

# Potensi Katalis $\text{AlCl}_3$ terhadap Produksi Biodiesel dari Lipid Fitoplankton *Porphyridium cruentum*

Sulistiani Jarre<sup>(1)</sup>, Indah Raya<sup>(1)</sup>, dan Hanapi Usman<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar

## ABSTRACT

A research on the potential of  $\text{AlCl}_3$  catalyst from lipid of phytoplankton *Porphyridium cruentum*. In this research, we carried out a series of phytoplankton culture. Process of biodiesel synthesis consists of two steps, i.e. isolation of phytoplankton lipids and biodiesel synthesis from that lipids. Oil isolation process was carried out by ultrasonic extraction method using ethanol 96 % while biodiesel synthesis was carried out by transesterification reaction using methanol and  $\text{AlCl}_3$  catalyst under sonication. Lipid of phytoplankton *Porphyridium cruentum* obtained is 16,2667 %. Lipid obtained has FFA content > 5 % and water content < 0,5 %. Characterization of biodiesel was carried out : water content, FFA content, saponification value, and density. The result of characterization of saponification value and density fulfilled the *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751) standard.

**Keywords:** biodiesel, phytoplankton, and  $\text{AlCl}_3$  catalyst.

## PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi sekarang, ketersediaan minyak bumi semakin langka. Kelangkaan minyak dapat mengakibatkan harga minyak meningkat dan perekonomian masyarakat akan terus melemah. Maka, harus ada upaya strategis untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Pada tahun 2012, jumlah import BBM

meningkat menjadi sekitar 60 - 70% dari kebutuhan BBM dalam negeri. Hal ini diperkirakan akan meningkat lagi pada tahun-tahun akan datang. Fakta ini akan menjadikan Indonesia sebagai pengimpor BBM terbesar di Asia. Penggunaan BBM yang semakin hari semakin meningkat juga mengakibatkan polusi yang dapat merusak lingkungan. Salah

satu solusi untuk mengatasi kelangkaan minyak tersebut yakni perlunya diversifikasi energi dengan sumber energi yang ramah lingkungan. Bahan bakar nabati adalah salah satu sumber bahan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan tumbuhan laut yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar nabati (Yosta dkk., 2009). Salah satu tumbuhan laut yang berpeluang menghasilkan bahan bakar nabati yakni fitoplankton atau mikroalga. Fitoplankton atau mikroalga telah lama dikenal sebagai sumber yang berpotensi baik untuk produksi biofuel karena kandungan minyak yang tinggi dan produksi biomassa yang cepat. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan mikroalga sebagai alternatif bahan baku biodiesel telah mendapat ketertarikan dari para peneliti, pengusaha, dan masyarakat umum. Biomassa dari fitoplankton memiliki tiga komponen utama yakni karbohidrat, protein, dan lipid (Wen dkk., 2009). Fitoplankton mampu

bakar alternatif yang telah banyak diproduksi dalam berbagai bentuk seperti dalam bentuk biofuel yakni bioetanol dan biodiesel (Handayani, 2010; MAPI, 2006).

menghasilkan 15-300 kali lebih banyak minyak untuk produksi biodiesel dibandingkan dengan tanaman lainnya. Selain itu, fitoplankton dapat hidup di berbagai tempat yang memiliki sinar matahari, air dan CO<sub>2</sub>, dapat dikultur di lahan non-pertanian, serta memiliki siklus panen yang sangat pendek yakni sekitar 1-10 hari yang dapat memungkinkan panen secara terus menerus dengan hasil yang signifikan (Dragoen dkk., 2010).

Mikroalga sangat berpotensi dalam produksi biodiesel. *Porphyridium cruentum* merupakan salah satu jenis mikroalga dengan kandungan lipid yang banyak dan dapat dimanfaatkan dalam proses pembuatan biodiesel. Menurut Mata dkk., (2010) *Porphyridium cruentum* memiliki kandungan lipid hampir mencapai 90 % dari berat keringnya.

Biodiesel merupakan bahan bakar minyak nabati yang terdiri dari campuran ester alkil dari asam-asam lemak yang diperoleh melalui proses transesterifikasi dengan bantuan katalis. Katalis dapat berupa zat yang bersifat basa, asam, atau enzim (Dragoen dkk., 2010; Triantoro, 2008).

