

PRODUKSI BIODIESEL DARI MIKROALGA *Botryococcus braunii*

Sri Amini*) dan Rini Susilowati*)

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang semakin meningkat menyebabkan sumber energi semakin berkurang. Hal ini mendorong pencarian sumber energi terbarukan untuk mengantisipasi kelangkaan tersebut. Salah satu sumber energi baru ialah mikroalga. Mikroalga memiliki variasi jenis yang tinggi dan memiliki potensi besar yang dapat dikembangkan sebagai bahan pangan dan produk kimia lainnya. Mikroalga sedang dikembangkan sebagai penghasil biodiesel yang dapat diandalkan menggantikan bahan bakar minyak yang bersumber dari fosil. Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa spesies mikroalga seperti *Botryococcus braunii* dapat menghasilkan kandungan minyak sebesar 75% berat kering. Pada makalah ini dipaparkan langkah-langkah dalam menghasilkan minyak dari *B. braunii* yang meliputi persiapan biomassa mikroalga, pemanenan biomassa, dan ekstraksi minyak. Kandungan minyak dari *B. braunii* sebagian besar terdiri atas hidrokarbon ($\pm 15\text{--}76\%$ dari berat kering), yang disebut *botryococcene*. Jenis hidrokarbon ini sangat potensial sebagai sumber energi biodiesel.

ABSTRACT: *Biodiesel production from microalgae Botryococcus braunii.* By: Sri Amini and Rini Susilowati.

Increasing energy needs cause diminishing energy resources. This encourages the search for renewable energy sources to anticipate scarcity. One of the new energy source is microalgae. Microalgae have a high variation of species and have a great potential to be developed as food and other chemical products. Microalgae has been developed as a potential source of biodiesel to replace petroleum fuels derived from fossils. Of several microalgae species studied, Botryococcus braunii produces the largest oil content, i.e. 75% dry weight. This paper describes steps of producing oil from B. braunii which includes preparation of microalgae biomass, biomass harvesting, and extraction of oil. Oil content of B. braunii is composed mostly of hydrocarbons ($\pm 15\text{--}76\%$ by dry weight), called botryococcene. This type of hydrocarbon is potential as an energy source of biodiesel.

KEYWORDS: *biodiesel, Botryococcus braunii, microalgae, hydrocarbon*

PENDAHULUAN

Energi saat ini menjadi kebutuhan yang mutlak dan harus dipenuhi. Hampir semua sarana dan prasarana penunjang kehidupan manusia digerakkan oleh energi. Sampai saat ini, energi sebagai penggerak roda perekonomian manusia masih pasok dari *fossil fuel*. Energi fosil merupakan energi yang terbatas dan kurang ramah lingkungan. Proses pembakarannya menghasilkan efek yang kurang baik bagi lingkungan dan kesehatan seperti efek *green house*, dikarenakan kandungan karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan oksida nitrogen (NO_x) (Patil *et al.*, 2008).

Isu perubahan iklim global telah melatarbelakangi negara-negara industri maju untuk melakukan upaya diversifikasi energi dengan menciptakan sumber-sumber energi baru dan lebih meningkatkan penggunaan energi surya, air, angin, serta sumber-sumber energi terbarukan (*renewable*) lain yang ramah lingkungan. Salah satu bahan baku penghasil biodiesel

yang cukup potensial adalah mikroalga. Berbagai keuntungan untuk pengembangan mikroalga sebagai sumber energi alternatif telah dikemukakan oleh Verma *et al.*, (2010) diantaranya yaitu: a). Memiliki struktur sel yang sederhana dan kemampuan untuk mengendalikan sel tanpa mengurangi produktifitasnya, b). Kemampuan berfotosintesis sangat tinggi, sekitar 3–8% sinar matahari mampu dikonversikan menjadi energi dibanding tanaman tingkat tinggi lainnya yang hanya sekitar 0,5%, c). Memiliki siklus hidup yang pendek ($\pm 1\text{--}10$ hari), d). Kemampuan untuk mensintesis lemak sangat tinggi ($\pm 40\text{--}86\%$ berat kering biomassa), e). Kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim (salinitas tinggi atau lingkungan yang tercemar), f). Tidak banyak membutuhkan pupuk dan nutrisi, g). Tidak bersaing dengan produk pangan.

Banyak penelitian yang mengkaji keuntungan biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar konvensional (*fossil fuel*). Menurut Hoffman (2003)

*) Peneliti pada Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, KKP;
Email: aminisri@yahoo.com

dalam Gao *et al.* (2009), perbedaan yang mendasar dalam penggunaan bahan bakar biodiesel dan *fossil fuel* adalah kemampuan dalam melumasi mesin. Bahan bakar konvensional (*fossil fuel*) membutuhkan sulfur untuk melumasi mesin sedangkan biodiesel tidak membutuhkan kandungan sulfur, karena itu biodiesel lebih ramah lingkungan.

