

POTENSI MIKROALGA SEBAGAI SUMBER BIOMASA DAN PENGEMBANGAN PRODUK TURUNANNYA

Noer Abyor Handayani, Dassy Ariyanti *)

Abstract

The first use of microalgae by humans as food detected in the dates back 2000 years, but the development of biotechnology of microalgae just began in the middle of this century. Microalgae refer to biomass resource contain many useful components such as protein, carbohydrate, fatty acid, etc. Products based microalgae are diverse from human food and nutrition, animal feed and nutrition up to fine chemicals such as triglycerides which is able to be converted to biodiesel. Microalgae is a promising biomass resources, (i) microalgae is renewable resources which has high biodiversity properties, (ii) production cost of converting process from microalgae biomass into its derivatives relatively low, (iii) product derivatives of microalgae have a high demand in market. Based on above, microalgae can be developed further to be applied as raw material for food, energy and pharmacy. This paper described microalgae in general and the developing technology used to produce commercial microalgae based product.

Key words: microalgae, biomass, microalgae product derivatives

Pendahuluan

Peningkatan populasi penduduk dunia telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan, begitu juga dengan peningkatan kebutuhan bahan bakar cair. Saat ini, 80% kebutuhan energi global dihasilkan dari bahan bakar fosil, namun penggunaan bahan bakar fosil yang terlampau luas telah menyebabkan perubahan iklim global, pencemaran lingkungan, dan masalah kesehatan [1]. Prediksi mengenai tidak mencukupinya pasokan protein telah menambah kekhawatiran mengenai ketersediaan bahan pangan untuk masa depan. Dengan demikian, banyak negara yang mengalihkan perhatian mereka terhadap pengembangan sumber energi baru, bersih, dan berkelanjutan. Biomassa mikroalga muncul sebagai salah satu kandidat kuat untuk tujuan tersebut.

Penelitian mengenai mikroalga dan aplikasinya untuk dapat digunakan dalam berbagai macam proses atau produk ekonomis dan bernilai tinggi telah dikembangkan secara ekstensif selama 50 tahun terakhir. Jepang telah memulai budidaya mikroalga *Chlorella* skala besar pada awal 1960-an oleh Nihon Chlorella [2]. Aplikasi mikroalga sebagai sumber energi terbarukan semakin meningkat selama krisis energi pada tahun 1970-an [2,3].

Pada tahun 1980, terdapat 46 pabrik skala besar yang berhasil memproduksi lebih dari 1000 kg mikroalga per bulan (terutama *Chlorella*) di Asia [2]. Budidaya komersial *Dunaliella salina*, sebagai sumber β-karoten, merupakan industri mikroalga ketiga terbesar yang didirikan oleh Western Biotechnology (Hutt Lagoon, Australia) dan Betatene (Whyalla, Australia) (sekarang Cognis Nutrition and Health) pada tahun 1986 [2]. Industri bioteknologi mikroalga telah tumbuh dan sangat berkembang dalam waktu singkat sekitar 30 tahun. Saat ini, pasar biomassa mikroalga menghasilkan sekitar 5000 ton bahan kering / tahun

dan menghasilkan omzet sekitar US \$ $1,25 \times 10^9$ / tahun (tidak termasuk produk dari mikroalga) [2,4].

Ekplorasi mikroalga selain digunakan sebagai usaha diversifikasi pangan, juga dimaksudkan untuk memperdayakan lahan pertanian yang tidak layak. Indonesia sebagai Negara tropis memiliki temperatur dan komposisi kadar garam tinggi sehingga sangat sesuai untuk pertumbuhan mikroalga. Studi literatur ini membahas secara umum mengenai mikroalga, teknik budidaya, teknik pemanenan dan aplikasi serta produk turunan dari mikroalga.

