

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mikroalga**

Mikroalga termasuk kelompok tumbuhan tingkat rendah berukuran mikroskopik yang hidup diperairan tawar maupun laut. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler dapat berupa koloni maupun hidup secara individual, umumnya bersifat fotosintetik karena hidup dengan memanfaatkan energi cahaya. Mikroalga kaya akan nutrisi yang dapat dikembangkan sebagai sumber bahan baku industri farmasi, kosmetika, dan biofuel (Ghufran, 2010)

Mikroalga dapat berpotensi menghasilkan biofuel dalam jumlah yang sangat besar. Biofuel adalah bahan bakar padat, cair, ataupun gas yang merupakan derivasi atau turunan dari biomassa organisme (Garofalo, 2009). Salah satu contoh biofuel yang berasal biomassa organisme adalah biodiesel. Biodiesel adalah asam lemak metil ester yang berasal dari minyak nabati dan lemak atau lipid hewani. Biodiesel yang berasal dari proses transesterifikasi ini dapat dipakai secara langsung ataupun dicampur dengan bahan bakar diesel lain untuk digunakan di dalam mesin (Pangabean, 2010).

Biodiesel termasuk bahan bakar yang berpotensi dapat diperbaharui yang menarik perhatian dunia. Biodiesel diproduksi oleh mikroalga menggunakan metode yang ada dan keberadaannya tidak dapat menggantikan minyak fosil yang dijadikan

bahan bakar. Biodiesel diperoleh dari perubahan minyak (trigleserida) dan asam lemak menjadi asam lemak metal ester melalui proses transesterifikasi, dalam reaksi tersebut ke dua senyawa itu dipanaskan dengan senyawa monoalkohol (biasanya methanol ataupun etanol) menggunakan katalis asam, basa ataupun enzim (Bayu, 2010). Tingginya potensi bahan bakar dari mikroalga ini dapat dijadikan sebagai biofuel karena minyak mikroalga mengandung lipid yang cocok untuk transesterifikasi (Garofalo, 2009).

Chisti (2007) mengatakan bahwa biodiesel dapat dihasilkan dari berbagai jenis tanaman. Saat ini yang umum digunakan sebagai sumber biodiesel adalah minyak sawit, jarak, jagung sebagai campuran solar. Pada (Tabel 2.1) menunjukkan berbagai jenis tanaman dan volume biodiesel yang dapat diproduksinya.

Tabel 2.1. Produksi minyak dari berbagai jenis tanaman

| Tanaman             | Produksi minyak (Liter/Hektar) | Kebutuhan Lahan Produksi (Hektar) |
|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Jagung              | 172                            | 93.625.000                        |
| Soybean             | 446                            | 36.106.000                        |
| Biji bunga matahari | 1.190                          | 13.532.000                        |
| Jarak               | 1.892                          | 8.511.000                         |
| Kelapa              | 2.689                          | 5.989.000                         |
| Kelapa sawit        | 5.950                          | 2.706.000                         |
| Mikroalga 30% *     | 58.700                         | 274.000                           |

Keterangan: \* Asumsi kandungan minyak 30% dalam biomasa basah (Chisti, 2007).

Apabila dilihat dari (Tabel 2.1) di atas, sebagian besar tanaman penghasil biodiesel adalah jenis tanaman pangan. Hal ini kurang baik karena dikhawatirkan permintaan pasar akan biodiesel tersebut akan berkompetisi dengan permintaan pasar untuk tanaman pangan, sehingga stabilitas pangan dunia dapat terganggu. Solusinya, biodiesel sebaiknya diproduksi bukan dari tanaman pangan (Chisti, 2007).

Mikroalga termasuk tumbuhan rendah yang sangat produktif dan dapat mengungguli tanaman lain seperti kelapa sawit, jarak, jagung dan lain-lain sebagai sumber biodiesel. Keberadaan mikroalga tidak menuntut ketersediaan lahan budidaya yang besar, karena mikroalga hanya membutuhkan ketersediaan air sebagai media tumbuhnya. Mikroalga dapat dikulturkan secara massal dan biomasnya diolah menjadi sumber energi terbarukan, yaitu biodiesel. Kandungan lipid mikroalga sebagai sumber energi alternatif terbarukan telah menjadi pusat perhatian dunia dan teknologinya sedang terus dikembangkan (Pangabea, 2010).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroalga dapat menjadi sumber alternatif baru sebagai penghasil bahan baku biodiesel. Sama seperti tanaman darat lainnya. Mikroalga mampu melakukan proses fotosintesis yang mengubah energi matahari menjadi energi kimia yang salah satunya disimpan dalam bentuk lipid. Uniknya senyawa lipid pada mikroalga sebagian besar tersusun atas senyawa trigliserida (minyak sederhana) (Bayu, 2010).

Keanekaragaman mikroalga di bumi sangat tinggi, tingginya keragaman mikroalga tersebut memungkinkan kita untuk mendapatkan mikroalga yang potensial untuk menghasilkan minyak dalam jumlah besar. Pada (Tabel 2.2) menunjukkan

kandungan kimia dari berbagai spesies mikroalga, strain dari *Scenedesmus* memiliki kadar lipid tertinggi sekitar 1-40% dibandingkan dengan kadar lipid yang dimiliki oleh strain-strain mikroalga yang lain (Becker, 1994).

Tabel 2.2. Kandungan kimia berbagai spesies mikroalga dalam biomasa kering (%)

| Strain                           | Protein | Karbohidrat | Lipid | Asam nukleat |
|----------------------------------|---------|-------------|-------|--------------|
| <i>Scenedesmus</i> sp.           | 8-18    | 21-30       | 1-40  | --           |
| <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> | 48      | 17          | 21    | --           |
| <i>Chlorella pyrenoidosa</i>     | 51-58   | 12-17       | 14-22 | 4-5          |
| <i>Chlorella pyrenoidos</i>      | 57      | 26          | 2     | --           |
| <i>Spyrogyra</i> sp.             | 6-20    | 33-64       | 11-21 | --           |
| <i>Dunaliella bioculata</i>      | 49      | 4           | 8     | --           |
| <i>Dunaliella salina</i>         | 57      | 32          | 6     | --           |
| <i>Euglena viridis gracilis</i>  | 39-61   | 14-18       | 14-20 | --           |
| <i>Prymnesium parvum</i>         | 28-45   | 25-33       | 22-38 | 1-2          |
| <i>Tetraselmis maculate</i>      | 52      | 15          | 3     | --           |
| <i>Porphyridium cruentum</i>     | 28-39   | 40-57       | 9-14  | --           |
| <i>Spirulina platensis</i>       | 46-63   | 8-14        | 4-9   | 2-5          |
| <i>Spirulina maxima</i>          | 60-71   | 13-16       | 6-7   | 3-5          |
| <i>Synechococcus</i> sp.         | 63      | 15          | 11    | 5            |
| <i>Anabaena cylindrical</i>      | 43-56   | 25-30       | 4-7   | --           |

Sumber: (Becker, 1994).

Kandungan lemak pada mikroalga merupakan sumber energi. Kandungan lemak dihasilkan dari proses fotosintesis yang merupakan hidrokarbon, dan diduga dapat menghasilkan energi yang belum digali dan dimanfaatkan sepenuhnya

(Goswami dan Kalita, 2011). Kandungan asam lemak dari berbagai mikroalga dapat dilihat (Tabel 2.3), total asam lemak tertinggi terdapat pada spesies *Scenedesmus*.

Tabel 2.3. Kandungan asam lemak dari berbagai spesies mikroalga

| Nama senyawa       | <i>Scenedesmus</i> | <i>Chlorella</i> | <i>Isocrysis</i> | <i>Nannochloropsis</i> |
|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------------|
| Asam kapriat       | 0,07               | -                | -                | 0,30                   |
| Asam laurat        | 0,22               | 0,02             | -                | 0,99                   |
| Asam myristat      | 0,34               | -                | 0,33             | 7,06                   |
| Asam stearat       | 13,85              | 29,50            | 20,21            | -                      |
| Asam palmitat      | 20,29              | 8,09             | 0,93             | 12,25                  |
| Asam oleat         | -                  | 2,41             | 37,63            | -                      |
| Asam volerat       | -                  | 10,06            | 0,77             | -                      |
| Asam margarit      | -                  | -                | 34,25            | 42,32                  |
| Asam palmitoleat   | 9,78               | 2,15             | -                | -                      |
| Asam palmitolineat | -                  | -                | 2,06             | 2,47                   |
| Asam linoleat      | 25,16              | 45,07            | -                | -                      |
| Asam linolenat     | 16,16              | 11,49            | -                | -                      |
| Gliserol trilaurat | 3,73               | -                | -                | -                      |
| Vinil laurat       | 35,52              | -                | -                | -                      |

Sumber: (Kawaroe, 2010).

