

---

## Mikroalga: Sumber Energi Terbarukan Masa Depan

### MICROALGAE: FUTURE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Sarman Oktovianus Gultom

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua  
Jl. Gunung Salju Amban, Manokwari, 98314, Indonesia

Corresponding author e-mail: [sarmangultom82@gmail.com](mailto:sarmangultom82@gmail.com)

Submitted: 24 Maret 2018 / Revised: 02 November 2018 / Accepted: 02 November 2018

<http://doi.org/10.21107/jk.v11i1.3802>

#### ABSTRACT

*The discovery of renewable fuel sources is critical to address the problem of limited fossil fuel energy in meeting the increasing energy demand. In addition, the use of renewable fuels is expected to reduce environmental pollution that has been sourced from CO<sub>2</sub> emissions of fossil fuel combustion. One of the future renewable alternative fuel sources is the microalgae. Development of microalgae as a renewable energy source continues to be done because it has advantages over other energy sources, such as high biomass production rates, not competing with foodstuffs, and does not require extensive land for growth. This Technical review is directed to provide information on the development and utilization of microalgae as a renewable alternative energy source, including harvesting technologies and microalgae conversion into fuel.*

**Keywords:** *microalgae, biodiesel, cultivation, energy*

#### ABSTRAK

*Penemuan sumber bahan bakar terbarukan sangat penting untuk menjawab permasalahan keterbatasan energi bahan bakar berbasis fosil dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Selain itu, penggunaan bahan bakar terbarukan diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang selama ini bersumber dari emisi gas CO<sub>2</sub> hasil pembakaran bahan bakar fosil. Salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan masa depan adalah mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai sumber energi terbarukan terus dilakukan karena memiliki keuntungan dibandingkan sumber energi lainnya, seperti laju produksi biomassa yang tinggi, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, serta tidak membutuhkan lahan yang luas untuk pertumbuhannya. Technical review ini diarahkan untuk memberikan informasi tentang pengembangan dan pemanfaatan mikroalga sebagai sumber energi alternatif terbarukan, termasuk teknologi panen dan korvesi mikroalga menjadi bahan bakar.*

**Kata kunci:** *mikroalga, biodiesel, kultivasi, energi*

---

#### PENDAHULUAN

Pengembangan sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan terus dilakukan guna menjawab tantangan besar yang sementara dan akan dihadapi umat manusia di muka bumi, yaitu ketersediaan energi bahan bakar. Kebutuhan energi bahan bakar terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya kebutuhan dan ekonomi masyarakat. Hingga saat ini, pemenuhan energi bahan bakar dunia, dan secara khusus di

Indonesia masih bergantung sepenuhnya pada bahan bakar yang berasal dari minyak bumi yang tidak terbarukan (*petroleum-based oil*), yang mana di masa yang akan datang ketersediaannya semakin berkurang dan akhirnya akan habis. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi bahan bakar terbarukan sangat penting dilakukan guna mempertahankan ketersediaan bahan bakar secara kontinyu.

Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan sumber energi bahan bakar terbarukan pengganti bahan bakar yang berasal dari minyak bumi, Salah satunya adalah pengembangan mikroalga. Banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa mikroalga memiliki potensi yang besar sebagai sumber bahan bakar terbarukan karena memiliki kandungan minyak yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar biodiesel. Selain kandungan minyak yang dimiliki, mikroalga juga dikenal sebagai tumbuhan akuatik yang memiliki keunggulan dibandingkan sumber bahan bakar lainnya, antara lain: tidak membutuhkan lahan yang luar, mampu menghasilkan biomassa dengan sangat cepat, serta mampu memanfaatkan CO<sub>2</sub> dalam pertumbuhannya sehingga mengurangi pencemaran udara.

Di Indonesia, pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan juga terus dilakukan diantaranya dengan dilakukannya identifikasi jenis-jenis mikroalga yang tumbuh pada daerah-daerah tropis di Indonesia. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dilaporkan bahwa terdapat beberapa tempat di Indonesia yang memiliki jenis mikroalga yang kandungan minyaknya cukup tinggi sebagai sumber bahan bakar terbarukan.

Potensi dan tantangan pengembangan mikroalga sebagai sumber bahan bakar terbarukan akan dibahas pada telaah ilmiah ini. Ruang lingkup telaah ilmiah ini antara lain kultivasi dan kondisi tumbuh mikroalga, teknik pemanenan mikroalga, teknologi konversi mikroalga menjadi bahan bakar terbarukan, serta propek dan masalah dalam pengembangan mikroalga sebagai bahan bakar terbarukan.

