

Skripsi

**PENGARUH PENAMBAHAN ION Fe^{3+} DAN Mg^{2+}
TERHADAP KANDUNGAN LIPID FITOPLANKTON *Chlorella vulgaris*
SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN
METODE ULTRASONIK**

ALFANI MARING DATU

H 311 09 290



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PENGARUH PENAMBAHAN ION Fe^{3+} DAN Mg^{2+}
TERHADAP KANDUNGAN LIPID FITOPLANKTON *Chlorella vulgaris*
SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN
METODE ULTRASONIK**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana sains*

Oleh :

**ALFANI MARING DATU
H 311 09 290**



MAKASSAR

2013

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN ION Fe^{3+} DAN Mg^{2+}
TERHADAP KANDUNGAN LIPID FITOPLANKTON *Chlorella vulgaris*
SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODIESEL DENGAN
METODE ULTRASONIK**

Disusun dan diajukan oleh

**ALFANI MARING DATU
H 311 09 290**

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

**Dr. Indah Raya, MS
NIP. 19641125 199002 2 001**

**Dr. Muhammad Zakir, M.Si
NIP. 19701103 199903 1 001**

*Kasihilah musuhmu dan berdoalah bagi mereka yang menganiaya kamu. Karena dengan demikianlah kamu menjadi anak-anak Bapamu yang di sorga, yang menerbitkan matahari bagi orang yang jahat dan orang yang baik dan menurunkan hujan bagi orang yang benar dan orang yang tidak benar.
(Mat. 5:44-45)*

Kupersembahkan karya kecil ini kepada ayah dan ibu tercinta, saudara-saudaraku, serta semua yang kukasihi

PRAKATA

Puji dan Syukur selalu penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala berkat dan perlindunganNya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi dengan judul “Pengaruh penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} terhadap Kandungan Lipid Fitoplankton *Chlorella vulgaris* sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel dengan Metode Ultrasonik” disusun untuk melengkapi persyaratan meraih gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut mendukung proses penyelesaian skripsi ini, khususnya kepada kedua orang tuaku terkasih ayah **Fransiskus Danga'** dan ibu **Alfrida Arung Allo** yang tiada hentinya melimpahkan cinta, kasih sayang, doa, serta bimbingan yang mampu membuat saya untuk terus bertahan dan berjuang hingga saat ini. Tak lupa pula buat adik-adikku **Julio Danga' T.A.**, **Cornelius Gideon D.**, dan **Glori Debora P.**, terimakasih atas dukungan doa dan kebersamaan yang telah kalian berikan.

Ucapan terimakasih yang sedalam-dalamnya penulis haturkan kepada ibu **Dr. Indah Raya, M.Si** selaku pembimbing utama dan bapak **Dr. Muhammad Zakir, M.Si** selaku pembimbing pertama dalam penelitian ini, terimakasih atas kesabaran bapak dan ibu dalam membimbing penulis selama ini. Mohon maaf jika ada tingkah laku penulis yang tidak berkenan di hati bapak dan ibu, semoga Tuhan selalu menyertai bapak dan ibu.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. **Bapak Dr. Firdaus Zenta, Drs. Musa Ramang, M.Si, dan Prof. Dr. Ahyar Ahmad, M.Si** selaku penguji, terimakasih atas kritik dan saran yang sangat bermanfaat dalam penulisan skripsi ini, semoga Tuhan selalu menyertai dalam setiap tugas bapak.
2. Bapak **Dr. Firdaus Zenta, MS** dan Ibu **Dr. Seniwati Dali, M.Si** selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Kimia beserta semua dosen Jurusan Kimia, terimakasih atas ilmu yang tiada hentinya dibagikan oleh bapak dan ibu dosen selama perkuliahan dan juga kepada seluruh staf Jurusan Kimia dan Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, terimakasih atas bantuan dan kerjasamanya.
3. Ibu **Dra. Rugaiyah Arfah, M.Si** sebagai dosen PA mulai dari semester awal, terimakasih atas bimbingannya.
4. Para analis laboratorium: Kak Linda, Kak Fiby, Kak Anti, Pak Iqbal, Pak Sugeng dan Ibu Tini, terimakasih atas bantuan yang telah diberikan selama ini.
5. Raymond Kwangdinata sebagai teman untuk bertukar pikiran dalam penelitian ini, terimakasih atas kebersamaan, bantuan, serta kerjasamanya selama ini.
6. Buat kak Erna, kak Arti, kak Yusi, kak Bulkis, kak Imran, dan kak Ucup, terimakasih kebersamaan serta bantuan baik itu lewat pikiran, tenaga dan waktu yang diberikan selama penelitian ini.
7. Teman-teman serumah Riska, Igun, Lin, Hasni, Uppi, Marlin, Desi, Intan dan semuanya tanpa terkecuali, terimakasih atas kebersamaannya.

8. Teman-teman KKN desa Lebang: Mita, Inri, Allu, Anca, Sonda, Chandra, dan Fitri, terimakasih atas kebersamaan dan dukungan yang telah diberikan.
9. Saudara-saudaraku 309: Yuji, Isran, Martin, Raymond, Akbar, Ikbal, Ika, Ayu, Ekky, Lia, Sulfit, Sherly, Upi, Anggi, Indah, Isna, Ammi, Ahdan, Nuri, Iting, Vani, Ima, Neneng, Grace, Uti, Esty, Ayis, Ayus, Noviar, Maria, Cita, Selfi, Nurul, Lili, Gita, July, Erni, Adol, Omel, Wiu, Nur, Mila, dan Pute, terimakasih atas dukungan, semangat, dan kebersamaan yang telah terjalin selama ini. Semoga tali persaudaraan kita tetap terjalin dengan baik.
10. Saudara-saudaraku di GMKI Kom.FMIPA UNHAS, terimakasih atas doa, kebersamaan, serta dukungannya selama ini.
11. Kakak-kakak kimia angkatan 2005, 2006, 2007, dan 2008, serta adik-adik kimia angkatan 2010, 2011, dan 2012, terimakasih atas segala bantuannya.
12. Seluruh pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak sempat disebutkan satu per satu.

Penulis sadar akan kekurangan dalam skripsi ini baik dari segi materi dan teknik penulisannya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan dalam penulisan selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dalam ilmu kimia khususnya dapat dijadikan referensi untuk teknik pembuatan biodiesel yang diharapkan dapat menjadi solusi teradap kelangkaan energi.

Penulis

2013

ABSTRAK

Penelitian mengenai pengaruh penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} terhadap kandungan lipid fitoplankton *Chlorella vulgaris* sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dengan metode ultrasonik telah dilakukan. Lipid *Chlorella vulgaris* diekstraksi dengan ultrasonik menggunakan pelarut etanol 96%. Sintesis biodiesel dilakukan melalui dua tahap yaitu tahap esterifikasi dengan menggunakan metanol dan katalis H_2SO_4 dan selanjutnya yaitu tahap transesterifikasi dengan menggunakan katalis KOH . Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum ion Fe^{3+} yang dapat meningkatkan pertumbuhan fitoplankton *Chlorella vulgaris* yaitu 0,3 ppm dan konsentrasi optimum ion Mg^{2+} adalah 0,4 ppm. Jumlah biodiesel Fitoplankton *Chlorella vulgaris* dari kultur yang ditambahkan ion Fe^{3+} adalah 9,2932 gram dan biodiesel dari kultur yang ditambahkan ion Mg^{2+} adalah 11,5727 gram. Berat rendamen sampel biodiesel dari kultur Fe^{3+} adalah 35,20 % dan berat rendamen sampel biodiesel dari kultur Mg^{2+} adalah 35,29 %. Biodiesel yang dihasilkan dianalisis sifat fisik dan kimia yang meliputi densitas, viskositas, asam lemak bebas, angka penyabunan dan bilangan iod. Hasil analisis menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi syarat *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751), kecuali nilai densitas dan kadar asam lemak bebas.

