



OPTIMASI KONDISI PROSES PRODUKSI BAHAN BAKAR SINTETIS DARI *Chlorella* sp., BERBASIS TEKNOLOGI HIDROTERMAL LIKUIFAKSI: Pengaruh Suhu Dan Waktu

Gebby Lianda^{*)}, Muhammad Hanif^{**)}, Endro Sutrisno^{***)}

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
[email :gebbylianda@yahoo.com](mailto:gebbylianda@yahoo.com)

Abstrak

Mikroalga merupakan sumber daya energi yang berkelanjutan yang memiliki potensi yang besar dalam mitigasi emisi karbon dioksida (CO₂). Aplikasi teknologi likuifaksi memiliki keunggulan dari sisi ekonomi karena dapat menggunakan mikroalga basah tanpa proses pengeringan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan optimasi dan menginvestigasi pengaruh suhu dan waktu tinggal pada proses likuifaksi mikroalga dalam memproduksi *biofuel*. *Chlorella* sp. kering digunakan sebagai mikroalga standar dengan kandungan lipid 22% berat, protein 58% berat dan karbohidrat 17% berat. *Chlorella* sp. ditambahkan air akuades dengan rasio 1:3 dan dilakukan konversi secara hidrotermal likuifaksi dalam reaktor autoklaf berpengaduk dengan tekanan awal nitrogen 0,5 MPa. Katalis yang digunakan adalah katalis berbasis besi (5% berat) dan diaktifasi dengan sulfur (0.8% berat). Optimasi kondisi proses dilakukan dengan metode statistik respon permukaan dengan perlakuan 13 kali percobaan pada variasi suhu 250-350 °C dan variasi waktu tinggal 30-90 menit. Rancangan percobaan, analisis variansi, model percobaan, dan kondisi proses di optimasi menggunakan perangkat lunak komersial (DesignExpert®). Diperoleh bahwa kondisi proses optimum adalah pada suhu 275°C dan waktu tinggal selama 90 menit dengan perolehan yield bahan bakar sintetis sebesar 25,6 % berat.

Kata kunci: Bahan Bakar Sintetis; *Chlorella* sp.; Emisi CO₂; Hidrotermal likuifaksi; Rancangan Percobaan.

Abstract

[Optimization Conditions Of Synthetic Fuel Production Process Of Chlorella Sp., Based Technology Hydrothermal Liquefaction: Effect Of Temperature And Time]. Microalgae are a source of sustainable energy that has great potential in mitigating carbon dioxide emissions (CO₂). Application of liquefaction technology has advantages in terms of the economy because it can use microalgae wet without drying process. The purpose of this study was to perform optimization and investigate the effect of temperature and holding time of the liquefaction process of microalgae to produce biofuel. Dried Chlorella sp. was used as a standard microalgae with the content of lipid of 22% wt, protein of 58% wt and carbohydrate of 17% wt. Chlorella sp. was added with distilled water in the ratio of 1: 3 and hydrothermal liquefaction runs were performed in a stirred autoclave reactor with initial nitrogen pressure of 0.5 MPa. The catalyst used is an iron-based catalyst (5% by wt) and activated by sulfur (0.8% wt). Process condition was optimized by a statistical response surface method with 13 experiments at temperature variations of 250-350 °C and holding time variations of 30-90 minutes. Experimental design, analysis of variance (ANOVA), experimental models, and process conditions was optimized using a commercial software DesignExpert®. It was provided that the optimum process conditions were at a temperature of 275 °C and a holding time of 90 minutes with the bio-oil yield of 25.6% wt.

Keywords: Synthetic fuels; *Chlorella* sp.; CO₂ emissios; Hydrothermal liquefaction; Experimental design.