Menurut Soriano dkk, (2009): katalis  $AlCl_3$  dapat digunakan pada proses transesterifikasi dalam memproduksi biodiesel dari minyak nabati yang mengandung asam lemak bebas yang tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dalam produksi biodiesel dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* dengan kandungan asam lemak yang tinggi akan digunakan katalis  $AlCl_3$  dalam proses transesterifikasi.

Produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi pada umumnya menggunakan katalis basa (Soriano dkk., 2009). Kwangdinata, (2013) mensintesis biodiesel dari

fitoplankton *Porphyridium cruentum* memiliki berat biodiesel yang diperoleh melalui proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis KOH sebesar 27,0983 gram dengan berat rendamen 40,27 % dengan bilangan penyabunan sebesar 140,1628 mg KOH/g.

Selain katalis KOH, penggunaan katalis  $AlCl_3$  sangatlah membantu dalam proses transesterifikasi minyak nabati. Penggunaan katalis  $AlCl_3$  lebih efektif, hal ini menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berlangsung cepat dan memberikan nilai FFA (*Free Fatty Acid*) yang rendah, serta dapat mengurangi pembentukan sabun dalam jumlah yang cukup besar karena pembentukan sabun yang cukup besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari biodiesel (metil ester) dan mengakibatkan terbentuknya emulsi (Soriano dkk., 2009).

## **BAHAN DAN METODE**

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Februari – Mei 2014 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Kimia Organik Jurusan Kimia Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, serta Laboratorium Terpadu Peternakan Universitas Hasanuddin.

### **Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; biakan fitoplankton *Porphyridium cruentum* yang berskala dari Laboratorium Bioanorganik Jurusan Kimia FMIPA UNHAS, air laut yang berasal dari daerah pantai Makassar, akuades,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_4$ , Na-EDTA,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , vitamin B kompleks, natrium boraks,  $\text{KIO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , KI, KOH, metanol p.a, HCl,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat, asam oksalat, indikator fenolftalein, indikator metil orange,

etanol 96 %, iodin ( $\text{I}_2$ ), amilum, kertas saring, *tissue roll*, kertas label, dan aluminium foil.

### **Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; alat-alat gelas yang pada umumnya digunakan dalam laboratorium, toples yang terbuat dari bahan gelas, kontainer, aerator, salinometer, *centrifuge*, desikator, pompa vakum, corong Buchner, *waterbath*, penangas air, *rotary evaporator Butchi*, *blower*, buret 50 mL Pyrex, neraca analitik, dan alat ultrasonik S 40 H Elmasonic.

### **Prosedur Kerja**

#### **A. Pengkulturan Fitoplankton Laut**

Air laut ditampung dalam wadah kemudian disterilkan selanjutnya diukur salinitasnya dengan menggunakan alat salinometer dan disaring dengan menggunakan kertas saring. Air laut yang telah steril ditambahkan

medium *Conway* dan dikondisikan gas CO<sub>2</sub> dengan proses aerasi kemudian ditambahkan fitoplankton *Porphyridium cruentum*.

## B. Isolasi Lipid Fitoplankton

Fitoplankton *Porphyridium cruentum* yang sudah dikeringkan dalam oven, ditempatkan dalam erlenmeyer dan ditambahkan pelarut etanol 96 % dengan perbandingan 1 : 6 b/v, kemudian diekstraksi dengan alat ultrasonik *cleaner* yang dioperasikan pada frekuensi 40 kHz. Ekstrak etanol diperoleh yang mengandung lipid kemudian dipisahkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Lipid yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan kadar asam lemak bebas dan kadar air.

## C. Sintesis Biodiesel Melalui Metode Ultrasonik

Lipid murni dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* yang telah diperoleh selanjutnya dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dipanaskan dalam alat ultrasonik *cleaner* yang

dioperasikan pada frekuensi 40 kHz dan suhu 50 – 60 °C, kemudian dicampur dengan larutan yang terbuat dari metanol (perbandingan mol lipid : metanol = 1 : 12) dan katalis AlCl<sub>3</sub> (9 % berat minyak) yang telah diaduk selama ± 15 menit. Waktu untuk proses transesterifikasi yakni 180 menit. Selama reaksi tersebut berlangsung, suhu pemanasan perlu dijaga. Selanjutnya, hasil transesterifikasi dibiarkan selama 3-4 hari hingga terbentuk dua fasa. Fasa bawah yang berupa gliserol dipisahkan dengan fasa atasnya yang berupa metil ester. Setelah itu, ditambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat ke dalam metil ester tersebut untuk menarik sisa air dalam larutan tersebut. Tahap selanjutnya yakni memisahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dari biodiesel dengan menggunakan sentrifuge. Supernatan berupa metil ester (biodiesel) diambil kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 70 °C. Selanjutnya diperoleh biodiesel murni yang kemudian

dianalisis untuk mengetahui kualitas biodiesel tersebut.