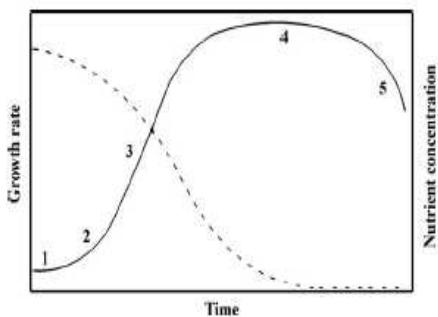
Teknik Budidaya Mikroalga

Mikroalga merupakan organisme autotrof yang tumbuh melalui proses fotosintesis. Struktur uniseluler mikroalga memungkinkan mengubah energi matahari menjadi energi kimia dengan mudah. Mikroalga dapat tumbuh dimana saja, baik di ekosistem perairan maupun di ekosistem darat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroalga, diantaranya faktor abiotik (cahaya matahari, temperatur, nutrisi, O₂, CO₂, pH, salinitas), faktor biotik (bakteri, jamur, virus, dan kompetisi dengan mikroalga lain), serta faktor teknik (cara pemanenan, dll) [5,7]. Mikroalga dapat tumbuh dengan sangat cepat pada kondisi iklim yang tepat. Umumnya, mikroalga menduplikasikan diri dalam jangka waktu 24 jam atau bahkan 3,5 jam selama fasa pertumbuhan eksponensial [7]. Skematik proses pertumbuhan mikroalga ditunjukkan oleh Gambar 1.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknik, prosedur dan proses produksi mikroalga dalam jumlah besar. Tabel 1 menunjukkan beberapa teknik budidaya mikroalga yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti.

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro



Gambar 1. Skematic proses pertumbuhan mikroalga [8]

Tabel 1. Beberapa teknik budidaya mikroalga yang telah banyak dikembangkan.

| Teknik budidaya mikroalga | Definisi / Metode | Peneliti yang Menggunakan Metode Tersebut |
|---------------------------|--|---|
| Open raceway ponds | <p>Umpulan segar (mengandung nutrisi termasuk nitrogen, phosphor, dan garam <i>inorganic</i>) ditambahkan di depan paddlewheel dan setelah beredar melalui loop-loop mikroalga tersebut dapat dipanen di bagian belakang dari paddlewheel. <i>Paddlewheel</i> digunakan untuk proses sirkulasi dan proses pencampuran mikroalga dengan nutrisi.</p> | [2], [9], [10] |
| Photobioreactor | <p>Photobioreactor dikembangkan untuk mengatasi permasalahan kontaminasi dan evaporasi yang sering terjadi dalam sistem open pond. Photobioreactor memiliki rasio luas permukaan dan volume yang besar. Produktivitas mikroalga menggunakan photobioreactor dapat mencapai 13 kali lipat total produksi dengan menggunakan sistem open raceway pond.</p> | [5], [11], [12], [13], [14] |

Teknik Pemanenan.

Teknik yang banyak diaplikasikan untuk proses pemanenan mikroalga adalah flokulasi, centrifugasi, dan filtrasi. Kinerja teknik pemanenan secara kuantitatif dapat dievaluasi menggunakan beberapa para-

meter antara lain: laju pemisahan air, kandungan padatan pada lumpur mikroalga, dan yield dari proses. Tabel 2 menunjukkan beberapa teknik pemanenan mikroalga yang dikembangkan oleh beberapa peneliti.

Komposisi Mikroalga

Mikroalga memiliki kandungan protein yang sangat tinggi, sehingga mikroalga juga dikenal sebagai *single cell protein* (SCP) [5]. Sumber SCP yang dikenal masyarakat diantaranya *Spirulina maxima* dan *Chlorella vulgaris* [1]. Karbohidrat dalam mikroalga dapat ditemukan dalam bentuk pati, glukosa, gula dan polisakarida lainnya. Kandungan lemak rata-rata sel alga bervariasi antara 1% dan 70% tetapi bisa mencapai 90% dari berat kering pada kondisi tertentu [8].

Lemak dalam mikroalga terdiri dari gliserol, asam lemak jenuh atau asam lemak tak jenuh. Komposisi lemak pada masing-masing mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti perbedaan nutrisi, lingkungan dan fasa pertumbuhan [8].

Mikroalga juga merupakan sumber vitamin penting, seperti vitamin A, B, B1, B2, B6, B12, C, E, nikotinate, biotin, asam folat, dan asam pantothenat [5]. Kandungan vitamin tersebut dapat meningkatkan nilai gizi dari sel alga, namun kuantitasnya berfluktuasi, hal ini disebabkan oleh faktor lingkungan, teknik pemanenan, dan metode pengeringan sel [8]. Mikroalga juga kaya akan pigmen seperti klorofil (0,5% - 1% berat kering), karotenoid (rata-rata 0,1 – 0,2% berat kering, hingga lebih dari 14% untuk β-karoten untuk mikroalga *Dunaliella* sp.) dan phycobiliproteins [1]. Molekul tersebut dapat diaplikasikan untuk kepentingan komersial.

