



OPTIMASI PROSES LIKUIFAKSI MIKROALGA *Spirulina* sp. UNTUK PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR MENGGUNAKAN METODE RESPON PERMUKAAN : PENGARUH TEKANAN AWAL DAN KONSENTRASI KATALIS

Khairunnisa Novery*), Endro Sutrisno), Muhammad Hanif**)**
Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

*Mikroalga merupakan sumber daya biomassa yang mengandung banyak komponen yang berguna seperti protein, karbohidrat, lemak dan lain-lain. Kandungan komponen pada mikroalga tersebut dapat dikonversi oleh beberapa proses untuk dijadikan padat, gas, maupun gas bio, hal ini sering dikatakan bahwa mikroalga memiliki potensi memasok 30% dari permintaan bahan bakar global tanpa mempengaruhi produksi pangan. 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 dari tekanan awal dan konsentrasi katalis pada proses likuifaksi dalam memproduksi bahan bakar cair. Konversi dari biomassa ini menggunakan mikroalga *Spirulina* sp. kering yang memiliki kandungan kandungan lipid 17,92% berat, protein 56,39% berat dan karbohidrat 8,03% berat. Bubuk *Spirulina* sp. ditambahkan akuades dengan rasio 1:3 dan dilakukan konversi secara hidrotermal likuifaksi dalam reaktor autoklaf berpengaduk yang memiliki tekanan dan suhu yang tinggi dengan suhu reaksi sebesar 300°C. dalam konversi biomassa ini menggunakan katalis berbasis besi (5% berat) dan diaktifasi dengan sulfur (0.8% berat). Optimasi proses likuifaksi dilakukan dengan metode statistik respon permukaan pada variasi tekanan awal 0,5-2 MPa dan variasi konsentrasi katalis 0-7%. Optimasi kondisi proses tersebut dilakukan dalam 13 kali percobaan dengan berbagai pasangan variasi. Rancangan percobaan, analisis variansi, model percobaan, dan kondisi proses di optimasi menggunakan perangkat lunak komersial (*DesignExpert*[®]). Dari analisis yang dilakukan oleh perangkat lunak *DesignExpert*[®], diperoleh kondisi optimum proses pada tekanan awal 2 Mpa dan konsentrasi katalis sebanyak 7% dengan perolehan yield bahan bakar cair sebesar 27,49 % berat. Dari hasil analisis diperoleh bahwa bahan bakar cair dari *Chlorella* sp. memiliki karakteristik yang hampir sama dengan minyak bumi mentah dengan rasio H/C= 0,86 dan nilai kalor 32,04 MJ/kg.*

Kata kunci: Bahan Bakar Cair; *Spirulina* sp.; Hidrotermal likuifaksi; Rancangan Percobaan.



Abstract

[Process Optimization Liquefaction Of Microalgae Spirulina Sp . For Production Of Liquid Fuel Use Response Surface Method : Effect Of Initial Pressure And Catalyst Concentration]. Microalgae are biomass resources that contain a lot of useful components such as protein, carbohydrates, fat and others. Component content in the microalgae can be converted by multiple processes to be used as a solid, gas, or bio gas, it is often said that microalgae have the potential to supply 30% of global fuel demand without affecting food production. 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 investigate the effect of optimization and initial pressure and the concentration of catalyst in the liquefaction process in the production of liquid fuels. Conversion of biomass using microalgae Spirulina sp. Dry which contains lipid content of 17.92% by weight, 56.39% by weight protein and carbohydrates 8.03% by weight. Spirulina powder sp. was added distilled water in the ratio 1: 3 and do conversions hydrothermal liquefaction reactor stirrer autoclave pressure and high temperatures at the reaction temperature of 300°C. In biomass conversion using iron-based catalysts (5% by weight) and activated by sulfur (0.8% by weight). Liquefaction process optimization is done by statistical methods the response surface at the start of 0.5-2 MPa pressure variations and variations in the concentration of catalyst 0-7%. Optimization condition the process is done in 13 trials with various pairs of variation. Experimental design, analysis of variance (ANOVA), experimental models, and process conditions was optimized using a commercial software (DesignExpert®). From the analysis done by the software DesignExpert®, obtained optimum process conditions at the start of 2 Mpa pressure and catalyst concentration as much as 7% with the acquisition of the liquid fuel yield amounted to 27.49% by weight. From the analysis it was found that the liquid fuel of Chlorella sp. has characteristics similar to the crude oil in the ratio $H / C = 0,86$ and the calorific value of 32.04 MJ / kg.

Keywords: Liquid fuels; Spirulina sp.; Hydrothermal liquefaction; Experimental design.



