbarukan dan berpotensi tidak akan habis dengan kandungan energi yang mirip dengan bahan bakar diesel.

Di sisi lain, penggunaan minyak nabati yang ekstensif dapat menyebabkan masalah penting lainnya seperti kelaparan di negara berkembang. Demikian pula, bahan bakar minyak nabati tidak dapat diterima karena lebih mahal daripada bahan bakar minyak bumi.

Terdapat beberapa hambatan teknis untuk membangun fasilitas berbahan bakar biomasa dalam skala apa pun, dari skala rumah tangga hingga skala industri sekitar 50 MW, di mana pertimbangan ketersediaan dan biaya penyediaan bahan bakar menjadi penting. Secara umum, kapasitas dan efisiensi penggunaan bahan bakar dari biomasa tanaman jauh lebih sedikit daripada sistem turbin modern yang berbahan bakar gas alam.

Keterbatasan non teknis utama untuk investasi dalam sistem yang lebih besar adalah ekonomi, atau di beberapa negara mencerminkan kondisi perencanaan dan opini publik, di mana perbedaan yang jelas tidak dapat dibuat antara pembangkit

energi biomassa efektif yang modern dengan desain insinerator polusi yang lebih tua.

Bahan bakar cair yang dapat diperbaharui (biorenewable) yang paling penting adalah bioetanol dan biodiesel. Bioetanol adalah bensin aditif atau gasoline alternative atau yang umum dikenal dengan bensin, sedangkan biodiesel adalah pengganti diesel minyak bumi atau yang umum dikenal dengan minyak solar. Bahan bakar alami terbarukan (biorenewable) ini aman dan mudah terurai dan hal ini sangat menarik dari perspektif lingkungan.

Biodiesel merupakan biofuel yang bisa langsung menggantikan diesel yang berasal dari minyak bumi tanpa modifikasi mesin, dan ini telah mendapatkan banyak perhatian karena keunggulan lingkungan dan teknologinya. Bahan-bahan bakar motor potensial dan tersedia dapat dilihat pada Tabel 1.

Produksi bahan bakar pengganti (alternative fuels) motor dari bahan biomasa merupakan bidang aplikasi yang penting dari metode bioteknologi. Bahan bakar motor alternatif yang bersumber dari bahan-bahan yang dapat diperbaharui (biorenewable) adalah meliputi (Demirbas & Demirbas, 2010):

- 1) Campuran bensin - alkohol
- 2) Alkohol pengganti bensin
- 3) Campuran bensin - minyak nabati
- 4) Campuran msolar - minyak nabati
- 5) Minyak nabati pengganti bahan bakar solar.

Tabel 1. Potensi dan ketersediaan bahan-bahan bakar motor

Tipe bahan bakar	Bahan bakar yang tersedia
Bahan bakar tradisional	Solar dan bensin
Bahan bakar beroksigen	Ethanol 10% (E10), methanol, methyl tertiary butyl ether (MTBE), ethyl tertiary butyl ether (ETBE), tertiary butyl alcohol (TBA), dan tertiary amyl methyl ether (TAME)
Bahan bakar alternatif	Liquefied petroleum gases (LPG), ethanol, 85% (E85), ethanol, 95% (E95), methanol, 85% (M85), methanol, neat (M100), compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG), biodiesel (BD), hydrogen, and electricity.

(Demirbas & Demirbas, 2010)

Jika seluruh bahan bakar minyak yang dijual di pompa-pompa bensin berupa 80% bensin dan 20% biofuel, maka penggunaan bensin dapat dihemat. Penghematan bensin berarti pula mengurangi beban polusi udara dari asap kendaraan, karena emisi gas buang pembakaran biofuel jauh lebih rendah daripada pembakaran bensin (Waltermann & Streubel, 2010).

Keunggulan lain dari penggunaan bahan bakar alami (bio-fuel) adalah bahwa, emisi karbondioksida dari pembakaran *biofuel* akan lebih mudah dan lebih cepat ditambat kembali oleh tumbuhan melalui fotosintesis (Hader *et al.*, 2009; Kanibawa, 2009).

Pengembangan produksi biofuel sudah dilakukan dengan menggunakan bahan baku dari tetes tebu untuk menghasilkan bio-etanol sebagai pengganti bensin dan biji jarak serta jenis tanaman budidaya lainnya untuk menghasilkan biodiesel sebagai pengganti solar. Namun demikian, pengembangan produksi biofuel dari tanaman budidaya ini menemui masalah berupa diperlukannya lahan yang luas, yang berkompetisi dengan lahan pertanian tanaman pangan (Setiogi, 2004; Waltermann & Streubel, 2010).

Untuk menjawab masalah tersebut di atas, dilakukan seri penelitian mikroalga untuk produksi biodiesel, yang tidak memerlukan lahan luas dan tidak berkompetisi dalam penggunaan lahan dengan sektor pertanian tanaman pangan (Suripto *et al.*, 2013; Suripto & Japa, 2017; 2018). Dengan demikian, mikroalga yang juga dikemal dengan fitoplankton dapat dipandang sebagai penyokong biofuel yang sangat menawan, karena selain ramah lingkungan juga dalam pengembangannya tidak berkompetisi dalam penggunaan lahan dengan sektor pertanian tanaman pangan.

Mikroalga secara potensial dapat digunakan untuk produksi biofuel dengan cara yang efektif secara ekonomi dan lingkungan yang berkelanjutan. Mikroalga telah diselidiki untuk produksi sejumlah biofuel yang berbeda termasuk biodiesel, bio-minyak, biosyngas, dan biohidrogen. Produksi biofuel ini dapat digabungkan dengan mitigasi gas buang CO₂, pengolahan air limbah, dan produksi bahan kimia bernilai tinggi. Pengembangan budidaya mikroalga dan pengolahan hilir diharapkan untuk lebih meningkatkan efektivitas biaya biofuel dari mikroalga (Li et al., 2008).

Algae, seperti jagung, kedelai, tebu, tanaman jarak, dan tanaman lainnya, menggunakan fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Mereka menyimpan energi ini dalam bentuk minyak, karbohidrat, dan protein. Minyak tumbuhan dapat diubah menjadi biodiesel; maka biodiesel adalah suatu bentuk energi matahari. Semakin efisien suatu tanaman tertentu dalam mengubah energi matahari menjadi energi kimia, akan semakin baik dari perspektif biodiesel, dan alga merupakan tumbuhan yang paling efisien secara fotosintesis di dunia.

Alga untuk biofuel telah dipelajari selama bertahun-tahun untuk produksi hidrogen, metana, minyak nabati (untuk biodiesel), hidrokarbon, dan etanol. Produksi hidrogen alga telah banyak diteliti selama lebih dari tiga dekade, tetapi untuk mekanismenya tidak pernah dibuktikan. Alga dapat digunakan

untuk menghasilkan biofuel, yang disebut bahan bakar alga, atau biofuel generasi ketiga. Dibandingkan dengan biofuel generasi kedua, bahan bakar alga memiliki hasil yang lebih tinggi: mereka dapat menghasilkan 30 hingga 100 kali lebih banyak energi per hektar dibandingkan tanaman darat.

Mikroalga merupakan organisme fotosintetik yang jauh dari monolitik. Para ahli Biologi telah mengkategorikan mikroalga ke dalam berbagai kelas yang dibedakan terutama oleh pigmentasi, siklus hidup dan struktur dasar dari sel-selnya. Menurut Seehan et al. (1998) ada empat kelompok algae yang paling penting (setidaknya berdasarkan kemelimpahannya), yaitu:

- 1) Diatom (Bacillariophyceae). Alga ini mendominasi fitoplankton dari lautan, tetapi juga ditemukan di perairan tawar dan air payau. Diketahui ada sekitar 100.000 spesies. Diatom mengandung *polimerized silica* (Si) di dinding selnya. Semua sel menyimpan karbon dalam berbagai bentuk. Simpanan karbon diatom berada dalam bentuk minyak alami atau sebagai polimer dari karbohidrat, yang dikenal sebagai chrysolaminarin.
- 2) Algae hijau (Chlorophyceae). Ini juga cukup berlimpah, terutama di perairan tawar. (Siapa pun yang memiliki kolam akan akrab dengan kelas alga ini). Kelas algae ini ada yang bersel tunggal dan ada yang merupakan koloni. Alga hijau

merupakan leluhur evolusi tumbuhan modern. Senyawa simpanan utama alga hijau adalah pati, meskipun minyak dapat juga diproduksi dalam kondisi tertentu.

- 3) Algae biru-hijau (Cyanophyceae). Lebih dekat dengan bakteri dalam struktur dan organisasi intraselulernya, alga ini memainkan peran penting dalam memperbaiki nitrogen dari atmosfer. Ada kira-kira 2.000 spesies yang diketahui ditemukan di berbagai habitat.
- 4) Algae keemasan (Chrysophyceae). Kelompok alga ini mirip dengan diatom. Mereka memiliki sistem pigmen yang lebih kompleks dan bisa berwarna kuning, coklat atau oranye. Diketahui ada sekitar 1.000 spesies terutama di sistem air tawar. Mereka mirip dengan diatom dalam pigmentasi dan komposisi biokimia dalam sitoplasmanya. Ganggang emas menghasilkan alami minyak dan karbohidrat sebagai senyawa penyimpanan.

Mikroalga adalah bentuk tumbuhan yang paling primitif. Namun demikian, mekanisme fotosintesis pada mikroalga mirip dengan tumbuhan tingkat tinggi, bahkan umumnya lebih efisien dalam mengkonversi energi matahari karena struktur selulernya sederhana. Selain itu, karena sel-selnya tumbuh dalam suspensi berair, maka mikroalga menjadi lebih efisien dalam akses ke air, CO₂, dan nutrisi lainnya. Untuk alasan ini, mikroalga mampu menghasilkan 30 kali jumlah minyak per satuan luas lahan,

dibandingkan dengan tanaman daratan penghasil minyak, tanaman jarak pagar, jarak merah, nyamplung, dan tanaman biji-bijian.

Pengembangan mikroalga untuk produksi biodiesel yang ekonomis dilakukan mulai dengan eksplorasi jenis-jenis mikroalga apa saja yang potensial sebagai sumber minyak dan dapat diisolasi dari lingkungan setempat, dalam hal ini konsorsium mikroalga perairan tawar di Pulau Lombok dan perairan laut pantai di Provinsi Nusa Tenggara Barat, yang potensial sebagai penghasil minyak biodiesel. Jenis-jenis mikroalga yang terpilih sebagai sumber penghasil minyak selanjutnya dibudidaya.

Aspek pengembangan budidaya mikroalga yang dikaji adalah perlakuan spektrum cahaya dan perlakuan salinitas medium. Pengaturan spektrum cahaya yang cocok pada sistem kultur mikroalga dilakukan untuk meningkatkan produktivitas biomasa mikroalga dan pengaturan salinitas medium dilakukan untuk merangsang peningkatan produksi minyak dari kultur mikroalga.

Ada tiga metode yang dikenal untuk mendapatkan minyak dari mikroalga, yaitu (1) pengepresan, (2) ekstraksi dengan heksan, dan (3) ekstraksi zalir super kritik (Demirbas & Demirbas, 2010). Proses yang sederhana adalah menggunakan pengepresan untuk menarik sejumlah besar prosentase (70% - 75 %) minyak dari biomassa kering mikroalga.

Penggunaan langsung minyak nabati untuk menjalankan mesin menyebabkan sejumlah masalah karena viskositasnya tinggi dan adanya kelebihan karbon deposit di dalam *silindernoze injector*. Untuk menurunkan viskositas dan titik nyala (flash point) dari minyak nabati, maka metode transesterifikasi digunakan (Sheehan *et al.*, 1998).

B. Tujuan dan Manfaat

Monograf ini bertujuan membahas kekayaan jenis mikroalga dan peta sebaran mikroalga penghasil biodiesel di perairan tawar, khususnya di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat dan perairan laut pantai di Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa Provinsi Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia. Buku ini juga membahas isolasi dan kultur beberapa jenis mikroalga terpilih untuk produksi biodiesel.

Monograf ini ditujukan untuk menjadi acuan dalam 1) mengeksplorasi kekayaan jenis mikroalga penghasil biodiesel di perairan tawar maupun perairan laut pantai suatu wilayah terutama yang memiliki kesamaan ekologis dengan kawasan Wallacea; 2) mengembangkan budidaya mikroalga untuk produksi biodiesel; 3) membuat biodiesel dari minyak mikroalga.

Monograf ini bermanfaat untuk berkontribusi pengembangan teknologi produksi bahan bakar alam terbarukan

(biorenewable), terutama bahan bakar alami (biofuels) generasi ke tiga, Third-Generation Biofuels (TGBs).

BAB II

KEKAYAAN JENIS MIKROALGA PENGHASIL BIODIESEL DI WILAYAH PERAIRAN NUSA TENGGARA BARAT

A. Pemetaan Mikroalga Penghasil Biodiesel Di Wilayah Nusa Tenggara Barat

Beberapa pengamatan pendahuluan terhadap mikroalga di perairan sekitar Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa Nusa Tenggara Barat yang potensial untuk dibudidaya telah dilakukan. Jenis-jenis mikroalga air tawar *Fragillaria sp.*, *Aktinastrum sp.*, dan *Oscillatoria sp.* tercatat melimpah di kolam-kolam ikan di Lingsar Lombok Barat (Latifah, 2005), *Spirullina sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Nostoc sp.*, *Anabaena sp.*, *Phacus sp.*, *Oscillatoria*, *Dinobrion sp.*, dan *Spyrogira sp.* tercatat melimpah di sawah-sawah padi di setiap saat menjelang musim tanam (Japa, 2007). Pengamatan jenis-jenis mikroalga di perairan laut juga telah dilakukan.

Beberapa jenis mikroalga air tawar maupun laut yang tercatat dominan di perairan pantai di Pulau Lombok dan Sumbawa telah dilaporkan oleh Japa & Suripto (2010) dan rangkumannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Mereka juga melaporkan, bahwa dari kelompok mikroalga air tawar di Pulau Lombok dan Sumbawa, terdapat 4 jenis yang berhasil diisolasi dan dikultur, yaitu *Spirullina sp.*, *Botryiococcus*, *Scenedesmus sp.*, dan *Nostoc sp.*

Tabel 2. Jenis-jenis mikroalga yang tercatat dominan di beberapa perairan di Nusa Tenggara Barat

No.	Taxa yang dominan	Lokasi	Peneliti
1.	<i>Thalassiothrix</i>	Danau Asin Gili Meno	Japa <i>et al.</i> (2001)
2.	<i>Chaetoceros</i>	Pantai Lembar Lobar	Japa (2007)
3.	<i>Chaetoceros</i>	Pelabuhan Kayangan Lotim	Feranita (2002)
4.	<i>Microcystis</i>	Bendungan Batuai Loteng	Suripto <i>et al.</i> (2006)
5.	<i>Skeletonema</i>	Pantai Amor-amor Lobar	Maliana (2008)
6.	<i>Chaetoceros</i>	Pantai Sambelia Lobar	Japa & Suripto (2013)
7.	<i>Chaetoceros</i>	Pantai Kertasari KSB	Sumarni (2003)
8.	<i>Chaetoceros</i>	Perairam Pantai Mataram	Japa & Karnan (2007)
9.	<i>Asterionella</i>	Pantai Sekotong Lobar	Sari (2004)
10.	<i>Asterionella</i>	Perairan pantai Ampenan	Japa & Karnan (2007)
11.	<i>Chaetoceros</i>	Pelabuhan Kayangan Lotim	Feranita (2007)
12.	<i>Chaetoceros</i>	Pelabuhan Lembar Lobar	Japa & Santoso (2007)
13.	<i>Scendesmus</i>	Kolam ikan Lingsar Lobar	Latifah (2007)
14.	<i>Aktinastrum</i>	Sawah padi di Lingsar	Susilayati (2003)
15.	<i>Peridinium</i>	Bendungan Pangga Loteng	Oktipiani (2007)
16.	<i>Rhizosolenia</i>	Pantai Kuta Loteng	Husnaini (2007)
17.	<i>Microcystis</i>	Bendungan Batujai Loteng	Suripto <i>et al.</i> (2006)
18.	<i>Spirullina</i>	Persawahan padi di Loteng	Japa & Hallegraeff (2005)
19.	<i>Chaetoceros</i>	Teluk Saleh Bima	Japa & Hallegraeff (2005)
19.	<i>Pleurosigma</i>	Danau Asin Gili Meno KLU	Japa & Hallegraeff (2005)

Sampel komunitas mikroalga dari setiap area perairan sampel diambil dengan menggunakan metode pemekatan, yaitu 100 liter sampel air diambil dengan menggunakan jaring plankton nomor 25 (diameter mesh 20 μm) yang kemudian

tertampung dalam botol penampung pada dasar jaring berisi 100 ml. Sampel air pekat ini dipindahkan ke dalam botol sampel, diberi label dan kemudian botol sampel disimpan dalam kotak kedap kalor yang sudah diisi es sebelum lebih lanjut diproses di laboratorium (satu set untuk identifikasi jenis dan penghitungan kerapatan sel tiap jenis mikroalga dan satu set untuk isolasi dan kultur).

Setiap unit sampel diambil untuk dua tujuan, yaitu 1) untuk mengidentifikasi jenis-jenis mikroalga yang ada dalam sampel dan menghitung kerapatan masing-masing jenis mikroalga tersebut; dan 2) untuk mengisolasi jenis mikroalga dari sampel komunitas mikroalga yang potensial sebagai penghasil biodiesel yang kemudian dikultur untuk menghasilkan biomasa mikroalga.

Identifikasi jenis mikroalga dilakukan di Laboratorium Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram dengan menggunakan buku determinasi jenis fitoplankton air tawar (Yamaji, 1984^a) dan fitoplankton laut (Yamaji, 1984^b).

Mikroalga (fitoplankton) penghasil biodiesel yang dikaji dibagi dalam dua kelompok komunitas menurut habitatnya, yaitu mikroalga perairan tawar dan mikroalga perairan laut pantai. Sampel komunitas mikroalga air tawar diambil dari sistem sistem perairan tawar di kawasan Pulau Lombok dan komunitas

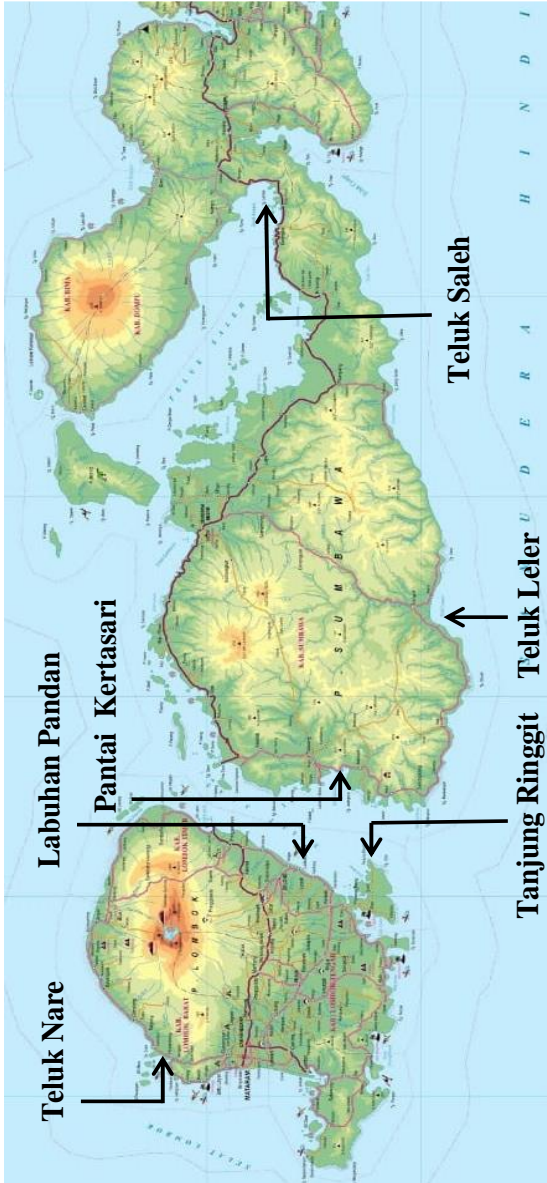
mikroalga perairan laut pantai diambil dari laut pantai di wilayah Nusa Tenggara Barat (Tabel 3).