*) Penulis

***) Peneliti dari PTL,BPPT

****) Dosen Pembimbing



PENDAHULUAN

Dewasa ini besarnya konsumsi energi di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Berdasarkan data *outlook* energi Indonesia tahun 2014 konsumsi energi final di Indonesia periode 2000-2012 meningkat rata-rata 2,9% per tahun. Dimana jenis energi yang paling dominan adalah penggunaan bahan bakar minyak (BBM) dan sektor transportasi merupakan sektor pengguna BBM. Hal ini disebabkan oleh tingginya laju konsumsi bensin kendaraan pribadi. Tingginya laju konsumsi avtur/avgas oleh pesawat udara karena terjadinya diversifikasi energi di sektor industri, dan adanya program substitusi minyak tanah dengan LPG di sektor rumah tangga (*Outbook Energi*, BPPT 2014).

Dengan meningkatnya konsumsi jenis energi bahan bakar minyak (BBM) maka meningkatkan pula emisi CO₂ yang dihasilkan di mana emisi CO₂ merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka pemerintah Indonesia mendeklarasikan komitmen yang kuat dalam mengurangi emisi CO₂ yaitu dengan mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% dengan upaya domestik dan 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2020 (Keputusan Presiden No.61/2001).

Di sisi lain Pemanfaatan mikroalga dapat juga dijadikan sebagai produk energi terbarukan yang berkelanjutan karena mikroalga memenuhi syarat untuk menjadi bahan baku yang berkelanjutan dan berpotensi menghasilkan produk-produk hilir yang berharga (Hadiyanto dkk, 2012).

Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengkonversikan mikroalga adalah ekstraksi dengan metode hidrotermal likuifaksi. Metode likuifaksi ini merupakan metode yang memanfaatkan pelarut dan sifat fisik dari komponen

murni atau campuran pada temperatur dan tekanan kritisnya dalam keseimbangan fase (Palmer, 1995). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil yield yang optimal dari ekstraksi mikroalga jenis *Chorella Sp* untuk menghasilkan bioenergi yang ramah lingkungan menggunakan metode hidrotermal likuifaksi dengan membandingkan pengaruh temperatur dan lama waktu operasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini bersifat eksperimental laboratorium. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan alat autoclave kapasitas 1 liter dengan metode hidrotermal likuifaksi dengan prinsip superkritik air menggunakan bahan mikroalga jenis *Chlorella sp*, pelarut aquades, katalis limonite serta sulfur bubuk.

Penelitian ini dimulai dari bulan september 2015 hingga desember 2015 dalam jangka waktu 4 bulan, dilanjutkan dengan penelitian dan analisa di laboratorium, pengolahan data dan penyusunan laporan. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pencairan Batubara, Balai Besar Teknologi (B2TE), Kompleks puspitek Serpong-Tangerang Selatan.

Penelitian ini meliputi tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan serta tahap analisis data.

1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan ini dilakukan studi literatur, penyusunan serta pengajuan proposal, persiapan alat dan bahan.

2. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan meliputi pengestrakan mikroalga jenis *Chlorella*

Sp dengan menggunakan teknologi likuifaksi air dengan menggunakan variasi parameter suhu (250°C , 300°C , dan 350°C) dan lama waktu operasi (30, 60, dan 90 menit) dengan kecepatan pengadukan 300 rpm. Kemudian di lakukan *running* sesuai dengan hasil matriks dari Design of Expert (DOE).

Prosedur pelaksanaan *running* dilakukan sesuai matrik yang telah disusun oleh DOE dapat dilihat pada tabel 1 yang mana semua bahan baku dimasukan kedalam autoclave kemudian di *running* sesuai dengan suhu dan waktu yang ditentukan oleh matrik yang telah di susun oleh DOE dengan tekanan awal 0,5 Mpa.