PENDAHULUAN

Saat ini, Indonesia masih belum mencapai target dalam pembangunan dibidang energi. Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi masih tinggi yaitu sebesar 96% dari total konsumsi dan upaya untuk memaksimalkan pemakaian energi terbarukan belum berjalan sesuai yang direncanakan. Salah satu penyebabnya tingginya konsumsi energi fosil tersebut diakibatkan adanya subsidi sehingga harga energi menjadi murah dan masyarakat dapat dengan sepuasnya menggunakan energi. Disisi lain, Indonesia menghadapi penurunan cadangan energi terus menerus yang tanpa diimbangi dengan penemuan cadangan energi baru. Dalam sepuluh tahun terakhir (2003-2013) konsumsi energi final di Indonesia mengalami peningkatan dari 79 juta TOE (Tons Oil Equivalent) menjadi 134 juta TOE (Tons Oil Equivalent) atau tumbuh rata-rata sebesar 5,5% per tahun (Outlook Energi – BPPT, 2014).

Tingginya pemakaian energi fosil tersebut secara tidak langsung mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan karena sisa pembakaran energi fosil ini menghasilkan zat-zat pencemar yang berbahaya seperti NO_x, CO, Sox, dan partikulat (Nurhasmawati., 2002; Thomas., 2008). Seiring dengan pencemaran udara yang terjadi di Indonesia diakibatkan oleh pemakaian energi fosil yang meningkat setiap tahunnya, pemerintah telah memberikan kontribusi penting dalam perdebatan global perubahan iklim. Pada KTT G-20 yang diselenggarakan pada bulan September 2009 di Pittsburg, Amerika Serikat, Presiden Susilo Bambang Yudhoyono menyatakan secara sukarela komitmen Indonesia dengan jalan yang disusun pemerintah, akan mengurangi emisi sebesar 26% pada tahun 2020. Komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi tersebut

sejalan dengan ratifikasi Protokol Kyoto yang telah dituangkan dalam bentuk peraturan pemerintah yaitu PP Nomor 61 Tahun 2011 dan PP Nomor 71 tahun 2011 (Utama M., 2014).

Pemakaian energi fosil setiap tahunnya mengakibatkan pencemaran udara yang berdampak global, dengan adanya kebijakan Indonesia serta ratifikasi Protokol Kyoto yang dilakukan oleh pemerintah Indonesia membuat pemerintah dan para ilmuwan di Indonesia mencari sumber energi alternatif yang ramah bagi lingkungan. Energi alternatif sebaiknya berasal dari bahan yang dapat diperbaharui sehingga ramah bagi lingkungan, salah satunya yaitu biodiesel yang merupakan bahan bakar nabati (BBN) dapat diperbaharui (Dewi T., dkk., 2015). Bahan baku yang tersedia banyak dan potensial dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel adalah mikroalga, karena mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetis penghasil minyak yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel dengan kandungan lipid 30% dan dapat memproduksi minyak 200 kali lebih banyak dibandingkan sumber nabati lainnya atau sebanyak 58.700 L/ha (Rini,C., 2014; Nur, A., 2014; Sumantri, I., 2014). Pemilihan mikroalga sebagai bahan baku biodiesel, Mikroalga menjadi lebih menarik sebagai kandidat bahan baku energi terbarukan karena memiliki efisiensi yang tinggi dalam fotosintesis, kemampuan produksi biomassa yang lebih tinggi, dan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan tanaman energi lainnya (Mata., dkk., 2010; Chisti., 2007), disamping itu mikroalga juga mempunyai kemampuan untuk menyerap karbondioksida sehingga dapat mengurangi efek rumah kaca (Widjaja., 2009).

Untuk mengubah mikroalga menjadi biodiesel dibutuhkan inovasi dan

pengembangan teknologi yang ramah lingkungan dalam upaya pemanfaatan mikroalga yang berkelanjutan di Indonesia (Hanif, M., 2015). Produksi energi baru terbarukan sedang diperdebatkan secara global, mengingat penggunaan energi baru terbarukan saat ini masih berkisar 5 % dari total konsumsi energi di Indonesia (Republika., 2015)

Biomassa dari mikroalga dapat dikonversi oleh beberapa proses untuk dijadikan padat, gas, maupun gas bio, hal ini sering dikatakan bahwa mikroalga memiliki potensi memasok 30% dari permintaan bahan bakar global tanpa mempengaruhi produksi pangan (Kader, A., 2015).

Mikroalga dapat menghasilkan bahan bakar nabati yang bisa menggantikan bahan bakar minyak. Bahan bakar nabati yang dihasilkan dari mikroalga lebih ramah lingkungan dikarenakan sumbernya yang berasal dari biomassa yang dapat menyerap CO₂ yang digunakan untuk fotosintesis. Sedangkan bahan bakar minyak yang berasal dari fosil yang biasa kita kenal dengan BBM merupakan penyumbang CO₂ terbesar pada global warming.