### **Mikroalga: kultivasi dan kondisi tumbuh**

Produksi biomassa pada mikroalga menjadi alasan utama dilakukannya kultivasi mikroalga (Hung *et al.*, 2010). Pada tahun 1960 Oswald dan Golueke untuk pertama kalinya memanfaatkan kultur mikroalga untuk menjadi bahan bakar minyak terbarukan. Penelitian yang dilakukan mencakup sistem pada kultur mikroalga dengan skala besar, tehnik pemanenan mikroalga, pengendapan lumpur mikroalga dengan cara anaerobik serta pemanfaatan mikroalga untuk menghasilkan biogas (Report, 2002; Benemann, 2003;

Benemann, Van Olst *et al.*, 2006). Selanjutnya Kultivasi mikroalga dilaporkan secara detail oleh Benemann (1978), baik dari sisi desain maupun analisis keteknikannya.

Secara umum pertumbuhan mikroalga terjadi pada tiga kondisi yang berbeda, yaitu kondisi fototropik (*phototrophic conditions*), kondisi heterotropik (*heterotrophic conditions*) dan kondisi mixotropik (*mixotrophic conditions*). Pada kondisi tumbuh secara fototropik mikroalga sangat bergantung cahaya matahari sebagai sumber energi dan CO<sub>2</sub> sebagai sumber karbon. Kondisi ini sering disebut juga autotropik fotosintesis (*autotrophic photosynthesis*). Pada kondisi heterotropik pertumbuhan mikroalga membutuhkan substrat karbon organik sebagai sumber energi. Beberapa sumber substrat karbon organik yang umum digunakan antara lain: glukosa, asetat dan gliserol. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dilaporkan bahwa produksi biomassa serta kandungan lipid pada mikroalga yang tumbuh dengan kondisi heterotropik lebih tinggi dari yang tumbuh pada kondisi fototropik (Miao and Wu 2006; Mosojidek *et al.*, 2008). Pada kondisi ini juga densitas sel mikroalga yang dicapai lebih tinggi dari kondisi fototropik sehingga biaya yang dibutuhkan untuk pemanenan lebih rendah. Beberapa jenis mikroalga juga mampu tumbuh pada kondisi mixotropik yang merupakan perpaduan antara fototropik dan heterotropik. Jenis mikroalga tersebut dapat mengasimilasi cahaya matahari dan karbon organik sebagai sumber energinya baik secara bersamaan maupun secara bergantian.

### **Faktor-faktor yang mempengaruhi kultivasi mikroalga**

Keberhasilan dalam melakukan kultivasi mikroalga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor penting. Hal tersebut perlu diperhatikan karena mikroalga yang berbeda membutuhkan syarat tumbuh yang berbeda.

#### *Jenis mikroalga*

Secara natural mikroalga memiliki jenis yang spesifik (*strain*) yang membedakannya dengan mikroalga yang lain. Jenis mikroalga tertentu mampu bertahan hidup pada kondisi tertentu. Kondisi yang tepat sangat penting bagi pertumbuhan mikroalga terlebih ketika diperhadapkan dengan organisme pengganggu lainnya. Tehnik kultivasi mikroalga yang tepat

terus dilakukan khususnya untuk menghadapi masalah kontaminasi terhadap sel mikroalga yang dikembangkan.

CO<sub>2</sub>

Salah satu unsur penting yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk pertumbuhannya adalah CO<sub>2</sub>. Pada proses metabolismenya, CO<sub>2</sub> yang dibutuhkan oleh mikroalga diubah menjadi biomassa. Sumber CO<sub>2</sub> tersebut pada umumnya berasal dari gas yang dihasilkan oleh industri yang merupakan hasil pembakaran untuk menghasilkan tenaga. Pada beberapa tahun terakhir penelitian tentang pemanfaatan CO<sub>2</sub> bagi mikroalga terus dilakukan karena hal ini bukan hanya berpengaruh pada produksi biomassa oleh mikroalga tetapi juga pengurangan efek rumah kaca pada atmosfer akibat gas CO<sub>2</sub>.

#### *Fisiologi mikroalga*

Pertumbuhan mikroalga juga dipengaruhi oleh sifat fisiologinya. Fisiologi mikroalga ini akan mempengaruhi pengambilan nutrisi serta lingkungan kultivasinya. Secara alamiah mikroalga yang hidup pada kolam (*ponds*) terbuka akan bertumbuh dengan cepat hingga menutupi permukaan kolam. Apabila fisiologi dari mikroalga tersebut sangat baik, maka kondisi tersebut dapat memacu produksi biomassa dengan kandungan minyak dan pati yang tinggi. Akan tetapi, respon fisiologi tertentu tidak mendukung mikroalga untuk bertahan hidup pada kolam tersebut. Hal mungkin terjadi karena tingginya konsentrasi O<sub>2</sub> yang terakumulasi pada kolam yang menghalangi pertumbuhan mikroalga (Benemann, Van Olst, *et al.*, 2006). Saturasi cahaya juga menjadi masalah bagi fisiologi mikroalga. Pada mikroalga yang tumbuh pada permukaan kolam akan menerima cahaya matahari yang sangat banyak melebihi yang dibutuhkan untuk proses fotosintesis. Oleh sebab itu penelitian terkini dilakukan melalui perubahan fisiologi dan genetic untuk mengurangi pigmen penyerap cahaya pada mikroalga (Nakajima and Ueda, 2000).

