

PERANCANGAN PROSES KONVERSI MIKROALGA MENJADI *BIOFUEL* SEBAGAI INOVASI TEKNOLOGI RAMAH LINGKUNGAN

Process Design on the Conversion of Microalgae into Biofuel as An Eco-friendly Innovation Technology

Muhammad Hanif dan Dian Purwitasari Dewanti
Pusat Teknologi Lingkungan (PTL)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Geotech Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314
Email: muhammad.hanif@bppt.go.id

Diterima: 28 November 2014; Diperiksa: 5 Desember 2014; Revisi: 19 Desember 2014; Disetujui: 27 Desember 2014

Abstract

Microalgae are a sustainable energy resource with great potential for carbon dioxide (CO₂) emission mitigation. Technology innovation for the conversion of microalgae into biofuel is still become a challenge that need to be focused to ensure stable large-scale production with positive net energy balance. Center for Environmental Technology - BPPT has pioneered an integrated system that has linkage between bioenergy production and environmental protection. A 20 liter/hour pilot plant has also been installed to convert the algae biomass into biofuel. The aim of this research was to develop a proven design process on the conversion of microalgae into biofuel via the engineering pathway from conceptual proses, simulation, construction to operation. In this works, the ultrasonic assisted extraction was proposed as an innovative eco-friendly technology. The mass-energy balance and net energy ratio of algae biofuel process was also evaluated. The results demonstrated that the algae biofuel unit has performed the potential to produce crude algae oil that required further purification to meet Indonesian standard biodiesel specification. Developments of advanced algae biofuel production technologies are crucial in order to improve the cost-effectiveness on the implementation of the biofuel from microalgae strategy.

Keywords: *biofuel, design process, eco-friendly technology, microalgae, technology innovation*

Abstrak

Mikroalga merupakan sumber daya energi yang berkelanjutan yang memiliki potensi yang besar dalam mitigasi karbon dioksida (CO₂) emisi. Inovasi teknologi konversi mikroalga menjadi biofuel masih menjadi tantangan yang perlu difokuskan untuk memastikan tingkat kestabilan produksi pada skala besar dengan keseimbangan energi yang baik. Pusat Teknologi Lingkungan - BPPT telah merintis suatu sistem terintegrasi yang memiliki keterkaitan antara produksi bioenergi dan perlindungan lingkungan. Sebuah pabrik skala percontohan berkapasitas 20 liter/jam telah dirancang bangun untuk mengkonversi biomassa alga menjadi biofuel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan rancangan proses pada konversi mikroalga menjadi biofuel melalui tahapan kerekayasa dari konseptual, simulasi, konstruksi sampai operasi. Pada penelitian ini, ekstraksi ultrasonik digunakan sebagai sebuah teknologi inovatif yang ramah lingkungan. Keseimbangan massa-energi dan rasio energi dari proses biofuel alga juga dievaluasi. Hasil-hasil menunjukkan bahwa unit konversi mikroalga ke biofuel menunjukkan potensi untuk menghasilkan minyak alga, namun masih diperlukan pemurnian lebih lanjut untuk memenuhi spesifikasi standar biodiesel Indonesia. Pengembangan teknologi terkini untuk memproduksi biofuel dari mikroalga sangat penting dalam rangka meningkatkan efektivitas biaya produksi dalam mengimplementasikan strategi pemanfaatan mikroalga.

Kata kunci: biofuel, desain proses, inovasi teknologi, mikroalga, teknologi ramah lingkungan

1. PENDAHULUAN

Inovasi dan pengembangan teknologi ramah lingkungan sangat dibutuhkan dalam upaya pemanfaatan mikroalga yang berkelanjutan di Indonesia. Saat ini, penerapan sistem teknologi utilisasi mikroalga yang terintegrasi untuk biomitigasi karbon dioksida, kandidat bahan baku bioenergi dan bioremediasi masih menjadi tantangan.

Produksi energi terbarukan yang berkelanjutan sedang diperdebatkan secara global. Bahan baku untuk produksi biodiesel di Indonesia, seperti dari minyak jarak, minyak kacang, dan minyak kelapa ketersediaannya terbatas dan rendemen minyaknya relatif rendah. Sehingga, bahan baku tersebut kurang kompetitif bila dibandingkan dengan kelapa sawit. Mikroalga menjadi lebih menarik sebagai kandidat bahan baku energi terbarukan karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dalam fotosintesis, kemampuan produksi biomassa yang lebih tinggi, dan pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dengan tanaman energi lainnya [1-3]. Mikroalga memenuhi syarat untuk menjadi bahan baku yang berkelanjutan dan berpotensi menghasilkan produk-produk hilir yang berharga. Mikroalga hanya memerlukan sinar matahari, air, CO₂, dan mineral untuk pertumbuhannya. Kondisi iklim di Indonesia juga sesuai untuk budidaya mikroalga [4]. Indonesia secara geografis terletak di khatulistiwa di mana intensitas cahaya matahari yang tinggi dengan suhu rata-rata tahunan adalah sekitar 25-27 °C dan kelembaban 82%. Studi pada skala laboratorium telah membuktikan bahwa proses konversi mikroalga menjadi *biofuel* layak secara ekonomi dan teknis [3, 5-6].