Mikroalga adalah mikroorganisme yang mudah dicerna, sehingga penggunaan mikroalga dalam makanan atau pakan ternak tidak ada batasan. Tabel 3 menunjukkan komposisi protein, karbohidrat dan lemak pada beberapa komoditas bahan pangan.

Produk Turunan Mikroalga

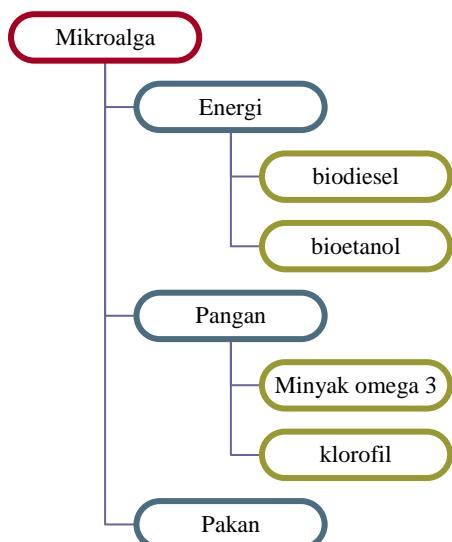
Mikroalga merupakan sumber biomassa yang mengandung beberapa komponen penting diantaranya karbohidrat, protein, asam lemak, dll, sehingga mikroalga dapat dijadikan sebagai bahan baku untuk memproduksi produk produksi yang lain. Gambar 4. menunjukkan beberapa produk turunan mikroalga.

Tabel 2. Beberapa teknik pemanenan mikroalga

| Teknik pemanenan mikroalga | Definisi / Metode | Peneliti yang Menggunakan Metode Tersebut |
|-----------------------------------|---|--|
| Sentrifugasi | Sentrifugasi merupakan proses pemisahan yang menggunakan gaya sentrifugal sebagai driving force untuk memisahkan padatan dan cairan. Proses pemisahan ini didasarkan pada ukuran partikel dan perbedaan densitas dari komponen yang akan dipisahkan. | [1], [15], [16] |
| Flokulasi | Flokulasi adalah proses dimana partikel zat terlarut dalam larutan membentuk agregat yang disebut flok. Sel mikroalga umumnya berukuran 5-50µm. Sel mikroalga dapat membentuk suspensi cukup stabil dengan bahan kimia yang memiliki muatan negatif pada permukaannya. | [17], [18], [19], [20] |
| Filtrasi | Proses filtrasi yang paling efektif diaplikasikan untuk proses pemanenan mikroalga dengan ukuran sel yang besar adalah filtrasi bertekanan atau filtrasi vakum. Namun proses filtrasi tidak cocok untuk operasi pemanenan mikroalga yang memiliki ukuran sel yang kecil seperti spesies <i>Dunaliella</i> . | [12], [21], [22] |

Tabel 3. Komposisi umum sumber makanan manusia dan alga yang berbeda [2].

| Komoditas | Protein | Karbohidrat | Lemak |
|-----------------------------------|---------|-------------|-------|
| <i>Bakers's yeast</i> | 39 | 38 | 1 |
| Daging | 43 | 1 | 34 |
| Susu | 26 | 38 | 28 |
| Nasi | 8 | 77 | 2 |
| Kedelai | 37 | 30 | 20 |
| <i>Anabaena cylindrical</i> | 43-56 | 25-30 | 4-7 |
| <i>Chlamydomonas rheinhardtii</i> | 48 | 17 | 21 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | 51-58 | 12-17 | 14-22 |
| <i>Dunaliella salina</i> | 57 | 32 | 6 |
| <i>Porphyridium cruentum</i> | 28-39 | 40-57 | 9-14 |
| <i>Scenedesmus obliquus</i> | 50-56 | 10-17 | 12-14 |
| <i>Spirulina maxima</i> | 60-71 | 13-16 | 6-7 |
| <i>Synechococcus sp.</i> | 63 | 15 | 11 |