#### D. Analisis Sifat Biodiesel

Analisis sifat biodiesel pada penelitian ini meliputi kadar asam lemak bebas ( % FFA ), bilangan penyabunan, dan densitas. Prosedur kadar asam lemak bebas ( % FFA ) dilakukan berdasarkan Metode AOCS Ca 5a-40, bilangan penyabunan berdasarkan Metode AOCS Cd 3-25, dan densitas berdasarkan Metode ASTM D1475.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pertumbuhan Fitoplankton *Porphyridium cruentum*

Pengamatan pertumbuhan fitoplankton *Porphyridium cruentum* dilakukan setiap 24 jam selama 18 hari dengan menggunakan medium Conway sebagai media pertumbuhan dalam air laut steril yang disesuaikan dengan salinitasnya dan

disertai dengan penambahan vitamin ke dalam media tersebut. Pengulturan fitoplankton *Porphyridium cruentum* diawali dengan proses peremajaan bibit fitoplankton *Porphyridium cruentum* selama 14 hari. Selanjutnya, proses pengulturan fitoplankton *Porphyridium cruentum* dimulai setelah proses peremajaan. Pertumbuhan fitoplankton *Porphyridium cruentum* secara umum terjadi beberapa fase pertumbuhan. Pada fase pertama yakni fase adaptasi fitoplankton *Porphyridium cruentum* terjadi pada hari ke-1 sampai ke hari ke-2.

### Biomassa Kering Kultur Fitoplankton *Porphyridium cruentum*

Setelah dilakukan kultur hingga diperoleh pertumbuhan optimum fitoplankton *Porphyridium cruentum*, maka tahap selanjutnya yaitu panen biomassa. Panen biomassa dapat dilakukan dengan cara sedimentasi, sentrifugasi, filtrasi, dan flokulasi. Pada

penelitian ini, panen biomassa dilakukan dengan menggunakan proses sentrifugasi.

Proses sentrifugasi dilakukan dengan menggunakan alat sentrifuge dingin dengan kecepatan 10000 rpm hingga supernatan berwarna bening yang mengindikasikan bahwa biomassa telah mengendap sempurna. Supernatan yang diperoleh kemudian disisihkan, dan endapannya dikeringkan dalam oven.

### **Isolasi Lipid Fitoplankton *Porphyridium cruentum***

Isolasi lipid fitoplankton merupakan tahap awal pembuatan biodiesel dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* dengan menggunakan metode ekstraksi. Metode ekstraksi ultrasonik merupakan metode ekstraksi yang memanfaatkan gelombang ultrasonik atau yang dikenal sebagai sonokimia. Metode ekstraksi ini lebih efisien dan efektif jika dibandingkan dengan metode ekstraksi lainnya seperti maserasi,

soxhletasi, dan perkolasi. Hal ini disebabkan bahwa metode ekstraksi ultrasonik ini dapat menyebabkan perubahan fisika dan kimia pada suatu media melalui pembentukan dan pemecahan gelembung-gelembung kavitasi yang terjadi secara simultan dan terus menerus sehingga dapat mempercepat reaksi, katalis yang digunakan lebih sedikit, dan dapat mengurangi rasio alkohol terhadap lipid. Lipid dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* memiliki kandungan asam lemak yang tinggi sehingga dipilih sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.



**Gambar 1.**

### **Ekstraksi lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum***

Pada tahap isolasi lipid dari fitoplankton laut *Porphyridium cruentum* digunakan pelarut yang memiliki polaritas yang sama dengan bahan yang akan diekstrak

dengan menghancurkan komponen penyusun dinding sel fitoplankton, yaitu pelarut etanol 96 %. Biomassa kering fitoplankton *Porphyridium cruentum* yang diperoleh kemudian diekstraksi dengan pelarut etanol 96 % dengan lama ekstraksi 11 jam 30 menit. Proses ekstraksi dapat dihentikan atau belum dengan menggunakan uji KLT.

