

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Shuping et al. (2010) melakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pirolisis pada genus mikroalga laut uniseluler hijau, *Dunaliella tertiolecta* dalam *thermogravimetric analyzer* dari suhu kamar sampai 900°C dengan udara atmosfer murni dengan laju pemanasan yang berbeda yaitu 5, 10, 20, dan 40°C / menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya tiga tahap dalam degradasi proses termal, dengan meningkatnya suhu, suhu awal, dan suhu puncak pergeseran pirolisis untuk nilai yang lebih tinggi menjadikan tingkat pemanasan meningkat. Tingkat pemanasan yang meningkat juga mengakibatkan peningkatan jumlah materi *volatile*. Analisis kinetik dari proses utama pirolisis menggunakan prosedur komposit dengan metode *Iso-conversional* dan metode *Master-plot*. Metode *Iso-conversional* menunjukkan indikasi bahwa reaksi pirolisis harus sesuai dengan model reaksi tunggal dengan energi aktivasi 145,713 kJ mol⁻¹ menggunakan metode *Kissinger's* dan 146,421 kJ mol⁻¹ menggunakan metode *Flynn-Wall-Ozawa's*. dari Metode master-plot didapatkan bahwa mekanisme reaksi yang paling mungkin adalah seperti yang dijelaskan oleh Fn model. Akhirnya, diperkirakan bahwa faktor pra-eksponensial adalah $A = 2,28 \times 10^{-13} s^{-1}$, Eksponen kinetik adalah $n = 2,4$, dan fungsi model reaksi adalah $f(\alpha) = (1 - \alpha)^{24}$. Hasil penelitian ini memberikan informasi berguna untuk merancang sistem pengolahan pirolitik menggunakan mikroalga *D. tertiolecta* sebagai bahan baku energi alternatif.

Chen et al. (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui perilaku pembakaran *Chlorella vulgaris* (genus uniseluler mikroalga hijau) yang diuji di *thermogravimetric analyzer* (TGA) dari suhu kamar sampai 800°C dalam udara atmosfer. Pengaruh konsentrasi oksigen yang berbeda (20, 50, 60, 80 vol.%) dan pada laju pemanasan berbeda (10, 20 dan 40°C min⁻¹) pada proses pembakaran *C.vulgaris*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pembakaran pada *C.vulgaris*. dapat dibagi menjadi tiga tahap. Pada tahap pertama dimana menguapnya udara dan hilangnya *volatile* ringan, pada tahap kedua terjadi penurunan berat yang besar dimana pada tahap ini komposisi utama dari mikroalga terdekomposisi yaitu lipid, kemudian pada tahap ketiga ini adalah terdekomposisinya karbon pada laju yang lambat karena memang pembakaran dari mikroalga yang kompleks, disini konsentrasi oksigen dan tingkat pemanasan memiliki efek yang penting pada proses pembakaran utama *C. vulgaris*. Metode *Iso-conversional* melibatkan metode *Flynn-Wall-Ozawa* (FWO) dan *Kissinger-Akah-ira-Sunose* (KAS)

yang digunakan untuk analisis kinetik dari proses pembakaran utama. Hasil menunjukkan bahwa, ketika konsentrasi oksigen bervariasi 20% sampai 80% volume, nilai energi aktivasi meningkat masing-masing 134,03-241,04 kJ mol⁻¹ dengan menggunakan metode FWO dan dari 134,53 - 242,33 kJ mol⁻¹ dengan metode KAS. Selain itu, konsentrasi oksigen untuk pembakaran yang optimal pada *C.vulgaris* adalah 25-35 % volume.

Tang et al. (2011) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pembakaran mikroalga dan *municipal solid waste* (MSW) dengan udara N₂/O₂ dan CO₂/O₂ dianalisis dengan menggunakan instalasi *Thermogravimetric*. Dari hasil penelitian didapatkan dengan suhu awal *volatile* (Tv), Maksimum laju penurunan berat (Rmax) Dan suhu puncak (maksimal) (Tmax). Dengan meningkatkan rasio campuran dari mikroalga dari 10% menjadi 70% dengan udara N₂/O₂. Tv menurun dari 269,4 menjadi 247,4°C, Tmax menurun 310,8 menjadi 288,0°C, Rmax menurun dari 11,94% menjadi 7,88% dan sisa berat menurun dari 30% menjadi 20%. Dengan demikian, pencampuran dengan mikroalga dapat meningkatkan pembakaran MSW. Udara tidak mempengaruhi Tv dan Tmax, tetapi penggantian N₂ oleh CO₂, Menghasilkan munculnya gundukan-gundukan kecil (> 600 C) dalam hilangnya massa dan laju kurva penurunan berat, pembakaran tidak sempurna, dan Rmax lebih rendah, sehingga memerlukan beberapa penambahan, seperti peningkatan konsentrasi oksigen, dalam udara CO₂/ O₂ untuk mencapai kinerja yang sama pada pembakaran di udara.