Penggunaan mikroalga sebagai bahan baku biofuel mempunyai beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan tanaman pangan, diantaranya yaitu pertumbuhan yang cepat, produktivitas tinggi, dapat menggunakan air tawar maupun

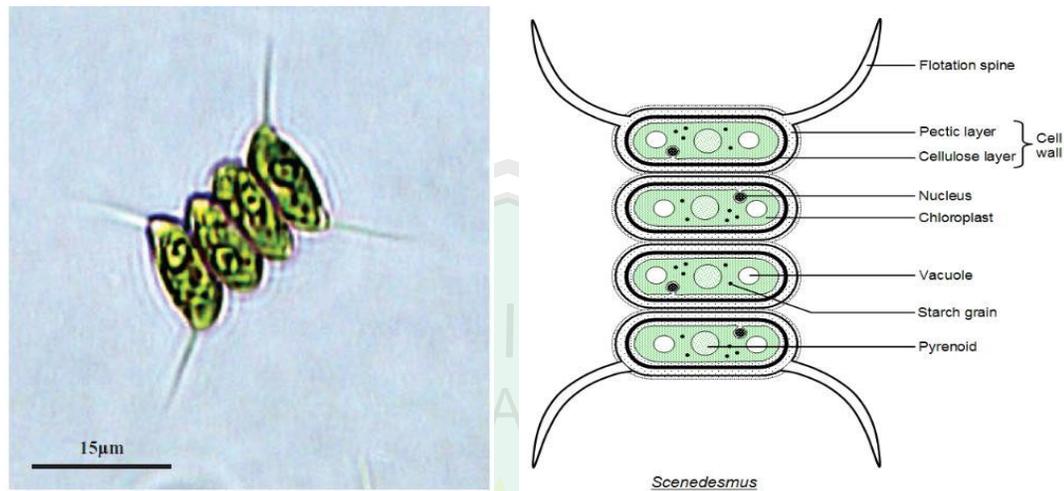
air laut, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, konsumsi air dalam jumlah sedikit serta menggunakan biaya produksi yang relatif rendah (Basmal, 2008).

Di Indonesia sendiri belum banyak tersedia informasi mengenai mikroalga dan potensinya sebagai penghasil lipid. Padahal sebagai negara maritim di daerah tropis, Indonesia kaya oleh berbagai jenis mikroalga. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi mikrolaga sebagai penghasil biodiesel terutama cara pembudidayaannya dan berkaitan dengan masalah lipid yang dikandungnya (Pangabea, 2010).

## 2.2 Biologi *Scenedesmus* sp.

*Scenedesmus* sp. termasuk mikroalga yang bersifat kosmopolit, sel *Scenedesmus* sp. memiliki warna hijau (Gambar 2.1) dan tidak motil. Pada umumnya *Scenedesmus* sp. membentuk koloni namun ada juga yang tunggal, koloni *Scenedesmus* sp. yang terdiri atas 2 sampai 4 sel berukuran lebar 12-14  $\mu\text{m}$  dan panjang 15-20  $\mu\text{m}$ . Selnya berbentuk *elips* hingga *lanceolate* (panjang dan ramping) dan beberapa spesies memiliki duri atau tanduk (Edward, 2010).

*Scenedesmus* berasal dari kata *Scene* dan *Desmus*. *Scene* dalam bahasa latin berarti pengikat dan *Desmus* berarti rantai, sehingga *Scenedesmus* adalah mikroalga yang hidup berkoloni dimana antara sel satu dengan sel yang lainnya membentuk semacam rantai pengikat. Koloni *Scenedesmus* dicirikan dengan bentuk sel pipih elips sampai panjang yang tersusun secara parallel, tipe koloni yang terbentuk disebut *coenobium* (Smith, 1950).



Gambar 2.1. Sel *Scenedesmus* sp. (sumber: Edward, 2010).

Sel *Scenedesmus* sp. diselubungi oleh dinding yang tersusun atas tiga lapisan, yaitu lapisan dalam yang merupakan lapisan selulosa. Lapisan tengah merupakan lapisan tipis yang strukturnya seperti membrae. Lapisan luar merupakan lapisan seperti jaring berfungsi menyelubungi sel dalam koloni yang tersusun atas pektin dan dilengkapi oleh *bristles* (sungut) (Prihantini, 2007).

### 2.2.1 Reproduksi *Scenedesmus* sp.

*Scenedesmus* sp. dapat melakukan reproduksi aseksual maupun seksual. Reproduksi aseksual terjadi melalui pembentukan autokoloni, yaitu setiap sel induk membentuk koloni anakan yang dilepaskan melalui sel induk yang pecah terlebih dahulu. Beberapa spesies *Scenedesmus* dapat melakukan reproduksi seksual dengan pembentukan zoospora biflagel dan isogami (Edward, 2010).

### 2.2.2 Taksonomi *Scenedesmus* sp.

Taksonomi *Scenedesmus* sp. menurut Meyen (1829) dalam Kawaroe (2010), adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Philum : Chlorophyta

Kelas : Chlorophyceae

Ordo : Chlorococcales

Famili : Scenedesmaceae

Genus : *Scenedesmus*

Spesies : *Scenedesmus* sp.

### 2.2.3 Habitat *Scenedesmus* sp.

*Scenedesmus* sp. merupakan mikroalga yang bersifat kosmopolit dan sebagian besar dapat hidup di lingkungan akuatik seperti perairan tawar dan payau. *Scenedesmus* sp. juga ditemukan di tanah atau tempat yang lembab. Fisiologi dan biokimianya relatif seragam, dengan 28 buah strain diketahui memiliki hidrogenase dan menghasilkan karoten sekunder dalam kondisi nitrogen yang sedikit dan setiap spesiesnya berbeda dalam kemampuan menghidrolisis pati. Spesiesnya bertoleransi atau lebih memilih air eutrofik dengan pH rendah. Suhu optimal untuk *Scenedesmus* sp. adalah pada rentang 25-26°C (Prihantini, 2007).

#### 2.2.4 Kandungan Senyawa Kimia *Scenedesmus* sp.

*Scenedesmus* sp. mengandung 8-18% protein, 21-30% karbohidrat, 1-40% lemak, serta 3-6% asam nukleat. Asam lemak pada *Scenedesmus* 25,61% berupa linoleat, 23,459% oleat serta 20,286% adalah palmiat. Kandungan asam lemak yang terkandung dalam *Scenedesmus* sp, diantaranya asam myristat (0,34%), asam stearat (13,85%), asam palmiat (20,29%), asam palmitoleat (9,78%), asam linoleat (25,16%), asam linolenat (16,16%), gliserol trilaurat (3,73), dan vinil laurat (35,52%) (Kawaroe, 2010).

Menurut penelitian Goswami dan Kalita (2011), kandungan lemak *Scenedesmus* sp. sekitar 1-40%, komponen lemak inilah yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan biodiesel. Kandungan lemak yang cukup besar menjadikan *Scenedesmus* sp. sebagai salah satu mikroalga yang menjanjikan untuk dikembangkan sebagai salah satu sumber bahan baku pembuatan biodiesel.

#### 2.2.5 Peranan *Scenedesmus* sp.

##### a. Sumber Bahan Baku Biodiesel

Kadar lipid *Scenedesmus* sp. dapat mencapai 1-40% dari biomasa keringnya (Goswami dan Kalita, 2011). Kandungan lipid yang cukup tinggi inilah menjadikan mikroalga *Scenedesmus* sp. berpotensi menghasilkan biodiesel dalam jumlah yang sangat besar. Menurut penelitian Melinda (2011) lipid dari mikroalga *Scenedesmus* sp. telah di uji dan memenuhi standar mutu biodiesel skala internasional *The European Standards for Biodiesel Production* (EN 14214). Biodiesel dapat

menggantikan bahan bakar dari minyak fosil yang selama ini berkontribusi besar pada pemanasan global (*Global warming*) dan ketersediannya yang terbatas (Garofalo, 2009).