Di sisi lain, peningkatan permintaan energi diproyeksikan untuk beberapa dekade mendatang karena pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang tinggi. Komite Energi Nasional telah memprediksi bahwa bauran energi Indonesia akan didominasi oleh bahan bakar fosil pada tahun 2025 [7]. Pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas merupakan sumber terbesar emisi CO₂. Selain itu, dalam lima tahun ke depan (2015-2019), pemerintah Indonesia telah menetapkan kebijakan untuk pembangunan pembangkit listrik lebih banyak dengan total kapasitas 35.000 MW.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, Indonesia telah mendeklarasikan komitmen yang kuat dalam mengurangi emisi CO₂. Pemerintah berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% dengan upaya domestik dan 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2020 (Keputusan Presiden No. 61/2011) [8]. Namun, peraturan dan regulasi yang ada saat ini masih belum cukup untuk mendorong industri dalam membuat investasi teknologi strategis untuk menangkap karbon. Oleh karena itu, realisasi teknologi pemanfaatan mikroalga di Indonesia dinilai sangat strategis dalam rangka untuk berpartisipasi dalam inisiatif global untuk mengurangi emisi CO₂ [9].

Berbagai usaha telah dan sedang dilaku-

kan untuk mengembangkan teknologi penangkap, penyimpanan dan penyerapan (*capture, storage and sequestration*) CO₂ dari gas buang industri [10-12]. Salah satu teknologi yang menjanjikan adalah teknologi penyerapan karbon secara biologis menggunakan mikroalga [13-14]. Penerapan teknologi ini pada skala industri membutuhkan integrasi dengan teknologi pemanfaatan biomassa mikroalga yang dihasilkan, sehingga tercipta sebuah sistem yang berkelanjutan (*sustainable*) dan ramah lingkungan (*eco-friendly*).

Program biofuel di Indonesia bertujuan untuk diversifikasi konsumsi biodiesel domestik dan memperluas kapasitas produksi dari tingkat saat ini 5,67 miliar liter per tahun [15-16]. Konsumsi biodiesel diperkirakan akan tumbuh setelah pemerintah mengamanatkan bahwa 10% penggunaan diesel dalam industri dan transportasi dan 20% penggunaan diesel di sektor listrik harus dicampur dengan biodiesel pada tahun 2014. Namun, beberapa masalah yang harus diselesaikan dalam memperluas biodiesel di Indonesia adalah infrastruktur yang belum memadai, formulasi *blending* biodiesel yang ekonomis, indeks harga *biofuel*, dan kemauan politik dalam menghilangkan atau mengurangi subsidi bahan bakar minyak konvensional.

Sejalan dengan upaya tersebut, pusat teknologi lingkungan (PTL-BPPT) telah aktif terlibat dalam program pengembangan teknologi untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Program ini difokuskan pada kegiatan untuk mempromosikan inovasi dan solusi teknologi untuk melindungi lingkungan melalui pemanfaatan emisi CO₂ untuk produksi biomassa alga dalam industri dan untuk membangun konsep pabrik biofuel berbasis alga pertama di Indonesia [13]. Evaluasi intensif terus dilakukan untuk mencapai tingkat kesiapan teknologi (*technological readiness level*) yang dapat diaplikasikan pada skala industri.

Salah satu teknologi yang umum digunakan untuk mengkonversi mikroalga adalah teknologi ekstraksi menggunakan gelombang suara (*ultrasonic*) yang merambat ke dalam media cair yang dihasilkan dalam siklus bergantian. Pada skala lab, teknologi ini dapat meningkatkan konversi dan selektivitas pada tekanan dan suhu yang relatif lebih rendah dibandingkan metode konvensional *soxhlet*. Selain itu, teknik ini dapat mengurangi pemakaian bahan kimia pelarut dan memungkinkan pemakaian bahan baku dan pelarut dengan kemurnian rendah dengan siklus reaksi yang lebih singkat. Sehingga, metode ultrasonik sangat menjanjikan digunakan pada industri yang dapat mengarah terbentuknya pabrik kimia yang lebih kecil dan murah. Namun, pengembangan produksi *biofuel* alga menggunakan metode ultrasonik dalam skala yang besar dan skala komersial masih kurang.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perancangan proses sistem konversi mikroalga melalui tahapan konsep proses, simulasi dan rancang bangun. Pengujian

konversi mikroalga menjadi biofuel dilakukan menggunakan sebuah fasilitas *pilot plant* berkapasitas 20 l/jam di laboratorium PTL-BPPT, Kawasan Puspiptek, Serpong, Banten. Fasilitas pengujian ini adalah salah satu pelopor inovasi teknologi ramah lingkungan untuk mengkonversi biomassa alga menjadi biofuel di Indonesia. Semua eksperimen dilakukan selama 10 bulan dari Mei hingga November 2014.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