2.2 Mikroalga

2.2.1 Pengertian Mikroalga

Mikroalga adalah alga berukuran mikro yang biasa dijumpai di air tawar maupun air laut. Mikroalga merupakan spesies uniseluler yang dapat hidup soliter maupun berkoloni. Berdasarkan spesiesnya, ada berbagai macam bentuk dan ukuran mikroalga. Tidak seperti tanaman tingkat tinggi, mikroalga tidak mempunyai akar, batang dan daun (Anonim *a*, 2010). Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang memiliki kemampuan untuk menggunakan sinar matahari dan karbondioksida untuk menghasilkan biomassa serta menghasilkan sekitar 50% oksigen yang ada di atmosfer (Widjaja, 2009; Anonim *a*, 2010).

Keanekaragaman mikroalga sangat tinggi. Diperkirakan ada sekitar 200.000 – 800.000 spesies mikroalga ada di bumi, dimana baru sekitar 35.000 spesies saja yang telah diidentifikasi. Beberapa contoh spesies mikroalga diantaranya yaitu *Spirulina*,

Nannochloropsis sp, *Botryococcus braunii*, *Chlorella sp*, *Dunaliella primolecta*, *Nitzschia sp*, *Tetraselmis suecia*, dan lain-lain.

Tabel 2.1 Kandungan lipid pada beberapa mikroalga

No	Jenis mikroalga	% lipid dari berat kering
1	<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
2	<i>Chlorella sp</i>	28-32
3	<i>Cryptocodinium cohnii</i>	16-37
4	<i>Cylindrotheca sp</i>	45-33
5	<i>Dunaliella primolecta</i>	20-35
6	<i>Isochrysis sp</i>	20-30
7	<i>Monallanthus salina N</i>	35-54
8	<i>Nannochloris sp</i>	45-47
9	<i>Nannochloropsis sp</i>	31-68
10	<i>Neochloris oleoabundans</i>	50-77
11	<i>Nitzschaia sp</i>	15-23

Sumber : Chisti (2007)

Sel-sel mikroalga tumbuh dan berkembang pada suspensi air, sehingga mempunyai tingkat efisiensi yang lebih tinggi dalam hal penggunaan air, karbondioksida dan nutrisi lainnya bila dibandingkan dengan tanaman tingkat tinggi (Widjaja, 2009). Pertumbuhan mikroalga sendiri terdiri dari tiga fase utama, yaitu fase lag, eksponensial dan stasioner. Kebanyakan spesies mikroalga menghasilkan produk yang khas seperti karotenoid, antioksidan, asam lemak, enzim, polimer, peptida, toksin dan sterol (Hossain et al, 2008; Anonim *a*, 2010).

Komposisi kimia sel mikroalga tidak dibatasi oleh faktor-faktor yang tetap dan tergantung pada spesies serta kondisi kultivasinya. Terdapat peluang untuk memperoleh mikroalga dengan komposisi kimia tertentu dengan memanipulasi faktor lingkungannya seperti suhu, cahaya, pH, ketersediaan karbondiosida, garam dan nutrisi lainnya (Basmal 2008; Anonim *a*, 2010).



Gambar 2.1. *Pymnesium parvum*
Sumber : (TPWD, 2009)



Gambar 2.2. *Tetraselmis suecica*
Sumber : (Hutchinson, 2008)

Mikroalga merupakan mikroorganisme dengan kemampuan seperti pabrik biofuel. Hal ini dikarenakan, ada beberapa biofuel yang dapat dihasilkan dari mikroalga, yaitu hidrogen, biodiesel (yang diperoleh melalui proses transesterifikasi), bioetanol (yang diperoleh melalui proses fermentasi) dan biogas (Skill, 2007; Basmal, 2008). Namun demikian, ada beberapa hal penting terkait dengan pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku biofuel, yaitu proses produksi mikroalga, proses pemanenan mikroalga dan proses konversi biomassa menjadi biofuel (Skill, 2007).

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 (Guerrero, 2010).