Kata Kunci: *Chlorella vulgaris*, Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ultrasonik.

ABSTRACT

Research on the influence of Fe^{3+} and Mg^{2+} ion for lipid content from phytoplankton *Chlorella vulgaris* as raw materials for biodiesel by ultrasonic method had been done. The microalgae lipid was extracted by ultrasonic method with ethanol 96% as solvent. Biodiesel were synthesized by using two steps. The first is esterification with metanol solvent and H_2SO_4 as catalyst and the second one is transesterification with KOH as catalyst. The result showed that optimum concentration of Fe^{3+} ion that can increase the growth of phytoplankton was 0,3 ppm and optimum concentration of Mg^{2+} ion was 0,4 ppm. Quantity of biodiesel production from culture added with Fe^{2+} ion was 9,2932 gram and from culture added with Mg^{2+} ion was 11,5727 gram. Biodiesel yield from Fe^{3+} culture was 35,20 % and from Mg^{2+} culture was 35,29 %. The results of biodiesel were characterised in term of physical and chemical characteristic including: density, viscosity, free fatty acid, saponification value, and iodine value, respectively. Result of the analysis showed that biodiesel characteristic have standard fullfilled the *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751), except value of density and Free Fatty Acid.

Key Words: *Chlorella vulgaris*, Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ultrasonic.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Tentang Fitoplankton	7
2.1.1 Tinjauan <i>Chlorella vulgaris</i>	11
2.2 Tinjauan Tentang Biodiesel	12
2.3 Tinjauan Biodiesel dari Fitoplankton	17
2.4 Tinjauan Tentang Nutrisi Logam	18
2.4.1 Tinjauan Tentang Nutrisi Logam Fe	19
2.4.2 Tinjauan Tentang Logam Mg	21

2.5	Tinjauan Tentang Ultrasonik	22
BAB III METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Bahan Penelitian.....	24
3.2	Alat Penelitian.....	24
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.4	Prosedur Penelitian.....	25
3.4.1	Pembuatan Larutan Baku.....	25
3.4.2	Pembuatan Medium Conway.....	25
3.4.3	Mengkultur Fitoplankton Laut <i>Chlorella vulgaris</i>	26
3.4.4	Menentukan waktu pertumbuhan dan MTC fitoplankton laut <i>Chlorella vulgaris</i> terhadap ion Fe^{3+} dan Mg^{2+}	26
3.4.5	Menentukan Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) fitoplankton laut <i>Chlorella vulgaris</i>	27
3.4.6	Isolasi Lipid Fitoplankton Laut <i>Chlorella vulgaris</i>	27
3.4.7	Sintesis Biodiesel Melalui Metode Ultrasonik.....	28
3.4.8	Pembuatan Pereaksi	28
3.4.8.1	Pembuatan Larutan KOH 0,5 N alkoholik	28
3.4.8.2	Pembuatan Larutan KOH 0,1 N	28
3.4.8.3	Pembuatan Larutan HCl 0,5 N	29
3.4.8.4	Pembuatan Larutan $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 0,1 N	29
3.4.8.5	Pembuatan Alkohol Netral 95 % (v/v)	29
3.4.8.6	Standarisasi Larutan KOH 0,1 N dengan Asam Oksalat	29
3.4.8.7	Standarisasi Larutan HCl 0,5 N dengan Bahan Baku Boraks ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	29

3.4.8.8 Standarisasi Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan Bahan Baku KIO_3	30
3.4.9 Analisis Sifat Fisik Metil Ester (Biodiesel).....	30
3.4.9.1 Analisis Densitas Biodiesel.....	30
3.4.9.2 Analisis Viskositas Biodiesel.....	31
3.4.10 Analisis Sifat Kimia Metil Ester (Biodiesel) dan Lipid	31
3.4.10.1 Analisis Kadar Air untuk Lipid.....	31
3.4.10.2 Analisis Angka Penyabunan untuk Biodiesel.....	32
3.4.10.1 Analisis Asam Lemak Bebas untuk Lipid dan Biodiesel.....	32
3.4.10.2 Analisis Bilangan Iodium.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Pola Pertumbuhan Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i>	34
4.1.1 Pola Pertumbuhan Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Penambahan Ion Fe^{3+}	34
4.5.1 Pola Pertumbuhan Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Penambahan Ion Mg^{2+}	36
4.2 Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Penambahan Ion Fe^{3+} dan Mg^{2+}	39
4.2.1 Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Penambahan Ion Fe^{3+}	39
4.2.1 Laju Pertumbuhan Spesifik (μ) Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan Penambahan Ion Mg^{2+}	40
4.3 Biomassa Kering Kultur Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i>	41
4.4 Produksi Lipid dari Biomassa Kering Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i>	43
4.5 Analisa Sifat Kimia Lipid	45
4.5.1 Analisis Kadar Air	45

4.5.2 Analisis Asam Lemak Bebas	46
4.6 Sintesis Biodiesel Menggunakan Ultrasonik.....	46
4.7 Uji Sifat Fisik Biodiesel dari Lipid <i>Chlorella vulgaris</i>	50
4.7.1 Hasil Analisis Densitas Biodeiesel.....	50
4.7.2 Hasil Analisis Viskositas Biodiesel.....	52
4.8 Uji Sifat Kimia Biodiesel	53
4.8.1 Analisis Asam Lemak Bebas.....	53
4.8.2 Analisis Bilangan Penyabunan	54
4.8.3 Analisis Bilangan Iodium	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Standar Biodiesel Menurut ASTM D6751.....	16
2. Jumlah Pelarut dan Katalis pada Reaksi Esterifikasi.....	47
3. Jumlah Pelarut dan Katalis pada Reaksi Transesterifikasi	48
4. Jumlah Biodiesel yang diperoleh	49
5. Berat Rendamen	49
6. Produktivitas Biodiesel yang dihasilkan dari Kultur Fe^{3+}	49
7. Produktivitas Biodiesel yang dihasilkan dari Kultur Mg^{2+}	50
8. Hasil Analisis Densitas Biodiesel	51
9. Hasil Analisis Viskositas	53
10. Hasil Analisis Asam Lemak Bebas.....	53
11. Hasil Analisis Bilangan Penyabunan.....	55
12. Hasil Analisis Bilangan Iodium	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Bentuk Sel <i>Chlorella vulgaris</i>	12
2. Reaksi Transesterifikasi.....	15
3. Proses produksi biodiesel dan bioetanol dari mikroalga	18
4. Reaksi Terang Fotosintesis	19
5. Reaksi-Reaksi yang Terlibat dalam Pembentukan Trigliserasa (a)	20
6. Reaksi-Reaksi yang Terlibat dalam Pembentukan Trigliserasa (b)	20
7. Reaksi Lengkap Sintesis klorofil	21
8. Struktur klorofil.....	22
9. Alat Ultrasonik	23
10. Grafik Pola Pertumbuhan Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan penambaha ion Fe^{3+}	34
11. Grafik Pola Pertumbuhan Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dengan penambaha ion Mg^{2+}	36
12. Laju Pertumbuhan Spesifik Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dalam Kultur yang ditambahkan ion Fe^{3+}	39
13. Laju Pertumbuhan Spesifik Fitoplankton <i>Chlorella vulgaris</i> dalam Kultur yang ditambahkan ion Mg^{2+}	40
14. Biomassa Kering Kultur dengan Penambahan Ion Fe^{3+}	42
15. Biomassa Kering Kultur dengan Penambahan Ion Mg^{2+}	42
16. Lipid yang diperoleh dari Kultur yang ditambahkan Ion Fe^{3+}	44
17. Lipid yang diperoleh dari Kultur yang ditambahkan Ion Mg^{2+}	44
18. Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Bebas dengan Menggunakan Katalis Asam Menjadi Metil Ester	47
19. Reaksi Transesterifikasi dengan Menggunakan Katalis Basa Menjadi Metil Ester.....	48

