

## PEMANFAATAN MIKROALGA SEBAGAI BAHAN BAKU BIOETANOL

Luthfi Assadad<sup>\*)</sup>, Bagus Sediadi Bandol Utomo<sup>\*)</sup>, dan Rodiah Nurbaya Sari<sup>\*)</sup>

### ABSTRAK

Biofuel merupakan salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil yang bahan bakunya berasal dari berbagai sumberdaya hayati. Salah satu penyedia bahan baku untuk produksi biofuel adalah mikroalga. Mikroalga dipilih karena pertumbuhannya cepat, tidak berkompetisi dengan produk pangan untuk manusia, serta tidak memerlukan area yang luas. Riset pemanfaatan mikroalga untuk biofuel saat ini cenderung terfokus pada produksi biodiesel dari mikroalga, padahal mikroalga juga mampu menghasilkan biofuel lain seperti bioetanol. Hal ini disebabkan adanya kandungan karbohidrat pada mikroalga yang dapat dikonversi menjadi glukosa dan difermentasi menjadi alkohol. Kandungan karbohidrat pada mikroalga berkisar antara 5,0–67,9% dan diperkirakan dapat menghasilkan bioetanol sekitar 38%. Untuk pemanfaatan yang optimal diperlukan keselarasan antara produksi bioetanol dan biodiesel dari mikroalga. Produksi bioetanol dari mikroalga dapat dilakukan dengan menggunakan mikroalga yang sudah diekstrak lemaknya.

**ABSTRACT:** *The use of microalgae as the raw material of bioethanol. By: Luthfi Assadad, Bagus Sediadi Bandol Utomo and Rodiah Nurbaya Sari*

*Biofuel is one of alternative fossil fuel, in which the raw materials come from biological resources. One of the raw materials for biofuel production is microalgae. Microalgae grows rapidly, does not compete with food for humans, and needs small areas to cultivate. Utilization of microalgae for biofuel research nowadays is focusing on biodiesel production, but actually microalgae can be used to produce other biofuels such as bioethanol. The carbohydrate content of the microalgae can be converted into glucose and fermented into alcohol. Carbohydrate content of the microalgae is about 5.0–67.9%, which could produce bioethanol up to 38%. A harmony between bioethanol and biodiesel production from microalgae is needed for the optimum utilization of microalgae. Bioethanol production from microalgae can be done using de-oiled microalgae.*

**KEYWORDS:** *microalgae, bioethanol, biofuel*

### PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi global dan pertambahan jumlah populasi penduduk yang pesat menyebabkan terjadinya peningkatan konsumsi energi dunia (Patil *et al.*, 2008). Transportasi merupakan salah satu sektor yang tumbuh dengan cepat dan menggunakan sekitar 27% dari total konsumsi energi (Antoni *et al.*, 2007). Selama ini kebutuhan energi di dunia cenderung dipenuhi dengan bahan bakar fosil berupa batubara, minyak bumi, dan gas alam yang semakin lama semakin menipis dan tidak dapat diperbarui.

Kecenderungan seperti ini juga terjadi di Indonesia. Data Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa minyak bumi mendominasi 54% penggunaan energi di Indonesia, sedangkan gas bumi sebesar 26,5% dan batu bara hanya 14% dari total penggunaan energi. Selain itu juga disebutkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk 18 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi masih mencukupi untuk 61 tahun ke depan, dan cadangan batu bara baru habis dalam waktu 147 tahun

lagi (ESDM, 2005). Untuk itu diperlukan sumber energi alternatif seperti biofuel.

Biofuel dapat didefinisikan sebagai bahan bakar dalam bentuk gas, padat maupun cair yang berasal dari biomassa (Patil *et al.*, 2008). Biomassa ini dapat diperoleh baik dari daratan maupun perairan. Sumberdaya perairan dengan berbagai macam keanekaragaman biotanya merupakan salah satu sumber bahan baku untuk biofuel. Salah satu biota perairan yang kini menjadi primadona sebagai bahan baku biofuel adalah mikroalga.