Tabel 3. Daftar lokasi sampling komunitas mikroalga perairan tawar dan mikroalga perairan laut pantai di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat

Habitat	No.	Nama Lokasi
Perairan Tawar	1.	Kolam Air Limbah TPA Kebun Kongo Lombok Barat
	2.	Bendungan Batujai Lombok Tengah
	3.	Danau Asin Gili Meno Lombok Utara
	4.	Kolam Taman Kota Loang Baloq Kota Mataram
	5.	Kolam Ikan Lingsar Lombok Barat
	6.	Kolam Ikan Labulia Lombok Tengah
Perairan Laut Pantai	1.	Teluk Nare Kabupaten Lombok Utara
	2.	Labuhan Pandan Kabupaten Lombok Timur
	3.	Tanjung Ringgit Kabupaten Lombok Timur
	4.	Teluk Lalar Kabupaten Sumbawa Barat
	5.	Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat
	6.	Teluk Saleh Kabupaten Bima

Peta sebaran lokasi sampling komunitas mikroalga perairan laut pantai (Lokasi-lokasi sampling untuk komunitas mikroalga perairan tawar tidak ditunjukkan dalam peta) di

Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran lokasi sampling mikroalga di perairan Nusa Tenggara Barat

B. Komunitas Mikroalga Perairan Tawar Di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat

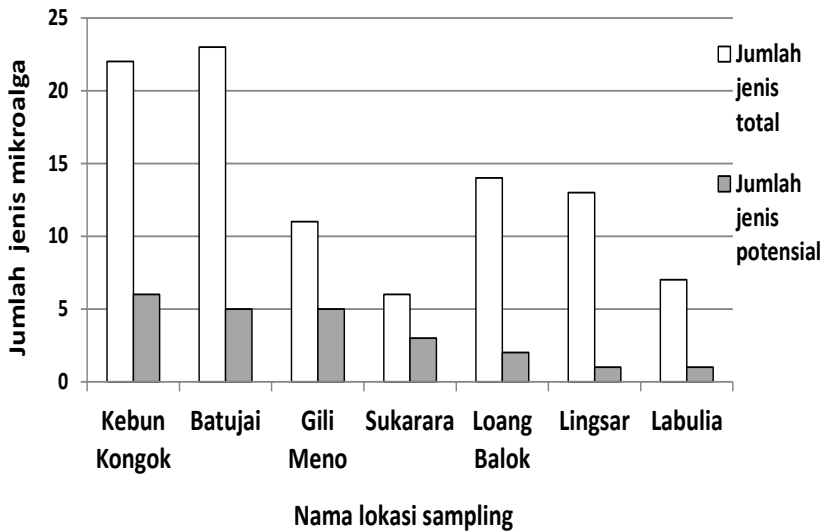
Pengambilan sampel komunitas fitoplankton (mikroalga) di semua lokasi sampling dilaksanakan dalam status kondisi lingkungan yang sama, yaitu cuaca cerah.

Dari seluruh area sampel perairan tawar di daratan Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat, terjaring 34 jenis mikroalga air tawar. Dari jumlah jenis mikroalga yang terjaring ini teridentifikasi 13 jenis yang potensial penghasil biodiesel.

Kekayaan jenis total dan jumlah jenis yang penghasil biodiesel dari komunitas mikroalga di masing-masing sistem perairan tawar yang diamati di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4. Kekayaan jenis mikroalga di berbagai sistem Perairan tawar di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat

Tempat Sampling	Jumlah jenis mikroalga total	Jumlah jenis mikroalga penghasil minyak
Kolam Air Limbah Kebun Kongo	22	5
Bendungan Batujai	23	5
Danau Asin Gili Meno	11	4
Kolam Loang Baloq Mataram	6	2
Kolam Ikan Lingsar	14	1
Air Sawah Sukarara	6	3
Kolam Ikan Labulia	7	1



Gambar 2. Sebaran jenis mikroalga penghasil biodiesel dari komunitas mikroalga perairan tawar di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat.

Jumlah jenis mikroalga total di setiap sistem perairan tawar yang diamati di Pulau Lombok berkisar dari 6 (enam) jenis, seperti di perairan sawah Desa Sukarara Kabupaten Lombok Tengah hingga 23 jenis, seperti di perairan Bendungan Batujai Kabupaten Lombok Tengah.

Jumlah jenis mikroalga potensial penghasil biodiesel di setiap sistem perairan tawar berkisar dari hanya 1 (satu) jenis, seperti di perairan sawah Desa Lingsar Kabupaten Lombok (7% dari jumlah jenis mikroalga diperairan tersebut) hingga 6 (enam) jenis, seperti di Perairan Danau Asin Gili Meno Kabupaten

Lombok Utara (26% dari jumlah jenis mikroalga di perairan tersebut).

Secara keseluruhan di semua sistem perairan tawar di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat yang diamati terdapat 34 jenis mikroalga, dan dari jumlah ini telah teridentifikasi 13 jenis mikroalga penghasil biodiesel (Tabel 5).

Tabel 5. Daftar jenis mikroalga penghasil biodiesel di berbagai sistem perairan tawar di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling						
		KK	BB	GM	SR	LB	Ling	Lab
1	<i>Chlamidomonas</i> sp.	*	*					*
2	<i>Cyclotella</i> sp.	*						
3	<i>Microcystis aeruginosa</i>		*					
4	<i>Microcystis incerta</i>		*					
5	<i>Nitzschia longisima</i>			*				
6	<i>Nitzschia sigma</i>			*	*	*		
7	<i>Nitzschia</i> sp.1			*				
8	<i>Nitzschia</i> sp.2			*				
9	<i>Nitzschia</i> sp.	*						*

Tabel 5. Lanjutan ...

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling						
		KK	BB	GM	SR	LB	Ling	Lab
10	<i>Nostoc sp.</i>	*	*		*			
11	<i>Oscillatoria sp.</i>	*		*	*	*		
12	<i>Oscillatoria formosa</i>		*					
13	<i>Spirulina major</i>	*						
Jumlah jenis total		22	23	11	6	14	13	7
Jumlah jenis penghasil minyak		6	5	5	3	2	1	1

Keterangan:

KK : Kolam limbah Kebun Kongo Kabupaten Lombok Barat

BB : Perairan Bendungan Batujai Kabupaten Lombok Tengah

GM : Perairan Danau Asin Kabupaten Lombok Utara

SK : Perairan Sawah Sukarara Kabupaten Lombok Tengah

LB : Kolam Taman Kota Mataram

Ling : Kolam Ikan Desa Lingsar Kabupaten Lombok Barat

Lab : Perairan Sawah Desa Labulia Kabupaten Lombok Tengah

Dari seluruh jenis mikroalga air tawar yang potensial penghasil biodiesel ini, yang keberadaannya relatif paling melimpah di Pulau Lombok adalah jenis-jenis dari marga *Oscillatoria*, *Chlamidomonas*, *Nitzschia*, dan *Nostoc*. Sedangkan *Spirulina major* merupakan jenis mikroalga air tawar potensial

penghasil biodiesel, yang keberadaannya relatif paling langka (paling tidak melimpah) di Pulau Lombok. Jenis-jenis mikroalga ini hanya dapat diketemukan di perairan kolam limbah tempat pembuangan sampah akhir (TPA) Kebun Kongok Kabupaten Lombok Barat.

Hasil studi menunjukkan, bahwa perairan kolam limbah di Kebun Kongok Kabupaten Lombok Barat memiliki kekayaan jenis mikroalga relatif paling tinggi di Pulau Lombok, yaitu 22 jenis mikroalga dimana 6 (enam) jenis diantaranya merupakan jenis mikroalga penghasil biodiesel. Tempat lainnya yang juga memiliki kekayaan jenis mikroalga relatif tinggi adalah perairan Bendungan Batujai Kabupaten Lombok Tengah, yaitu memiliki 23 jenis mikroalga dan 5 (lima) jenis diantaranya merupakan mikroalga penghasil biodiesel.

Data tersebut di atas menunjukkan adanya beberapa jenis mikroalga yang potensial sebagai penghasil biodiesel, akan tetapi keberadaannya langka hingga sangat langka di alam. Berdasarkan data tersebut di atas maka pantas direkomendasikan diperlukannya upaya - upaya atau langkah-langkah konservasi terhadap jenis-jenis mikroalga potensial tersebut agar tetap lestari di alam asalnya. Konservasi mana bukan saja dilakukan dengan menjaga kondisi-kondisi yang ideal untuk habitatnya akan tetapi juga perlu adanya upaya untuk mencegah terjadinya pencemaran dan atau mengatasi pencemaran yang telah terjadi.

Pada masing-masing lokasi sampling, jenis mikroalga perairan tawar yang potensial sebagai penghasil biodiesel, yang keberadaannya relatif paling dominan di komunitasnya adalah *Chlamydomonas* sp. di perairan kolam limbah tempat pembuangan sampah (TPA) Kebun Kongok Kabupaten Lombok Barat (Tabel 6 dan 7; Gambar 3), *Microcystis aeruginosa* di Bendungan Batujai Lombok Tengah (Tabel 8), dan *Oscillatoria* sp. dan *Nitzschia* sp. di Danau Asin Gili Meno Lombok Utara (Tabel 9, Gambar 4 dan 5) dan Kolam Taman Loang Baloq Mataram (Tabel 10), *Nostoc* sp. di perairan sawah Desa Sukarara Lombok Tengah (Tabel 11, Gambar 6), dan *Pediastrum* sp. di perairan kolam ikan di Desa Lingsar Kabupaten Lombok Barat (Tabel 12, Gambar 7).



Gambar 3. *Chlamydomonas* sp.

Tabel 6. Daftar jenis mikroalga di perairan kolam limbah TPA Kebun Kongok Lombok Barat

No.	Nama Species	D (sel/L)	NP (%)
1.	<i>Achnanthes coartata</i>	7,500	3,513
2.	<i>Anabaena</i> sp.	22,500	6,163
3.	<i>Chlamidomonas</i> sp.	62.121,875	113,383
4.	<i>Closterium</i> sp.	28,750	3,110
5.	<i>Cyclotella</i> sp.	11,250	4,613
6.	<i>Cymbella</i> sp.	2,500	3,067
7.	<i>Diatomae</i> sp.	6,250	4,605
8.	<i>Euglena</i> sp.	27,500	7,703
9.	<i>Euglena intermedia</i>	2,500	1,536
10.	<i>Fragilaria</i> sp.	63,750	3,166
11.	<i>Lepocinclis steinii</i>	5,000	4,603
12.	<i>Navicula gracilis</i>	12,500	7,679
13.	<i>Nitzschia</i> sp.	11,250	7,677
14.	<i>Nostoc</i> sp.	5,000	4,603
15.	<i>Oscillatoria</i> sp.	22,500	9,226
16.	<i>Peridinium</i> sp.	2,500	1,536
17.	<i>Phacycladon umbrianus</i>	1,250	1,534
18.	<i>Phacus acuminatus</i>	8,750	4,609
19.	<i>Pinnularia</i> sp.	1,250	1,534
20.	<i>Raphidonema nivale</i>	1,250	1,534
21.	<i>Spirulina major</i>	2,500	1,536
22.	<i>Surirella</i> sp.	5,000	3,071

Hasil juga menunjukkan, bahwa hampir semua jenis mikroalga perairan tawar, dalam hal ini khususnya di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat, yang potensial sebagai penghasil biodiesel sebagian besar bukan merupakan jenis yang dominan di komunitasnya.



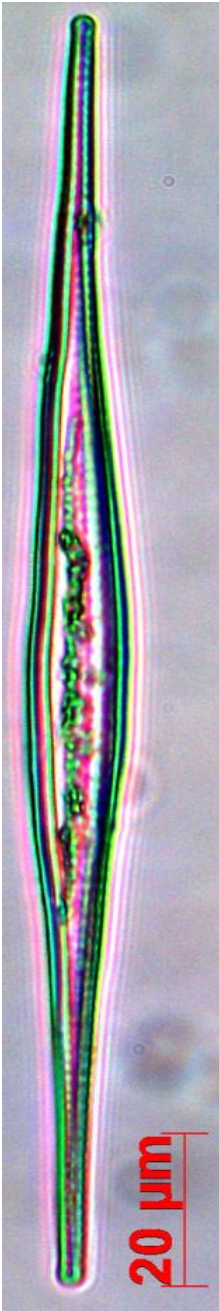
Gambar 4. *Oscillatoria* sp.

Tabel 7. Daftar jenis mikroalga di perairan sawah Labulia Lombok Tengah

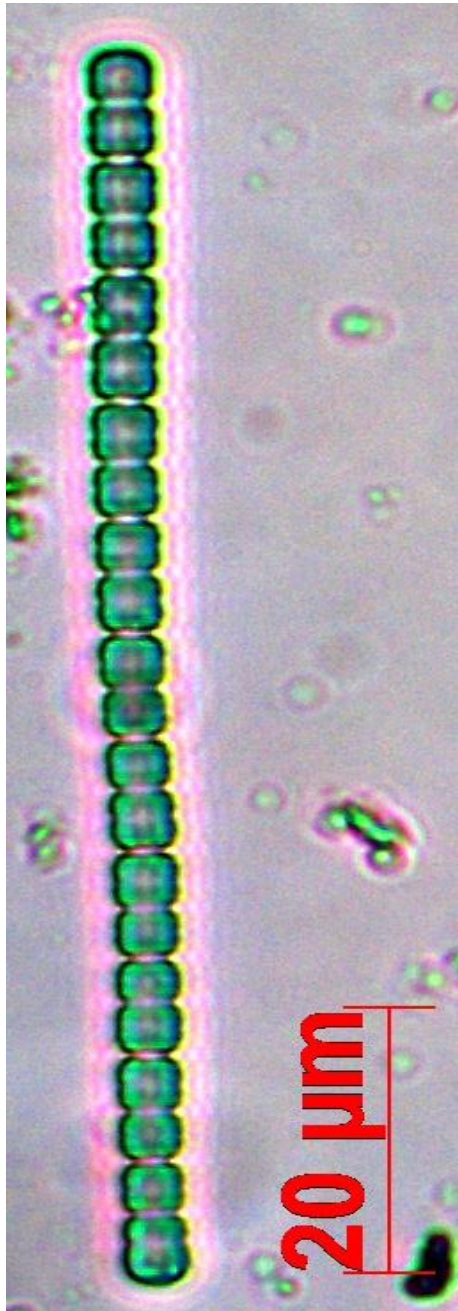
No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
1.	<i>Chlamidomonas</i> sp.	1.024.000,000	33,062
2.	<i>Diatomae</i> sp.	2.000,000	3,101
3.	<i>Euglena</i> sp.	2.000,000	4,633
4.	<i>Pandorina</i> sp.	4.080.000,000	79,868
5.	<i>Pediastrum</i> sp.	8.000,000	4,746
6.	<i>Phacus</i> sp.	14.000,000	7,922
7.	<i>Scenedesmus</i> sp.	182.000,000	4,958

Tabel 8. Daftar jenis mikroalga di perairan Bendungan Batujai Lombok Tengah

No.	Nama Spesies	BJ 1	BJ 2	BJ 3	D (Ind/L)	NP (%)
1.	<i>Actinastrum hookeri</i>	+		+	50	3,127
2.	<i>Actinastrum</i>	+		+	40	3,090
3.	<i>Biddulphia</i> sp.	+		+	10	2,978
4.	<i>Chlamidomonas</i>	+		+	40	3,090
5.	<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	50	6,068
6.	<i>Eudorina</i>	+	+	+	350	7,184
7.	<i>Euglena</i> spp.	+	+	+	80	6,180
8.	<i>Leptocilendricus</i> sp.	+		+	80	3,239
9.	<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	+	+	13.760	57,054
10.	<i>Microcystis incerta</i>	+	+	+	9.990	43,034
11.	<i>Navicula</i> spp.	+		+	10	2,978
12.	<i>Nostoc</i> sp.	+	+	+	680	8,411
13.	<i>Oscillatoria formosa</i>	+	+	+	170	6,515
14.	<i>Pediastrum biradiatum</i>	+		+	40	3,090
15.	<i>Pediastrum boryanum</i>	+	+	+	1.170	10,233
16.	<i>Pediastrum simplex</i>	+		+	70	3,201
17.	<i>Phacus pleuronectes</i>	+	+	+	60	6,105
18.	<i>Scenedesmus armatus</i>	+		+	50	3,127
19.	<i>Scenedesmus bijuga</i>	+		+	40	3,090
20.	<i>Scenedesmus dimorfus</i>	+		+	80	3,239
21.	<i>Synedra</i> sp.	+		+	10	2,978
22.	<i>Treubaria crassisipina</i>	+	+	+	40	6,031
23.	<i>Trachelomonas</i> sp.	+	+	+	20	5,957



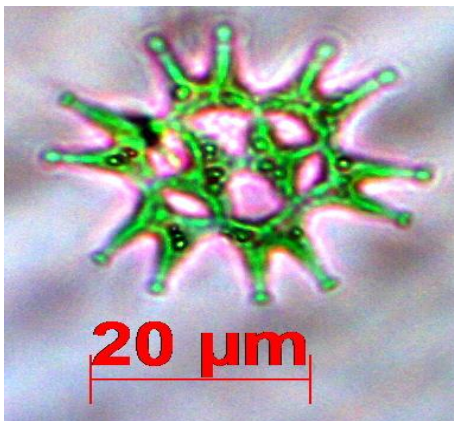
Gambar 5. *Nitzschia* sp.



Gambar 6. *Nostoc* sp.

Tabel 9. Daftar jenis mikroalga di perairan Danau Gili Meno

No.	Nama Spesies	Meno I	Meno II	Meno III	Meno IV	D	NP
						(Ind./L)	(%)
1.	<i>Cosmarium</i> sp.	-	-	-	+	2,500	2,286
2.	<i>Cyclotella</i> sp.	+	+	+	-	38,750	35,429
3.	<i>Diatomae</i> sp.	-	-	+	-	5,000	4,571
4.	<i>Gonium</i> sp.	-	-	+	-	1,250	1,143
5.	<i>Gyrosigma</i> sp.	+	+	+	+	50,000	45,714
6.	<i>Nitzschia</i> sp.1	+	-	+	-	21,250	19,429
7.	<i>Nitzschia</i> sp.2	-	-	+	-	5,000	4,571
8.	<i>Nitzschia longisima</i>	+	-	-	-	1,250	1,143
9.	<i>Nitzschia sigma</i>	+	-	-	-	2,500	2,286
10.	<i>Oscillatoria</i> sp.	+	+	+	+	60,000	54,857
11.	<i>Peridinium</i> sp.	+	-	+	+	31,250	28,571



Gambar 7. *Pediasstrum* sp.

Tabel 10. Daftar jenis mikroalga di perairan kolam
Taman Loang Baloq Mataram

No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
1.	<i>Diatomae</i> sp.	583,333	15,008
2.	<i>Euglena</i> sp.	33.500,000	126,172
3.	<i>Nitzschia sigma</i>	83,333	16,906
4.	<i>Oscillatoria</i> sp.	83,333	6,906
5.	<i>Phacus</i> sp.	250,000	17,384
6.	<i>Scenedesmus</i> sp.	333,333	17,624

Keterangan:

D = Densitas (Jumlah sel per liter)

NP = Nilai Penting Ekologi

Tabel 11. Daftar jenis mikroalga perairan
sawah di Desa Sukarara Kabupaten
Lombok Tengah

No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
1.	<i>Closterium</i> sp.	66,667	5,506
2.	<i>Diatomae</i> sp.	41,667	7,380
3.	<i>Euglena</i> sp.	2.183,333	79,450
4.	<i>Epithemia</i> sp.	16,667	3,565
5.	<i>Fragilaria</i> sp.	475,000	18,881
6.	<i>Mikrastrias</i> sp.	225,000	9,830
7.	<i>Navicula</i> sp.	8,333	4,846
8.	<i>Nitzschia sigma</i>	8,333	7,909
9.	<i>Nostoc</i> sp.	91,667	4,289

Tabel 11. Lanjutan ...

