

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mikroalga

Mikroalga pada umumnya merupakan tumbuhan renik berukuran mikroskopik (diameter antara 3-30 μm) yang termasuk dalam kelas alga dan hidup sebagai koloni maupun sel tunggal di seluruh perairan tawar maupun laut. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi. (Gambar 1.)



Gambar 1. Struktur Umum Mikroalga

Sumber: Catur Rini dan Ayu Chandra, 2010

Manfaat lainnya dari mikroalga yaitu dapat dimanfaatkan dalam bidang farmasi, sebagai makanan suplemen seperti *Spirulina sp.* serta sebagai sumber energi alternatif biodiesel. Berkaitan dengan besarnya manfaat mikroalga dalam kehidupan maka masih diperlukan banyak penelitian lebih lanjut untuk mengetahui sebaran jenis mikroalga di berbagai wilayah perairan Indonesia, sekalipun penelitian terkait memang telah banyak dilakukan.

Lemak dalam mikroalga terdiri dari gliserol, asam lemak jenuh atau asam lemak tak jenuh. Komposisi lemak pada masing-masing mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbedaan nutrisi, lingkungan dan fasa pertumbuhan. Beberapa jenis mikroalga berpotensi sebagai sumber minyak. Kandungan minyak mikroalga bervariasi tergantung jenis mikroalganya. (Noer Abyor Handayani, Dessy Arianty, 2012). Tabel 1 adalah Kandungan asam lemak dalam beberapa spesies mikroalga.

Tabel 1. Kandungan asam lemak dalam beberapa spesies mikroalga

Nama senyawa	<i>Scendesmus sp.</i>	<i>Chorella sp.</i>	<i>Nannochloropsis sp.</i>	<i>Spirulina sp.</i>
Asam Kaprat	0,07	-	0,30	0,07
Asam laurat	0,22	0,02	0,99	3,08
Asam myristat	0,34	-	7,06	2
Asam stearat	13,85	29,50	-	3,5
Asam palmitat	20,29	8,09	23,07	17,28
Asam oleat	-	2,41	12,25	25,58
Asam valerat	-	10,06	-	-
Asam magarit	-	-	-	-
Asam palmitoleat	9,78	2,15	42,32	0,24
Asam palmitolineat	-	-	-	-
Asam linoleat	25,16	45,07	2,47	9,93
Asam linolenat	16,16	11,49	-	-
Glycerol trilaurat	3,73	-	-	-
Vini laurat	35,52	-	-	-

Sumber: Desty Nilawati, 2012

2.2. Ciri-Ciri Umum Alga

Ciri-ciri umum pada alga yaitu alga tiak memiliki akar, batang, dan daun sejati. Itulah sebabnya alga tidak dapat digolongkan sebagai tumbuhan (*Plantae*). Di dalam sel alga terdapat plastid yaitu organel sel yang mengandung zat warna (*pigmen*). Plastid yang terdapat pada alga terutama khloroplas yang mengandung pigmen klorofil yang berperan penting dalam proses fotosintesis. Sehingga alga bersifat autotrof, karna daapat menyusun sendiri makanannya berupa zat organik dan zat anorganik. Pigmen lain yang terdapat dalam alga yaitu *fikosianin* (warna biru), *xantafil* (warna kuning), *karoten* (warna keemasan), *fikosantin* (warna pirang), dan *fikoeritrin* (warna merah).

Alga menyimpan cadangan makanannya dalam granul atau globul dalam sel-selnya. Contohnya, alga hijau menyimpan pati sebagaimana terdapat pada tumbuhan hijau lainnya. Alga lain juga dapat menyimpan berbagai macam karbohidrat dalam bentuk lain selain pati yaitu minyak atau lemak.

2.3. Klasifikasi Mikroalga

Klasifikasi alga didasarkan pada beberapa hal, yakni pigmen, produk makanan cadangan, flagella, dinding sel, siklus hidup dan reproduksinya. Mikroalga dapat diklasifikasikan pada beberapa filum diantaranya (mety mirojiah, 2013) :

1. Alga Biru Hijau (*Cyanophyta*)

Alga Biru Hijau *Cyanophyta* atau adalah kelompok alga yang paling primitif dan memiliki sifat-sifat bakterial dan alga. Kelompok ini adalah organisme prokariotik tidak memiliki struktur-struktur sel, contohnya nukleus dan *chloroplast*. Hanya memiliki *chlorophila*, namun memiliki variasi *phycobilin* seperti karotenoid. Pigmen-pigmen ini beragam variasi sehingga warnanya bisa bermacam-macam. Contohnya *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Anabaena*.

2. Alga Hijau (*Chlorophyta*)

Alga hijau adalah kelompok alga yang paling maju dan memiliki banyak sifat-sifat tanaman tingkat tinggi. Merupakan organisme prokaryotik dan memiliki struktur-struktur sel khusus, memiliki kloroplas, DNA-nya berada dalam sebuah nukleus, dan beberapa jenisnya memiliki flagella. Dinding sel alga hijau sebagian besar berupa selulosa, meskipun ada beberapa yang tidak mempunyai dinding sel. Mempunyai klorofil a dan beberapa karotenoid, dan biasanya mereka berwarna hijau rumput. Pada saat kondisi budidaya menjadi padat dan cahaya terbatas, sel akan memproduksi lebih banyak klorofil dan menjadi hijau gelap. Contoh: *Tetraselmis* (Air tawar, air laut) dan *Pyramimonas* memiliki penampakan serta sifat berenang yang identik dengan *tetraselmis*. Kedua organisme ini adalah sumber makan yang populer untuk mengkultur rotifer, kerang, dan larva udang.

Contoh lainnya, *Clamidomonas* (Air tawar, air laut), *Nannocloris* (Air tawar, air laut,) yang berwarna hijau tidak motil dan tidak memiliki flagel, berukuran sangat kecil dengan diameter 1,5-2,5 mm, sel berbentuk bola, cenderung mengagung dalam budidaya, berupa suspensi dalam kondisi tanpa aerasi sehingga menguntungkan bagi usaha budidaya. organisme ini adalah sumber makan yang populer untuk mengkultur rotifer, kerang, dan larva udang.

Dunaliella (Air tawar, air laut), *Botryococcus* dan *Chlorella* (Air tawar, air laut,) yang Selnya bereproduksi dengan membentuk dua sampai delapan sel anak didalam sel induk yang akan dilepaskan dengan melihat kondisi lingkungan. Merupakan pakan untuk rotifer dan dapnia.

3. Diatom (*Bacillariophyceae*)

Diatom adalah kelompok alga yang unik dengan dinding sel yang terbentuk dari silikon dioksida yang dipenuhi banyak lubang sehingga tampak seperti ayakan (saringan) dan secara komersial dapat digunakan sebagai perlengkapan dalam beberapa peralatan filter. Tidak memiliki flagella kecuali pada beberapa spesies tertentu. hanya memiliki klorofil a dan c serta beberapa karotenoid seperti *fucoxanthin* sehingga berwarna kecoklatan. Organisme ini biasa digunakan sebagai pakan dalam budidaya. Contoh *Chaetoceros* (Air laut,) yang populer sebagai pakan rotifer, kerang-kerangan, tiram, dan larva udang.

4. Alga Coklat Emas (*Chrysophyceae*)

Alga coklat-emas dikaitkan dengan *diatomae*, namun mereka memiliki dinding sel silika yang sedikit selama masa hidup mereka. Alga ini memiliki sifat-sifat yang dapat ditemui pada sebagian besar alga. Beberapa anggota kelompok alga ini memiliki flagella dan motil. Semua memiliki kloroplas dan memiliki DNA yang terdapat di dalam nukleusnya. Alga ini hanya memiliki klorofil a dan c serta beberapa karotenoid seperti *fucoxanthin* yang memberikan mereka warna kecoklatan. Alga ini seringkali dibudidayakan dalam bentuk uniseluler pada usaha budidaya sebagai sumber pakan. Contoh *Isochrysis* (air laut), *Nannochloropsis* (air tawar, air laut), *Ellipsoidon* (Air tawar, air laut).