#### **b. Penyerap Bahan Kimia Berbahaya Pada Limbah Cair Industri**

*Scenedesmus* sp. dapat bertoleransi pada salinitas yang berbeda dari habitat aslinya. Penurunan unsur logam berbahaya seperti kromium (Cr) dan tembaga (Cu) yang terdapat pada limbah cair industri, disebabkan oleh kemampuan mikroalga *Scenedesmus* sp. yang dapat mengikat logam tersebut pada permukaan dinding selnya. Hal tersebut menjadikan mikroalga *Scenedesmus* sp. dapat berperan sebagai biofilter dalam meminimalisir dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah cair industri (Irianto, 2011).

#### **c. Penyerap Emisi Karbondioksida**

*Scenedesmus* termasuk mikroalga yang cukup aktif dalam menyerap karbondioksida karena kemampuannya untuk berfotosintesis yang cukup tinggi dan mudah dikultur pada air laut dimana larutan karbondioksidanya cukup tinggi. Fiksasi karbondioksida oleh fotosintesis mikroalga dan konversi biomassa menjadi bahan bakar cair dianggap mudah dan tepat sebagai sirkulasi karbondioksida di bumi. Proses penyerapan CO<sub>2</sub> oleh mikroalga digunakan untuk reproduksi sel-sel tubuhnya (Santoso, 2011).

#### **d. Sumber Makanan Tambahan**

Protein Sel Tunggal (PST) yang berasal dari *Scenedesmus* sp. dapat dimanfaatkan sebagai makanan tambahan dalam bentuk pakan alami, dan pakan ternak karena memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi. *Scenedesmus* mengandung 30% protein, 18% karbohidrat, asam-asam amino, vitamin, dan serat. *Scenedesmus* juga mengandung vitamin seperti vitamin B dan vitamin C (Prihantini, 2007).

#### **e. Penghasil Senyawa Antibakteri**

Senyawa antibakteri yang terdapat pada *Scenedesmus* sp. berasal dari oksidasi asam lemak yang disebut *oxylipin*, melalui senyawa ini berbagai jenis senyawa metabolit sekunder diproduksi. Metabolit sekunder secara umum digunakan sebagai antibakteri. Bakteri yang dapat dihambat oleh senyawa *oxylipin* yaitu *Pseudomonas* sp. mekanisme penghambatan dapat berupa perusakan dinding sel dengan cara menghambat pembentukannya atau mengubahnya setelah selesai terbentuk, perubahan permeabilitas membran sitoplasma sehingga menyebabkan keluarnya bahan makanan dari dalam sel, perubahan molekul protein dan asam nukleat, penghambatan kerja enzim, dan penghambatan sintesis asam nukleat dan protein (Nair dan Krihsnika, 2011).

#### **f. Penghasil Senyawa Antioksidan**

*Scenedesmus* diketahui sebagai produsen bermacam jenis karotenoid, seperti  $\beta$ -karoten dan lutein. Fungsi karotenoid sangat luas berbagai sektor kehidupan, seperti

untuk bahan pewarna makanan, bahan tambahan makanan, vitamin A dan sebagai antioksidan. Salah satu jenis karotenoid yang dihasilkan *Scenedesmus* adalah lutein. Senyawa ini memiliki kegunaan di bidang kesehatan diantaranya untuk mencegah degenerasi *macular* mata (katarak) dan kerusakan retina akibat cahaya biru, membantu melindungi kulit dari radiasi sinar *ultraviolet* (UV) sehingga dapat digunakan sebagai bahan kosmetik, manfaat lain untuk pewarna alami pada jaringan hewan maupun tumbuhan dan sebagai prekursor vitamin A (Guades, 2011).

### **2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan *Scenedesmus* sp.**

#### **2.3.1 Cahaya**

Sebagian besar spesies mikroalga adalah masuk dalam golongan autotrof yang mampu membentuk senyawa organik dari senyawa anorganik dengan bantuan energi yang berasal dari cahaya. Cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis, dimana energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh aktifitas klorofil. Umumnya fotosintesis meningkat sejalan dengan meningkatnya intensitas cahaya sampai pada satu nilai optimum tertentu. Di atas nilai optimum, cahaya merupakan penghambat fotosintesis. Sedangkan cahaya dibawahnya merupakan cahaya pembatas sehingga keberadaan cahaya menentukan bentuk kurva pertumbuhan mikroalga yang melakukan fotosintesis (Edward, 2010).

Menurut Gunawan (2012), intensitas cahaya yang diperlukan bergantung pada volume kultivasi dan densitas mikroalga. Semakin tinggi densitas dan volume kultivasi semakin tinggi pula intensitas cahaya yang diperlukan. Di alam sumber

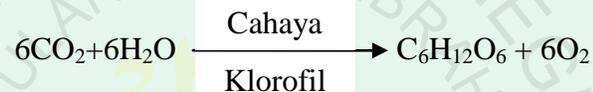
cahaya berasal dari matahari yang dimanfaatkan oleh organisme autotrof menjadi energi kimia oleh aktifitas klorofil (Sappewali, 2009). Cahaya merupakan faktor yang penting dalam fotosintesis tetapi setiap mikroalga memiliki toleransi yang berbeda terhadap cahaya (Smith, 1950).

Kultivasi mikroalga di laboratorium dapat menggunakan TL (*Tube Lamp*) sebagai sumber cahaya. Cahaya yang berasal dari lampu tabung sebenarnya merupakan sebaran dalam bentuk horisontal dari semua spektrum yaitu violet biru, hijau, merah spektrum ungu dan ultra ungu (Hadieotomo 1993). Reaksi fotosintesis dijalankan oleh cahaya yang berbeda yaitu Fotosistem-I (PS I) yang bekerja pada cahaya merah dan Fotosistem-II (PS II) dengan cahaya hijau. Meskipun mikroalga tidak memiliki struktur sekomples tumbuhan tingkat tinggi, fotosintesis pada keduanya terjadi dengan cara yang sama. Hanya saja karena mikroalga memiliki berbagai jenis pigmen dalam kloroplasnya, maka panjang gelombang cahaya yang diserap lebih bervariasi. Panjang gelombang cahaya yang diserap mikroalga untuk proses fotosintesis adalah 300 sampai 720 nm, intensitas cahaya TL yang diperlukan untuk kultivasi (kultur) pada erlenmeyer berkisar antara 1.000 sampai 5.000 luks (Kawaroe, 2010).

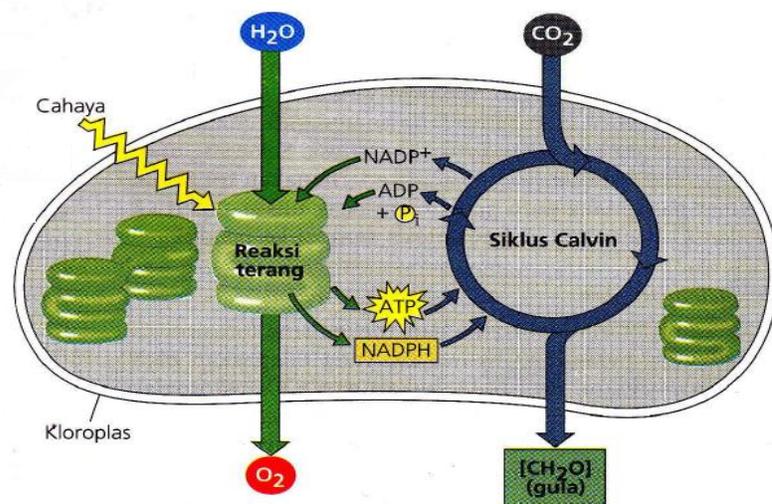
Fotoperiodesitas (lamanya cahaya bersinar) juga memegang peranan penting sebagai pendukung pertumbuhan mikroalga. Pada umumnya periode penyinaran pada mikroalga berkisar 14 jam terang dan 10 jam gelap merupakan periode penyinaran yang paling optimum (Isnansetyo dan kusniastuti, 1995).