MIKROALGA

Mikroalga pada umumnya merupakan tumbuhan renik berukuran mikroskopik (diameter antara 3-30 μm) yang termasuk dalam kelas alga dan hidup sebagai koloni maupun sel tunggal di seluruh perairan tawar maupun laut. Morfologi mikroalga berbentuk uniseluler atau multiseluler tetapi belum ada pembagian fungsi organ yang jelas pada sel-sel komponennya. Hal itulah yang membedakan mikroalga dari tumbuhan tingkat tinggi (Romimohtarto, 2004).

Mikroalga diklasifikasikan menjadi empat kelompok antara lain: diatom (*Bacillariophyceae*), alga hijau (*Chlorophyceae*), alga emas (*Chrysophyceae*) dan alga biru (*Cyanophyceae*) (Isnansetyo & Kurniastuty, 1995). Eryanto *et al.* (2003) dalam Harsanto (2009) menyatakan bahwa penyebaran habitat mikroalga biasanya di air tawar (*limnoplankton*) dan air laut (*haloplankton*). Berdasarkan distribusi vertikal di perairan, mikroalga dikelompokkan menjadi tiga yaitu hidup di zona euphotik (*ephiplankton*), hidup di zona disphotik (*mesoplankton*), hidup di zona aphotik (*bathoplankton*) dan yang hidup di dasar perairan/ bentik (*hypoplankton*).

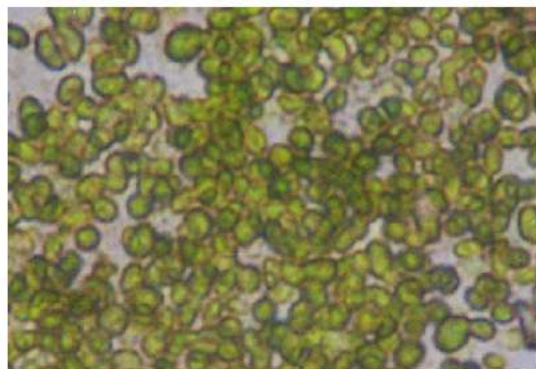
Mikroalga merupakan kelompok organisme yang sangat beragam dan memiliki berbagai potensi yang dapat dikembangkan sebagai sumber pakan, pangan, dan bahan kimia lainnya. Kandungan senyawa pada mikroalga bervariasi tergantung dari jenisnya, faktor lingkungan dan nutrisinya. Pada *Spirulina platensis* yang dikultur dengan menggunakan media Walne

kandungan kadar protein, karbohidrat, dan lemak berturut-turut adalah 50,05%; 15,48%; 0,5% (Widianingsih *et al.*, 2008). Kandungan lemak rata-rata sel mikroalga bervariasi antara 1–70% tetapi dapat mencapai 90% berat kering dalam kondisi tertentu (Spolaore *et al.*, 2006).

Beberapa jaringan sel mikroalga dapat dipergunakan dalam pembedaan dan klasifikasi sesuai divisinya. Menurut Graham & Wilcox (2000), ada empat karakteristik yang digunakan untuk membedakan divisi mikroalga yaitu tipe jaringan sel, ada tidaknya flagella, tipe komponen fotosintesa, dan jenis pigmen sel. Selain itu, morfologi sel dan sifat sel yang menempel baik yang berkoloni ataupun filamen merupakan informasi yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan masing-masing kelompok mikroalga.

Selain dari karakteristik morfologi (*morphological characteristics*), komposisi biokimia dan asam lemak pada setiap sel mikroalga dapat juga digunakan sebagai pembeda dari masing-masing spesies. Menurut Li & Watanabe (2001), karakter-karakter taksonomi seperti wujud filamen dan sel *akinetes* bersifat tidak mutlak untuk identifikasi karena *akinetes* adakalanya tidak ada dan wujud filamen mungkin bisa berubah karena lingkungan pada kondisi kultur.

Salah satu spesies mikroalga yang cukup dikenal sebagai bahan biodiesel adalah *Botryococcus braunii*. *B. braunii* merupakan tanaman sel tunggal berwarna hijau, banyak dijumpai di perairan danau, tambak ataupun perairan payau sampai laut (Metzger & Largeau, 2005). Kandungan klorofil (zat hijau daun) *B. braunii* mencapai $\pm 1,5$ –2,8%, terdiri dari klorofil a, b, dan c, sehingga di permukaan perairan tampak berwarna hijau-coklat kekuningan (Kabinawa, 2008). *B. braunii* memiliki inti sel dengan ukuran ± 15 –20 μm dan berkoloni, bersifat non motil dan setiap pergerakannya sangat dipengaruhi oleh arus perairan (Kabinawa, 2008).



Gambar 1. *Botryococcus braunii* (CFTRI-Bb1) (Dayananda *et al.*, 2007).

Mikroalga penghasil biodiesel

Kandungan minyak mikroalga yang cukup tinggi merupakan salah satu alasan pengembangan biodiesel dari mikroalga oleh negara-negara maju di Eropa, selain alasan yang terkait dengan lingkungan. Komposisi asam lemak pada mikroalga yang sangat bervariasi menyebabkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan juga beragam. Kandungan minyak dari beberapa spesies telah banyak diteliti, seperti yang dikemukakan Gouveia & Oliveira (2009) pada Tabel 1.