5. Alga Merah (*Rhodophyta*)

Alga merah merupakan makroalga i. hanya memiliki klorofil a di samping memiliki pigmen lainnya seperti *phycoyanin* (pigmen biru), dan *phycoeretrin* (pigmen merah), seperti juga halnya berbagai karotenoid. *Phycoeretrin* memberi warna merah pada alga ini. Selain itu alga ini juga terkadang berwarna hijau

kebiruan hingga ungu. Alga merah uniseluler tidak motil dan tidak memiliki flagel. Dapat digunakan dalam lingkungan budidaya. Contohnya *Porphyridium*. Alga ini digunakan pada lingkungan budi daya untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat.

2.4. Karakteristik *Spirulina sp.*

Spirulina merupakan mikroalga yang menyebar secara luas, dapat ditemukan di berbagai tipe lingkungan, baik di perairan payau, laut dan tawar. Ciri-ciri morfologinya yaitu filamen yang tersusun dari trikoma multiseluler berbentuk spiral yang bergabung menjadi satu, memiliki sel berkolom membentuk filamen terpilin menyerupai spiral, tidak bercabang, autotrof, dan berwarna biru kehijauan.

Bentuk tubuh *Spirulina sp.* yang menyerupai benang merupakan rangkaian sel yang berbentuk silindris dengan dinding sel yang tipis, berdiameter 1-12 μm . Filamen *Spirulina sp.* hidup berdiri sendiri dan dapat bergerak bebas. *Spirulina sp.* berwarna hijau tua di dalam koloni besar yang berasal dari klorofil dalam jumlah tinggi. *Spirulina sp.* memiliki struktur trichoma spiral dengan filamen-filamen bersifat mortal dan tidak memiliki heterosit. Sel *Spirulina sp.* berukuran relatif besar yaitu 110 μm , sehingga dalam proses pemanenan dengan menggunakan kertas saring lebih mudah (Borowitzka M.A.,1988)

Klasifikasi *Spirulina sp.* menurut Bold dan Wyne (1985) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Protista</i>
Divisi	: <i>Cyanophyta</i>
Kelas	: <i>Cyanophyceae</i>
Ordo	: <i>Nostocales</i>
Famili	: <i>Oscillatoriaceae</i>
Genus	: <i>Spirulina</i>
Spesies	: <i>Spirulina sp.</i>



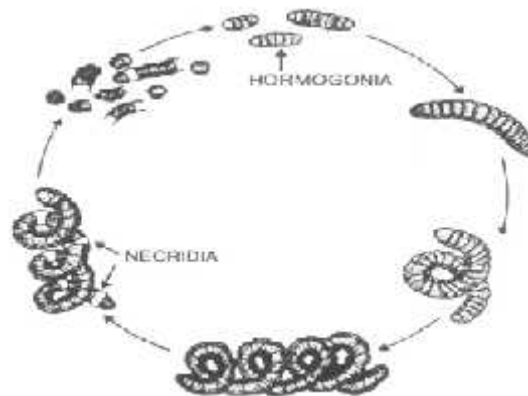
Gambar 2. *Spirulina sp.*

Sumber: Cifferi, 1983 dan Henrickson, 1989

Struktur sel *Spirulina sp.* hampir sama dengan tipe sel alga lainnya dari golongan *cyanobacteria*. Dinding sel merupakan dinding sel gram-negatif yang terdiri dari 4 lapisan, dengan lapisan utamanya tersusun dari peptidoglikan yang membentuk lapisan koheren. Peptidoglikan berfungsi sebagai pembentukan pergerakan pada *Spirulina sp.* yang membentuk spiral teratur dengan lebar belokan 26-28 μm , sedangkan sel-sel pada trikoma memiliki lebar 6-8 μm . Bagian tengah dari nukleoplasma mengandung beberapa karboksosom, ribosom, badan silindris, dan lemak. Membran tilakoid berasosiasi dengan pikobilisom yang tersebar disekeliling sitoplasma. *Spirulina sp.* mempunyai kemampuan untuk berfotosintesis dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat.

2.5. Reproduksi *Spirulina sp.*

Reproduksi *Spirulina sp.* terjadi secara asexual (pembelahan sel) yaitu dengan memutus filamen menjadi satuan- satuan sel yang membentuk filamen baru. Ada tiga tahap dasar pada reproduksi *Spirulina sp.* yaitu proses fragmentasi trikoma, pembesaran dan pematangan sel hormogonia, serta perpanjangan trikoma. Sel. Selanjutnya trikoma dewasa dapat dibagi menjadi filamen atau hormogonia, dan sel-sel di hormogonia akan meningkat melalui pembelahan biner, tumbuh memanjang dan membentuk spiral (Hongmei Gong *et al.*, 2008).



Gambar 3. Siklus Hidup *Spirulina* sp.

Sumber: Hongmei Gong *et al.*, 2008

Siklus reproduksi mikroalga tersebut berlangsung melalui pembentukan hormogonium yang dimulai ketika salah satu atau beberapa sel yang terdapat di tengah-tengah trikoma yang mengalami kematian dan membentuk badan yang disebut cakram pemisah berbentuk bikonkaf. Sel-sel mati yang disebut nekrida tersebut akan putus dengan segera, kemudian trikoma terfragmentasi menjadi koloni sel yang terdiri atas 2-4 sel yang disebut hormogonia dan memisahkan diri dari filamen induk untuk menjadi trikoma baru. Hormogonia memperbanyak sel dengan pembelahan pada sel terminal. Tahap akhir proses pendewasaan sel ditandai terbentuknya granula pada sitoplasma dan perubahan warna sel menjadi hijau kebiruan (Cifferi, 1983).

2.6. Kandungan Nutrisi *Spirulina* sp.

Analisis kimia dari *Spirulina* sp. dimulai pada tahun 1970 yang menunjukkan *Spirulina* sp. sebagai sumber yang sangat kaya protein, vitamin dan mineral. Secara garis besar kandungan nutrisi yang ada pada *Spirulina* sp. berupa protein 60-70%, karbohidrat 15-25%, lemak 6-8%, mineral 7-13%, serat 8-10%, dan kadar air 3%.

A. Kandungan Protein

Protein adalah zat organik yang mengandung karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, sulfur, dan fosfor. Protein sangat dibutuhkan oleh setiap organisme dan mikroorganisme dalam kelangsungan hidupnya. Protein berguna untuk metabolisme sel, pembentukan jaringan, dan lain-lain. (Tabel 2)

Tabel 2. Kandungan protein *Spirulina sp.*

Jenis makanan	Kandungan protein (%)
<i>Spirulina</i>	60-70
Daging dan ikan	15-25
Ayam	24
Kacang kedelai	35
Susu bubuk	35
Kacang-kacangan	25
Telur	12
Biji-bijian	14-18
Susu pada umumnya	3

Sumber: K. Kabinawa I Nyoman (2006)

B. Kandungan Asam Amino

Asam amino merupakan komponen utama penyusun protein, yang dibagi dalam dua kelompok, yaitu asam amino esensial dan non esensial. Asam amino esensial tidak dapat diproduksi dalam tubuh sehingga sering harus ditambahkan dalam bentuk makanan, sedangkan asam amino non esensial dapat diproduksi dalam tubuh. Asam amino esensial terdiri dari *lysin*, *methionin*, *valin*, *histidin*, *fenilalanin*, *arginin*, *isoleusin*, *threonin*, *leusin*, dan *triptofan*. Asam amino non esensial terdiri dari asam aspartat, asam glutamat, *alanin*, *tirosin*, *sistin*, *glisin*, *serin*, *prolin*, *hidroksilin*, glutamin, dan hidroksiprolin. (Tabel 3.)