#### *Cahaya matahari*

Mikroalga termasuk golongan mikroorganisme yang membutuhkan cahaya matahari dalam melakukan fotosintesis untuk pertumbuhannya. Pada kondisi tumbuh secara fototropik, mikroalga memperoleh energi dari cahaya matahari dan CO<sub>2</sub> dengan memanfaatkan

klorofil dan pigmen lainnya yang berperan dalam proses fotosintesis. Akan tetapi, bagi jenis mikroalga yang mampu tumbuh secara heterotrofik, kehadiran cahaya matahari tidak dibutuhkan karena mikroalga mampu bertumbuh dengan memanfaatkan karbon organik sebagai sumber energi pada kondisi tanpa cahaya.

#### **Sistem kultivasi mikroalga**

##### *Sistem terbuka*

Kultivasi mikroalga sistem terbuka merupakan sistem kultivasi dimana mikroalga tumbuh di alam terbuka, umumnya pada perairan alamiah seperti kolam, sungai dan danau. Dalam pengembangannya kultivasi sistem terbuka juga telah dilakukan pada kolam-kolam buatan yang didisain untuk pertumbuhan mikroalga (Borowitzka, 1999). Pada sistem terbuka ini kebutuhan CO<sub>2</sub> oleh mikroalga sangat tercukupi karena CO<sub>2</sub> diperoleh langsung dari udara terbuka. Namun, jika biomassa mikroalga sudah sangat banyak maka penetrasi udara ke dalam kolam tempat mikroalga bertumbuh akan sangat sukar sehingga dibutuhkan alat penghembus udara (*submerged aerator*) untuk membantu penyerapan CO<sub>2</sub> (Terry and Raymond, 1985). Kultivasi sistem terbuka merupakan metode kultivasi mikroalga yang relatif murah jika dibandingkan dengan kultivasi sistem tertutup yang menggunakan fotobioreaktor. Namun demikian, sistem terbuka perlu mempertimbangkan lingkungan tumbuh mikroalga karena pada kondisi terbuka mikroalga sangat mudah terkontaminasi oleh bakteri, protozoa ataupun jenis mikroalga lainnya yang tidak dikehendaki (Chisti, 2008).

##### *Sistem tertutup*

Pada umumnya, kultivasi mikroalga sistem tertutup didasarkan pada penggunaan fotobioreaktor tertutup (*closed photobioreactor*). Kultivasi sistem tertutup dirancang untuk memberikan solusi atas kelemahan yang ada pada sistem terbuka, terlebih khusus dalam meminimalkan terjadinya kontaminasi (Brennan and Owende, 2010; Y. Chisti, 2008). Beberapa jenis fotobioreaktor tertutup yang telah digunakan untuk memproduksi mikroalga, antara lain: *tubular photobioreactor*, *flat plat photobioreactor*, dan *column photobioreactor*. Dibandingkan dengan sistem terbuka, kultivasi sistem tertutup memberikan beberapa keuntungan seperti mampu menghasilkan biomassa yang lebih tinggi serta mudah untuk

mengontrol pertumbuhan jenis mikroalga yang diinginkan. Namun, salah satu kelemahan yang

perlu diperhatikan adalah tingginya biaya pemeliharaan alat serta

Tabel 1. Keuntungan dan kelemahan kultivasi sistem terbuka dan sistem tertutup

Sistem kultivasi	Keuntungan	Kelemahan
Kolam terbuka	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biaya lebih mudah</li> <li>• Mudah untuk dibersihkan</li> <li>• Dapat menggunakan lahan non-pertanian</li> <li>• Masukan energi yang rendah</li> <li>• Mudah dalam pemeliharaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktivitas biomassa yang rendah</li> <li>• Membutuhkan lahan yang luas</li> <li>• Mudah terkontaminasi</li> <li>• Kurangnya</li> <li>• Pemanfaatan Cahaya dan CO<sub>2</sub> yang terbatas</li> </ul>
<i>Tubular photobioreactor</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki luas area permukaan pencahayaan yang besar</li> <li>• Cocok untuk kultur di luar ruangan</li> <li>• Biaya relatif murah</li> <li>• Memiliki produktivitas biomassa yang baik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membutuhkan lahan yang luas</li> <li>• Terjadi perubahan pH, oksigen terlarut dan CO<sub>2</sub> sepanjang pipa.</li> </ul>
<i>Flat plat photobioreactor</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktivitas biomassa yang tinggi</li> <li>• Mudah untuk disterilkan</li> <li>• Memiliki luas area permukaan pencahayaan yang besar</li> <li>• Cocok untuk kultur di luar ruangan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sangat sukar untuk di dilakukan dalam ukuran besar</li> <li>• Sangat sukar dalam mengatur temperatur</li> </ul>
<i>Column photobioreactor</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transfer massa yang tinggi</li> <li>• Konsumsi energi yang rendah</li> <li>• Mudah disterilkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Area pencahayaan kecil</li> <li>• Biaya mahal dibandingkan kolam terbuka</li> </ul>

