

MODIFIKASI *OSCILLATORY FLOW REACTOR* (OFR) UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI BODIESEL SISTEM KONTINYU

Suryanto¹, Apollo¹, Zulkifli Akmar², dan Ridwansa²

Abstrak: Biodiesel merupakan salah satu jenis biofuel (bahan bakar cair dari pengolahan minyak nabati atau lemak hewani) yang sangat potensial dikembangkan di Indonesia sehingga untuk sistem produksi biodiesel terus dikembangkan guna menghasilkan sistem produksi yang kontinyu, berkualitas dan efisien. Metode yang digunakan untuk memproduksi biodiesel yaitu metode transesterifikasi dengan menggunakan reaktor model *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) sistem kontinyu. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan produksi biodiesel dengan memodifikasi reaktor model *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) pada alat produksi sehingga diperoleh suatu sistem yang kontinyu dengan waktu proses (*resident times*) pada tahapan reaksi yang lebih singkat. Hasil modifikasi *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) dari penelitian ini telah melalui uji kinerja dan uji lab dan dari hasil penelitian ini telah mampu memperpendek waktu reaksi pada pada tahapan reaksi menjadi 2,83 menit sehingga kapasitas produksi alat meningkat sampai 0,1375 liter/detik. Kemudian dari hasil lab menunjukkan kualitas produk sesuai dengan standar ASTM D6751 dan SNI 7182:2012. Maka dari itu modifikasi *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) telah mampu mengoptimasi alat produksi biodiesel sistem kontinyu serta tetap menjaga kualitas produk biodiesel sesuai standar.

Kata Kunci: Biodiesel, Optimasi, *Oscillatory Flow Reactor* (OFR), Transesterifikasi

I. PENDAHULUAN

Pengembangan biodiesel di Indonesia mencakup dua hal penting yakni penyediaan bahan baku (*feedstock*) dan aspek teknikal pada sistem produksi. Pengembangan untuk meningkatkan bahan baku biodiesel sudah menunjukkan kondisi yang positif dengan terus dipacunya perluasan dan pelestarian areal perkebunan untuk bahan baku tersebut. Sementara pada sektor industri biodiesel, masih belum menunjukkan hal yang positif. Tingkat produktifitas biodiesel dalam negeri masih sangat rendah. Oleh karena itu peningkatan produktifitas biodiesel dalam negeri perlu didukung dengan melakukan riset dibidang teknologi produksi biodiesel secara berkesinambungan. Tujuan penelitian ini yaitu memodifikasi unit reaktor model *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) untuk meningkatkan efektifitas produksi biodiesel dengan mengoptimasi desain dan fungsi reaktor untuk memperpendek waktu proses (*resident times*) pada tahapan reaksi sehingga peningkatan produksi dapat dilakukan dengan tetap menjaga kualitas produk biodiesel sesuai standar.

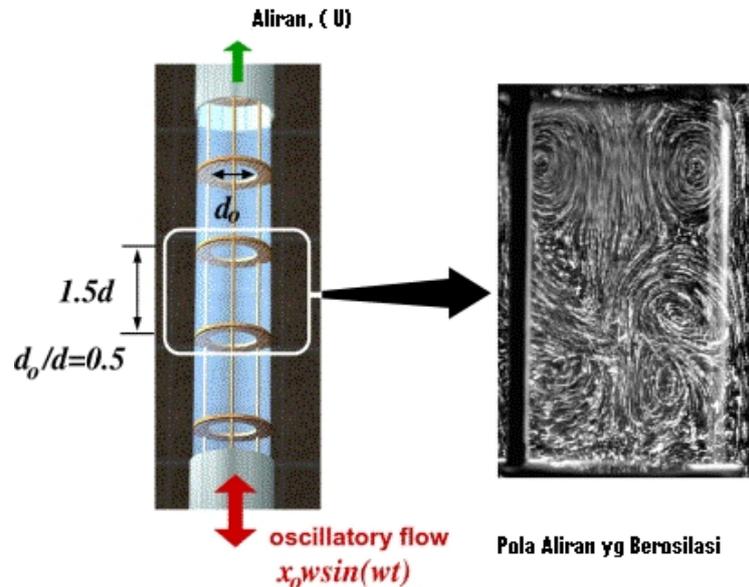
Hasil pengembangan reaktor sistem kontinyu ini telah berhasil dikembangkan oleh beberapa peneliti, seperti misalnya (Harvey A., 2003) yang mengembangkan reaktor model *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) model orifice yang menghasilkan waktu proses hanya 1/8 waktu yang digunakan untuk proses batch sekaligus untuk mengatasi rendahnya kapasitas produksi pada sistem batch. Selain itu dengan menggunakan *Oscillatory Baffle Reactor* sistem kontinyu waktu reaksi lebih cepat yaitu kurang dari 10 menit (Priya S., 2014).

