

MIKROALGA SEBAGAI SUMBER BIOMASA TERBARUKAN: TEKNIK KULTIVASI DAN PEMANENAN

Dessy Ariyanti dan Noer Abyor Handayani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstract

For millennia, aquatic environment has been a source of food, minerals, and natural products to fulfill human's need. In order to resolved problem due to increment of population, the development of product microalgae based which is one of renewable resource absolutely needed. There are two important processes in biotechnology of microalgae, microalgae cultivation and harvesting. Common cultivation methods used in growing microalgae are open raceway pond system and closed photobioreactor system. While harvesting methods used is flocculation, centrifugation and filtration. This paper described briefly the methods used in cultivation and harvesting of microalgae.

Keywords: *microalgae, cultivation, harvesting*

1. Pendahuluan

Selama bertahun-tahun lingkungan perairan telah menjadi sumber makanan, mineral dan produk alami untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dalam upaya mengatasi masalah yang ditimbulkan akibat peningkatan populasi dan kebutuhan manusia, pengembangan produk berbasis sumber alam terbarukan mutlak diperlukan. Salah satunya adalah pengembangan mikroalga sebagai salah satu sumber biomasa masa depan. Tabel 1 menunjukkan beberapa jenis produk berbasis mikroalga.

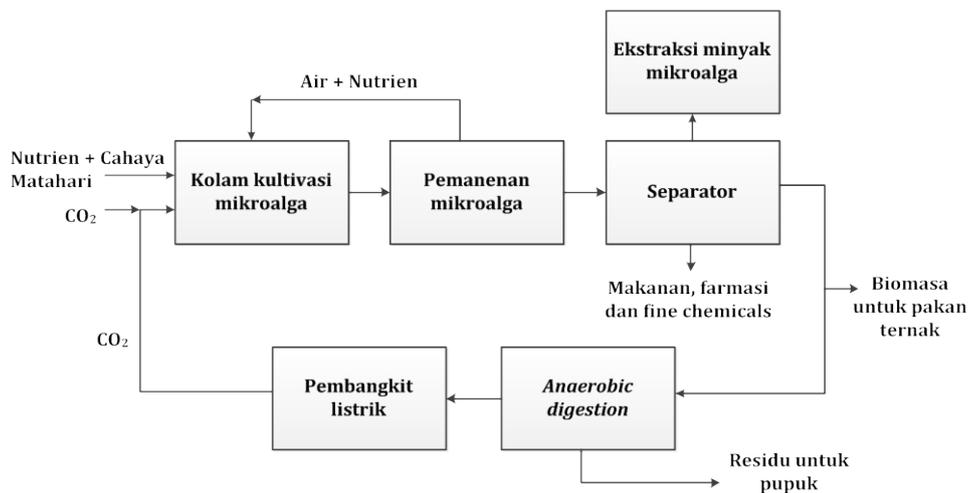
Tabel 1 juga menunjukkan bahwa mikroalga merupakan sumber biomasa yang potensial untuk dikembangkan diantara organisme akuatik lainnya.

Mikroalga tidak hanya memiliki kapasitas untuk memproduksi produk yang bernilai tinggi tapi juga memiliki kemampuan untuk berkembang biak hanya dengan menggunakan cahaya matahari, karbon dioksida dan air laut. Mikroalga memiliki struktur uniselular yang dengan mudah mengkonversi energi matahari menjadi energi kimia.

Secara umum, proses bioteknologi mikroalga dapat dilihat pada Gambar 1. Proses bioteknologi mikroalga telah dikembangkan untuk berbagai jenis aplikasi komersial. Sebagai organisme fotosintetik, mikroalga memiliki kandungan klorofil yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan makanan atau kosmetik (Borowitzka, M.A., dkk, 1999).

Tabel 1. Beberapa jenis produk berbasis mikroalga (Spolaore, P., dkk., 2006)

| | Produk | Aplikasi |
|----------------------------------|---|---|
| Biomasa | Biomasa | Makanan sehat Functional food Pakan tambahan Aquakultur Remediasi tanah |
| Pewarna dan antioksidan | Xantofil Lutein β -karoten Vitamin C dan E | Makanan tambahan Pakan tambahan Kosmetik |
| Asam lemak (<i>fatty acid</i>) | <i>Arachidonic acid</i> (AA) <i>Eicosapentaenoic acid</i> (EPA) <i>Docosahexaenoic acid</i> (DHA) γ - <i>linoleic acid</i> (GLA) <i>Linoleic acid</i> (LA) | Makanan tambahan |
| Polimer | Polisakarida Pati | Makanan tambahan Pakan tambahan |



Gambar 1. proses bioteknologi mikroalga

Mikroalga juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku untuk industri farmasi karena beberapa jenis dari mikroalga mengandung antioksidan dan antibiotik. Mikroalga memiliki kandungan protein, vitamin dan polisakarida yang memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai makanan tambahan.