Selama ini mikroalga dimanfaatkan sebagai pakan larva ikan pada kegiatan budidaya (Taylor *et al.*, 1997; Shields *et al.*, 1999; Brown, 2002). Dengan maraknya penelitian untuk mencari sumber energi alternatif, mikroalga mempunyai prospek yang sangat baik untuk dikembangkan sebagai salah satu kandidat bahan baku penghasil biofuel. Mikroalga dipilih karena memiliki kemampuan tumbuh dengan cepat serta tidak memerlukan area yang luas untuk kegiatan produksi. Di samping itu mikroalga mempunyai kemampuan untuk menyerap karbondioksida sehingga dapat

<sup>\*)</sup> Peneliti pada Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan; Email: luthfi.assadad@gmail.com

mengurangi efek rumah kaca (Widjaja, 2009). Secara ekonomi, mikroalga dipilih karena ketersediaannya serta biaya produksinya yang cukup rendah (Hossain *et al.*, 2008; Harun *et al.*, 2010b).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku biofuel. Penelitian yang telah dilakukan cenderung memanfaatkan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel (Brown, 2002; Skill, 2007; Patil *et al.*, 2008; Widjaja, 2009; Amini & Sugiyono, 2009). Hal ini dilakukan mengingat kandungan lipid yang ada pada mikroalga cukup tinggi. Namun demikian, mikroalga juga mengandung karbohidrat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol (Skill, 2007; Guerrero, 2010). Tulisan ini memaparkan sejauh mana peluang pemanfaatan mikroalga sebagai bahan baku bioetanol.

## 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. 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; Anon., 2010).

Keanekaragaman mikroalga sangat tinggi, diperkirakan ada sekitar 200.000–800.000 spesies mikroalga ada di bumi. Dari jumlah tersebut baru sekitar 35.000 spesies saja yang telah diidentifikasi. Beberapa contoh spesies mikroalga di antaranya yaitu *Spirulina*, *Nannochloropsis* sp., *Botryococcus braunii*, *Chlorella* sp., *Dunaliella primolecta*, *Nitzschia* sp.,

*Tetraselmis suecia*, dan lain-lain. Sel-sel mikroalga tumbuh dan berkembang pada media 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; Anon., 2010).

Komposisi kimia sel mikroalga berbeda-beda, dipengaruhi oleh banyak faktor seperti jenis spesies dan kondisi kultivasi. Oleh karena itu terdapat peluang untuk memperoleh mikroalga dengan komposisi kimia tertentu dengan memanipulasi faktor lingkungannya seperti suhu, cahaya, pH, ketersediaan karbondioksida, garam, dan nutrisi lainnya (Basmal, 2008; Anon., 2010).

Mikroalga merupakan mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai bahan baku biofuel. 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; Harun *et al.*, 2010a). 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, di antaranya yaitu pertumbuhan yang cepat, produktivitas tinggi, dapat menggunakan air tawar maupun air laut, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, konsumsi air



Gambar 1. *Prymnesium parvum* (TPWD, 2009).



Gambar 2. *Tetraselmis suecia* (Hutchinson, 2008).



Gambar 3. Kultivasi mikroalga skala laboratorium (dokumentasi pribadi).



Gambar 4. Kultivasi mikroalga skala besar (dokumentasi pribadi).

dalam jumlah sedikit serta menggunakan biaya produksi yang relatif rendah (Guerrero, 2010).

## BIOETANOL

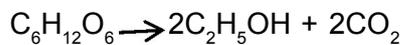
Bioetanol adalah etanol atau etil alkohol ( $C_2H_5OH$ ), berbentuk cair, bening tidak berwarna, *biodegradable*, dan tidak menyebabkan korosi (Anon., 2006). Bioetanol pada umumnya diproduksi melalui proses biokimia (fermentasi) dan proses termokimia (gasifikasi) menggunakan bahan baku hayati (Harun *et al.*, 2010a), sedangkan etanol dapat dibuat dengan cara sintesis melalui hidrasi katalitik dari etilen atau bisa juga dengan fermentasi gula menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Beberapa bakteri seperti *Zymomonas mobilis* juga diketahui memiliki kemampuan melakukan fermentasi untuk

memproduksi etanol (Anon., 2006). Substrat yang umum digunakan untuk fermentasi adalah pati yang berasal dari jagung, gandum, dan gula tebu (molase). Brasil telah memproduksi bioetanol dari tebu, sedangkan Amerika banyak menggunakan jagung. Harga bahan baku yang cukup mahal menyebabkan harga etanol sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi masih cukup tinggi, mengingat 60% dari biaya yang digunakan dalam sistem produksi etanol adalah biaya bahan baku (Ingram & Doran, 1995).