No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
10.	<i>Oscillatoria</i> sp.	41,667	4,317
11.	<i>Pediastrum</i> sp.	66,667	6,600
12.	<i>Phacus</i> sp.	33,333	8,661
13.	<i>Surirella</i> sp.	16,667	8,160

Keterangan:

D = Densitas (Jumlah sel per liter)

NP = Nilai Penting Ekologi

Tabel 12. Daftar jenis mikroalga di perairan kolam ikan Desa Lingsar Lombok Barat

No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
1.	<i>Aktinastrum</i> sp.	6.300,000	13,847
2.	<i>Closterium</i> sp.	300,000	6,620
3.	<i>Coelastrum</i> sp.	350,000	14,360
4.	<i>Cyclotella</i> sp.	200,000	3,392
5.	<i>Euglena</i> sp.	50,000	4,677
6.	<i>Gonium</i> sp.	200,000	3,392
7.	<i>Nitzschia</i> sp.	100,000	4,759
8.	<i>Pediastrum</i> sp.1	15.850,000	33,687
9.	<i>Pediastrum</i> sp.2	400,000	2,189

Tabel 12. Lanjutan ...

No.	Nama Spesies	D (Ind/L)	NP (%)
10.	<i>Pediastrum</i> sp.3	35.600,000	61,525
11.	<i>Pinularia</i> sp.	50,000	4,677
12.	<i>Scenedesmus quadrifida</i>	600,000	8,644
13.	<i>Scenedesmus</i> sp.	400,000	8,316
14.	<i>Tabellaria</i> sp.	450,000	5,334

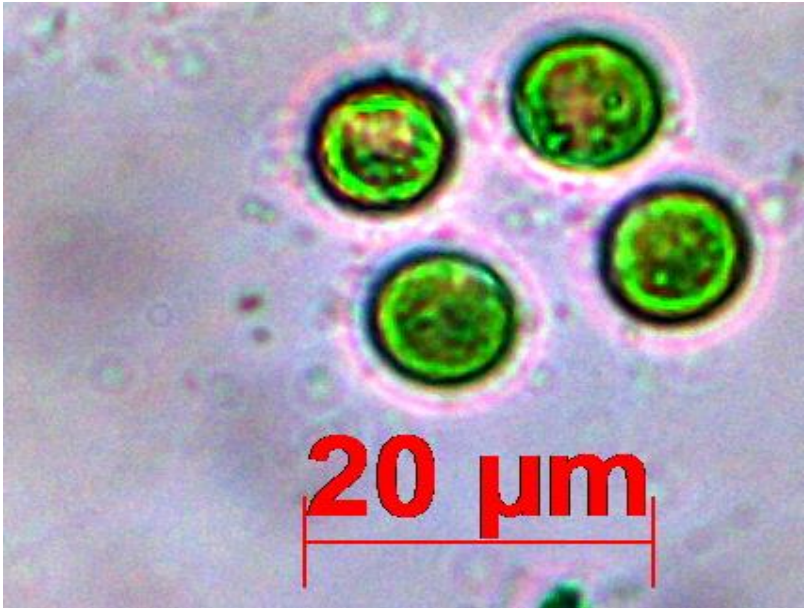
Keterangan:

D = Densitas (Jumlah sel per liter)

NP = Nilai Penting Ekologi

Nilai penting suatu jenis mikroalga adalah nilai kerapatan (dalam jumlah sel untuk mikroalga uniseluler atau jumlah benang alga untuk mikroalga multiseluler per liter) dibagi jumlah total kerapatan semua jenis mikroalga di komunitas sampel tersebut.

Jenis-jenis mikroalga air tawar dominan lainnya yang teridentifikasi sebagai penghasil biodiesel akan tetapi sudah sering dimanfaatkan untuk kegunaan lain (bukan untuk bahan bakar) seperti sumber makanan dan obat di antaranya adalah *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp., dan *Anabaena* sp. (Gambar 8, 9 dan 10).



Gambar 8. *Chlorella* sp.



Gambar 9. *Scenedesmus* sp.



Gambar 10. *Anabaena* sp.

C. Komunitas Mikroalga Perairan Laut Pantai

Distribusi jenis mikroalga perairan laut pantai di wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia sangat beragam. Dari seluruh area sampel perairan laut pantai yang diamati, telah terjaring 119 jenis mikroalga, dan dari jumlah jenis ini teridentifikasi 58 jenis mikroalga yang potensial sebagai penghasil biodiesel.

Jumlah jenis total dan jumlah jenis yang penghasil biodiesel dari komunitas mikroalga di masing-masing lokasi area sampel perairan laut pantai di wilayah Nusa Tenggara Barat dapat dilihat pada Tabel 13 dan Gambar 11.

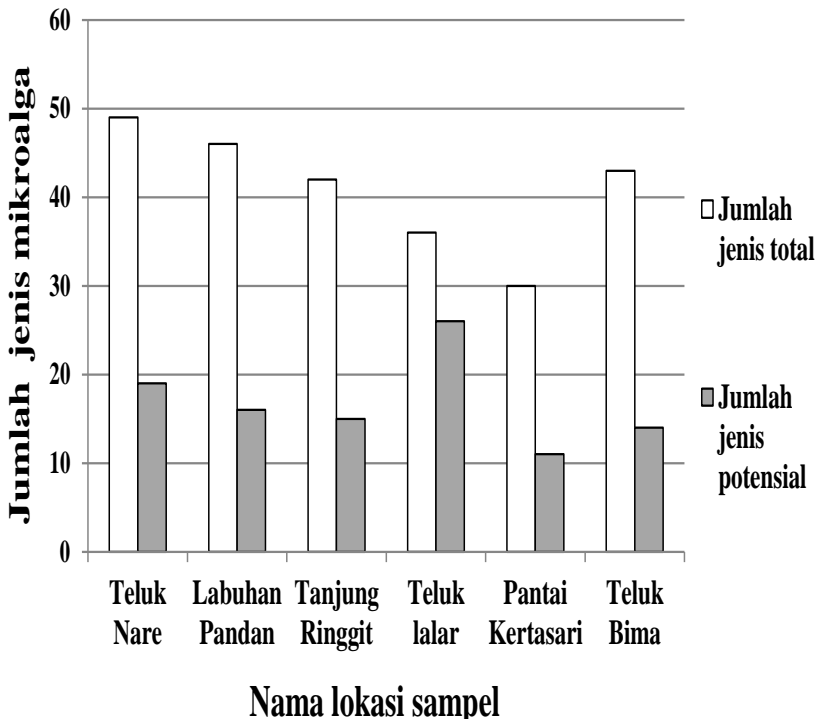
Tabel 13. Kekayaan jenis mikroalga di berbagai sistem perairan laut pantai Nusa Tenggara Barat

Tempat Sampling	Jumlah Jenis Mikroalga	Jumlah jenis Mikroalga Penghasil Minyak
Teluk Nare Lombok Utara	49	8
Labuhan Pandan Lombok Timur	46	11
Tanjung Ringgit Lombok Timur	42	11
Teluk Lalar Sumbawa Barat	36	12
Pantai Kertasari Sumbawa Barat	30	8
Teluk Saleh Bima	43	10

Jumlah jenis mikroalga secara total di berbagai sistem perairan laut pantai di wilayah Wallacea, dalam hal ini khususnya di Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia adalah berkisar dari 30 jenis mikroalga di perairan laut Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa (KSB) sampai dengan 49 jenis mikroalga di perairan laut pantai Teluk Nare Kabupaten Lombok Utara (KLU).

Jumlah jenis mikroalga yang potensial penghasil biodiesel berkisar dari 12 jenis mikroalga seperti yang terjaring di perairan laut Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat

hingga sampai dengan 26 jenis mikroalga seperti yang terjaring di perairan laut pantai Teluk Lalar Kabupaten Sumbawa Barat.



Gambar 11. Kekayaan jenis mikroalga penghasil biodiesel di perairan laut pantai Nusa Tenggara Barat

Secara keseluruhan di semua sistem perairan laut pantai wilayah Wallacea, khususnya di Wilayah Provinsi Nusa Tenggara Barat Republik Indonesia terdapat 119 jenis mikroalga, dan dari jumlah ini teridentifikasi 58 jenis mikroalga yang potensial sebagai penghasil biodiesel (Tabel 14).

Tabel 14. Daftar jenis mikroalga penghasil biodiesel di berbagai perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling					
		TN	LP	TR	TL	PK	TS
1	<i>Amphora decussata</i>		*				
2	<i>Amphipora gigantea</i>		*				
3	<i>Amphora hyalina</i>		*	*			
4	<i>A. laevis</i>		*	*			
5	<i>A. lineolata</i>		*				
6	<i>A. quadrata</i>			*			
7	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	*	*	*	*		
8	<i>B. elongatum</i>	*					
9	<i>B. hyalinum</i>				*		
10	<i>B. varians</i>	*	*	*			
11	<i>Chaetoceros affine</i>	*	*	*	*		
12	<i>C. atlanticum</i>	*			*		
13	<i>C. cinctum</i>				*		
14	<i>C. compressus</i>				*		
15	<i>Chaetoceros costatum</i>						*
16	<i>C. constrictus</i>				*		
17	<i>C. curvisetus</i>	*	*	*			*
18	<i>C. danicus</i>				*		*

Tabel 14. Lanjutan ...

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling					
		TN	LP	TR	TL	PK	TS
19	<i>C. debile</i>			*			*
20	<i>C. decipiens</i>	*	*	*	*		
21	<i>C. densus</i>				*		
22	<i>C. dictyeta</i>				*		*
23	<i>C. didymis</i>		*	*		*	
24	<i>C. distans</i>	*	*	*	*		
25	<i>C. diversum</i>	*	*				
26	<i>C. halsaticum</i>					*	*
27	<i>C. hypsidum</i>				*		
28	<i>C. lacinosum</i>	*	*				
29	<i>C. lauderi</i>	*					
30	<i>C. lorenzianum</i>		*	*	*		
31	<i>C. mesanense</i>		*		*		*
32	<i>C. mitra</i>	*			*		
33	<i>C. peruvianus</i>						*
34	<i>C. pseudocritinum</i>	*					
35	<i>C. radicans</i>						*
36	<i>C. rostratus</i>				*		
37	<i>C. sehoense</i>					*	

Tabel 14. Lanjutan ...

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling					
		TN	LP	TR	TL	PK	TS
38	<i>C. seriacanthum</i>	*			*		
39	<i>C. siamense</i>						*
40	<i>C. subsecundum</i>				*		
41	<i>C. subsewrdum</i>					*	
42	<i>C. subtilis</i>				*		
43	<i>C. tortissinum</i>				*		*

44	<i>C. teres</i>					
45	<i>C. vanheurekii</i>					*
46	<i>C. weissflogii</i>				*	
47	<i>Nitzschia lanceolata</i>	*				
48	<i>N. longissima</i>	*	*	*	*	
49	<i>N. pasifica</i>					*
50	<i>N. pungen</i>				*	*
51	<i>N. seriata</i>					*
52	<i>N. sigma</i>					*
53	<i>Nitzschia spp.</i>		*	*	*	*
54	<i>Pseudonitzschia spp.</i>	*		*		
55	<i>Thalassionema nitzschicoides</i>	*				*

Tabel 14. Lanjutan

No.	Nama Jenis Mikroalga	Lokasi Perairan Sampling					
		TN	LP	TR	TL	PK	TS
57	<i>Thalassiosira oestrupii</i>	*		*			
58	<i>Thalassiosira sp.</i>						*
Jumlah jenis total		49	46	42	36	30	43
Jumlah jenis penghasil minyak		19	16	15	26	12	15

Keterangan:

TN : Teluk Nare Kabupaten Lombok Utara

LP : Labuhan Pandan Kabupaten Lombok Timur

TR : Tanjung Ringgit Kabupaten Lombok Timur
TL : Teluk Leler Kabupaten Sumbawa Barat
PK : Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat
TS : Teluk Saleh Kabupaten Bima

Hasil studi menunjukkan, bahwa perbedaan angka kekayaan jenis mikroalga antar lokasi adalah kecil, yaitu yang paling rendah 30 jenis di Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat dan yang paling tinggi 49 jenis di Teluk Nare Kabupaten Lombok Utara.

Namun demikian, kecilnya perbedaan angka kekayaan jenis ini tidak berarti menunjukkan rendahnya tingkat kesamaan komunitas mikroalga, dan data menunjukkan, bahwa komunitas mikroalga di berbagai lokasi perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat memiliki tingkat perbedaan yang tinggi. Tingginya tingkat perbedaan komunitas mikroalga antar lokasi tersebut di atas disebabkan oleh perbedaan anggota komunitas (daftar nama jenis, bukan jumlah jenis) mikroalga. Dapat juga dikatakan, bahwa antar dua komunitas mikroalga yang tingkat kekayaan jenisnya sama belum tentu memiliki kesamaan dalam komposisi anggotanya di antara ke dua komunitas mikroalga tersebut.

Hasil juga menunjukkan, bahwa jenis-jenis mikroalga yang potensial penghasil biodiesel masing-masing bukan merupakan jenis yang dominan di komunitasnya. Dengan

demikian, dalam pengembangan mikroalga laut untuk produksi biodiesel selain perlu usaha dilakukannya peningkatan-peningkatan produktivitas, kualitas dan efisiensi produksi juga harus ada upaya konservasi terhadap jenis-jenis mikroalga potensial tersebut agar tetap lestari di alam asalnya.

Langkah konservasi yang perlu dilakukan meliputi pelestarian habitat-habitat dengan menjaga kondisi-kondisi lingkungan idealnya dan mencegah terjadinya pencemaran serta menangani pencemaran-pencemaran yang telah terjadi (remediasi habitat).

Pada masing - masing lokasi perairan sampling, jenis mikroalga air laut penghasil biodiesel yang relatif dominan dari komunitasnya adalah *Chaetoceros* sp. di perairan laut pantai Teluk Nare Lombok Utara (Tabel 15), di Labuhan Pandan Lombok Timur (Tabel 16), di Tanjung Ringgit Lombok Timur (Tabel 17), di Pantai Kertasari Kabupaten Sumbawa Barat (Tabel 18), dan di Teluk Saleh Bima (Tabel 19), dan *Pseudo-nitzschia* sp. di perairan laut pantai Teluk Lalar Kabupaten Sumbawa Barat (Tabel 20) dan Gambar 12.



Gambar 12. *Chaetoceros amini*

Tabel 15. Daftar jenis mikroalga air laut di Teluk Nare
Kabupaten Lombok Utara

No.	Nama Spesies	TN1	TN2	TN3	D (Ind./L)	NP (%)
1.	<i>Amphora hyalina</i>	+			0,450	1,383
2.	<i>A. laevis</i>		+		0,450	1,383
3.	<i>A. lineolata</i>			+	0,450	1,383
4.	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+	+	+	45,000	18,519
5.	<i>B. elongatum</i>	+	+		1,800	3,062
6.	<i>B. varians</i>			+	2,250	1,975
7.	<i>Ceratium biceps</i>			+	0,900	1,531
8.	<i>C. pulchellum</i>			+	0,450	1,383
9.	<i>Chaetoceros affine</i>	+	+		16,200	7,802
10.	<i>C. atlanticum</i>			+	2,250	1,975
11.	<i>C. curvisetus</i>	+	+	+	9,000	6,667
12.	<i>C. decipiens</i>	+	+		13,050	6,765
13.	<i>C. distans</i>	+	+		15,300	7,506
14.	<i>C. diversum</i>	+	+	+	29,700	13,481
15.	<i>C. lacinosum</i>	+	+	+	35,100	15,259
16.	<i>C. lauderi</i>	+			2,700	2,123
17.	<i>C. mitra</i>		+		3,150	2,272
18.	<i>C. pseudocrinitum</i>	+		+	10,800	6,025
19.	<i>C. seriacanthum</i>			+	3,600	2,420
20.	<i>Climacosphenia moniligera</i>		+		0,450	1,383
21.	<i>Codonellopsis americana</i>		+		0,450	1,383
22.	<i>Corethron hystrix</i>	+	+	+	3,150	4,741
23.	<i>Dactyliosolen antarcticus</i>	+	+	+	9,900	6,963
24.	<i>Dictyocha fibula</i>			+	0,450	1,383
25.	<i>Globigerinella digitata</i>	+			0,450	1,383

Tabel 15. Lanjutan ...

26.	<i>Gymnodinium splendens</i>			+	0,450	1,383	
27.	<i>Leptocylindricus danicus</i>			+	1,800	1,827	
28.	<i>Licmophora abbreviata</i>			+	0,450	1,383	
29.	<i>Navicula distans</i>			+	0,450	1,383	
30.	<i>N. salinarum</i>			+	0,450	1,383	
31.	<i>Nitzschia lanceolata</i>			+	+	1,350 2,914	
32.	<i>N. longissima</i>			+	+	+	6,300 5,778
33.	<i>Palagothrix clevei</i>					+	0,450 1,383
34.	<i>Pediastrum trochoidea</i>					+	0,900 1,531
35.	<i>Piridinium quinquecorne</i>			+	+		3,600 3,654
36.	<i>Prorocentrum balticum</i>			+	+		1,800 3,062
37.	<i>P. minimum</i>					+	0,450 1,383
38.	<i>P. triestinum</i>					+	0,450 1,383
39.	<i>Protoperidinium oceanicum</i>					+	0,900 1,531
40.	<i>Pseudonitzschia spp.</i>			+	+		31,500 12,840
41.	<i>Rhizosolenia alata</i>			+	+		1,800 3,062
42.	<i>R. delicatula</i>			+		+	3,150 3,506
43.	<i>R. fragillima</i>			+	+	+	4,950 5,333
44.	<i>R. setigera</i>					+	2,250 1,975
45.	<i>Skeletonema costatum</i>			+	+	+	4,050 5,037
46.	<i>Surirella cuneata</i>					+	0,450 1,383
47.	<i>Thalassionema nitzschicoides</i>			+	+	+	25,650 12,148
48.	<i>Thalassiosira oestrupii</i>			+			1,350 1,679
49.	<i>Triceratium reticulum</i>			+	+		1,350 2,914

Tabel 16. Daftar jenis mikroalga di perairan Labuhan Pandan Lombok Timur

No.	Nama Spesies	LP1	LP2	LP3	D (Ind./L)	NP (%)
1.	<i>Amphipora gigantea</i>			+	0,450	1,07
2.	<i>Amphora decussata</i>	+			0,900	1,21
3.	<i>A. hyalina</i>			+	0,450	1,07
4.	<i>A. laevis</i>	+	+	+	2,250	3,50
5.	<i>A. lineolata</i>	+	+	+	2,250	3,50
6.	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+	+	+	35,100	13,67
7.	<i>B. varians</i>	+	+	+	23,400	10,05
8.	<i>Chaetoceros affine</i>	+	+	+	5,850	4,61
9.	<i>C. curvisetus</i>	+	+	+	13,500	6,98
10.	<i>C. decipiens</i>	+	+	+	16,650	7,96
11.	<i>C. didymis</i>	+	+		10,800	5,21
12.	<i>C. distans</i>	+	+	+	20,250	9,07
13.	<i>C. diversum</i>		+	+	5,400	3,54
14.	<i>C. lacinosum</i>	+	+	+	11,250	6,29
15.	<i>C. lorenzianum</i>	+	+	+	23,850	10,19
16.	<i>C. mesanense</i>			+	3,150	1,91
17.	<i>Corethron hystrix</i>	+	+	+	1,800	3,36
18.	<i>Coscinodiscus</i> spp.	+	+		1,350	2,29
19.	<i>Dactyliosolen antarcticus</i>	+	+	+	3,150	3,78
20.	<i>Dyctyoca fibula</i>			+	0,450	1,07
21.	<i>Eucampia cornuta</i>	+	+	+	4,050	4,06
22.	<i>Gomphonema exignum</i>			+	0,450	1,07
23.	<i>Gymnodinium splendens</i>	+	+	+	3,150	3,78
24.	<i>Leptocylindricus danicus</i>	+	+	+	13,050	6,84
25.	<i>Leptontinnus bottnicus</i>		+	+	1,800	2,43
26.	<i>L. simplex</i>		+		0,450	1,07
27.	<i>Navicula cancellata</i>	+	+		4,050	3,12
28.	<i>N. elegans</i>	+	+		2,250	2,57

Tabel 16. Lanjutan ...

