



Produksi Biodiesel dari Lipid Fitoplankton *Nannochloropsis* sp. Melalui Metode Ultrasonik

Raymond Kwangdinata⁽¹⁾, Indah Raya⁽¹⁾, dan Muhammad Zakir⁽¹⁾

⁽¹⁾ Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar

ABSTRACT

A research on production of biodiesel from lipid of phytoplankton *Nannochloropsis* sp. through ultrasonic extraction method has been done. In this research, we carried out a series of phytoplankton culture to determine the optimum time of growth and biodiesel synthesis process from phytoplankton lipids. 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 KOH catalyst under sonication. Percentage rendement of weight per biomass *Nannochloropsis* sp. is 48,33 %. Characterization of biodiesel was carried out in terms of physical properties: density, viscosity, and chemical properties: FFA content, saponification value, and iodine value. The result showed that analysis characterization biodiesel phytoplankton *Nannochloropsis* sp. that biodiesel from that species phytoplankton generally fulfilled the *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751) standard, except density value was 0,8151 g.cm⁻³, viscosity value was 1,15 cSt, and FFA content was 0,5381 %, to be used as fuel.

Keywords : biodiesel, phytoplankton, ultrasonic extraction.

PENDAHULUAN

Krisis energi yang sedang melanda dunia saat ini merupakan masalah yang harus segera ditanggulangi. Eksploitasi secara terus-menerus terhadap bahan bakar fosil yang merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable energy*) mengakibatkan keberadaannya semakin menipis. Hal ini akan mengakibatkan bahan bakar fosil menjadi langka yang akan berdampak pada meningkatnya harga bahan bakar minyak (BBM) dunia. Keadaan ini telah membuat sebagian besar negara-negara di dunia salah satunya adalah Indonesia untuk mencari sumber-sumber bahan bakar alternatif yang dapat dikembangkan dari bahan dasar lain yang dapat diperbaharui dan bersifat ramah lingkungan (Triantoro, 2008). Oleh karena

itu, untuk memenuhi tingkat konsumsi terhadap minyak dan mendorong pengembangan serta pemanfaatan energi alternatif terbarukan, bahan bakar nabati (BBN) diantaranya adalah biodiesel (Rachmaniah dkk., 2010).

Indonesia adalah negara kepulauan dengan dua pertiga luas wilayahnya adalah lautan dan garis pantai terpanjang di dunia, yakni 80.791,42 km yang kaya akan sumber daya hayati perairan yang sangat melimpah baik dari jenis maupun jumlah. Salah satu potensi alam Indonesia adalah mikroalga atau fitoplankton (Yosta *et al.*, 2009).

Penelitian mengenai mikroalga sebagai bahan dasar biodiesel, khususnya fitoplankton laut telah banyak dilakukan. Namun penelitian mengenai kultur fitoplankton yang menghasilkan lemak

untuk dijadikan biodiesel, masih sangat kurang dijumpai, khususnya fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp.

Fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp. memiliki kandungan lemak yang cukup tinggi yakni sebesar 12,0-53,0 % berat kering biomassa, tetapi jika di bawah kondisi (stress) jenis fitoplankton ini hampir mencapai kandungan lemak 90 % dari berat keringnya (Mata *et al.*, 2010).

Permasalahan utama dalam proses produksi biodiesel adalah alkohol dan minyak sebagai bahan baku utama, bersifat tidak saling bercampur (*immiscible*). Pengadukan merupakan teknik yang biasa dipakai agar alkohol dan minyak bisa saling bercampur sehingga reaksi pembentukan biodiesel dapat berjalan maksimal, namun pengadukan membutuhkan energi yang relatif besar (Supardan, 2011).