Gambar 1: Rangkaian Unti Autoclave (kapasitas 1 liter)

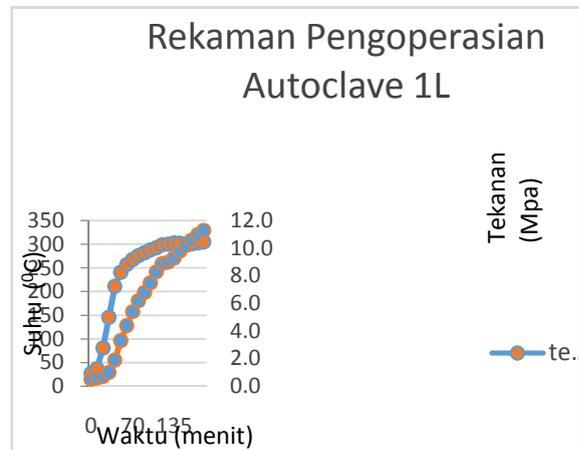


Gambar 2: Rangkaian Unit Destilasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 1 menunjukkan kadar bubuk pada mikroalga jenis *Chlorella sp*, dimana hasil komposisi kimia pada berat kering mikroalga dilakukan untuk mengetahui jumlah lipid yang terkandung dan hasil lipid yang terkandung pada mikroalga *Chlorella sp* untuk mengetahui apakah layak untuk dijadikan bahan bakar. Analisa proksimat dilakukan untuk mengetahui kadar kandungan air, zat terbang, kadar abu dan karbon tetap. Dimana dengan tingginya kadar abu maka akan mempengaruhi kualitas minyak yang akan dihasilkan. Hasil analisa ultimate dilakukan juga untuk mengetahui kadar karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen, dimana pada umumnya unsure-unsur tersebut terkandung dalam bahan bakar fosil (Firdaus, M.Y, 2012) Dan juga untuk mengetahui nilai kalor pada mikroalga jenis *Chlorella sp.*,

Gambar 3 Rekaman Pengoperasian Autoclave 1L



Pada gambar 3 dapat dilihat dari menit ke 0 hingga menit ke 181 suhu secara konstan mengalami kenaikan pada tiap 10 menitnya tetapi berbeda dengan tekanan. Tekanan tidak mengalami kenaikan konstan pada setiap 10 menitnya tetapi tekanan akan terus naik seiring dengan kenaikan suhu tersebut dan kenaikan pada tekanan tidak konstant setiap 10 menit seperti suhu (Grafik 4.1)



Dapat diketahui bahwa kenaikan suhu, tekanan, dan waktu berbanding lurus pada saat pengoperasian autoclave. Untuk tekanan awal yang digunakan setiap pengoperasian sebesar 0,5 Mpa

Tabel 1 Karakteristik bubuk mikroalga

| Properties | Chlorella sp. |
|------------------------------------------------|---------------|
| Analisa Proksimat (% berat Kering) | |
| Kandungan Air (Moist.) | 6,87 |
| Zat Terbang (VM) | 75,08 |
| Kadar Abu (Ash) | 6,79 |
| Karbon Tetap (FC) ^a | 11,26 |
| Komposisi Kimia (% berat Kering) | |
| Protein | 58,0 |
| Karbohidrat | 17,0 |
| Lipid | 22,0 |
| Senyawa Lain | 3,0 |
| Analisa Ultimat (% berat kering) | |
| Carbon | 52,3 |
| Hidrogen | 6,2 |
| Nitrogen | 10,8 |
| Sulfur | 0,5 |
| Oksigen ^b | 30,2 |
| Nilai Kalor (MJ/kg) (Analisis) | 20,963131 |
| Nilai Kalor (MJ/kg) ^c (Perhitungan) | 22,184611 |

- Perhitungan by difference (100 - %(Moist.+VM+Ash))
- Perhitungan by difference (100 - %(C+H+N+S))
- Nilai kalor (MJ/kg) = $0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211A$

Pada penelitian ini suhu yang digunakan adalah berkisar 250^oC, 300^oC, dan 350^oC. Untuk pemilihan suhu digunakan pemilihan awal 250^oC karena penelitian sebelumnya pada suhu 200^oC minyak bio-mentah telah dapat diproduksi (Gou You, 2012) dan juga pada penelitian menggunakan pelarut air yang mengambil prinsip dari superkritis air dimana suhu untuk superkritikal air itu sendiri 375^oC dan untuk tekanan 21,2 Mpa. Untuk pemilihan waktu 30,60, dan 90 menit sesuai dengan studi literature bahwa hasil biocrude akan meningkat sampai waktu 60 menit (Jena, U. dkk. 2011). Oleh karena itu 60 menit diambil sebagai nilai tengah dengan waktu operasi mula-mula 30 menit hingga 90 menit.