Tabel 3. Kandungan asam amino *Spirulina sp.*

Asam amino	Standar USFDA (mg)	<i>Spirulina sp.</i> (mg)	Telur (mg)
<i>Isoleucine</i>	270	350	420
<i>Leucine</i>	306	540	560
<i>Lyysine</i>	270	290	410
<i>Methionine</i>	144	140	200
<i>Phenilalanine</i>	180	280	370
<i>Threonine</i>	180	320	320
<i>Tryptophane</i>	90	90	100
<i>Valine</i>	270	400	480

Sumber: K. Kabinawa I Nyoman (2006)

C. Kandungan Asam Lemak

Asam lemak *Spirulina* tersusun atas berbagai bahan seperti *myristic*, *palmitic*, *palmitolic*, *heptadecanoic*, *stearic*, *oleic*, *linoleic*, dan *gamma lenoleic*.

Tabel 4. menjelaskan tentang Kandungan asam lemak *Spirulina sp.*

Tabel 4. Kandungan asam lemak *Spirulina sp.*

Jenis Asam Lemak	Kandungan/10g (mg)	Persentase(%)
<i>Myristic (C14:0)</i>	1	0,2
<i>Palmitic (C16:0)</i>	224	45,0
<i>Palmitolic (C16:1)</i>	33	6,0
<i>Heptadecanoic (C17:0)</i>	2	0,3
<i>Stearic (C17:0)</i>	8	1,3
<i>Oleic (C18:1)</i>	12	2,2
<i>Linoleic (C18:2)</i>	97	17,8
<i>Gamma Lenoleic (C18:3)</i>	135	24,7
<i>Lainnya (C20)</i>	14	2,5
<i>Total</i>	546	100,0

Sumber: Henrickson (2009)

D. Kandungan Pigmen

Kandungan pigmen atau zat warna yang ada pada *Spirulina sp.* adalah klorofil a (bewarna hijau) sebesar 0,8-1,5%, karotenoid (*orange*) sebesar 0,65%, beta-karotin (*orange-merah*) sebesar 28%, *phycocyanin* (biru) sebesar 20%, dan *xanthofil* sebesar 0,69%. (Tabel 5.)

Tabel 5. Kandungan zat pigmen *Spirulina/10g*

Jenis Pigmen	Kandungan (mg)	Persentase(%)
<i>Phycocyanin</i> (Biru)	1.500-2.000	15-20
Klorofil a (Hijau)	115	1,15
Karotenoid (<i>Orange</i>)	37	0,37

Sumber: K. Kabinawa I Nyoman (2006)

E. Kandungan Karotenoid

Karotenoid merupakan pigmen organik yang terdapat secara alami pada khromoplast dari tanaman, organisme fotosintesis seperti alga (*Spirulina sp.*) serta beberapa tipe dari jamur dan bakteri. Karotenoid menunjukkan aktivitas biologis sebagai anti oksidan, mempengaruhi regulasi pertumbuhan sel, dan memodulasi ekspresi gen dan respon kekebalan tubuh. Karatenoida memegang dua peranan penting pada tanaman dan alga yaitu untuk menyerap energi cahaya yang

akan digunakan dalam proses fotosintesis dan melindungi klorofil dari fotodamage (Armstrong G.A., Hearst J.E., 1996). (Tabel 6.)

Tabel 6. Kandungan karotenoid *Spirulina* (mg/10g) biomassa

Jenis Pigmen	Persentase(%)
<i>Beta-Karotenoid</i>	15
<i>Echinenone</i>	11-13
<i>Beta-Cryptoxanthin</i>	6-8
<i>Zeaxanthin</i>	25
<i>Diatoxanthin</i>	5
<i>Canthaxanthin</i>	5
<i>Myxoxanthophyll</i>	13-17
<i>Ocillaxanthin</i>	3-5
<i>Hydroxyechinenone</i>	7-11
<i>Beta-Cryptoxanthin</i>	6-8
<i>Total unidentified</i>	3-4

Sumber: K. Kabinawa I Nyoman (2006)

F. Kandungan Vitamin

Spirulina mengandung karotenoid yang tinggi. Karotenoid tertinggi yang ditemukan di *Spirulina* adalah beta karotein yang bisa dikonversi menjadi vitamin A, dan vitamin B. (Tabel 7.)

Tabel 7. Kandungan *Spirulina* dalam 10 g biomassa atau 20 tablet

Jenis/macam vitamin	Kandungan	USRDA	% USRDA
Vitamin A (Beta-Karotin)	23.000 IU	5.000 IU	480
Vitamin B1 (<i>thiamin</i>)	0,31 mg	1,5 mg	21
Vitamin B2 (<i>Rioflavin</i>)	0,35 mg	1,7 mg	21
Vitamin B3 (<i>Niacin</i>)	1,46 mg	20 mg	7
Vitamin B6 (<i>Pyridoxine</i>)	80 mcg	2 mg	4
Vitamin B12 (<i>Cobalamine</i>)	32 mcg	6 mcg	533
Vitamin C	0,5 mg	60 mg	0,8
Vitamin D	1 IU	400 IU	-
Vitamin E (<i>Omega-Tocoferol</i>)	1 IU	30 IU	3
<i>Folacine</i>	1 mcg	400 mcg	-
<i>Panthotetic Acid</i>	10 mcg	10 mg	1
<i>Bipotin</i>	0,5 mcg	-	-
<i>Inositol</i>	6,4 mg	-	-

Sumber: Henrickson (2009)

G. Kandungan Mineral Organik

Jumlah mineral esensial yang terkandung dalam *Spirulina* hampir sekitar 3-7 %. Mineral-mineral ini terakumulasi di dalam mikroalga dan berasal dari

mineral yang terkandung dalam media pertumbuhan dan juga dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan pH. (Tabel 8.)

Tabel 8. Kandungan mineral *Spirulina*/10 g biomassa

Jenis mineral	Kandungan		Standar USRDA	% USRDA	
	Sp-H	Sp-V		Sp-H	Sp-V
Calcium	100 mg	70 mg	1000 mg	10	7
Chromium	28 mcg	28 mcg	200 mcg	16	16
Copper	120 mcg	120 mcg	2 mg	6	6
Zat besi	15 mg	15 mg	18 mg	83	83
Magnesium	40 mg	40 mg	400 mg	10	10
Mangan	500 mcg	500 mcg	3 mg	17	17
Fosfor	90 mg	80 mg	1000 mg	9	8
Kalsium	160 mg	140 mg	6 g	3	2
Natrium	60 mg	90 mg	2-5 g	1	2
Zinc	300 mcg	300 mcg	15 mg	2	2

Sumber: K. Kabinawa I Nyoman (2006)

2.7. Faktor – Faktor Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroalga dalam kultur dapat ditandai dengan bertambah besarnya ukuran sel atau bertambahnya jumlah sel. Pertumbuhan ini dapat dilihat dari semakin meningkatnya tingkat kepadatan sel pada kultur. Lingkungan tempat tumbuh harus dapat dikondisikan sehingga memenuhi semua kebutuhan yang diperlukan oleh mikroalga agar dapat tumbuh optimal. Faktor - faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga antara lain adalah sebagai berikut.

1. Media

Media kultur mikroalga dibedakan menjadi dua jenis yaitu media sintetik dan media alami. Media sintetik yang sering digunakan dalam kultur mikroalga antara lain media *Conwy*, *Walne*, dan *NPF_e*. Media alami yang telah berhasil digunakan sebagai media kultur mikroalga yaitu ekstrak tauge, limbah cair tapioka, kelapa sawit, ampas tahu, dan air kelapa.