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

MTC	= Maksimum Tolerance Concentration
μm	= mikrometer
gr/cm^3	= gram per centimeter kubik
g/mol	= gram per mol
$^{\circ}\text{C}$	= derajat Celsius
K	= derajat Kelvin
g	= gram
mg/L	= milligram per liter
FFA	= Free Fatty Acid
cSt	= centi Stokes
mm^2/s	= milimeter kuadrat per sekon
mL	= milliliter
sel/mL	= sel per milliliter
mg/g	= milligram per gram
L	= liter
t	= waktu
cm^{-1}	= centimeter pangkat minus satu
%	= persen

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan pembangunan tingkat kebutuhan terhadap sumber energi terus meningkat, sedangkan sumber energi yang kita gunakan saat ini sebagian besar merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Dewasa ini sumber energi fosil semakin berkurang yang menyebabkan terjadinya kelangkaan, khususnya pada sumber energi bahan bakar. Disamping itu bahan bakar yang merupakan bahan bakar fosil lambat laun dapat memberi dampak buruk bagi kelangsungan hidup di planet ini yaitu telah mengakibatkan kerusakan pada lapisan ozon. Kelangkaan bahan bakar dunia telah menimbulkan keresahan. Berbagai macam upaya dilakukan agar masalah ini dapat teratasi. Ilmuan-ilmuan dunia terus bekerja menghasilkan berbagai inovasi baru yang dianggap lebih efisien. Salah satu inovasi yang sedang dikembangkan saat ini yaitu mengenai sumber daya yang terbarukan khususnya bahan bakar yang dapat dihasilkan dari bahan bakar nabati yang sumbernya dari tumbuhan (Budiastuti, 2009; Triana, 2008).

Bumi sebagian besar terdiri dari lingkungan perairan yang kaya akan potensi sumber daya terbarukan, khususnya pada wilayah perairan Indonesia. Indonesia sangat berpeluang menjadi penghasil bahan bakar nabati mengingat kekayaan alam Indonesia yang sangat besar terutama kekayaan lingkungan perairannya, diantaranya fitoplankton. Fitoplankton atau mikroalga dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif penghasil biodiesel, karena selain

mengandung protein, karbohidrat dan vitamin, juga mengandung lipid. Kandungan lipid yang terdapat dalam fitoplankton inilah yang akan dikonversi menjadi biodiesel. Keuntungan lain dari fitoplankton adalah tingkat pertumbuhan yang cepat dan produktivitas yang tinggi. Fitoplankton atau mikroalga ini dapat menghasilkan biomassa 50 kali lebih besar dibandingkan tumbuhan yang lebih tinggi lainnya (Li dkk., 2008). Diperkirakan mikroalga mampu menghasilkan minyak 200 kali lebih banyak dibandingkan dengan tumbuh-tumbuhan penghasil minyak (kelapa sawit, jarak pagar, dll) pada kondisi terbaiknya (Rachmania dkk, 2010), selain itu persaingan lahan dengan tanaman lainnya relatif tidak terjadi karena berbagai jenis mikroalga dapat hidup pada berbagai jenis lingkungan bahkan di daerah yang terbatas tanahnya (Mata dkk., 2010). Mikroalga dapat hidup hampir di semua tempat yang memiliki cukup sinar matahari, air dan CO₂ (Rachmania dkk, 2010).

Penelitian mengenai potensi mikroalga telah banyak dilakukan, namun penelitian terhadap potensi *Chlorella vulgaris* sebagai bahan baku penghasil biodiesel masih sangat kurang, terutama mengenai penambahan nutrisi logam yang dapat menunjang peningkatan hasil produksi biodiesel.

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa *Chlorella vulgaris* memiliki kandungan lipid sekitar 40 %. Kondisi yang baik seperti kondisi dimana terdapat cukup cahaya, nutrisi, serta suhu untuk pertumbuhan, *Chlorella vulgaris* dapat menghasilkan lipid hingga 55 % berat kering (Mata dkk., 2010).

Mikroalga merupakan mikroorganisme yang pada dasarnya hidup di lingkungan perairan, sehingga diperlukan pertimbangan terhadap teknik budidaya

tertentu, panen, serta pengolahannya dalam rangka efisiensi produksi biodiesel (Mata dkk., 2009).

Produksi biodiesel dari mikroalga, mirip dengan proses dan teknologi yang digunakan untuk bahan baku biofuel lainnya termasuk unit produksi di mana sel-sel tumbuh, diikuti oleh pemisahan sel-sel dari media tanam dan selanjutnya ekstraksi lipid, kemudian produksi biodiesel atau biofuel (Mata dkk., 2010).

Menurut Rober dkk., 1990; Zhu dkk., 2000; dan Liu dkk., 2005 dalam Minggang dkk., 2008 bahwa pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh cahaya, suhu, nutrisi (terutama N, P) dan beberapa elemen. Selain karbon, nitrogen, dan fosfor, kebutuhan akan unsur untuk spesies tertentu menjadi syarat pertumbuhannya. Marschner (1995) dalam EL-Mewally dkk. (2010) menyatakan bahwa nutrisi memainkan peranan yang sangat penting dalam proses kimia, biokimia, fisiologis, metabolisme, geokimia, biogeokimia, dan juga proses enzimatik. Defisiensi nutrisi pada mikroalga mengakibatkan penurunan kandungan protein, pigmen fotosintesis, serta kandungan produk karbohidrat dan lemak (Healey, 1973).

Zat besi (Fe) merupakan salah satu unsur yang paling penting yang dibutuhkan oleh mikroalga karena berperan dalam asimilasi nitrat dan nitrit, deoksidasi sulfat, fiksasi nitrogen, sintesis klorofil, sintesis biologis lainnya serta reaksi degradasi. Menurut Liu dkk. (2008) bahwa peningkatan kelat Fe^{3+} berhasil merangsang produksi minyak mikroalga yang secara tidak langsung berpengaruh pada produktivitas biodieselnnya.

Marschner (1995) dalam EL-Mewally dkk. (2010) menyatakan bahwa magnesium memiliki peranan fisiologis dan molekul utama dalam tanaman, seperti menjadi komponen pada molekul klorofil, sebagai kofaktor pada berbagai

proses enzimatik yang terkait dengan fosforilasi, defosforilasi, dan hidrolisis pada berbagai senyawa, serta sebagai penstabil struktur berbagai nukleotida. Sedikitnya 15- 30% dari total magnesium dalam tanaman bergabung dengan molekul klorofil.