### 2.3.1.1 Proses Fotosintesis

Cahaya berperan penting dalam proses fotosintesis, dimana energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh aktifitas klorofil. Fotosintesis adalah reaksi untuk hidup yang merupakan konversi energi cahaya ke kehidupan yang lain yang dilakukan oleh tumbuhan yang memiliki klorofil. Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada klorofil dan ada cukup cahaya. Lazimnya peristiwa fotosintesis dinyatakan dalam persamaan reaksi kimia sebagai berikut (Becker, 1994):



Proses fotosintesis dikenal sebagai tahap pemindahan (pengubahan) energi cahaya menjadi energi kimia yang disimpan dalam molekul yang berasal dari  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Fotosintesis dari penangkapan cahaya diabsorpsi oleh pigmen hijau yang berada di kloroplas (Campbell. dkk, 2002). Proses fotosintesis dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses fotosintesis didalam kloroplas (Campbell, 2002).

Reaksi fotosintesis dapat dibagi menjadi dua bagian utama yaitu: reaksi terang (karena memerlukan cahaya) dan reaksi gelap (tidak memerlukan cahaya akan tetapi memerlukan karbondioksida). Reaksi terang pada prinsipnya mengubah energi cahaya menjadi energi kimiawi berupa ATP (*Adenosina Trifosfat*) dan NADPH (*Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate*) sedangkan pada reaksi gelap sumber energi berasal dari ATP dan NADPH yang nantinya akan digunakan untuk mengubah karbondioksida menjadi gula, reaksi ini tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (tanpa cahaya) (Sze, 1998).

#### **A. Reaksi Terang**

Reaksi terang adalah proses untuk menghasilkan ATP dan reduksi NADPH<sub>2</sub>, reaksi ini memerlukan molekul air. Proses diawali dengan penangkapan foton oleh pigmen sebagai antena. Penyerapan energi cahaya dilakukan oleh pigmen fotosintesis (Salisbury, 1995).

Menurut Alim dan Kurniastuty (1995) cahaya yang diserap oleh pigmen klorofil berbeda-beda tergantung pada warna yang ada dalam pigmen tersebut. Klorofil dapat menyerap panjang gelombang pada cahaya visible, kecuali hijau. Cahaya hijau direfleksikan sehingga klorofil terlihat berwarna hijau. Klorofil terdapat dalam membran yang dinamakan sebagai kloroplas. *Scenedesmus* sp. termasuk mikroalga hijau karena memiliki pigmen hijau yang dinamakan klorofil. Pigmen fotosintesis pada mikroalga secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 3 kategori yaitu :

1. Klorofil adalah pigmen hijau yang mengandung Porfirin. Klorofil dapat dibagi menjadi beberapa jenis yakni klorofil-a sebagai tempat melakukan fotosintesis. Tumbuhan hijau, alga, dan *Cyanobacteria* dapat melakukan fotosintesis karena mengandung klorofil-a. Klorofil-b merupakan klorofil yang hanya terdapat pada alga hijau dan tumbuhan hijau. Klorofil-c hanya ditemukan pada *Chromista* misalnya *Dinoflagellata*.
2. Karotenoid adalah pigmen yang berwarna merah, coklat, orange, atau kuning. Karotenoid mengandung karoten yang memberi warna orange. *Fuxocantin* merupakan salah satu contoh pigmen Karotenoid. *Fuxocantin* berwarna coklat dan terdapat pada alga coklat misalnya Diatom.
3. Fikobilin adalah pigmen bening yang terdapat pada sitoplasma atau stroma kloroplas. *Phycobilin* terdapat pada *Cyanobacteria* dan *Rhodophyta*. Pigmen Fikobilin dibagi menjadi dua yakni, fikosianin dan fikoeritrin. Fikosianin berwarna kebiruan terdapat pada *Cyanobacteria*, dan fikoeritrin yang memberi warna merah bening pada alga merah.

Pigmen klorofil menyerap lebih banyak cahaya terlihat pada warna biru (400-450 nanometer) dan merah (650-700 nanometer) dibandingkan hijau (500-600 nanometer). Fotosintesis akan lebih banyak menghasilkan energi pada gelombang cahaya dengan panjang tertentu. Hal ini karena panjang gelombang yang pendek menyimpan lebih banyak energi. Molekul klorofil akan melepas elektron untuk menghasilkan energi potensial untuk menyerap energi cahaya secara maksimal dan tempat berlangsungnya penyerapan cahaya terjadi di kloroplas (Sze, 1998).

Pigmen yang berfungsi aktif sebagai pusat reaksi atau fotosistem yaitu Fotosistem II dan Fotosistem I. Fotosistem II terdiri dari molekul klorofil yang menyerap cahaya dengan panjang gelombang 680 nanometer, sedangkan Fotosistem I 700 nanometer. Kedua fotosistem ini akan bekerja secara simultan dalam fotosintesis. Fotosintesis dimulai ketika cahaya mengionisasi molekul klorofil pada Fotosistem II, membuatnya melepaskan elektron yang akan ditransfer sepanjang rantai transfer elektron (Kartini, 2001).

Elektron melewati sistem transport ini dari suatu molekul ke molekul berikutnya elektron secara bertahap kehilangan energinya. Energi ini akan digunakan untuk memompa ion hidrogen melintasi membran masuk ke dalam lumen membangun suatu perbedaan kemiosmotik. Energi bebas dari perbedaan ini akan digunakan untuk menambahkan fosfat ionorganik pada ADP untuk membentuk ATP. Ketika elektron tiba pada akseptor terakhir, maka elektron akan kembali ke molekul klorofil a. Peristiwa ini disebut dengan fosforilasi siklik. Fosforilasi siklik itu sendiri tidak dapat menunjukkan produksi glukosa bila tidak ada reaksi  $\text{NADP}^+$  menjadi NADPH (Kartini, 2001).

Fosforilasi nonsiklik dimulai ketika Fotosistem II menyerap cahaya, suatu elektron akan dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi dalam klorofil di pusat reaksi (P680) dan ditangkap oleh akseptor elektron primer. Selanjutnya suatu enzim yang mengekstrasi elektron dari air mengirimnya ke P680 mengganti setiap elektron yang keluar dari klorofil ketika menyerap energi cahaya. Reaksi ini mengurai air menjadi dua ion hidrogen dan satu oksigen yang segera bergabung dengan ion

oksigen lain membentuk  $O_2$ . Setiap elektron yang terfotoeksitasi mengalir dari akseptor elektron primer Fotosistem II ke Fotosistem I melalui rantai tranpor elektron. Begitu elektron menuruni rantai tersebut, eksersgoniknya jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah. Energi bebas yang ada selanjutnya oleh membran tilakoid digunakan untuk membentuk ATP (Salisbury, 1995).

### **B. Reaksi Gelap**

ATP dan NADPH yang dihasilkan dari proses fotosintesis memicu berbagai proses biokimia. Pada tumbuhan proses biokimia yang terpicu adalah siklus Kelvin yang mengikat karbondioksida untuk membentuk ribulosa (kemudian menjadi gula seperti glukosa). Reaksi gelap tidak bergantung pada ada tidaknya cahaya sehingga dapat terjadi meskipun dalam keadaan gelap (Salisbury, 1995).

Bahan reaksi gelap adalah ATP dan NADPH yang dihasilkan dari reaksi terang, dan  $CO_2$  yang berasal dari udara bebas. Pada reaksi gelap ini dihasilkan glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) yang sangat diperlukan bagi reaksi katabolisme. Glukosa dapat digunakan untuk membentuk senyawa organik lain seperti lipid dan dapat pula digunakan sebagai bahan bakar, proses ini berlangsung melalui respirasi seluler. Salah satu substansi penting dalam proses ini ialah senyawa glukosa beratom karbon lima yang terfosforilasi yaitu ribulosa fosfat, jika diberikan gugus fosfat kedua dari ATP maka dihasilkan RDP. Ribulosa difosfat ini yang nantinya akan mengikat  $CO_2$  dalam reaksi gelap. Secara umum reaksi gelap dapat dibagi menjadi tiga tahapan (fase) yaitu fiksasi karbon, reduksi, regenerasi. Hasil dari reaksi gelap ini adalah APG, ALPG, RDP dan glukosa (Kartini, 2001).