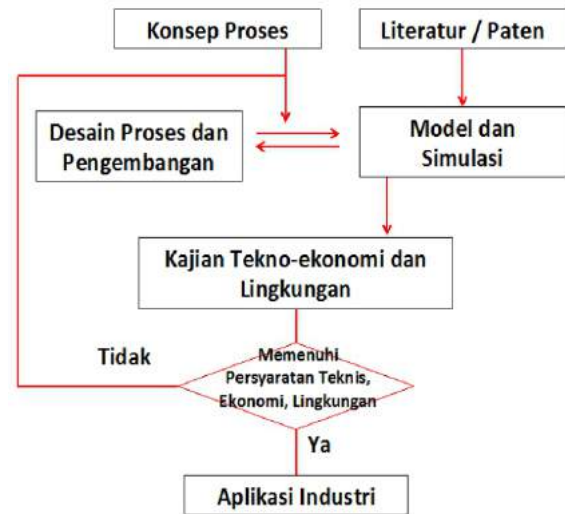
Jenis mikroalga yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Chlorella* sp. *Strain* ini diperoleh dari koleksi di laboratorium PTL. *Chlorella* sp telah dibudidayakan di media cair dalam labu erlenmeyer 250 ml yang berisi 100 mL kultur. Kemudian *Chlorella* sp. ditumbuhkan di bawah LED dengan intensitas cahaya 1000 lux pada suhu 23 ± 2 °C dalam 24 jam selama 10 hari. Nutrisi (N, P, K, dan urea) yang disediakan adalah sebesar 1 g/l dan vitamin (thiamin, biotin dan chyanocobalamin) adalah sebesar 0,1 mg/l. Populasi mikroalga dimonitor setiap 3 hari menggunakan haemositometer (HAE). Setelah sepuluh hari, kultur dipindahkan ke unit fotobioreaktor kapasitas 300 liter. Biomassa mikroalga yang dihasilkan dari unit fotobioreaktor dilakukan pemanenan menggunakan sistem sedimentasi dan selanjutnya biomassa dengan berat air 25-35% digunakan sebagai bahan baku dalam proses konversi. Selain, mikroalga basah, pengujian ini juga menggunakan bubuk kering dari *Chlorella* sp. yang dibeli dari PT. Indoalga Akuakultur, Pasuruan, Jawa Timur. Metanol, n-Hexane dan NaOH di kelas teknis yang digunakan sebagai pelarut ekstraksi yang dibeli dari PT. Pancasakti Putra Kencana, Jakarta.

2.2 Metode

Gambar 1 menunjukkan metodologi umum yang di gunakan dalam penelitian ini. Konsep desain dikembangkan berdasarkan kajian literatur, dokumen paten dan data eksperimen pada skala lab. Data-data tersebut di masukkan dalam proses simulasi untuk menginvestigasi proses yang layak dan handal secara teknis dan ekonomis.

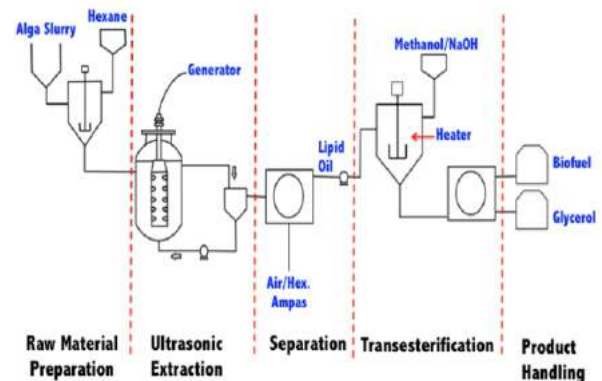
Filosofi diagram alir proses konversi mikroalga untuk biofuel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Proses ini dibagi menjadi lima langkah: (a) persiapan bahan baku; (b) ekstraksi ultrasonik; (c) pemisahan lipid; (d) konversi lipid menjadi asam lemak metil ester (FAME) melalui reaksi transesterifikasi dan (e) penanganan produk. Sistem konversi mikroalga skala percontohan (*pilot plant*) ini dioperasikan secara semi-kontinyu. Dimana, bubur alga (*algae slurry*) dengan kandungan air 25-30% di campurkan dengan pelarut n-heksana (*technical grade, 95%*) dalam sebuah tangki pencampur. Rasio fraksi bubur alga terhadap n-heksana antara 1:3 sampai 1:8 (kg/l). Kecepatan

pengaduk diatur sekitar 60-100 rpm selama 15 menit. Kemudian, produk dari tangki pencampur dialirkan melalui pompa sentrifugal ke dalam tangki ultrasonik yang telah dihubungkan dengan generator ultrasonik hingga menghasilkan gelombang 28 kHz.