Nutrien utama pada media kultur mikroalga adalah N, namun terkadang N pada media dalam bentuk anorganik seperti nitrit (NO₂) dan nitrat (NO₃), akan tetapi mikroalga umumnya dapat menggunakan NO₃, NO₂, atau amonium (NH₄) sebagai sumber N dengan tingkat pertumbuhan yang sama terlepas bentuknya organik maupun anorganik (Borowitzka, 1988).

2. Faktor Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan *Spirulina sp.* diantaranya yaitu salinitas adalah suhu, cahaya, pH, salinitas, agitasi, dan aerasi. (Vonshak, 1986).

a. Suhu

Penurunan suhu pada lingkungan kultur akan dapat menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan meningkatnya derajat lipid tidak jenuh di dalam sistem membran, sedangkan peningkatan suhu akan merangsang aktivitas molekul sehingga laju difusi meningkat (Borowitzka dan Borowitzka, 1988). Menurut Taw (1990), kisaran suhu optimal untuk *Spirulina sp.* skala laboratorium adalah 25-35°C.

b. pH

Nilai pH pada media tumbuh mikroalga akan menentukan kemampuan biologi mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara, sehingga pH optimum sangat penting untuk menunjang pertumbuhan *Spirulina sp.* yang optimal. Nilai pH yang baik untuk pertumbuhan *Spirulina sp.* berkisar antara 7-9. (Suryati, 2002).

c. Cahaya

Cahaya dalam kultur mikroalga skala laboratorium biasanya cukup dengan menggunakan lampu TL atau neon. Cahaya merupakan sumber energi bagi mikroalga untuk dapat melakukan fotosintesis. Pencahayaan pada kultur dapat dipengaruhi oleh tingkat intensitas pencahayaan, lamanya pencahayaan dan bergantung dari kepadatan sel yang akan mempengaruhi pembentukan bayangan sel itu sendiri. Intensitas cahaya yang optimal untuk pertumbuhan *Spirulina sp.* berkisar antara 1500-3000 lux dan tidak melebihi 4000 lux untuk menghindari fotoinhibisi (Richmond, 1986).

d. Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam dalam air. Bagi golongan air lau/payau, salinitas sangat penting untuk mempertahankan tekanan osmotik

antara protoplasma dari organisme dengan air sebagai lingkungan hidupnya. Hal ini akan berpengaruh pada proses metabolismenya. Kisaran salinitas yang paling optimum untuk pertumbuhan mikroalga *Spirulina sp.* adalah 20-40 ppt.

e. Agitasi

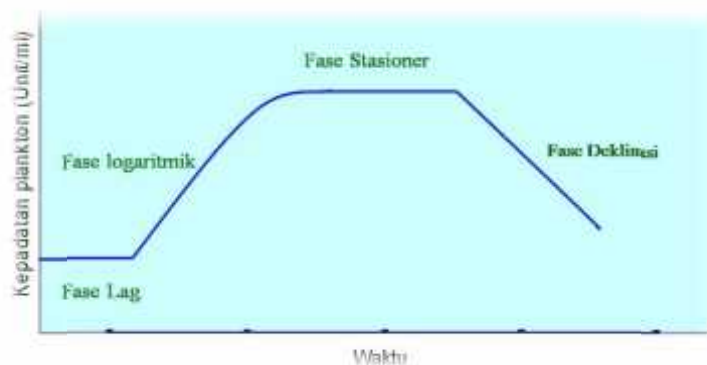
Agitasi atau proses pengadukan merupakan faktor yang penting dalam mengoptimalkan proses pertumbuhan *Spirulina sp.*

f. Aerasi

Pemberian aerasi tersebut akan dapat memberikan udara ke dalam media tumbuh. Dalam kultur *Spirulina sp.* aerasi diperlukan mencegah terjadinya pengendapan, meratakan nutrisi, membuat gerakan untuk terjadinya pertukaran udara (penambahan CO₂) dan dalam skala massal untuk mencegah terjadinya stratifikasi suhu (Novrina, 2003). Dalam aerasi, selain terjadi proses pemasukan gas-gas yang diperlukan dalam proses fotosintesis juga akan timbul gesekan-gesekan gelembung udara dan molekul-molekul air sehingga terjadi sirkulasi air. Hal ini sangat penting untuk mempertahankan suhu tetap homogen serta penyinaran dan nutrisi tetap merata.

2.8. Fase Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroalga dibagi menjadi empat fase yaitu fase lag, fase eksponensial (logaritmik), fase stasioner, dan fase deklinasi (Gambar 4).



Gambar 4. Fase pertumbuhan mikroalga

Sumber: Winasis, 2011

1. Fase Lag

Fase lag adalah fase adaptasi dimana terjadi penyesuaian sel terhadap lingkungan baru. Pada saat adaptasi, sel mengalami defisiensi enzim atau koenzim, sehingga harus disintesis dahulu untuk berlangsungnya aktivitas biokimia sel selanjutnya. Lamanya fase adaptasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu media, lingkungan pertumbuhan, dan jumlah inokulan.

2. Fase Eksponensial

Pada fase eksponensial mikroalga membelah dengan cepat dan konstan sehingga kepadatan sel akan meningkat mengikuti kurva logaritmik.

3. Fase Stasioner

Fase stasioner merupakan fase dengan pertumbuhan yang mulai mengalami penurunan dibandingkan fase eksponensial. Brown *et al.* (1997) menjelaskan bahwa pada saat kultur berada pada fase stasioner, komposisi mikroalga berubah secara signifikan karena terbatasnya kandungan nitrat pada media kultur yang mengakibatkan kandungan karbohidrat meningkat hingga dua kali lipat dari kandungan protein.

4. Fase Deklinasi

Fase deklinasi (kematian) merupakan fase ketika terjadi penurunan jumlah atau kepadatan mikroalga. Kematian sel dapat disebabkan oleh mulai berkurangnya nutrisi yang tersedia sehingga tidak mampu mendukung pertumbuhan sel, penurunan kualitas air, dan akumulasi metabolit (NO_2^- dan NH_4^+). Akibatnya laju kematian sel lebih besar dibandingkan dengan laju penambahan sel (Lavens dan Sorgeloos, 1996).

2.7. Biodiesel

Nama biodiesel telah disetujui oleh Department of Energi (DOE), *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *American Society of Testing Material* (ASTM), biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan

yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui esterifikasi dengan alkohol. Biodiesel dapat digunakan tanpa modifikasi ulang mesin diesel. Biodiesel juga dapat ditulis dengan B100, yang menunjukkan bahwa biodiesel tersebut murni 100% monoalkil ester. Biodiesel campuran ditandai dengan "BXX", yang mana "XX" menyatakan persentase komposisi biodiesel yang terdapat dalam campuran. B20 berarti terdapat biodiesel 20% dan minyak solar 80 %.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternative yang menjanjikan yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui esterifikasi dengan alkohol. Biodiesel dapat digunakan tanpa modifikasi ulang mesin diesel. Karena bahan bakunya berasal dari minyak tumbuhan atau lemak hewan, biodiesel digolongkan sebagai bahan bakar yang dapat diperbarui. Komponen karbon dalam minyak atau lemak berasal dari karbon dioksida diudara, sehingga biodiesel dianggap tidak menyumbang pemanasan global sebanyak bahan bakar fosil (Anonim,2012).