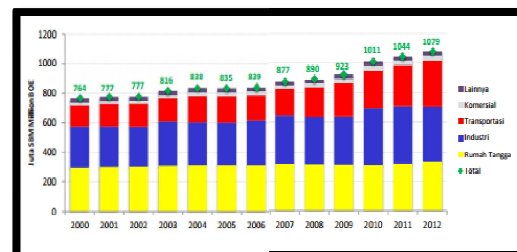
Dalam penelitian ini, mikroalga diekstraksi untuk dijadikan biofuel dengan menggunakan sifat fluida pada keadaan subkritis atau biasa juga disebut dengan Hydrothermal Liquefaction (HTL) atau likuifaksi. Likuifaksi adalah proses dimana biomassa diubah dalam air yang terkompresi panas untuk dijadikan cairan minyak mentah (bio-crude). Dalam proses ini, suhu berkisar 200-350°C dengan tekanan berkisar 15-20 MPa, pada kisaran suhu dan tekanan air pada proses tersebut, air memiliki sifat yang luar biasa sebagai media reaksi untuk membantu memecahkan biomassa kompleks menjadi molekul yang lebih kecil memungkinkan untuk polimerisasi kembali ke senyawa berminyak (Abdel Kader, 2015).

Proses ini adalah proses yang menjanjikan untuk mengkonversi biomassa menjadi minyak mentah karena sifatnya yang memanfaatkan air sebagai pelarut menjadikan teknologi ini sebagai teknologi ramah lingkungan bertujuan mengurangi penggunaan bahan kimia pelarut dan memungkinkan pemakaian bahan baku pelarut dengan kemurnian yang rendah dengan siklus reaksi yang lebih singkat.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Konsumsi Energi Final Di Indonesia

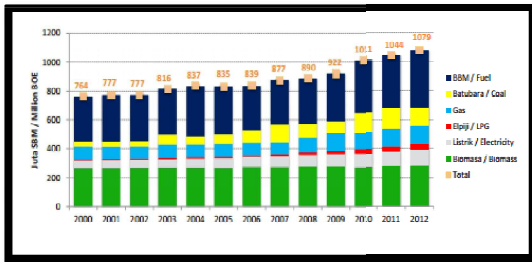
Konsumsi energi final (termasuk biomassa) meningkat dari 764 juta SBM pada tahun 2000 menjadi 1.079 juta SBM pada tahun 2012 atau meningkat rata-rata 2,91% per tahun. Penggunaan energi terbesar adalah sektor industri (34,8%) diikuti oleh sector rumah tangga (30,7%), transportasi (28,8%), komersial (3,3%), dan lainnya (2,4%).



Gambar 1 Konsumsi Energi Final per Sektor

(Sumber : Outlook Energi Indonesia – BPPT, 2014)

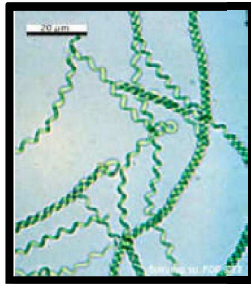
Pada tahun 2000, konsumsi minyak solar termasuk minyak diesel mempunyai pangsa terbesar (42%) disusul minyak tanah (23%), bensin (23%), minyak bakar (10%), dan avtur (2%). Selanjutnya pada tahun 2012 urutannya berubah menjadi bensin (50%), minyak solar (37%), avtur (7%), minyak tanah (4%), dan minyak bakar (2%) (Outlook Energi Indonesia – BPPT, 2014).



Gambar 2 Konsumsi Energi Final per Jenis

(Sumber : *Outlook Energi Indonesia – BPPT, 2014*)

2. Karakteristik Mikroalga *Spirulina* sp.



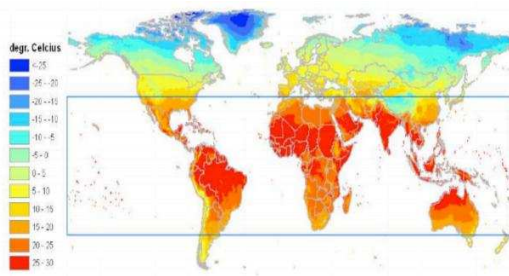
Gambar 3. *Spirulina* sp.

Spirulina sp. adalah makhluk hidup autotroph berwarna kehijauan, kebiruan, dengan sel berkolom membentuk filament terpilin menyerupai spiral (helix) sehingga disebut juga dengan alga biru hijau berfilamen (cyanobacteria) (Riche Hariyati, 2008) *Spirulina* dapat tumbuh dengan baik di danau, air tawar, air laut, dan media tanah. *Spirulina* juga memiliki kemampuan untuk tumbuh di media yang mempunyai alkalinitas tinggi (pH 8,5–11), dimana mikroorganisme lainnya tidak bisa tumbuh dengan baik dalam kondisi ini (Kebede, dkk., 1996). Suhu terendah untuk *Spirulina platensis* untuk hidup adalah 15°C, dan pertumbuhan yang optimal adalah 35–40°C (Chritwardana, dkk 2013).