Kation logam magnesium (Mg^{2+}) merupakan inti dari molekul klorofil yang mutlak diperlukan oleh mikroalga untuk meningkatkan produksi klorofil, tetapi dapat mengakibatkan dampak negatif terhadap pertumbuhan mikroalga pada kondisi media defisiensi atau surplus Mg^{2+} , sehingga diperlukan konsentrasi yang tepat (Astuti, 2011).

Logam Mg dan Fe merupakan bagian utama dari klorofil, sehingga kedua logam ini sangat berpengaruh pada proses fotosintesis tanaman termasuk mikroalga. Proses fotosintesis ini menghasilkan energi dalam bentuk NADPH dan ATP yang diperlukan dalam reaksi pembentukan asam lemak (Rosita, 2003). Produktivitas lemak pada tumbuhan ini berpengaruh pada hasil sintesis biodiesel dari lemak tersebut.

Aplikasi gelombang ultrasonik akan meningkatkan laju reaksi kimia dan menurunkan energi spesifik pengolahan biodiesel, dimana gelombang ultrasonik menimbulkan gelombang kejut dari kavitasi yang menghasilkan tumbukan interpartikel yang berkecepatan tinggi. Gelombang ultrasonik menyebabkan efek mekanik pada reaksi, misalnya memperbesar luas permukaan melalui pembentukan celah mikro pada permukaan, mempercepat pelarutan, ataupun meningkatkan laju transfer massa. Keberhasilan penelitian ini akan menurunkan waktu proses transesterifikasi dan memungkinkan untuk pembuatan pabrik biodiesel yang lebih kecil dibandingkan dengan proses konvensional

(Djoyowasito dkk., 2010; Suslick dkk., 1999; Thompson dan Doraiswamy, 1999; McNamara III dkk., 1999).

Berdasarkan uraian di atas maka, pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana produktivitas fitoplankton *Chlorella vulgaris* setelah penambahan nutrisi ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} sebagai bahan baku penghasil biodiesel.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. bagaimanakah perbandingan pengaruh penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} terhadap produksi biodiesel dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*?
2. berapakah konsentrasi optimum ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} yang dibutuhkan untuk meningkatkan pertumbuhan dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*, dan
3. bagaimana kuantitas dan kualitas biodiesel yang dapat dihasilkan dari fitoplankton *Chlorella vulgaris* melalui metode ekstraksi ultrasonik dengan variasi penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui perbandingan pengaruh ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} terhadap potensi produksi biodiesel dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*, mengetahui konsentrasi optimum ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} yang dapat meningkatkan pertumbuhan dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*, serta kuantitas dan kualitas dari biodiesel yang dihasilkan.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. membandingkan pengaruh penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} terhadap potensi produksi biodiesel dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*,
2. menentukan konsentrasi optimum ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} yang dapat meningkatkan pertumbuhan dari fitoplankton *Chlorella vulgaris*, dan
3. menentukan kuantitas dan kualitas biodiesel yang dapat dihasilkan dari fitoplankton *Chlorella vulgaris* melalui metode ekstraksi ultrasonik dengan variasi penambahan ion Fe^{3+} dan Mg^{2+} .

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. memberi informasi mengenai aplikasi fitoplankton *Chlorella vulgaris* sebagai penghasil biodiesel,
2. hasil yang diperoleh diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian berikutnya, dan
3. memberikan pengetahuan serta pengalaman bagi peneliti.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Tentang Fitoplankton

Sebagian besar tanaman dalam laut adalah berbagai jenis plankton, dan alga uniselular, yang disebut fitoplankton. Meskipun beberapa fitoplankton yang cukup besar untuk dikumpulkan melalui penjaringan halus, banyak dari tanaman mikroskopis ini hanya dapat dikumpulkan dengan penyaringan atau sentrifugasi yang cukup besar dari volume air laut. Fitoplankton terdapat di seluruh daerah terang dari semua lautan, termasuk di bawah es di daerah kutub. Karena fitoplankton merupakan tanaman yang dominan dalam laut, jadi perannya dalam rantai makanan pada laut sangat penting (Lalli dan Parson, 1997).

Menurut Diharmi (2001) dalam Hermanto dkk. (2011) bahwa mikroalga merupakan organisme tumbuhan yang paling primitif yang berukuran renik, dan hidup di seluruh wilayah perairan, baik air tawar maupun air laut. Mikroalga telah dipergunakan untuk industri farmasi, kesehatan dan sebagainya. Mikroalga diklasifikasikan sebagai tumbuhan karena memiliki klorofil dan mempunyai suatu jaringan sel menyerupai tumbuhan tingkat tinggi. Spesies mikroalga dikarakterisasi berdasarkan kesamaan morfologi biokimianya melalui suatu pendekatan skema klasifikasi.

Meskipun bentuk kehidupan fitoplankton termasuk mikroorganisme aselular dan termasuk dalam karakteristik *archaea*, sebagian besar dasar fotosintetik organisme fitoplankton termasuk ke dalam bakteri. Pemisahan pada bakteri dari kelompok *archaeans* yang dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya membran yang dibentuk oleh percabangan hidrokarbon dan ikatan eter, sebagai

lawan dari rantai lurus asam lemak dan ikatan ester seperti yang terdapat dalam membran organisme yang terbentuk pada awal evolusi (Reynold, 2006).

Bentuk sel-sel fitoplankton sesuai dengan bentuk dasar sebagian besar tanaman eukariotik. Masing-masing dibedakan atas struktur protoplasma yang dilindungi dalam sebuah membran vital plasmalemma. Membran terdiri atas tiga atau empat lapisan yang berbeda. Sebagian besar alga memiliki dinding sel mati yang terbuat dari selulosa atau lainnya, relatif murni, polimer karbohidrat yang padat, seperti pektin. Diantara beberapa kelompok alga, ada yang ditutupi oleh deposit anorganik kalsium karbonat dan silika (Reynold, 2006).

Menurut Isnansetyo dan Kurniasututi (1995), Nontji (1993) dalam Aidia (2011) bahwa fitoplankton yang mempunyai sifat autotrof mampu merubah bahan anorganik menjadi bahan organik dan merupakan penghasil oksigen yang sangat mutlak diperlukan oleh kehidupan makhluk yang lebih tinggi tingkatannya. Sedangkan zooplankton tidak dapat memproduksi zat-zat organik dari zat-zat anorganik, zooplankton yang bersifat herbivor akan memakan fitoplankton, sedangkan zooplankton karnivor memakan zooplankton herbivor.

Menurut Martosudarmo dan Wulani (1990) dalam Budidaya (2009) menyatakan pertumbuhan fitoplankton secara umum ditandai dengan lima tahap terpisah yaitu:

1. Tahap Induksi

Tahap adaptasi dengan lingkungan yang baru sehingga populasi tidak berubah untuk sementara waktu.

2. Tahap Eksponensial

Ditandai dengan pembiakan sel yang cepat dan konstan.

3. Tahap Perlambatan Pertumbuhan

Kecepatan tumbuh mulai melambat, faktor yang berpengaruh adalah kekurangan nutrient, laju suplai CO₂ atau O₂ dan perubahan nilai pH.