Adapun pengembangan *oscillatory flow reactor* sistem kontinyu juga telah masuk tahap analisi lanjut seperti perhitungan bilangan Reynold (*Reynold number*) dan melihat pola aliran dalam reaktor karena berdasarkan penelitian (Nuno Miguel Fernandes, 2006) bahwa bilangan Reynold pada nilai-nilai rendah ($Re_0 \approx 100 - 300$), dalam reaktor model *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) menunjukkan suatu karakteristik aliran (disebut sebagai modus aliran plug). Di sisi lain untuk nilai-nilai tinggi dari Re_0 , menunjukkan kondisi simetri tidak beraturan dan aliran menjadi intens dicampur dan kacau (disebut sebagai modus pencampuran).

¹ Staf Pengajar D4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

² Alumni Program D4 Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Adapun rancangan *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) yang sudah diteliti dan dikembangkan dengan melihat pola aliran dan memperhitungkan bilangan Reynold-nya terdiri dari suatu tabung dengan panjang tertentu, dimana pada sisi dalam pipa diletakkan orifice pada jarak tertentu untuk memungkinkan reaktan dapat bereaksi secara homogen pada sepanjang alirannya. Jarak antara orifice yang satu dengan lainnya adalah 1,5 kali diameter tabung sementara, diameter lubang orifice 0.5 diameter tabung, desain ini merujuk pada hasil penelitian Harvey seperti terlihat pada Gambar 1.

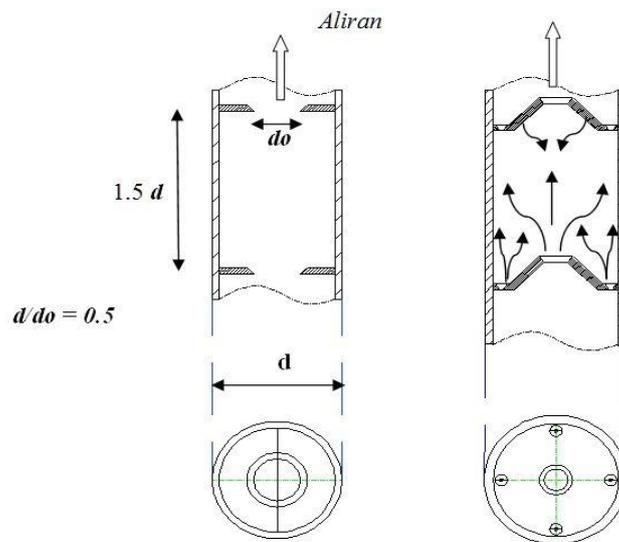


Gambar 1. Posisi Baffles pada Tabung Oscillatory Flow Reactor dan Pola Aliran yang bersilasi (Harvey A., 2003)

Hal yang dilakukan dalam penelitian adalah merubah desain baffle dan orifice yang ada didalam tabung reaksi untuk mendapatkan pola aliran yang lebih optimal untuk menjamin berlangsungnya reaksi lebih homogen walaupun diameter tabung diperbesar, terutama jika diinginkan memperbesar kapasitas produksi untuk skala industri.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, prosedur penelitian dibagi dalam beberapa tahap yakni tahap pembongkaran, proses modifikasi (untuk tujuan optimasi), perakitan ulang, dan tahap proses pengujian. Modifikasi *Oscillatory Flow Reactor* (OFR) dengan tujuan mengoptimalkan produksi biodiesel dan rancangan tersebut bisa dilihat pada gambar 2 berikut.