Menurut Pratoomyot *et al.* (2005), keragaman spesies mikroalga akan membuat kandungan asam lemak pada mikroalga juga bervariasi. Penelitiannya lebih lanjut menunjukkan bahwa pada umumnya

terdapat perbedaan kandungan asam lemak pada mikroalga pada saat fase eksponensial dan fase *stationery*, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Pada penelitian Amini (2005a), profil kandungan asam lemak pada beberapa spesies mikroalga dapat dilihat pada Tabel 3.

Asam lemak yang bervariasi pada mikroalga salah satunya dapat dimanfaatkan untuk biodiesel. Biodiesel merupakan campuran dari *alkali ether* dan asam lemak yang diperoleh dari proses transesterifikasi minyak nabati atau minyak hewani (Shahzad *et al.*, 2010). Bahan baku diesel adalah hidrokarbon yang mengandung 8–10 atom karbon per molekul sementara hidrokarbon yang terkandung pada minyak

Tabel 1. Komposisi kandungan minyak pada beberapa spesies mikroalga

Spesies	Kandungan minyak (% berat kering)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	35–55
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	16–40
<i>Chlorella vulgaris</i>	56
<i>Chlorella emersonii</i>	63
<i>Chlorella protothecoides</i>	23–55
<i>Chlorella sorokiana</i>	22
<i>Chlorella minutissima</i>	57
<i>Dunaliella bioculata</i>	8
<i>Dunaliella salina</i>	14–20
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–65
<i>Spirulina maxima</i>	4–9
<i>Botryococcus braunii</i> *	75

Sumber: *Banerjee *et al.*, 2002; Gouveia & Oliveira, 2009.

Tabel 2. Komposisi kandungan minyak beberapa spesies mikroalga pada fase *stationery* dan eksponensial

Jenis asam lemak	Kandungan asam lemak (%)						
	<i>Nitzschia cf. ovalis</i>	<i>Thalassiosira sp.</i>	<i>Synechococcus sp.</i>	<i>Dictiosphaerium pulchellum</i>	<i>Stichococcus sp.</i>	<i>Synechocystis sp.</i>	<i>Scenedesmus sp.</i>
As. miristat	3,15*	6,37*	26,09*	2,45*	1,54*	28,24*	1,03*
(C14:0)	2,67	4,59	25,96	2,38	2,12	13,34	1,12
As. palmitat	18,83*	20,67*	16,81*	11,41*	20,03*	5,70*	17,30*
(C16:0)	13,25	19,61	13,94	12,56	17,61	5,89	5,76
As. stearat	0,24*	0,27*	0,45*	0,61*	0,68*	0,36*	1,73*
(C18:0)	16,37	0,35	0,58	0,77	0,54	1,17	0,33

Sumber: Pratoomyot *et al.*, (2005), Keterangan: * = fase *stationery*.

Tabel 3. Profil kandungan asam lemak pada beberapa spesies mikroalga

Jenis asam lemak	Kandungan asam lemak (%)						
	<i>Chlorella sp</i>	<i>Dunaliella sp</i>	<i>Nannocloropsis</i>	<i>Porphyridium</i>	<i>Spirulina sp</i>	<i>Tetraselmis</i>	<i>B.braunii</i>
As. miristat (C14:0)	6,71	8,12	87,35	6,90	11,64	5,37	3,04
As. palmitat (C16:0)	5,95	6,43	20,05	6,04	10,34	6,82	14,11
As. stearat (C18:0)	4,25	8,21	16,68	7,82	8,74	2,17	9,06
As. oleat (C18:1)	24,27	64,20	101,50	26,64	32,76	24,21	14,04
As. linoleat (C18:2)	5,58	32,48	49,02	10,76	21,27	21,07	0,27

Sumber: Amini (2005a).

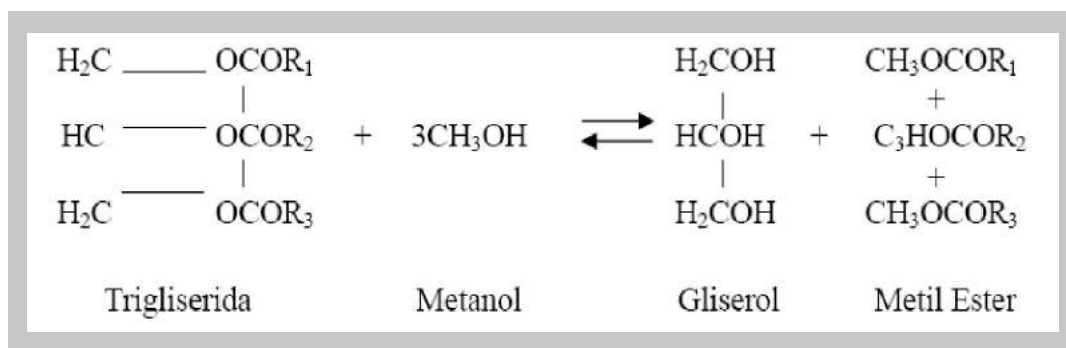
nabati rata-rata adalah 16–20 atom karbon per molekul sehingga minyak nabati viskositasnya lebih tinggi (lebih kental) dan daya pembakarannya sebagai bahan bakar masih rendah (Mursanti, 2007). Oleh sebab itu agar minyak mikroalga dapat digunakan sebagai bahan bakar (biodiesel) maka perlu dilakukan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi secara kimiawi dapat dilihat pada Gambar 2.