2.9. Standar Mutu Biodiesel (SNI)

Dari peraturan pengujian biodiesel berdasarkan peraturan dirjen migas No.002/P/DM/MIGAS/1979 tentang spesifikasi bahan bakar minyak dan gas dan standar pengujian SNI (Standar Nasional Indonesia) 7182-2006 dapat dianalisa :

1. Angka setana

Untuk bahan bakar motor diesel digunakan acuan Angka Setana, yaitu dengan bahan referensi normal setana ($C_{16}H_{34}$) yang tidak memiliki keterlambatan menyala dan aroma metil naptalen ($C_{10}H_7CH_3$) yang keterlambatannya besar sekali. Angka Setana dari biodiesel sebesar minimal 51 sedangkan standar dari solar sebesar 48, berarti angka Setana biodiesel 1,05 lebih rendah dari pada solar. Tetapi angka Setana dari biodiesel yang dihasilkan masih termasuk dalam kisaran standar biodiesel yaitu minimal 51. Pada mesin diesel udara dimampatkan sampai tekanan 30 sampai 40 kg/cm^2 , akibat pembakaran maka tekanan yang ada di dalam ruang bakar mencapai 60 sampai 65 kg/cm^2 . Pada kondisi ini diharapkan tidak ada keterlambatan dari

nyala agar kenaikan tekanan tidak terlalu tinggi. Kenaikan tekanan yang terlalu tinggi akan menyebabkan detonasi. Hambatan lain yaitu proses pembakaran tidak sempurna sehingga terbentuk jelaga.

2. **Kinematic Viscosity**

Standar kinematik *viscosity* dari biodiesel adalah sebesar 2,3 cSt sampai 6 cSt. Jika harga viskositas terlalu tinggi maka akan besar kerugian gesekan di dalam pipa, kerja pompa akan berat, penyaringanya sulit dan kemungkinan kotoran ikut terendap besar, serta sulit mengabutkan bahan bakar sebaliknya.

3. **Specific gravity**

Specific gravity dari biodiesel masih masuk dalam kisaran solar yaitu antara 0,82 sampai 0,95. Dari pengujian *specific gravity* pada 60 °F ini juga dapat ditentukan °API.

4. **Flash Point**

Flash Point merupakan angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dapat terbakar jika permukaan minyak tersebut didekatkan dengan nyala api. Titik nyala diperlukan untuk keperluan keamanan dalam penanganan minyak. Standar titik yang dihasilkan oleh biodiesel adalah 138-180 °C.

2.10 **Proses Pembuatan Biodiesel**

Biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. jika minyak berkadar FFA tinggi (>5%) langsung ditransesterifikasi dengan katalis basa maka FFA akan bereaksi dengan katalis membentuk sabun. Terbentuknya

sabun dalam jumlah yang cukup besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian. Esterifikasi digunakan sebagai proses pendahuluan untuk mengkonversikan FFA menjadi metil ester sehingga mengurangi kadar FFA dalam minyak nabati dan selanjutnya ditransesterifikasi dengan katalis basa untuk mengkonversikan trigliserida menjadi metil ester.

2.10.1 Metode Ekstraksi Lipid dari Mikroalga

Ekstraksi adalah proses penarikan kandungan kimia yang dapat larut sehingga terpisah dari bahan yang tidak larut dengan penyari. Prinsip ekstraksi adalah melarutkan senyawa polar dalam pelarut polar dan senyawa non-polar dalam senyawa non-polar. Ada beberapa metode ekstraksi senyawa yang umum digunakan, antara lain:

1. Maserasi

Maserasi merupakan proses perendaman sampel dengan pelarut organik yang digunakan pada suhu ruangan. Pemilihan pelarut untuk proses maserasi akan memberikan efektifitas yang tinggi dengan memperhatikan kelarutan senyawa bahan alam tersebut.

2. Perkolasi

Merupakan proses melewatkan pelarut organik pada sampel sehingga pelarut akan membawa senyawa organik bersama-sama pelarut. Efektifitas dari proses ini hanya akan lebih besar untuk senyawa organik yang sangat mudah larut dalam pelarut yang digunakan.

3. Sokletasi

Penggunaan soklet dengan pemanasan dan pelarut akan dapat dihemat karena terjadinya sirkulasi pelarut yang selalu membasahi sampel. Proses ini baik untuk senyawa yang tidak terpengaruh oleh panas.

4. Destilasi uap

Proses destilasi uap banyak digunakan untuk senyawa organik yang tahan pada suhu cukup tinggi, yang tinggi dari titik didih pelarut yang digunakan untuk minyak atsiri.

5. Pengempasan

Metode pemisahan dengan menggunakan tekanan untuk mendesak suatu bahan yang akan diekstrak dengan alat pengepres. Metode ini banyak digunakan dalam proses industri seperti pada isolasi senyawa dari buah kelapa sawit dan isolasi katekin dari daun gambir. Proses ini tidak menggunakan pelarut.

Faktor- faktor yang harus diperhatikan dalam ekstraksi antara lain:

1. Ukuran partikel
2. Zat pelarut
3. Temperatur
4. Pengadukan fluida

Pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksi lipid mikroalga adalah sebagai berikut;

a. Heksan

Heksana termasuk dalam alkana hidrokarbon dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$. Isomer-isomer heksan sebagian besar tidak rekatif, biasanya digunakan sebagai pelarut pada reaksi organik seperti untuk mengekstrak minyak karena sangat bersifat non-polar. Heksan dihasilkan dari proses penyulingan minyak mentah yang memiliki titik beku -95°C dan titik didih 69°C .

Prinsip ekstraksi adalah melarutkan minyak atsiri dalam bahan dengan pelarut organik yang mudah menguap. Proses ekstraksi biasanya dilakukan dalam wadah (ketel) yang disebut "extractor". Ekstraksi dengan pelarut organik umumnya digunakan untuk mengekstraksi minyak atsiri yang mudah rusak oleh pemanasan dengan uap dan air, terutama untuk mengekstrak minyak dari tumbuhan seperti bunga mawar, kemiri dan mikroalga. Pelarut yang biasanya

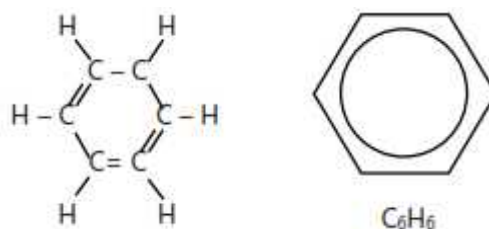
digunakan dalam ekstraksi yaitu: petroleum eter, benzena, n-heksan dan alkohol (Sofatul Monawaroh, 2010).

Heksana adalah sebuah senyawa hidrokarbon alkana dengan rumus kimia C_6H_{14} . Awalan heks- merujuk pada enam karbon atom yang terdapat pada heksana dan akhiran -ana berasal dari alkana, yang merujuk pada ikatan tunggal yang menghubungkan atom-atom karbon tersebut. Dalam keadaan standar senyawa ini merupakan cairan tak berwarna yang tidak larut dalam air (Sofatul Monawaroh, 2010).

Rumus molekul	: C_6H_{14}
Massa molar	: 86.18 g/mol
Tampilan	: cairan tak berwarna
Massa jenis	: 0.6548 g/mL
Titik leleh	: $-95\text{ }^\circ\text{C}$, 178 K, $-139\text{ }^\circ\text{F}$
Titik didih	: $69\text{ }^\circ\text{C}$, 342 K, $156\text{ }^\circ\text{Fs}$
Kelarutan dalam air	: 13 mg/L pada $20\text{ }^\circ\text{C}$
Kekentalan	: 0.294 cP
Dapat terbakar	
Titik picu nyala	: $-23.3\text{ }^\circ\text{C}$
Titik nyala otomatis	: $233.9\text{ }^\circ\text{C}$

b. Benzen

Benzen adalah hidrokarbon aromatik (cicin konjugat) yang bersifat tidak jenuh. Senyawa benzena mempunyai rumus molekul C_6H_6 .



Gambar 5. Struktur benzen

Sumber: perry's and Gree, D.E., 1984

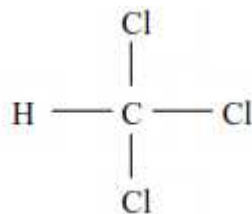
Sifat-sifat benzena (aromatik) antara lain:

1. Memiliki aroma sedap dan bersifat toksik.
2. Memiliki sifat-sifat senyawa organik umum.
3. Lebih mudah mengalami reaksi substitusi dibanding reaksi adisi.
4. Bersifat jenuh, walau memiliki ikatan rangkap.
5. Memiliki struktur Kekule (resonansi), dimana ikatan rangkap dapat berpindah.