Gambar 4. Produk turunan mikroalga

Tabel 4. Kandungan minyak dari beberapa spesies mikroalga [6,8]

| Mikroalga | Kandungan minyak (% berat kering) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Botryococcus braunii</i> | 25-75 |
| <i>Chlorella sp.</i> | 28-32 |
| <i>Cryptothecodium cohnii</i> | 20 |
| <i>Cylindrotheca sp.</i> | 16-37 |
| <i>Dunaliella primolecta</i> | 23 |
| <i>Isochrysis sp.</i> | 25-33 |
| <i>Monallanthus salina</i> | 20 |
| <i>Nannochloris sp.</i> | 20-35 |
| <i>Nannochloropsis sp.</i> | 31-68 |
| <i>Neochloris oleoabundans</i> | 35-54 |
| <i>Nitzschia sp.</i> | 45-47 |
| <i>Phaeodactylum tricornutum</i> | 20-30 |
| <i>Schizochytrium sp.</i> | 50-77 |

Biodiesel

Biodiesel terbuat dari minyak nabati dan lemak hewani yang mengandung trigliserida. Trigliserida terdiri dari tiga rantai asam lemak yang digabungkan oleh molekul gliserol. Proses pembuatan biodiesel atau transesterifikasi merupakan proses penggantian molekul gliserol dengan methanol yang kemudian membentuk *fatty acid methyl ester (FAME)* yang disebut biodiesel [6]. Proses pembuatan biodiesel harus memenuhi beberapa parameter seperti: (i) kontinuitas bahan baku harus terjaga; (ii) ongkos produksi harus lebih rendah dari produksi minyak bumi; produk yang dihasilkan harus memenuhi standar bahan bakar [6]. Berdasarkan parameter tersebut, mikroalga merupakan biomassa yang potensial untuk digunakan sebagai bahan baku produksi biodiesel karena tingkat pertumbuhannya sangat tinggi serta memiliki fraksi lipid yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Tabel 4 menunjukkan minyak yang terkandung dalam beberapa jenis mikroalga.

Banyak teknologi yang diteliti untuk mengekstraksi minyak (lipid) dari mikroalga, namun hanya beberapa teknologi yang umum digunakan. Teknologi tersebut antara lain: expeller/ pengepresan minyak, ekstraksi cair-cair dengan menggunakan solven, *supercritical fluid extraction (SFE)*, dan teknik *ultrasound* [6]. Tabel 5 menunjukkan kelebihan dan kekurangan masing masing teknologi dalam mengekstraksi minyak dari mikroalga.

Bioetanol

Bioetanol yang dihasilkan dari biomassa biasanya diproduksi secara proses biokimia seperti fermentasi atau proses termokimia seperti gasifikasi. Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku bioethanol adalah jagung dan tebu dimana bahan baku tersebut masih memiliki nilai yang tinggi untuk pangan dan dibutuhkan area luas dalam memproduksinya.

Keberadaan mikroalga sangat berpotensi dalam produksi bioethanol untuk menggantikan bahan baku yang masih bernilai pangan tinggi. Mikroalga mengandung karbohidrat dan protein yang dapat digunakan sebagai sumber karbon dalam proses fermentasi pembentukan bioethanol. Tabel 6 menunjukkan kandungan protein dan karbohidrat dari beberapa spesies mikroalga.



Kelebihan dari penggunaan mikroalga sebagai bahan baku produksi bioethanol antara lain: proses fermentasi memerlukan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses produksi biodiesel, selain itu produk samping yang berupa karbon dioksida dapat digunakan kembali sebagai sumber karbon dalam proses kultivasi mikroalga [6].

Minyak omega 3

Mikroalga secara alami mengandung asam lemak omega 3 yang dapat diekstrak dan dipurifikasi untuk dijadikan produk nutrisi yang bermanfaat bagi manusia. Asam lemak omega-3 (PUFA n-3) merupakan asam lemak tak jenuh ganda yang terdapat dalam makanan sebagai *α-linolenat acid* (ALA, C18:3, n-3) kacangan [31,32]. ALA merupakan rantai terpendek dari n-3 dan banyak terkandung dalam minyak nabati dan kacang-kacangan. *Eicosapentaenoic acid* (EPA, C20:5, n-3) dan *docosahexaenoic acid* (DHA, C22:6, n-3) merupakan produk turunan dari n-3 yang banyak terdapat dalam ikan dan mikroorganisme lain seperti mikroalga dan bakteri [32,33]. Struktur kimia dari minyak omega 3 dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 5. Kelebihan dan kekurangan beberapa teknologi dalam mengekstraksi minyak dari mikroalga [23-29]