3. Potensi Mikroalga Di Indonesia

Pertumbuhan mikroalga di Indonesia merupakan suatu hal yang sangat menjanjikan mengingat Indonesia merupakan negara tropis yang dilalui garis khatulistiwa dan hanya memiliki dua musim yakni musim kemarau dan musim hujan. Hal tersebut membuat mikroalga dapat tumbuh subur rata-rata 12 jam sehari disepanjang tahunnya. Selain itu potensi pertumbuhan mikroalga yang sangat besar juga didukung oleh luas wilayah laut di Indonesia (Azimatin, M., 2014).

Menurut Batten, dkk (2011) Indonesia merupakan negara ketia di anggota APEC yang memiliki potensi cukup besar dalam produksi mikroalga. Menurut laporan dari Van Harmelen dan Oonk bahwa wilayah dengan suhu diatas 15°C cenderung merupakan negara yang cocok digunakan untuk produksi mikroalga, dapat dilihat pada gambar 2.4 Potensi lahan budidaya mikroalga dapat mencapai sekitar 2,1 juta ha dengan produktivitas mikroalga rata-rata 25 ton per ha per panen (umur panen 2 bulan), maka akan dihasilkan mikroalga 100-125 ton per ha per tahun. Penggunaan mikroalga sebagai bahan baku pembuatan bioetanol memiliki keuntungan waktu budidayanya yang relatif singkat dan produktivitasnya tinggi dibandingkan ubi jalar, jagung, tebu dan singkong, sebagai bahan baku bioetanol (Benny Dyah, 2010).



Gambar 4. Potensi Negara Penghasil Mikroalga

Wargadalam (2011) juga menjelaskan bahwa kondisi cuaca Indonesia cukup baik untuk berkembang biak mikroalga air laut, meliputi suhu, salinitas, intensitas cahaya, pasokan air, durasi pencahayaan, dan pH air. Sehingga jika produksi mikroalga air laut penghasil protein dan vitamin ini bisa dieksplorasi lebih lanjut, maka akan berpotensi memenuhi kebutuhan gizi dalam negeri.

4. Pemanfaatan 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-produk yang lain (Handayani, N.A., 2012).



Gambar 5. Rute Pemanfaatan Mikroalga

Mikroalga dapat diproses menjadi produk yang lebih bernilai dengan kombinasi teknik yang ramah lingkungan. Produk yang

bernilai tersebut adalah sebagai berikut (Hanif, M., dkk, 2014)

- Sebagai suatu tumbuhan untuk mengatasi emisi CO₂ dalam asap buangan pabrik yang bersuhu tinggi
- Untuk menurunkan kadar pencemar dalam perairan seperti nitrogen, fosfor, logam berat, maupun limbah radioaktif.
- Mikroalga sebagai sumber kimia dan bioaktif mikroalga dapat diekstraksi dan diambil zat-zat nya
- Mikroalga sebagai pakan hewan dan budidaya perairan
- Mikroalga dapat dijadikan sumber energi baru terbarukan pengganti bahan bakar minyak.

5. Proses Likuifaksi

Hydrothermal likuifaksi adalah proses dimana biomassa diubah dalam air yang terkompresi panas untuk dijadikan minyak mentah bio. Untuk teknologi hidrotermal likuifaksi memiliki kisaran suhu pengolahan yang berkisar antara 200°C sampai 350°C dengan tekanan 15-20 Mpa, pada kondisi tersebut air memiliki sifat yang luar biasa sebagai media reaksi untuk membantu biomassa kompleks memecahkan molekul menjadi molekul yang lebih kecil yang mungkin kembali ke polimerisasi senyawa minyak (Kader E.A, dkk.,2015).

Pengaruh Kondisi pengolahan :

- Suhu
- Tekanan dan komposisi ruang atas
- Katalis
- Berat jenis air
- Pembebanan biomassa
- Waktu tinggal

6. Rancangan Percobaan

Design of experiments (DOE) dikembangkan pada awal tahun 1920 oleh Sir Ronald Fisher. DOE adalah alat yang berguna untuk menjelajahi proses baru, dapat meningkatkan tentang keluaran proses dan proses yang optimal untuk mencapai kinerja yang lebih baik. Menggunakan *design of experiments* dalam kimia dan proses industri sudah populer di awal era industri. Sampai tahun 1990an, telah ada peningkatan kualitas di berbagai perusahaan setelah *Taguchi* dan *Robust Parameter Design* dibuat.