Lipid yang diperoleh dari proses ekstraksi kemudian dipisahkan dari pelarut etanol 96% dengan cara dievaporasi sehingga menghasilkan lipid yang murni. Lipid yang diperoleh dari isolasi lipid fitoplaknton *Porphyridium cruentum* sebesar 10,0143 gram dengan biomassa kering sebesar 24,8699 gram dan konsentrasi lipid 16,2667 % BK.

## **Sintesis Biodiesel dari Lipid Fitoplankton**

Sintesis biodiesel dari lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum* dilakukan dengan reaksi transesterifikasi menggunakan pelarut metanol (1:12). Hal ini

dipercepat dengan penambahan katalis asam lewis  $\text{AlCl}_3$  (9 % berat minyak). Waktu reaksi transesterifikasi yakni sekitar 180 menit dengan suhu pemanasan 50 – 60 °C menggunakan alat ultrasonik cleaner yang dioperasikan pada frekuensi 40 kHz. Kemudian hasil reaksi dibiarkan selama 3 – 4 hari hingga terbentuk dua lapisan.

Lapisan atas fitoplankton *Porphyridium cruentum* merupakan lapisan biodiesel berwarna jingga keruh, sedangkan lapisan bawah merupakan lapisan gliserol berwarna coklat kekuningan. Kedua lapisan yang diperoleh dari proses transesterifikasi dipisahkan. Lapisan atas kemudian disentrifuge untuk menghilangkan pengotor dan gliserol yang kemungkinan terikut pada saat proses pemisahan.





(a) (b)

**Gambar 2.**

**a) lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum***

**b) biodiesel fitoplankton *Porphyridium cruentum***

Setelah proses sentrifuge maka diperoleh biodiesel. Selanjutnya biodiesel yang diperoleh kemudian dimurnikan dengan cara dipanaskan dalam oven pada suhu 70 °C. Berat biodiesel yang diperoleh sebesar 4,1834 gram.

Hasil sintesis biodiesel dari lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum* kemudian dilakukan karakterisasi berdasarkan standar ASTM D6751. Karakterisasi meliputi uji analisa kadar asam lemak bebas (% FFA), bilangan penyabunan, dan densitas.

## Analisis Sifat Biodiesel

**Tabel 1.**

**Hasil analisa kadar asam lemak bebas (% FFA), bilangan penyabunan, dan densitas**

Parameter	Hasil Penelitian	Standar ASTM D6751
Kadar Asam Lemak Bebas / FFA (%)	4,9912	< 0,4500
Bilangan Penyabunan (mg KOH/g)	130,9161	< 500
Densitas	0,7858	< 0,90

### A. Analisis Kadar Asam Lemak Bebas (% FFA) Biodiesel

Penentuan kadar asam lemak bebas biodiesel dilakukan berdasarkan metode analisa AOCS Ca 5a-40. Standar kadar asam lemak bebas / FFA (%) biodiesel yang dianjurkan dalam ASTM D6751 adalah maksimal sebesar 0,4500 %.

Dari hasil penelitian, diperoleh nilai kadar asam lemak bebas pada biodiesel fitoplankton *Porphyridium cruentum* yaitu sebesar 4,9912 %. Hasil ini belum memenuhi parameter yang ditetapkan oleh ASTM D6751. Hal ini disebabkan bahwa kandungan lemak yang terdapat pada fitoplankton *Porphyridium cruentum* sangat tinggi. Kadar asam lemak bebas yang tinggi dapat menyebabkan endapan dalam sistem pembakaran dan juga merupakan indikator bahwa bahan bakar tersebut dapat berfungsi sebagai pelarut yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas pada sistem bahan bakar. Makin tinggi asam lemak bebas maka semakin rendah kualitas biodieselnnya.

## B. Analisis Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan didefinisikan sebagai milligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan satu gram sampel. Bilangan penyabunan bergantung pada berat molekul dan persentase

konsentrasi asam lemak yang terdapat di dalam minyak atau biodiesel. Semakin rendah berat molekul, maka semakin tinggi bilangan penyabunan, begitupun sebaliknya (Kwangdinata, 2013).

Penentuan bilangan penyabunan dilakukan berdasarkan metode AOCS Cd 3-25. Standar bilangan penyabunan biodiesel yang ditetapkan dalam ASTM D6751 adalah maksimal sebesar 500 mg KOH/g. Biodiesel dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* memiliki bilangan penyabunan yang rendah dan masuk dalam pengendalian mutu biodiesel yang ditetapkan oleh ASTM D6751. Bilangan penyabunan biodiesel yang diperoleh yaitu sebesar 130,9161 mg KOH/g.