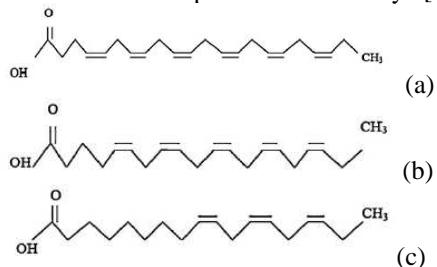
| Metode Ekstraksi | Kelebihan | Kekurangan |
|---------------------------------------|--|--|
| Pengepresan minyak | Mudah digunakan, tidak ada keterlibatan solven | Memerlukan jumlah sampel yang sangat banyak, proses lama |
| Ekstraksi menggunakan solven | Solven yang digunakan relatif murah dan dapat diproduksi kembali | Solven organik memiliki sifat mudah terbakar dan toksitas tinggi serta biaya recovery solven cukup mahal, selain itu jumlah solven yang digunakan sangat banyak. |
| <i>Supercritical fluid extraction</i> | Tidak bersifat toksik dan sistem operasi sederhana | Operasi sering gagal terutama dalam kuantitas besar |
| <i>Ultrasound</i> | Dapat mereduksi waktu ekstraksi dan konsumsi solven | Konsumsi energi tinggi dan sulit untuk <i>discale up</i> |

Tabel 6. Kandungan protein dan karbohidrat dari beberapa spesies mikroalga dalam % berat kering [6,30]

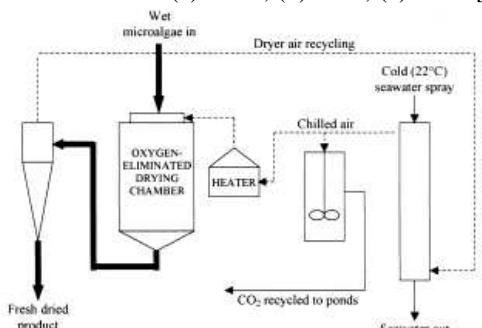
| Mikroalga | Protein | Karbohidrat |
|----------------------------------|---------|-------------|
| <i>Scenedesmus obliquus</i> | 50–56 | 10–17 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 47 | – |
| <i>Scenedesmus dimorphus</i> | 8–18 | 21–52 |
| <i>Chlamydomonas rheinhardii</i> | 48 | 17 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | 51–58 | 12–17 |
| <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | 57 | 26 |
| <i>Spirogyra sp.</i> | 6–20 | 33–64 |
| <i>Dunaliella bioculata</i> | 49 | 4 |
| <i>Dunaliella salina</i> | 57 | 32 |
| <i>Euglena gracilis</i> | 39–61 | 14–18 |
| <i>Prymnesium parvum</i> | 28–45 | 25–33 |
| <i>Tetraselmis maculate</i> | 52 | 15 |
| <i>Porphyridium cruentum</i> | 28–39 | 40–57 |
| <i>Spirulina platensis</i> | 46–63 | 8–14 |
| <i>Spirulina maxima</i> | 60–71 | 13–16 |
| <i>Synechococcus sp.</i> | 63 | 15 |
| <i>Anabaena cylindrical</i> | 43–56 | 25–30 |

ALA dapat dikonversi menjadi EPA dan DHA dalam tubuh, namun konversinya sangat terbatas dan tidak efisien, oleh karena itu n-3 harus disediakan dalam bentuk suplemen makanan. Apabila dibandingkan dengan minyak omega 3 dari ikan, mikroalga memproduksi sendiri minyak omega 3 dalam tubuhnya dan membuat proses produksinya lebih sederhana dan ekonomis. Gambar 6. menunjukkan salah satu diagram alir proses produksi mikroalga menjadi produk nutrisi.