Botryococcus braunii SEBAGAI BIODIESEL MASA DEPAN

Di antara mikroalga yang lain, spesies *B. braunii* memiliki kandungan hidrokarbon yang sangat tinggi yang mencapai ±15–76% dari berat kering (Metzger *et al.*, 1985). Hidrokarbon rantai panjang dalam bentuk minyak atau triterpen tak bercabang dari spesies ini dikenal dengan nama *botryococcene* (Metzger & Largeau, 2005; Rao *et al.*, 2007) sangat potensial

Persiapan Biomassa Botryococcus braunii

Kultur biomassa *B. braunii* pada prinsipnya tidak berbeda jauh dengan kegiatan kultur mikroalga spesies lainnya. Pada kegiatan kultur mikroalga diperlukan beberapa tahapan kultivasi *indoor* dan semi *outdoor* sebelum dilakukan kultur massal di sistem *outdoor*. Kultivasi *indoor* dapat dilakukan di media padat (agar). Tahapan selanjutnya adalah kultur di media cair yang diawali dengan mengkultur mikroalga dalam tabung reaksi steril dan diberi pupuk. Selanjutnya apabila kepadatan mikroalga dalam tabung meningkat, kultur dapat dipindahkan dalam media dengan volume lebih besar (100–300 mL). Setelah satu minggu kultur dapat dipindahkan ke volume yang lebih besar lagi (500–1000 mL). Demikian seterusnya kultur dilakukan secara bertahap dari volume kecil ke volume yang lebih besar yaitu sampai 5000 mL. Kultur semi *outdoor* menggunakan wadah



Gambar 2. Proses transesterifikasi biodiesel (Zhang *et al.*, 2003).

sebagai sumber energi atau biodiesel. Menurut Dayananda *et al.* (2005) produksi hidrokarbon dari *B. braunii* berkisar antara 2–8% (berat kering) tergantung dari kondisi kultivasi selama proses pemeliharannya.

kultur dengan kapasitas 40 L atau 100 L dengan pencahayaan yang tidak terlalu kuat. Kultur dapat dilanjutkan dengan wadah yang kapasitasnya 1000 L. Selanjutnya dengan volume yang lebih besar yaitu 10–1000 m³ yang dikenal dengan kultur skala massal.

Mikroalga *B. braunii* dapat tumbuh dalam berbagai media yang mengandung cukup unsur hara makro seperti N, P, K dan unsur mikro lainnya dalam jumlah relatif sedikit yaitu besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), silicon (Si), boron (B), molibdenum (Mo), vanadium (V), dan kobalt (Co) (Manahan, 1984; Chumaidi *et al.*, 1992). Pupuk sebagai faktor penunjang pertumbuhan sel secara normal memerlukan minimal 16 unsur hara di dalamnya dan harus ada 3 unsur mutlak, yaitu nitrogen, fosfor, dan kalium (Adhikari, 2004; Higgins, 2004; Manahan, 1984).

Seperti jenis mikroalga lainnya, budidaya *B. braunii* membutuhkan air, cahaya, CO₂ dan bahan-bahan anorganik sebagai nutrisi. Selain itu, peningkatan produktivitas budidaya *B. braunii* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pH, suhu, kadar CO₂, cahaya, dan salinitas yang optimum (Banerjee *et al.*, 2002). Salinitas merupakan faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan komponen biokimia mikroalga laut (Ghezalbesht *et al.*, 2008). Menurut Susilowati & Amini (2009), *B. braunii* dapat tumbuh pada kisaran kadar garam 0–25 ppt dan tumbuh subur pada 10 ppt. Dalam penelitian lebih lanjut dikemukakan bahwa kelimpahan dan laju pertumbuhan *B. braunii* tertinggi terjadi pada salinitas 5 ppt yaitu dengan kelimpahan 6,9 log sel/mL dan laju pertumbuhan 1,9/hari. Untuk memacu peningkatan pertumbuhan sel dan kandungan minyaknya, *B. braunii* dikultur didalam bioreaktor dengan penambahan CO₂ (Gambar 3) pada skala laboratorium. Sedangkan kultur massal *B. braunii* dilakukan di luar ruangan atau ditambak dengan penyinaran cahaya matahari langsung untuk proses sintesis (Gambar 3b).