METODOLOGI PENELITIAN

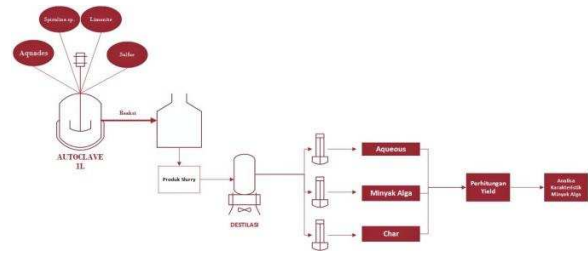
1. Tahap Persiapan

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Rangkaian unit Autoclave 1L
2. Reaktor control panel 1L
3. Rangkaian unit destilasi sederhana
4. Timbangan digital
5. Blower
6. *Beaker Glass*
7. Gelas ukur
8. Botol sampel
9. Spatula
10. Majun

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Bubuk kering *Spirulina* sp.
2. Aquades
3. Limonite
4. Sulfur
5. Nitrogen
6. Silicon Grease
7. Acetone
8. Es batu



Gambar 6. Skema Ekstraksi Alga Skala Laboratorium

2. Tahap Analisis Data

Pada tahap ini, data hasil penelitian diolah dan dianalisis serta disusun dalam bentuk laporan. Tahap ini dilaksanakan setelah tahap pelaksanaan penelitian selesai. Analisis data menggunakan *software Design Expert version 9 Trial* sebagai software untuk merancang eksperimen dengan efisiensi tinggi, ditujukan untuk mengidentifikasi faktor penting faktor penting yang mempengaruhi proses terhadap produk.

Tabel 1 Matriks Metode Respon Permukaan Hidrotermal Likuifaksi Mikroalga

Run	Kode Faktor		Faktor Aktual	
	Tekanan Awal (Mpa)	Kons Katalis (% berat)	Tekanan Awal (Mpa)	Kons Katalis (% berat)
1	0	0	1.25	4.25
2	-1.414	0	0.19	4.25
3	0	-1.414	1.25	0.36
4	-1	1	0.50	7.00
5	1	-1	2.00	1.50
6	0	0	1.25	4.25
7	-1	-1	0.50	1.50
8	0	0	1.25	4.25
9	0	0	1.25	4.25
10	0	1	2.00	7.00
11	1.414	0	2.31	4.25
12	0	0	1.25	4.25
13	0	1.414	1.25	8.14

Jumlah lipid dari mikroalga setelah proses ekstraksi menggunakan teknologi likuifaksi dan pemisahan fraksi minyak dan air pada destilasi di input dan dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *Software Microsoft excel 2013*. Secara garis besar rumus yang digunakan dalam perhitungan yield lipid adalah sebagai berikut :

$$\text{Yield Lipid} = \frac{\text{Berat Lipid Terambil}}{\text{Berat Mikroalga Kering}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Bahan Baku *Spirulina sp*

Tabel 2 Karakteristik Bahan Baku *Spirulina sp.*

Properties	<i>Spirulina sp.</i>
Analisa Proksimat (% berat Kering)	
Kandungan Air (Moist.)	9,58
Zat Terbang (VM)	75,92
Kadar Abu (Ash)	2,60
Karbon Tetap (FC) ^a	11,9
Komposisi Kimia (% berat kering)	
Protein	68,0
Karbohidrat	11,0
Lipid	12,0
Senyawa Lain	9,0
Analisa Ultimat (% berat Kering)	
Carbon	50,1
Hidrogen	6,2
Nitrogen	11,0
Sulfur	0,7
Oksigen ^b	32,0
Nilai Kalor (MJ/kg) (Analisis)	18,54
Nilai Kalor (MJ/kg) ^c (Perhitungan)	20,84

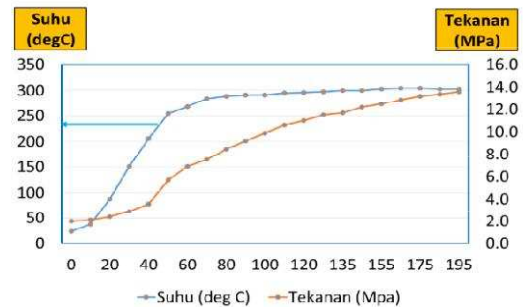
a. Perhitungan by difference (100 - %(Moist.+VM+Ash))

b. Perhitungan by difference (100 - %(C+H+N+S))

c. Nilai Kalor (MJ/kg) = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211A

Tabel 2 menunjukkan karakteristik bubuk mikroalga yang diukur dengan analisa laboratorium yang mengacu pada Standar ASTM D5142-14 yang biasa digunakan untuk analisis batu bara. Analisis yang dilakukan terbagi atas tiga jenis, yaitu analisis proximate, analisis komposisi kimia, dan analisis ultimate.