Teknik fermentasi dalam produksi bioetanol sampai saat ini masih belum efisien dengan produktivitas yang masih rendah dan membutuhkan modal yang besar. Produksi biomassa yang rendah selama proses fermentasi dan pembentukan produk samping selain etanol menyebabkan efisiensi yang rendah. Untuk

meningkatkan produktivitas etanol, perlu dilakukan optimasi kondisi yang dapat dilakukan antara lain dengan cara mutagenesis, pemilihan substrat/bahan baku, dan kondisi fermentasi yang optimum.

Secara teoritis, fermentasi glukosa akan menghasilkan etanol dan karbondioksida. Perbandingan mol antara glukosa dan etanol dapat dilihat pada diagram reaksi berikut:



Satu mol glukosa menghasilkan 2 mol etanol dan 2 mol karbondioksida, atau dengan perbandingan bobot tiap 180 g glukosa akan menghasilkan 90 g etanol. Dengan melihat kondisi tersebut, perlu diupayakan penggunaan substrat yang murah untuk dapat menekan biaya produksi etanol sehingga harga produknya bisa lebih murah. Secara umum bioetanol digunakan untuk bahan baku industri, bahan minuman, bahan dasar industri farmasi dan kosmetika, serta untuk bahan bakar. Beberapa jenis etanol berdasarkan kandungan alkohol dan penggunaannya yang kita kenal yaitu: (1) etanol untuk industri (90–94,9% v/v), (2) *rectified ethanol* (95–96,5% v/v), (3) jenis etanol yang netral, aman untuk bahan minuman dan farmasi (96–99,5% v/v), serta (3) etanol untuk bahan bakar (99,5–100% v/v) (Broto & Richana, 2007).

## SINTESA BIOETANOL DARI MIKROALGA

Agar dapat menjadi bahan bakar alternatif, bioetanol harus diproduksi dengan murah, ramah lingkungan serta berkelanjutan (Harun *et al.*, 2010b). Semua bahan yang mengandung karbohidrat mempunyai potensi untuk pembuatan bioetanol. Namun demikian, sumber utama untuk pembuatan bioetanol dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu bahan yang mengandung sukrosa (tebu, gula, bit, sorgum, dan buah), pati (jagung, gandum, padi-padian, kentang, dan ubi kayu) serta biomassa yang mengandung lignoselulosa (kayu, jerami, dan rerumputan) (Balat & Balat, 2009).

Bahan yang mengandung sukrosa dan pati mempunyai kandungan karbohidrat yang mudah untuk diproses menjadi bioetanol, sedangkan biomassa yang mengandung lignoselulosa memerlukan tahapan yang sulit dan memakan biaya untuk menghilangkan lignin sebelum proses pembuatan bioetanol (Harun *et al.*, 2010b).

Mikroalga tidak mengandung lignin seperti biomassa yang lain (kayu, jerami, dan rerumputan); sehingga proses penghilangan lignin tidak diperlukan (Harun *et al.*, 2010b). Di samping itu, struktur

mikroalga yang berupa uniseluler memungkinkan mikroalga untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia (Harun *et al.*, 2010a).

Konversi biomassa mikroalga menjadi bioetanol terdiri dari tahapan preparasi bahan, hidrolisis, dan fermentasi. Preparasi bahan dilakukan bersamaan dengan proses hidrolisis dengan tujuan proses selanjutnya berupa fermentasi berjalan dengan baik. Pada umumnya, proses preparasi bahan dilakukan untuk menghilangkan kandungan lignin pada bahan yang akan diproses (Harun *et al.*, 2010b). Ketiadaan lignin pada mikroalga menyebabkan proses preparasi bahan dan hidrolisis menjadi lebih mudah.