2.2.2 Macam – Macam Mikroalga

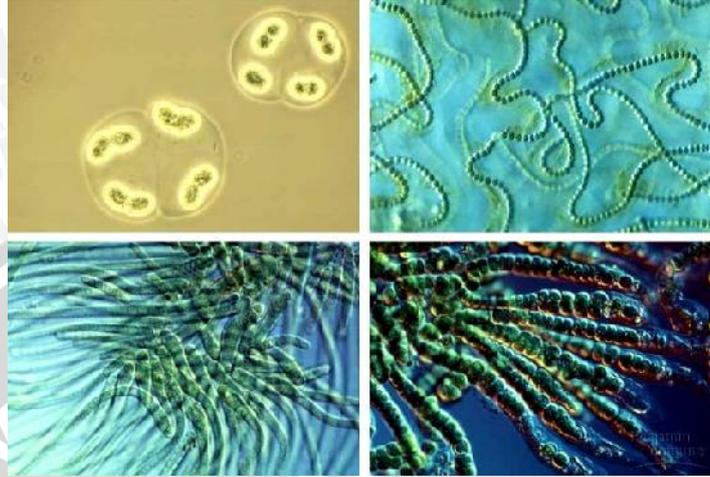
Mikroalga merupakan kelompok tumbuhan berukuran renik, baik sel tunggal maupun koloni yang hidup di seluruh wilayah perairan air tawar dan laut. Mikroalga lazim disebut fitoplankton. Mikroalga saat ini menjadi salah satu alternatif sumber energi baru yang sangat potensial. Makanan utama mikroalga ialah karbondioksida. Ia mampu tumbuh cepat dan dipanen dalam waktu singkat yakni 7-10 hari. Kegiatan kultivasi tumbuhan produsen primer ini menghemat ruang (*save space*), memiliki efisiensi dan efektivitas tinggi. Panen mikroalga minimal 30 kali lebih banyak dibandingkan tumbuhan darat.

Sel mikroalga dapat dibagi menjadi 10 divisi dan 8 divisi *algae* merupakan bentuk *unicellulair*. Dari 8 divisi *algae*, 6 divisi telah digunakan untuk keperluan budidaya perikanan sebagai pakan alami. 4 karakteristik yang digunakan untuk membedakan divisi mikro *algae* yaitu ; tipe jaringan sel, ada tidaknya flagella, tipe komponen fotosintesa, dan jenis pigmen sel. Selain itu morfologi sel dan bagaimana sifat sel yang menempel berbentuk koloni / filamen adalah merupakan informasi penting didalam membedakan masing-masing grup.



1. *Cyanobacteria* Atau Alga Biru Hijau

Cyanobacteria atau alga biru hijau adalah kelompok alga yang paling primitif dan memiliki sifat-sifat bakterial dan alga.



Gambar 2.3 *Cyanobacteria*

Sumber : anonim b

Kelompok ini adalah organisme prokariotik tidak memiliki struktur-struktur sel, contohnya nukleus dan *chloroplast* hanya memiliki *chlorophyll a*, namun memiliki variasi phycobilin seperti carotenoid. Pigmen-pigmen ini memiliki beragam variasi sehingga warnanya bisa bermacam-macam contoh : *Spirulina*, *Oscillatoria*, *Anabaena*.

2. Alga Hijau (*Chlorophyta*)

Alga hijau adalah kelompok alga yang paling maju dan memiliki banyak sifat-sifat tanaman tingkat tinggi.



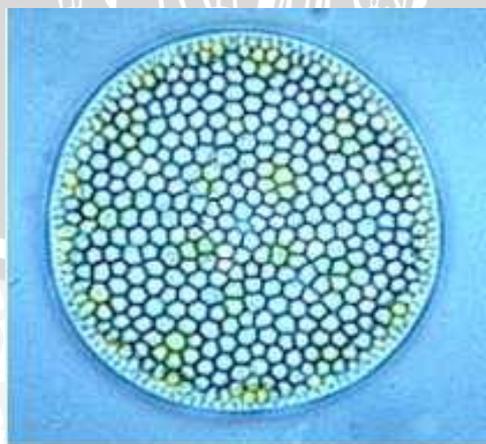
Gambar 2.4 *Chlorophyta*

Sumber : anonim b

Merupakan organisme prokariotik 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. *Clamidomonas* (air tawar, air laut) *Nannochloris* (air tawar, air laut) berwarna hijau tidak motil dan tidak memiliki flagel, berukuran sangat kecil dengan diameter 1,5-2,5 mm, sel berbentuk bola, cenderung mengapung 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) *Chlorella* (air tawar, air laut). Selnya bereproduksi dengan membentuk dua sampai delapan sel anak didalam sel induk yang akan dilepaskan dengan melihat kondisi lingkungan. Merupakan pakan untuk rotifer dan daphnia.

3. *Diatomae*

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.