Karbohidrat akan dikonversi menjadi etanol dan karbon dioksida melalui proses fermentasi yang dilakukan oleh mikroorganisme seperti bakteri dan yeast. Berikut ini adalah persamaan reaksinya [6]:



Gambar 5. (a) DHA, (b) EPA, (c) ALA [34]



Gambar 6. diagram alir proses produksi mikroalga menjadi produk nutrisi [2]

Pakan ternak

Komoditas lain yang berbahan baku mikroalga adalah pakan akuakultur atau ternak. Mikroalga sebagai pakan memiliki sifat rendah kalori, kaya mineral, vitamin dan protein serta kandungan lemak rendah (Kumar). Selain itu mikroalga jenis Spirulina, memiliki kandungan nutrisi tinggi seperti protein (60–70 % berat), vitamin B12 dan provitamin A (*b-carotene*) serta mineral dan mudah dicerna oleh ternak [1,35]. Mikroalga terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan berat badan pada ikan, dan babi, selain itu mikroalga yang dijadikan pakan ayam dapat menurunkan kandungan kolesterol dalam telur yang dihasilkan serta warna dari telur menjadi lebih gelap akibat pertambahan kandungan pigmen karoten [1].

Kesimpulan

Mikroalga merupakan sumber biomasa yang mengandung komponen-komponen bermanfaat tinggi seperti protein, karbohidrat, asam lemak, dll. Jenis produk yang dihasilkan dari produksi biomassa mikroalga bervariasi, mulai dari produk pangan, pakan, hingga *fine chemical*, termasuk trigliserida yang dapat dikonversi menjadi biodiesel. Proses produksi dari konversi biomassa mikroalga menjadi produk-produk diatas sebagian besar terjangkau secara ekonomi dan memiliki pangsa pasar produk yang terus berkembang. Selain itu, mikroalga merupakan sumber daya alam terbaharuan yang tergolong biomassa dengan biodiversitas tinggi. Didasarkan pada perkembangan bioteknologi saat ini dan biodiversitas mikroalga yang tinggi, mikroalga dapat dikembangkan menjadi bahan baku berbagai produk baru yang dapat diaplikasikan di berbagai bidang termasuk industri pangan, energi dan farmasi.

Daftar Pustaka

- Chen, C.Y., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.J., dan Chang, J.S., (2011), "Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review", *Biore-source Technology*, 102, hal 71–81.
- Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., dan Isambert, A., (2006), "Commercial Applications of Microalgae", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, hal 87-96
- Pulz, O., dan Scheibenbogen, K., (1998), "Photobioreactors: design and performance with respect to light energy input", *Advanced of Biochemical Engineering Biotechnology*, 59, hal 123–151
- Pulz, O., dan Gross, W., (2004), "Valuable products from biotechnology of microalgae", *Application of Microbiology Biotechnology*, 65, hal 635–648.
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., dan Danquah, M.K., (2010), Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, hal 1037–1047.
- John, R.P., Anisha, G.S., Nampoothiri, K.M., dan Pandey, A., (2011), "Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol", *Bioresource Technology*, 102, hal. 186–193.
- Chisti, J., (2007), Biodiesel from microalgae", *Biotechnology Advances*, 25, hal 294–306
- Mata, T.M., Martins, A.A., dan Caetano, N.S., (2010), "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, hal 217–232