Proses hidrolisis dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, seperti metode fisik, kimiawi, biologi, dan enzimatik (Harun *et al.*, 2010b). Metode fisik dilakukan dengan cara mengubah biomassa mikroalga menjadi bentuk tepung. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan area permukaan bahan, mengurangi derajat polimerisasi serta menyebabkan *shearing* biomassa yang berpotensi untuk meningkatkan hasil akhir bioetanol (Sun & Cheng, 2002). Keunggulan dari metode ini yaitu tidak adanya racun yang berasal dari bahan kimia, namun demikian diperlukan energi yang cukup besar untuk membuat ukuran biomassa menjadi lebih halus dari sebelumnya (Hendriks & Zeeman, 2009).

Metode kimia umumnya dilakukan dengan menggunakan bahan kimia asam atau basa kuat. Penggunaan basa dapat meningkatkan porositas dan luas permukaan bahan serta menurunkan derajat polimerisasi dan kristalisasi selulosa (Galbe & Zacchi, 2007).

Penggunaan basa sebenarnya dilakukan untuk bahan yang mengandung lignin, sehingga penggunaan asam untuk menghidrolisis biomassa mikroalga merupakan suatu hal yang tepat, dikarenakan ketiadaan lignin pada mikroalga. Penggunaan asam biasanya dilakukan pada suhu rendah. Hal ini merupakan suatu keuntungan, karena dapat menekan biaya produksi (Girio *et al.*, 2010). Namun demikian, konsentrasi asam yang diberikan dapat menjadi berbahaya, beracun, dan bersifat korosif (Sun & Cheng, 2002). Sampai dengan saat ini, penggunaan asam untuk hidrolisis biomassa merupakan pilihan utama. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Girio *et al.* (2010) menunjukkan bahwa penggunaan asam dapat menghasilkan glukosa sekitar 70–95%.

Metode biologi dilakukan dengan menggunakan fungsi untuk mendegradasi lignin dan selulosa (Sun & Cheng, 2002). Metode ini merupakan metode yang ramah lingkungan, karena dapat dilakukan pada suhu

ruang dan tidak menggunakan bahan kimia. Namun demikian, metode ini menghasilkan rendemen yang sangat rendah. Diduga sebagian biomassa hilang pada saat proses hidrolisis akibat penggunaan fungi (Galbe & Zacchi, 2002).

Metode enzimatik dengan enzim selulase yang menguraikan selulosa menjadi gula sederhana seperti glukosa kurang diminati. Hal ini dikarenakan enzim selulase bekerja spesifik hanya pada pH 4,8 dan suhu 45–50°C, bekerja sangat lambat serta tidak bisa menguraikan hemiselulosa yang terkandung pada biomassa. Enzim amilase mampu bekerja 100 kali lebih cepat, namun demikian enzim ini tidak dapat digunakan, karena bekerja spesifik pada substrat yang mengandung amilum (Harun *et al.*, 2010b). Dengan demikian, metode enzimatik ini kurang menguntungkan secara ekonomi.

Proses fermentasi dilakukan setelah proses preparasi bahan dan hidrolisis selulosa menjadi gula sederhana selesai dilakukan. Umumnya, proses fermentasi dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme. Ada banyak jenis mikroorganisme yang telah dimanfaatkan untuk fermentasi bioetanol, termasuk bakteri, kapang, dan fungi. Contoh mikroorganisme yang digunakan yaitu *Zymomonas mobilis* dan *Eschericia coli* (bakteri), dan *Saccharomyces cerevisiae* (kapang). Mikroorganisme ini dipilih karena kemampuannya untuk mengubah gula sederhana menjadi etanol. *Z. mobilis* misalnya, mampu menghasilkan rendemen bioetanol yang tinggi. Namun demikian bakteri ini mempunyai keterbatasan, karena hanya mampu memfermentasi glukosa, fruktosa, dan sukrosa, berbeda dengan *S. cerevisiae* dan *E. coli* yang mampu memfermentasi berbagai jenis gula. Beberapa penelitian dengan memanfaatkan fungi telah dilakukan, namun demikian

rendemen yang dihasilkan sangat rendah (Lin & Tanaka, 2006).