Gambar 1. Metodologi yang di gunakan

Tangki ultrasonik akan memecah sel alga untuk selanjutnya dialirkan ke tangki sirkulasi melalui pompa yang dioperasikan secara lawan-arah (*counter-current*). Hal ini diharapkan terbentuk aliran turbulensi dengan angka *Reynold* yang relatif tinggi, sehingga proses pemecahan sel (*cell disruption*) menjadi lebih efektif. Lemak (*lipid*) yang terbentuk dipisahkan di dalam tangki 3 dari ampas alga (*algae debris*), air dan n-heksana. Selanjutnya lipid di alirkan melalui pompa ke tangki transesterifikasi dan dicampurkan dengan pelarut metanol dan katalis basa (NaOH) untuk dipanaskan hingga suhu 55-60 °C selama 1 jam. Rasio fraksi lipid terhadap metanol antara 1:6 sampai dengan 1:12 (kg/l). Sedangkan jumlah katalis basa NaOH yang ditambahkan adalah sebesar 1% dari volume lipid. Pertimbangan rasio alga terhadap pelarut, baik n-heksana ataupun metanol, akan mempengaruhi konversi proses dan biaya.



Gambar 2. Diagram skematik pilot plant kapasitas 20 L/jam produksi alga biofuel

2.3 Analisis

Analisis komposisi *fatty acid methyl ester* (FAME) dalam sampel minyak alga dilakukan menggunakan kromatografi gas spektrometri massa (GC-2010) dilengkapi dengan AOC-5000 autosampler (Shimadzu, Jepang) dengan kolom SHIM-5ms (30 mm x 0,25 mm x 0,25 m). Gas pembawa (*carrier gas*) yang digunakan adalah helium (kemurnian 99,9%) dengan tekanan prakolom 49,7 kPa dan laju alir 1 ml/menit. Suhu kolom diprogram sebagai berikut: 40 °C selama 3 menit, setelah itu 5 °C/menit sampai suhu 230 °C, di mana suhu ini dipertahankan selama 40 menit. Volume injeksi adalah 0,1 mL, suhu injeksi adalah 240 °C dan rasio split 1:30. Suhu sumber ion dan suhu antarmuka yang ditetapkan pada 240 °C. Puncak FAME diidentifikasi dengan perbandingan dengan waktu retensi larutan standar FAME.

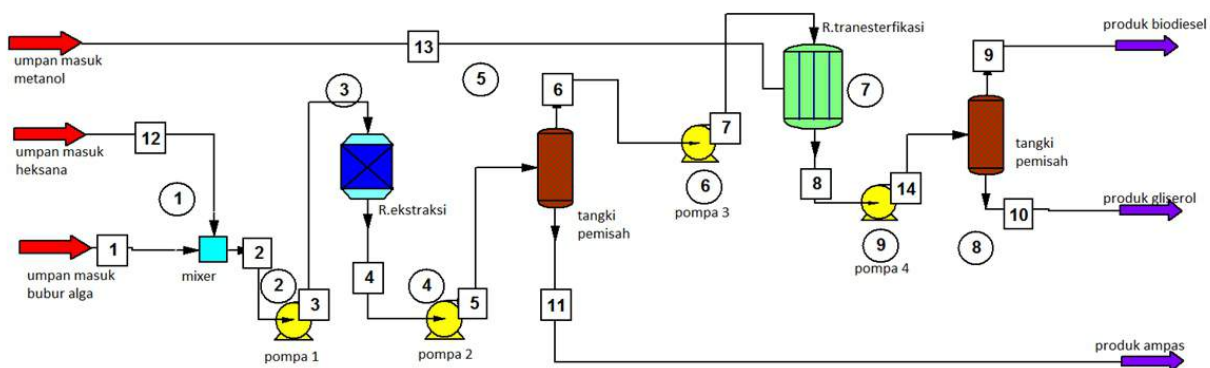
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Simulasi Proses

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian lab (-tidak dipublikasikan-) di simulasi menggunakan perangkat lunak (*Chemical Process Simulation Software - ChemCAD*) untuk memperoleh konsep proses yang paling efektif dan efisien, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tabel 1 dan Table 2 mengilustrasikan hasil simulasi neraca massa dan neraca energi dari pabrik konversi mikroalga ke biofuel kapasitas 10 kg/jam. Perhitungan neraca

massa dan neraca energi merupakan perhitungan kuantitatif dari semua bahan-bahan yang masuk, yang keluar, yang terakumulasi (tersimpan) dan yang terbuang dalam sebuah sistem. Perhitungan ini digunakan untuk mencari variabel proses yang belum diketahui berdasarkan data variabel proses yang telah ditentukan atau diketahui. Oleh karena itu, perlu di susun persamaan matematika yang menghubungkan data variabel proses yang telah diketahui dengan variabel yang ingin dicari. Beberapa variabel proses tersebut antara lain massa dan volume, kecepatan alir (*flow rate*), komposisi kimia dan kondisi operasi (tekanan dan suhu).