Gambar 2.5 *Diatomae*
Sumber : anonim b

Tidak memiliki flagella kecuali pada beberapa spesies tertentu. hanya memiliki *chlorophyl a* dan *c* serta beberapa karotenoid seperti *fucoxanthin* sehingga berwarna kecoklatan. Organisme ini biasa digunakan sebagai pakan dalam budidaya. Contoh *Chaetoceros* (air laut) Populer sebagai pakan rotifer, kerang-kerangan, tiram, dan larva udang. *Cyclotella* (air tawar, air laut). Merupakan organisme uniseluler berbentuk simetris radial dengan diameter 5-12 mm dan jarang membentuk rantai. Jarang memiliki duri dan biasanya tidak tampak jika dilihat menggunakan mikroskop ukuran kecil. Kadang-kadang digunakan sebagai pakan sumber pakan. *Thalassiosira* (air laut). Merupakan organisme berbentuk simetris radial dengan lebar 11-14 mm dan panjang 14-17 mm, biasanya hadir dalam bentuk uniseluler akan tetapi organisme ini mampu membentuk rantai. Organisme ini umum digunakan sebagai pakan dalam budidaya. *Skeletonema* (air laut). Merupakan organisme yang membentuk rantai dengan sel yang berbentuk membulat yang dihubungkan oleh untaian silika panjang satu dengan lainnya. Organisme ini ditemukan juga di perairan muara pada salinitas 10 ppt dan merupakan genus plankton yang umum serta digunakan sebagai pakan dalam budidaya. *Phaeodactylum* (air laut). digunakan sebagai pakan untuk rotifer, kerang, tiram dan biasanya organisme menyebabkan perairan menjadi kotor.

4. *Chrysophyta*

Alga coklat-emas dikaitkan dengan *diatomae*, namun mereka memiliki dinding sel silika yang sedikit selama masa hidup mereka.



Gambar 2.6 *Chrysophyta*
Sumber : anonim b

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 *chlorophyl a* dan *c* serta beberapa karotenoid seperti *fucoxanthin* yang

memberikan mereka warna kecokelatan. 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 hanya memiliki *chlorophyl a* di samping memiliki pigmen lainnya seperti *phycoyanin* (pigmen biru), dan *phycoeretrin* (pigmen merah), seperti juga halnya berbagai *carotenoid*.



Gambar 2.7 *Rhodophyta*

Sumber : anonim b

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. Contoh *Porphyridium* (air laut) Alga ini digunakan pada lingkungan budidaya untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat.

6. *Euglenophyta*

Euglenophyta dimasukkan dalam kelompok alga hijau oleh beberapa ahli taksonomi dan dimasukkan ke dalam golongan protozoa oleh sebagian ahli lainnya dikarenakan organisme ini memiliki sifat-sifat tanaman sekaligus hewan. Organisme ini merupakan organisme *eukaryotik* dengan struktur-struktur tubuh yang dapat dijumpai pada sebagian besar alga, namun mereka juga memiliki kerongkongan sehingga mereka dapat memasukkan partikel ke dalam tubuhnya. Mereka memiliki satu flagella yang panjang dan biasanya berenang dengan cara menarik diri mereka melalui air. Beberapa di antaranya melakukan gerakan *amoeboid*.



Gambar 2.8 *Euglenophyta*

Sumber : anonim b

Organisme ini tidak memiliki dinding sel, namun mereka memiliki lapisan luar yang keras yang tersusun dari protein yaitu *pellicle*, yang memiliki fungsi yang sama seperti dinding sel. *Euglenophyta* memiliki *chlorophyl a* dan *b* beberapa *carotenoid* dan biasanya mereka terlihat berwarna hijau rumput. *Euglena* umum ditemukan di perairan yang kaya akan nutrisi. contoh *Euglena* (air tawar, air laut)

7. *Cryptophyta*

Cryptophyta adalah kelompok uniseluler yang unik yang tidak memiliki kedekatan dengan kelompok alga lainnya. Kelompok ini merupakan organisme *eukaryotik*, dan mereka juga memiliki kerongkongan.



Gambar 2.9 *Cryptophyta*

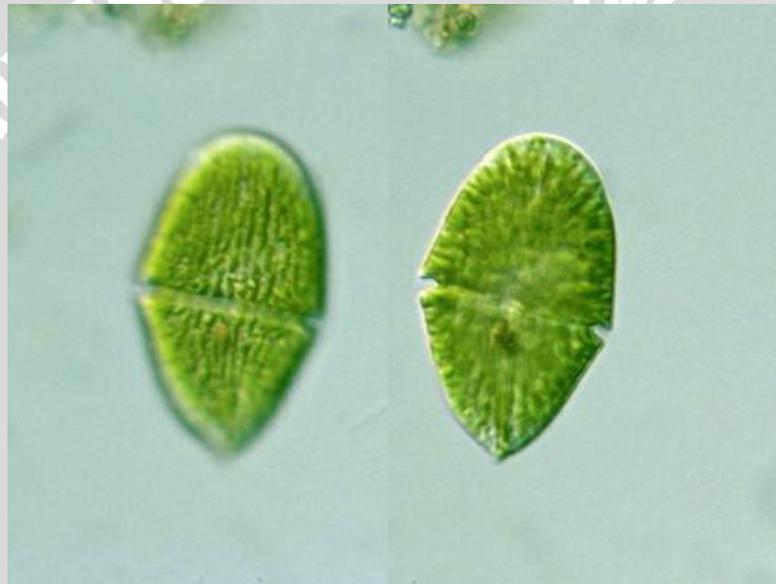
Sumber : anonim b

Semua spesies kelompok ini memiliki flagel, bersifat motil, dan memiliki satu atau dua *kloroplast* serta memiliki *chlorophyl a* dan *c*, *phycocyanin* dan *phycoeretrin* serta beberapa *carotenoid* yang memberikan warna kecokelatan pada tubuh mereka.