Beberapa jenis mikroalga juga diketahui mengandung lipid yang dapat diekstraksi dan diproses lebih lanjut untuk menjadi bahan bakar. Hasil samping dari proses ekstraksi lipid mikroalga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biometana, bioethanol dan biohidrogen.

Selain produk, mikroalga memiliki kontribusi positif terhadap lingkungan terutama penanganan masalah efek gas rumah kaca dan polusi air dari industri. Mikroalga dapat menyerap karbon dioksida untuk proses fotosintetisnya dan memproduksi nutrisi dengan biaya produksi rendah. Beberapa jenis mikroalga juga dapat menyerap nitrogen dan mengabsorpsi logam berat serta fosfor.

Terdapat dua proses yang paling menentukan dalam proses bioteknologi mikroalga yaitu kultivasi serta pemanenan mikroalga. Metode yang umum digunakan dalam proses kultivasi mikroalga. Metode tersebut adalah sistem *open raceway pond* dan sistem *closed photobioreactor*. Sistem *open pond* memiliki kelemahan yaitu mudah terkena kontaminan sementara dalam sistem *photobioreactor* kontaminan

dan parameter pertumbuhan seperti pH, temperatur dan karbon dioksida dapat dikontrol dengan baik. Walaupun demikian, sistem *photobioreactor* memerlukan biaya tinggi sehingga pengetahuan dalam pemilihan sistem kultivasi mikroalga sangat diperlukan.

Selain metode kultivasi, metode pemanenan mikroalga juga sangat penting untuk menghasilkan biomassa konsentrasi tinggi dan proses yang ekonomis. Metode pemanenan mikroalga yang umum digunakan antara lain: flokulasi, koagulasi, sentrifugasi dan filtrasi. Paper ini menjelaskan lebih lanjut teknik kultivasi dan pemanenan mikroalga.

2. Kultivasi Mikroalga

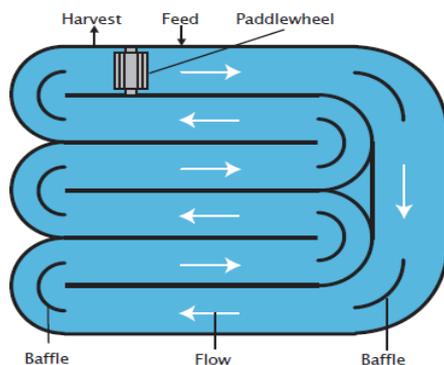
Sebagian besar mikroalga menggunakan cahaya dan karbon dioksida (CO_2) sebagai sumber energi dan sumber karbon (organisme *photoautotrophic*). Pertumbuhan optimum mikroalga membutuhkan temperatur air berkisar 15 - 30°C. Media pertumbuhan juga harus mengandung elemen inorganik yang berfungsi dalam pembentukan sel, seperti nitrogen, fosfor, dan besi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknik, prosedur dan proses produksi mikroalga dalam jumlah besar. *Open ponds system* dan *photobioreactor system* merupakan teknik budidaya mikroalga yang paling sering digunakan.

Open Ponds

Open ponds merupakan sistem budidaya mikroalga tertua dan paling sederhana. Sistem tersebut sering dioperasikan secara kontinyu. Umpan segar (mengandung nutrisi termasuk nitrogen, phosphor, dan garam inorganic) ditambahkan di depan *paddlewheel* dan setelah beredar melalui loop-loop mikroalga tersebut dapat dipanen di bagian belakang dari *paddlewheel*. *Paddlewheel* digunakan untuk proses sirkulasi dan proses pencampuran mikroalga dengan nutrisi. Beberapa sumber limbah cair dapat digunakan sebagai kultur dalam budidaya mikroalga. Pemilihan sumber limbah cair tersebut berdasarkan pemenuhan kebutuhan nutrisi dari mikroalga. Mikroalga laut dapat menggunakan air laut atau air dengan tingkat salinitas tinggi sebagai media kultur.

Biaya operasional sistem *open ponds* lebih rendah dibandingkan dengan sistem *photobioreactor*, namun sistem tersebut memiliki beberapa kelemahan. *Open ponds* merupakan sistem kolam terbuka sehingga mengalami evaporasi akut, dan penggunaan karbon dioksida (CO_2) menjadi tidak efisien. Produktivitas mikroalga juga dibatasi oleh kontaminasi dari alga atau mikroorganisme yang tidak diinginkan. Gambar 2 menunjukkan sistem *open ponds* dengan *photobioreactor*.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Ilustrasi Raceway open pond; (b) Raceway open pond dilapangan

Photobioreactor

Photobioreactor dikembangkan untuk mengatasi permasalahan kontaminasi dan evaporasi yang sering terjadi dalam sistem *open pond*. Sistem tersebut terbuat dari material tembus pandang dan umumnya diletakkan di lapangan terbuka untuk mendapatkan cahaya matahari. Pada dasarnya, *photobioreactor* terdapat dalam 2 jenis, *plate* dan *tubular*. *Photobioreactor tubular* lebih sesuai digunakan di lapangan terbuka.