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, penggunaan gelombang ultrasonik terbukti dapat mempercepat reaksi, mengurangi jumlah katalis yang dipakai dan mengurangi rasio minyak terhadap alkohol yang dipakai dibandingkan reaksi tanpa menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. Hal ini disebabkan energi gelombang ultrasonik muncul dari proses kavitasi akustik (*acoustic cavitation*) yang terdiri dari pembentukan, pertumbuhan, dan keruntuhan (*implosive collapse*) dari gelembung yang terbentuk. Gelombang ultrasonik menyebabkan efek mekanik pada reaksi yakni memperbesar luas permukaan melalui pembentukan celah mikro pada permukaan, mempercepat pelarutan, atau meningkatkan laju transfer massa (Crabbe dkk., 2001; Suslick dkk., 1999; Thompson dan Doraiswamy, 1999).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2012-April 2013 di

Laboratorium Kimia Anorganik dan Kimia Fisika Jurusan Kimia, serta Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; biakan fitoplankton *Nannochloropsis* sp. yang berasal dari Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau Maros, air laut dari daerah pantai Makassar yang disterilkan, akuades, medium Conway, natrium boraks, KIO_3 , H_2SO_4 , kalium iodida, metanol p.a, kalium hidroksida, HCl, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, Na_2SO_4 anhidrat, asam oksalat, indikator fenolftalein, indikator metil orange, etanol 96 %, iodin (I_2), amilum, kertas saring, 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 gelas, aerator, salinometer, *centrifuge*, *haemocytometer*, mikroskop Nikon Japan Model SE Tipe 102, mikroskop Olympus SZX16, desikator, pompa vakum, corong Buchner, *waterbath*, *rotary evaporator Butchi*, *blower*, viskometer Oswald, 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 CO₂ dengan proses aerasi lalu ditambahkan fitoplankton. Selanjutnya kultur fitoplankton dihitung kepadatan fitoplankton. Cara mendapatkan kepadatan fitoplankton yang diinginkan digunakan rumus pengenceran:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

dimana

V₁ = Volume fitoplankton yang dibutuhkan

V₂ = Volume kultur

N₁ = Kepadatan sel fitoplankton stok

N₂ = Kepadatan sel fitoplankton kultur

Perhitungan kepadatan sel fitoplankton memakai *Haemocytometer* dengan pengamatan mikroskop. Setelah beberapa hari, kultur dipindahkan ke dalam toples yang terbuat dari kaca. Selama pelaksanaan kultur, parameter fisika-kimia dipertahankan.

B. Penentuan Waktu Pertumbuhan Fitoplankton Laut

Penentuan pola pertumbuhan fitoplankton, dilakukan penghitungan jumlah sel per milliliter medium setiap 24 jam. Contoh diambil dengan pipet tetes steril, diteteskan sekitar 0,1-0,5 mL pada *Haemocytometer*, kemudian diamati melalui mikroskop (Seafdec, 1985). Bila kepadatan sel masih normal, penghitungan kepadatannya menggunakan rumus:

$$\text{Jumlah } \frac{\text{sel}}{\text{mL}} = \frac{\text{jumlah sel dalam 4 kotak}}{\text{jumlah blok (=4)}} \times 10.000$$

Bila kepadatan selnya terlalu tinggi, perhitungannya menggunakan rumus:

$$\text{Jmlh sel/mL} = \text{Jmlh sel 4 bagian} \times 4 \times 10.000.$$

C. Isolasi Lipid Fitoplankton

Fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp. yang sudah dikeringkan dalam oven, ditempatkan dalam erlenmeyer dan

ditambahkan dengan pelarut etanol 96 % dengan perbandingan 1 : 6 b/v, kemudian diekstraksi dengan alat ultrasonik cleaner yang dioperasikan pada frekuensi 40 kHz. Ekstrak etanol yang mengandung lipid kemudian dipisahkan dengan menggunakan *rotary evaporator*.