Cryptomonas (air tawar, air laut). memiliki 1-2 kloroplas cokelat dan dapat melakukan fotosintesa ataupun bertahan hidup menggunakan bakteri. Pada umumnya tidak digunakan sebagai pakan pada lingkungan budidaya, namun demikian populasi di alam merupakan makanan bagi rotifer, kerang, tiram, dan larva udang.

8. *Phyrrrophyta*

Dalam kelompok ini terdapat *dinoflagellata* yang merupakan suatu kelompok organisme uniseluler yang unik yang memiliki dua flagella dan umum dijumpai di air tawar maupun air laut. Kelompok ini merupakan organisme *eukaryotik*.. Salah satu ciri khas kelompok organisme ini adalah keberadaan dinding sel yang terbuat dari lapisan selulosa. Akan tetapi ada beberapa organisme yang tidak memiliki dinding sel ini.



Gambar 2.10 *Phyrrrophyta*

Sumber : anonim b

Organisme ini memiliki dua flagella. Banyak organisme dari golongan ini yang memiliki *trichocyst*, yaitu struktur protein yang dapat dikeluarkan dari permukaan sel untuk melindungi diri dari predator. Fenomena '*red tide*' adalah peristiwa yang dihubungkan dengan ledakan (berkumpulnya) *dinoflagellata* karena adanya pigmen kemerahan yang terakumulasi dalam organisme-organisme ini dan dalam jumlah yang besar yang terjadi pada kondisi lingkungan tertentu. Beberapa *dinoflagellata* menyebabkan peracunan pada kerang-kerangan dan menyebabkan pengakumulasian neurotoxin dalam konsentrasi tinggi. Beberapa spesies merupakan parasit bagi ikan yang menyebabkan masalah seperti '*velvet disease*'. Sebagian besar spesies bukan

merupakan makanan ikan karena ukurannya terlalu besar untuk dikonsumsi. Ceratium (air tawar). Peridinium (air tawar, air laut).

2.2.3 Keunggulan Mikroalga

Keunggulan-keunggulan penggunaan mikroalga sebagai sumber energi yang terbarukan adalah (Dowd, 2008) :

1. Kelimpahan mikroalga di dunia sangat besar baik dari keanekaragaman maupun jumlahnya per satuan luas yang sama.
2. Berdasarkan posisi geografis, Indonesia memiliki lautan tropis yang sangat luas dengan kelimpahan cahaya matahari sehingga memiliki kandungan mikroalga yang sangat banyak.
3. Produktivitas mikroalga 2-5 kali lebih cepat dibandingkan tumbuhan pertanian penghasil biofuel lainnya pada luas lahan yang sama.
4. Dapat dibudidayakan pada air tawar maupun asin baik dengan kualitas rendah seperti limbah maupun fasilitas pengolahan air bersih.
5. Sistem mikroalga mampu mengurangi emisi CO₂ di atmosfer, sehingga sumber energi dari mikroalga ramah lingkungan.
6. Beberapa spesies mikroalga memiliki kandungan minyak sangat tinggi mencapai 70% dari bahan baku.
7. Mikroalga dapat dibudidayakan di bioreaktor dengan tujuan mencapai pertumbuhan maksimal untuk dapat memproduksi minyak dalam jumlah optimal.

2.2.4 Mikroalga *Nannochloropsis Oculata*

Nannochloropsis oculata (*eustigmatophyceae*) yang lebih dikenal dengan nama *chlorella* Jepang, merupakan sel berwarna kehijauan, tidak motil, dan tidak berflagel. Selnya berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter 2-4 μm , tergantung spesiesnya, dengan *chloroplast* berbentuk cangkir. Organisme ini merupakan divisi yang terpisah dari *Nannochloris* karena tidak adanya *chlorophyl b*. Selnya bereproduksi dengan membentuk dua sampai delapan sel anak didalam sel induk yang akan dilepaskan pada lingkungan. Penggunaan mikroalga *N. oculata* secara komersial antara lain sebagai bahan makanan, energi biomassa, pupuk pertanian, dan industri farmasi karena mikroalga ini mengandung protein, karbohidrat, lipid, dan berbagai macam

mineral. Selain itu *Nannochloropsis oculata* merupakan pakan yang populer untuk rotifer, artemia, dan pada umumnya merupakan organisme penyaring.