29.	<i>N. salinarum</i>	+	+	+	1,350	3,22
30.	<i>Navicula</i> sp.			+	0,900	1,21
31.	<i>Nitzschia longissima</i>	+	+	+	4,950	4,34
32.	<i>N. pungen</i>		+		0,900	1,21
33.	<i>Nitzschia</i> spp.	+		+	2,700	2,71
34.	<i>Pelagothrix clevei</i>	+	+	+	2,250	3,50
35.	<i>Piridinium quinquecorne</i>	+	+	+	4,050	4,06
36.	<i>Pleurosigma</i> sp.	+	+	+	1,350	3,22
37.	<i>Protoperidinium ovum</i>		+	+	3,150	2,84
38.	<i>Pseudonitzschia</i> spp.	+	+	+	20,700	9,21
39.	<i>Rhizosolenia alata</i>	+	+	+	5,400	4,48
40.	<i>R. delicatula</i>		+		0,450	1,07
41.	<i>R. stolterfothii</i>	+	+	+	20,700	9,21
42.	<i>Skeletonema costatum</i>	+	+	+	4,950	4,34
43.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+	+	+	20,700	9,21
44.	<i>Thalassiotrix frauenfeldii</i>	+	+		14,400	6,33
45.	<i>Thalassiotrix</i> sp.	+			1,350	1,35
46.	<i>Trethomphalus bulloides</i>	+	+	+	1,350	3,22

Tabel 17. Daftar jenis mikroalga laut pantai di Tanjung Ringgit Lombok Timur

No.	Nama Spesies	TR1	TR2	TR3	D (Ind./L)	NP (%)
1.	<i>Amphora hyalina</i>			+	0,45	1,88
2.	<i>A. laevis</i>	+		+	1,35	4,14
3.	<i>A. quadrata</i>			+	0,45	1,88
4.	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	+	+	+	12,15	14,82
5.	<i>B. varians</i>	+	+		1,35	4,14

Tabel 17. Lanjutan ...

6.	<i>Ceratium biceps</i>			+		0,45	1,88
7.	<i>Chaetoceros affinis</i>	+		+		16,20	16,78
8.	<i>C. curvisetus</i>	+		+	+	12,15	14,82
9.	<i>C. debile</i>				+	1,80	3,03
10.	<i>C. decipiens</i>				+	2,70	5,28
11.	<i>C. didymis</i>				+	6,75	7,24
12.	<i>C. distans</i>	+		+		7,20	9,12
13.	<i>C. lorenzianum</i>	+			+	7,65	9,50
14.	<i>Coscinodiscus nodulifer</i>				+	1,35	2,64
15.	<i>Coscinodiscus</i> sp.				+	0,45	1,88
16.	<i>Dactyliosolen antarcticus</i>	+				0,45	1,88
17.	<i>Diploneis crabro</i>				+	0,90	2,26
18.	<i>D. splendida</i>				+	0,45	1,88
19.	<i>Globigerinella</i> sp.				+	0,45	1,88
20.	<i>Gymnodinium splendens</i>				+	0,45	1,88
21.	<i>Hemiaulus hauckii</i>	+				0,45	1,88
22.	<i>Leptocylindricus danicus</i>	+		+		0,90	3,75
23.	<i>Leptontinnus bottnicus</i>	+		+		2,25	4,91
24.	<i>Licmophora abbreviata</i>				+	0,45	1,88
25.	<i>Navicula cancellata</i>				+	0,45	1,88
26.	<i>N. distans</i>				+	0,45	1,88
27.	<i>N. elegans</i>				+	0,45	1,88
28.	<i>N. salinarum</i>				+	0,90	2,26
29.	<i>Navicula</i> sp.	+				0,90	2,60
30.	<i>Nitzschia longissima</i>	+		+	+	1,35	5,63
31.	<i>Nitzschia</i> sp.	+		+	+	2,25	6,39
32.	<i>Pelagothrix clevei</i>	+		+		1,35	4,14
33.	<i>Piridinium pellucidum</i>	+			+	2,25	4,90
34.	<i>P. quinquecorne</i>	+			+	2,25	4,90
35.	<i>Protoperidinium majus</i>	+				2,25	3,41
36.	<i>P. ovum</i>	+		+	+	3,15	7,16
37.	<i>Rabdinella striata</i>	+				0,90	2,26
38.	<i>Rhizosolenia alata</i>				+	1,80	4,52
39.	<i>R. delicatula</i>				+	1,35	2,64
40.	<i>R. stolterfothii</i>	+				0,45	1,88
41.	<i>Skeletonema costatum</i>	+		+		11,70	12,95
42.	<i>Thalassiosira oastrupii</i>	+				0,45	1,88

Tabel 18. Daftar jenis mikroalga air laut Pantai Kertasari

Kabupaten Sumbawa Barat

No.	Spesies	K1	K2	K3	K4	D (ind/L)
1.	<i>Astereonella japonica</i>	38	26	14	57	14,63
2.	<i>A. kariana</i>				97	10,5
3.	<i>Chaetoceros dydimus</i>	28	45	4	67	15,6
4.	<i>C. halsaticum</i>	51	56	20	70	21,39
5.	<i>C. sehoense</i>	25	31	2	20	8,45
6.	<i>C. subsewrdum</i>	123	58	22	88	34,78
7.	<i>C. vanheurekii</i>	15	18		7	4,33
8.	<i>Cylindratheca closterium</i>	12	6		23	4,66
9.	<i>Denticula seminae</i>	10			12	2,38
10.	<i>Fragillaria islandica</i>	7	3		30	3,36
11.	<i>Gyrosigma aeuminatum</i>	5	5		13	2,49
12.	<i>G. fastitola</i>	10	9	2	14	3,79
13.	<i>Isthmia nervosa</i>	20	3	2	5	3,25
14.	<i>Leptocylendricus danicus</i>	4	24	44	45	12,68
15.	<i>Licmophora abbreviata</i>	16	3		10	3,25
16.	<i>Navicula distans</i>	8	6	1	4	2,06
17.	<i>Nitzschia</i> sp.			4	20	2,60
18.	<i>N. longissima</i>	23	8	6	26	6,83
19.	<i>N. pasifica</i>	3	10		18	3,36
20.	<i>N. pungens</i>	18	17	1	38	8,02
21.	<i>N. seriata</i>	17			20	4,01
22.	<i>Rhizosolenia alata</i>		14	5	5	2,60
23.	<i>R. delicatula</i>	3	3		5	1,30
24.	<i>R. fragillima</i>	23				2,49
25.	<i>R. hebetata</i>	8	6		10	2,60
26.	<i>R. setigera</i>	14	11	10	15	5,09
27.	<i>R. stolterfothii</i>	20	22	3	52	10,51
28.	<i>Skeletonema costatum</i>	64	49	19	81	24,16
29.	<i>Thalassiothrix longissima</i>	19	4	1	15	4,23
30.	<i>Thalassionema nitzschicoides</i>	22	14		4	4,33

Tabel 19. Daftar jenis mikroalga laut pantai Teluk Saleh Kabupaten Bima

No.	Spesies	Stasiun					D (ind/L)	NP (%)
		1	2	3	4	5		
1.	<i>Biddulphia mobiliensis</i>		+				4	1,32
2.	<i>Ceratium furca</i>		+	+	+		52	5,36
3.	<i>C. fusus</i>	+	+				32	3,48
4.	<i>C. horridum</i>	+	+				36	3,62
5.	<i>C. tripos</i>	+	+	+	+		132	9,32
6.	<i>C. zschmidtii</i>	+					4	1,32
7.	<i>Chaetoceros costatum</i>				+		68	3,53
8.	<i>C. curvisetum</i>				+		204	8,23
9.	<i>C. danicus</i>				+		136	5,88
10.	<i>C. debilis</i>				+		224	8,92
11.	<i>C. dictyota</i>				+		268	10,4
12.	<i>C. holsaticum</i>				+		104	4,78
13.	<i>C. messanensis</i>		+				20	1,88
14.	<i>C. radicans</i>				+		272	10,
15.	<i>C. peruvianus</i>		+				8	1,46
16.	<i>C. siamense</i>				+		180	7,40
17.	<i>C. tortissimum</i>				+		108	4,92
18.	<i>Climacodium biconcavum</i>				+		16	1,74
19.	<i>Dinophysis cauda</i>	+	+		+		48	5,22
20.	<i>D. diegens</i>				+		4	1,32
21.	<i>Dinophysis</i> sp.		+		+		16	2,93
22.	<i>D. tipos</i>		+				8	1,46
23.	<i>Diploneis splendida</i>			+	+	+	28	4,53
24.	<i>Fragilaria</i> sp.	+	+			+	24	4,40
25.	<i>Hemiaulus havekii</i>	+	+				48	4,03

Tabel 19. Lanjutan ...

1.	<i>Navicula</i> sp.	+	+		+	64	5,78	
2.	<i>N. Longissima</i>	+	+	+	+	60	6,83	
3.	<i>Nitzschia</i> sp.			+	+	48	4,03	
4.	<i>N. sigma</i>	+	+	+	+	116	8,76	
5.	<i>Ornithocercus calolinae</i>		+			8	1,46	
6.	<i>O. cerratus</i>		+		+	8	2,65	
7.	<i>Pleurosigma affine</i>	+				4	1,32	
8.	<i>P. normanii</i>	+	+	+	+	120	8,90	
9.	<i>Pleurosigma</i> sp.			+	+	+	156	8,95
10.	<i>P. quinquecorne</i>	+	+			28	3,34	
11.	<i>Protoperidinin</i> sp.		+	+		40	3,76	
12.	<i>Prorocentrum micans</i>		+			8	1,46	
13.	<i>P. gracille</i>		+		+	+	20	4,26
14.	<i>Surirella</i> sp.			+		+	52	4,17
15.	<i>Synedra ulna</i>		+	+	+	+	28	5,72
16.	<i>Tabellaria</i> sp.	+				32	2,29	
17.	<i>Thalassionema</i> sp.				+	12	1,60	
18.	<i>Thalassiosira</i> sp.	+	+	+	+	48	6,41	
						2896	200	

Keterangan:

D = Densitas (Jumlah sel per liter)

NP = Nilai Penting Ekologi

Tabel 20. Daftar jenis mikroalga laut pantai Teluk Lalar Kabupaten Sumbawa Barat

No.	Spesies	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5	TL	D (ind/L)	NP (%)
1.	<i>Bacteriastrium elongatum</i>			17			8	54,83	2,69
2.	<i>B. hyalinum</i>		4	7			6	37,28	2,66
3.	<i>Eucamphia groenlandica</i>	4			12	6	5	59,21	3,65
4.	<i>Chaetoceros affinis</i>	7	1		5	3	4	54,83	3,54
5.	<i>C. atlanticus</i>		2		9			24,12	1,47
6.	<i>C. cinctum</i>			31				67,98	2,17
7.	<i>C. compressus</i>					28	7	76,75	3,25
8.	<i>C. constrictus</i>				8			17,54	1,30
9.	<i>C. danicus</i>		13	2	24	3	15	125,0	6,62
10.	<i>C. decipiens</i>		19		6			54,83	2,69
12.	<i>C. densus</i>		5			49	7	133,7	5,13
13.	<i>C. dichæta</i>		8					17,54	1,30
14.	<i>C. distans</i>		5	16	2	29	26	171,0	7,37
15.	<i>C. hypsidum</i>			12				26,32	1,10
16.	<i>C. lorenzianus</i>	3		4	5		19	67,98	3,88
17.	<i>C. mesanensis</i>		2	21				50,44	2,15
18.	<i>C. mitra</i>	6		3				19,74	1,36
19.	<i>C. rostratus</i>		3			6	13	46,05	2,89
20.	<i>C. seiracanthum</i>			8	5			28,51	1,59
21.	<i>C. subesecundum</i>		4		8			26,32	1,53
22.	<i>C. subtilis</i>						13	28,51	1,59
23.	<i>C. teres</i>		10	4			5	41,67	2,78
24.	<i>C. weissflogii</i>					17	5	37,28	1,38

Tabel 20. Lanjutan ...

25.	<i>Leptocylindricus danicus</i>	6	8	15	61	34	20	315,7	12,79
26.	<i>L. minimus</i>			13	19			70,18	3,51
27.	<i>Nitzschia longissima</i>			3	12	1		35,09	2,61
28.	<i>N. pungens</i>				23			50,44	2,15
29.	<i>Nitzschia</i> sp.	2	1	2	25	12	4	100,9	6,43
30.	<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	18	69	75	120	126	29	958,3	29,67
31.	<i>Peridinium</i> sp.	2		2	1	5	2	24,12	3,18
32.	<i>Trichodesmium</i> sp.	6	1	15	41	16		173,2	7,86
33.	<i>Rhizosolenia alata</i>		5		3	3		24,12	2,33
34.	<i>R. setigera</i>	1	1	19	22	14	8	142,5	7,92
35.	<i>R. stoltelfothii</i>		9	36	22	45	24	320,1	12,47
36.	<i>Skeletonema costatum</i>	3			3	11	5	48,25	2,95
								3905	200,0

Keterangan:

D = Densitas (Jumlah sel per liter)

NP = Nilai Penting Ekologi

Nilai penting suatu jenis mikroalga adalah nilai kerapatan (dalam jumlah sel untuk mikroalga uniseluler atau jumlah benang alga untuk mikroalga multiseluler per liter) dibagi jumlah total kerapatan semua jenis mikroalga di komunitas sampel tersebut.

Hasil penting lainnya dari kajian ini adalah adanya jenis mikroalga penghasil biodiesel, yang keberadaannya tidak

dominan dari komunitasnya di perairan Nusa Tenggara Barat, yaitu *Nannochloropsis oculata*. Berdasarkan hasil ini, maka jenis *N. oculata* perlu dikonservasi agar lestari keberadaannya di alam, dalam hal ini khususnya di perairan Nusa Tenggara Barat. Konservasi yang direkomendasikan diarahkan untuk melindungi habitat, mencegah pencemaran lingkungan perairan, dan melakukan langkah-langkah penanganan terhadap system-sistem perairan yang telah mengalami pencemaran.

Jenis mikroalga *N. oculata* bersama dengan jenis-jenis mikroalga penghasil biodiesel lainnya, yaitu *Nitzschia* sp., dan *Chaetoceros amini* telah dikultur untuk dipelajari kandungan minyaknya sebagai bahan pembuatan biodiesel (Gambar 13, 14, dan 14) (Suripto & Japa, 2017; 2018).



Gambar 13. Kultur *Nannochloropsis oculata*



Gambar 14. Kultur *Nitzschia* sp.



Gambar 15. Kultur *Chaetoceros amini*

Komposisi jenis mikroalga di perairan tawar dapat berubah menurut variasi kondisi lingkungan lokal, terutama cuaca, dalam hal ini di daerah tropis ditentukan oleh dua musim, yaitu musim kemarau dan musim penghujan (bandingkan Tabel 21 dengan tabel-tabel sebelumnya).

Tabel 21. Jenis-jenis mikroalga dominan di berbagai system perairan tawar pada musim penghujan di wilayah Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat

No.	Jenis mikroalga dominan	Tempat sampel dikoleksi
1.	<i>Aktinastrum sp.</i>	Sawah padi dan kolam ikan di Lingsar Lombok Barat
2.	<i>Asterionella sp.</i>	Perairan pantai Ampenan
3.	<i>Chaetoceros sp.</i>	Perairan pantai Mataram dan Lembar (Lombok Barat), Kayangan dan Sambelia (Lombok Timur), Kertasari (Sumbawa Barat), Teluk Saleh (Bima)
4.	<i>Microcystis sp.</i>	Bendunagn Batujai (Lombok Tengah)
5.	<i>Nostoc sp.</i>	Bendungan Muncan dan Pengga (Lombok Tengah)
6.	<i>Peridinium sp.</i>	Bendungan Pengga (Lombok Tengah)
7.	<i>Pleurosigma sp.</i>	Danau Asin Gili Meno (Lombok Utara)
8.	<i>Rhizosolenia sp.</i>	Pantai Kuta (Lombok Tengah)
9.	<i>Scenedesmus sp.</i>	Sawah padi dan kolam-kolam ikan di Lingsar (Lombok Barat)
10.	<i>Skeletonema sp.</i>	Pantai Amor-amor (Lombok Barat)
11.	<i>Spirulina sp.</i>	Sawah padi di Jonggat (Lombok Tengah)
12.	<i>Thalasiothrix sp.</i>	Danau Asin Gili Meno (Lombok Utara)

BAB III

PRODUKSI BIODIESEL DARI BIOMASA MIKROALGA

A. Kultur Mikroalga untuk Produksi Biodiesel

Mikroalga atau yang dikenal juga dengan fitoplankton merupakan fondasi bagi rantai-rantai makanan ataupun jaring-jaring makanan dalam ekosistem perairan. Tanpa fitoplankton, ekosistem perairan baik laut maupun perairan tawar tidak akan dapat *survive* di planet bumi ini.

Menurut Hader *et al.* (1995), deplesi lapisan ozon hingga 16% merupakan akibat hilangnya 5% fitoplankton, yang setara dengan hilangnya sekitar 7 ton ikan per tahun. Untuk itu, maka konservasi fitoplankton adalah sangat penting guna melindungi kelangsungan hidup ekosistem perairan di manapun di muka bumi ini. Berdasarkan kenyataan itu, maka pemanfaatan mikroalga dari alam dalam bentuk apapun untuk pemenuhan kebutuhan hidup manusia harusnya dilakukan dengan tetap menjaga kelestariannya, baik keanekaragaman jenis maupun fungsi ekologisnya.

Mikroalga merupakan salah satu sumber biodiesel yang ramah lingkungan. Menurut Chaugule (2009), tidak kurang dari 300 jenis mikroalga air tawar maupun laut, terutama alga hijau dan diatom telah diteliti untuk menghasilkan *biofuel*. Mikroalga dapat dipandang sebagai penyokong persediaan *biofuel* yang sangat menawan, karena hanya sedikit memerlukan biaya untuk

pemeliharaan pertumbuhannya dan tidak bersaing dengan lahan budidaya pertanian.

Menurut Chaugule (2009), dalam memproduksi minyak, mikroalga 8 hingga 25 kali lebih produktif dibanding tanaman palem, dan 40 hingga 120 kali daripada biji tanaman lobak, yang merupakan tanaman biji penghasil minyak tertinggi selama ini. Total kandungan minyak dalam mikroalga bisa mencapai 70% dari berat kering.

Menurut Hader et al. (1995), bahwa 30 gram alga per m² per hari dapat diproduksi dan akan menghasilkan 4000 galon minyak biodiesel per are tiap tahunnya. Perolehan rata-rata di atas 100 galon minyak biodiesel per are per tahun dapat dicapai dengan menggunakan sistem *photobioreactor* tertutup.