### 2.3.1.2 Hubungan Cahaya dengan Pertumbuhan

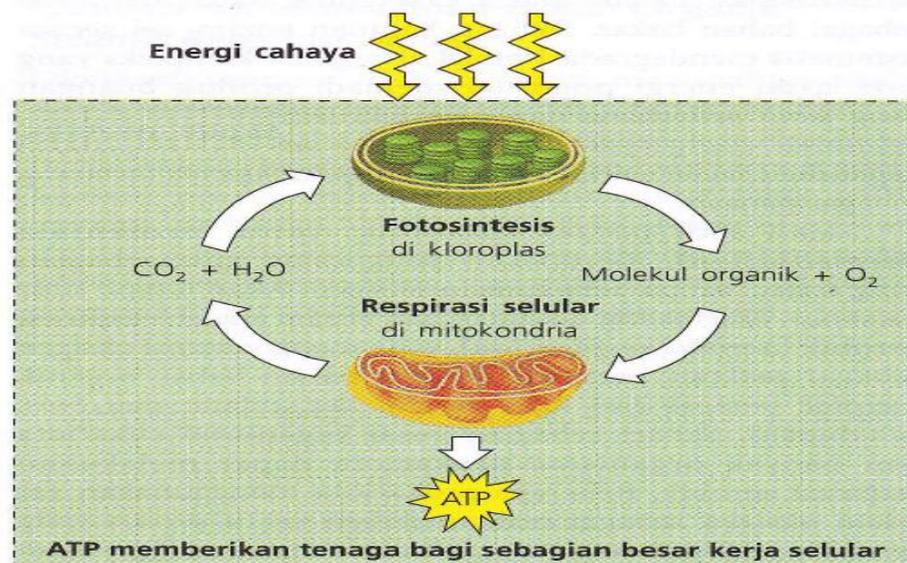
Plank dan Einstein menganggap bahwa cahaya itu terdiri dari partikel-partikel kecil yang disebut foton, foton memiliki energi yang dinyatakan dalam kuantum. Kuantum dalam arti sebenarnya berupa banyaknya energi yang dihasilkan oleh sinar dan bergantung pada panjang pendeknya gelombang. Energi cahaya diperlukan oleh tumbuhan untuk mengadakan proses fotosintesis. Energi yang terdapat pada sinar bergantung kepada intensitas (banyaknya sinar 1 cm<sup>2</sup> perhektar) dan juga bergantung pada waktu sebentar atau lamanya penyinaran (fotoperiodisitas) (Dwijoseputro, 1992).

Intensitas cahaya mempunyai pengaruh langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung terjadi dalam proses fotosintesis dan pengaruh tidak langsung melalui pertumbuhan dan perkembangan. Kurangnya intensitas cahaya akan menyebabkan proses fotosintesis tidak berlangsung normal sehingga mengganggu pertumbuhan ukuran sel terutama pada proses biosintesis sel (Matakupan, 2009).

Pertumbuhan adalah suatu proses kehidupan yang *irreversible* artinya tidak dapat dibalik kejadiannya. Pertumbuhan didefinisikan sebagai pertambahan kuantitas seluler dan struktur mikroorganisme seperti bertambah besarnya ukuran sel atau bertambah banyaknya jumlah sel. Pertumbuhan mikroalga dalam kultur dapat ditandai dengan bertambah banyaknya jumlah sel. Pertambahan kepadatan sel digunakan sebagai ukuran untuk mengetahui pertumbuhan. Pertumbuhan suatu jenis mikroalga erat kaitanya dengan faktor-faktor lingkungan antara lain intensitas cahaya sebagai sumber energi dalam fotosintesis (Smith, 1950).

Mikroalga melakukan proses fotosintesis dengan cara memanfaatkan energi cahaya untuk mengasimilasi karbon anorganik untuk dikonversi menjadi materi organik. Oleh karena itu intensitas cahaya memegang peranan yang sangat penting, namun intensitas cahaya yang diperlukan tiap-tiap alga untuk dapat tumbuh secara maksimum berbeda-beda. Intensitas cahaya mempunyai peran yang sangat penting dalam proses fotosintesis (Sappewali, 2009).

Pada prinsipnya fotosintesis merupakan proses pembentukan glukosa dan oksigen pada organisme yang memiliki klorofil dengan memanfaatkan energi cahaya. Glukosa digunakan sebagai substrat respirasi seluler (Gambar 2.3). Pada proses glikolisis, glukosa akan dipecah menjadi piruvat kemudian didekarboksilasi menghasilkan asetil Ko-enzim A yang akan melalui siklus Krebs untuk memproduksi ATP. ATP dapat dipergunakan oleh mikroalga salah satunya untuk pertumbuhan dan perkembangan sel (Campbell dkk, 2002).



Gambar 2.3 Siklus ulang pada proses fotosintesis dan respirasi (Campbell, 2002).

### 2.3.1.3 Hubungan Cahaya dengan Kadar Lipid

Lipid terdiri dari unsur karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O). Fungsi utama cadangan lemak adalah sebagai sumber energi. Cadangan ini merupakan salah-satu bentuk penyimpanan energi yang penting bagi pertumbuhan. Pada umumnya lipid yang diakumulasi oleh mikroorganisme adalah *Trigliserida* atau *Triasilgliserol* (TAG) digunakan sebagai cadangan energi dalam sel (Pangabean, 2010).

Cahaya memiliki peranan dalam membentuk komposisi lipid karena lipid mikroalga banyak terdapat di bagian lamela fotosintesis. Lipid ini terlibat dalam transport elektron, pengambilan cahaya sekaligus perlindungan terhadap cahaya yang berlebihan, serta berperan pada proses evolusi oksigen. Komponen lipid dalam mikroalga terbagi atas beberapa kategori yaitu TAG, klorofil dan karotenoid. Selain kategori tersebut juga terdapat lipid *droplet* yang menyebar diantara tilakoid sel dan didekat permukaan sel. Lipid ini mirip dengan lipid kloroplas namun memiliki wujudnya lebih tebal dengan inti yang lebih kecil (Gualtieri dan Barsanti, 2006).

Menurut Campbell dkk, (2002) lipid dapat disintesis salah satunya dari karbohidrat dalam bentuk (glukosa). Glukosa dalam hal ini dihasilkan dari proses fotosintesis. Pembentukan lipid dari glukosa melalui intermediat glikolisis dan siklus Krebs dan sebagian besar pertemuannya berlangsung melalui pintu gerbang utama siklus (daur) Krebs di mitokondria. Glukosa merupakan sumber energi utama untuk pembentukan asetil KoA yang digunakan dalam biosintesis asam lemak.

Pada sel mikroalga biosintesis lipid dimulai oleh kondensasi gliserol dengan tiga molekul asam lemak dengan bantuan katalis enzim lipase. Gliserol berasal dari  $\alpha$ -

gliserofosfat yang dihilangkan gugus fosfatnya oleh reaksi fosforilasi, sedangkan biosintesis asam lemak membutuhkan beberapa asetil KoA, dua pasang elektron (2NADPH) dan satu energi ATP (Gualiteri, dan Barsanti, 2006). Kebutuhan energi ini di klorofil dapat tersedia dari hasil fotosintesis yaitu glukosa melalui proses glikolisis akan dipecah menjadi ATP, NADH dan Asam Piruvat. NADPH dapat tersedia dari lintasan respirasi pentosa fosfat, dan ATP dari glikolisis piruvat yang merupakan senyawa asal dari asetil KoA (Esteti, 1995).

Asetil KoA dibentuk dari Asam asetat yang keluar dari mitokondria dan dikatalisa oleh enzim asetil KoA sintetase bersama energi ATP. Pembentukan asam asetat terjadi di dalam mitokondria yang berasal dari asetil KoA dengan bantuan katalis enzim asetil KoA thioesterase. Asetil KoA yang berada dalam mitokondria tersebut adalah hasil katalisis enzim piruvat dehidrogenase terhadap piruvat. Piruvat yang terdapat dalam mitokondria merupakan proses akhir glikolisis glukosa. Proses ini terjadi dalam plastida yaitu suatu organel sel yang mengandung pigmen fotosintesis. Plastida mikroalga dengan pigmen karotenoid dominan menangkap cahaya untuk menghasilkan energi berupa ATP dan NADPH (Yap dan Chen 2001).