2. Pengoperasian Reaktor Autoclave 1L



Gambar 7. Simulasi Kondisi Optimum Proses Likuifaksi

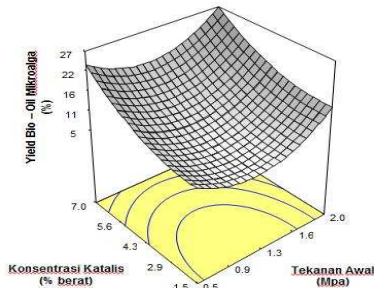
Gambar 7 diatas menunjukkan rekaman operasi salah satu percobaan yang dilakukan dalam likuifaksi mikroalga. Pencairan mikroalga dengan metode hidrotermal likuifaksi ini dilakukan dengan suhu 300°C selama 60 menit. Pemilihan suhu dan waktu tahan tersebut berdasarkan literatur yang telah ada bahwa produk hasil likuifaksi akan meningkat setelah suhu diatas 200°C sampai 350°C dan hasil biocrude akan meningkat sampai waktu tahan 60 menit setelah itu menurun seiring dengan meningkatnya waktu tahan (Jena, U. dkk., 2011).

3. Optimasi Tekanan Awal Dan Konsentrasi Katalis Terhadap Likuifaksi Mikroalga *Spirulina sp.*

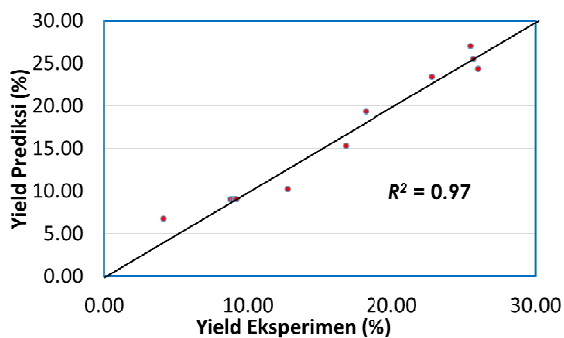
Model matematika yang dihasilkan dari data eksperimen menggunakan software Design-Expert dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Y = 21.35163 - 26.19323A - 1.20786B + 11.91578A^2 + 0.43307B^2 - 0.16970AB \quad (2)$$

Berdasarkan prediksi yang telah diolah dalam perangkat lunak *Design-expert* titik optimal dari tekanan awal dan konsentrasi katalis yang terpilih berada pada tekanan awal 2 MPa dan Konsentrasi katalis 7% dengan *yield* yang dihasilkan sebanyak 27 % berat dengan hasil yang diharapkan sebesar 0.881 atau 88,1%.

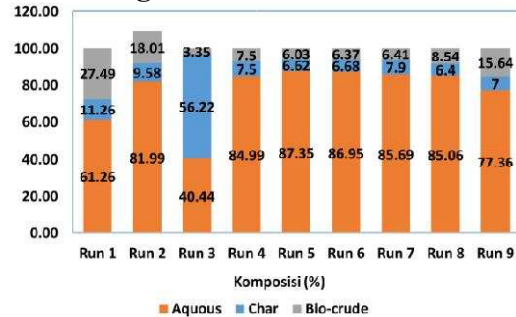


Gambar 8. Grafik 3-D Interaksi Variabel Bebas Konsentrasi Katalis Dan Tekanan Awal Operasi Terhadap Yield Bio-Oil Mikroalga



Gambar 9. Hubungan Perolehan Bahan Bakar Cair dari Percobaan dan Prediksi Hasil Simulasi

4. Perbandingan Komposisi Biocrude Mikroalga



Gambar 10. Grafik Komposisi Massa Hasil Hidrotermal Likuifaksi Mikroalga

Gambar 10 diatas menunjukkan komposisi massa dari hasil proses likuifaksi mikroalga. Pada kondisi air yang terkompresi tinggi, mengakibatkan kerusakan biomolekul kompleks dan pembentukan senyawa baru (Brown, *dkk.*, 2010). Produk dari hidrotermal likuifaksi mikroalga adalah biocrude, aquous, char, dan gas. Namun untuk gas dalam penelitian ini diabaikan, mengingat gas yang dihasilkan hanya sedikit dikarenakan komposisi bahan baku yang digunakan sedikit. Produk utama dari hidrotermal likuifaksi ini adalah bio-crude yang dapat ditingkatkan menjadi bahan bakar cair transportasi (Duan dan Savage, 2011a). Hidrotermal likuifaksi ini menghasilkan bio-crude dengan volume yang lebih besar dibandingkan dengan metode lainnya (Jena, U. *dkk.*, 2011) yaitu menghasilkan 3,5-27,49% bahan bakar cair mikroalga dari beberapa kondisi operasi yang berbeda. 27,49% bahan bakar cair yang dihasilkan tersebut berasal dari komposisi mikroalga sebanyak 100 gr, atau bisa juga dikatakan dengan 100 gr mikroalga didapat 0,2749 gr bahan bakar cair yang berasal dari likuifaksi mikroalga. Komposisi massa sangat tergantung pada kondisi proses dan

komposisi pengisian bahan disaat awal operasi (Eboibi, B.E., dkk, 2014).