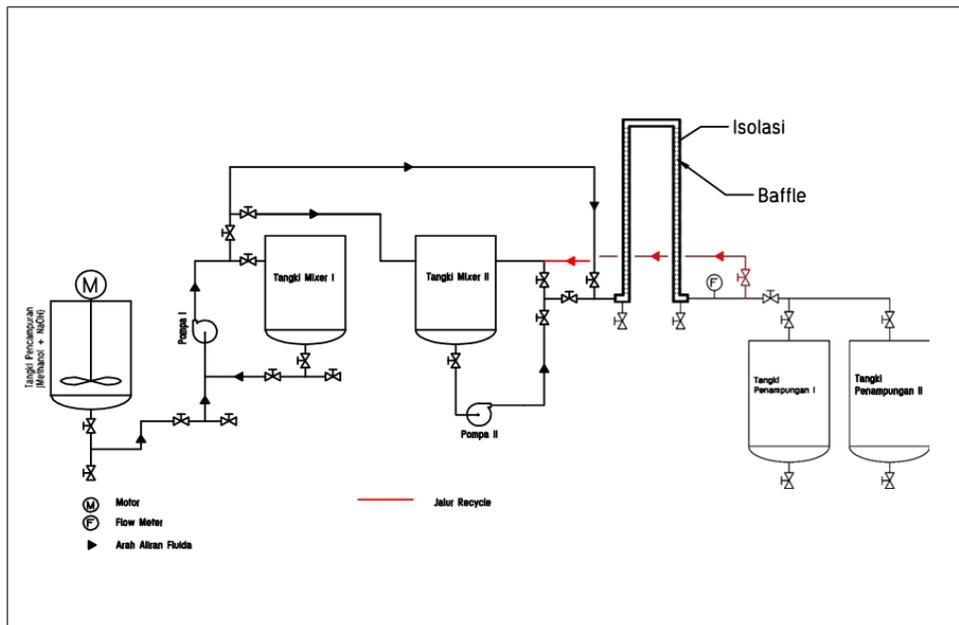


a) Model baffles existing pada unit OFR (penelitian sebelumnya) b) Model baffles modifikasi pada unit OFR

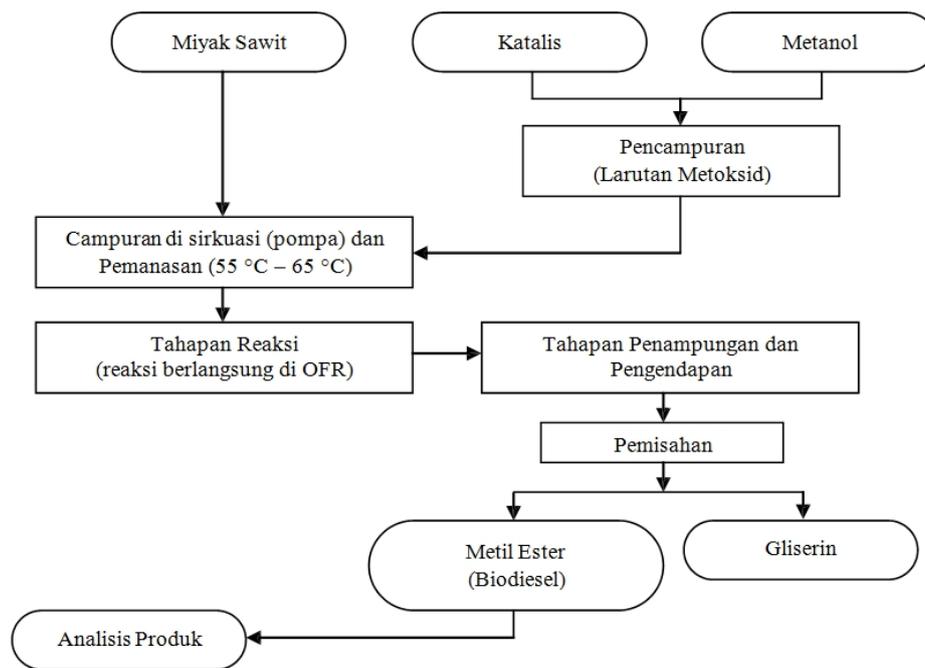
Gambar 2. Modifikasi Desain dan Orifice didalam Tabung Reaktor Osilasi (OFR)

Pada gambar 2 (a) model existing pola aliran dengan menggunakan perbandingan $d/d_o = 0.5$ dengan jarak antara baffles $1.5 d$, menghasilkan pola aliran osilasi yang baik untuk diameter tabung reaksi sampai dengan 1 inci (25,4 mm) diameter dalam (Harvey A., 2003) dan telah diuji dalam proyek akhir (Vikramardeni, 2012). Namun untuk tujuan pengembangan kapasitas produksi yang besar dengan konsekuensi diameter tabung reaksi diperbesar maka, bentuk orifice yang datar dengan hanya satu lubang orifice pada bagian tengah akan menyebabkan osilasi menjadi tidak ideal lagi karena reaktan yang mengalir pada bagian dalam akan cenderung kurang bereaksi dengan reaktan yang berada pada bagian sisi dinding tabung.