1. Hasil DOE

Tabel 2 Hasil pengujian suhu dan waktu operasi dengan metode hidrotelmal likuifaksi pada mikroalga *Chlorella sp.*

| Run | Faktor | | Respon |
|-----|-----------|---------------|----------------------------|
| | Suhu (°C) | Waktu (menit) | Hasil minyak biocrude (ml) |
| 1 | 300 | 102,43 | 23,64 |
| 2 | 300 | 60 | 21,21 |
| 3 | 370,71 | 60 | 5,35 |
| 4 | 250 | 30 | 11,92 |
| 5 | 300 | 60 | 21,18 |
| 6 | 300 | 17,57 | 16,63 |
| 7 | 250 | 90 | 12,33 |
| 8 | 350 | 30 | 11,14 |
| 9 | 300 | 60 | 21,24 |
| 10 | 229,29 | 60 | 7,46 |
| 11 | 300 | 60 | 21,2 |
| 12 | 300 | 60 | 21,27 |
| 13 | 350 | 90 | 9,4 |



| Source | Sum of square | Degrees of freedom | Mean square | F-Value | P-value | |
|-------------------------------------|---------------|--------------------|-------------|----------|----------|-------------|
| Yield bio-oil dari mikroalga | | | | | | |
| Model | 451,67 | 5 | 90,33 | 29,73 | < 0,0001 | Significant |
| Residual | 21,27 | 7 | 3,04 | | | |
| Lack of fit | 21,27 | 3 | 7,09 | 13633,24 | < 0,0001 | Significant |
| Pure Error | 2,080E-003 | 4 | 5,200E-003 | | | |
| Corrected total | 472,94 | 12 | | | | |

Tabel 3 Analisis Varian (ANOVA) Interaksi konsentrasi Katalis dan Tekanan Awal Operasi Terhadap Yield Bio-Oil Yang Dihasilkan

Tabel 2 menunjukkan hasil yield (respon) yang telah dilakukan selama percobaan di laboratorium. Kemudian data hasil minyak yang diperoleh dari percobaan hidrotermal likuifaksi terhadap mikroalga *Chlorella* sp kemudian diolah menggunakan ANNOVA pada metode respon permukaan di DOE untuk mendapat kondisi yang optimal pada suhu antara 250⁰C, 300⁰C, dan 350⁰C serta waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.

Model matematika yang dihasilkan dari data eksperimen menggunakan *software Design-Expert* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Yield} = -271,88242 + 1,90128A + 0,31755B - 3,15185E-003A^2 - 1,12736E003B^2 - 4,78333E004AB$$

Tingkat kecocokan yang terbaik dari model, diperiksa oleh koefisien determinasi (R²). Pada percobaan ini nilai R² untuk *Yield* bahan bakar cair adalah 0,9661. Persamaan model polynimial kuadrat (2) benar menggambarkan bahwa metode hidrotermal likuifaksi memiliki hubungan yang sebenarnya antara respon (Y) dan dua variabel independen (suhu dan waktu).

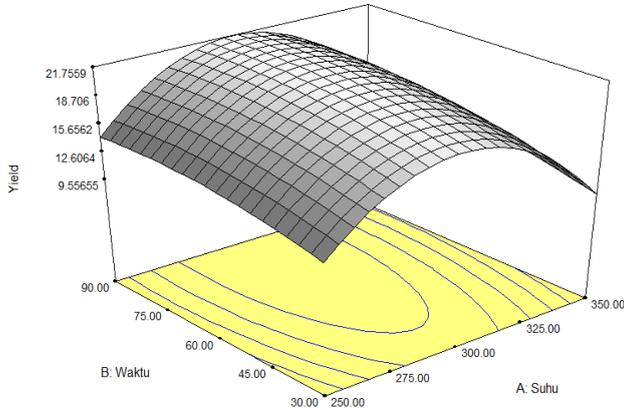
Berdasarkan data eksperimen yang dilakukan kemudian diolah dalam perangkat lunak *Design-Expert* hasil prediksi untuk titik optimal dari pengaruh suhu dan waktu yang terpilih adalah berada pada suhu 296⁰C dan waktu 78