5. Perbandingan Hasil Bahan bakar cair Mikroalga Dengan Minyak Bumi Mentah

Tabel 3. Komposisi Unsur Bahan Bakar Cair Mikroalga

		Spirulina sp.	Minyak Bumi Mentah
Komposisi Unsur (% berat)	C	68,3	85
	H	8,3	12
	N	6,9	1,3
	S	1,1	1,05
	O	15,4	3,6
H/C		0,86	1,18
N/C		11,78	1,78
Nilai Kalor (MJ/kg)		32,04	42,9

Tabel 3 diatas menunjukkan komposisi unsur dari bahan bakar cair hasil dari pencairan mikroalga menggunakan metode hidrotermal likuifaksi. Sifat fisik dari bahan bakar cair mikroalga yang dilaporkan tersebut dibandingkan dengan bubuk mikroalga yang belum di uji coba memiliki nilai kalor yang secara signifikan lebih tinggi dari bahan baku mikroalga. Nilai kalor yang dimiliki bahan bakar cair mikroalga adalah dengan nilai 32,04 MJ/kg yang sebelumnya hanya mengandung 20,84 MJ/kg. Kenaikan secara signifikan pada nilai kalor tersebut membuat bahan bakar cair mikroalga hasil dari hidrotermal likuifaksi ini hamper setara dengan nilai kalor yang dihasilkan dari minyak bumi mentah. Hal tersebut juga dibuktikan dengan rasio H/C dari bahan bakar cair mikroalga hamper mendekati rasio H/C dari minyak

bumi mentah. Namun, nilai N/C dari bahan bakar cair mikroalga ini masih tergolong tinggi serta perlu adanya perlakuan khusus agar nilai N dalam bahan bakar cair menjadi rendah. Tingginya nilai N (Nitrogen) pada bahan bakar cair mikroalga ini disebabkan oleh gas yang digunakan dalam hidrotermal likuifaksi mikroalga menggunakan gas nitrogen. Selain itu, kandungan nitrogen yang tinggi disebabkan oleh *Spirulina* sp. mengandung protein yang sangat tinggi (50%) yang dapat menghasilkan nitrogen sebanyak 5,3-6,6% dari berat kering mikroalga (Ross, dkk., 2010). Sehingga, bahan bakar sintetis dari *Chlorella* sp. ini membutuhkan proses peningkatan kualitas (upgrading) untuk menghilangkan beberapa heteroatom seperti nitrogen, sulfur dan oksigen. Untuk membuktikan bahan bakar cair mikroalga memiliki sifat bahan bakar seperti minyak bumi mentah, kami melakukan uji bakar dengan menggunakan sedikit cairan bahan bakar cair hasil hidrotermal likuifaksi yang diletakkan diatas spatula. Ketika disulut api, cairan bahan bakar cair mikroalga tersebut menyala, hal tersebut membuktikan bahwa bahan bakar cair mikroalga yang dihasilkan dari hidrotermal likuifaksi ini memiliki sifat bahan bakar hamper sama dengan minyak bumi mentah dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 11. Uji Nyala Bahan Bakar Cair Mikroalga



KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- Optimasi Kondisi proses Bahan bakar mikroalga *Spirulina* sp. diperoleh pada tekanan awal 2 MPa dan konsentrasi katalis 7% dengan yield bahan bakar cair yang dihasilkan sebesar 27,49% berat.
- Bahan bakar cair dari *Spirulina* sp. dapat dihasilkan dari metode hidrotermal likuifaksi yang memiliki karakteristik hamper sama dengan minyak bumi mentah dengan rasi H/C = 0,86 dan nilai kalor = 32,04 MJ/Kg

2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan adalah :

- Perlu penelitian lanjutan menggunakan unit reaktor system kontinyu untuk menentukan kestabilan produk minyak.
- Perlu dilakukan analisis gas yang dihasilkan dalam proses likuifaksi.
- Perlu 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.
- Perlu dilakukan analisis angka setana atau nilai oktan.

DAFTAR PUSTAKA

Batten., dkk. 2011. *Resource Potential of Algae for Sustainable Biodiesel Production in the APEC*. Presentation at APEC Workshop on Algal Biofuels San Francisco.

Bj He., dkk. 2001. *Preliminary Characterization Of Raw Oil Products From The Thermochemical Conversion Of Swine Manure* : Trans Asabe 42 (2001) 1865-1871.

Brown, M.T., Duan, P., Savage, P.E., 2010. *Hydrothermal liquefaction and gasification of Nannochloropsis sp.* Energy Fuels 24, 3639–3646.

Chisti, Y. 2007. *Biodiesel From Microalgae*. Biotechnology Advances 25 (2007) 294–306.

Christwardana, M.,Dkk. 2013. *Spirulina Platensis : Potensinya Sebagai Bahan Pangan Fungsional*.

Duan, P., Savage, P.E., 2011c. *Catalytic treatment of crude algal bio-oil in supercritical water: optimization studies*. Energy Environ. Sci. 4, 1447–1456.