## MIKROALGA SEBAGAI BAHAN BAKU BIOETANOL

Selama ini mikroalga dimanfaatkan sebagai pakan pada budidaya ikan. Untuk kegiatan penelitian maupun produksi biofuel, mikroalga baru dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Mikroalga sebenarnya juga mempunyai peluang untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol. Hal ini disebabkan oleh dua hal yaitu 1). Bahan baku bioetanol yang selama ini digunakan, seperti singkong dan pati, merupakan bahan pangan bagi manusia; 2). Adanya kandungan karbohidrat pada mikroalga (Chisti, 2008; Harun *et al.*, 2009).

Kandungan karbohidrat pada mikroalga berbeda-beda, tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan hidupnya (Basmal, 2008). Spesies mikroalga yang mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan baku bioetanol yaitu *Prymnesium parvum* (Santhanam, 2010), *Chlorococum* sp. (Harun *et al.*, 2009), *Tetraselmis suecia*, *Anthrospira* sp. (Ragauskas *et al.*, 2006), dan *Chlorella* sp. (Guerrero, 2010; Ragauskas *et al.*, 2006). Kandungan karbohidrat beberapa spesies mikroalga disajikan pada Tabel 1.

Karbohidrat pada mikroalga terletak pada dinding sel dan sitoplasma. Sekitar 4–7% dalam bentuk selulosa dan sekitar 51–60% dalam bentuk gula netral non selulosa (VanderGheynst, 2008). Penelitian yang dilakukan oleh Harun *et al.* (2009) menunjukkan bahwa mikroalga jenis *Chlorococum* sp. dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi bioetanol dari proses fermentasi menggunakan *Saccharomyces*

Tabel 1. Kandungan karbohidrat beberapa spesies mikroalga

Nama spesies	Kandungan karbohidrat (% berat kering)	Sumber
<i>C. ellipsoidea</i>	15,0–21,0	Guerrero (2010)
<i>C. pyrenoidosa</i>	10,0–67,9	Guerrero (2010)
<i>Chlorella</i> sp.	18,4–54,5	Ragauskas <i>et al.</i> (2006); Guerrero (2010)
<i>C. vulgaris</i>	10,3–44,0	Guerrero (2010)
<i>Tetraselmis suecia</i>	11–47	Ragauskas <i>et al.</i> (2006)
<i>Anthrospira</i> sp.	15–50	Ragauskas <i>et al.</i> (2006)
<i>Nannochloris atomus</i>	23,0	Lavens & Sorgeloos (1996)
<i>Isochrysis galbana</i>	12,9	Lavens & Sorgeloos (1996)

*bayanus*. Konsentrasi bioetanol yang dihasilkan sebesar 3,83 g/L yang didapatkan dari 10 g/L mikroalga yang sudah diekstrak minyaknya.

Mikroalga mempunyai kandungan karbohidrat yang hampir sama dengan kandungan lemaknya. Dengan demikian, potensi mikroalga sebagai sumber bahan baku bioetanol juga sama dengan potensi mikroalga sebagai sumber bahan baku biodiesel. Perbandingan kadar karbohidrat dan kadar lemak mikroalga disajikan pada Tabel 2.

Saat ini, produksi bioetanol di beberapa negara masih menggunakan bahan baku tanaman tingkat tinggi seperti tebu (Brazil), gandum (Eropa), dan jagung (Amerika Serikat) (Guerrero, 2010). Di masa depan, penggunaan mikroalga sebagai bahan baku bioetanol merupakan sebuah peluang yang menjanjikan. Perbandingan produktivitas bioetanol yang dihasilkan dari beberapa bahan baku disajikan pada Tabel 3.

### KESELARASAN PEMANFAATAN MIKROALGA SEBAGAI BAHAN BAKU BIOETANOL

Bioetanol dan biodiesel merupakan dua bahan bakar yang dapat diperbarui sampai dengan saat ini. Mikroalga sebagai salah satu biota perairan yang tidak bersaing dengan pangan untuk manusia berpeluang untuk menghasilkan kedua produk bahan bakar di atas (Chisti, 2008). Untuk itu diperlukan pemanfaatan mikroalga secara optimal dengan mengolahnya

menjadi bioetanol dan biodiesel. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan suatu produk industri melalui sistem produksi bersih (*zero waste*).