Pemanfaatan mikroalga sebagai sumber bahan bakar alternatif dengan tetap menjaga kelestarian komunitasnya, hanya dapat dilakukan dengan mengkulturkannya secara intensif. Pengembangan biofuel dari mikroalga memiliki beberapa keunggulan dibanding biofuel dari tanaman budidaya. Keunggulan-keunggulan tersebut adalah (Sheehan et al., 1998):

- 1) Pertumbuhan cepat
- 2) Praktis dapat ditumbuhkan di mana saja
- 3) Hasil per satuan luas tinggi (7 hingga 31 kali dari hasil tanaman budidaya)
- 4) Beberapa jenis mikroalga dapat dipanen tiap hari

- 5) Biofuel algae tidak mengandung sulfur
- 6) Biofuel alga tidak toksik
- 7) Biofuel alga bersifat *biodegradable*
- 8) Tingginya level polyunsaturates dalam biodasel alga mempunyai titik beku yang sangat rendah

Mikroalga, khususnya yang obligat fotosintetik membutuhkan cahaya sebagai energi dan karbondioksida sebagai sumber karbon. Kultur yang dibuat ini disebut fotoautotrofik. Beberapa jenis mikroalga mampu hidup dalam gelap, menggunakan karbon organik seperti gula atau asetat sebagai sumber energi dan sumber karbon. Kultur yang dibuat ini disebut heterotrofik. Kultivasi mikroalga menggunakan cahaya matahari dapat dilakukan pada kolam tertutup atau terbuka, atau fotobioreaktor tertutup berbentuk tubular, petak lapis, atau desain lainnya.

Semua mikroalga yang obligat fototrofik adalah cocok untuk ditumbuhkan di fotobioreaktor dan kolam terbuka. Fotobioreaktor mempunyai efisiensi dan kapasitas konsentrasi biomasa lebih tinggi ($2 - 5 \text{ g L}^{-1}$), waktu mencapai panen lebih pendek (2 - 4 minggu) dan rasio permukaan terhadap volume lebih tinggi ($25 - 125 \text{ m}^{-1}$) daripada kolam terbuka. Bioreaktor juga umumnya memberikan kontrol lebih baik untuk kondisi-kondisi kultivasi, produktivitas hasil dan reproduktibilitas tinggi, resiko kontaminasi kecil, dan memungkinkan seleksi jenis

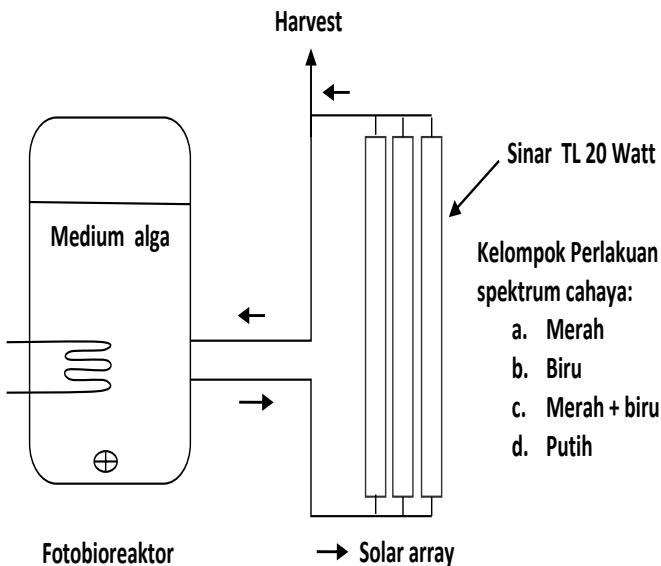
mikroalga yang digunakan untuk kultivasi (Demirbas & Demirbas, 2010).

Bioreaktor, sebagai salah satu sistem tertutup memiliki suatu zona sentral yang gelap (photolimited) dan zona terang di pinggir. Air kaya CO₂ didorong masuk ke dalam bioreaktor dengan pompa kincir yang menimbulkan aliran turbulen. Aliran turbulen mensirkulasikan sel-sel alga ke zona gelap dan terang secara simultan, yang menyebabkan terjadinya transfer gas-gas karbon dioksida dan oksigen. Frekuensi siklik zona gelap dan terang diatur sesuai dengan intensitas turbulen, konsentrasi sel, sifat optik dari kultur, diameter tabung, dan pencahayaan eksternal. Tabung bioreaktor terdiri atas tabung-tabung transparan yang terbuat dari plastik atau gelas yang fleksibel. Tabung-tabung dapat disusun vertikal, horizontal, miring, helik, atau rancangan panel gepeng horizontal. Diameter tabung kecil, yaitu 20 cm atau kurang (Demirbas & Demirbas, 2010).

Mikroalga mempunyai ukuran sel berdiameter 3 hingga 30 µm, dan kultur mudah terlarut bila kepadatannya kurang dari 0,5 g L⁻¹ (Carlsson et al., 2007; Demirbas & Demirbas, 2010). Modifikasi rancangan bioreaktor dengan menggunakan alat dan bahan yang lebih murah untuk kultur mikroalga ini perlu lebih lanjut dipelajari.

Isolasi sel tunggal mikroalga dilakukan di bawah mikroskop perbesaran 10x10 dengan menggunakan pipet kapiler

sesuai dengan teknik yang dikembangkan oleh Demirbas & Demirbas, 2010). Isolat dikultur dalam tabung reaksi 20 ml sebagai sistem tertutup. Medium yang digunakan berasal dari air sampel yang sudah disaring dengan menggunakan kertas saring. Secara bertahap setiap 24 jam, dari tabung reaksi 20 ml, kultur dipindahkan dan ditumbuhkan ke dalam container 5000 ml. Pada tahapan terakhir, dilakukan modifikasi pengembangan kultur untuk mengkaji upaya peningkatan produktivitas dengan mengatur perlakuan spektrum cahaya dan upaya peningkatan produksi minyak alga dengan mengatur perlakuan salinitas medium (Gambar 16).



Gambar 16. Sistem tertutup bioreaktor kultur mikroalga, dimodifikasi dari Campbell (2008).

Mikroalga mempunyai ukuran sel berdiameter 3 hingga 30 μm , dan kultur mudah terlarut bila kepadatannya kurang dari 0,5 g L⁻¹ (Demirbas & Demirbas, 2010). Pada sistem tertutup, kultur mikroalga dipanen sekitar 30% dari densitas puncak setiap 24 jam, yang ditampung melalui saringan (menggunakan jarring plankton Nomor 25 atau kertas saring biasa) dari 2000 ml menjadi 20 ml dalam botol penampung, yang kemudian disedimentasi atau dipekatkan lebih lanjut dengan sentrifugasi 50000 rpm selama 10 menit sehingga menghasilkan biomasa mikroalga berupa pasta.

Biomasa mikroalga dikeringkan dalam oven 40° C selama 24 jam. Biomasa kering mikroalga ini ditimbang beratnya sebelum lebih lanjut diekstraksi minyaknya (Suripto et al., 2013; Suripto & Japa, 2017;2018).

Botol dan keler dari bahan kaca dengan ukuran isi 5 L sangat mungkin cocok untuk modifikasi rancangan bioreaktor dengan mengembangkan perlakuan spektrum cahaya untuk meningkatkan produktivitas dan perlakuan salinitas medium untuk meningkatkan kualitas hasil kultur mikroalga, dalam hal ini kandungan minyak dari biomasa mikroalga.

Telah diketahui, bahwa dari seluruh spektrum cahaya matahari yang sampai di permukaan bumi, hanya spektrum merah dan spektrum biru yang relatif paling efektif digunakan

dalam fotosintesis oleh tumbuhan secara umum, termasuk oleh fitoplankton atau mikroalga dalam badan perairan.

Dengan memperhatikan aspek ini, maka dalam sistem tertutup kultur mikroalga dapat dikembangkan perlakuan (pengaturan) spektrum cahaya, yaitu penggunaan spektrum "tunggal" caya merah, biru, putih dan kombinasinya (Gambar 17).

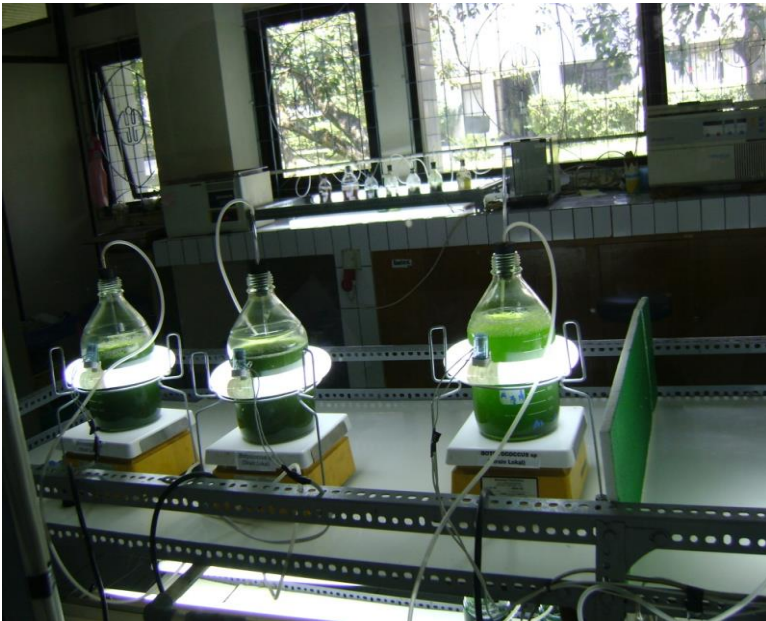
Perlakuan lain untuk meningkatkan kualitas hasil kultur, yaitu peningkatan kandungan minyak dari biomasa mikroalga adalah dengan mengembangkan (mengatur) salinitas medium kultur pada fase awal tahapan kultur (Gambar 18).

Salinitas merupakan salah satu kondisi yang menentukan masa jenis suatu medium. Mikroalga atau fitoplankton secara umum memiliki kemampuan adaptasi untuk menghadapi perubahan masa jenis medium.

Adaptasi dilakukan untuk mempertahankan atau menjaga agar masa jenis tubuh atau sel fitoplankton tetap sama dengan masa jenis badan perairan sebagai medium hidupnya, dengan indikasi sel-selnya tetap melayang di dalam perairan atau medium. Kata "fitoplankton" memang digunakan untuk menyebutkan nama kelompok "tumbuhan yang melayang-layang" di dalam air.

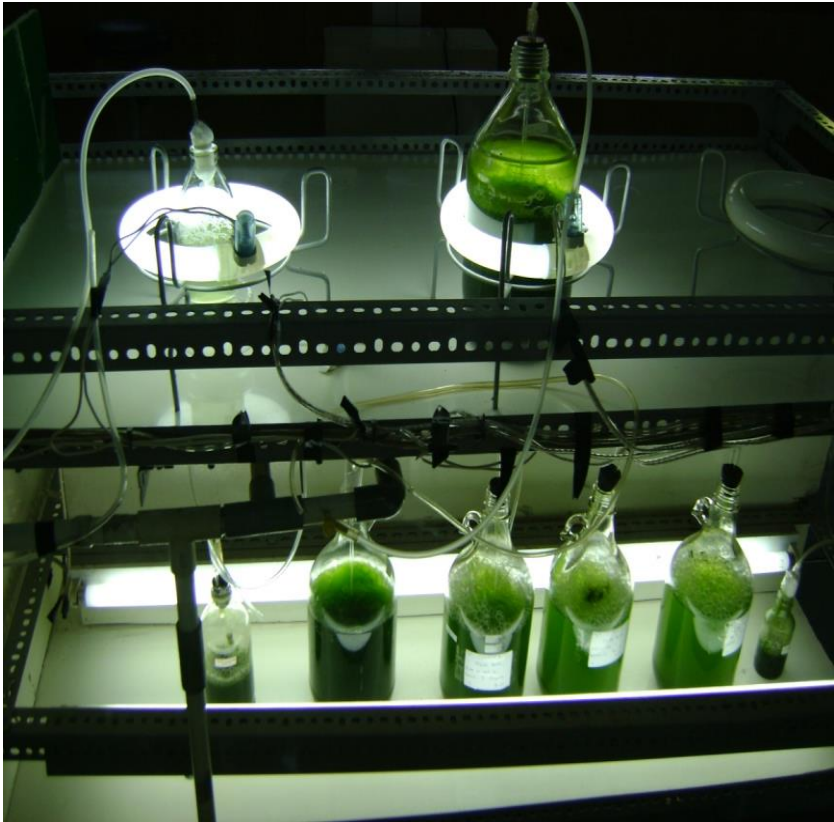
Selain sistem kultur mikroalga tertutup, sistem kultur terbuka kolam dapat digunakan untuk produksi biomasa mikrolaga. Kolam dirancang membentuk konfigurasi sirkuit,

dilengkapi dengan pompa kincir untuk mensirkulasikan sel-sel mikroalga dan nutrien.



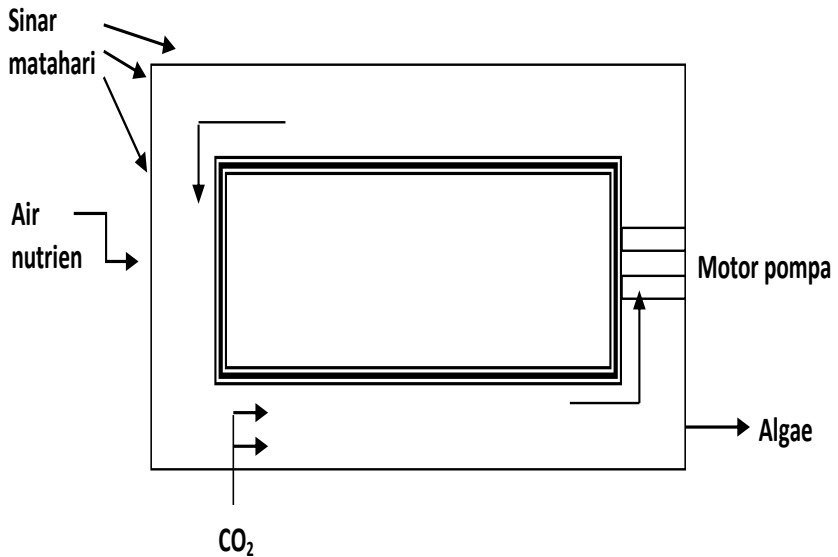
Gambar 17. Rancangan perlakuan spektrum cahaya pada kultur mikroalga

Garis batas kolam dibuat lebih tinggi dari lahan sekitarnya untuk mencegah air kolam meluap. Dari dasar hingga perifer kolam dilapisi plastik untuk mencegah air kolam merembes ke dalam tanah. Kolam dibuat dangkal, kedalamannya sekitar 30 cm agar mikroalga terdedah dengan sinar matahari yang menembus air kolam. Sistem kultur dioperasikan secara kontinyu (Gambar 19) (Chisti, 2007; Demirbas & Demirbas, 2010).



Gambar 18. Rancangan perlakuan penurunan salinitas secara bertahap medium kultur mikroalga

Kolam dirancang seperti jalan balapan (raceway) di mana alga, air, dan nutrisi bersirkulasi melalui sirkuit kolam, dengan pompa kincir yang memberikan dorongan untuk menimbulkan aliran. Mikroalga diupayakan bermacam-pur dan disirkulasi di bawah permukaan air dengan frekuensi yang teratur. Air dan nutrisi tetap disuplai ke dalam kolam, sedangkan air berisi mikroalga dipindah pada ujung yang lain.

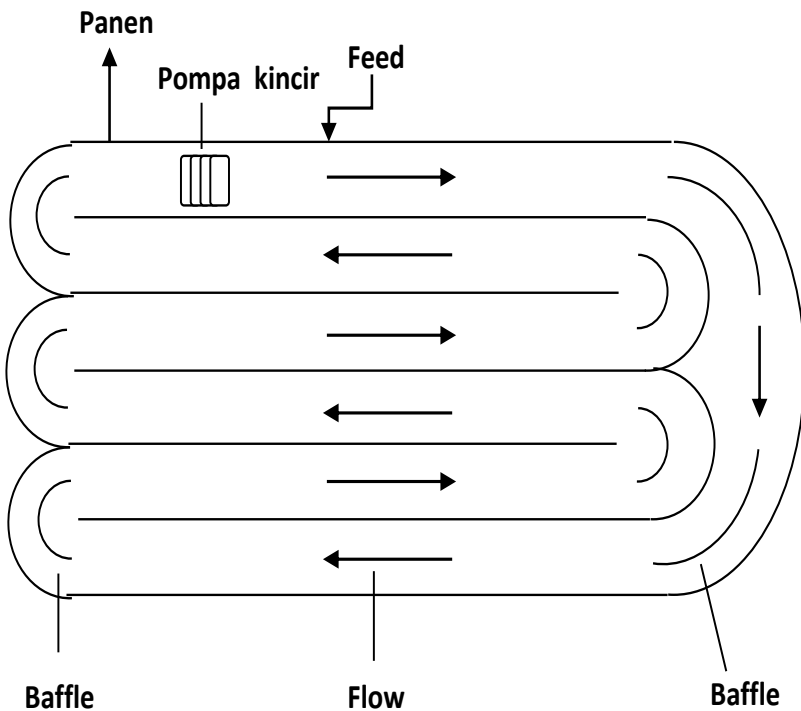


Gambar 19. Open pond algal farm system, disadur dari Demirbas & Demirbas (2010)

Kolam dapat juga dirancang dengan memasang penyekat-penyekat lengkung (baffles) dalam saluran untuk mengarahkan aliran ke dalam kolom sehingga dapat meminimalkan luas tempat yang digunakan. Sistem dioperasikan dalam bentuk aliran kontinyu, dimana bibit segar mikroalga dimasukkan ke dalam kolam melalui depan pompa dan mikroalga dipanen di belakang pompa setelah mengalami sirkulasi melalui kelokan kolam. Sistem kolam terbuka dibuat dangkal.

Nutrien dapat diberikan melalui air larian dari areal lahan sekitarnya atau dari saluran air yang berasal dari sawah pertanian. Air dijaga agar tetap bergerak dengan memasang pompa kincir (Chisti, 2007; Carlsson *et al.*, 2007).

Pengembangan sistem kultur terbuka dapat juga dilakukan dengan memodifikasi rancangan sistem kultur mikroalga menjadi sebuah kolam seperti jalan balapan (*raceway*), yang memiliki saluran berkelok-kelok dengan kedalaman 30 cm. Sirkulasi dan pencampuran dihasilkan oleh pompa kincir. Aliran diarahkan dengan cara memasang penyekat-penyekat lengkung pada belokan saluran (Demirbas & Demirbas, 2010) (Gambar 20).



Gambar 20. Tampak atas sebuah kolam raceway yang lebih efisien tempat, dimodifikasi dari Demirbas & Demirbas (2010)

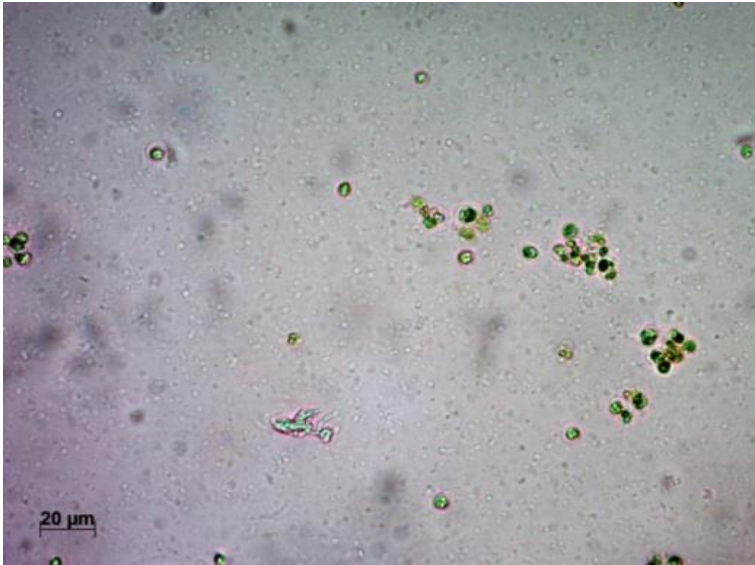
Dengan cara menurunkan salinitas yang berarti juga menurunkan masa jenis dari medium secara bertahap, maka mikroalga akan melakukan adaptasi penurunan masa jenis tubuhnya melalui mekanisme perbanyakan atau pembesaran volume vakuola dalam sel-sel induk, yang kemudian hasil adaptasi ini diturunkan kepada sel-sel anaknya.