Sumber: Brennan, L, and P Owende (2010)

### Teknik pemanenan mikroalga Filtrasi

Beberapa sistem filtrasi yang umum digunakan untuk pemanenan mikroalga, antara lain: *filter presses, vibrating screens, micro-strains, belt filters* dan *vacuum drums* (Milledge and Heaven 2012). Klasifikasi sistem filtrasi didasarkan pada ukuran pori membran yang digunakan, yaitu: *reverse osmosis* (ukuran pori < 0,001 µm), *ultra-filtration* (ukuran pori 0,002-2 µm), *micro-filtration* (ukuran pori 0,1- 10 µm) dan *macro-filtration* (ukuran pori > 10 µm). Pada umumnya pemberian tekanan dibutuhkan pada metode filtrasi untuk melewati cairan melalui pori membran (Jaouen *et al.*, 1999).

### Flokulasi

Pada umumnya mikroalga memiliki muatan negatif pada permukaan selnya. Muatan ini disebabkan karena adanya penyerapan ion dari media tumbuh dan juga diakibatkan adanya ionisasi pada dinding sel mikroalga. Kondisi ini sangat dipengaruhi oleh jenis mikroalga, kekuatan muatan ion pada media tumbuh serta kondisi lingkungan lainnya (Ives 1959; Golueke

and Oswald 1965; Shelef, Sukenik and Green 1984). Muatan negatif pada sel mikroalga ini sangat penting untuk pertumbuhan mikroalga, secara khusus untuk menghindari terjadinya agregasi alamiah antara sel yang tersuspensi (Grima *et al.*, 2003). Dengan adanya muatan negatif pada permukaan sel mikroalga, maka flokulasi menjadi salah satu tehnik pemanenan yang umum digunakan. Pada pemanenan secara flokulasi, flokulan yang digunakan adalah bahan yang mengandung muatan positif, seperti besi klorida (FeCl<sub>3</sub>), aluminium sulfat (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) dan besi sulfat (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) (Koopman and Lincoln 1983; Grima *et al.*, 2003).

### Flotasi

Metode ini merupakan proses pemisahan berdasarkan gaya grafitasi di mana sel mikroalga menempel pada udara atau gelembung gas sehingga sel tersebut terapung pada permukaan. Pada kondisi tersebut sel mikroalga dapat dipanen dengan mudah. Pada beberapa jenis mikroalga tertentu sel nya dapat terapung secara alamiah apabila kandungan lipid pada sel meningkat (Edzwald 1993). Pada metode flotasi, kebutuhan biaya operasional

akan semakin besar jika melibatkan flokulan (Mohn 1998).

### Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan suatu metode pemanenan mikroalga yang didasarkan pada pemberian tenaga putar untuk mengendapkan sel mikroalga sehingga terpisah dari cairan media tumbuhnya (Mohn, 1998). Pemisahan tersebut didukung oleh adanya perbedaan densitas antara sel mikroalga dan media cair tempat sel bertumbuh. Menurut Sim, Goh and Becker (1988), dibandingkan metode pemanenan mikroalga yang lain, metode sentrifugasi mampu menghasilkan mikroalga dalam bentuk pasta dengan kandungan padatan hingga diatas 15%. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa semakin cepat putaran sentrifugasi, maka biomassa mikroalga yang diperoleh dapat mencapai hingga 95% (Heasman *et al.*, 2000).

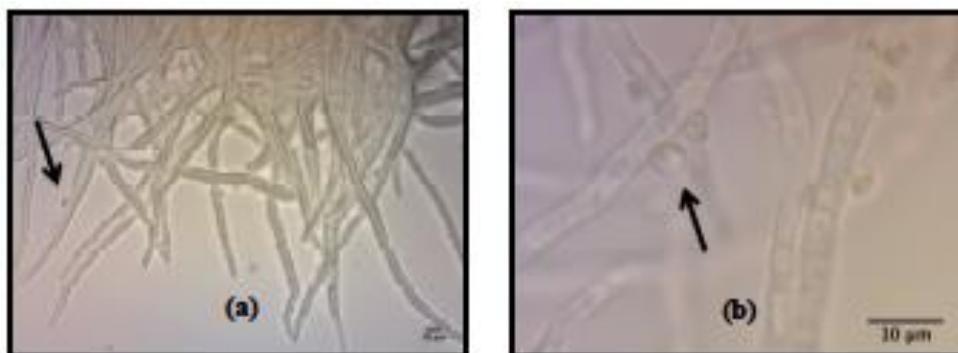
### Sedimentasi

Pada umumnya metode sedimentasi untuk pemanenan biomassa alga diaplikasikan pada pengolahan air limbah. Metode ini didasarkan pada hukum Stoke untuk menentukan