Integrasi antara bioetanol dan biodiesel dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya penggunaan spesies yang berbeda untuk masing-masing jenis produk biofuel. Cara lain yang dapat ditempuh yaitu dengan memproduksi bioetanol dengan bahan baku berupa mikroalga yang sudah diekstrak minyaknya (*bioethanol from de-oiled microalgae*) (Harun *et al.*, 2009; Santhanam, 2010). Hasil penelitian Harun *et al.* (2009) menunjukkan bahwa penggunaan mikroalga yang sudah diekstrak kandungan minyaknya mampu menghasilkan bioetanol pada level produksi sebesar 38%.

### PROSPEK EKONOMI DAN PENGEMBANGAN BIOETANOL DARI MIKROALGA

Analisis kelayakan ekonomi produksi biodiesel dan bioetanol dari mikroalga tergantung dari banyak faktor dan tidak bisa dibandingkan dengan mudah. Hal ini disebabkan karena:

1. Teknologi untuk produksi biodiesel sudah banyak diteliti dan dikembangkan, sedangkan proses produksi bioetanol masih dalam tahap penelitian dan belum bisa dikomersialkan (Harun *et al.*, 2010b).
2. Hasil akhir biofuel tergantung pada komposisi kimia biomassa mikroalga serta metode produksi yang digunakan (Harun *et al.*, 2010a).

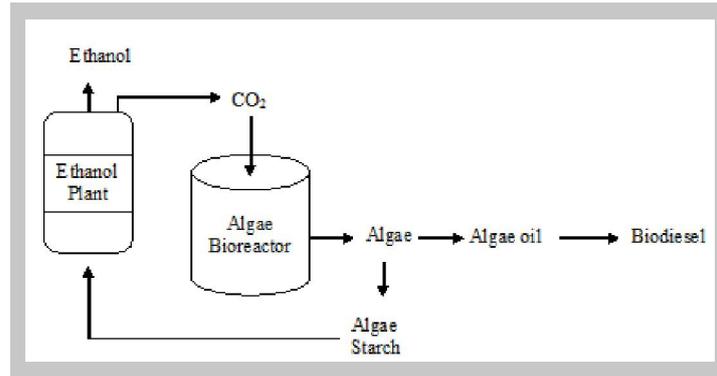
Tabel 2. Perbandingan kadar karbohidrat dan kadar lemak mikroalga

Kadar karbohidrat	Kadar lemak	Sumber
5–25%	20–40%	Haspeslugh (2010)
49,5%	17,5%	Lardon <i>et al.</i> (2009)
23,9%	21,0%	Lavens & Sorgeloos (1996)

Tabel 3. Perbandingan produktivitas bioetanol dari beberapa bahan baku

Asal bahan baku	Produktivitas bioetanol (L/ha)
Gandum	2.500
Jagung	3.500
Tebu	6.000
Mikroalga (proyeksi)	20.000

Sumber: Guerrero (2010).



Gambar 5. Integrasi produksi bioetanol dan biodiesel dari mikroalga (Santhanam, 2010).

3. Pemanfaatan mikroalga sebagai biofuel, terutama bioetanol, untuk menjawab isu penggunaan tanaman pangan sebagai bahan bakar serta biomassa yang mengandung lignoselulosa (Harun *et al.*, 2010b).
4. Biodiesel dan bioetanol dari mikroalga bukan merupakan produk yang saling berkompetisi, tetapi merupakan satu kesatuan sistem produksi. Biomassa mikroalga yang sudah diekstrak minyaknya, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioetanol (Harun *et al.*, 2009; Santhanam, 2010).

Namun demikian, jika melihat pada bahan baku yang digunakan, bioetanol mempunyai prospek yang lebih baik untuk dikembangkan dibandingkan dengan biodiesel. Bahan baku untuk bioetanol dapat berasal dari biomassa mikroalga secara langsung maupun biomassa mikroalga yang sudah diekstrak kandungan lemaknya (Harun *et al.*, 2009).