Perbanyakan jumlah ataupun pembesaran volume vakuola sel alga ini diikuti dengan penambahan produksi minyak yang mengisi vakuola-vakuola tadi, yang secara keseluruhan menyebabkan penurunan masa jenis sel.

Studi tentang perlakuan pengaturan spektrum cahaya dan salinitas medium kultur mikroalga yang sudah dilakukan baru memperoleh data yang menunjukkan, bahwa penggunaan cahaya polikromatis (TL 20 Watt putih) menghasilkan produktivitas mikroalga paling tinggi dibanding penggunaan spektrum-spektrum tunggal seperti biru, merah, dan kombinasinya. Hasil-hasil yang relatif paling tinggi ini didapat masing-masing dari 1) kultur *Chaetoceros amini*, 2) kultur *Nannochlorosis aculata*, dan 3) kultur *Nitzschia* sp. Masing-masing jenis mikroalga tersebut dikultur dengan medium air laut dari lokasi asal sampling yang sudah disaring.

1. Jenis *Chaetoceros amini*

Kerapatan puncak dari pertumbuhan sel *Chaetoceros amini* dicapai pada kultur 7 hari setelah isolasi, yaitu 3,600,960,000 sel/liter (Gambar 21).



(a)



(b)

Gambar 21. Kultur (a) dan koloni (b) *Chaetoceros amini* pada tujuh hari setelah isolasi

Dari 1 (satu) liter kultur puncak *C. amini*, dengan menggunakan metode pemekatan dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven (suhu dijaga kurang dari 40oC untuk keperluan analisis kandungan minyaknya), maka diperoleh 13,0554 gram biomasa kering *C. amini*.

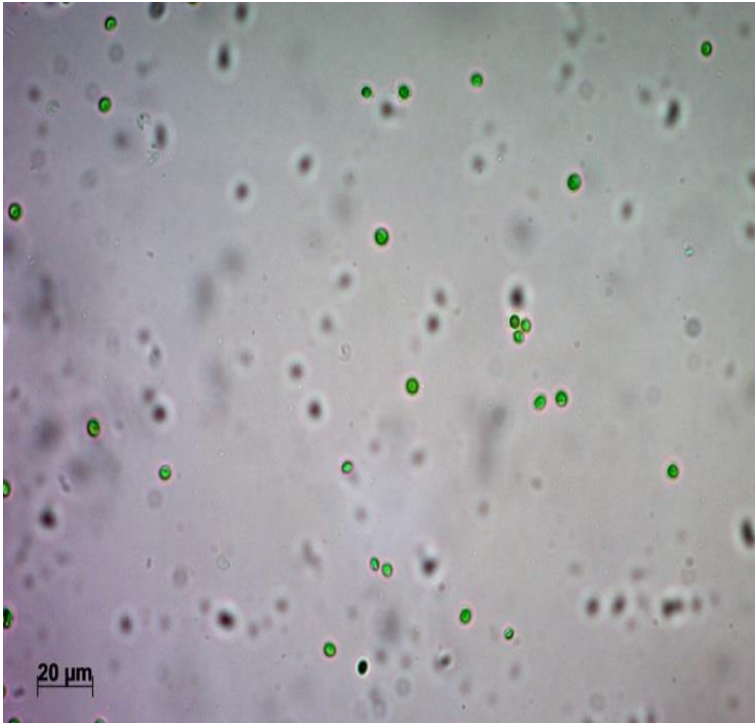
Kedudukan *Chaetoceros amini* dalam Taksonomi Algae (Sheehan et al., 1989; Barsanti & Gualtieri, 2006) adalah sebagai berikut:

Divisi : Chrysophyta
Kelas : Bacillariophyta
Ordo : Centrales
Suku : Chaetoceraceae
Marga : *Chaetoceros*
Jenis : *Chaetoceros amini*

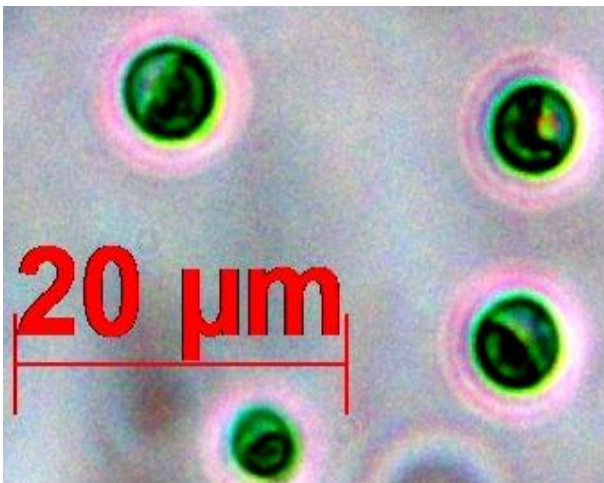
2. Jenis *Nannochloropsis oculata*

Kerapatan puncak dari pertumbuhan sel *Nannochloropsis oculata* dicapai pada pada kultur tujuh hari setelah isolasi, yaitu 4,375,360,000 sel/liter (Gambar 22).

Dari 1 (satu) liter kultur puncak *Nannochloropsis oculata*, dengan menggunakan metode pemekatan dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven (suhu dijaga kurang dari 40oC untuk keperluan analisis kandungan minyaknya), maka diperoleh 9,9988 gram biomasa kering *Nannochloropsis oculata*.



(a)



(b)

Gambar 22. Kultur (a) dan individu (b) *Nannochloropsis oculata* tujuh hari setelah isolasi

Kedudukan *Nannochloropsis oculata* dalam Taksonomi Algae (Sheehan et al., 1989; Barsanti & Gualtieri, 2006) adalah sebagai berikut:

Divisi : Chlorophyta
Kelas : Chloropsida
Suku : Nannochloropsaceae
Marga : *Nannochloropsis*
Jenis : *Nannochloropsis oculata*

Karena keberadaannya yang tidak dominan dari komunitas mikroalga di perairan Nusa Tenggara Barat, maka *N. chloropsis* dapat dikategorikan sebagai jenis mikroalga penghasil biodiesel yang langka dan perlu dilakukan langkah-langkah konservasi terhadap jenis mikroalga tersebut.

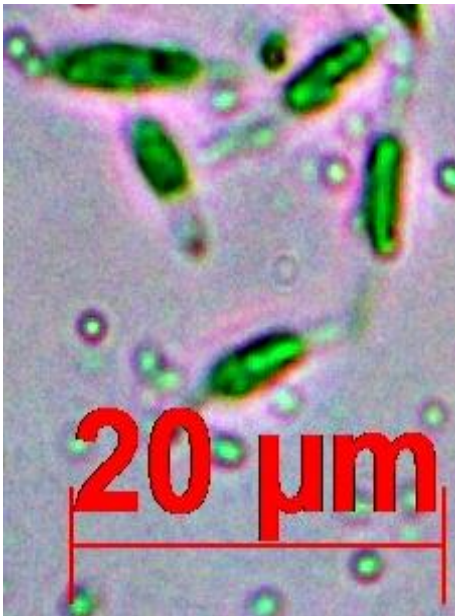
3. Jenis *Nitzschia* sp.

Kerapatan puncak dari pertumbuhan sel *Nitzschia* sp. dicapai pada umur kultur tujuh hari setelah isolasi, yaitu 3,368,640,000 sel/liter (Gambar 23).

Dari 1 (satu) liter kultur puncak *Nitzschia* sp, dengan menggunakan metode pemekatan dan dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven (suhu dijaga kurang dari 40oC untuk keperluan analisi kandungan minyaknya), maka diperoleh 11,9500 gram biomasa kering *Nitzschia* sp.



(a)



(b)

Gambar 23. Kultur (a) dan Individu (b) *Nitzschia* sp. tujuh hari setelah isolasi

Kedudukan *Nitzschia* sp dalam Taksonomi Algae adalah sebagai berikut (Sheehan et al., 1989; Barsanti & Gualtieri, 2006) :

Divisi : Chrysophyta

Kelas : Bacillariophyta

Ordo : Pennales

Suku : Nitzschiaceae

Marga: *Nitzschia*

Jenis : *Nitzschia* sp.

Beberapa jenis mikroalga yang cukup dominan di perairan Nusa Tenggara Barat dapat dilihat pada Lampiran 1.

B. Biodiesel dari Biomasa Mikroalga

Telah diketahui, bahwa secara global, ada dua bahan bakar utama untuk transportasi, yaitu bensin dan solar. Bahan bakar utama transportasi yang dapat diperoleh dari biomasa, dalam hal ini semua tumbuhan penghasil minyak dengan menggunakan proses yang berbeda-beda adalah meliputi etanol gula, etanol selulosa, etanol gandum, biodiesel, cairan pirolisis (pyrolysis liquids), biohidrogen, dan berbagai hidrokarbon.

Produksi biodiesel baru-baru ini telah mendapat banyak perhatian di seluruh dunia. Untuk mengatasi krisis energi di seluruh dunia, maka pencarian bahan biologis yang kaya akan

minyak untuk menghasilkan biodiesel secara efektif telah menarik banyak minat baru. Mikroalga muncul sebagai salah satu sumber yang paling menjanjikan untuk produksi biodiesel.

Biomasa mikroalga mengandung tiga komponen utama, yaitu karbohidrat, protein dan minyak alami. Ekonomi produksi bahan bakar dari mikroalga (atau dari biomasa apa pun, dalam hal ini) menuntut agar kita memanfaatkan semua biomasa seefisien mungkin. Mikroalga yang tumbuh pada medium yang diperkaya dengan CO₂ dapat diubah menjadi zat berminyak.

Pendekatan semacam ini akan dapat berkontribusi untuk memecahkan masalah utama tentang polusi udara yang dihasilkan dari emisi CO₂ dan sekaligus mengatasi krisis akan kekurangan sumber energi di masa yang akan datang (Sheehan et al., 1998).

Alga yang digunakan dalam produksi biodiesel biasanya akuatik uniseluler alga (mikroalga) hijau. Jenis mikroalga ini adalah eukariot fotosintetik yang dicirikan oleh tingginya tingkat pertumbuhan dan kepadatan populasi yang tinggi. Dalam kondisi yang baik, alga hijau bisa menggandakan biomasa mereka dalam waktu kurang dari 24 jam. Selain itu, alga hijau dapat memiliki kandungan lipid yang besar, sering lebih dari 50% (Schneider 2006; Chisti 2007).

Hasil biomasa tinggi dan berdensitas tinggi ini ideal untuk budidaya intensif dan mungkin menjadi sumber yang bagus untuk produksi biodiesel.

Produktivitas tahunan dan kandungan minyak mikroalga jauh lebih besar daripada hasil panen biji. Kedelai hanya dapat menghasilkan sekitar 450 L minyak per hektar. Tanaman Canola bisa menghasilkan 1.200 L/ ha, dan sawit dapat menghasilkan 6.000 liter. Sekarang, bandingkan dengan alga, yang bisa menghasilkan 90.000 L/ ha (Haag 2007; Schneider 2006; Chisti 2007).

Budidaya mikroalga seluas 1 (satu) ha di gurun bisa menghasilkan lebih dari 10 hingga 100 kali lebih banyak minyak dibandingkan dengan tanaman sumber minyak lainnya yang diketahui. Sementara siklus tanaman dapat berlangsung dari 3 bulan hingga 3 tahun untuk produksi, mikroalga dapat mulai produksi minyak dalam waktu 3 hingga 5 hari, dan setelah itu minyak dapat dipanen setiap hari (seperti susu).

Mikroalga dapat tumbuh menggunakan air laut dan air yang tidak bisa diminum di tanah terlantar di mana tidak ada lagi yang tumbuh. Budidaya mikroalga untuk biofuel diharapkan memberikan solusi konklusif terhadap perdebatan bahan bakar dan bahan pangan.

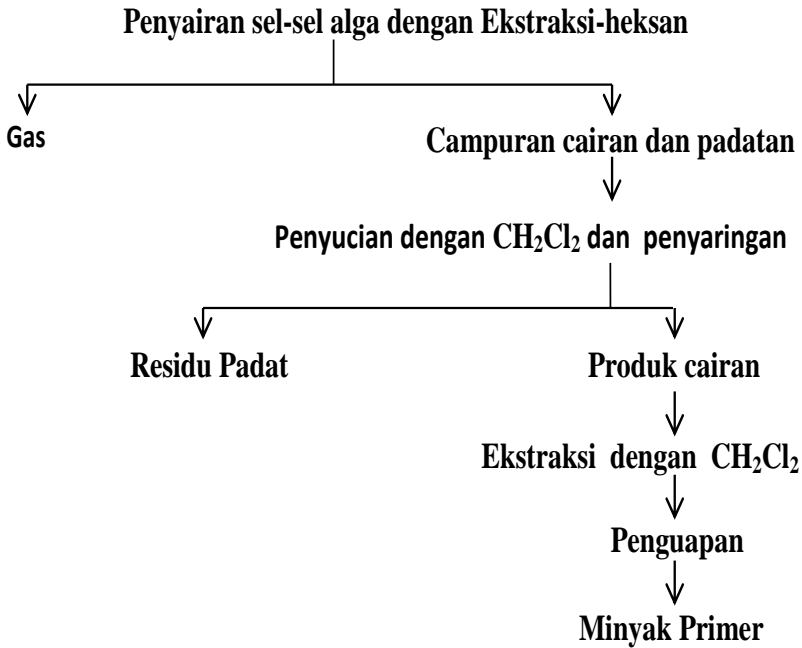
Ada tiga metode terkenal untuk mengekstraksi minyak dari biomasa mikroalga, yaitu (1) expeller atau mengepresan, (2) ekstraksi cair-padat dengan menggunakan pelarut organik, dan (3) ekstraksi zalir (fluida) superkritis. Proses yang paling sederhana adalah menggunakan mesin pres untuk mengekstrak

sejumlah besar persentase (70 hingga 75%) minyak dari biomasa kering mikroalga.

Minyak mikroalga juga dapat diekstraksi dengan menggunakan heksana sebagai pelarut non polar. Petroleum eter juga merupakan pelarut non polar yang kuat, akan tetapi disarankan tidak menggunakan pelarut ini, karena sangat toksik dan bersifat karsinogenik (Japa & Suripto, 2010).

Biomasa kering mikroalga diekstraksi tunggal cair-padat dengan menggunakan heksana sebagai pelarut dalam soxhlet selama 18 jam. Ekstrak kasar dicuci dengan CH_2Cl_2 dan disaring. Cairan ini kemudian diekstraksi cair-cair dengan CH_2Cl_2 , dan cairan ekstrak dengan CH_2Cl_2 diuapkan dengan menggunakan penguap putar vakum sehingga diperoleh minyak primer (Demirbas & Demirbas, 2010).

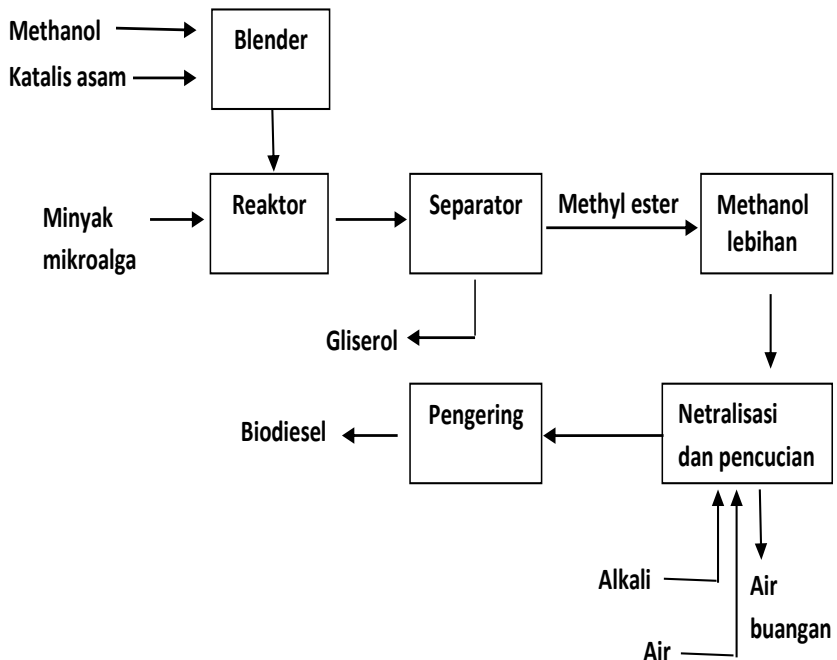
Sebenarnya penggunaan CH_2Cl_2 juga tidak aman dari perspektif kesehatan, karena pelarut organik ini juga bersifat sangat toksik dan karsinogenik. Dengan demikian, untuk tahapan ekstraksi cair-cair disarankan menggunakan diklorometan (DCM), yang toksisitas dan sifat karsinogenitasnya lebih rendah dibanding CH_2Cl_2 . Bagan alir kerja ekstraksi minyak dari mikroalga ini dapat dilihat pada Gambar 24 dan ringkasan kerja pembuatan biodiesel dari biomasa mikroalga dapat dilihat Gambar 25.



Gambar 24. Penyairan (liquefaction) sel-sel alga dengan ekstraksi heksan untuk mendapatkan minyak primer.

Ekstraksi fluida superkritis jauh lebih efisien dibandingkan dengan metode pemisahan pelarut tradisional. Ekstraksi zalir (fluida) superkritis bersifat selektif, sehingga memberikan kemurnian dan konsentrasi produk yang tinggi (Paul and Wise 1971). Metode ini saja dapat memungkinkan seseorang untuk mengekstrak hampir 100% minyak. Dalam ekstraksi CO₂ cairan superkritis, CO₂ dicairkan di bawah tekanan dan dipanaskan ke titik di mana ia memiliki sifat-sifat cairan dan

gas. Fluida cair ini kemudian bertindak sebagai pelarut dalam mengekstraksi minyak.



Gambar 25. Bagan alir kerja pembuatan biodiesel dari biomasa mikroalga

Minyak primer dari mikroalga umumnya mempunyai viskositas dua hingga tiga kali lebih tinggi daripada viskositas petrosolar (Sheehan *et al.*, 1998; Demirbas & Demirbas, 2010). Viskositas minyak mikroalga ini dapat diturunkan dengan melakukan trans-esterifikasi dengan atau tanpa menggunakan katalis.

Transesterifikasi minyak mikroalga dilakukan di dalam tabung 100 mL dengan menggunakan methanol sebagai pelarut penarik dan katalis asam menurut metode paling baru dari Demirbas & Demirbas (2010). Transesterifikasi minyak mikroalga selain akan menurunkan viskositas, juga akan menurunkan titik nyala, yang merupakan salah satu variabel dalam kualitas minyak bahan bakar untuk mesin diesel.