Berdasarkan penelitian Cohen (1999), mengatakan bahwasanya seiring dengan semakin tingginya intensitas cahaya yang diberikan pada batas kisaran optimum, akan dapat meningkatkan produksi lipid mikroalga. Hal ini dikarenakan peningkatan intensitas cahaya akan meningkatkan hasil fotosintat di dalam sel yang berarti substrat respirasi yang tersedia meningkat dengan demikian laju respirasi juga meningkat.

### 2.3.1.4 Cahaya dalam Pandangan Al-Qur'an

Cahaya merupakan sumber energi untuk semua keperluan di bumi, keberadaan cahaya begitu penting, Al-qur'an secara teliti dan jelas telah menerangkan bahwa kata cahaya dalam bahasa arab berarti (*Nur*) tersebut dalam Al-qur'an sebanyak 43 (empat puluh tiga) ayat dengan berbagai makna dan konteksnya ada 11 (sebelas) ayat yang selalu disebut dengan kebalikannya yaitu (*azh-zhulumat*) kegelapan-kegelapan, dan sebagainya ayat yang lain menjelaskan fenomena-fenomena cahaya yang terdapat di alam semesta (Hamzah, 2004).

Menurut Pasya (2004) mengatakan bahwa cahaya mempunyai peranan penting dalam kehidupan di bumi. Sumber cahaya dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sumber cahaya buatan dan sumber cahaya alam. Sumber cahaya buatan seperti lampu listrik dan nyala lilin yang dapat dikendalikan karena dapat dinyalakan atau dimatikan sesuai dengan kemauan kita, sedangkan sumber cahaya alam seperti matahari dan bulan, hal ini sesuai penjelasan dalam Al Qur'an surat Nuh ayat 16.


 وَجَعَلَ الْقَمَرَ فِيهِنَّ نُورًا وَجَعَلَ الشَّمْسَ سِرَاجًا

Artinya “Dan Allah menciptakan padanya bulan sebagai cahaya dan menjadikan matahari sebagai pelita” (QS Nuh: 16).

Menurut Hamzah dalam Tafsir Al-Maudhu'i (2004) sumber cahaya yang terdapat di alam berasal dari matahari. Matahari merupakan bintang dengan

pengertian bahwa matahari dapat menghasilkan atau memancarkan cahaya sendiri, karena melepaskan cahaya, maka matahari disebut “bersinar”.

Berkaitan dengan ayat di atas sebenarnya sinar matahari menghasilkan energi yang berupa ultraviolet 9%, cahaya 46%, dan inframerah 45%. Karena itulah ayat suci di atas menamai matahari sebagai sirajan (pelita) karena mengandung cahaya dan panas secara bersamaan (Shihab, 2002).

Al-Qur’an telah menjelaskan tentang benda-benda yang mengeluarkan cahaya sendiri. Benda-benda tersebut dalam Al-Qur’an menggunakan kata nur (cahaya) dan beberapa turunannya menggambarkan makan cahaya yang ditimbulkan akibat pantulan benda yang terkena sinar, seperti bulan. Makna ini dapat kita temukan dalam firman Allah pada surat Yunus ayat 5 yang berbunyi:

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ  
وَالْحِسَابَ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴿٥﴾

Artinya “Dia-lah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan bulan itu, supaya kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui” (Qs. Yunus: 5).

Menurut Shihab dalam Tafsir Al-Misbah (2002) sebab-sebab diturunkannya ayat di atas yaitu membicarakan tentang cerita pada jaman Nabi Nuh dan Nabi Yunus yang berkenaan dengan perintah untuk senantiasa memperhatikan kejadian atau

fenomena-fenomena yang terdapat di alam semesta seperti halnya peranan cahaya bagi kehidupan yang merupakan manifestasi kebesaran Allah bagi mereka yang mengetahui.

Ayat diatas juga menjelaskan kepada kita bagaimana konsep pengaturan alam semesta ini diatur dengan tatanan yang sangat rapi. Hal ini menunjukkan keseimbangan kontrol yang dibuat oleh Allah SWT untuk kemaslahatan demi kelangsungan hidup makhluk-Nya. Ayat 5 dalam surat Yunus memberikan definisi yang tepat untuk kata Nur (cahaya) yang dalam bahasa Arab kata tersebut digunakan untuk menunjuk sesuatu yang memancar dari benda yang terang dan membantu makhluk hidup untuk dapat melihat dan memanfaatkan energi yang terpancar dari benda-benda yang dilalui pancaran itu (Hamzah, 2004).

Pada surah An-Nur ayat 35, Allah mengungkapkan perumpamaan cahaya sebagai berikut:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ

Artinya: Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi (Qs. An-Nur: 35).

Pada surat An-Nur Ayat 35 di atas, menurut Shihab dalam Tafsir Al-Misbah (2002) arti kata (*Nur*) dalam ayat tersebut memiliki makna cahaya, cahaya dalam artian petunjuk Allah (Hidayah) atau bahkan dikiasikan sebagai proyeksi dari Allah. Barangkali cahaya inilah yang dipilih Allah untuk mempresentasikan dirinya yang

memang serba absolut, tidak ada sesuatu pun yang melebihi sifat-sifat maupun keagungannya.

Beberapa ilmuan berupaya memahami untuk mengungkap makna yang tersirat dalam surat An-nur ayat 35, baik dari aspek fisika, kimia, dan biologi. Ilmuan fisika menguji makna cahaya secara eksperimental dan matematis dengan menerangkan bahwa cahaya merupakan kumpulan besar partikel cahaya, yang memiliki sifat gelombang dan frekuensi yang memenuhi ruang dan sama sekali tidak terpenggal dalam suatu partikel, cahaya adalah suatu bentuk energi yang mirip dengan panas dan satu-satunya jenis energi yang dapat dilihat dan dirasakan secara langsung. Ilmuan kimia mengungkapkan bahwa cahaya sebagai sumber energi utama untuk memulai serangkaian proses kimia yang rumit, misalnya pada proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan berklorofil. Energi yang berasal dari cahaya akan dirubah menjadi energi kimia yang sebagian besar berupa karbohidrat yang mengandung tiga unsur yaitu unsur karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O) ketiga unsur ini sebagian besar disimpan pada sel tumbuhan (Djayadi, 2008).

Posisi cahaya dalam aspek biologi memiliki peranan yang penting dalam proses pertumbuhan mikroalga. Cahaya akan dimanfaatkan oleh mikroalga sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis, hasil dari fotosintesis berupa karbohidrat yang pada dasarnya berasal dari energi cahaya. Karbohidrat dalam hal ini glukosa, dibentuk dari karbondioksida dan air dengan bantuan cahaya dan klorofil. Selanjutnya glukosa yang terbentuk diubah menjadi senyawa organik seperti halnya lipid atau lemak sederhana, senyawa lipid pada mikroalga sebagian besar tersusun atas senyawa

trigliserida (minyak sederhana) dan diduga dapat menghasilkan energi biodiesel yang belum digali dan dimanfaatkan sepenuhnya (Bayu, 2010).

### **2.3.2 Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)**

Karbondioksida diperlukan oleh mikroalga untuk membantu proses fotosintesis. Karbondioksida dengan kadar 1-2% biasanya sudah cukup digunakan dalam kultur mikroalga dengan intensitas cahaya yang rendah. Kadar karbondioksida yang berlebih dapat menyebabkan pH kurang dari batas optimum sehingga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroalga (Chrismadha, 2005). Kelarutan CO<sub>2</sub> dalam media kultur dapat dilakukan dengan pengadukan, selain itu pengadukan juga bermanfaat untuk meratakan penyebaran unsur hara, cahaya dan mencegah pengendapan sel-sel alga, salah satu cara pengadukan yang efektif adalah dengan cara aerasi (Ghufran dan Kordi, 2010).