Maka dari itu unit reaktor dimodifikasi sesuai gambar 2 (b) untuk melihat efek osilasi yang dihasilkan. Model yang dikembangkan adalah dengan membuat lubang orifice 5 buah pada baffle yang dibentuk dimana 1 lubang orifice yang lebih besar dengan 4 lubang orifice lainnya diameter lebih kecil dibagian sisi yang berdekatan dengan dinding tabung seperti pada gambar 2 (b). Untuk line diagram produksi biodiesel secara kontinyu dapat lihat pada gambar 3 serta ditampilkan bagan alir produksi biodiesel sistem kontinyu pada gambar 4 berikut.



Gambar 3. Line Diagram Produksi Biodiesel Sistem Kontinyu



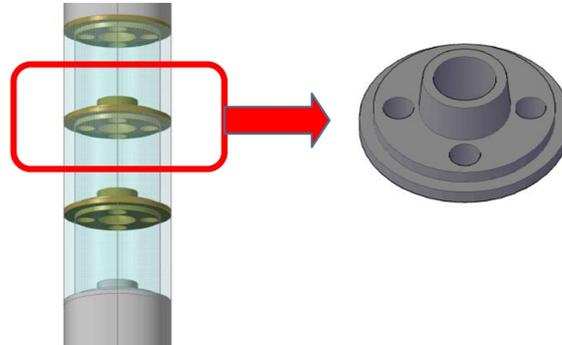
Gambar 4. Bagan Alir Produksi Biodiesel dengan Proses Transesterifikasi

Pada saat melakukan pengujian alat produksi biodiesel, diperoleh data yang dianalisa secara statistik menggunakan metode deskriptif, dimana semua data yang diperoleh di analisa dengan menggunakan persamaan yang berhubungan dengan parameter yang dibutuhkan serta hasil dari perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Selain itu data – data yang didapat kemudian di simulasikan dengan aplikasi pendukung sebagai perbandingan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan dan Pengujian

Total panjang reaktor kontinyu efektif 3 meter dan sepanjang 3,75 meter reaktor terdapat 76 jumlah baffle reaktor dengan bentuk yang simetris terpasang sepanjang silinder reaktor pada jarak yang sama. Adapun model baffle reaktor dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Desain modifikasi baffle *Oscillatory Flow Reactor*

1) Proses pengujian

a. Tahap pencampuran

Tahap pencampuran merupakan tahapan yang pertama dalam proses pengujian ini. Proses awal yaitu dengan mencampurkan methanol dengan sodium hidroksida (NaOH) sebagai katalis didalam tangki pencampuran dengan menggunakan komposisi campuran 3,2 liter methanol dan 120 gram sodium hidroksida (NaOH). Bersamaan dengan itu tangki bahan baku juga diisi dengan minyak sawit.

Proses pengujiannya secara berurutan yaitu sebagai berikut :

- 1) Mengisi tangki bahan baku dengan minyak sawit sebanyak 20 liter.
- 2) Menyalakan heater dengan menekan tombol pada panel untuk pemanasan awal minyak kelapa sawit sampai dengan temperatur berkisar 50 .
- 3) Membuka katup saluran dari tangki reaktor menuju pompa dan menutup katup – katup yang lain.
- 4) Setelah pembukaan katup selesai kemudian dilanjutkan dengan menyalakan pompa untuk membantu pemanasan agar merata.
- 5) Menutup tangki pencampuran dengan rapat kemudian dilakukan pengadukan agar pencampuran cepat larut dan merata antara methanol dengan sodium hidroksida (NaOH).

b. Tahap Reaksi dalam Tangki Pemanas

Pada tahap reaksi dalam tangki pemanas dilakukan pada saat tahap pencampuran dan pengadukan methanol dengan sodium hidroksida (NaOH) selesai kemudian dilakukan pemompaan campuran menuju tangki pemanas dengan katup saluran tangki reaktor ke pompa ditutup dan membuka katup tangki pencampuran antara methanol dan sodium hidroksida (NaOH) kemudian campuran dipompa tersebut menuju tangki pemanas. Pada saat pemompaan campuran selesai maka katup saluran tangki pemanas ke pompa dibuka dan menutup katup tangki pencampuran methanol dengan sodium hidroksida (NaOH). Kemudian pompa kembali mensirkulasikan campur minyak kelapa sawit dengan campuran (methanol dan sodium hidroksida) dengan pemanasan dengan heater dengan range (55 – 70 °C) (Wenten dan Mala., 2010) sedangkan pada pengujian ini temperature yang dipakai dan yaitu pada temperatur 65 °C guna mempercepat reaksi kimia dalam tangki pemanas. Pada saat termokopel mendeteksi temperatur 65 °C maka alat kontrol akan melepas aliran listrik ke heater secara otomatis dan campuran minyak kelapa sawit dengan campuran (methanol dan sodium hidroksida) siap dipompa untuk diproses direaktor.