Rumus	: C_6H_6
Massa molar	: 78,11 g/mol
Nama IUPAC	: Benzene
Titik didih	: $80,1^{\circ}C$
Kepadatan	: 876 kg/m^3
Titik lebur	: $5,5^{\circ}C$

c. Kloroform

Kloroform adalah nama umum untuk triklorometana ($CHCl_3$). Kloroform dikenal karena sering digunakan sebagai bahan pembius, meskipun kebanyakan digunakan sebagai pelarut non polar di laboratorium atau industri. Wujudnya pada suhu ruang berupa cairan, namun mudah menguap. Pada suhu normal dan tekanan, kloroform adalah cairan yang sangat mudah menguap, jernih, tidak berwarna, berat, sangat bias, tidak mudah terbakar.



Gambar 6. Gugus molekul kloroform

Sumber: Perry's and Gree, D.E., 1984

Molekul berat	: 113,4 g/mol
Titik didih	: $61,15^{\circ}C - 61,70^{\circ}C$

Melting point	: -63,2 sampai -63,5° C pada atm
Flash point	: tidak ada.
Kepadatan relatif uap (udara = 1)	: 4,1-4,36 kg / m pada 101 kPa, 0°C
Tekanan uap	: 21,15 kPa pada 20°C
Specific gravity	: 1,483 pada 20°C

d. Etanol

Etanol atau etil alkohol, C_2H_5OH , merupakan cairan yang tidak bewarna, larut dalam air, ester, aseton, benzen dan semua pelarut organik, serta memiliki bau khas alkohol. Etanol dipadang sebagai turunan dari etana, C_2H_6 , dengan salah satu atom H digantikan dengan gugus hidroksil. Gugus hidroksil akan membangkitkan polaritas pad molekul dan menimbulkan ikatan hidrogen antar molekul. Sifat-sifat kimia dan fisik etanol sangat bergantung pada gugus hidroksil.

Rumus	: C_2H_6O
Titik didih	: 78,37°C
Kepadatan	: 789 kg/m ³
Titik lebur	: -114,1°C
Massa molar	: 46,06844 g/mol
Nama IUPAC	: <i>ethanol</i>

2.10.2 Jenis dan Sifat Pengekstrak

Berdasarkan konstanta dielektrikumnya, pelarut organik dapat dibedakan menjadi dua yaitu pelarut polar dan non-polar. Konstanta dielektrikum dinyatakan sebagai gaya tolak menolak antara dua partikel yang bermuatan listtik dalam suatu molekul. Bila semakin tinggi konstanta dielektrikumnya maka pelarut bersifat semakin polar, demikian pula sebaliknya.

Senyawa organik memiliki afinitas yang berbeda terhadap sifat polaritas dari suatu penyari sehingga diperlukan macam pelarut organik yang berbeda tingkat polaritasnya. Ekstraksi akan menyebabkan pemisahan antara senyawa yang memiliki kelarutan yang besar (mudah larut) dengan senyawa yang

memiliki kelarutan yang lebih kecil dalam pelarut tersebut.

Syarat pelarut yang digunakan sebagai berikut:

1. Harus dapat melarutkan semua zat wangi bunga dengan cepat dan sempurna, dan sedikit mungkin melarutkan bahan seperti: lilin, pigmen, serta pelarut harus bersifat selektif.
2. Harus mempunyai titik didih yang cukup rendah, agar pelarut mudah diuapkan tanpa menggunakan suhu tinggi.
3. Pelarut tidak boleh larut dalam air.
4. Pelarut harus bersifat inert, sehingga tidak bereaksi dengan komponen minyak atsiri dari tanaman.
5. Pelarut harus mempunyai titik didih yang seragam, dan jika diuapkan tidak akan tertinggal dalam minyak.
6. Harga pelarut harus serendah mungkin dan tidak mudah terbakar

2.10.3. Distilasi

Destilasi adalah cara pemisahan zat cair dari campurannya berdasarkan perbedaan titik didih atau berdasarkan kemampuan zat untuk menguap. Dimana zat cair dipanaskan hingga titik didihnya, serta mengalirkan uap ke dalam alat pendingin (kondensor) dan mengumpulkan hasil pengembunan sebagai zat cair. Pada kondensor digunakan air yang mengalir sebagai pendingin. Air pada kondensor dialirkan dari bawah ke atas, hal ini bertujuan supaya air tersebut dapat mengisi seluruh bagian pada kondensor sehingga akan dihasilkan proses pendinginan yang sempurna. Saat suhu dipanaskan, cairan yang titik didihnya lebih rendah akan menguap terlebih dahulu. Uap ini akan dialirkan dan kemudian didinginkan sehingga kembali menjadi cairan yang ditampung pada wadah terpisah. Zat yang titik didihnya lebih tinggi masih tertinggal pada wadah semula.

Prinsip dari destilasi adalah penguapan dan pengembunan kembali uapnya dari tekanan dan suhu tertentu. Tujuan dari destilasi adalah pemurnian zat cair pada titik didihnya dan memisahkan cairan dari zat padat. Uap yang dikeluarkan dari campuran disebut sebagai uap bebas. Kondensat yang jatuh

sebagai destilat dan bagian cair yang tidak menguap sebagai residu. Apabila yang diinginkan adalah bagian bagian campurannya yang tidak teruapkan dan bukan destilatnya maka proses tersebut dinamakan pengentalan dengan evaporasi. Destilasi adalah sebuah aplikasi yang mengikuti prinsip-prinsip "Jika suatu zat dalam larutan tidak sama-sama menguap, maka uap larutan akan mempunyai komponen yang berbeda dengan larutanaslinya". Jika salah satu zat menguap dan yang lain tidak, pemisahan dapat terjadi sempurna. Tetapi jika kedua zat menguap tetapi tidak sama, maka pemisahannya hanya akan terjadi sebagian, akan tetapi destilat atau produk akan menjadi kaya pada suatu komponen dari pada larutan aslinya.

Proses distilasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut :

1. Distilasi Bertingkat

Distilasi bertingkat merupakan teknik atau proses pemisahan campuran berupa cairan yang bertujuan untuk memproses lebih dari 1 jenis komponen. Untuk tujuan ini, cairan yang menguap dilewatkan melalui kolom-kolom perangkat uap. Komponen yang lebih mudah menguap (bertitik didih rendah) cenderung mengembun (terperangkap) di kolom lebih atas dan komponen yang sukar menguap (bertitik didih tinggi) cenderung mengendap di kolom lebih bawah.

2. Distilasi Fraksional

Distilasi fraksional merupakan teknik pemisahan campuran berupa cairan heterogen yang bertujuan untuk memisahkan fraksi-fraksi (komponen) yang terdapat di dalam cairan tersebut. Pemisahan ini dilakukan dengan memanaskan cairan tersebut di dalam tabung bertingkat sehingga fraksi-fraksi yang terdapat pada cairan tersebut akan memisah dengan sendirinya, sesuai dengan titik didihnya. Proses pada distilasi fraksional hampir sama dengan proses pada distilasi bertingkat.

3. Distilasi Vakum

Distilasi vakum merupakan distilasi tanpa pemanasan dan berlangsung pada tekanan rendah. Tekanan diturunkan sampai terjadi pendidihan. Zat dengan titik didih paling rendah akan menguap lebih dahulu untuk selanjutnya diembunkan. Teknik ini diterapkan untuk pemisahan cairan yang mudah mengurai atau meledak jika dipanaskan.

4. Destilasi azeotrop

Digunakan dalam memisahkan campuran azeotrop (campuran campuran dua atau lebih komponen yang sulit di pisahkan), biasanya dalam prosesnya digunakan senyawa lain yang dapat memecah ikatan azeotrop tsb, atau dengan menggunakan tekanan tinggi.