### **2.3.3 Oksigen (O<sub>2</sub>)**

Oksigen memiliki peran sebagai substrat pembatas dalam kultur alga, sehingga dengan adanya pengadukan dapat memperpanjang fase pertumbuhan eksponensial. Proses fotosintesis oleh mikroalga umumnya menambah kadar O<sub>2</sub> terlarut sebesar 5 sampai 20 ppm, sedangkan respirasi mikroalga menyebabkan hilangnya kadar O<sub>2</sub> terlarut sebanyak 5 sampai 15 ppm. Kelarutan oksigen dalam air akan menurun dengan meningkatnya suhu (Effendi, 2003).

### 2.3.4 Suhu

Pengukuran suhu air merupakan hal yang mutlak untuk dilakukan dalam penelitian suatu ekosistem akuatik. Hal ini disebabkan karena kelarutan berbagai jenis gas dan air serta semua aktivitas biologis di dalam ekosistem akuatik sangat dipengaruhi oleh suhu. Kenaikan suhu sebesar  $10^{\circ}\text{C}$  (hanya pada kisaran suhu yang masih ditolerir) akan meningkatkan aktivitas fisiologis (misalnya respirasi) dari organisme sebesar 2-3 kali lipat (Effendi, 2003). Suhu yang dapat ditolerir oleh mikroorganisme pada suatu perairan berkisar antara  $25\text{-}30^{\circ}\text{C}$ . Suhu optimal bagi pertumbuhan mikroalga adalah  $25\text{-}26^{\circ}\text{C}$ . Temperatur mempengaruhi proses-proses fisika, kimia dan biologi yang berlangsung dalam sel mikroalga. Peningkatan temperatur hingga batas tertentu akan merangsang aktivitas molekul, meningkatnya laju difusi dan juga laju fotosintesis (Panggabean, 2010).

### 2.3.5 Nutrien

Nutrien digunakan untuk pertumbuhan mikroalga terdiri dari unsur hara makro dan mikro, unsur hara makro seperti N (nitrogen), K (kalium), Mg (magnesium), S (sulfur), P (posfor) dan Cl (clorida). Unsur hara mikro adalah Fe (besi), Cu (tembaga), Zn (seng), Mn (mangan), B (boron), dan Mo (molibdinum). Unsur hara tersebut diperoleh dalam bentuk persenyawaan dengan unsur hara lain. Mikroalga yang memiliki kerangka dinding sel yang mengandung silikat, misalnya diatom, unsur Si (silicon) berperan sebagai faktor pembatas. Secara umum defisiensi nutrien pada mikroalga mempengaruhi penurunan protein, pigmen fotosintesis serta

kandungan produk karbohidrat dan lemak. Konsentrasi mikroalga yang dikultivasi secara umum lebih tinggi dari pada yang di alam. Dalam kultivasi alga ditambahkan nutrisi antara lain nitrat, fosfat dan silikat untuk memenuhi nutrisi pada media kultivasi (Nyoman, 2006).

### **2.3.6 Salinitas**

Salinitas adalah kadar garam terlarut dalam air, mikroalga memiliki toleransi kisaran salinitas yang tinggi dan dapat hidup pada kisaran salinitas 0-35 ppt (dari air tawar sampai air laut). Mikroalga air laut dapat tumbuh baik pada salinitas 15-35 ppt. Salinitas yang paling optimal bagi pertumbuhan mikroalga air tawar adalah 10-20 ppt, sementara untuk mikroalga air laut adalah 25-28 ppt (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

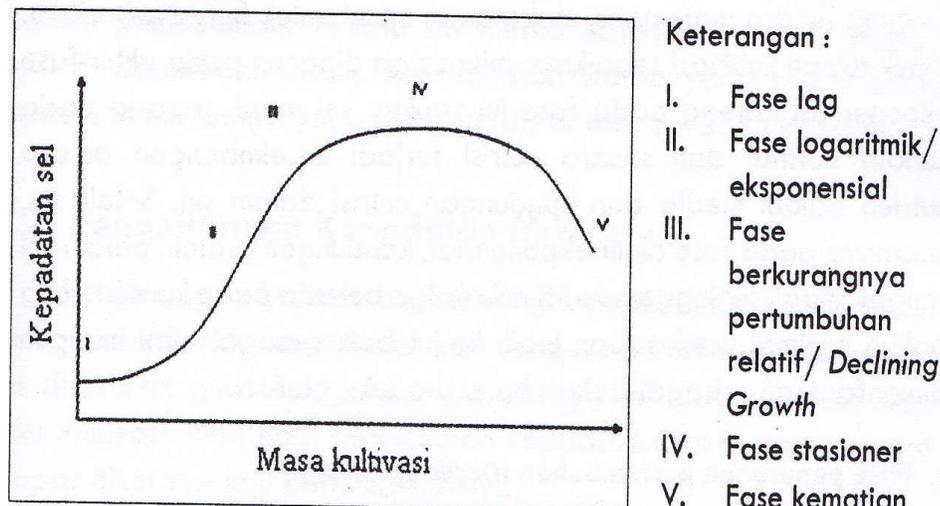
### **2.3.7 Derajat Keasaman (pH)**

Nilai pH merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi akan mengurangi aktifitas fotosintesis mikroalga. Proses fotosintesis merupakan proses mengambil  $\text{CO}_2$  yang terlarut di dalam air, dan berakibat pada penurunan  $\text{CO}_2$  terlarut dalam air. Penurunan  $\text{CO}_2$  akan meningkatkan pH, dalam keadaan basa ion bikarbonat akan membentuk ion karbonat dan melepaskan ion hidrogen yang bersifat asam sehingga keadaan menjadi netral. Sebaliknya dalam keadaan terlalu asam, ion karbonat akan mengalami hidrolisa menjadi ion bikarbonat dan melepaskan ion

hidrogen oksida yang bersifat basa, sehingga keadaan netral kembali. Rata-rata pH untuk kultivasi mikroalga antara 7-8, dengan optimum rata-rata pH berkisar antara 7,2-7,5 (Lavens dan Sorgeloos, 1996).

## 2.4 Fase Pertumbuhan

Menurut Isnansetyo dan Kuniastuty (1995), pertumbuhan mikroalga dapat diamati dengan melihat pertumbuhan jumlah sel dalam satuan tertentu atau pertumbuhan besar ukuran sel mikroalga. Cara pertama sering digunakan untuk mengetahui pertumbuhan mikroalga, yaitu dengan menghitung kelimpahan atau kepadatan sel mikroalga dari waktu ke waktu. Selama pertumbuhan mikroalga dapat mengalami beberapa fase pertumbuhan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kurva pertumbuhan mikroalga (Kawaroe, 2010).

Menurut Kawaroe (2010), fase pertumbuhan mikroalga terdiri dari lima fase diantaranya:

1) Fase Persiapan Pertumbuhan (lag)

Fase lag merupakan pertumbuhan fase awal dimana penambahan kelimpahan mikroalga terjadi dalam jumlah sedikit pada fase ini mikroalga mengalami penyesuaian terlebih dahulu sebelum mengalami pertumbuhan. Fase ini mudah diobservasi pada saat kultivasi mikroalga baru saja dilakukan atau sesaat setelah bibit mikroalga dimasukkan pada media kultivasi. Pada fase ini biasanya terjadi *stressing* secara fisiologi karena terjadi perubahan kondisi lingkungan media kultivasi dari media awal ke media yang baru.

2) Fase Pertumbuhan (Eksponensial)

Fase eksponensial merupakan tahapan pertumbuhan lanjut yang dialami mikroalga setelah fase lag. Mikroalga yang dikultivasi akan mengalami penambahan biomassa secara cepat. Hal ini ditunjukkan dengan penambahan jumlah sel yang sangat cepat melalui pembelahan sel mikroalga. Penambahan tersebut apabila dihitung secara matematis maka akan membentuk fungsi logaritma. Untuk tujuan kultivasi sebaiknya mikroalga dipanen pada akhir fase eksponensial karena pada fase ini struktur sel masih berada pada kondisi normal dan secara nutrisi terjadi keseimbangan antara nutrisi dalam media dan kandungan nutrisi dalam sel. Selain itu umumnya pada fase akhir eksponensial, kandungan lipid dalam sel sangat tinggi, sehingga kondisi mikroalga berada pada kondisi yang paling optimal, untuk tujuan

lebih lanjut baik sebagai bibit maupun dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biofuel.

