

Rerkayasa Mekanisme Pengadukan Dengan Metode Static Mixer Untuk Meningkatkan Efisiensi Proses Transesterifikasi Minyak Nabati Menjadi Biodiesel¹

Rizal Alamsyah², Armansyah H. Tambunan³, Y. Aris Purwanto³, Dadan Kusdiana⁴

ABSTRAK

Perancangan mekanisme pengadukan (*mixing*) yang efektif sangat diperlukan untuk mengefisienkan mekanisme *mixing* dalam pengolahan biodiesel. Secara prinsip homogenisasi dari suatu campuran merupakan fungsi dari *shear stress* yang diberikan. Menurut Paul et al (2003) *shear stress* (τ) yang terjadi dalam sistem pencampuran *static mixer* semakin besar karena gaya inersia (F) yang dihasilkan cukup besar. Nilai *Shear stress* yang besar ini diakibatkan adanya mekanisme pembalikan fluida dalam struktur elemen. Mekanisme pencampuran fluida yang dihasilkannya terdiri dari: 1) pembagian (*dividing*), 2) pemutaran (*rotating*), 3) penghubungan (*channelling*), 4) pembelokkan fluida. Mekanisme *mixing* ini tidak diemukan dalam sistem mixing konvensional seperti dalam reaktor yang menggunakan balde agitator atau stirrer (CSTR-continues stirrer reactor tank)).

Tujuan penelitian ini adalah 1) untuk merancang proses transesterifikasi dan reaktor biodiesel dengan *sistem static mixer* secara *batch* dan 2) untuk melakukan analisis mutu biodiesel hasil proses transesterifikasi minyak sawit dengan reaktor *static mixer* cara *batch*. Penelitian dilakukan dilaksanakan di Workshop Balai Besar Industri Agro (BBIA) Bogor mulai bulan Januari hingga Agustus 2008 dan Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian Departemen teknik Pertanian IPB.

Static mixer yang dirancang berbentuk (geometri) *helix* yang terdiri dari 5 elemen berdiameter 3 cm dan panjang masing-masing 6 cm. Elemen *static mixer* yang dirancang berbentuk plat empat persegi panjang (*rectangular*) yang diputar 180°. Mekanisme aliran dalam *static mixer* adalah pada tahap awal fluida dipecah dalam elemen pertama, dan aliran (channel) yang dihasilkan kemudian diputar 180°. Setiap channel dipecah kembali dan diputar 180° dalam arah yang berlawanan. Posisi elemen diatur sedemikian rupa sehingga membentuk sudut 90°. Sistem tenaga penggerak (pompa) yang dirancang sebesar 100 watt. Rancangan struktural reaktor terdiri dari 1) tangki reaktor, 2) static mixer, 3) pompa, 4) kondenser, 5) pipa saluran, 6) heater. Kapasitas reaktor yang dirancang adalah 20 liter.

Tahapan pengolahan biodiesel terdiri dari: 1) pengecekan bilangan asam lemak bebas (FFA) minyak nabati, 2) pengkondisian suhu dan jumlah metanol-katalis (KOH)-minyak nabati, 3) pemisahan gliserol dan pencucian biodiesel, dan 4) pemurnian biodiesel. Proses transesterifikasi dilakukan menggunakan perbandingan molar rasio minyak nabati : metanol = 1 : 6 (total campuran reaktan 16,5 liter) dengan katalis 1 % dari minyak nabati. Transesterifikasi dilakukan pada suhu 70°C dengan waktu

¹ Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

² Mahasiswa S3, Ilmu Keteknikan Pertanian, Bidang Keahlian Energi Terbarukan, IPB
Alamat korepondensi (Fax/, Email) : (0251) 8323339 / rizalams@yahoo.com, rizalams@gmail.com, cabi@bbia.go.id

³ Departement Keteknikan Pertanian (IPB)

⁴ Direktorat Energi terbarukan dan Konservasi Energi, Departemen Energi Sumber Daya Mineral (ESDM)

pengamatan selama 90 menit. Parameter mutu biodiesel yang digunakan adalah parameter utama antara lain 1) kandungan metal ester, 2) viskositas, kinematik, 3) berat jenis, 4) gliserol total, dan 5) gliserol total (yang dipersyaratkan SNI 04-7182-2006).