karakteristik padatan tersuspensi dengan adanya perbedaan densitas, radius serta kecepatan sedimentasi sel mikroalga. Akan tetapi, penggunaan hukum Stoke ini tidak dapat diterapkan pada partikel yang dapat diflokulasi karena strukturnya yang rumit serta hanya cocok diaplikasikan pada mikroalga yang ukurannya besar ( $>70 \mu\text{m}$ ) seperti *Spirulina* (Schenk *et al.*, 2008; Shelef *et al.*, 1984; Munoz and Guieysse 2006).

### Peletisasi mikroalga

Metode pemanenan mikroalga dengan cara peletisasi merupakan metode baru yang beberapa tahun terakhir terus dikembangkan. Metode ini melibatkan mikroorganisme lainnya, seperti fungi yang mampu membentuk pelet. Gultom, Zamalloa and Hu (2014) melaporkan bahwa interaksi antara mikroalga (*Chlorella vulgaris*) dan jamur berfilamen (*Aspergillus niger*) terjadi ketika kultivasi mikroalga dan fungi dilakukan pada media yang sama. Sel mikroalga menempel pada hipa sehingga mudah untuk dipanen (Gambar 1). Interaksi ini diduga terjadi karena mikroalga dan fungi memiliki muatan yang berbeda sehingga terjadi tarik menarik antar kedua sel.



Gambar 1. Interaksi antara sel mikroalga *Chlorella vulgaris* dan hipa *Aspergillus niger* terlihat dengan menggunakan mikroskop cahaya (a) Tampak jauh (b) Tampak dekat. Anak panah menunjukkan sel mikroalga (Gultom, Zamalloa and Hu 2014).

### Teknologi Konversi Mikroalga menjadi Energi Bahan Bakar

Pengembangan teknologi konversi mikroalga menjadi energi terus dilakukan. Potensi mikroalga sebagai bahan baku pembuatan minyak bio-diesel, bio-etanol dan produk lainnya menjadi pemacu dalam menemukan dan menerapkan teknologi konversi mikroalga yang efektif, efisien serta secara ekonomi dapat menguntungkan. Secara umum teknologi

konversi mikroalga dapat dibedakan ke dalam dua kategori, yaitu: konversi secara termo-kimia dan konversi secara bio-kimia. Pemilihan konversi mikroalga menjadi energi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor penting, antara lain: jenis dan kuantitas biomassa mikroalga, jenis energi yang diinginkan, ekonomis dan produk akhir yang diinginkan (McKendry 2002).

### Pirolisis

Pada proses pirolisis, biomassa dikonversikan menjadi tiga jenis energi, yaitu minyak, syngas dan arang. Pirolisis umumnya dilakukan dengan menggunakan suhu yang tinggi (350-700°C) tanpa adanya udara (Goyal, Seal and Saxena 2008). Berdasarkan lama waktu proses, proses pirolisis biomassa dapat dilakukan dalam tiga metode, yaitu: (1) metode pirolisis kilat (*flash pyrolysis*), menggunakan suhu 500 °C dengan waktu 1 detik, (2) metode cepat (*fast pyrolysis*), menggunakan suhu 500 °C dengan waktu 10-20 detik, dan (3) metode pirolisis lambat (*slow pyrolysis*), menggunakan suhu 400 °C dengan waktu yang lebih lama. Di masa yang akan datang, pirolisis dinilai memiliki potensi untuk mengkonversi biomassa menjadi minyak karena memberikan hasil yang memuaskan dimana rasio konversi biomassa menjadi minyak dapat mencapai hingga 95,5%. Namun, beberapa kelemahan dari metode pirolisis ini antara lain minyak yang dihasilkan lebih asam, kental dan mengandung padatan serta bahan kimia terlarut. Oleh sebab itu, proses hidrogenasi dan pemecaran secara katalitik sangat diperlukan untuk menurunkan kandungan oksigen dan mengurangi kandungan alkali (Clark and Deswarte, 2015; Demirbas, 2006).