Pemanenan Biomassa

Pemanenan mikroalga seringkali masih menjadi kendala. Pada industri komersial, panen biomassa yang terbaik dapat dicapai antara 0,3–0,5 g sel kering/L atau 5 g sel kering/L; hal ini membuat panen mikroalga sangat sulit dan mahal (Wang *et al.*, 2008). Hulteberg *et al.* (2008), mengemukakan bahwa panen pada mikroalga spesies *B. braunii* paling efisien menggunakan flokulan kimia atau modifikasi penggunaan flokulan kimia, karena spesies ini memiliki ukuran sel <10 µm. Penggunaan flokulan kimia mampu mengendapkan biomassa sebanyak 80% (Andrews *et al.*, 2008). Ludwig (2006) melaporkan bahwa penggunaan flokulan mampu menghasilkan biomassa sebesar 1–3% dan biaya operasional yang murah. Flokulan kimia dapat digunakan dengan menambah pH pada media panen, misalnya penambahan potassium hidroksida yang mampu menambah pH sampai mencapai nilai 11 dan natrium hidroksida menambah pH menjadi 9 (Hulteberg *et al.*, 2008).

Pemanenan biomassa *B. braunii* dilakukan dengan modifikasi metode flokulan yaitu metode pengendapan dengan menggunakan bahan kimia NaOH dengan perbandingan 1:1 (1 L mikroalga: 1 g NaOH) (Amini, 2005b). Pengendapan dilakukan selama 24 jam, kemudian baru dilakukan pemisahan biomassa dan cairan jernihnya. Selanjutnya biomassa dapat dicuci dengan air tawar beberapa kali untuk menghilangkan kandungan garamnya, kemudian dilakukan penirisan menggunakan kain satin selama 24 jam. Pada metode ini hasil yang diperoleh berkisar antara 3 g biomassa basah/L. Pengeringan biomassa dilakukan dengan sinar matahari selama 3–4 hari tergantung cuaca dan selanjutnya biomassa bisa disimpan di suhu *chilling* untuk nantinya dilakukan proses



Gambar 3. Media kultivasi biomassa mikroalga: (a) dengan bioreaktor (Anon., 2007); (b) kultur massal mikroalga pada bak beton.



Gambar 4. Panen biomassa mikroalga dengan flokulan.

ekstraksi. Pada Gambar 4 dapat dilihat panen *B. braunii* dengan menggunakan flokulan.

Ekstraksi Minyak dari Mikroalga

Menurut McMichens (2009) terdapat beberapa metode ekstraksi yang dapat digunakan dalam ekstraksi minyak dari mikroalga antara lain:

1. Metode mekanik

Metode mekanik terdiri dari metode pengepresan (*expeller/press*) dan *ultrasonic-assisted extraction*. Pada metode pengepresan (*expeller/press*) alga yang sudah siap panen dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air yang masih pada biomassa. Selanjutnya dilakukan pengepresan biomassa dengan alat pengepres untuk mengekstraksi minyak yang terkandung dalam alga. Dengan menggunakan alat pengepres ini, dapat di ekstrasi sekitar 70–75% minyak yang terkandung dalam alga (Andrews, 2008).

Pada prinsipnya metode *ultrasonic-assisted extraction* menggunakan reaktor ultrasonik. Gelombang ultrasonik digunakan untuk membuat gelembung kavitasi (*cavitation bubbles*) pada material larutan. Ketika gelembung pecah dekat dengan dinding sel maka akan terbentuk gelombang kejut dan pancaran cairan (*liquid jets*) yang akan membuat dinding sel pecah. Pecahnya dinding sel akan membuat komponen di dalam sel keluar bercampur dengan larutan.

2. Metode pelarut kimia

Minyak dari alga dapat diambil dengan menggunakan larutan kimia, misalnya dengan menggunakan *benzena*, *ether*, dan heksana. Penggunaan larutan kimia heksana lebih banyak digunakan sebab harganya tidak terlalu mahal.

Menurut Amini (2005b), larutan heksana dapat digunakan langsung untuk mengekstraksi minyak dari

alga (Gambar 4) atau dikombinasikan dengan alat pengepres dengan tahapan sebagai berikut: setelah proses ekstraksi dengan metode pengepresan, ampas (*pulp*) biomassa dicampur dengan larutan heksana untuk mengambil sisa minyak alga. Proses selanjutnya, ampas alga disaring dari larutan yang berisi minyak dan heksana. Untuk memisahkan minyak dan heksana dapat dilakukan proses distilasi. Kombinasi metode pengepresan dan larutan kimia dapat mengekstraksi lebih dari 95% minyak yang terkandung dalam biomassa (McMichens, 2009). Menurut Chaiklahana *et al.* (2008) proses ekstraksi minyak tergantung pada kepolaran pelarut, ukuran partikel, rasio pelarut dan partikel, temperatur dan waktu ekstraksi. Sebagai catatan, penggunaan larutan kimia untuk mengekstraksi minyak dari tumbuhan sangat beresiko. Misalnya larutan *benzena* dapat menyebabkan penyakit kanker, dan beberapa larutan kimia juga mudah meledak.