4. Tahap Stasioner

Terjadinya penurunan kecepatan perkembangan secara bertahap. Jumlah populasi konstan dalam waktu tertentu sebagai akibat dari penghentian pembiakan sel-sel secara total atau adanya keseimbangan antara tingkat kematian dan tingkat pertumbuhan.

5. Tahap Kematian

Tingkat kematian lebih tinggi dari tingkat perkembangan. Mengenai pertumbuhan alga yang dinamis merupakan hal yang penting untuk mencapai produksi alga yang dibutuhkan secara tetap. Meskipun demikian, susunan perkembangan secara umum ditandai dengan sedikitnya empat tahap yang terpisah.

Berdasarkan siklus hidupnya plankton dapat dibagi menjadi dua yaitu holoplankton dan meroplankton. Holoplankton adalah plankton yang seluruh daur hidupnya bersifat planktonik, sedangkan meroplankton adalah plankton yang hanya sebagian dari daur hidupnya yang bersifat planktonik, terdiri dari berbagai larva hewan laut, dan pada stadium dewasa hidup sebagai benthos atau nekton (Nybakken, 1988).

Menurut Barus dkk. (2001) dalam Aidia (2011) bahwa berdasarkan habitat hidupnya plankton dibedakan menjadi dua bagian haliplankton yaitu plankton yang hidup di habitat air laut dan limnoplankton yaitu plankton yang hidup di habitat air tawar. Selanjutnya plankton dapat dibagi berdasarkan ukuran tubuhnya

yaitu: Ultraplankton di bawah 2 μm , Nanoplankton 2-20 μm , Mikroplankton 20-200 μm , Mesoplankton 200-2000 μm , Megaplankton di atas 2000 μm .

Sekitar 4000 fitoplankton laut telah diuraikan dan spesies-spesies baru yang telah diidentifikasi terus dimasukkan ke dalam daftar tersebut, menurut Lalli dan Parson (1997), kelompok yang diketahui secara terperinci adalah sebagai berikut:

a. Diatom

Diatom merupakan fitoplankton yang jumlahnya terbesar di laut dan merupakan kelas Bacillariophyceae. Diatom merupakan uniselular dengan ukuran sel berkisar antara 2 μm atau lebih dari 1000 μm , dan beberapa spesies membentuk rantai yang lebih besar. Semua spesies memiliki kerangka eksternal atau frustule yang terbuat dari silika dan dasarnya terdiri dari dua katup (Lalli dan Parson, 1997).

Terdapat dua jenis bentuk diatom yang dikenal yaitu bentuk pinnate dan sentries. Diatom planktonik tidak memiliki struktur gerak dan biasanya tidak mampu bergerak sendiri, oleh karena itu penting bagi diatom dan fitoplankton lainnya tetap pada permukaan air yang terang untuk melakukan fotosintesis (Lalli dan Parson, 1997)

b. Flagellata

Kelompok fitoplankton yang melimpah setelah diatom adalah kelompok Pyrrophyceae yang biasa disebut dinoflagellata (Lalli dan Parson, 1997). Terdapat sekitar 2.000 jenis dari dinoflagellata, dan beberapa diantaranya adalah organisme phototrophs. Dinoflagellata memiliki ekor kecil yang disebut flagella, bunga. Beberapa dinoflagellata bunga memiliki perisai mikroskopis yang

membentuk sebuah bola sekitar coccolithophore yang membantu pergerakannya. Dinoflagellata dapat berkembang biak sangat cepat dan menciptakan sejumlah besar sel yang disebut bunga, beberapa dinoflagellata ini dalam jumlah yang banyak dapat meracuni kehidupan laut lainnya. Selain itu juga memiliki warna yang merah sehingga bunganya dikenal dengan “red tide” (Crewe, 2010).

c. Coccolithophores

Sebuah fraksi besar dari nanoplankton di perairan laut terbuka terdiri dari Coccolithophores, alga flagellata uniseluler yang ditandai dengan sebuah penutup yang dilapisi zat kapur (coccoliths). Ukuran Coccolithophores sebagian besar kurang dari 2 μm . Kelimpahan tertinggi terdapat pada perairan subtropis dan tropis, meskipun beberapa spesies juga terdapat di daerah dingin (Kennish, 2001).

d. Silikoflagellata

Sumber lain partikel yang mengandung silika di dasar laut merupakan sisa-sisa kerangka silikoflagellata yang merupakan uniseluler. Organisme uniflagellata, dan ukurannya berkisar dari 10 sampai 200 μm , mensekresikan kerangka internal silika opaline. Meskipun ditemukan dalam sedimen dasar laut pada semua lautan luas, sebagian besar silikoflagellata terdapat di daerah dingin yang kaya nutrisi (Kennish, 2001).

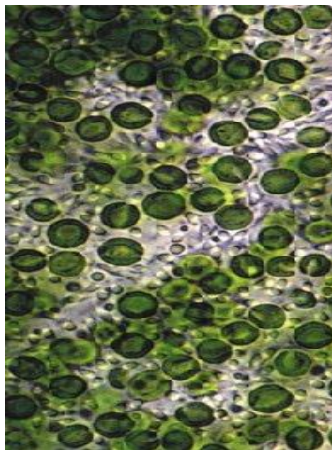
2.1.1 *Chlorella vulgaris*

Klasifikasi *Chlorella vulgaris* dalam Wikipedia (2012) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisio : Chlorophyta
Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Chlorococcales
Famili : Oocystaceae
Genus : *Chlorella*
Spesies : *Chlorella vulgaris*

Chlorella vulgaris merupakan mikroalga dari golongan alga hijau. Bentuk selnya bulat, bulat lonjong yang memiliki garis tengah 2-8 μm . *Chlorella vulgaris* berkembang biak dengan cara membelah diri dan membentuk spora. Mikroalga ini bersifat fotoautotrof, yaitu dapat membentuk makanannya sendiri melalui fotosintesis (Zahir, 2011).



Gambar 1. Bentuk sel *Chlorella vulgaris* (Pimentel, 2008)

2.2 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar diesel yang terbuat dari hewan atau bahan nabati, merupakan bahan bakar alternatif yang telah digunakan pada kendaraan bermotor sejak awal dari industri otomotif. Biodiesel ini berpotensi menggantikan fungsi dari minyak bumi yang berbasis bahan bakar diesel (Solar) pada mesin diesel. Kendaraan yang menggunakan biodiesel menghasilkan

polutan lebih sedikit dibandingkan petrodiesel, selain itu juga lebih hemat (Report, 2008).

Biodiesel merupakan salah satu jenis biofuel (bahan bakar cair dari pengolahan tumbuhan) di samping bioetanol. Biodiesel adalah senyawa alkil ester yang diproduksi melalui proses alkoholisis (transesterifikasi) antara trigliserida dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis basa menjadi alkil ester dan gliserol atau esterifikasi asam-asam lemak (bebas) dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis basa menjadi senyawa alkil ester dan air (Musarif, 2010).

Biodiesel dipromosikan sebagai salah satu energi alternatif pengganti BBM (terutama sebagai pengganti minyak diesel). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mencari alternatif bahan baku biodiesel, diantaranya telah berhasil dikembangkan biodiesel dari berbagai bahan baku seperti biodiesel dari minyak jelantah, minyak goreng, CPO (*crude palm oil*), minyak jarak kepyar dan minyak jarak pagar (Zuhdi dan Sukardi, 2005).