menit dengan *yield* yang dihasilkan sebanyak 21,6% dengan hasil yang diharapkan sebesar 0,898 atau 89,8%. Hal ini juga diperkuat dengan beberapa studi literatur yaitu pembentukan minyak bio mentah terjadi pada suhu 280⁰C-280⁰C sedangkan pada suhu diatas 320 ⁰C hasil minyak bio mentah mengalami penurunan (Gou You, 2012). Berikut ringkasan ANOVA pada hasil dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.

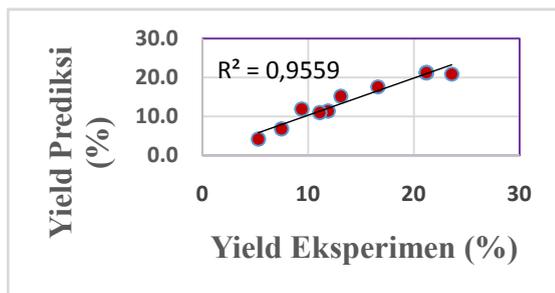
ANOVA model kuadratik dari data eksperimen interaksi suhu dan waktu operasi terhadap minyak bio-oil yang dihasilkan menunjukkan model sangat signifikan dengan F-test 29,73 (p-value < 0,01). Nilai *lack of fit* yang dihasilkan dari model ini sebesar 13633,24 dengan p-value < 0,01 menunjukkan hanya ada 0,0001% kemungkinan bahwa model ini kurang pas, hal tersebut terjadi karena gangguan dan kurangnya dalam pemilihan model yang tepat. Sebuah visualisasi dari interaksi antara dua faktor yang dipilih dalam percobaan dengan faktor ketiga hasil atau respon dari percobaan yang dilakukan dengan titik pusat yang konstan diplot oleh grafik 3-D respon permukaan dapat dilihat pada gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan visualisasi dari interaksi antara dua faktor yang dipilih dalam percobaan dengan faktor ketiga hasil atau respon dari percobaan yang dilakukan dengan titik pusat yang konstan diplot oleh grafik 3-D respon

permukaan. Diaman telah didapatkan hasil suhu optimum 296⁰C dan waktu optimum 78menit dengan perolehan *yield* yang dihasilkan sebanyak 21,6% pada tekanan awal sebesar 0,5 Mpa.



Gambar 4 Grafik 3-d interaksi variabel bebas suhu dan waktu operasi terhadap yield bio-oil mikroalga *Chlorella* sp.



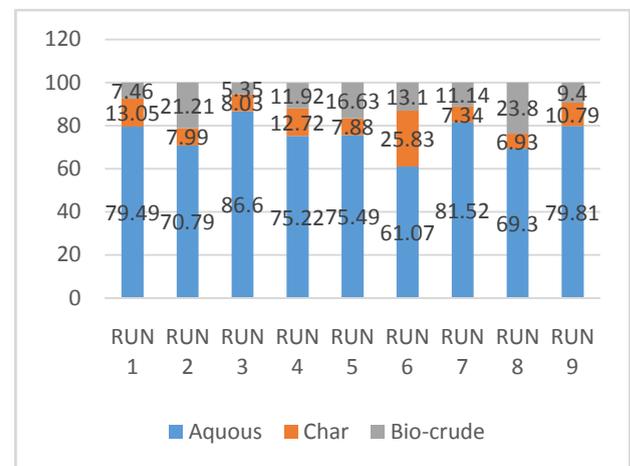
Grafik 5 Perbandingan yield eksperimen dan yield prediksi bio-oil mikroalga *chlorella* sp. Menggunakan metode respon permukaan.