c. Tahap Reaksi Osilasi

Tahap reaksi osilasi merupakan bagian utama dari perancangan sekaligus penelitian

ini. Tahapan proses pengujiannya yaitu :

1. Setelah didalam tangki heater (pemanas) mencapai temperatur 65 °C maka campuran minyak dengan campuran (methanol dan sodium hidroksida) siap untuk dialirkan menuju reaktor.
2. Sebelum campuran dialirkan maka katup aliran menuju reaktor dibuka dan menutup katup aliran pompa ke tangki .
3. Hasil pemanasan campuran selanjutnya dialirkan langsung ke *Oscillatory Flow Reactor* dan akan mengalami reaksi pencampuran akibat dari faktor tumbukan dalam reaktor yang menghasilkan aliran yang beresilasi.
4. Setelah melewati seluruh rangkaian *Oscillatory Flow Reactor* selanjutnya disalurkan langsung ketangki penampungan produk biodiesel .
5. Untuk pemanasan yang kurang maksimal karena rugi- rugi panas saat mengalami reaksi dalam *Oscillatory Flow Reactor* maka hasilnya akan dialirkan kembali kedalam tangki pencampuran dan akan dipanaskan kembali. Setelah pemanasan ulang selesai dilakukan dan telah mencapai temperatur yang sesuai maka hasil akan dialirkan kembali untuk melewati *Oscillatory Flow Reactor* dengan menggunakan pompa dan hasilnya dialirkan ke tangki pengendapan dan penampungan.

d. Tahap Pengendapan dan Pemisahan Gliserol

Untuk tahap pemisahan gliserol dan biodiesel didasarkan pada prinsip efek gravitasi karena adanya perbedaan densiti antar kedua jenis molekul tersebut. Setelah reaksi kimia dari larutan telah dilakukan pada *Oscillatory Flow Reactor* secara sempurna maka molekul gliserin (produk sampingan untuk bahan baku kosmetik dan sabun) serta monoalkil ester (biosiesel) sebagai produk utama akan berpisah secara alamiah sehingga gliserin yang dihasilkan mengendap dibagian bawah setelah dibiarkan beberapa selang waktu tertentu dan kemudian akan dikeluarkan secara perlahan – lahan. Pada saat semua gliserinnya sudah dikeluarkan maka katup akan ditutup kembali dan menyisahkan biodiesel.

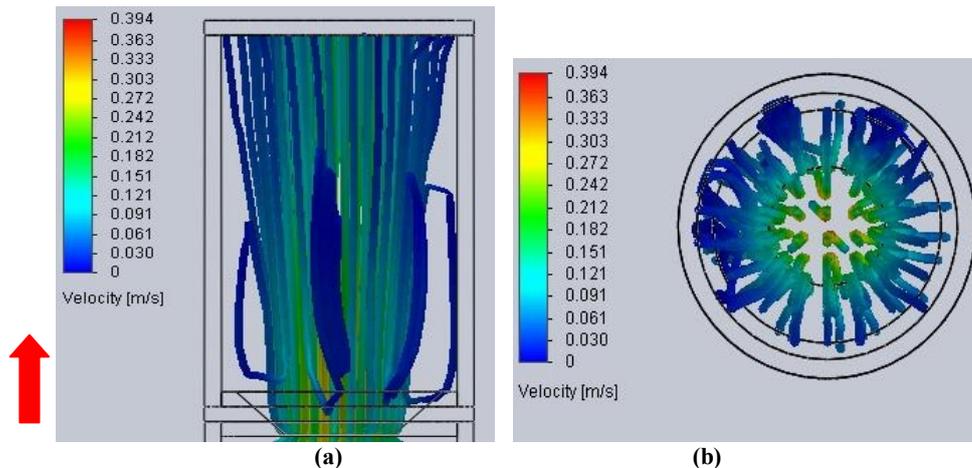
Pengujian dilakukan 3 kali untuk melihat unjuk kerja sistim dan khususnya reaktor kontinyu. Untuk pengujian dalam penelitian ini menggunakan komposisi bahan baku sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Bahan Baku