Hasil konsep proses ini dapat berupa diagram alir proses (*Process Flow Diagram - PFD*) dan rancangan proses dan instrumentasi (*Process and Instrument Design - P&ID*) untuk reaktor ultrasonik, seperti ditunjukkan pada Gambar 4a dan Gambar 4b. Desain konseptual ini selanjutnya digunakan untuk rancang bangun sistem konversi mikroalga untuk biofuel pada skala percontohan (*bench scale unit*). Selain itu, konsep proses tersebut dapat digunakan untuk membuat rekayasa rancangan awal (*Basic Engineering Design - BED*) dan rancangan detail (*Detail Engineering Design - DED*) untuk aplikasi skala yang lebih besar di industri. Sistem diagram alir proses terdiri dari 1 tangki berpengaduk, 1 tangki pemanas berpengaduk, 1 tangki ekstraksi ultrasonik, 1 tangki sirkulasi, 2 tangki sedimentasi, 4 pompa dan sistem perpipaan.



Gambar 3. Simulasi proses menggunakan software ChemCAD

Dalam simulasi proses digunakan NRTL dan sifat termodinamika RK-Soave. Data termodinamika untuk beberapa trigliserida, asam lemak dan metil ester telah tersedia di CHEMCAD, namun sifat-sifat termodinamika penting tertentu seperti kapasitas panas gas ideal untuk sebagian besar komponen tidak tersedia di *database*. Sifat Termodinamika yang tidak tersedia di ditambahkan dengan metode *user-defined* atau diperkirakan oleh program CHEMCAD dengan perkiraan struktur molekul senyawa. menggunakan metode UNIFAC. Karena *database* komponen tidak

otomatis membedakan antara senyawa cis- dan trans-, sehingga akan terdapat beberapa deviasi antara data termodinamika aktual dan data yang diperkirakan. Na dan OH- ion yang digunakan dalam simulasi, karena simulasi tidak mendukung penggunaan bentuk padat dalam reaksi. Jumlah air ditentukan dengan melakukan analisis sensitivitas air untuk mencapai kemurnian metil ester yang lebih tinggi dari 99,65% berat seperti yang dipersyaratkan oleh SNI untuk kemurnian biodiesel. Selain itu, analisis sensitivitas dilakukan juga untuk laju aliran massa distilat di kolom

distilasi untuk menjamin bahwa kemurnian gliserol lebih tinggi dari 90 % dan suhu gliserol lebih rendah dari suhu dekomposisi 290 °C sesuai dengan yang dipersyaratkan oleh *Material Safety data Sheet* untuk gliserol.

3.2 Konstruksi dan Operasi Proses

Secara umum kegiatan konstruksi membutuhkan gambar teknis (*engineering drawing*) untuk melakukan rancang bangun terhadap sebuah konsep proses. Gambar teknis dibutuhkan untuk mengetahui gambaran detail peralatan yang akan dibuat baik dimensi, bentuk maupun tata letak nya. Dalam hal ini, teknologi konversi mikroalga untuk biofuel skala percontohan ini di desain dengan kapasitas terpasang 30 liter/jam umpan bubuk alga, sehingga volume dan dimensi tangki disesuaikan dengan kapasitas tersebut. Gambar 3 menunjukkan gambaran tiga dimensi dari

peralatan proses konversi mikroalga untuk biofuel yang dibangun dengan *software Plant Design Management System (PDMS)*.

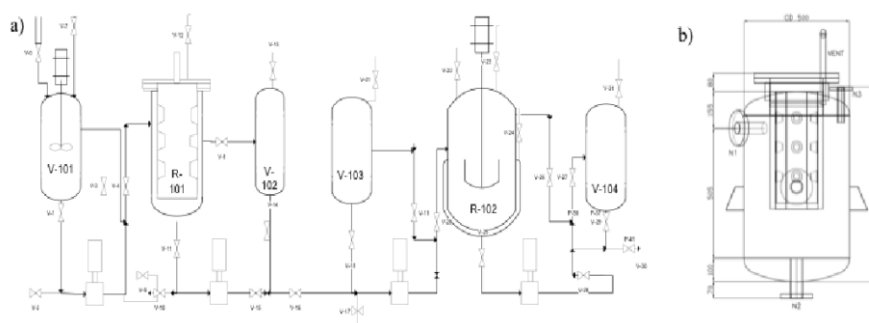
Secara umum kegiatan konstruksi membutuhkan gambar teknis (*engineering drawing*) untuk melakukan rancang bangun terhadap sebuah konsep proses. Gambar teknis dibutuhkan untuk mengetahui gambaran detail peralatan yang akan dibuat baik dimensi, bentuk maupun tata letak nya. Dalam hal ini, teknologi konversi mikroalga untuk biofuel skala percontohan ini di desain dengan kapasitas terpasang 30 liter/jam umpan bubuk alga, sehingga volume dan dimensi tangki disesuaikan dengan kapasitas tersebut. Gambar 3 menunjukkan gambaran tiga dimensi dari peralatan proses konversi mikroalga untuk biofuel yang dibangun dengan *software Plant Design Management System (PDMS)*.

Tabel 1. Neraca massa dengan umpan masuk 10 kg/jam bubuk alga.