D. Sintesis Biodiesel Melalui Metode Ultrasonik

Lipid murni dari fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp. yang sudah diperoleh, 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 KOH (9 % berat minyak) yang telah diaduk selama ± 15 menit. Waktu untuk proses transesterifikasi yakni sekitar 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 Na₂SO₄ anhidrat ke dalam metil ester tersebut untuk menarik sisa air dalam larutan tersebut. Tahap selanjutnya adalah memisahkan Na₂SO₄ 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 sifat fisika dan kimia untuk mengetahui kualitas biodiesel tersebut.

E. Analisis Sifat Fisika

Analisis sifat fisika yakni densitas dan viskositas. Prosedur analisis densitas dilakukan berdasarkan metode ASTM D1475 dan analisis viskositas dilakukan berdasarkan metode ASTM D445.

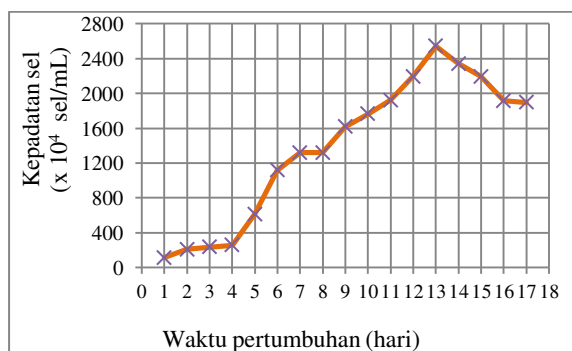
F. Analisis Sifat Kimia

Analisis sifat kimia yakni kadar asam lemak (% FFA) bebas, bilangan penyabunan, dan bilangan iodium. Prosedur kadar asam lemak bebas (% FFA) dilakukan berdasarkan Metode AOCS Ca 5a-40, bilangan penyabunan berdasarkan metode AOCS Cd 3-25, dan bilangan iodium berdasarkan metode Wijs.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Pertumbuhan Fitoplankton Laut *Nannochloropsis* sp.

Pengamatan pola pertumbuhan fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp. dilakukan setiap 24 jam selama 17 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. Adapun grafik pola pertumbuhan fitoplankton *Nannochloropsis* sp. ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik pola pertumbuhan fitoplankton laut *Nannochloropsis* sp.

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa pada hari ke-1 sampai hari ke-2 merupakan fase adaptasi bagi fitoplankton *Nannochloropsis* sp. terhadap medium pertumbuhannya. Selanjutnya pada hari ke-3 sampai ke-10

Nannochloropsis sp. mengalami peningkatan populasi yang sangat pesat atau yang dikenal dengan fase eksponensial. Selanjutnya pada fase stasioner dimana kecepatan pertumbuhan mulai melambat atau tidak semaksimal hari-hari sebelumnya yang terjadi pada hari ke-10 sampai hari ke-13. Selanjutnya pada hari ke-13 sampai hari ke-17 mulai terjadi penurunan populasi fitoplankton *Nannochloropsis* sp. Fase ini merupakan fase kematian dimana terjadi penurunan populasi atau penurunan kecepatan pertumbuhan fitoplankton. Waktu pertumbuhan optimal fitoplankton ini dapat dilihat dari kepadatan sel tertinggi *Nannochloropsis* sp. sebesar $2542,5 \times 10^4$ sel/mL yang terjadi pada hari ke-13.

Isolasi Lipid Fitoplankton *Nannochloropsis* sp.

Tahap awal pembuatan biodiesel dari fitoplankton yaitu isolasi lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. dengan menggunakan metode ekstraksi ultrasonik. Pada tahap ini digunakan pelarut yang memiliki polaritas yang sama dengan bahan yang akan diekstrak dengan menghancurkan komponen penyusun dinding sel fitoplankton, yaitu pelarut etanol 96 %. Sampel biomassa kering fitoplankton *Nannochloropsis* sp. sebesar 17,6478 gram kemudian diekstraksi dengan pelarut etanol 96 % dengan waktu ekstraksi 9 jam 10 menit. Waktu yang dibutuhkan untuk ekstraksi cukup lama karena sulitnya merusak dinding sel.