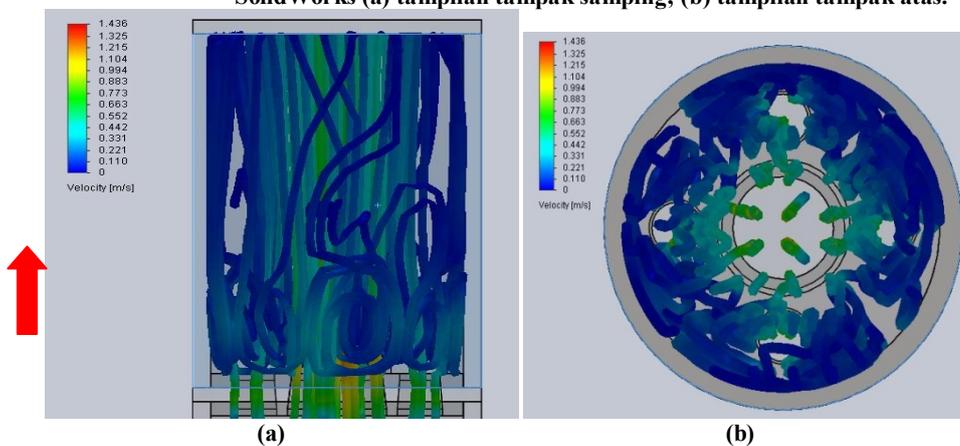
Minyak Sawit (liter)	Methanol (liter)	Katalis (NaOH) (gram)	Persentasi Kelapa Sawit (%)	Persentasi mathanol (%)	Ket
20	3,2	120	84,9	16,1	Rasio molaritas minyak dengan methanol (1,0 : 0,16)

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh maka tingkat efektifitas produksi biodiesel yang dihasilkan yaitu 87,93 % sedangkan produk sampingan yaitu gliserol sebesar 12,07 %. Adapun bilangan Reynold dari modifikasi *Oscillatory Flow Reactor* antara 1435,95 – 4307,84.

Besarnya nilai bilangan reynold dari aliran dapat dilihat pola aliran dari alat *Oscillatory Flow Reactor* dengan menggunakan software SolidWorks sekaligus membandingkan pola aliran reaktor sebelum dimodifikasi dan setelah dimodifikasi yang ditampilkan pada gambar 6 dan gambar 7.



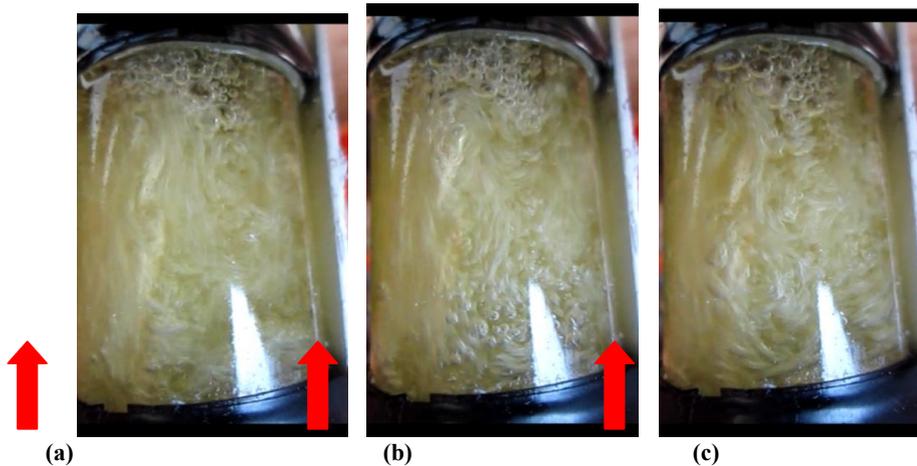
Gambar 6. Pola aliran didalam Oscillatory Flow Reactor sebelum dimodifikasi simulasi dengan SolidWorks (a) tampilan tampak samping; (b) tampilan tampak atas.



Gambar 7. Pola aliran didalam Oscillatory Flow Reactor setelah dimodifikasi simulasi dengan SolidWorks (a) tampilan tampak samping; (b) tampilan tampak atas.