9. Terry, K.L., dan Raymond, L.P., (1985), System design for the autotrophic production of microalgae. *Enzyme Microbial Technology*, 7, hal 474–87
10. Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., dan Roessler, P., (1998), “A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program—biodiesel from algae”, *National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO*; Report NREL/TP-580–24190.
11. Carvalho, A.P., Meireles, L.A., dan Malcata, F.X., (2006), “Microalgal reactors: a review of enclosed system designs and performances”, *Biotechnology Programme*, 22, 1490–506
12. Molina, G.E., Acién, F.F.G., García C.F., dan Chisti, Y., (1999), Photobioreactors: light regime, mass transfer, and scaleup. *Journal of Biotechnology*, 70, hal 231–47.
13. Pulz O., (2001), Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Application of Microbiology Biotechnology*, 57, 287–93
14. Tredici, M.R., (1999), Bioreactors, photo. In: Flickinger MC, Drew SW, editors. Encyclopedia of bioprocess technology: fermentation, biocatalysis and bioseparation Wiley; hal 395–419
15. Grima, E.M., Belarbi, E.H., Fernandez, F.G.A., Medina, A.R., dan Chisti, Y., (2003), Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. *Biotechnology Advanced*, 20, hal 491–515.
16. Knuckey, R.M., Brown, M.R., dan Robert, R., Frampton, D.M.F., 2006. Production of microalgal concentrates by flocculation and their assessment as aquaculture feeds. *Aquaculture Engineering*, 35, 300–313.
17. Lee, S.J., Kim, S.B., Kim, J.E., Kwon, G.S., Yoon, B.D., dan Oh, H.M., (1998). Effects of harvesting method and growth stage on the flocculation of the green alga *Botryococcus braunii*. *Lett. Application of Microbiology*. 27, hal 14–18
18. Oh, H.M., Lee, S.J., Park, M.H., Kim, H.S., Kim, H.C., Yoon, J.H., Kwon, G.S., dan Yoon, B.D., (2001). Harvesting of *Chlorella vulgaris* using a bioflocculant from *Paenibacillus* sp. AM49. *Biotechnology Lett.* 23, hal 1229–1234
19. Uduman, N., Qi, Y., Danquah, M.K., Forde, G.M., dan Hoadley, A., (2010). Dewatering of microalgal cultures: a major bottleneck to algaebased fuels. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2, 012701
20. Divakaran, R., dan Pillai, V.N.S., (2002). Flocculation of algae using chitosan. *Journal of Application Phycology*, 14, hal 419–422
21. Wilde, E.W., Benemann, J.R., Weissman, J.C., Tillett, D.M., (1991). “Cultivation of algae and nutrient removal in a waste heat utilization process”, *Journal of Application Phycology*. 3, 159–167.
22. Petrushevski, B., Bolier, G., Van Breemen, A.N., Alaerts, G.J., 1995. Tangential flow filtration: a method to concentrate freshwater algae. *Water Resources*, 29, 1419–1424
23. Popoola, TOS, dan Yangomodou, OD, (2006), “Extraction, properties and utilization potentials of cassava seed oil”, *Biotechnology*, 5, hal 38–41.
24. Herrero, M., Ibanez, E., Senorans, J., dan Cifuentes, A., (2004), “Pressurized liquid extracts from *Spirulina platensis* microalga: Determination of their antioxidant activity and preliminary analysis by micellar electrokinetic chromatography”, *Journal of Chromatography A*, 1047, hal 195–203.
25. Galloway, J.A., Koester, K.J., Paasch, B.J., dan Macosko, C.W., (2004), “Effect of sample size on solvent extraction for detecting cocontinuity in polymer blends”, *Polymer*, 45, hal 423–8.
26. Macias-Sanchez, M.D., Mantell, C., Rodriguez, M., Martinez De La Ossa, E., Lubian, L.M., dan Montero, O., (2005), “Supercritical fluid extraction of carotenoids and chlorophyll a from *Nannochloropsis gaditana*”, *Journal of Food Engineering*, 66, hal 245–51.
27. Pawliszyn, J., (1993), “Kinetic model of supercritical fluid extraction”, *Journal of Chromatographic Science*, 31, hal 31–37.
28. Luque-Garcia, J.L., dan Luque De Castro, M.D., (2003), “Ultrasound: a powerful tool for leaching”. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 22, hal 41–7.
29. Martin, P.D., (1993), “Sonochemistry in industry”, *Progress and prospects. Chemistry and Industry*, 7, hal 233–6.
30. Becker, E.W., (1994), “Oil production. In: Baddiley, et al., editors. Microalgae: biotechnology and microbiology”, *Cambridge University Press*
31. Chew, Y.L., Lim, Y.Y., Omar, M., dan Khoo, K.S., (2008), “Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia”, *LWT*, 41, hal 1067–1072
32. Kalogeropoulos, N., Chiou, A., gavala, E., Christea, M., dan Andrlikopoulos, N.K., (2010), “Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (carotenoids, tocopherols, sterols and squalene) of raw and roasted chicken fed on DHA-rich microalgae”, *Food Research International*, 43, hal 2006–2013.

33. Medina, A.R., Cerdá'n, L.E., Giménez, A.G., Paéz, B.C., González, M.J.I., dan Grima, E.M., (1999), "Lipase-catalyzed esterification of glycerol and polyunsaturated fatty acids from fish and microalgae oils", *Journal of Biotechnology*, 70, hal 379–391
34. McManus, A., Merga, M., dan Newton, W., (2011), "Omega-3fatty acids.What consumers need to know", *Appetite*, 57, hal 80–83.
35. Thajuddin, N., dan Subramanian, G., (2005), "Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology", *Current Science*, 89, hal 47–57.