Distilasi Azeotrop digunakan dalam memisahkan campuran azeotrop (campuran campuran dua atau lebih komponen yang sulit di pisahkan), biasanya dalam prosesnya digunakan senyawa lain yang dapat memecah ikatan azeotrop tsb, atau dengan menggunakan tekanan tinggi. Azeotrop merupakan campuran 2 atau lebih komponen pada komposisi tertentu dimana komposisi tersebut tidak bisa berubah hanya melalui distilasi biasa. Ketika campuran azeotrop dididihkan, fasa uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan fasa cairnya. Campuran azeotrop ini sering disebut juga constant boiling mixture karena komposisinya yang senantiasa tetap jika campuran tersebut dididihkan.

2.10.4. Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas (FFA) dengan alkohol rantai pendek (metanol atau etanol) menghasilkan metil ester asam lemak (FAME) dan air.

Esterifikasi adalah tahap konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Untuk mendorong agar reaksi bisa berlangsung ke konversi yang sempurna pada temperatur rendah, reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih dan air

produk ikutan reaksi harus disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Katalis yang digunakan untuk reaksi esterifikasi adalah asam, biasanya asam sulfat (H_2SO_4) atau asam fosfat (H_2PO_4). Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah :



Faktor-faktor yang mempengaruhi pada reaksi esterifikasi antara lain (Wulandari Dharsono, 2010) :

1. Waktu reaksi

Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antara zat semakin besar sehingga akan menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar hasil.

2. Pengadukan

Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi sehingga mempercepat reaksi dan reaksi terjadi sempurna.

3. Katalisator

Katalisator berfungsi untuk mengurangi tenaga aktivasi pada suatu reaksi sehingga pada suhu tertentu harga konstanta kecepatan reaksi semakin besar. Pada reaksi esterifikasi yang sudah dilakukan biasanya menggunakan katalis antara 1-4% berat sampai 10% berat campuran pereaksi (Mc.Ketta1978).

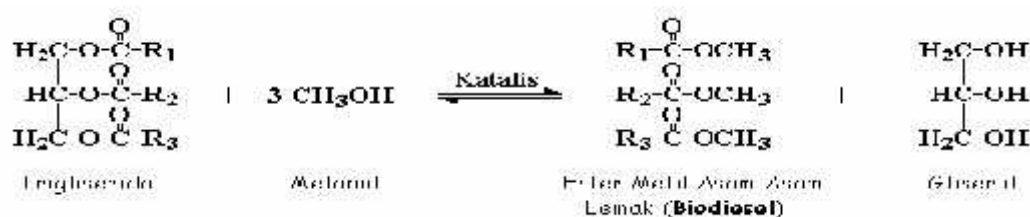
4. Suhu reaksi

Semakin tinggi suhu yang dioperasikan maka semakin banyak konversi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Bila suhu naik maka harga k makin besar sehingga reaksi berjalan cepat dan hasil konversi makin besar.

2.10.5. Transesterifikasi

Transesterifikasi (biasa disebut dengan alkoholisis) adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkyl ester, melalui reaksi dengan alkohol, dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, methanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini, biodiesel praktis identik dengan ester metil asam-asam lemak (Fatty Acids Metil Ester, FAME).

Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah :



Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat.

Hal-hal yang Mempengaruhi Reaksi Transesterifikasi

Beberapa kondisi reaksi yang mempengaruhi konversi serta perolehan biodiesel melalui transesterifikasi adalah sebagai berikut (*lukman arif,2013*):

a. Pengaruh air dan asam lemak bebas

Minyak nabati yang akan ditransesterifikasi harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari 1. Banyak peneliti yang menyarankan agar kandungan asam lemak bebas lebih kecil dari 0.5% (<0.5%). Selain itu, semua bahan yang akan digunakan harus bebas dari air. Karena air akan bereaksi dengan katalis, sehingga jumlah katalis menjadi berkurang. Katalis harus terhindar dari kontak dengan udara agar tidak mengalami reaksi dengan uap air dan karbon dioksida.

b. Pengaruh perbandingan molar alkohol dengan bahan mentah

Secara stoikiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 3 mol untuk setiap 1 mol trigliserida untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Perbandingan alkohol dengan minyak nabati 4,8:1 dapat menghasilkan konversi 98%. Secara umum ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, maka konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah. Pada rasio molar 6:1, setelah 1 jam konversi yang dihasilkan adalah 98-99%, sedangkan pada 3:1 adalah 74-89%. Nilai perbandingan yang terbaik adalah 6:1 karena dapat memberikan konversi yang maksimum.

c. Pengaruh jenis alkohol

Pada rasio 6:1, metanol akan memberikan perolehan ester yang tertinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol atau butanol.

d. Pengaruh jenis katalis

Alkali katalis (katalis basa) akan mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Katalis basa yang paling populer untuk reaksi transesterifikasi adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium metoksida (NaOCH_3), dan kalium metoksida (KOCH_3).

Katalis sejati bagi reaksi sebenarnya adalah ion metilat (metoksida). Reaksi transesterifikasi akan menghasilkan konversi yang maksimum dengan jumlah katalis 0,5-1,5% minyak nabati. Jumlah katalis yang efektif untuk reaksi adalah 0,5% minyak nabati untuk natrium metoksida dan 1% minyak nabati untuk natrium hidroksida.

2.11. Katalis

Katalis pertama kali diperkenalkan oleh Joris Jacob Berzelius pada tahun 1835, yang menerangkan suatu fenomena yaitu adanya sejumlah zat asing yang ditambahkan pada suatu campuran reaksi membuat reaksi berjalan dengan cepat. Katalis adalah zat yang ditambahkan pada reaksi kimia dengan tujuan untuk mempercepat reaksi tersebut.

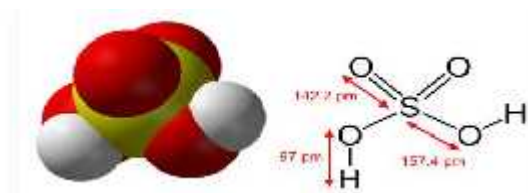
Katalis mempunyai beberapa sifat, yaitu :

- Katalis tidak berubah selama reaksi. Ada kemungkinan katalis ikut dalam reaksi tetapi setelah reaksi berakhir katalis tersebut diperoleh kembali (kembali seperti semula).
- Katalis tidak mempengaruhi kesetimbangan reaksi. Katalis hanya mempercepat reaksi dalam mencapai kesetimbangan sebab semua reaksi berakhir dengan kesetimbangan.
- Katalis tidak mengawali suatu reaksi. Reaksi yang dikatalisater harus sudah berjalan walaupun sangat lambat.

- Asam Sulfat (H_2SO_4)

Katalis asam sulfat merupakan katalis yang umum digunakan dalam sintesis biodiesel. Asam sulfat sangat korosif dan reaksi hidrasi dengan air sangat eksotermis. Sifat korosif asam sulfat dapat merusak benda-benda dari logam, karena logam akan teroksidasi baik dengan asam sulfat encer maupun pekat (Etna Rufiati, 2011).

Asam Sulfat (H_2SO_4), juga merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat. Dalam keadaan encer, belum menunjukkan sifatnya sebagai oksidator, jadi masih bersifat seperti asam-asam biasanya, seperti asam halida. Walaupun encer, larutan asam sulfat dapat membuat kulit kita gatal. Dalam keadaan pekat, sifat oksidator dari asam ini muncul. Asam sulfat pekat biasanya digunakan untuk reaksi senyawa-senyawa organik, karena senyawa organik lambat reaksinya. Jadi, butuh yang kuat-kuat untuk reaksi senyawa organik tersebut (Tama Jordan, 2011).