### 3) Fase Penurunan Laju Perumbuhan (Deklining)

Fase ini terjadi dengan indikasi pengurangan kecepatan pertumbuhan sampai sama dengan fase awal pertumbuhan, yaitu kondisi yang *stagnan* dimana tidak terjadi penambahan sel. Pada fase ini ditandai dengan berkurangnya nutrisi dalam media, sehingga mempengaruhi kemampuan pembelahan sel yang menyebabkan jumlah sel semakin menurun. Pada fase ini juga dapat dijumpai penambahan jumlah sel akan tetapi kualitas sel memiliki nutrisi yang kurang baik.

### 4) Fase tetap (Stasioner)

Fase stasioner ditandai dengan rendahnya tingkat nutrisi dalam sel mikroalga, sehingga akan berpengaruh pada laju reproduksi dan laju kematian. Peningkatan jumlah sel tidak lagi terjadi atau tetap sama dengan sebelumnya. Umumnya untuk kelimpahan sel yang rendah dalam kultivasi terjadi stasioner pendek sehingga menyulitkan pada saat pengamatan.

### 5) Fase Kematian (Mortalitas)

Fase kematian diindikasikan oleh kematian sel mikroalga yang terjadi karena adanya perubahan kualitas air kearah yang buruk. Penurunan kandungan nutrisi dalam media kultivasi dan kemampuan metabolisme mikroalga yang menurun akibat dari umur yang sudah tua. Fase ini ditandai dengan warna air media kultivasi berubah, terjadi buih dipermukaan media kultivasi serta gumpalan mikroalga yang mengendap di dasar wadah kultivasi.

## 2.5 Teknik Kultivasi Mikroalga

Kultivasi mikroalga dapat dilakukan pada beberapa tingkatan, dari skala yang kecil hingga skala massal. Kultivasi mikroalga dimulai dari kegiatan isolasi kemudian dikembangkan sedikit demi sedikit secara bertingkat. Kultivasi skala laboratorium dilakukan pada volume 50 ml - 3 liter, lalu dilakukan kultivasi semi outdoor dengan volume 60 - 100 liter dan kultivasi massal dengan volume  $\geq 1$  ton (Isnansetyo dan Kurniastuty, 1995).

Kultivasi skala laboratorium memiliki tujuan untuk mempertahankan bibit dari strain unggulan tetap berada pada kondisi terjaga dan terkendali, sehingga pertumbuhan mikroalga dapat maksimum. Kultivasi laboratorium membutuhkan intensitas cahaya yang optimum, kemudian pupuk dan vitamin yang bersifat pro analisis untuk menjamin kondisi sel mikroalga tetap baik dan berkembang maksimum. Sumber intensitas cahaya di laboratorium dapat menggunakan lampu TL (*Tube Lamp*) dengan intensitas cahaya 1.000 - 5.000 luks. Selain itu juga perlu dilakukan sterilisasi terhadap semua komponen yang terkait dengan kultivasi seperti bibit, alat, wadah, pupuk, air dan nutrient agar kondisi steril dapat dicapai (Gunawan, 2012).

## 2.6 Media Kultur

Media kultur adalah salah satu faktor yang penting untuk pemanfaatan mikroalga. Media kultur mengandung makronutrien dan mikronutrien untuk pertumbuhan mikroalga. Komposisi nutrien yang lengkap dan konsentrasi nutrien yang tepat menentukan produksi biomassa mikroalga (Prihantini, 2007).

Media kultur mikroalga harus mengandung unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya. Unsur hara yang dibutuhkan alga terdiri dari unsur hara makro dan unsur hara mikro, yang termasuk unsur hara makro ialah C (karbon), N (nitrogen), P (posfor), K (kalium), S (sulfur), Mg (magnesium), dan Ca (kalsium), sedangkan unsur hara mikro ialah Fe (besi), Cu (tembaga), Mn (mangan), Zn (seng), B (boron), V (vanadium), dan Si (silicon). Unsur-unsur tersebut berperan dalam pembentukan karbohidrat, protein, dan lemak (Ghufran dan Kordi, 2010).

Media yang digunakan dalam kultur alga dapat berupa media alami ataupun media sintetik. Media sintetik terdiri dari senyawa-senyawa kimia yang komposisi dan jumlahnya telah ditentukan. Medium *Basal Bold* (MBB) merupakan media sintetik yang umum digunakan dalam kultur mikroalga *Chlorophyta*. Sedangkan media alami dibuat dari bahan-bahan alami, seperti air kelapa. Media alami juga dapat diperoleh dari limbah pembuatan produk tertentu, seperti limbah pengolahan produk kacang kedelai, limbah cair tahu dan tapioka (Prihantini, 2007).

## **2.7 Limbah Cair Tapioka**

Industri tapioka merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah melimpah yang cukup bermasalah dalam pengelolaan limbah (padat dan cair). Hasil limbah dari 2/3 pengolahan tepung tapioka sebesar 75%, limbah ini berupa padat dan cair yang dapat mencemari lingkungan sekitar industri tapioka (Sumiyati, 2009).

Limbah padat tapioka masih dapat digunakan untuk keperluan lain misalnya makanan ternak dan asam cuka, akan tetapi limbah cair dibuang begitu saja ke lingkungan. Limbah cair dari industri tepung tapioka mengandung senyawa-senyawa organik tersuspensi seperti protein dan karbohidrat yang mudah membusuk dan menimbulkan bau tak sedap maupun senyawa anorganik yang berbahaya seperti CN, nitrit, ammonia, dan sebagainya. Hal inilah yang sering menjadi keluhan terutama bagi masyarakat yang berada di sekitar industri tersebut karena dapat membahayakan kesehatan serta merusak keindahan (Riyanti, 2010).

Menurut Zaitun (1999) dalam Hanifah (2001), proses pembuatan tapioka, memerlukan air untuk memisahkan pati dari serat. Pati yang larut dalam air harus dipisahkan, sehingga limbah cair yang dilepaskan ke lingkungan masih mengandung pati. Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa mengandung nitrogen, sulfur dan fosfor dari bahan berprotein.

Kandungan dari limbah tersebut diantaranya padatan tersuspensi, kasar dan halus terbanyak serta senyawa organik. Pemekatan dan pencucian pati dengan sentrifus menghasilkan limbah cukup banyak, kehadiran zat-zat tersebut dalam limbah cair dapat menimbulkan gangguan-gangguan seperti Menimbulkan penyakit: misalnya gatal-gatal dan mengurangi estetika sungai (Santoso, 2011).

Menurut Sumiyati (2009), dampak negatif dari limbah cair mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan, diantaranya bau yang tidak sedap dan beberapa sumur warga yang tidak layak untuk dikonsumsi. karena limbah cair tapioka

mengandung unsur N (Nitrogen) yang sangat tinggi. Pembuangan limbah cair tapioka ke lingkungan perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat membahayakan kehidupan akuatik.

Menurut Munafi (2011) dalam penelitiannya melaporkan bahwa mikroalga hijau mampu menyerap nitrogen sebagai ion nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) melalui bantuan katalis enzim nitrat reduktase, nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dirubah menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ). Keberadaan nitrat menyebabkan penekan pada enzim nitrat reduktase. Pengurangan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) melibatkan dua langkah enzimatik independen. Pertama, pengurangan nitrat menjadi nitrit dikatalisis oleh enzim nitrat reduktase, dan kedua, pengurangan nitrit menjadi amonia dikatalis oleh enzim feredoksin nitrit reduktase. Nitrogen dalam bentuk nitrat tidak segera digunakan oleh mikroalga, nitrat mula-mula harus direduksi terlebih dahulu menjadi ammonia.

Medium untuk pertumbuhan mikroalga *Scenedesmus* sp. bukan merupakan lahan yang berair khusus, namun cukup dengan air yang mengandung nutrisi. Berdasarkan karakteristik tersebut limbah cair tapioka merupakan salah satu bahan yang memungkinkan untuk digunakan sebagai media tumbuh mikroalga ini. Limbah cair tapioka memiliki kandungan bahan organik diantaranya glukosa sebesar 21,067 mg%, karbohidrat 18,900 mg% dan vitamin C 51,040 mg%. kandungan karbohidrat yang mencapai 18% sangat bermanfaat sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga (Sumiyati, 2009).