### Gasifikasi

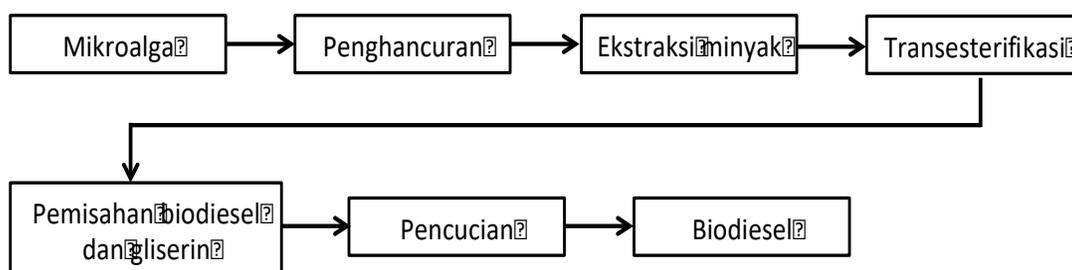
Gasifikasi merupakan reaksi oksidasi secara parsial pada biomassa dengan melibatkan suhu yang sangat tinggi (800-1000 °C) untuk menghasilkan campuran gas yang mudah terbakar. Pada proses gasifikasi, biomassa bereaksi dengan oksigen dan uap air untuk menghasilkan gas sintesis yang merupakan campuran CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N, dan CH<sub>4</sub>, atau yang umum disebut "syngas". Beberapa studi tentang proses gasifikasi pada biomassa mikroalga telah dilakukan. Hirano *et al.*, (1998) melaporkan bahwa produksi tertinggi metanol dari proses gasifikasi *spirulina* adalah sebesar 0,64 g methanol/g biomassa pada suhu 1000 °C. Gasifikasi pada mikroalga *Chlorella vulgaris* pada sebuah sistem dengan sirkulasi nitrogen untuk menghasilkan minyak yang kaya akan metana juga telah dilakukan oleh Minowa and Sawayama (1999). Data dari hasil studi tentang gasifikasi masih jarang sehingga penelitian pada bidang ini perlu terus dilakukan, terlebih khusus kebutuhan energi yang dibutuhkan pada proses pengeringan bahan sebelum dilakukan proses gasifikasi.

### Fermentasi

Proses fermentasi pada umumnya digunakan untuk mengkonversi biomassa yang mengandung gula, pati maupun selulosa menjadi etanol. Sebagian besar biomassa yang mengandung karbohidrat dengan rumus umum (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> dapat diubah menjadi etanol. Sebelum proses fermentasi dilakukan, reaksi kimia bersama hidrolisis enzimatis sering digunakan untuk menghasilkan gula sederhana yang selanjutnya difermentasikan menjadi etanol dengan bantuan ragi seperti *Saccharomyces cerevesiae* (Demirbas, 2010). Mikroalga merupakan salah satu tumbuhan uniselular yang dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan etanol karena memiliki kandungan pati yang cukup tinggi (sekitar 37% berat kering). Produksi etanol berbahan baku mikroalga dapat dilakukan melalui tahapan berikut: (1) pemisahan pati dari dalam sel mikroalga dengan cara mekanis maupun enzimatis, (2) penambahan *Saccharomyces cerevesiae* pada biomassa untuk memulai proses fermentasi, (3) produksi etanol dari proses fermentasi, dan (4) pemurnian etanol melalui proses destilasi. Hirano, Ueda, Hirayama, & Ogushi (2008) melaporkan bahwa efisiensi konversi etanol dari mikroalga dapat mencapai 65%.

### Biodisel dari mikroalga

Biodisel merupakan bahan bakar minyak terbarukan mono-alkil ester yang berasal dari bahan-bahan alamiah, seperti minyak tumbuhan maupun lemak hewan, melalui proses transesterifikasi (Abbaszaadeh *et al.*, 2012; Demirbas, 2010). Biodisel memiliki karakteristik yang cukup sama dengan bahan bakar diesel yang saat ini banyak digunakan untuk kendaraan.



Gambar 2. Konversi mikroalga menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi

Biodiesel memiliki potensi yang sangat besar untuk menjadi sumber energi alternatif terbarukan, antara lain: (1) bahan baku selalu tersedia karena berasal dari bahan baku terbarukan; (2) mudah terdegradasi; (3) tidak merusak lingkungan karena tidak menghasilkan gas-gas berbahaya bagi lingkungan; (4) lebih baik dibandingkan bahan bakar diesel yang berasal dari petroleum karena memiliki emisi hasil pembakaran yang lebih rendah serta tidak berkontribusi terhadap pemanasan global karena memiliki siklus karbon yang tertutup.

Dalam memproduksi biodiesel, bahan baku menjadi salah satu faktor terpenting yang perlu dipertimbangkan karena berkontribusi terhadap 75% total biaya produksi. Oleh sebab itu, pemilihan bahan baku yang tepat untuk pembuatan biodiesel sangat penting dilakukan. Secara umum terdapat 3 generasi sumber bahan baku biodiesel yang telah dikembangkan, yaitu:

#### a. Bahan baku generasi pertama

Merupakan jenis-jenis tanaman yang pertama kali digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Adapun bahan baku pada generasi pertama ini adalah minyak kedelai (*soybeans*), minyak sawit (*palm oil*), minyak rapa (*rapeseed*), dan minyak bunga matahari (*sunflower*). Penggunaan bahan baku ini pada akhirnya memberikan pengaruh terhadap pasar dan ketahanan pangan secara global karena 95% bahan baku biodiesel tersebut merupakan bahan pangan.