## PENUTUP

Mikroalga merupakan sumber energi terbarukan yang dapat mensubstitusi sebagian energi fosil. Produksi biomassa dalam jumlah besar dibutuhkan sebagai sediaan bahan baku bioetanol secara kontinyu. Pemilihan spesies dan teknik budidaya yang tepat merupakan suatu keharusan. Berbagai riset mengenai teknik budidaya mikroalga telah banyak dilakukan. Budidaya mikroalga memerlukan pemupukan yang tepat dan pasokan karbondioksida yang banyak agar produksi mikroalga menghasilkan biomassa dalam jumlah besar dan berlangsung secara kontinyu.

Tantangan lainnya adalah proses hidrolisis karbohidrat dan fermentasi gula harus dilakukan secara tepat untuk memperoleh bioetanol yang maksimal. Dampak negatif proses fermentasi yang menghasilkan karbondioksida juga perlu mendapatkan

perhatian yang serius. Dampak negatif ini dapat diubah menjadi hal positif dengan cara memanfaatkan karbondioksida tersebut sebagai nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga.

Prospek ekonomi produksi bioetanol di masa depan sangat menjanjikan, mengingat bahan baku untuk bioetanol dapat berasal dari biomassa mikroalga secara langsung maupun biomassa mikroalga yang sudah diekstrak kandungan lemaknya. Sebagai gambaran proyeksi untuk produktivitas produksi bioetanol dari mikroalga secara keseluruhan mencapai 20.000 L per hektar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amini, S. dan Sugiyono. 2009. Penelitian optimalisasi umur mikroalga *Spirulina platensis* penghasil bahan baku biofuel. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan VI Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*, Jilid III–Pengolahan/Teknologi Hasil Perikanan.p 1–5.
- Anonim. 2006. Bioethanol. <http://www.future-petroleum.com>. Diakses pada tanggal 9 Juli 2010.
- Anonim. 2010. Facts on algae. <http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae>. Diakses pada tanggal 24 November 2010.
- Antoni, D., Zverlov, V.V., and Schwarz, H. 2007. Biofuels from microbes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 77: 23–35.
- Balat, M. and Balat, H. 2009. Recent global production and utilization of bioethanol fuel. *Applied Energy.* 86: 2273–2282.
- Basmal, J. 2008. Peluang dan tantangan pemanfaatan mikroalga sebagai biofuel. *Squalen Buletin Pascapanen Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.* 3 (1): 34–39.
- Broto, W. dan Richana, N. 2007. Inovasi teknologi proses industri bioetanol dari ubi kayu skala perdesaan. <http://balitkabi.bimasakti.malang.te.net.id/PDF/05-BB%20Pascapanen.Bioetanol.pdf>. Diakses pada tanggal 28 September 2010.
- Brown, M.R. 2002. Nutritional value of microalgae for aquaculture. In Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D.,

- Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuicola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola; 3 al 6 de Septiembre del 2002*. Cancún, Quintana Roo, México. p. 281–292.
- Chisti, Y. 2008. Biodiesel from microalgae beats bioethanol. *Trends in Biotechnology*. 26 (3): 126–131.
- ESDM [Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral]. 2005. Pergeseran kebijakan energi akan menguntungkan Sumatera Selatan. [http://dbm.djmbp.esdm.go.id/old/portal-dpmb/modules/\\_news/news\\_detail.php?\\_id=1518](http://dbm.djmbp.esdm.go.id/old/portal-dpmb/modules/_news/news_detail.php?_id=1518). Diakses pada tanggal 6 Februari 2010.
- Galbe, M. and Zacchi, G. 2002. A review of the production of ethanol from softwood. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59: 618–628.
- Galbe, M. and Zacchi, G. 2007. Pretreatments of lignocellulosic materials for efficient bioethanol production. *Advance Biochem. Eng. Biotechnol.* 69: 627–642.
- Girio, F.M., Fonseca, C., Carvalheiro, F., Duarte, L., Marques, S., and Bogel-Lukasik, R. 2010. Hemicelluloses for fuel ethanol: a review. *Bioresour. Technol.* 101: 4775–4800.
- Guerrero, M.G. 2010. Bioethanol from microalgae?. Instituto Bioquímica Vegetal y Fotosintética, Sevilla. [http://www.slideshare.net/slides\\_eoi/bioethanol-from-microalgae-3718018](http://www.slideshare.net/slides_eoi/bioethanol-from-microalgae-3718018). Diakses pada tanggal 28 September 2010.
- Harun, R., Danquah, M.K., and Forde, G.M. 2009. Microalgal biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 85 (2): 199–203.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., and Danquah, M.K. 2010a. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 14: 1037–1047.
- Harun, R., Jason, W.S.Y., Cherrington, T., and Danquah, M.K. 2010b. Microalgal biomass as a cellulosic fermentation feedstock for bioethanol production. *Renewable and Sustainable Energy Review. In press*.
- Haspeslagh, L. 2010. Aquatic phototrophs for the production of fuels and green chemicals. [http://www.biofuelstp.eu/spm3/pdf/TOTAL\\_Microalgae.pdf](http://www.biofuelstp.eu/spm3/pdf/TOTAL_Microalgae.pdf). Diakses pada tanggal 28 September 2010.
- Hendriks, A.T.W.M., and Zeeman, G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* 100: 10–18.
- Hossain, A.B.M., Salleh, A., Boyce, A.N., Chowdhury, P., and Naqiuddin, M. 2008. Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 4 (3): 250–254.
- Hutchinson, T. 2008. Intelligent testing strategies in ecotoxicology: approaches to reduce and replace fish and amphibians in toxicity testing. <http://nc3rs.tnllive.co.uk/news.asp?id=912>. Diakses pada tanggal 12 Juli 2010.
- Ingram, L.O. and J.B. Doran. 1995. Conversion of cellulosic materials to ethanol. *FEMS Microbiol. Review*. 16: 235–241.
- Lardon, L. Helias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., and Bernard, O. 2009. Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environ. Sci. Technol.* 7 pp.
- Lavens, P. and Sorgeloos, P. 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO, Rome. 361 pp.
- Lin, Y., and Tanaka, S. 2006. Ethanol fermentation from biomass resources: current state and prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 69: 627–642.
- Patil, V., Tran, K.Q., and Giselrod, H.R. 2008. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *Int. J. Mol. Sci.* 9: 118–1195.
- Ragauskas, A.J., Williams, C.K., Davison, B.H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C.A., Frederick, W.J., Hallett, J.P., Leak, D.J., Liotta, C.L., Mielenz, J.R., Murphy, R., Templer, R., and Tschaplinski, T. 2006. The path forward for biofuels and biomaterials. *Science* 311: 484–489.
- Santhanam, N. 2010. Ethanol from algae. <http://www.oilgae.com/algae/pro/eth/eth.html>. Diakses pada tanggal 6 Juli 2010.
- Shields, R.J., Bell, J.G., Luizi, F.S., Gara, B., Bromage, N.R., and Sargent, J.R. 1999. Natural copepods are superior to enriched *Artemia* nauplii as feed for Halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) in terms of survival, pigmentation and retinal morphology: Relation to dietary essential fatty acids. *Journal of Nutrition*. 1186–1194.
- Skill, S. 2007. Microalgae biofuels. Marine futures conference. *National Marine Aquarium*. 18 pp.
- Sun, Y., and Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour. Technol.* 83: 1–11.
- Taylor, J.J., Southgate, P.C., Wing, M.S., and Rose, R.A. 1997. The nutritional value of five species of microalgae for spat of the Silver-Lip Pearl Oyster, *Pinctada maxima* (Jameson) (Mollusca: Pteriidae). *Asian Fisheries Science*. 10: 1–8.
- TPWD [Texas Parks and Wildlife Department]. 2009. What is Golden Alga (*Prymnesium parvum*)? <http://www.tpwd.state.tx.us/landwater/water/environconcerns/hab/ga/>. Diakses pada tanggal 12 Juli 2010.
- VanderGheynst, J. 2008. The future of microalgae in clean technologies. <http://www.ucop.edu/ott/industry/documents/VanderGheynst-CleanTech.pdf>. Diakses pada tanggal 28 September 2010.
- Widjaja, A. 2009. Lipid production from microalgae as a promising candidate for biodiesel production. *Makara Teknologi*. 13(1): 47–51.