Pada dasarnya, terdapat dua tipe *photobioreactor*, yaitu tipe *flat plate* (Gambar 3) dan tipe *tubular* (Gambar 4). Apabila dibandingkan, tipe *tubular* lebih cocok untuk aplikasi di luar ruangan karena luasnya permukaan untuk proses iluminasi. Namun, *flat plate photobioreactor* juga sering digunakan karena tipe ini dapat meratakan intensitas penyinaran sehingga sel yang dihasilkan memiliki densitas yang lebih tinggi.

Tipe *plate-flat photobioreactor* lebih disukai karena: (i) konsumsi energi lebih rendah dan kapasitas transfer massa tinggi; (ii) efisiensi fotosintesis tinggi; dan (iii) tidak terdapat ruang yang tidak terkena cahaya. Desain dari tipe ini juga beragam mulai dari tipe gelas hingga PVC transparan dan tebal.



Gambar 3. Instalasi *flat photobioreactor*

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*.



Gambar 4. Instalasi *tubular photobioreactor*

Perbandingan antara penggunaan sistem *open pond* dengan sistem *photobioreactor* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan antara penggunaan sistem *open pond* dengan sistem *photobioreactor*. (Harun, R., dkk., 2010)

| Faktor | <i>Open pond</i> | <i>Photobioreactor</i> |
|----------------------------|------------------|---------------------------------|
| Ruang yang dibutuhkan | Tinggi | Rendah |
| Kehilangan air | Sangat tinggi | Rendah |
| Kehilangan CO ₂ | Tinggi | Rendah |
| Konsentrasi O ₂ | Rendah | Tinggi, terjadi <i>build up</i> |
| Temperatur | Bervariasi | Membutuhkan pendingin |
| Pembersihan | Tidak perlu | Perlu |
| Kontaminasi | Tinggi | Tidak ada |
| Kualitas biomasa | Bervariasi | Tergantung produksi |
| Evaporasi | Tinggi | Tidak ada |
| Biaya pemanenan | Tinggi | Lebih rendah |
| Kebutuhan energi (W) | 4000 | 1800 |

3. Pemanenan mikroalga

Teknik yang banyak diaplikasikan untuk proses pemanenan mikroalga adalah flokulasi, sentrifugasi, dan filtrasi. Proses flokulasi dapat digunakan sebagai tahap awal untuk mempermudah proses selanjutnya. Mikroalga memiliki muatan negatif, sehingga untuk membentuk flok dibutuhkan flokulan kationik seperti Al₂(SO₄)₃, FeCl₃, dan Fe₂(SO₄)₃. Filtrasi adalah metode pemanenan yang terbukti paling kompetitif dibandingkan dengan teknik pemanenan yang lain. Jenis filtrasi yang dapat digunakan adalah *dead end filtration*, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, filtrasi bertekanan, dan filtrasi aliran tangensial.

Kinerja teknik pemanenan secara kuantitatif dapat dievaluasi menggunakan beberapa parameter antara lain: laju pemisahan air, kandungan padatan pada lumpur mikroalga, dan yield dari proses.

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.

Penelitian Chen, C.Y., dkk pada tahun 2011 menunjukkan bahwa proses sentrifugasi dengan kecepatan tinggi secara efektif dapat memisahkan mikroalga dari cairan mediana. Tes laboratorium pada 500-1000 gr hasil kultivasi mikroalga dalam *pond* menunjukkan 80-90% mikroalga dapat dipisahkan dalam waktu 2-5 menit. Walaupun proses sentrifugasi efektif digunakan secara teknis, proses ini juga memiliki kelemahan terutama pada investasi alat yang tinggi dan biaya operasional yang tinggi.

Flokulasi

Flokulasi adalah proses dimana partikel zat terlarut dalam larutan membentuk agregat yang disebut flok. Proses flokulasi terjadi saat partikel zat terlarut saling bertumbukan dan menempel satu sama lain. Bahan kimia yang biasa disebut flokulan ditambahkan ke dalam sistem untuk membantu proses flokulasi.

Sel mikroalga umumnya berukuran 5-50µm. Sel mikroalga dapat membentuk suspensi cukup stabil dengan bahan kimia yang memiliki muatan negatif pada permukaannya.