Berdasarkan parameter debit (Q) dan temperatur (T) masukan ke reaktor (P) menampilkan hasil simulasi SolidWorks pola aliran pada reaktor sebelum dimodifikasi yang ditampilkan pada gambar 6 dan pola aliran pada reaktor yang telah dimodifikasi yang ditampilkan pada gambar 7. Hasil kedua gambar tersebut menunjukkan perbandingan pola aliran yang berbeda dimana pada reaktor sebelum modifikasi (gambar 6) menggambarkan pola aliran yang cenderung tidak terlalu bersirkulasi sedangkan pola aliran pada reaktor setelah dimodifikasi (gambar 7) menunjukkan pola aliran yang bersirkulasi secara tidak beraturan. Selain itu hasil simulasi pola aliran reaktor setelah dimodifikasi menampilkan kecepatan aliran dominan yang ditandai dengan warna biru muda yaitu 0,221 m/s dan hasil tersebut tidak jauh beda dengan nilai perhitungan kecepatan secara teori yaitu sebesar 0,254 m/s.

Untuk memvalidasi simulasi aliran dilakukan pengukuran langsung dengan menggunakan pipa glass dengan dipantau kamera high speed yang hasilnya ditampilkan pada gambar 8 berikut



Gambar 8. Pola aliran didalam *oscillatory flow reactor* secara real (kondisi nyata)

Pola aliran dari pengujian langsung yang ditampilkan secara berkelanjutan dimulai dari gambar (a) sampai (c) pada gambar 8 menunjukkan gambar pola aliran yang hampir sama dengan hasil simulasi SolidWorks (gambar 7).

2). Kualitas Produk Biodiesel

Hasil 3 sampel produk biodiesel yang telah dilakukan uji mutu pada lab kimia dan lab energi dengan beberapa parameter penting dari biodiesel (flash point, density, viskositas, nilai kalor). Hasil dari uji mutu tersebut menunjukkan parameter kualitas biodiesel masuk dalam kategori baik, hal demikian karena semua parameter masuk dalam standar pengukuran ASTM D6751 dan SNI 7182:2012. Hasil uji mutu biodiesel yang dilakukan di Laboratorium Kimia dan Laboratorium Energi Politeknik Negeri Ujung pandang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan mutu kualitas biodiesel berdasarkan standar (*American and Indonesian*).

No	Standar Spesifikasi	ASTM D6751	SNI 7182:201	Biodiesel hasil modifikasi
1	Densitas, kg/m^3	860 -900	850 -890	860
2	Viskositas, mm^2/det	1,9 – 6.0	2,3 – 6	1,5 – 4,5
3	Flash point, $^{\circ}C$	≥ 130	Min 100	120 -134
4	Total sulfur, %		0,02	-
5	Nilai Kalor, Mj/kg	-	-	41

3). Efektifitas isolasi *Oscillatory Flow Reactor*

Besarnya efektifitas isolasi dari alat *Oscillatory Flow Reactor* dapat dilihat berdasarkan hasil dari pendataan temperatur secara real time dengan menggunakan alat kontrol Pico AO015/132 dengan pendataan temperatur pada *Oscillatory Flow Reactor* dilakukan sebelum masuk reaktor dan sesudah reaktor dan penunjukkan temperatur sebelum masuk reaktor yaitu berkisar di $65^{\circ}C$ dan untuk sisi keluarannya menunjukkan temperatur berkisar $63^{\circ}C$.

Hal tersebut menunjukkan efektifitas dari isolasi pada reaktor berfungsi dengan baik karena perubahan temperatur mulai dari masuk sampai keluar dari reaktor tidak mengalami penurunan secara signifikan.

Selanjutnya data yang telah diperoleh, dibandingkan dengan perolehan data dari penelitian sebelumnya. Penyajian data ini bertujuan menilai apakah modifikasi yang dilakukan berhasil membuat kinerja dari sistem menjadi lebih optimal dari penelitian sebelumnya. Adapun data perbandingan dari penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Hasil data sebelum dan setelah dimodifikasi *Oscillatory flow reactor*

No.	Parameter	Percobaan			Rata- Rata
		I	II	III	
1.	Waktu reaksi di reaktor (menit)	Sebelum Modifikasi	8,00	9,00	8,50
		Setelah Modifikasi	3,00	2,50	3,00
2.	Persentase Biodiesel (%)	Sebelum Modifikasi	84,00	82,50	82,50
		Setelah Modifikasi	87,93	87,06	88,80
3.	Persentase gliserol (%)	Sebelum Modifikasi	16,00	17,50	17,50
		Setelah Modifikasi	12,07	12,94	11,20
4.	Kecepatan aliran (mm/dtk)	Sebelum Modifikasi	87,13	77,45	82,00
		Setelah Modifikasi	223,70	306,05	223,70
5.	Qbio (liter/detik)	Sebelum Modifikasi	0.0442	0.1547	0.03926
		Setelah Modifikasi	0.1289	0.1546	0.1289
6.	<i>Reynold</i>	Sebelum Modifikasi	403.2042	594.6243	659.5833
		Setelah Modifikasi	1431.5862	1717.9034	4294.7586