Gambar 5 menunjukkan perbandingan hasil yield yang dilakukan pada eksperimen dengan hasil yields yang diprediksi sesuai dengan model matematika yang dirancang oleh DOE. Tabel 4.3 menjelaskan bahwa percobaan yang dilakukan memiliki keakuratan yang sangat tinggi yaitu mendekati nilai 1 dengan nilai $R^2 = 0,95$ Hal ini menunjukkan bahwa persentase sumbangan pengaruh variabel independen (suhu dan waktu operasi) terhadap variabel dependen (Yield Bio-oil) sebesar 0,95 %. Sedangkan sisanya sebesar 0,05%

dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dipengaruhi.

2. Perbandingan Komposisi Biocrude Mikroalga

Gambar 6 menunjukkan komposisi massa dari hasil proses likuifaksi *Chlorella* sp., yang menghasilkan produk berupa aqueous, char, bio-crude dan gas. Tetapi untuk gas sendiri pada penelitian ini diabaikan karena jumlah gas yang sangat sedikit mengingat jumlah bahan baku (*feed stock*) yang diproses sangat sedikit dan tidak memiliki pengaruh yang signifikan



pada penelitian.

Gambar 6 Komposisi massa hasil hidrotermal likuifaksi

Produk utama yang dihasilkan pada proses likuifaksi ini adalah bio-crude yang dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar cair transportasi (Duan dan Savage, 2011). Untuk metode hidrotermal likuifaksi menghasilkan bio-crude dengan volum yang lebih banyak dibandingkan dengan metode lainnya.

3. Perbandingan Hasil Biocrude *Chlorella* sp Dengan Minyak Bumi Mentah

Tabel 4 menunjukkan hasil komposisi dasar dari hasil ekstraksi mikroalga menggunakan metode hidrotermal likuifaksi. Untuk nilai kalor setelah



| | Komposisi Elemental (% dari berat kering) | | | | | H/C | N/C | Nilai Kalor (MJ/kg) |
|---------------------------------|-------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|---------------------|
| | C | H | N | S | O | | | |
| Minyak dari <i>Chlorella</i> sp | 67,6 | 8,2 | 6,3 | 2,1 | 15,8 | 1,01 | 10,87 | 31,7 |
| Minyak bumi mentah | 83-87 | 10-14 | 0,1-1,5 | 0,1-2 | 0,5-6 | 1,18 | 1,78 | 42,9 |

dilakukan ekstraksi adalah sebesar 31,74 MJ/kg yang jika dibandingkan

Tabel 4 Komposisi Ultimate Bahan Bakar Cair pada Kondisi Optimal

dengan nilai kalor pada karakteristik bubuk mikroalga yang sebesar 20,96 MJ/kg mengalami peningkatan yang sangat tinggi. Kenaikan yang signifikan terhadap nilai kalor mikroalga setelah dilakukan ekstraksi menunjukkan bahwa nilai kalor pada mikroalga *Chlorella* sp hampir setara dengan nilai kalor yang dimiliki minyak bumi (petroleum) yaitu sebesar 42,9 MJ/kg.

Dibuktikan dengan nilai H/C pada mikroalga *Chlorella* sp yaitu 1,01 yang juga hampir setara dengan nilai H/C pada minyak bumi (petroleum) hal ini menunjukkan bahwa mikroalga *Chlorella* sp layak untuk dijadikan bahan minyak mentah. Tetapi, untuk nilai N/C yang dimiliki mikroalga *Chlorella* sp sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai N/C yang dimiliki minyak bumi (petroleum) untuk itu maka diperlukan perlakuan khusus untuk menyetarakan nilai N/C yang dimiliki oleh mikroalga *Chlorella* sp. Tingginya nilai nitrogen ini juga disebabkan oleh penggunaan gas nitrogen pada saat proses hidrotermal likuifaksi.