Terdapat dua tipe flokulan yang digunakan yaitu: flokulan inorganik dan flokulan polimer organik/ polielektrolit. Tabel 3 menunjukkan beberapa jenis flokulan dengan dosis dan pH optimum yang dibutuhkan untuk proses flokulasi mikroalga.

Tabel 3. Beberapa jenis flokulan dengan dosis dan pH optimum yang dibutuhkan untuk proses flokulasi mikroalga (Uduman, N., dkk, 2010)

| Flokulan | Dosis optimal (mg/L) | pH optimal |
|------------------|----------------------|------------|
| <i>Inorganik</i> | | |
| Alum | 80-250 | 5,3-5,6 |
| Feri sulfat | 70-90 | 3,0-9,0 |
| Kapur | 500-700 | 10,5-11,5 |
| <i>Polimerik</i> | | |
| Purifloc | 35 | 3,5 |
| Zetag 51 | 10 | >9 |
| Dow 21M | 10 | 4,0-7,0 |
| Dow C-31 | 1-5 | 2,0-4,0 |
| Khitosan | 100 | 8,4 |

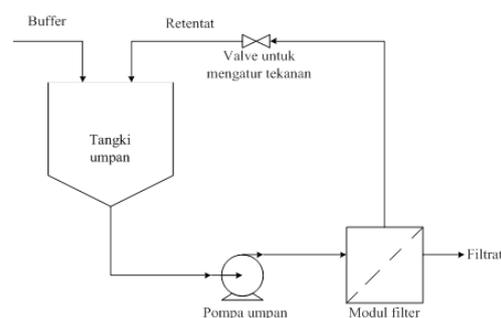
Flokulan yang dinilai paling efektif digunakan untuk proses pemanenan mikroalga adalah aluminium sulfat serta beberapa jenis polimer kationik.

Filtrasi

Metode pemisahan ini melibatkan media yang permeabel untuk melewatkan cairan sekaligus menahan padatan sehingga kedua komponen ini terpisah. Proses filtrasi memerlukan *pressure drop* untuk mendorong cairan melewati media filter. *Pressure drop* yang umum digunakan adalah gravitasi, vakum, tekanan atau sentrifugal.

Menurut penelitian yang dilakukan Grima dkk (2003), 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 *Dunaliella*.

Gambar 5 menunjukkan skematik sistem filtrasi aliran tangensial. Kultur mikroalga dan retentat hasil proses filtrasi dipompakan ke modul filter. Filtrat dialirkan ke proses selanjutnya, sedangkan retentat dikembalikan lagi ke tangki umpan sehingga lama kelamaan mikroalga dalam tangki akan semakin terkonsentrasi.



Gambar 5. Skematik sistem filtrasi aliran tangensial

4. Kesimpulan

Metode kultivasi dan metode pemanenan merupakan faktor yang paling penting dalam menghasilkan biomasa mikroalga dengan kuantitas dan kualitas tinggi serta ekonomis. Terdapat dua

metode yang umum digunakan dalam proses kultivasi mikroalga. Metode tersebut adalah sistem *open raceway pond* dan sistem *closed photobioreactor*. Sementara, metode pemanenan mikroalga yang umum digunakan antara lain: flokulasi, sentrifugasi dan filtrasi.

Keseluruhan metode baik kultivasi maupun pemanenan mikroalga memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Dalam pemilihan metode yang terbaik, diperlukan pengetahuan tentang karakteristik mikroalga yang akan dihasilkan serta analisa penggabungan metode-metode yang ada

Daftar Pustaka

- Borowitzka, M.A., (1999), Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters., *Journal of Biotechnology*, 70, 313–321
- Chisti, J., (2007), Biodiesel from microalgae., *Biotechnology Advances*, 25, 294–306
- Chen, Y.C., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.J., Chang, J.S., 2011, Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review., *Bioresource Technology*, 102, 71-81
- Grima, E.M., Belarbi, F.G.A., Medina, A.R., Chisti, Y., 2003, Recovery of microalgal biomass and metabolites : process options and economics., *Biotechnol. Adv.*, 20, 491-515
- Harun, R., Singh, M., Forde, G.M., 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., Pandey, A., (2011), Micro and macroalgal biomass: A renewable source for bioethanol, *Bioresource Technology*, 102, hal. 186–193.
- Lee, J.Y., Yoo, C., Ahn, C.Y., Oh, H.M., (2010), Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae., *Bioresource Technology*, 101, 575-577
- Spolaore, P., Cassan, C.J., Duran, E., Isambert, A., (2006), Commercial Applications of Microalgae., *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87–96
- Uduman, N., Qi, Y., Danquah, K., (2010), Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels., *Journal of Renewable Energy* 2, 012701: 1-15
- Wen, Z., Johnson, M.B., (2009), Microalgae as a Feedstock for Biofuel Production., *Virginia Cooperative Extension Pub* 442-886.