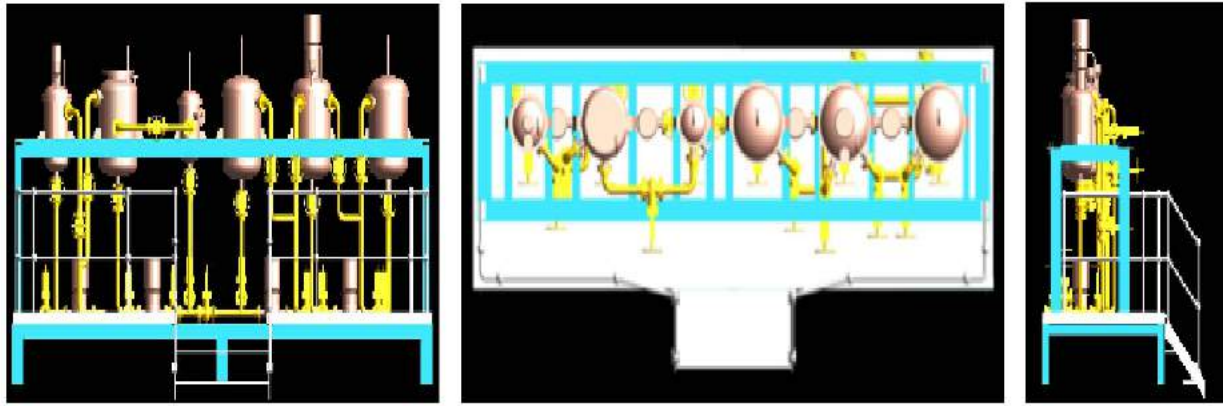
Komponen	Massa (kg/jam)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Water	2,00	2,00	2,00	2,03	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00
Alpha - D-Glucose	6,88	6,88	6,88	7,17	7,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,17	0,00	0,00	0,00
Linoleic-Acid	0,52	0,52	0,52	0,97	0,97	0,88	0,88	0,88	0,79	0,09	0,10	0,00	0,00	0,55
Stearic Acid	0,08	0,08	0,08	0,54	0,54	0,48	0,48	0,48	0,44	0,05	0,05	0,00	0,00	0,15
Hexadecaonic Acid	0,39	0,39	0,39	0,81	0,81	0,37	0,37	0,37	0,65	0,07	0,08	0,00	0,00	0,43
Linolenic Acid	0,39	0,39	0,39	0,84	0,84	0,76	0,76	0,76	0,68	0,08	0,08	0,00	0,00	0,43
Oleic Acid	0,92	0,92	0,92	1,37	1,37	1,24	1,24	1,24	1,11	0,12	0,14	0,00	0,00	0,91
N-Hexanoic Acid	0,19	0,19	0,19	0,38	0,38	0,34	0,34	0,34	0,30	0,03	0,04	0,00	0,00	0,20
N-Hexane	0,00	31,63	31,63	31,77	31,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,77	31,63	0,00	0,00
Mehanol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,62	0,00	50,62	0,00	0,00	50,62	50,62
Sodium Hydroxide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,03

Tabel 2. Neraca energi dengan umpan masuk 10 kg/jam bubuk alga

Parameter	Satuan	Energi													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Total Actual density	kg/m3	1883,74	787,93	787,83	796,64	796,64	892,27	892,27	757,74	867,21	750,36	787,81	651,76	784,99	754,64301
Overall MW		71,41	81,71	81,71	84,85	84,85	250,17	250,17	34,46	250,17	32,29	79,26	86,18	32,05	33,510532
Gross H value (60 oF)	Kcal/kmol	301562,91	785215,63	785215,63	810459,50	810459,50	2309393,50	2309393,50	197022,09	2309393,50	175779,70	759794,88	994857,19	173383,06	186639,48
Net H value (60 oF)	Kcal/kmol	269258,50	723641,31	723641,31	747302,56	2154054,75	2154054,75	174327,09	2154055,00	154418,61	699753,75	920595,88	152181,84	165629,47	0,15
Total entropy		-24,67	-81,77	-81,77	-86,39	-86,39	-6,64	-6,64	-95,55	-5,75	-90,41	-79,88	-56,94	-94,88	93,27234



Gambar 4. (a) Diagram alir konsep proses dan instrumentasi dan (b) Peralatan utama reaktor ultrasonik



Gambar 5. 3D peralatan proses konversi mikroalga dari *software* PDMS

Penentuan spesifikasi peralatan dan material rancang bangun teknologi konversi mikroalga ini didasarkan pada pengembangan konsep proses, hasil perhitungan neraca massa dan neraca energi, dan kapasitas produksi. Seluruh tangki menggunakan material plat stainless steel (SS-304) dengan ketebalan 3 mm. Sistem perpipaan menggunakan tubing Sch. 40 SS 304 ukuran 1 inci. Katup, *fitting elbow*, *knee* dan *tee* serta *flange* tangki menggunakan SS 304. Kapasitas pabrik skala percontohan ini disesuaikan dengan kapasitas produksi biomassa mikroalga yang diperoleh dari fotobioreaktor PTL yaitu sebesar 20-30 liter/jam umpam alga basah (20% berat air). Sehingga, pemilihan peralatan pompa, motor pengaduk, pemanas dan dimensi tangki dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas tersebut. Dalam kegiatan ini yang menjadi fokus utama adalah rancang bangun, spesifikasi dan material untuk peralatan utama yaitu peralatan ekstraksi ultrasonik. Peralatan utama ini merupakan sebuah inovasi teknologi yang dikembangkan oleh Pusat Teknologi Lingkungan yang di rancang-bangun khusus dengan mempertimbangkan prinsip gelombang suara yang dibangkitkan oleh generator ultrasonik. Pemilihan pembangkit (*generator*) ultrasonik dan penghasil gelombang suara (*transducer*) yang digunakan dalam rancang bangun peralatan pada skala percontohan ini berdasarkan hasil pengujian skala lab.