#### b. Bahan baku generasi kedua

Pada generasi kedua, bahan baku biodiesel yang dikembangkan merupakan bahan baku yang tidak digunakan sebagai pangan, seperti: tanaman *Jatropha*, minyak *jojoba*, biji tembakau,

termasuk minyak jelantah atau bekas pakai. Beberapa keuntungan penggunaan bahan baku generasi kedua ini, antara lain: tidak berkompetisi dengan bahan pangan, lebih efisien dan ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan baku generasi pertama, membutuhkan luas lahan yang lebih kecil, dapat menghasilkan produk sampingan yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut baik pada industri bahan kimia maupun energi. Meski demikian, ketersediaan bahan baku generasi kedua ini belum mampu memenuhi kebutuhan energi atau bahan bakar minyak. Selain itu, minyak yang dihasilkan dari tanaman ataupun lemak hewani mengandung asam lemak jenuh yang lebih tinggi sehingga dapat berpengaruh memiliki performa yang rendah pada lingkungan bersuhu rendah (Janaun & Ellis, 2010; Ahmad *et al.*, 2011).

#### c. Bahan baku generasi ketiga

Melihat adanya kendala yang dihadapi dalam penggunaan bahan baku generasi pertama dan kedua, maka dikembangkan bahan baku ketiga yaitu mikroalga. Pengembangan mikroalga sebagai bahan baku terbarukan dalam pembuatan biodiesel didasarkan pada kemampuan mikroalga untuk melakukan fotosintesis dengan efisiensi yang sangat tinggi dalam menghasilkan biomassa dan laju pertumbuhan yang sangat cepat dibandingkan tumbuhan lainnya.

Biodiesel yang berasal dari mikroalga memiliki karakteristik yang sama dengan biodiesel yang berbasis petroleum, seperti densitas, viskositas, titik nyala dan nilai pemanasan. Berdasarkan hasil percobaan, biodiesel berbahan baku mikroalga telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) untuk kualitas biodiesel dan *International Biodiesel Standard for Vehicles*

(ENI 4214). Namun hasil penelitian lainnya melaporkan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari mikroalga memiliki derajat asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi. Hal ini akan membatasi penggunaan biodiesel karena biodiesel tersebut mudah mengalami oksidasi saat penyimpanan. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengatasi masalah tersebut.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan sumber energi alternatif terbarukan sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia seiring menipisnya persediaan energi bahan bakar berbasis fosil. Menjawab tantangan di atas, secara teknis mikroalga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi sumber produksi biodiesel yang diharapkan mampu memenuhi kebutuhan energi bahan bakar dunia. Selain sebagai bahan baku biodiesel, mikroalga juga berpotensi untuk dikonversi menjadi bentuk energi lainnya seperti bioethanol, biometanol maupun syngas melalui teknologi konversi seperti pirolisis, gasifikasi maupun fermentasi. Namun demikian, penelitian-penelitian lanjutan perlu terus dilakukan ke arah pengembangan jenis mikroalga yang mengandung konsentrasi minyak yang tinggi namun juga mampu menurunkan derajat asam lemak tak jenuhnya sehingga biodiesel tidak mudah teroksidasi saat penyimpanan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhan, M., & Najaf, G. (2012). Current biodiesel production technologies: A comparative review. *Energy Conversion and Management Journal*, 1-11.

Ahmad, A. L., Yasin, N. M., Derek, C. J. C., & Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584-593.

Benemann, J. (2003). *Bio fixation of CO<sub>2</sub> and greenhouse gas abatement with microalgae technology roadmap. Final report submitted to the U.S. Department of Energy*. Energy Technology Laboratory.

Benemann, J., Van Olst, J., Massingill, M., Werssimuman, J., & Biune, D. (2006). The controlled eutrophication process: using microalgae for CO<sub>2</sub> utilization and

agricultural fertilizer recycling, Oilgae – Oil & Biodiesel from Algae.

Borowitzka, M. (1999). Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of biotechnology*, 70 (1), 313-321.

Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 557–577.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 41, 99-107.

Chisti, Y. (2008). Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in biotechnology*, 26 (3), 126-131.

Clark, J., & Deswarte, F. (2015). *Introduction to chemicals from biomass*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.

Demirbas, A. (2006). Oily products from mosses and algae via pyrolysis. *Energy Sources Part A—Recovery Utilization and Environmental Effects*, 28(10), 933–940.

Demirbas, A. (2010). Use of algae as biofuel sources. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2738-2749.

Demirbas, M. F. (2010). Microalgae as a feedstock for biodiesel. *Energy Education Science and Technology Part A—Energy Science and Research*, 25(1-2), 31-43.

Edzwald, J. K. (1993). Algae, Bubbles, Coagulants, and Dissolved Air Flotation. *Water Science Technology*, 27(10), 67-81.