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biodiesel dapat didegradasi secara biologis empat kali lebih cepat daripada bahan bakar diesel minyak bumi, yaitu mencapai 98 % dalam tiap minggu. Akibat biodegradasi secara biologis, emisi dan bau yang tidak sedap dapat dikurangi. Biodiesel tidak secara spontan meletup atau menyala dalam keadaan normal karena mempunyai titik bakar yang tinggi, yaitu 150 °C yang berbeda dengan bahan bakar diesel minyak bumi yang titik bakarnya hanya 52 °C (Alamsyah, 2005).

Biodiesel merupakan bahan kimia yang dipakai sebagai *chemical additive* untuk minyak diesel atau sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan karena

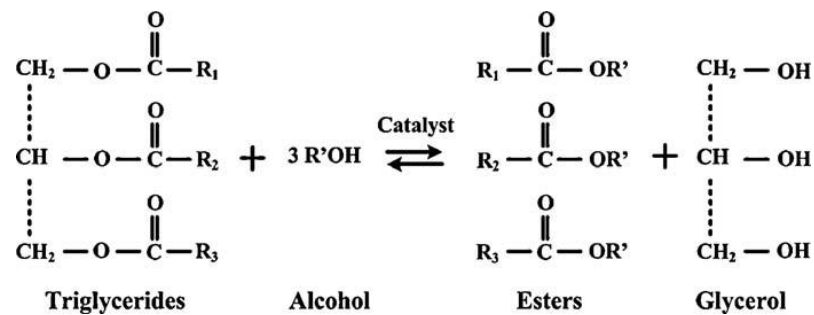
berasal dari minyak tumbuh-tumbuhan. Menurut Sony (2005) dalam Triantoro (2008) bahwa kelebihan biodiesel dibandingkan solar adalah :

- a. Merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah).
- b. *Cetane number* lebih baik
- c. Memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin
- d. *Biodegradable* (dapat terurai)
- e. Merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui
- f. Meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.

Produksi biodiesel didasarkan pada trans-esterifikasi minyak nabati dan lemak melalui penambahan metanol (alkohol atau lainnya) dan katalis, memberikan gliserol sebagai produk sampingan, dimana minyak dari bahan diekstrak secara kimia atau mekanik. Proses lanjutan mencakup penggantian methanol dari fosil, dengan bioetanol untuk menghasilkan asam lemak etil ester (Energy, 2007).

Transesterifikasi adalah reaksi dengan beberapa tahap, termasuk tiga tahap yang reversible, dimana trigliserida akan dikonversi ke digliserida, digliserida kemudian dikonversi ke monogliserida, dan monogliserida kemudian dikonversi menjadi ester (biodiesel) dan gliserol (produk samping). Reaksi transesterifikasi keseluruhan dijelaskan dalam Gambar 2 dimana radikal R1, R2, R3 mewakili panjang rantai hidrokarbon, yang dikenal sebagai asam lemak. Untuk reaksi transesterifikasi minyak atau lemak rantai pendek dan alkohol (biasanya metanol) digunakan sebagai reagen dalam kehadiran katalis (biasanya NaOH). Meskipun

perbandingan molar secara teoritis alkohol: minyak adalah 3:1, rasio molar 6:1 umumnya digunakan untuk menyelesaikan reaksi yang akurat. Hubungan antara massa input bahan baku dan massa output biodiesel adalah sekitar 1:1, yang berarti bahwa secara teoritis, 1 kg minyak menghasilkan sekitar 1 kg biodiesel (Mata dkk., 2010)



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi

Alkohol yang digunakan sebagai pereaksi untuk minyak nabati adalah methanol, namun dapat pula digunakan etanol, isopropanol atau butyl, tetapi perlu diperhatikan juga kandungan air dalam alkohol tersebut. Bila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel yang mengakibatkan kualitasnya rendah, karena terdapatnya kandungan sabun, ALB (Asam Lemak Bebas) dan trigliserida tinggi. Disamping itu hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi selama proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol (Rahayu, 2007).

Katalisator juga dibutuhkan untuk meningkatkan daya larut pada saat reaksi berlangsung, umumnya katalis yang digunakan bersifat basa kuat yaitu NaOH atau KOH atau natrium metoksida. Katalis yang akan dipilih tergantung minyak nabati yang digunakan, apabila digunakan minyak mentah dengan

kandungan ALB kurang dari 2 %, disamping terbentuk sabun dan juga gliserin. Katalis tersebut pada umumnya sangat higroskopis dan bereaksi membentuk larutan kimia yang akan dihancurkan oleh reaktan alkohol. Jika banyak air yang diserap oleh katalis maka kerja katalis kurang baik sehingga produk biodiesel kurang baik. Setelah reaksi selesai, katalis harus dinetralkan dengan penambahan asam mineral kuat. Setelah biodiesel dicuci proses netralisasi juga dapat dilakukan dengan penambahan air pencuci, HCl juga dapat dipakai untuk proses netralisasi katalis basa, bila digunakan asam fosfat akan menghasilkan pupuk fosfat (K_3PO_4) (Rahayu, 2007).

Bahan-bahan mentah yang sangat berperan dalam pembuatan biodiesel adalah (Triantoro, 2008):

- a. Trigliserida, yaitu komponen utama aneka lemak dan minyak-lemak
- b. Asam-asam lemak, yaitu produk samping industri pemulusan (*refining*) lemak dan minyak-lemak.

Standar biodiesel dalam bentuk metil ester telah dikembangkan di sejumlah Negara untuk menjamin kualitasnya. Tahun 2002, di Amerika Serikat telah dikembangkan standar biodiesel ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D6751 yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Standar Biodiesel Menurut ASTM D6751 (Knothe, 2005)

Karakteristik	Batasan	Satuan
Densitas, 40 °C	860-900	Kg/m ³
Viskositas Kinematik, 40 °C	1,6-5,8	mm ² /s
FFA	0,45 (maksimum)	%

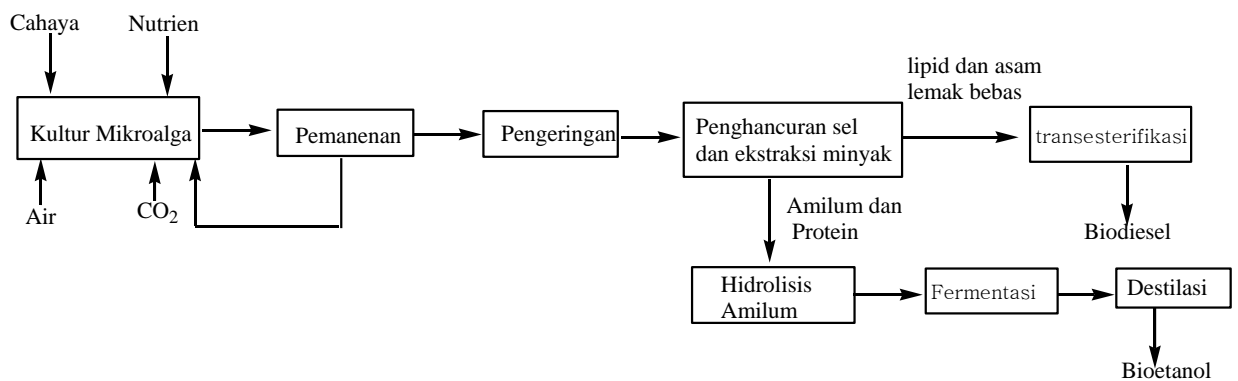
Bilangan Penyabunan	< 500	mg KOH/g
Angka Iodium	115 (maksimum)	%-massa (g I ₂ / 100 g)

Dari tabel di atas terlihat bahwa kandungan sulfur dan karbon relatif rendah sehingga penggunaan biodiesel pada emisinya dapat mengurangi gas karbon monoksida (CO) dan gas sulfur. Penggunaan biodiesel tidak seperti petrodiesel yang menghasilkan emisi gas karbon dan gas sulfur yang banyak serta mengeluarkan asap dengan bau yang dapat mengiritasi mata. Biodiesel yang berasal dari bahan dasar yang dapat diperbaharui ini akan mereduksi efek rumah kaca dan pemanasan global sehingga lebih ramah terhadap lingkungan (Knothe, 2005).