Tangki merupakan salah satu bagian terpenting dalam setiap alat proses. Pada sebagian besar alat proses, tangki sangat diperhatikan dengan beberapa modifikasi sesuai keperluan yang memungkinkan alat beroperasi pada fungsi yang dikehendaki. Biasanya tahap awal dari perancangan tangki adalah pemilihan tipe/bentuk yang paling sesuai dengan konsisi operasi yang diinginkan. Faktor terpenting yang sesuai yang mempengaruhi pemilihan ini adalah: (1). Fungsi dan lokasi tangki; (2). Sifat alamiah dari fluida yang akan digunakan; (3). Suhu dan tekanan operasi; (4). Volume yang dibutuhkan atau kapasitas untuk proses yang akan digunakan. Tangki dapat

diklasifikasikan berdasarkan fungsional operasi, suhu dan tekanan operasi, konstruksi material, dan geometri dari tangki itu sendiri. Tipe tangki yang paling banyak dijumpai dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk geometri tangki, seperti (1). Open and closed tanks; (2). Flat-bottomed; (3). Tangki silindris dengan atap dan dasar tertutup rapat (4). Spherical. Tangki pada setiap klasifikasi ini banyak digunakan sebagai tangki penyimpanan dan tangki proses untuk fluida. Range dari setiap proses untuk tangki dapat disesuaikan, dan tidak mudah untuk memenuhi semua kebutuhan dalam berbagai aplikasi. Sangat mungkin untuk menunjukkan beberapa kegunaan umum dari tipe/bentuk umum tangki. Tangki-tangki yang sesuai untuk proses konversi alga ini dipilih tangki vertikal sistem tertutup dengan hemispherical head dan bottom, kecuali tangki ultrasonik yang sengaja di desain flat head untuk mempermudah perambatan gelombang ultrasonik.

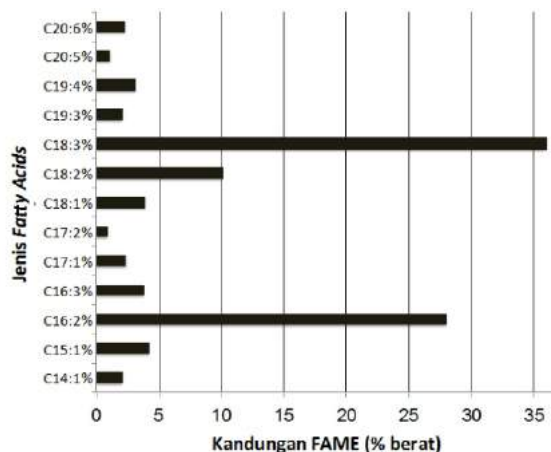
Perencanaan dan pengaturan tata letak pabrik memiliki tujuan untuk mengatur area kerja dan fasilitas produksi yang paling ekonomis dan efektif untuk meningkatkan produktivitas. Tata letak yang baik akan memberikan *output* yang lebih besar dengan biaya yang sama atau bahkan lebih kecil. Dalam perencanaan tata letak pabrik yang baik terdapat prinsip-prinsip dasar harus dipenuhi, yaitu:., semua faktor dan elemen produksi yang ada menjadi satu unit operasi yang besar (*integrated*), meminimalkan jarak perpindahan bahan atau material yang bergerak dari satu operasi ke operasi berikutnya (*minimalization*), aliran kerja dalam pabrik berlangsung dengan lancar dengan menghindari gerakan bolak-balik, gerakan memotong dan kemacetan (*constant*), semua area yang ada dimanfaatkan secara efektif dan efisien (*area utilization*), kepuasan kerja dan rasa aman dari pekeija dijaga dengan sebaik-baiknya (*Welfare*)., pengaturan tata letak pabrik harus fiesibel (*Flexibility*).

3.3 NER dan Kualitas Minyak Alga

Rasio *net* energi juga dihitung untuk mengevaluasi sistem energi. Teknik evaluasi dilakukan oleh

perbandingan dari keseluruhan energi yang dihasilkan dan energi yang dibutuhkan dalam proses produksi [5]. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan lebih efisien dalam penggunaan energi. Teknik ini umumnya digunakan untuk memilih tingkat ekonomi dari proses produksi. Diperoleh bahwa net energi untuk konsep proses ini adalah 2,6. Produksi minyak mikroalga ini dimaksudkan untuk memberikan hasil lipid yang tinggi dan produktivitas biomassa yang tinggi dengan biaya produksi rendah [1-3].