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil modifikasi dan pengujian *Oscillatory Flow Reactor* sistem kontinyu untuk produksi biodiesel dapat disimpulkan bahwa :

1. Komponen – komponen yang telah dirancang bangun yaitu :
 - a. Reaktor Osilasi (*Oscillatory Flow Reactor*) yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi pencampuran secara sempurna untuk menghasilkan biodiesel.
 - b. Instalasi pemipaan dan instalasi kelistrikan sebagai komponen pendukung dari reaktor sistem kontinyu.
 - c. Penambahan alat pengukur temperatur untuk pendataan temperatur reaktan secara real time.
2. Modifikasi dari *Oscillatory Flow Reactor* sistem kontinyu pada alat produksi biodiesel mampu memperpendek durasi waktu proses reaksi dari 8,5 menit menjadi 2,83 menit sehingga modifikasi *Oscillatory Flow Reactor* ini lebih efisien sekaligus mampu meningkatkan kapasitas produksi dan tetap menjaga kualitas sesuai dengan standar.
3. Efektifitas kinerja dari *Oscillatory Flow Reactor* mampu meningkatkan kecepatan aliran dalam reaktor. Hal ini disebabkan karena model baffle reaktor yang berbentuk nosel dan penambahan lubang menjadi lima buah. Selain itu bilangan reynold yang didapatkan menunjukkan aliran dalam reaktor dalam kondisi laminar dan pada percobaan III aliran Turbulen dengan nilai Re berkisar antara 1435,95– 4307,84.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Biodiesel Times. 2005. *Biodiesel Times – Biodiesel*. [Online]. (<http://biodiesel.barrel.net/biodiesel/>. diakses 23 Januari 2014).
- Fajrin. 2012. *BIOSOLAR: Pertamina Klaim Peningkatan Penjualan*. [Online].(<http://industri.bisnis.com/read/20120719/44/86941/biosolar-pertamina-klaim-peningkatan-penjualan>. diakses tanggal 16 September 2014).
- Gerpen J. H. Van ,B. B. He, J. C. Thompson, and D. W. Routt. 2007. *Moisture Absorption in Biodiesel and its Petro-diesel blends, American Society of Agricultural and Biological Engineers*. ISSN 0883–8542.
- Hikmah, Maharani Nurul. dan Zuliyana. 2010. *Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Dedak Dan Metanol Dengan Proses Esterifikasi Dan Transesterifikasi*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Harvey A. 2003. *Process Intensification of Biodiesel Production Using a Con- tinuous Oscillatory Flow Reactor*. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. The University of Cambridge : United Kingdom.
- Kementrian ESDM. 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*. [pdf]. (<http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain/docdownload/714-blue-print->

- [pengelolaan-energi-nasional-](#) diunduh tanggal 27 Februari 2014).
- Kementrian ESDM. 2014. *Peresmian (Launching) Uji Jalan (Road Test) Pemanfaatan Biodiesel (B20) Pada Kendaraan Bermotor*. [Online]. (<http://www.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/6874-peresmian-launching-uji-jalan-road-test-pemanfaatan-biodiesel-b20-pada-kendaraan-bermotor.html> diakses tanggal 16 September 2014).
- Musanif Jamil. *Biodiesel*. [pdf]. (<http://pphp.deptan.go.id/xplore/view.php?file=PENGOLAHANHASIL/BioEnergiLingkungan/BioEnergiPerdesaan/BIOFUEL/Biodiesel/Biodiesel.pdf>. diunduh tanggal 29 Januari 2014).
- Miguel Fernandes Reis Nuno. 2006. *Novel Oscillatory Flow Reactors for Biotechnological Applications*. Universidade do Minho
- Priya S Dhote, V.N. Ganvir. 2014. *Methanolysis of High FFA Mahua Oil in An Oscillatory Baffled (batch) Reactor*. International Journal of Chemical and Physical Sciences. ISSN:2319-6602.
- Yunus Vikramardeni. 2012. *Rancang Bangun dan Pengujian Reaktor Sistem Kontinyu untuk Produksi Biodiesel (Laporan Tugas Akhir)*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Wenten, I Gede dan Nasution, Mala Hayati. 2010. *Review Proses Produksi Biodiesel dengan Menggunakan Membran Reaktor*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses ISSN : 1411-4216