Hasil ekstraksi berupa lipid yang terlarut dalam etanol 96 % kemudian dipisahkan dengan cara dievaporasi hingga semua pelarut etanol 96 % yang digunakan terpisah sehingga diperoleh lipid yang murni. Berat lipid *Nannochloropsis* sp. diperoleh sebesar 3,6453 gram dengan kandungan lipid 20,6558 % BK biomassa. Kandungan lipid yang diperoleh dari

spesies fitoplankton tersebut tidak mencapai 50 % dari biomassa kering. Hal ini disebabkan fitoplankton tidak hanya mengandung lipid, melainkan terdapat juga karbohidrat dan protein.

Sintesis Biodiesel dari Lipid Fitoplankton

Sintesis biodiesel dari lipid fitoplankton dilakukan dengan reaksi transesterifikasi menggunakan pelarut metanol (1:12). Hal ini dipercepat dengan penambahan katalis basa KOH (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 merupakan lapisan biodiesel yang berwarna hijau jingga keruh, sedangkan lapisan bawah merupakan lapisan gliserol berwarna coklat kekuningan.



Gambar 2.

- a) lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp.
b) hasil reaksi transesterifikasi

Setelah diperoleh dua lapisan tersebut, maka lapisan atas dan bawah dipisahkan. Lapisan atas kemudian disentrifuge untuk menghilangkan pengotor dan gliserol yang mungkin

terikut pada saat pemisahan. Selanjutnya sisa metanol dalam biodiesel yang tidak bereaksi dihilangkan dengan cara dipanaskan dalam oven pada suhu 70 °C. Selanjutnya diperoleh biodiesel murni yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Biodiesel fitoplankton *Nannochloropsis* sp.

Berat biodiesel yang dihasilkan sebesar 8,5291 gram dengan berat rendamen 48,33 %. Hal ini dikarenakan adanya komponen asam lemak dalam lipid fitoplankton yang belum bereaksi secara sempurna dengan ion metoksi dalam reaksi transesterifikasi. Faktor-faktor yang bisa menyebabkan hal tersebut adalah suhu dan waktu reaksi yang belum optimal.

Biodiesel yang dihasilkan dari fitoplankton ini pun memiliki karakteristik warna hijau jingga. Hal ini disebabkan ikutnya pigmen warna dari fitoplankton tersebut.

Analisa Sifat Fisika Biodiesel

Tahap selanjutnya dari hasil sintesis biodiesel dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. melalui reaksi transesterifikasi ini adalah dilakukan karakterisasi sifat fisika berdasarkan standar ASTM D6751. Uji sifat fisika dari biodiesel meliputi analisa densitas dan viskositas. Hasil analisa densitas dan viskositas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Hasil Analisa Densitas dan Viskositas

Densitas (g.cm ⁻³)		Viskositas (cSt)	
Hasil Penelitian	Standar ASTM D6751	Hasil Penelitian	Standar ASTM D6751
0,8151	0,82-0,90	1,15	1,60-5,80

A. Analisa Densitas

Biodiesel yang dihasilkan dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. mempunyai nilai densitas sebesar 0,8151 g.cm⁻³ pada suhu 40 °C. Adapun standar nilai densitas 40 °C yang ditetapkan dalam ASTM D6751 adalah 0,82-0,90 g.cm⁻³.

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 (Aziz *et al.*, 2011).

Jika dibandingkan dengan standar ASTM D6751, maka biodiesel dari spesies fitoplankton ini dapat dikatakan tidak masuk dalam rentang nilai densitas yang telah ditetapkan dimana berada di bawah dengan rentang nilai yang ditentukan. Hal ini disebabkan masih adanya senyawa-senyawa nonpolar lain tercampur di dalam biodiesel sehingga turut mempengaruhi nilai densitas biodiesel yang diproduksi. Namun hal ini tidaklah menjadi masalah karena dengan perbaikan metode kedepannya, maka hasil yang diperoleh dapat dibuat sesuai dengan standar yang ditetapkan.