Pertumbuhan sel *Nannochloropsis oculata* sangat dipengaruhi oleh tiga komponen penting untuk tumbuh, yaitu Cahaya, karbon dioksida dan *nutrien*. *Nannochloropsis oculata* adalah salah satu tanaman yang paling efisien dalam menangkap dan memanfaatkan energi cahaya dan CO₂ untuk keperluan fotosintesis. Cahaya mempunyai pengaruh langsung dalam proses fotosintesis dan pengaruh tidak langsung melalui pertumbuhan dan perkembangan. Kurangnya intensitas cahaya yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk aktivitas fotosintesis akan menyebabkan proses fotosintesis tidak berlangsung normal sehingga mengganggu biosintesis sel selanjutnya. Untuk itu intensitas cahaya sangat diperlukan oleh mikroalga untuk menjalankan proses fotosintesis (Diharmi, 2001). Menurut Cahyaningsih dkk (2006), untuk kultur mikroalga semi massal maupun massal dengan ruang terbuka intensitas cahaya lebih baik diberikan dibawah 10.000 lux. Sedangkan didalam ruang kultur intensitas cahaya yang dibutuhkan mikroalga berkisar antara 500 hingga 5000 lux. Selain itu, pertumbuhan *Nannochloropsis oculata* juga dipengaruhi oleh suhu, pH dan salinitas. *Nannochloropsis oculata* dapat tumbuh dengan baik pada suhu 25°C - 30°C, pH 8 - 9,5, dan salinitas 30-32 ppt (Chisti, 2007)

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan bahwa mikroalga mengalami perubahan komposisi biokimia ketika kondisi-kondisi kultur bervariasi. Perubahan-perubahan biokimia terbesar dihubungkan dengan rendahnya kandungan nitrogen di dalam media biakan yang menyebabkan penurunan protein mikroalga dan peningkatan kandungan lipid dan karbohidrat yang cukup besar. Chisti (2007), memberikan contoh beberapa spesies mikroalga yang dikultur pada kondisi yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kandungan nilai proximat dan komposisi lipid seperti; *Chlorella* memiliki kandungan lipid 28- 32 persen, *Dunaliella primolecta* (23 persen), *Isochrysis galbana* (25-33 persen), dan *Nannochloropsis oculata* (31-68 persen) chisti (2007), melakukan kultur *Tetraselmis chuii* pada intensitas cahaya 2000 lx, 3000 lx dan 4000 lx diperoleh prosentase lipid tertinggi sebesar 15,02 % pada intensitas cahaya 4000 lx, 11,88% pada intensitas 3000 lx, dan 11,34 % pada intensitas 2000 lx. Selanjutnya Diharmi (2001), melakukan kultur spirulina pada berbagai intensitas cahaya, yaitu 2000 lux, 3000 lux, dan 4000 lux, kandungan biomassa tertinggi diperoleh pada kultur dengan intensitas 4000 lux.

2.3 Proses Dekomposisi Mikroalga

Proses dekomposisi adalah penguraian komposisi sampel atau bahan organik karena mendapat suatu perlakuan dari luar seperti pemanasan atau dengan diberikan suatu dekomposer dalam hal ini adalah bakteri dekomposer, sehingga mengakibatkan suatu perubahan komposisi dari sampel atau bahan organik seperti perubahan fase maupun senyawa dari bahan organik tersebut.

Dalam mikroalga terdapat berbagai kandungan seperti *moisture*, *volatile matter*, *fixed carbon*, kandungan kimia seperti C, H, O, N, S, P. Penelitian sebelumnya Chen *et al.* (2011) menggunakan uji TGA/DTG dengan pemanasan bertahap hingga suhu 800°C untuk mengetahui tahapan dekomposisi dari mikroalga *Chlorella vulgaris* dan didapatkan 3 tahapan, tahap awal pada temperatur 170°C yaitu hilangnya *moisture* karena menguap sehingga terjadi penurunan berat pada mikroalga, tahap kedua pada temperatur 459,91-474,70°C merupakan tahapan utama yang menghasikan penurunan berat yang besar yaitu penurunan berat akibat pembakaran *volatile matter*. tahap ketiga 543,90-569,10°C merupakan penurunan berat karena pembakaran bahan organik.

2.4 Heating

Pada umumnya semua proses yang memerlukan pemanasan dapat dilakukan dengan dua metode pemanasan, yaitu pemanasan secara langsung dan tidak langsung.