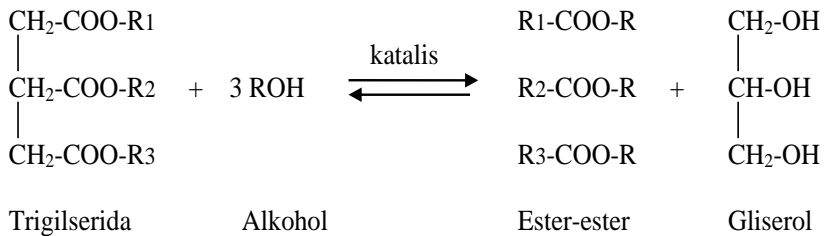
Biodiesel didefinisikan sebagai ester-ester monoalkil dari minyak nabati ataupun lemak hewani. Minyak nabati dan lemak hewani sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin semuanya sangat kental, dengan kekentalan atau viskositas mulai dari 10 hingga 17 kali lebih besar dari bahan bakar solar minyak bumi (petroleum diesel).

Biodiesel dihasilkan oleh transesterifikasi minyak ataupun lemak induk untuk mencapai viskositas yang mendekati viskositas solar minyak bumi. Konversi kimia dari minyak ke ester lemak yang sesuai (biodiesel) disebut transesterifikasi. Tujuan dari proses transesterifikasi adalah untuk menurunkan viskositas minyak.

Reaksi transesterifikasi berlangsung dengan atau tanpa katalis dengan menggunakan alkohol alifatik monohidrik primer atau sekunder memiliki satu hingga empat atom karbon sebagai berikut (Demirbas & Demirbas, 2010):



Bila trigliserida diproses menjadi biodiesel dengan menggunakan katalis dan alkali seperti potassium hidroksida, maka reaksinya sebagai berikut:



Asam-asam lemak dari minyak mikroalga dapat difraksinasi ke dalam asam lemak jenuh (saturates), asam lemak mono-tak jenuh, asam lemak poli-tak jenuh, dan asam lemak bebas dengan menggunakan kromatografi lapis tipis dan penjerab polyethanol succinate 0,25 µm.

Fraksinasi minyak dilakukan untuk memilah dan sekaligus menentukan kualitas minyak mikroalga untuk bahan bakar mesin diesel.

Kandungan lemak dan asam lemak dari mikroalga bervariasi sesuai dengan kondisi kultur. Asam-asam lemak dalam mikroalga berada dalam proporsi berikut: 36% oleat (18: 1), 15% palmitat (16: 0), 11% stearat (18: 0), 8,4% iso-17: 0, dan 7,4% linoleat (18: 2). Tingginya proporsi asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal dalam alga ini dianggap optimal dari sudut pandang kualitas bahan bakar, yaitu lebih sedikitnya

polimerisasi bahan bakar selama pembakaran dibanding dengan apa yang terjadi dengan bahan bakar fosil (Sheehan et al. 1998).

Setelah ekstraksi minyak dari ganggang, fraksi biomasa yang tersisa dapat digunakan sebagai pakan protein tinggi untuk ternak (Schneider 2006; Haag 2007). Hal ini lebih jauh akan memberi nilai lebih untuk proses dan mengurangi pemborosan.

Tabel 22 menunjukkan kandungan minyak dari beberapa jenis mikroalga air laut dari hasil beberapa penelitian di luar negeri dan di dalam negeri (Indonesia, di luar wilayah Nusa Tenggara Barat). Kadar minyak dalam biomasa kering mikroalga dari 20 hingga 50% adalah cukup umum (Chisti 2007; Carlsson et al., 2007; Suropto et al., 2013).

Tabel 22. Kandungan minyak pada beberapa jenis mikroalga perairan laut pantai di beberapa daerah tropis

Mikroalga	Kandungan minyak (%/berat kering)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella spp.</i>	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca spp.</i>	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis spp.</i>	25–33

Mikroalga	Kandungan minyak (%/berat kering)
<i>Monallanthus salina</i> N	20
<i>Nannochloris</i> spp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> spp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> spp.	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium</i> spp.	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23
<i>Chaetoceros amini</i>	18

Data tentang kandungan minyak pada beberapa jenis mikroalga didaerah tropis, termasuk di Nusa Tenggara Barat (Suripto % Japa, 2017;2018) juga telah dikaji (Tabel 23).

Densitas energi biodiesel sebanding dengan solar. Nilai kalor paling tinggi dari solar adalah 42,7 MJ / kg. Nilai kalor dari biodiesel bervariasi tergantung pada sumber biomassa. Biodiesel yang berasal dari minyak biji, seperti kedelai, menghasilkan 39,5 MJ / kg, sedangkan yang berasal dari biomassa mikroalga adalah 41 MJ / kg (Demirbas 1998; Rakopoulos at al., 2006; Xu at al., 2006).

Walaupun kepadatan energi biodiesel secara umum rendah, akan tetapi kepadatan energi yang dimiliki biodiesel ini adalah cukup untuk menjadikannya sebagai bahan bakar alternatif yang layak untuk menggantikan solar.

Tabel 23. Kandungan minyak pada beberapa spesies mikroalga

Spesies	Kandungan Minyak (% dw)	Referensi
<i>Ankistrodesmus</i> TR-87	28–40	Ben-Amotz & Tornabene, 1985
<i>Botryococcus braunii</i>	29–75	Sheehan et al., 1998; Banerjee et al., 2002; Metzger dan Largeau, 2005
<i>Chaetoceros amini</i>	18	Suripto & Japa 2018
<i>Chlorella</i> spp.	29	Sheehan et al. 1998
<i>Chlorella protothecoides</i> (autotrophic / heterotrophic)	15–55	Xu et al., 2006
<i>Cyclotella</i> DI-35	42	Sheehan dkk. 1998
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	36–42	Kishimoto et al., 1994; Tsukahara dan Sawayama, 2005
<i>Hantzschia</i> DI-160	66	Sheehan dkk. 1998
<i>Isochrysis</i> spp.	7–33	Sheehan et al., 1998; Valenzuela-Espinoza et al., 2002

Keuntungan utama biodiesel sebagai bahan bakar diesel adalah portabel, ketersediaannya siap, dapat diperbaharui (renewability), efisiensi pembakaran yang lebih tinggi, dan kandungan sulfur serta aromatik yang lebih rendah (Demirbas 2007).

Berikut ini kita mengadopsi biodiesel memiliki sejumlah keunggulan. Pertama, karena bahan bakar berasal dari biomasa, itu tidak berkontribusi terhadap emisi CO₂ di atmosfer. Kedua, emisi biodiesel, kecuali NO_x, lebih rendah dari solar minyak bumi. Pembakaran biodiesel saja memberikan lebih dari 90% pengurangan total hidrokarbon yang tidak terbakar, dan pengurangan 75 hingga 90% dalam hidrokarbon polisiklik aromatik (PAHs).

Biodiesel selanjutnya memberikan pengurangan lebih besar dalam partikulat dan karbon monoksida daripada bahan bakar solar. Biodiesel memberikan sedikit peningkatan atau penurunan nitrogen oksida tergantung pada keluarga mesin dan prosedur pengujian. Banyak penelitian tentang kinerja dan emisi dari mesin pengapian kompresi.

Ketiga, infrastruktur yang dibutuhkan untuk biodiesel sudah ada. Biodiesel dapat digunakan dalam mesin diesel yang ada dicampur dengan diesel minyak bumi, atau dapat dijalankan tanpa hambatan pada mesin dengan modifikasi kecil (Crookes 2006; Rakopoulos et al. 2006; Bowman et al. 2006). Karena biodiesel memiliki viskositas dua kali lipat dari petroleum

diesel, sifat lubrikasi sebenarnya dapat meningkatkan keawetan mesin (Bowman et al. 2006).

Keempat, biodiesel memiliki toksisitas rendah dan biodegradable (Aresta et al. 2005; Demirbas 2007). Toksisitas yang dimaksud diuji secara oral dan kontak dengan kulit dari hewan uji atau uji hambatan pertumbuhan terhadap bakteri *Eschericia coli* pada medium perlakuan. Degradabilitas diuji terhadap larutan minyak yang didedahkan ke udara selama 24, 48, dan 72 jam sebelum diaplikasikan dalam uji hayati.

Biodegradabilitas beberapa biodiesel di lingkungan akuatik menunjukkan semuanya bahan bakar biodiesel mudah terurai. Setelah 28 hari semua bahan bakar biodiesel adalah 77% - 89% terurai; solar hanya 18% terurai pada periode yang sama (Zhang, 1996). Enzim bertanggung jawab atas reaksi dehidrogenasi / oksidasi itu terjadi dalam proses degradasi mengenali atom oksigen dan menyerang mereka segera (Zhang et al. 1998).

Kelima, seperti petroleum diesel, biodiesel memiliki lebih banyak pembakaran sempurna daripada bensin, memberikan pembakaran yang lebih bersih (Bowman et al. 2006). Kandungan oksigen biodiesel meningkatkan proses pembakaran dan menurunkan potensi oksidasinya.

Kandungan oksigen struktural dari bahan bakar meningkatkan efisiensi pembakarannya karena peningkatan homogenitas oksigen dengan bahan bakar selama pembakaran.

Karena itu, efisiensi pembakaran biodiesel lebih tinggi daripada bahwa dari petrodiesel. Inspeksi visual jenis injektor akan menunjukkan tidak ada perbedaan antara bahan bakar biodiesel saat diuji pada petrodiesel. The injector coking secara keseluruhan adalah sangat rendah.

Kerugian utama biodiesel adalah viskositasnya yang lebih tinggi, kandungan energi yang lebih rendah, titik awan dan titik tuang yang lebih tinggi, emisi nitrogen oksida (NO_x) yang lebih tinggi, laju dan tenaga mesin yang lebih rendah, injor injektor, kompatibilitas engine, harga tinggi, dan keausan mesin yang lebih besar.

Biodiesel bukan tanpa masalah. Pertama, ia menghasilkan emisi NO_x yang meningkat, relatif terhadap solar petroleum, karena lebih tinggi rasio kompresi biasanya digunakan dalam mesin biodiesel (Crookes, 2006; Pradeep & Sharma, 2007).

Kedua, biodiesel memang mengurangi output daya diesel mesin dibandingkan dengan diesel minyak bumi, meskipun ini hanya sekitar 2% secara keseluruhan (Schneider 2006).

Ketiga, produksi biodiesel menghasilkan produk sampingan gliserin dan mencuci air limbah. Keempat, harga biodiesel biasanya lebih tinggi dari minyak solar. Kelima, yang paling penting, bahan baku biomasa untuk membuat biodiesel memiliki resiko dialihkan dari penggunaan penting lainnya, khususnya penggunaan untuk produksi makanan dan obat-

obatan (Demirbas & Demirbas, 2010; Surtanto & Japa, 2017; 2018).

BAB IV

PENUTUP

Mengembangkan sumber energi terbarukan menjadi penting karena terbatasnya pasokan bahan bakar fosil. Kepedulian lingkungan global dan berkurangnya sumber daya minyak mentah telah mendorong permintaan untuk bahan bakar alternatif. Perubahan iklim global juga masalah lingkungan utama saat ini.

Pemanasan global, emisi gas rumah kaca, dan menipisnya bahan bakar fosil adalah topik permohonan lingkungan di seluruh dunia. Karena kebutuhan energi meningkat pesat seiring dengan perkembangan teknologi di seluruh dunia, penelitian dan kegiatan pembangunan telah terpaksa berfokus pada energi baru dan terbarukan.

Persaingan bahan bakar cair terbarukan menjadi bahan bakar cair minyak bumi akan menjadi penting dalam waktu dekat. Ini dapat dicapai oleh penelitian dan pengembangan (R & D), perkembangan teknologi, dan mobilisasi industri dengan menerapkan yang tepat sistem pajak energi yang memperhitungkan biaya lingkungan dan sosial energi konvensional, dengan membuat perhitungan berdasarkan seluruh sistem energi dan tidak hanya biaya satu teknologi tetapi seluruh rantai energi, dengan menghitung membebani ekonomi nasional setiap negara dari mengimpor energi fosil, dll. Ini membutuhkan pandangan yang komprehensif tentang energi.

Mikroalga penghasil minyak dapat digunakan untuk menghasilkan biodiesel, minyak alami yang dimodifikasi secara kimia muncul sebagai pilihan baru yang menarik untuk mesin diesel. Pada saat yang sama teknologi alga menyediakan sarana untuk mendaur ulang limbah karbon dari pembakaran bahan bakar fosil. Pengembangan biodiesel mikroalga adalah satu-satunya jalan yang tersedia untuk penggunaan kembali CO₂ dalam volume tinggi yang dihasilkan pada pembangkit listrik. Ini adalah teknologi yang mengawinkan kebutuhan akan pembuangan karbon pada industri yang menggunakan listrik dengan kebutuhan untuk pembakaran pengganti minyak bumi bersih di sektor transportasi.

Ada sejumlah manfaat yang berfungsi sebagai kekuatan pendorong untuk mengembangkan dan menyebarkan teknologi alga. Beberapa manfaat ini telah diutarakan dalam dua sasaran, pertama menyangkut isu-isu nasional dan internasional yang terus menjadi semakin penting, dan kedua mengenai keamanan energi dan perubahan iklim. Kajian lainnya adalah membahas aspek teknologi alga yang membedakannya dari yang lain, yang merupakan pilihan teknologi yang urgen saat ini.

Keamanan energi adalah kekuatan penggerak nomor satu di balik Program Pengembangan Biofuels. Permintaan minyak meningkat, terutama karena permintaan baru dari pasar Asia. Selama harga minyak masih rendah, kita bisa mengharapkannya impor melebihi 60% dari total konsumsi sepuluh tahun dari sekarang.

Tidak semua orang berbagi pandangan tentang masa depan ini, atau melihatnya sebagai alasan untuk khawatir. Negara maju sendiri tidak melihat impor asing sebagai masalah keamanan nasional. Yang lain berpendapat bahwa prediksi peningkatan ketergantungan di seluruh dunia akan minyak Timur Tengah adalah salah. Namun kekhawatiran tentang kecanduan minyak asing ini adalah acara luas dipegang oleh berbagai perspektif politik dan komersial.

Meskipun mungkin ada ketidakpastian dan bahkan perselisihan tentang kapan dan jika ada masalah keamanan nasional, ada satu lagi potongan teka-teki yang memengaruhi perspektif kita tentang masalah ini. Ini adalah fakta yang cukup sederhana, yaitu bahwa 98% dari sektor transportasi bergantung pada minyak bumi (kebanyakan dalam bentuk bensin dan solar).

Implikasi dari pengamatan yang tak terbantahkan ini adalah bahwa bahkan cegukan kecil di dalam suplai minyak bisa memiliki efek melumpuhkan pada bangsa kita. Ini sangat spesial signifikansi untuk Program Biofuels sebagai sarana diversifikasi basis bahan bakar di kami sektor transportasi.

Ketergantungan yang hampir sepenuhnya pada minyak bumi dalam transportasi berasal dari permintaan bensin di kendaraan penumpang dan permintaan bahan bakar diesel dalam perdagangan. Bioetanol terbuat dari tanaman energi terestrial menawarkan alternatif masa depan untuk bensin, biodiesel dibuat dari minyak alga bisa melakukan hal yang sama untuk solar.

Dalam hal perubahan iklim, CO₂ diakui sebagai yang paling penting (setidaknya dalam kuantitas) dari polutan atmosfer yang berkontribusi pada "efek rumah kaca," sebuah istilah yang menggambarkan perangkap panas di Atmosfer Bumi dengan gas yang mampu menyerap radiasi.

Meskipun 40 tahun penelitian sejak pertama kali identifikasi potensi risiko global pemanasan dilakukan, perdebatan tentang dampak nyata dari peningkatan tingkat CO₂ masih berkecamuk. Kita mungkin tidak pernah dapat secara ilmiah memprediksi efek iklim peningkatan karbon tingkat dioksida karena kompleksitas pemodelan atmosfer dan meteorologi. Memang, pernyataan ringkas tentang risiko bermain dalam perubahan iklim global tetap menjadi kerangka terbaik dari masalah yang tersedia bagi pembuat kebijakan saat ini.

Pembakaran bahan bakar fosil adalah sumber utama yang dari saat ini membangun CO₂ atmosfer. Dengan demikian, identifikasi alternatif untuk bahan bakar fosil harus merupakan strategi utama dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Sementara tidak ada satu bahan bakar pun yang bisa pengganti bahan bakar fosil di semua sektor energi, maka diyakini bahwa biodiesel yang dibuat dari minyak mikroalga adalah bahan bakar yang dapat memberikan kontribusi besar pada pengurangan CO₂ yang dihasilkan oleh pembangkit listrik dan mesin diesel komersial.

Konsumsi batu bara dan sumber bahan bakar domestik yang melimpah untuk pembangkit listrik akan terus berkembang

selama beberapa dekade mendatang, baik di negara-negara maju maupun di negara-negara yang sedang berkembang. Teknologi mikroalga dapat membantu memperpanjang pemanfaatan energi yang didapatkan dari pembakaran batu bara dan mengurangi emisi karbon dengan mendaur ulang limbah CO₂ dari pembangkit listrik menjadi pembakaran-bersih biodiesel. Bila dibandingkan dengan langkah-langkah ekstrim yang diusulkan untuk membuang emisi karbon pembangkit listrik, maka hanya daur ulang karbon mikroalga yang masuk akal.

Mikroalga tumbuh di lingkungan akuatik. Dalam hal ini, teknologi mikroalga tidak akan bersaing untuk lahan yang sudah dilirik oleh pendukung teknologi bahan bakar berbasis biomassa lainnya. Industri biomassa dan bioetanol keduanya bersaing untuk lahan yang sama dan untuk bahan mentah serupa-pohon dan rumput yang khusus ditanam untuk produksi energi.

Lebih penting lagi, banyak spesies mikroalga yang telah banyakdikaji dapat tumbuh air payau — yaitu air yang mengandung kadar garam tinggi. Ini berarti teknologi mikroalga tidak akan menambah kebutuhan akan persediaan air tawar untuk penggunaan domestik, industri dan pertanian. Dengan adanya kemampuan unik mikroalga untuk tumbuh di air garam berarti kita dapat menargetkan area di mana pasokan air tanah asin mencegah aplikasi lain yang menggunakan sumber daya air atau lahan.

Di dunia yang sumber daya alamnya lebih terbatas, teknologi mikroalga menawarkan kesempatan untuk memanfaatkan

sumber daya lahan dan air yang saat ini tidak cocok untuk penggunaan yang lain, seperti pertanian. Kebutuhan penggunaan lahan untuk teknologi mikroalga adalah bersifat lebih sebagai pelengkap daripada bersaing dengan teknologi bahan bakar berbasis biomassa yang lain.

Di kawasan Wallacea, khususnya di perairan Nusa Tenggara Barat telah teridentifikasi 13 jenis mikroalga air tawar penghasil biodiesel dari seluruh jenis mikroalga yang terjaring, yaitu 34 jenis mikroalga air tawar, dan 58 jenis mikroalga laut pantai penghasil biodiesel dari seluruh jenis mikroalga yang terjaring, yaitu 119 jenis mikroalga laut.

Pada umumnya, jenis-jenis mikroalga penghasil biodiesel yang terjaring di perairan tawar maupun perairan laut pantai di Nusa Tenggara Barat bukan merupakan jenis mikroalga yang dominan di komunitasnya. Dengan demikian, sehingga upaya-upaya untuk konservasi jenis-jenis mikroalga tersebut di kawasan Nusa Tenggara Barat perlu dilakukan. Upaya-upaya tersebut dilakukan baik untuk menjaga dan memelihara kesehatan habitat maupun untuk mencegah pencemaran lingkungan dan langkah penanganan terhadap habitat-habitat yang telah mengalami pencemaran.

Kajian tentang kekayaan jenis mikroalga penghasil biodiesel ini ditujukan untuk menjadi acuan dalam 1) mengeksplorasi kekayaan jenis mikroalga penghasil biodeiesl di perairan tawar maupun perairan laut pantai suatu wilayah ekologis; 2)

mengembangkan budidaya mikroalga untuk produksi biodiesel; 3) membuat biodiesel dari minyak alga.