KESIMPULAN

Optimasi pada penelitian produksi bahan bakar sintetis dari mikroalga *Chlorella* sp., dengan metode hidrotermal likuifaksi diperoleh suhu 275⁰C dan waktu 90 menit dengan *yield* bahan bakar sintetis yang dihasilkan sebanyak 25,6%.

Bahan bakar cair dari mikroalga *Chlorella* sp., dapat dihasilkan dari metode hidrotermal likuifaksi yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak bumi mentah dengan rasio H/C *Chlorella* sp = 1,01 sedangkan H/C minyak bumi = 1,18, dan nilai kalor *Chlorella* sp = 31,7 MJ/kg sedangkan nilai kalor minyak bumi = 42,9 MJ/kg

SARAN

Perlunya penelitian lebih lanjut menggunakan unit reaktor sistem kontinyu untuk menentukan kestabilan produk minyak, serta dilakukan analisis gas yang dihasilkan dalam proses likuifaksi.

Perlunya dilakukan proses upgrading dari produk bahan bakar cair yang dihasilkan dalam rangka memenuhi standar minyak bumi yang ramah lingkungan misalnya proses penghilangan nitrogen dan sulfur.

Perlunya dilakukan analisis angka setana atau nilai oktan dari bahan bakar sintetis yang dihasilkan dari proses hidrotermal likuifaksi

DAFTAR PUSTAKA

AA Peterson, F Vogel, RP Lachance, M Fröling, MJ Antal Jr, JW Tester, *Thermochemical biofuel production*



- in hydrothermal media: A review of sub-and supercritical water technologies*, Energy Environ Sci 1 (2008) 32-65.
- AB Ross, P Biller, ML Kubacki, H Li, A Lea-Langton, JM Jones, *Hydrothermal processing of microalgae using alkali and organic acids*, Fuel 89 (2010) 2234-2243.
- Bold, H.C. dan Wynne, M.J. (1985), *Introduction to the Algae*, Second Edition, Prentice-Hall Mc. Engelwood Cliffs New York.
- Frikardo, Agus. 2008. *Kultur Mikroalga*. <http://afsaragih.wordpress.com/2008/12/16/kultrur-mikroalga>. Diakses tanggal 3 september 2015.
- Guo Yu., 2012, *Hydrothermal Liquefaction Of Low-Lipid Microalgae To Produce Bio-Crude Oil*.
- Hanif, M., Dewanti, P, D., 2014, *Konversi Biomassa Mikroalga menjadi Biofuel : Aplikasi Teknologi Ramah Lingkungan*.
- Handayani, N, A., Ariyanti, D., 2012. *Potensi Mikroalga sebagai Sumber Biomasa dan Pengembangan Produk Turunannya*
- Isnansetyo, A. dan Kurniastuty (1995), *Teknik Kultur Phytoplankton dan Zooplankton*, Kanisius, Yogyakarta.
- Jena, U., dkk. 2011. *Evaluation Of Microalgae Cultivation Using Recovered Aqueous Co-Product From Thermochemical Liquefaction Of Algal Biomass*. Bioresour Technol 102 (2011) 3380-3387.
- Jena, U., dkk., 2011, *Effect of Operating Condition of Thermochemical Liquefaction on Biocrude Production from Spirulina platensis*.
- Kang, J., Comparison of physical and transport properties of gases, liquids and SCFs. (July 27,2006).
- Nuryanti, dkk, 2008, *Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia*. Outlook Energi Indonesia. 2014, BPPT.
- Romimohtarto, K. 2004, *Meroplankton Laut*, Penerbit Djambatan, Jakarta.
- Setiarto, H, B. 2011. *Pemanfaatan Mikroalga Untuk BBM*.
- T Minowa, F Zhen, T Ogi, *Cellulose decomposition in hot-compressed water with alkali ornickel catalyst*, J of Supercrit Fluids 13 (1998) 253-259.
- YF Yang, CP Feng, Y Inamori, T Maekawa, *Analysis of energy conversion characteristics in liquefaction of algae*, Resour Conserv Recycl 43 (2004) 21-33.