Pemanasan secara langsung (*direct heating*) merupakan metode di mana produk yang akan dipanaskan mendapatkan sumber panas langsung dari gas panas hasil pembakaran bahan bakar atau dengan menggunakan elemen pemanas listrik. Sedangkan, pemanasan secara tidak langsung (*indirect heating*) adalah kebalikannya, sumber panas didapatkan dengan cara mensirkulasikan heat transfer medium (disebut juga sebagai *heat carrier*) antara *heater* dengan produknya (*heat consumer*).

Ada bermacam-macam heat transfer medium yang digunakan, tergantung pada suhu pemanasan yang diperlukan, bisa menggunakan air, uap, atau heat transfer oil. Pada umumnya untuk aplikasi yang memerlukan panas dengan suhu hingga 100°C, cukup menggunakan medium air saja, tenaga uap digunakan apabila aplikasinya memerlukan pemanasan dengan suhu di atas 150°C. Untuk aplikasi yang memerlukan pemanasan hingga suhu 300°C biasa digunakan medium thermal oil. Perlu dicatat bahwa *heat thermal oil* ini mempunyai karakteristik yang berbeda dengan lubrication oil, sehingga penggunaannya tidak bisa saling dipertukarkan.

2.4.1 Perubahan laju pemanasan Pada Analisis Termogravimetrik

Pada penelitian sebelumnya dilakukan pengujian dengan berbagai laju pemanasan yaitu 10, 20, dan 40°C / menit pada mikroalga *Dunaliella tertiolecta*. Dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya tiga tahap dalam degradasi proses termal, dengan meningkatnya laju pemanasan, maka suhu awal pembakaran, dan suhu puncak pergeseran pirolisis meningkat. Tingkat pemanasan yang meningkat juga mengakibatkan peningkatan jumlah materi *volatile*. (Shuping et al. 2010)

2.5 Analisa Termal

Analisa termal dapat didefinisikan sebagai pengukuran sifat-sifat fisik dan kimia material sebagai fungsi dari suhu. Pada prakteknya, istilah analisa termal seringkali digunakan untuk sifat-sifat spesifik tertentu. Misalnya entalpi, kapasitas panas, massa dan koefisien ekspansi termal. Pengukuran koefisien ekspansi termal dari batangan logam merupakan contoh sederhana dari analisa termal. Contoh lainnya adalah pengukuran perubahan berat dari garam-garam oksida dan hidrat pada saat mengalami dekomposisi akibat pemanasan. Dengan menggunakan peralatan modern, sejumlah besar material dapat dipelajari dengan metode ini. Penggunaan analisa termal pada ilmu mengenai zat padat telah demikian luas dan bervariasi, mencakup studi reaksi keadaan padat, dekomposisi termal dan transisi fasa dan penentuan diagram fasa. Kebanyakan padatan bersifat 'aktif secara termal' dan sifat ini menjadi dasar analisa zat padat menggunakan analisa termal.

Dua jenis teknik analisa termal yang utama adalah analisa termogravimetrik (TGA), yang secara otomatis merekam perubahan berat sampel sebagai fungsi dari suhu maupun waktu, dan analisa diferensial termal (DTA) yang mengukur perbedaan suhu ΔT , antara sampel dengan material referensi yang inert sebagai fungsi dari suhu. Teknik yang berhubungan dengan DTA adalah *differential scanning calorimetry* (DSC). Pada DSC, peralatan didisain untuk memungkinkan pengukuran kuantitatif perubahan entalpi yang timbul dalam sampel sebagai fungsi dari suhu maupun waktu. Analisa termal lainnya adalah *dilatometry*, dimana perubahan dari dimensi linier suatu sampel sebagai fungsi suhu direkam. *Dilatometry* telah lama digunakan untuk mengukur koefisien ekspansi termal; baru-baru ini, teknik ini berganti nama menjadi *thermomechanical analysis* (TMA), dan telah banyak diaplikasikan pada beragam material dan masalah; misalnya kontrol kualitas polimer.

Dengan peralatan analisa termal yang modern dan otomatis, dimungkinkan untuk karakterisasi material dengan TGA, DTA dan DSC menggunakan alat yang sama,

dengan beberapa model yang memungkinkan pengukuran TGA dan DTA secara simultan. Peralatan analisa termal agak rumit dan mahal, karena berbagai peristiwa termal dan sifat-sifat fisik dapat dipelajari secara cepat, sensitif dan akurat.

2.5.1 *Thermogravimetric Analysis (TGA)*

Thermogravimetrik adalah teknik untuk mengukur perubahan berat dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram yang kontinyu, reaksi dekomposisi satu tahap yang skematik. Sampel yang digunakan, dengan berat beberapa miligram, dipanaskan pada laju konstan, berkisar antara 1 – 20°C /menit, mempertahankan berat awalnya, W_i , sampai mulai terdekomposisi pada suhu T_i . Pada kondisi pemanasan dinamis, dekomposisi biasanya berlangsung pada *range* suhu tertentu, $T_i - T_f$, dan daerah konstan kedua teramati pada suhu diatas T_f , yang berhubungan harga berat residu W_f . Berat W_i , dan ΔW adalah harga-harga yang sangat penting dan dapat digunakan pada perhitungan kuantitatif dari perubahan komposisinya, dll. Bertolak belakang dengan berat, harga T_i dan T_f , merupakan harga yang bergantung pada beragam variabel, seperti laju pemanasan, sifat dari padatan (ukurannya) dan atmosfer di atas sampel.