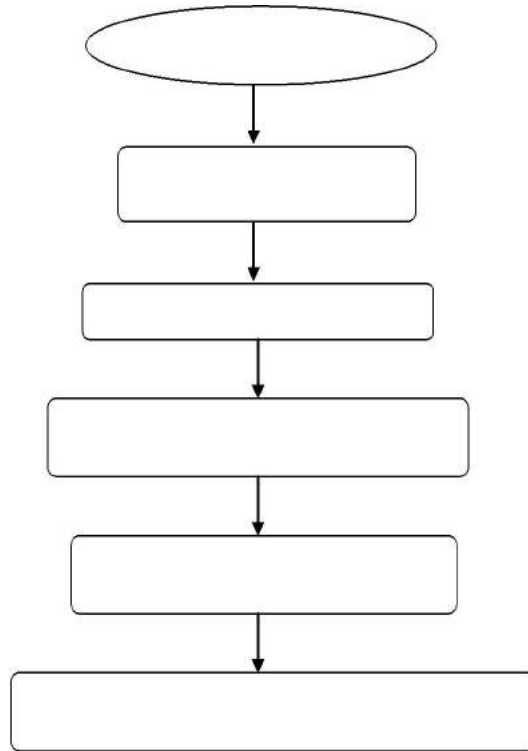
3. Supercritical Fluid Extraction

Pada metode ini, CO_2 dicairkan di bawah tekanan normal kemudian dipanaskan sampai mencapai titik kesetimbangan antara fase cair dan gas. Pencairan fluida inilah yang bertindak sebagai larutan yang akan mengekstraksi minyak dari alga.

Metode ini dapat mengekstraksi hampir 100% minyak yang terkandung dalam biomassa (Andrews, 2008). Namun begitu, metode ini memerlukan peralatan khusus untuk penahanan tekanan.

4. Osmotic Shock

Dengan menggunakan *osmotic shock* maka tekanan osmotik dalam sel akan berkurang sehingga akan membuat sel pecah dan komponen di dalam sel akan keluar. Metode *osmotic shock* memang banyak digunakan untuk mengeluarkan komponen-komponen dalam sel, seperti minyak alga ini.



Gambar 5. Diagram alir ekstraksi minyak dengan pelarut heksana (Amini, 2005b).

Kandungan Minyak dan Mutu Biodiesel

Minyak biodiesel dari *B. braunii* merupakan isoprenoid triterpenes dengan rumus $C_n H_{2n-10}$ turunan dari asam lemak. Nilai n mempunyai kisaran angka 30–37 sebagai biodiesel dari unsur *hydrocracking gasoline type* hidrokarbon (Frenz *et al.*, 1989). Kandungan hidrokarbon pada *B. braunii* seperti pada Tabel 4 (Hillen *et al.*, 1982).

Biodiesel sebagai sumber energi terbarukan memiliki beberapa keuntungan, antara lain (i) bahan

baku biodiesel dapat diperbarui (*renewable*), sehingga kontinuitasnya dapat terjamin (ii) biodiesel lebih aman dalam penyimpanan, (iii) mampu melindungi mesin dan dapat digunakan pada semua mesin diesel tanpa atau dengan modifikasi. Biodiesel dapat mengurangi emisi udara beracun dan bersifat mudah terurai atau *biodegradable* (Knothe *et al.*, 2006). Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki keuntungan antara lain tidak memerlukan modifikasi mesin, memiliki angka setana tinggi, ramah lingkungan, memiliki daya pelumas tinggi, aman dan tidak beracun

Tabel 4. Kandungan hidrokarbon *B. braunii*

Jenis komponen	Nilai (%)
<i>Isobtryococcene</i>	4
<i>Botryococcene</i>	9
$C_{34}H_{58}$	11
$C_{36}H_{62}$	34
$C_{36}H_{62}$	4
$C_{37}H_{64}$	20
<i>Other hydrocarbons</i>	18

Sumber: Hillen *et al.*, 1982.

Tabel 5. Perbandingan emisi biodiesel, campuran biodiesel 10%, dan petrodiesel

No	Parameter	Biodiesel 10%	Biodiesel 100%	Petrodiesel
1	Konsumsi bahan bakar (400 kPa)	0.39 Kg/kW. jam	0.4 Kg/kW. Jam	0.4 Kg/kW.jam
2	Emisi Gas CO	800%	400 ppm	2300%
3	Emisi Gas Nox	70 ppm	180 ppm	95 ppm
4	Indeks Bosch	5.5	6	6.5
5	Perbedaan pengikisan pada alat nozzle	0.081 g	0.059 g	0.084 g
6	Perbedaan pengikisan pada alat piston	2.000 g	4.000 g	22.000 g
7	Deposit piston	42 μ m	50 μ m	102 μ m
8	Deposit pada kepala silinder	30 μ m	24 μ m	46 μ m
9	Lubrikasi total	10.9 mg	10.6 mg	9.25 mg
10	Lubrikasi (jelaga)	0.024 Abs/cm	0.007Abs/cm	0.006 Abs/cm
11	Lubrikasi (oksidasi)	0.018 Abs/cm	0.007 Abs/cm	0.004 Abs/cm

Sumber: Reksowardojo *et al.*, (2005).

(Sudrajat & Setiawan, 2003). Selain itu juga, menurut Prihandana & Roy (2006) emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan cukup rendah. Perbandingan emisi biodiesel dengan petrodiesel pada mesin diesel dapat dilihat pada Tabel 5.

Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah dibakukan dalam SNI-04-7182-2006, yang telah disahkan dan diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tanggal 22 Februari 2006.

PENUTUP

Kondisi iklim tropis Indonesia dengan cahaya matahari sepanjang tahun sangat sesuai untuk kehidupan mikroalga dan pengembangannya. Mikroalga, yang tidak bersaing dengan produk pangan, sangat prospektif dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel di Indonesia. Salah satunya adalah spesies *B. braunii* yang sangat berpotensi sebagai bahan baku biofuel. Hidrokarbon rantai panjang dalam bentuk minyak atau triterpen tak bercabang dari spesies ini dikenal dengan nama *botryococcene* sangat potensial sebagai sumber energi atau biodiesel. Namun demikian beberapa tahapan yang perlu diperhatikan yaitu pemanenan biomassa seringkali masih menjadi kendala. Selain

itu, pengambilan minyak dari mikroalga masih merupakan proses yang sangat mahal sehingga diperlukan alternatif metode ekstraksi yang lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. Could microalgae hold the secret to the future sustainable transport fuel?. <http://www.climaticoanalysis.org/post/could-microalgae-hold-the-secret-to-the-transport-fuel-of-the-future/>. Accessed on Agustus 27, 2010.
- Adhikari. 2004. Fertilization, soil and water quality management in small scale ponds: Fertilization requirements and soil properties. <http://library.enaca.org/AquacultureAsia/Articles/Oct-Dec-2003/9fertilization.pdf>. Accessed on Agustus 27, 2010.
- Amini. S. 2005a. Skrining mikroalga-penghasil kandungan asam lemak omega 3. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan Indonesia 2005*. STP. Jakarta. 269–275
- Amini, S. 2005b. Budidaya *Chlorella* sp. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan Indonesia 2005*. STP. Jakarta. 322–330
- Andrews, R., Kunlei L., Mark C., Czarena C., and Aubrey S. 2008. Feasibility of capture and utilization of CO₂ from kentucky power plants by algae systems. *Technical Review of the Literature Related to the*