B. Analisa Viskositas

Viskositas merupakan salah satu standar dalam penentu kualitas biodiesel dan memiliki peranan yang sangat penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pompa injeksi bahan bakar dan apabila terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar (Azis *et al.*, 2011).

Salah satu penyebab tinggi rendahnya nilai viskositas adalah penggunaan konsentrasi katalis dan suhu. Semakin tinggi konsentrasi katalis yang dipakai, maka viskositas akan menurun. Ini dikarenakan konsentrasi katalis yang berlebih akan mempercepat terpecahnya tlglicerida menjadi tiga ester lemak yang akan menurunkan nilai viskositas 5-10 %.

Viskositas kinematik yang diperoleh pada hasil penelitian ini sebesar 1,15 cSt dimana nilainya lebih kecil dibandingkan dengan standar rentang nilai viskositas kinematik yang dianjurkan dalam ASTM D6751 adalah sebesar 1,60 – 5,80 cSt. Hal ini disebabkan masih adanya sisa metanol yang terkandung di dalam biodiesel sehingga nilai viskositas yang diperoleh agak kecil.

Analisa Sifat Kimia Biodiesel

Uji karakterisasi sifat kimia biodiesel berdasarkan standar ASTM D6751 dilakukan setelah selesai dilaksanakan uji sifat fisika. Uji sifat kimia biodiesel meliputi analisa kadar asam lemak bebas (% FFA), bilangan penyabunan, dan bilangan iodium. Hasil analisa kadar asam lemak bebas (% FFA), bilangan penyabunan, dan bilangan iodium dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Hasil analisa kadar asam lemak bebas (% FFA), bilangan penyabunan, dan bilangan iodium

Parameter	Hasil Penelitian	Standar ASTM D6751
Kadar Asam Lemak Bebas / FFA (%)	0,5381	< 0,4500
Bilangan Penyabunan (mg KOH/g)	5,0291	< 500
Bilangan Iodium (g I ₂ /100 g)	16,6437	< 115

A. Analisa Kadar Asam Lemak Bebas (% FFA)

Nilai kadar asam lemak bebas biodiesel hasil penelitian ini sebesar 0,5381 % dimana nilainya melebihi batas maksimal standar kadar asam lemak bebas / FFA (%) biodiesel yang dianjurkan dalam ASTM D6751 adalah sebesar 0,4500 %.

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. Asam lemak bebas yang tinggi dapat juga mengurangi umur dari pompa dan filter.

B. Analisa Bilangan Penyabunan

Bilangan penyabunan didefinisikan sebagai milligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan satu gram sampel. Semakin rendah berat molekul, maka semakin tinggi bilangan penyabunan. begitupun sebaliknya (Nirwana, 2012).

Nilai bilangan penyabunan biodiesel hasil penelitian ini sebesar 5,0291 mg KOH/g dan standar bilangan penyabunan biodiesel yang ditetapkan dalam ASTM D6751 adalah maksimal sebesar 500 mg KOH/g. Berdasarkan data tersebut biodiesel dari spesies fitoplankton *Nannochloropsis* sp. memiliki bilangan penyabunan yang rendah dan masuk dalam pengendalian mutu biodiesel yang ditetapkan oleh ASTM D6751.

C. Analisa Bilangan Iodium

Bilangan iodium pada biodiesel menunjukkan tingkat ketidak jenuhan senyawa penyusun biodiesel. Di satu sisi, keberadaan senyawa lemak tak jenuh meningkatkan performansi biodiesel pada suhu rendah karena senyawa ini memiliki titik leleh (*melting point*) yang lebih rendah sehingga berkorelasi dengan *cloud point* and *pour point* yang juga rendah (Knothe, 2005).