Hasil kajian tersebut diatas juga diharapkan bermanfaat untuk berkontribusi pengembangan teknologi produksi bahan bakar alam terbarukan (biorenewable), terutama biofuels generasi ke tiga, Third-Generation Biofuels (TGBs).

DAFTAR PUSTAKA

- Barsanti, L. & Gualtieri, P. (2006). *Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology*. Taylor & Francis Group. Boca, Raton, London, New York
- Ben-Amotz, A., Tornabene, T. G. 1985. Chemical profile of selected species of macroalgae with emphasis on lipids. *J Phycol* 21:72–81.
- Brown, M. R., Dunstan, G. A., Norwood, S. J., Miller, K. A. 1996. Effects of harvested stage and light on the biochemical composition of the diatom *Thalassiosira pseudonana*. *J Phycol* 32:64–73.
- Campbell, M. N. 2008. Biodiesel: algae as a renewable source for liquid fuel. *Guelph Eng J* 1:2–7.
- Carlsson, A. S., van Bilen, J. B., Möller, R., Clayton, D. 2007. Micro- and macro-algae: utility for industrial applications. <http://www.epobio.net/pdfs/0709AquaticReport.pdf>. Accessed June 2008.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv* 25:294–306.
- Chisti, Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends Biotechnol* 26:126–131.
- Crookes, R. J. 2006. Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines. *Biomass Bioenergy* 30:461–468.
- Demirbas, A. 2003. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey. *Energy Convers Manage* 44:2093–2109.
- Demirbas, A. 2006. Energy priorities and new energy strategies. *Energy Educ Sci Technol* 16:53–109.

- Demirbas, A. 2007. Importance of biodiese as transportation fuel. *Energy Policy* 35:4661–4670.
- Demirbas, A. H., Demirbas, I. 2007. Importance of rural bioenergy for developing countries. *Energy Convers Manage* 48:2386–2398.
- Demirbas, A. 2008. Recent progress in biorenewable feedstocks. *Energy Educ Sci Technol* 22:69–95.
- Feng, D. & Z. Wu (2006). Cultur of *Spirullina platensis* in human urine for biomass production and O2 evolution. *J. Zhjiang University Sciences*. 4(3):77-81.
- Husnaini, H.S. (2007). Analisis Komunitas Fitoplankton Di Perairan Teluk Gerupuk Kuta Lombok Tengah. Laporan tidak dipublikasikan. Program Studi Pendidikan Biologi. Universitas Mataram.
- Japa, L., and Suripto (2010) Literature Study on Project Development of Micro-Algae in West Nusa Tenggara. *Report of Lecturer Research*, University of Mataram.
- Japa, L. (2007). Komponen Biologi Perairan. Laporan tidak dipublikasikan. AMDAL Bandara Internasional Lombok (BIL), Lombok Tengah.
- Japa, L., & G.M. Hallegraeff (2005). Seasonal Succession of Species of Planktonic Diatom Genus *Pseudo-nitzschia* in Lombok-Indonesian Waters, *Jurnal Biologi Tropis*, Vol. 6 No. 2 : 91-106.
- Japa, L., & Karnan (2007). Studi Komunitas Fitoplankton Di Perairan Pantai Kota Mataram, *Jurnal Biologi Tropis*, Vol.8 No. 1: 7-12.
- Japa, L., Karnan, & D. Santoso (2004). Survei Kuantitatif Komunitas Fitoplankton dan Zooplankton Perairan Suaka Perikanan Gili Ranggo, Teluk Serewe, Lombok Timur

Laporan tidak dipublikasikan. Lembaga Penelitian. Universitas Mataram.

Japa, L. & D. Santoso (2007). Analisis Kuantitatif Komunitas Fitoplankton Perairan Pelabuhan Lembar, Lombok Barat, *Jurnal Biologi Tropis*, Vol. 8 No. 2:

Japa, L., & Suripto (2003) Inventarisasi Komunitas Fitoplankton Di Kawasan Perairan Budidaya Kerang Mutiara Dadap Sambelia Lombok Timur, *Report of Lecturer Research*, University of Mataram.

Japa, L., and Suripto (2010) Literature Study on Project Development of Micro-Algae in West Nusa Tenggara. *Report of Lecturer Research*, University of Mataram.

Japa, L., Suripto, and L. Zulkifli (2001). Fenologi Plankton Di Danau Asin Gili Meno Nusa Tenggara Barat. Laporan tidak dipublikasikan. Lembaga Penelitian. Universitas Mataram.

Johari, L. (2009). Pengaruh Beberapa Konsentrasi Limbah Cair tahu Terhadap Pertumbuhan *Chlorella* spp. Laporan tidak dipublikasikan. Jurusan Biologi FMIPA Universitas Indonesia. Depok.

Kabinawa, I.N.K.(2009). Kultur Mikroalga: Aspek dan Prospek, *Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi Mikroalga 1993*: 21-43.

Haag, A. L. 2007. Algae bloom again. *Nature* 447:520–521.
Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M., Darzins, A. 2008. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *Plant J* 54:621–639.

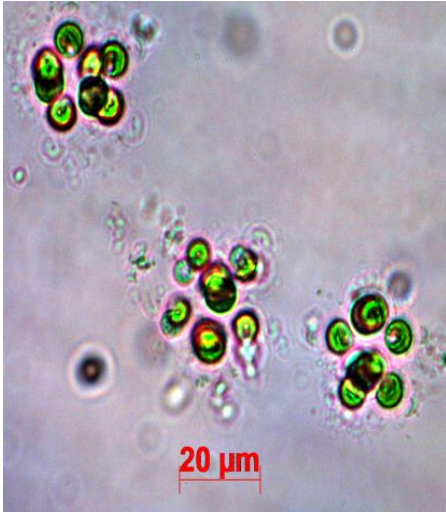
Hader, D.P., R.C. Worrest, H.D. Kumar, and R.C. Smith,(2009). Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Aquatic Ecosystems, *Ambio*, 24(3): 174-180.

- Kabinawa, I.N.K.(2009). Kultur Mikroalga: Aspek dan Prospek, *Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi Mikroalga 1993*: 21-43.
- Kishimoto, M., Okakura, T., Nagashima, H., Minowa, T., Yokoyama, S., Yamaberi, K. 1994. CO₂ fixation and oil production using microalgae. *J Ferment Bioeng* 78:479–482.
- Kyle, D. J., Gladue, R. M. 1991. Eicosapentaenoic acids and methods for their production. International Patent Application, Patent Cooperation Treaty Publication WO 91/14427, 3 October 1991.
- Metzger, P., Largeau, C. 2005. *Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids. *Appl Microbiol Biotechnol* 66:486–496.
- Negoro, M., Shioji, N., Miyamoto, K., Miura, Y. 1991. Growth of microalgae in high CO₂ gas and effects of sox and nox. *Appl Biochem Biotechnol* 28–29:877–886.
- Paul, P. F. M., Wise, W. S. 1971. *The Principle of Gas Extraction*. Mills and Boon, London.
- Pradeep, V., Sharma, R. K. 2007. Use of HOT EGR for nox control in a compression ignition engine fuelled with biodiesel from *Jatropha* oil. *Renew Energy* 32:1136–1154.
- Rakopoulos, C. D., Antonopoulos, K. A., Rakopoulos, D. C., Hountalas, D. T., Giakoumis, E. G. 2006. Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or biodiesels of various origins. *Energy Convers Manage* 47:3272–3287. Richardson, J. W., Outlaw, J.
- Richmond, A.E.(2006). Microalgae Culture, *CFC Critical Review in Biotechnology*, 4(4) : 369-438.

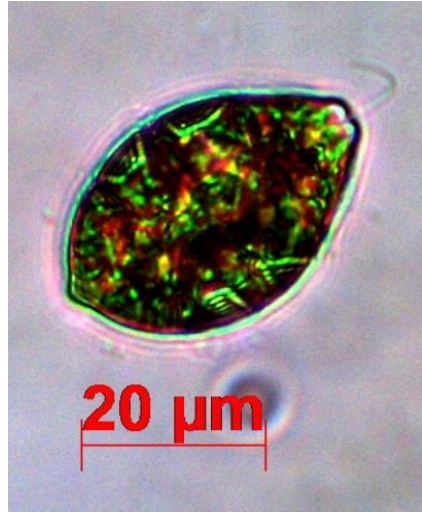
- Schneider, D. 2006. Grow your own?: Would the widespread adoption of biomass-derived transportation fuels really help the environment. *Am Sci* 94:408–409.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J. & P. Roessler (1998). *A Look Back at U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program-Biodeisel from Algae*. National Renewable Energy Laboratory 1617 Cole Boulevard Golden. Colorado.
- Suharni (2007). Pengaruh Salinitas Terhadap Pertumbuhan Populasi Fitoplankton *Nannochloropsis oculata* Dalam Media Non Diatom. Laporan tidak dipublikasikan. Program Studi Biologi. Universitas Mataram.
- Suripto, Sukarso, A.A. & D. Setiadi (2006). Beberapa aspek ekologi dari mikroalga di perairan bendungan Batujai Lombok Tengah. *J. Biologi Tropis*. 4(1):17-21.
- Suripto, Japa, L. & E.R. Gunawan (2014). Konsorsium mikroalga untuk produksi biodiesel. *J. Biologi Tropis*. 14(1):28-35.
- Suripto & Japa, L. (2017). Konsorsium Mikroalga untuk Produksi Biodiesel. Laporan tidak dipublikasikan. LPPM Universitas Mataram.
- Suripto & Japa, L. (2017). Konsorsium Mikroalga Asal Alam Wallacea Di Nusa Tenggara Barat untuk Produksi Biodiesel. Laporan tidak dipublikasikan. LPPM Universitas Mataram.
- Susilayati (2007). Studi Hubungan Kuantitatif Fitoplankton dan Zooplankton Di Perairan Sungai Lapan Baru Desa Lingsar Kecamatan Lingsar Lombok Barat. Program Studi Pendidikan Biologi. Universitas Mataram.
- Tsukahara, K., Sawayama, S. 2005. Liquid fuel production using microalgae. *J Jpn Petrol Inst* 48:251–259.
- Tsukahara, K., Sawayama, S. 2005. Liquid fuel production using microalgae. *J Jpn Petrol Inst* 48:251–259.

- Xu, H., Miao, X., Wu, Q. 2006. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. *J Biotechnol* 126:499–507.
- Yamaji, I., 1984^a, *Illustrations of The Freshwater Plankton of Japan*, 3rd, Eddition, Hoikusha Publishing Co., Ltd., Japan.
- Yamaji, I., 1984^b, *Illustrations of The Marine Plankton of Japan*, 3rd, Eddition, Hoikusha Publishing Co., Ltd., Japan.
- Zhang, X. 1996. Biodegradability of biodiesel in the aquatic and soil environments. Ph.D. dissertation, Dept. of Biol. and Agr. Engr., University of Idaho, Moscow, ID. Zhang, X., Peterson, C., Reece, D., Haws, R., Moller, G. 1998. Biodegradability of biodiesel in the aquatic environment. *Trans ASAE* 41:1423–1430.
- Zittelli, G. C., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R. 2006. Productivity and photosynthetic efficiency of outdoor cultures of *Tetraselmis suecica* in annular columns. *Aquaculture* 261:932–943.

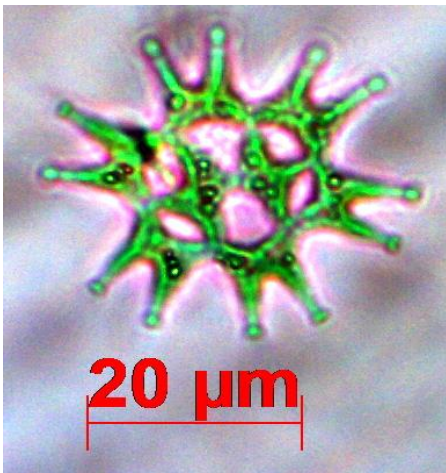
LAMPIRAN: Gambar specimen beberapa jenis mikroalga yang dominan yang terjaring di perairan Nusa Tenggara Barat



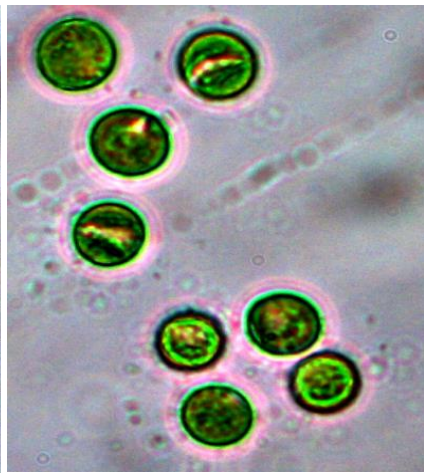
Pandorina sp.



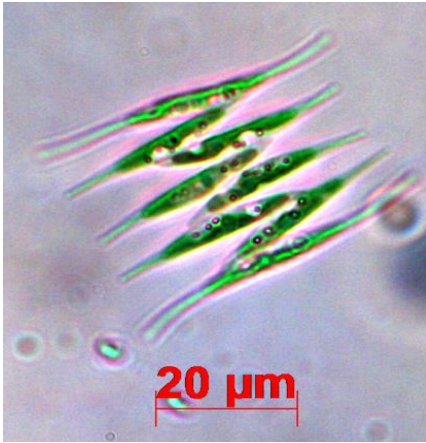
Pediastrum sp.



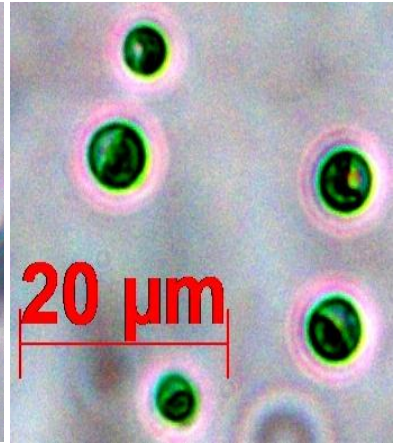
Closterium sp.



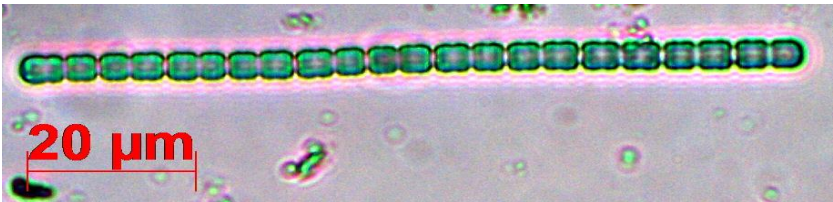
Chlorella sp.



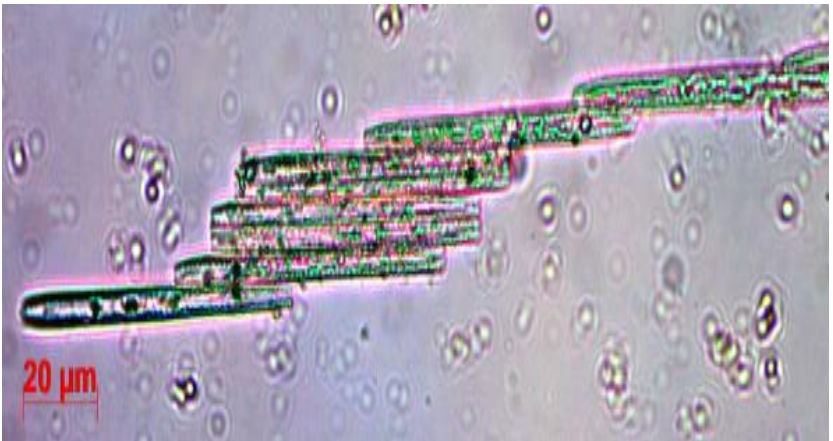
Scenedesmus sp.



Nannochloropsis oculata



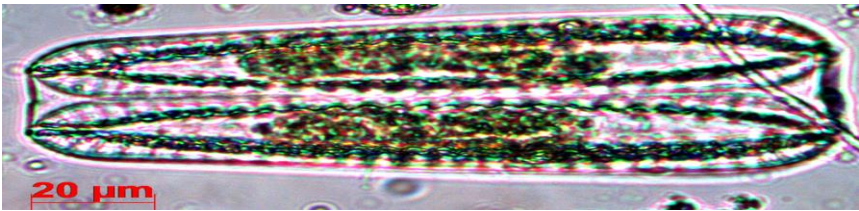
Nostoc sp.



Tabellaria sp.



Anabaena sp.



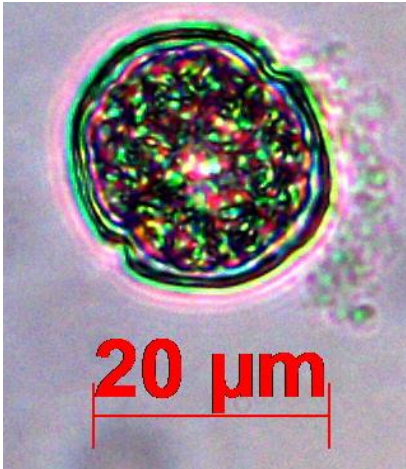
Suriella sp.



Silendrispermum sp.

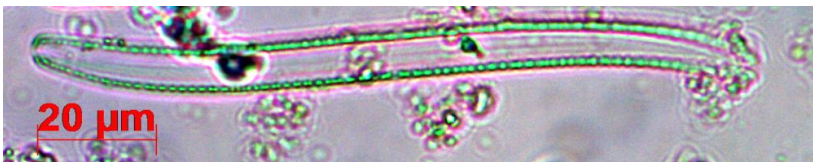


Micrasterias sp.

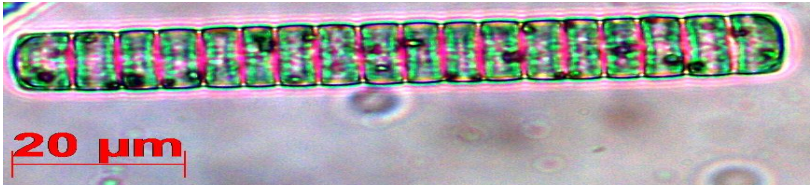


Peridinium sp.

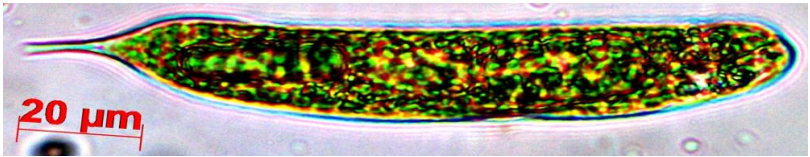
Prorocentrum micans



Nitzsia sigma



Oscillatoria sp.



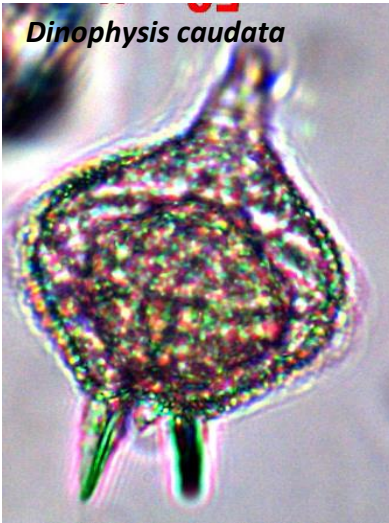
Euglena spirogira



Ceratium furca



Dinophysis caudata

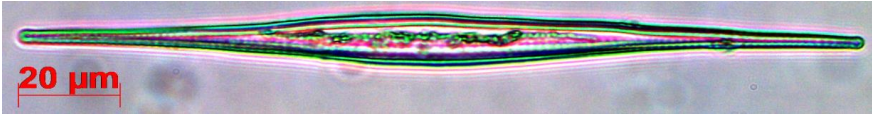


Peridinium quenquecorne



20 μm

Skeletonema costatum



Nitzsia longissima



Ditylum sp.