Dari hasil pengujian diperoleh waktu yang diperlukan dalam proses transesterifikasi adalah 20 menit (40 menit lebih cepat dibandingkan dengan metoda pengadukan stirer atau blade agitator) (Darnoko dan Cheryan, 200; Friedman, 1986). Mutu biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dengan kandungan metal ester 99,3 %, viskositas kinematik 2,04 cst, gliserol bebas 0,0845% , gliserol total 0,0683%. Kesimpulan, hasil rekasi pengolahan biodiesel dengan *static mixer* memberikan waktu mixing lebih pendek dalam proses transesterifikasi dengan hasil mutu sesuai yang dipersyaratkan dalam SNI 04-7182-2006.

Kata kunci: reactor static mixer reactor, mekanisme mixing, transesterifikasin, biodiesel, dan shear stress

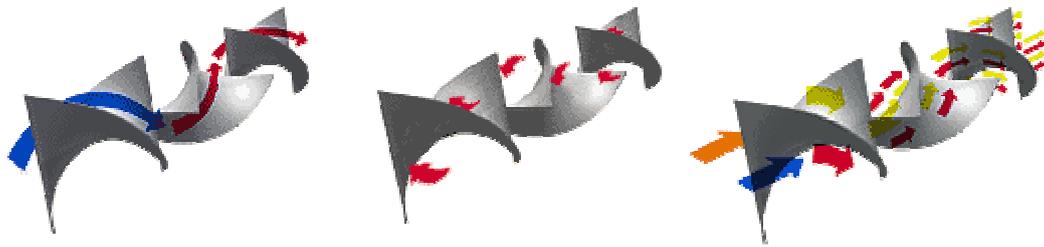
A. PENDAHULUAN

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar substitusi solar harus diikuti dengan pengembangan teknologi proses yang efisien dan ekonomis. Biodiesel merupakan metil ester (*fatty acid methyl ester*) yang diproses dengan cara transesterifikasi antara trigliserida yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol rantai pendek terutama metanol untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Mittelbach, M. and Reshmidt, C., 2004; Knothe, 2005). Sejauh ini teknik produksi biodiesel umumnya dilakukan dengan proses transesterifikasi menggunakan katalis basa.

Waktu reaksi yang relatif lama dan konsumsi energi yang tinggi merupakan kendala dalam pengolahan biodiesel dari minyak nabati dengan metoda katalitik basa. Lamanya reaksi disebabkan laju reaksi pembentukan metil ester (biodiesel) masih lambat. Lambatnya pembentukan metil ester ini erat kaitannya dengan mekanisme pengadukan yang selama ini digunakan. Secara komersial pengolahan biodiesel menggunakan reaktor CSTR (*Continues stirred reactor tank*) yang dilengkapi dengan *blade agitator* untuk melangsungkan reaksi transesterifikasi (*mixing*). Persoalan dengan sistem pengadukan bahan seperti ini adalah dua fase bahan dalam reaksi sulit bercampur. Bila putaran *blade agitator* tidak tinggi akan memberikan efek pencampuran yang tidak maksimal (laju reaksi yang lambat), sehingga sulit untuk mendapatkan waktu reaksi yang singkat (konsumsi energi cukup tinggi). Dengan sistem ini untuk mencapai konversi metil ester sempurna (>96,5 %) diperlukan waktu proses transesterifikasi sekitar 1 jam (Darnoko dan Cheryan, 2000; Friedman et al, 1984; Alamsyah, 2007)