Biodiesel dengan bilangan iodium tinggi akan menghasilkan ester dengan daya aliran dan pematatan pada suhu rendah. Biodiesel yang memiliki derajat ketidakjenuhan tinggi tidak cocok digunakan sebagai biodiesel karena molekul tidak jenuh akan bereaksi dengan oksigen dari atmosfer dan terkonversi menjadi peroksida dan mengakibatkan terjadinya ikatan silang pada sisi tidak jenuh dan menyebabkan biodiesel terpolimerisasi membentuk material serupa plastik, terutama jika suhu meningkat. Sebagai akibatnya mesin diesel akan rusak (Azam *et al.*, 2005).

Biodiesel yang dihasilkan dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. memenuhi standar mutu bilangan iodium ASTM D6751 sebesar 16,6437g I₂/100 g yang tidak lebih dari 115g I₂/100 g.

KESIMPULAN

Lipid *Nannochloropsis* sp dapat diisolasi melalui ekstraksi ultrasonik dimana kandungan lipid *Nannochloropsis* sp. adalah sebesar 20,6558 % BK biomassa.

Kuantitas biodiesel yang disintesis dari lipid fitoplankton *Nannochloropsis* sp. melalui metode ultrasonik adalah sebesar 8,5291 gram dengan berat rendamen 48,33 %. Kualitas biodiesel dari fitoplankton *Nannochloropsis* sp. sebagian besar belum memenuhi standar ASTM D6751 *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6751). Adapun parameter yang belum memenuhi adalah nilai densitas, viskositas, dan kadar asam lemak bebas (% FFA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada staf pada Laboratorium Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau Maros atas bantuannya menyiapkan biakan murni *Nannochloropsis* sp. Terima kasih juga disampaikan kepada Haslinda, analis Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia FMIPA Unhas, dan kepada Sugeng, analis Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia FMIPA Unhas. Serta kepada semua pihak yang membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Azam, M. M., Warris, A., dan Nahar, N. M., 2005, *Prospects and Potential of Fatty Acid Metyl Esters of Some Non-Traditional Seed Oils of Use Biodiesel in India*, Biomass and Bioenergy, India. Aziz, I., Nurbayati, S., dan Ulum, B., 2011, Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi, *Valensi*, **2:3**, 443-448.
- Crabbe, E., Hipolito, C. N. N., Kobayashi, G., Sonomoto, K., dan Ishizaki, A., 2001, Biodiesel Production From Crude Palm Oil and Evaluation of Butanol Extraction and Fuel Properties, *Process Biochem.*, **37**, 65-71.
- Knothe, G., 2005, Dependence of Biodiesel Fuel Properties on The Structure of Fatty Acid Alkyl Esters, *Fuel Proc. Technol.*, **86**, 1059-1070.
- Nirwana, I.H.S., 2012, Pengaruh Kecepatan Pengadukan Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curca L*) dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Sawit, *Lembaga Penelitian*, Universitas Riau, Riau.
- 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.
- Rachmaniah, O., Setyarini, R. D., dan Maulida, L., 2010, Pemilihan Metode Ekstraksi Minyak Alga dari *Chlorella* sp. dan Prediksinya Sebagai Biodiesel, *Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Seafdec, 1985, Prawn Hatchery Design and Operational, *Aquaculture Extention Manual No.9*, Aquaculture Department, Tigbauan, Iloilo, Philippines.
- Supardan, M. D., 2011, Penggunaan Ultrasonik untuk Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas, *Jurnal Reakayasa Kimia dan Lingkungan*, **8:1**, 11-16.
- Suslick, K. S., Didenko, Y., Fang, M. M., Hyeon, T., Kolbeck, K. J., McNamara III, W. B., Mdleleni, M. M., dan Wong, M., 1999, Acoustic Cavitation and Its Chemical Consequences, *Phil Trans. R. Soc. Lond. A.*, **357**, 335-353.
- Thompson, L. H., dan Doraiswamy, L. K., 1999, Sonochemistry: Science and Engineering, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 1215-1249.
- 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.
- 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.