- Cultivation and Harvesting of Algae for CO₂ Fixation and the Co-Production of Fuels and Chemicals*. University of Kentucky. USA. 21 pp.
- Banerjee, A., Sharma, R., Chisty, Y., and Banerjee, U.C. 2002. *Botryococcus braunii*: A renewable source of hydrocarbons and other chemicals. *Critical Reviews in Biotechnology*. (22) 3: 245–279.
- Chaiklahana, R., Chirasuwana, N., Loha, V., and Bunnag, B. 2008. Lipid and fatty acids extraction from the cyanobacterium *Spirulina*. *Science Asia*. 34: 299–305.
- Chumaidi, Ilyas, S., Yunus, M., Sahlan, R., Utami, A., Priyadi, P.T., Imanto, S., Hartati, Bastiawan, Z., Jangkaru, dan Arifudin, R. 1992. *Pedoman Teknis Budidaya Pakan Alami Ikan dan Udang*. Pusat Pengembangan Perikanan. Jakarta. 84 pp.
- Dayananda, C., Sarada, R., Komar, V., and Ravishankar, G.A. 2007. Isolation and characterization of hydrocarbon producing green alga *Botryococcus braunii* from Indian freshwater bodies. *Electronic Journal of Biotechnology*. 1(10): 80–91. <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol10/issue1/full/11/11.pdf>. Accessed on Agustus 27, 2010.
- Frenz, J., Largeau, C., Casadevall, E., Kollerup, F., and Daugulis, A.J. 1989. Hydrocarbon recovery and biocompatibility of solvents for extraction from cultures of *Botryococcus braunii*. *Biotechnology and Bioengineering*. 34 (6): 755–762.
- Gao, Y., Gregor, C., Liang, Y., Tang, D., and Tweed, C. 2009. *Algae Biodiesel*. A Feasibility Report on BPRO 29000. 43 pp.
- Ghezelbesh, F., Farboodnia, T., Heidari, R., and Agh, N. 2008. Effects of different salinities and luminance on growth of the green microalgae *Tetraselmis chuii*. *Research Journal of Biological Sciences*. 3 (3): 311–314.
- Gouveia, L. and Oliveira, A.N. 2009. Microalgae as a raw material for biofuels production. *J. Ind Microbiol Biotechnol*. 36: 269–274.
- Graham, L.E. and Wilcox, L.W. 2000. *Algae*. Prentice-Hall, USA. p. 78–89.
- Harsono, S. 2009. Analisis asam lemak mikroalga *Nannochloropsis oculata*. Tesis. Program Magister Bidang Keahlian Kimia Organik Jurusan Kimia FMIPA. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 72 pp.
- Higgins, J. 2004. Are fertilizers polluting our water supply. http://www.agosa.org/agcsaarticles_4.htm. Accessed on Juli 26, 2004.
- Hillen, L.W., Pollard, G., Wake, L.V., and White, N. 1982. Hydrocracking of the oils of *Botryococcus braunii* to transport fuel. *Biotechnology and Bioengineering* 24: 193–205. <http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/abstract/107620334/>. Accessed on Agustus 27, 2010.
- Hultberg, C., Karlsson, H.T., Børresen, B.T., and Eklund, H. 2008. *Final Report on Biodiesel Production from Microalgae*. Presented to StatoilHydro ASA Oslo, Norway May 16, 2008. 88 pp.
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty. 1995. *Teknik Kultur Fitoplankton dan Zooplankton*. Kanisius. Yogyakarta.
- Kabinawa, I.N.K. 2008. Biodiesel energi terbarukan dari mikroalga. *Warta Pertamina*. (9): 31–35.
- Knothe, G. 2006. Analyzing biodiesel: standards and other methods. *Journal American Oil Chemical Society*. 83 (10): 823–833.
- Li, R. and Watanabe, M.M. 2001. Fatty acid profiles and their chemotaxonomy in planktonic species of *Anabaena* (*Cyanobacteria*) with straight trichomes. *Phytochemistry*. 57: 727–731.
- Ludwig, K. 2006. Algae diesel. A preliminary study into the feasibility of creating biodiesel from algae. *Final Report*. Industrial and Operations Engineering Interdisciplinary Engineering. University of Michigan-Ann Arbor. 33 pp.
- Manahan, E.S. 1984. *Environmental chemistry*. 4th Edition. Brooks/Cole Publishing Company. Monterey. 612 pp.
- McMichens, R.B. 2009. *Algae as a Source for Biodiesel*. Paper of University of Maryland, College Park library (unpublished). 40 pp.
- Metzger, P., Berkaloff, C., Casadevall, E., and Coute, A. 1985. Alkadeine- and botryococcene-producing races of wild strains of *Botryococcus braunii*. *Phytochemistry*. 24: 2305–2312.
- Metzger, P. and Largeau, C. 2005. *Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids. *Application Microbiology Biotechnology*. (66) 5: 486–496.
- Mursanti, E. 2007. Proses produksi dan subsidi biodiesel dalam mensubstitusi solar untuk mengurangi ketergantungan terhadap solar. *Seminar Energy, Natural Resource and Environment*. 13 Desember 2007, Wisma Makara, Kampus UI–Depok. 64 pp.
- Patil, V., Tran, K.Q., and Giselrod, H.R. 2008. Towards sustainable production of biodiesels from microalgae. *Int. J. Mol. Sci*. (9): 1158–1195.
- Pratoomyot, J., Srivilas, P., and Noiraksar, T. 2005. Fatty acids composition of 10 microalgal species. *Songklanakarin J. Sci. Technol*. 26 (6): 1179–1187.
- Prihandana, R. dan Roy H. 2006. *Petunjuk Budi Daya Jarak Pagar*. Agro Media Pustaka, Jakarta. 72 pp.
- Rao, A.R., Dayananda, C., Sarada, R., Shamala, T.R., Ravishankar, G.A. 2007. Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents. *Bioresource Technology*. (98): 560–564.
- Reksowardojo, I.K., Buddy Kusuma, R.P., Mahendra, I.M., Brodjonegoro, T. P., Soerawidjaja, T.H., Syaharuddin, I., and Arismunandar, W. 2005. The effect of biodiesel fuel from physic nut (*Jatropha Curcas*) on a direct injection (DI) diesel engine. *Proceeding The 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering*. 2005, Gyeongju-Korea.
- Romimohtarto, K. 2004. *Meroplankton Laut: Larva Hewan Laut yang Menjadi Plankton*. Djambatan: Jakarta. 214 pp.
- Shahzad, I., Hussain, K., Nawaz, K., and Nisar, M.F. 2010. Review algae as an alternative and renewable resource for biodiesel production. *The Biol. (E-Journal of Life Sciences)* 1 (1): 16–23. <http://www.thebiol.com/Paper-3.pdf>. Accessed on Agustus 27, 2010.

- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. 2006. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101: 87–96.
- Sudrajat dan Setiawan, D. 2003. Teknologi pembuatan biodiesel dari minyak biji jarak pagar. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 23: 53–68.
- Susilowati, R. dan Amini, S. 2009. Optimalisasi media kultivasi *Botryococcus braunii* mikroalga dalam salinitas yang berbeda. *Prosiding Seminar Perikanan Indonesia, Jogjakarta, 25 Agustus*. 6 pp.
- Verma, N.H., Mehrotra, S., Amitesh Shukla, A., and Mishra, B.N. 2010. Prospective of biodiesel production utilizing microalgae as the cell factories: A comprehensive discussion. *African Journal of Biotechnology*. 9 (10): 1402–1411.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., and Lan, C.Q. 2008. CO₂ biomitigation using microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol* 79: 707–718.
- Widianingsih, A., Ridho, R., Hartati, dan Harmoko. 2008. Kandungan nutrisi *Spirulina platensis* yang dikultur pada media yang berbeda. *Ilmu Kelautan*. 13 (3) :167
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., and Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: process design and technological assesment. *Biosource Technology*. 89: 1–16.