2.3 Biodiesel dari Fitoplankton

Dalam rangka menghasilkan biodiesel dari alga secara efisien, strain harus dipilih berdasarkan tingkat pertumbuhan tinggi dan kandungan minyaknya (FAO, 2009). Menurut Guschina dan Harwood (2006), komponen utama lipid mikroalga adalah triasil gliserida (TAG) yang dapat diubah karakteristiknya menjadi metil ester melalui transesterifikasi. Asam lemak metil ester (FAME) yang dihasilkan dapat digunakan untuk campuran solar sebagai bahan bakar biodiesel.

Produksi biofuel dari mikroalga meliputi tahap kultivasi mikroalga, diikuti oleh pemisahan sel-sel dari media pertumbuhan, dan ekstraksi lipid untuk produksi biodiesel melalui transesterifikasi (Dragone, 2010).



Gambar 3. Proses produksi biodiesel dan bioetanol dari mikroalga (Dragone, 2010)

2.4 Tinjauan Nutrisi Logam

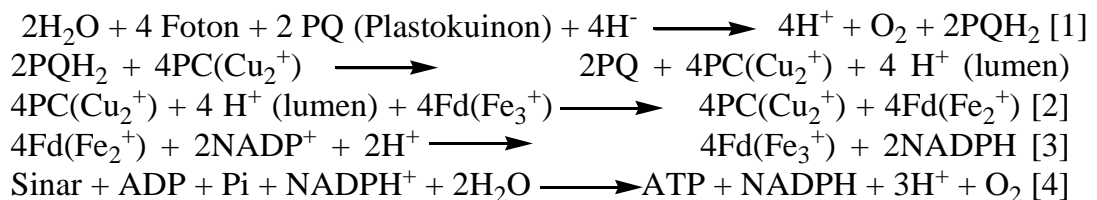
Sejumlah besar mineral, yang dikenal dengan mikroelemen, yang diperlukan oleh ganggang adalah relatif pada setiap menitnya. Unsur-unsur yang termasuk kategori ini diperlukan dalam berbagai konsentrasi mikrogram hingga miligram per 1.000 untuk medium kultur. Dengan demikian, eksperimen harus dilakukan dengan sangat berhati-hati sehingga sesuai dengan keperluan spesies yang diteliti. Menurut Richmond (1986) berikut ini adalah persyaratan untuk esensialitas mikroelemen:

1. Unsur harus memiliki efek positif pada pertumbuhan total, yaitu, harus mengizinkan penyelesaian dari siklus kehidupan normal.
2. Harus mengerahkan efek fisiologis langsung pada alga, yakni tidak mempengaruhi pertumbuhan secara tidak langsung melalui efek pada keseimbangan nutrisi, pH larutan, dll.
3. Seharusnya tidak tergantikan oleh elemen lain.
4. Kekurangan harus "reversible", yaitu, pada saat penambahan elemen untuk kultur dalam tahap awal kekurangan pertumbuhan normal harus berlanjut.
5. Respon terhadap elemen harus dicatat dalam sejumlah perwakilan spesies.

2.4.1 Tinjauan Besi (Fe)

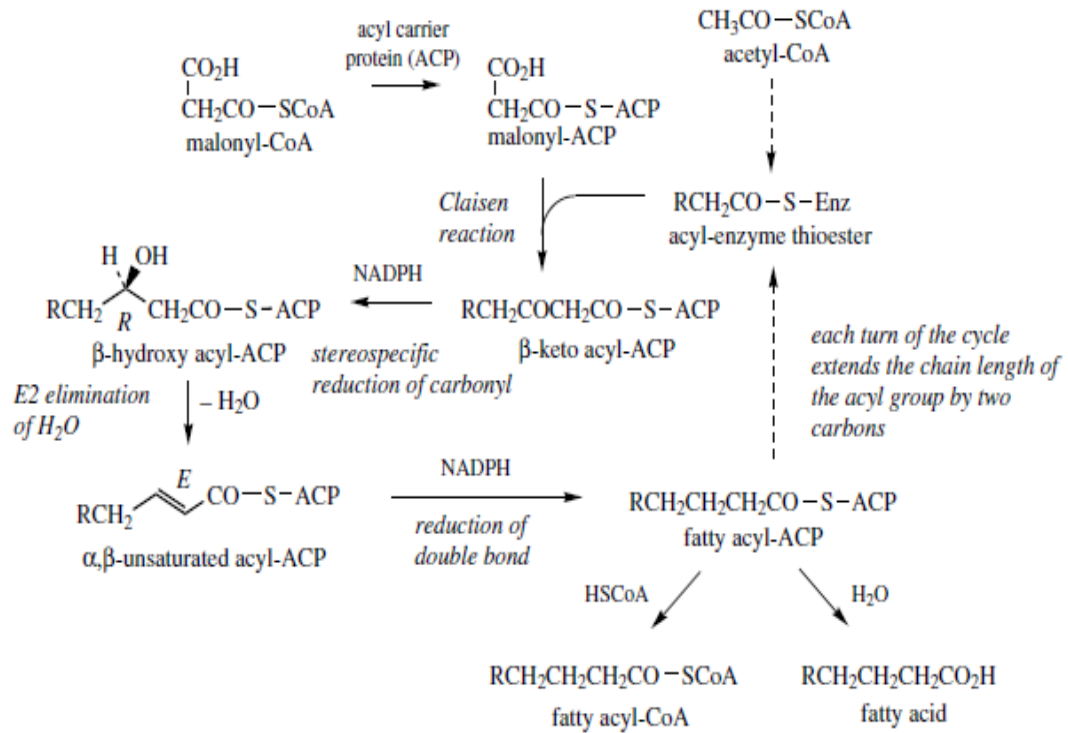
Besi (Fe) berperan dalam sintesis klorofil dan sintesis protein-protein penyusun kloroplas (Prihantini dkk., 2007). Besi terlibat dalam asimilasi nitrogen karena ferredoxin diperlukan sebagai donor elektron untuk nitrat dan nitrit reduktase. Besi juga penting untuk fotosintesis dimana mempengaruhi sintesis dari pigmen fotosintesis utama klorofil-a dan PC. Sebagian besar besi itu diperoleh pada dua waktu yang berbeda ketika sel-sel awalnya diinokulasi ke dalam media dan setelah kulturnya telah menjadi sangat padat dan telah berhenti tumbuh. Besi menjadi berkurang pada pertumbuhan 16 jam setelah transfer ke media yang kekurangan zat besi, tetapi kultur mempertahankan kelangsungan hidupnya sekitar 212 jam. Setelah besi menjadi berkurang, c-PC dan klorofil-a yang rusak bersamaan. Hal ini diikuti oleh akumulasi glukosa intraseluler di tempat c-PC. Aktivitas nitrat dan nitrit reduktase yang meningkat selama 50 jam, setelah itu terus menurun. Setelah besi dikembalikan ke dalam media kultur, pertumbuhan kembali, pigmen intraseluler meningkat pesat, dan jumlah glukosa menurun (Richmond, 1986).