## C. Analisis Densitas Biodiesel

Densitas merupakan salah satu penentu kualitas biodiesel karena berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan mesin diesel. Semakin rendah nilai

densitas, maka nilai kalor atau pembakaran juga akan semakin tinggi (Kwangdinata, 2013).

Densitas menunjukkan perbandingan berat per satuan volume. Densitas diukur dengan menggunakan piknometer. Menurut Irdoni (2012), semakin panjang rantai asam lemak, maka densitas juga akan semakin meningkat.

Banyaknya jumlah ikatan rangkap juga berpengaruh pada densitas, dimana densitas akan menurun jika ikatan rangkap dalam sebuah produk semakin banyak. Hal ini yang menyebabkan densitas semakin besar adalah semakin tingginya suhu reaksi dan semakin besarnya konsentrasi katalis dikarenakan penggunaan suhu tinggi dan katalis yang berlebih pada reaksi

transesterifikasi akan meningkatkan reaksi penyabunan sehingga zat-zat pengotor seperti sabun dan gliserol yang terbentuk menyebabkan densitas biodiesel menjadi lebih besar. Namun, densitas dapat dikurangi oleh keberadaan kontaminan seperti metanol serta dengan meningkatkan waktu reaksi sehingga asam lemak bebas habis bereaksi membentuk metil ester (Kwangdinata, 2013).

Pada penelitian ini, densitas yang diperoleh adalah  $0,7858 \text{ g/cm}^3$ . Dari hasil yang diperoleh, densitas dari biodiesel fitoplankton *Porphyridium cruentum* dapat dikatakan masuk dalam rentang nilai densitas yang telah ditetapkan pada standar ASTM D6751.

## **KESIMPULAN**

Katalis  $\text{AlCl}_3$  berpotensi sebagai katalis pada proses sintesis biodiesel dari lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum*. Kandungan lipid dari proses isolasi melalui ekstraksi ultrasonik yang diperoleh yaitu sebesar 16,2667 % BK

Kuantitas biodiesel yang disintesis dari lipid fitoplankton *Porphyridium cruentum* adalah sebesar 4,1834 gram dengan kandungan lipid adalah sebesar 10,0143 gram dengan biomassa kering sebesar 24,8699 gram.

Kualitas biodiesel dari fitoplankton *Porphyridium cruentum* telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751) jika ditinjau dari standar bilangan penyabunan dan nilai densitas yang dihasilkan. Peran

katalis  $\text{AlCl}_3$  dalam penelitian ini dapat mengurangi angka bilangan penyabunan. Adapun nilai densitas yang diperoleh sebesar  $0,7858 \text{ g/cm}^3$ . Namun, dalam hal ini kadar asam lemak bebas masih belum memenuhi standar mutu yang ditetapkan *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751) yaitu diperoleh sebesar 4,9912 % .

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis menyampaikan terima kasih kepada analis Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, dan analis Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia FMIPA Unhas. Serta kepada semua pihak yang membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A.A., and Teixeira., 2010, *Third generation biofuels from microalgae*, Institute for Biotechnology and Bioengineering, Centre of Biological Engineering, University of Minho, Campus de Gualtar, Portugal.
- Handayani, S.P., 2010, *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Ikan dengan Radiasi Gelombang Mikro*, (online), Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Kwangdinata, R., 2013, *Produksi Biodiesel dari Lipid Beberapa Spesies Fitoplankton Melalui Metode Ultrasonik*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S., 2010, Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review, *Renew. Sustainable Energy Rev.*, **14**: 217-232.
- Soriano, N., Venditti, R., dan Argyropoulos, D.S., 2009, Biodiesel Synthesis Via Homogeneous Lewis Acid-Catalyzed Transesterification, Science Direct: *Elsevier.*, **88** : 560-565.
- Triantoro, K., 2008, *Alga Mikro Scenedesmus sp. Sebagai Salah Satu Alternatif Bahan Baku Biodiesel di Indonesia*, Karya Tulis Ilmiah, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Wen, Z., dan Johnson, M., 2009, *Microalga as A Feedstock for Biofuel Production*, Biological System Engineering, Virginia Tech, Virginia.
- Yosta, E.R., Harimurti, D.W., dan Rachmaniah O., 2009, *Studi Pendahuluan: Ekstraksi Minyak Alga dari Spirulina sp. Sebagai Wacana Baru Bahan Baku Alternatif Pada Proses Pembuatan Biodiesel*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.