Golueke, C. G., & Oswald, W. J. (1965). Harvesting And Processing Sewage-Grown Planktonic Algae. *Water Pollution Control Federation*, 37(4), 471-498.

Goyal, H., Seal, D., & Saxena, R. (2008). Biofuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(2), 504-517.

Grima, E. M., Belarbi, E. H., Fernández, F. A., Medina, A. R., & Chisti, Y. (2003). Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology advances*, 20(7-8), 491-515.

Gultom, S. O., Zamalloa, C., & Hu, B. (2014). Microalgae Harvest through Fungal Pelletization—Co-Culture of *Chlorella*

- vulgaris and *Aspergillus niger*. *Energies* , 7(7), 4417-4429.
- Heasman, M., Deamar, J., O'Connor, W., Sushames, T., & Foulkes, L. (2000). Development of Extended Shelf-Life Microalgae Concentrate Diets Harvested by Centrifugation for Bivalve Molluscs-A Summary. *Aquaculture Research* , 31(8-9), 637-659.
- Hirano, A., Ueda, R., Hirayama, S., & Ogushi, Y. (2008). CO<sub>2</sub> fixation and ethanol production with microalgal photosynthesis and intracellular anaerobic fermentation. 22, 137-142.
- Hirano, A., Hon-Nami, K., Kunito, S., Hada, M., & Ogushi, Y. (1998). emperature effect on continuous gasification of microalgal biomass: theoretical yield of methanol production and its energy balance. *Catalysis Today* , 45 (1), 399-404.
- Hung, Y.-T., Amuda, O. S., Alade, A. O., Amoo, I. A., Tay, S. T.-L., & Li, K. H. (2010). Algae Harvest Energy Conversion. In L. K. Wang, J.-H. Tay, S. T.-L. Tay, & Y.-T. Hung, *Environmental Bioengineering* (pp. 723-741). New York: Humana Press.
- Ives, K. J. (1959). The Significance of Surface Electric Charge on Algae in Water Purification. *Journal of Biochemical and Microbiological Technology and Engineering* , 1, 37-47.
- Janaun, J., & Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 14, 1312–1320.
- Jaouen, P., Vandanjon, L., & Quemeneur, F. (1999). The shear stress of microalgal cell suspensions (*Tetraselmis suecica*) in tangential flow filtration systems: the role of pumps. *Bioresource Technology* , 68, 149-154.
- Koopman, B., & Lincoln, E. P. (1983). Autoflotation Harvesting of Algae from High-rate Pond Effluents. *Agricultural Wastes* , 5, 231-246.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology* , 83 (1), 47-54.
- Miao, X., & Wu, Q. (2006). Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. *Bioresour. Technol.* , 97, 841–846.
- Milledge, J. J., & Heaven, S. (2012). A review of the harvesting of micro-algae for biofuel production. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* , 1-15.
- Minowa, T., & Sawayama, S. (1999). novel microalgal system for energy production with nitrogen cycling. *Fuel* , 78 (10), 1213-1215.
- Mohn, F. (1998). Harvesting of micro-algal biomass. In L. J. Borowitzka, & M. A. Borowitzka , *Micro-algal biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mosojidek, J., Torzillo, G., Sven, J. E., & Brian, F. (2008). Mass Cultivation of Freshwater Microalgae. In J. Mosojidek, G. Torzillo, J. E. Sven, & F. Brian, *Encyclopedia of Ecology* (pp. 2226–2235). Oxford, UK: Academic Press.
- Munoz, R., & Guieysse, B. (2006). Algal–bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review. *Water Research* , 40, 2799-2815.
- Nakajima, Y., & Ueda, R. (2000). The effect of reducing light-harvesting pigment on marine microalgal productivity. *Journal of applied phycology* , 285-290.
- Patil, V., Tran, K.-Q., & Giselrød, H. (2008). Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *International journal of molecular sciences* , 9 (7), 1188-1195.
- Report, G. C. (2002). *An assessment of solar energy conversion technologies and research opportunities. Technical Assessment Report*. GCERP.
- Schenk, P. M., Thomas-Hall, S. R., Stephens, E., Marx, U. C., Mussgnug, J. H., Posten, C., et al. (2008). Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *Bionergy Resources* , 1, 20-43.
- Shelef, G., Sukenik, A., & Green, M. (1984). *Microalgae Harvesting and Processing: A Literature Review*. Solar Energy Research Institute, U.S. Department of Energy. Springfield: National Technical Information Service U.S. Department of Commerce.
- Sim, T. S., Goh, A., & Becker , E. W. (1988). Comparison of Centrifugation, Dissolved Air Flotation and Drum Filtration Techniques for Harvesting Sewage-grown Algae. *Biomass* , 16, 51-62.
- Terry, K., & Raymond, L. (1985). System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme and Microbial Technology* , 7 (10), 474-487.