Besi berperan dalam proses fotosintesis pada reaksi terang, yakni pada tahap ini dihasilkan ATP dan NADPH di reduksi. Pada reaksi terang terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia, dengan reaksi:

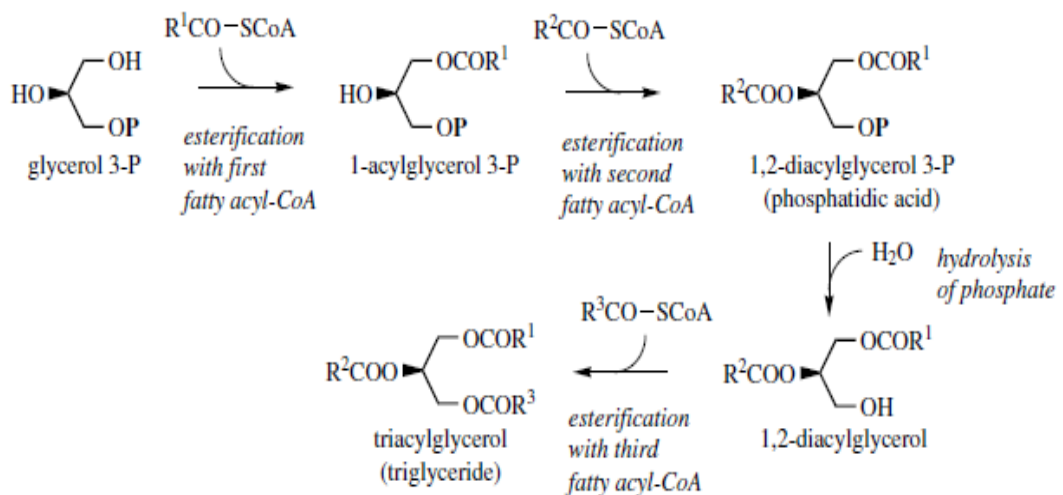


Gambar 4. Reaksi Terang Fotosintesis (Kristio, 2013)

NADPH dari reaksi terang merupakan sebuah koenzim tereduksi yang aktif dalam berbagai proses sintesis, memainkan peran dalam pembentukan asam lemak yang sangat tereduksi.



Gambar 5. Reaksi-reaksi yang terlibat dalam pembentukan trigliserida (a) (Dewick, 1997)

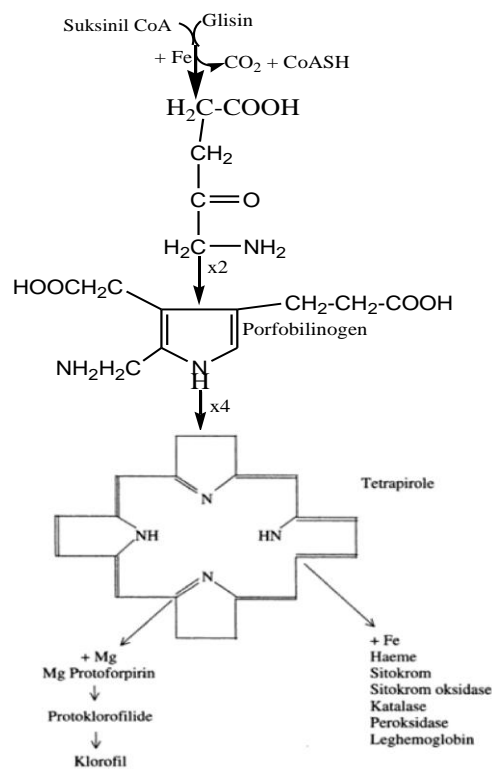


Gambar 6. Reaksi-reaksi yang terlibat dalam pembentukan trigliserida (b) (Dewick, 1997)

2.4.2 Tinjauan Magnesium (Mg)

Magnesium diambil/diserap oleh tanaman dalam bentuk Mg^{++} . Menurut Haruna (2011) menyatakan fungsi magnesium bagi tanaman ialah:

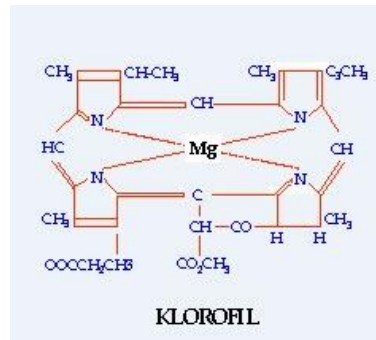
- Magnesium merupakan bagian dari klorofil tanaman.
- Merupakan salah satu bagian enzim yang disebut Organic pyrophosphatase dan Carboxy peptisida.
- Berperan dalam pembentukan buah.



Gambar 7. Reaksi Lengkap Sintesis klorofil (Rosmarkam dan Yuwono)

Konsentrasi Mg^{2+} yang diserap tanaman berkisar antara 0,1 hingga 0,4%. Mg merupakan unsur yang sangat penting dalam tanaman karena merupakan unsur pembentuk klorofil, tanpa adanya klorofil maka tanaman tidak dapat melakukan fotosintesis. Klorofil mengandung sekitar 15 sampai 20 % dari total Mg^{2+} . Mg juga merupakan komponen pembentuk ribosom dalam sintesis protein pada tanaman. Apabila tanaman kekurangan Magnesium maka tanaman akan

kekurangan protein (Anonim, 2011). Menurut Romiyatum (2009) berikut ini adalah gambar struktur klorofil tanaman yang mengandung magnesium:



Gambar 8. Klorofil

2.5 Tinjauan Ultrasonik

Menurut Liu (1999) dalam Li dkk. (2004) bahwa senyawa lipofilik nabati seperti minyak goreng, fitokimia, rasa, aroma dan warna bermanfaat dalam produksi makanan, farmasi, dan industri kimia. Ekstraksi adalah salah satu kunci dalam tahap memulihkan dan memurnikan senyawa lipofilik yang terkandung dalam material nabati. Teknologi ekstraksi klasik didasarkan pada penggunaan pelarut yang tepat untuk menghilangkan kandungan senyawa lipofilik dari jaringan tanaman.

Sebuah teknologi baru yang potensial yang dapat meningkatkan ekstraksi senyawa lipofilik dari tanaman adalah ultrasound intensitas tinggi. Ultrasonik intensitas tinggi dapat mempercepat panas dan transportasi massal dalam berbagai proses pengolahan makanan dan telah berhasil digunakan untuk meningkatkan pengeringan, pencampuran, homogenisasi dan ekstraksi. Ultrasonik merupakan aplikasi pada intensitas tinggi, frekuensi gelombang suara tinggi dan interaksinya dengan bahan (Li dkk., 2004).

Dari beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terbukti bahwa metode ultrasonik ini lebih efisien dibandingkan dengan metode lainnya,