Gambar 7. Struktur Asam Sulfat

Sumber: Sumber: perry's and Gree, D.E., 1984

Nama data	: Asam Sulfat
Nama sinonim	: Oil of Vitriol, Battery Acid, Fertilizer Acid
Nama Inggris	: Sulphuric Acid
LKB	: 001-98
CAS	: 7664-93-9
Rumus molekul	: H_2SO_4
Berat molekul	: 98,08

Sifat-sifat bahaya

- Kesehatan Efek jangka pendek :
Penghirupan uap asam menyebabkan iritasi pada hidung dan tenggorokan serta mengganggu paru-paru. Cairan asam dapat merusak kulit dan menimbulkan luka yang amat sakit. Dapat menimbulkan kebutaan bila terkena mata.
- Efek jangka panjang :
Penghirupan uap asam kadar kecil dalam jangka panjang berakibat iritasi pada hidung, tenggorokan dan paru-paru.

Kebakaran : Tidak terbakar, tetapi asam pekat bersifat oksidator yang dapat menimbulkan kebakaran bila kontak dengan zat organik seperti gula, selulosa dan lain-lain. Amat reaktif dengan bubuk zat organik.

Reaktivitas : Mengalami penguraian bila kena panas, mengeluarkan gas SO_2 . Asam encer bereaksi dengan logam menghasilkan gas hidrogen yang eksplosif bila kena nyala atau panas. Asam sulfat bereaksi hebat dengan air.

Sifat-sifat fisika

Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	: 10
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	: 290

Tekanan uap (mmHg)	: 1 (146 °C)
Berat jenis cairan	: 1,84 (100 persen)
Berat jenis uap	: 3,4 (udara = 1)
Bau	: -

2.12 Alkohol

Alkohol adalah suatu senyawa organik yang tersusun dari unsur-unsur karbon, hidrogen dan oksigen. Terdapat di alam terutama dalam bentuk ester. Merupakan senyawa yang penggunaannya, terutama sebagai pelarut senyawa organik disamping untuk pembuatan senyawa-senyawa organik lain.

Ditinjau dari rumus umumnya alkohol dapat dibedakan menjadi :

1. Monohidroksi alkohol, yaitu alkohol yang mengandung satu gugus hidroksida.
2. Polihidroksi alkohol, yaitu alkohol yang mengandung lebih dari satu gugus hidroksi.

Ditinjau dari tempat terikatnya gugus OH dapat dibedakan menjadi :

- a. Alkohol primer
- b. Alkohol sekunder
- c. Alkohol Tersier

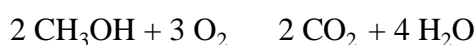
Sifat-sifat Alkohol antara lain berbentuk cairan, tidak berwarna dan bersifat polar. Alkohol dapat bercampur dengan air secara sempurna dan memiliki titik didih lebih tinggi dari alkil halida / eter. Semakin panjang rantai C-nya maka titik didihnya semakin tinggi, Alkohol suku rendah berbentuk zat cair, suku sedang berbentuk zat cair kental dan suku tinggi berupa padatan. Sifat-sifat kimia alkohol antara lain Alkohol bereaksi membentuk ester, dapat bereaksi dengan asam sulfat pekat, alkohol primer dioksidasi akan menghasilkan aldehid dan alkohol sekunder dioksidasi akan menghasilkan keton sedangkan alkohol tersier tidak dapat dioksidasi.

Syarat pelarut yang digunakan (Sofatul Monawaroh, 2010) sebagai berikut:

1. Harus dapat melarutkan semua zat wangi bunga dengan cepat dan sempurna, dan sedikit mungkin melarutkan bahan seperti: lilin, pigmen, serta pelarut harus bersifat selektif.
2. Harus mempunyai titik didih yang cukup rendah, agar pelarut mudah diuapkan tanpa menggunakan suhu tinggi.
3. Pelarut tidak boleh larut dalam air.
4. Pelarut harus bersifat inert, sehingga tidak bereaksi dengan komponen minyak.
5. Pelarut harus mempunyai titik didih yang seragam, dan jika diuapkan tidak akan tertinggal dalam minyak.
6. Harga pelarut harus serendah mungkin,
7. Tidak mudah terbakar.

- **Metanol (CH₃OH)**

Metanol juga dikenal sebagai metil alkohol, *wood alcohol* atau spiritus, adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CH₃OH. Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer, metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol). Metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan additif bagi etanol industri Metanol diproduksi secara alami oleh metabolisme anaerobik oleh bakteri. Hasil proses tersebut adalah uap metanol (dalam jumlah kecil) di udara. Setelah beberapa hari, uap metanol tersebut akan teroksidasi oleh oksigen dengan bantuan sinar matahari menjadi karbon dioksida dan air. Reaksi kimia metanol yang terbakar di udara dan membentuk karbon dioksida dan air adalah sebagai berikut (Maharani Nurul Hikmah, 2010):



Api dari metanol biasanya tidak berwarna. Oleh karena itu, kita harus

berhati-hati bila berada dekat metanol yang terbakar untuk mencegah cedera akibat api yang tak terlihat. Karena sifatnya yang beracun, metanol sering digunakan sebagai bahan additif bagi pembuatan alkohol untuk penggunaan industri. Metanol kadang juga disebut sebagai *wood alcohol* karena ia dahulu merupakan produk samping dari distilasi kayu. Saat ini metanol dihasilkan melalui proses multi tahap. Secara singkat, gas alam dan uap air dibakar dalam tungku untuk membentuk gas hidrogen dan karbon monoksida, kemudian, gas hidrogen dan karbon monoksida ini bereaksi dalam tekanan tinggi dengan bantuan katalis untuk menghasilkan metanol. Tahap pembentukannya adalah endotermik dan tahap sintesisnya adalah eksotermik (Maharani Nurul Hikmah,2010).

Sifat - Sifat Metanol

Sifat – sifat fisik dan kimia metanol ditunjukkan sebagai berikut (*Perry,1984*):

Massa molar : 32.04 g/mol

Wujud cairan tidak berwarna

Specific gravity :0.7918

Titik leleh : -97 °C, -142.9 °F (176 K)

Titik didih : 64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)

Kelarutan dalam air sangat larut

Keasaman (pKa) : ~ 15.5

Kegunaan Metanol

Metanol digunakan secara terbatas dalam mesin pembakaran dalam, dikarenakan metanol tidak mudah terbakar dibandingkan dengan bensin. Metanol campuran merupakan bahan bakar dalam model radio kontrol. Salah satu kelemahan metanol sebagai bahan bakar adalah sifat korosi terhadap beberapa logam, termasuk aluminium. Metanol, merupakan asam lemah, menyerang lapisan oksida yang biasanya melindungi aluminium dari korosi (Zuliyana,2010):



Ketika diproduksi dari kayu atau bahan organik lainnya, metanol organik tersebut merupakan bahan bakar terbaru yang dapat menggantikan hidrokarbon.

Namun mobil modern pun masih tidak bisa menggunakan BA 100 (100% bioalkohol) sebagai bahan bakar tanpa modifikasi. Metanol juga digunakan sebagai solven dan sebagai anti *freeze*, dan fluida pencuci kaca depan mobil. Penggunaan metanol terbanyak adalah sebagai bahan pembuat bahan kimia lainnya. Sekitar 40% metanol diubah menjadi formaldehyde, dan dari sana menjadi berbagai macam produk seperti plastik, *plywood*, cat, peledak, dan tekstil. Dalam beberapa pabrik pengolahan air limbah, sejumlah kecil metanol digunakan ke air limbah sebagai bahan makanan karbon untuk denitrifikasi bakteri, yang mengubah nitrat menjadi nitrogen. Bahan bakar direct-methanol unik karena suhunya yang rendah dan beroperasi pada tekanan atmosfer, ditambah lagi dengan penyimpanan dan penanganannya yang mudah dan aman membuat methanol dapat digunakan dalam perlengkapan elektronik (Maharani Nurul Hikmah,2010).