Termogravimetrik analisis atau termal analisis gravimetri adalah jenis pengujian dilakukan pada sampel yang menentukan perubahan berat sebagai fungsi dari suhu ataupun waktu. Analisis semacam itu bergantung pada tingkat kepresisian yang tinggi dalam tiga pengukuran: berat, suhu, dan perubahan suhu. pada kurva penurunan berat terlihat mirip, kurva penurunan berat mungkin memerlukan transformasi sebelum hasilnya dapat ditafsirkan. Kurva penurunan berat dapat mengidentifikasi titik di mana letak penurunan berat terlihat jelas. Untuk menentukan komposisi dan kemurnian salah satu harus mengambil massa zat dalam campuran dengan menggunakan analisis termal gravimetri. Termal analisis gravimetri adalah pemanasan campuran hingga suhu yang cukup tinggi sehingga salah satu komponen terurai menjadi gas, yang terdisosiasi ke udara. Ini adalah proses yang memanfaatkan panas dan rasio stoikiometri untuk menentukan persen dengan rasio massa suatu zat terlarut. Jika senyawa dalam campuran yang tetap diketahui, maka persentase massa dapat ditentukan dengan mengambil berat apa yang tersisa di campuran dan membaginya dengan massa awal. Mengetahui massa campuran asli dan massa total residu pada pemanasan, rasio stoikiometri dapat digunakan untuk menghitung massa persen dari zat dalam sampel. TGA umumnya digunakan dalam penelitian dan pengujian untuk menentukan karakteristik bahan seperti

polimer, untuk menentukan suhu degradasi, kadar air bahan, tingkat komponen anorganik dan organik dalam bahan, tahap dekomposisi bahan, dan residu pelarut. Hal ini juga sering digunakan untuk memperkirakan kinetika korosi dalam oksidasi suhu tinggi.

TGA-DTA/DSC simultan mengukur aliran panas dan perubahan berat (TGA) dalam bahan sebagai fungsi temperatur atau waktu. Pengukuran simultan dari dua sifat material tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga menyederhanakan interpretasi hasil. Informasi pelengkap yang diperoleh memungkinkan pembedaan antara peristiwa endotermik dan eksotermik tanpa kehilangan berat (misalnya peleburan dan kristalisasi) dan yang melibatkan penurunan berat (misalnya degradasi).

Analisa ini biasanya terdiri dari tempat sampel (biasanya dari platinum). Tempat sampel yang berada dalam tungku dan dipanaskan atau didinginkan selama percobaan. Sebuah proses yang berbeda ditimbang menggunakan kristal kuarsa yang telah dirancang untuk mengukur sampel yang lebih kecil pada ukuran mikrogram (beda dengan TGA konvensional yang ukurannya miligram). Sampel ditempatkan dalam oven dipanaskan dengan listrik kecil dengan termokopel untuk secara akurat mengukur suhu. Udara dapat distabilkan dengan gas inert untuk mencegah oksidasi atau reaksi yang tidak diinginkan lainnya. Sebuah komputer digunakan untuk mengontrol instrumen.

TGA adalah proses yang memanfaatkan panas dan rasio stoikiometri untuk menentukan persen massa suatu zat terlarut. Analisis dilakukan dengan menaikkan suhu sampel secara bertahap dan merencanakan berat (persentase) terhadap suhu. Suhu di banyak metode pengujian mencapai 1000°C atau lebih. Setelah data diperoleh, kurva smoothing dan operasi lainnya dapat dilakukan untuk menemukan titik-titik yang tepat dari infleksi.

Sebuah metode yang dikenal sebagai hi-resolusi TGA sering digunakan untuk memperoleh akurasi yang lebih besar di daerah di mana puncak kurva penurunan berat. Dalam metode ini, kenaikan suhu dengan memperlambat meningkatnya penurunan berat. Hal ini untuk lebih akurat mengidentifikasi suhu yang tepat di mana puncaknya terjadi. Beberapa yang modern TGA perangkat dapat dimasukkan ke spektrofotometer inframerah untuk menganalisis komposisi.

2.6 Hipotesa

Dengan meningkatnya laju pemanasan maka penurunan berat yang terjadi semakin kecil hal ini di karenakan perpindahan panas yang tidak merata karena lama pemanasan yang lebih singkat, sehingga residu yang ada semakin besar.