Gambar 6 menunjukkan komposisi FAME dari minyak alga. Berbagai jenis asam lemak jenuh terdeteksi dari *Chlorella* sp.



Gambar 6. Komposisi FAME dari minyak alga

Kualitas biodiesel tergantung pada komposisi ester metil asam lemak [4]. Sifat fatty acid metil ester ditentukan oleh panjang rantai karbon, tingkat ketidakjenuhan dan kandungan alkohol dari asam lemak [5]. Asam palmitat dan asam stearat dikenal sebagai asam lemak yang paling umum yang terkandung dalam biodiesel [1-2]. Dilaporkan bahwa *Chlorella* sp. terdiri dari asam lemak tak jenuh [3]. Pada uji kinerja peralatan pengujian ini, diperoleh bahwa unit peralatan yang dirancang bangun telah menunjukkan potensi untuk menghasilkan minyak alga yang masih memerlukan pemurnian lebih lanjut sesuai dengan spesifikasi standar biodiesel Indonesia.

4. KESIMPULAN

Konsep proses yang dikembangkan dalam penelitian ini merupakan proses alternatif untuk mengkonversi mikroalga menjadi biofuel. Proses tersebut menawarkan beberapa kehandalan seperti mudah dalam pengoperasian, mudah dalam perawatan, dan memiliki kandungan lokal yang relatif tinggi. Selain itu, proses ini ramah terhadap lingkungan dengan meminimalisasi penggunaan pelarut kimia, yang bersifat karsinogenik dan merusak lingkungan. Oleh karena itu, hasil rancangan proses dan rancang bangun pabrik konversi mikroalga skala percontohan ini dapat menjadi pelopor bagi

perkembangan teknologi pemanfaatan karbon dioksida dan biomassa mikroalga untuk energi dan lingkungan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Gao Y., Gregor C., Liang Y., Tang D., Tweed C., Algae biodiesel - a feasibility report, *Chemistry Central Journal*, Vol. 6, 2012, pp 1-16.
- Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S., *Microalgae for biodiesel production and other applications: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14, pp. 217-232.
- Chisti Y., *Biodiesel from microalgae*, *Biotechnology Advances*, 2007, Vol. 5, pp. 294-306.
- Hadiyanto, Widayat, Kumoro C., *Potency of microalgae as biodiesel source in Indonesia*, *International Journal of Renewable Energy Development*, 2012, Vol. 1, pp. 23-27.
- Brennan L., Owende P., *Biofuels from microalgae: A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, Vol. 14, pp. 557-577.
- Chisti Y., *Constraints to commercialization of algal fuels*, *Journal of Biotechnology* 2013, Vol. 167, pp. 201-214.
- Komite Energi Nasional Indonesia, *National Energy Policy Scenario for Indonesia 2050*, Proceedings of National Conference Energy Policy Scenario for Indonesia 2050. Yogyakarta, Indonesia. 2011.
- Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) Republic of Indonesia, *Blueprint of National Energy 2006-2025*, in accordance with Presidential Instruction No. 1 and No. 5/2006, <http://esdm.go.id/> (Access: 23 September 2014)
- Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) - Republic of Indonesia, *Regulatory Process Required to Support National CCS Regulation (Indonesia Case)*, Presented at the 6th meeting of the International Energy Agency CCS Regulatory Network, Paris, France, 27-28 May 2014.
- Dooley J.J., Calvin K.V., *Temporal and spatial deployment of carbon dioxide capture and storage technologies across the representative concentration pathways*, *Energy Procedia*, Vol. 4, 2011, pp. 5845-5852.
- Setiawan A.D., Cuppen E., *Stakeholder perspectives on carbon capture and storage in Indonesia*, *Energy Policy*, Vol. 61, 2013, pp. 1188-1199.
- Bouzalakos S., Maroto-Valer M., *Overview of carbon dioxide capture and storage technology*, in a book chapter *Developments and Innovation in Carbon Dioxide Capture and Storage Technology: Carbon Dioxide Storage and Utilisation*, Woodhead Publishing Series in Energy, Vol. 2, 2010, pp. 1-24.
- Rahmania A., Joko P., Agus R., Zeily N. *Biodiesel production and CO₂ reduction with microalgae photobioreactor*, 2013, Presentation on International seminar on tropical bio-resources for sustainable bio-industry, School of Life Science dan Technology ITB, Bandung, 29-30 October 2013.
- Arata S., Strazza C., Lodi A., Del Borghi A., *Microalgae-based carbon sequestration: growth of spirulina platensis with flue gas feeding*, *Journal of Biotechnology*, Vol. 150, 2010, pp. 279-285.
- USDA Foreign Agricultural Service, *Indonesia Biofuel Annual*, Global Agricultural Information Network, No. ID1420, 2014.

16. Novianto A., *Indonesia biofuel development*, 2008, Presentation on APEC Workshop on Establishment of the Guidelines for the Development of Biodiesel Standards in the APEC Region, Taipei, 16-18 July 2008.