Dyah, B. 2010. *Rumput Laut : Sumber Energi Alternatif*. Mahasiswa Program Doktor MSDP UNDIP.

E. Abdel Kader, Dkk. 2008. *Hydrothermal Liquefaction Of Microalgae (Spirulina Platensis) Under Subcritical Water Conditions For Bio-Fuel Production*. International Journal Of Engineering And Innovative Technology (Ijeit) Volume 5, Issue 2, August 2015

Eboibi, B.E., Lewis, D.M., Ashman, P.J., Chinnasamy, S., 2014. *Effect of operating conditions on yield and quality of bahan bakar cair during hydrothermal liquefaction of halophytic microalgae Tetraselmis sp.*. Bioresour. Technol. 170, 20–29

Haghighi, A.,dkk. 2013. *Subcritical Water Extraction*. In Tech.

Handayani, N.A., Dkk. 2012. *Potensi Mikroalga Sebagai Sumber Biomasa Dan Pengembangan Produk Turunannya*. Teknik – Vol. 33 No. 2, Issn 0852-1697.

Hanif, M., dkk, 2014 *Konversi Biomassa Mikroalga menjadi Biofuel: Aplikasi Teknologi Ramah Lingkungan*. BPPT Press.

Hanif, M., dkk. 2015. *Perancangan Proses Konversi Mikroalga Menjadi Biofuel Sebagai Inovasi Teknologi Ramah Lingkungan*.

Heilmann, S.M., dkk. 2010. *Hydrothermal Carbonization Of Microalgae* : Biomass Bioenergy 34. 875-882.

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.

Kabede, E., dkk. 1996. *Optimum Growth Conditions And Light Utilization Efficiency Of Spirulina*



- Platensis (Arthospira) Fusiformis) From Lake Chitu, Ethiopia.* Hydrobiol., 332: 99-109.
- Luthfi Assadad, dkk. 2010. *Pemanfaatan Mikroalga Sebagai Bahan Baku Bioetanol.* Squalen Vol. 5 No. 2.
- Mata, T., Dkk. 2010. *Microalgae For Biodiesel And Other Application : A Review.* Renewable And Sustainable Energy. 14. (217-232).
- Matsui, O.T., dkk. 1997. *Liquefaction of micro-algae with iron catalyst.* Department of Chemical Engineering, Kansai University, Suita, Osaka 564, Japan.
- Nur, A. 2014. *Efek Bikarbonat, Besi, Dan Garam Terhadap Produktivitas Lipid Chlorella Sp. Yang Diekstrak Dengan Metode Osmotic Shock.* Eksergi. Vol. Xi. No. 02.
- Nur, A. 2014. *Potensi Mikroalga Sebagai Sumber Pangan Fungsional di Indonesia (overview).* Eksergi. Vol. XI. No. 02. ISSN: 1410-394X.
- Ogawa, T., Dkk. 1970. *Studies On The Growth Of Spirulina Platensis. On The Pure Culture Of Spirulina Platensis.* J. Ferment. Technol. 48:361-367.
- Pohan, N. 2002. *Pencemaran Udara Dan Hujan Asam.* Universitas Sumatra Utara.
- Ross, Ab., dkk. 2010. *Hydrothermal Processing Of Microalgae Using Alkali And Organic Acids.* Fuel 89 (2010) 2234-2243.
- Rudyanto, A. 2004 *Kerangka Kerjasama Dalam Pengelolaan Sumberdaya Pesisir Dan Laut.*
- Sumantri, I., Dkk. 2014. *Produksi Biomasa Mikroalga Dengan Nitrifikasi Limbah Beramoniak Tinggi.* Momentum.
- Surya, A. 2014. *Optimalisasi Pembangunan Kemaritiman Nasional.* Vol. VI, No. 20/II/P3DI/Okttober/2014.
- Tri Putri Prima., Dkk. 2015. *Transesterifikasi Langsung Mikroalga Chlorella Sp. Dengan Katalis Abu Tandan Kosong Sawit Yang Diimpregnasikan Pada Zeolit.* Jkk, Vol. 4(2). 37- 43.
- Utama, Meria. 2014. *Kebijakan Pasca Ratifikasi Protokol Kyoto Pengurangan Dampak Emisi Rumah Kaca Dalam Mengatasi Global Warming.*
- Van Harmelen, T. and Oonk, H. 2006. *Micro-algae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to Greenhouse Gas Mitigation Options.*
- Wargadalam, V. J. 2011. *Indonesia`s Algae Based Biofuel Potentials. Presentation at APEC Workshop on Algal Biofuels San Francisco.*
- Widjaja, A. 2009. *Lipid Production From Microalgae As A Promising Candidate For Biodiesel Production.* Makara Teknologi. 13(1): 47-51.
- Widyastuti, C.R. 2014. *Sintesis Biodiesel Dari Minyak Mikroalga Chlorella Vulgaris Dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Koh. Jbat.*