Untuk memecahkan masalah ini diperlukan suatu reaktor proses dengan pengolahan sehingga proses dapat dilangsungkan dengan waktu yang relatif singkat dan penggunaan energi yang lebih kecil. Salah satu metode yang bisa diterapkan adalah dengan penerapan sistem pengadukan *static-spray mixer*. Mekanisme pengadukan dengan *static mixer* adalah suatu sistem pengadukan yang menggabungkan mekanisme pencampuran bahan dengan cara *dividing* (membagi), *rotating* (memutar), *channeling* (menghubungkan), *diverting* (membelokkan), dan *recombining* (menggabungkan kembali) aliran atau bahan yang dicampur (Oldshoe, 1983; Paul et al., 2003; Kenics, 2007). Di samping itu tenaga listrik untuk pompa yang digunakan untuk static mixer cukup rendah.

Static-mixer merupakan rangkaian elemen untuk pencampuran yang diletakkan dalam sebuah pipa dan menggunakan energi dari aliran untuk menciptakan pencampuran antara dua atau lebih fluida. Menurut Paul et al (2003) dan Oldshoe (1983), *shear stress* yang terjadi dalam sistem pencampuran static mixer akan semakin besar karena *shear stress* yang dihasilkan cukup besar. Nilai *Shear stress* yang besar ini adanya mekanisme pembagian, pembalikan, pembelokan, dan penyatuan fluida



Gambar 1. Bentuk elemen dari *static mixer*

Pengadukan (*mixing*) terkait dengan frekuensi (persentase) tumbukan antara bahan yang bereaksi, di samping sangat bergantung dari *shear stress* (τ) atau gaya geser antara reaktan dalam proses tranesterifikasi (Oldshoe, 1983). Dinyatakan pula semakin besar nilai *shear stress* yang diberikan maka efektifitas homogenisasi semakin tinggi. Jadi secara prinsip homogenisasi dari suatu campuran merupakan fungsi dari *shear stress* yang diberikan.

B. TUJUAN PENELITIAN

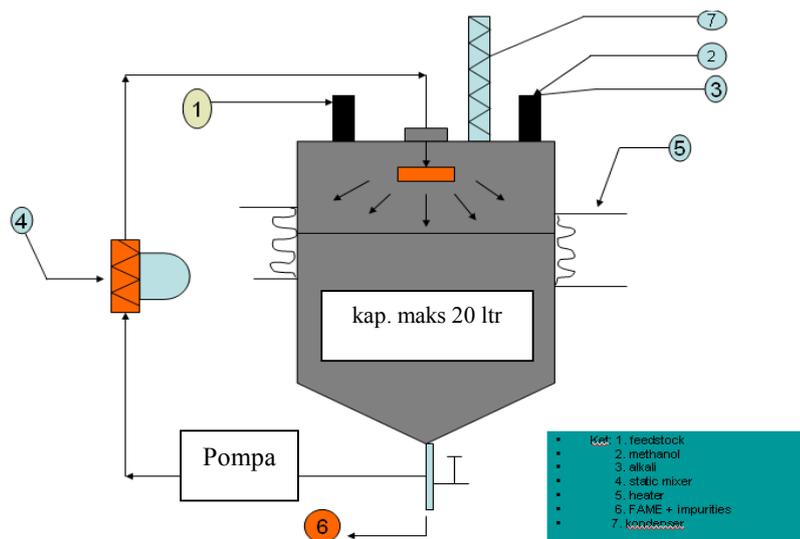
Tujuan penelitian adalah untuk merekayasa reaksi pengolahan dan reaktor pengolahan biodisel dari minyak sawit dengan sistem *static-spray mixer* sehingga diperoleh waktu tranesterifikasi lebih singkat dibandingkan reaktor yang menggunakan *blade agitator (stirrer)*.

C. METODOLOGI PENELITIAN

1. Perancangan Alat

Analisis rancangan reaktor dibuat didasarkan atas skala kapasitas alat dengan volume 20 liter. Rancangan struktural reaktor tranesterifikasi terdiri dari 1) tangki

reaktor, 2) static mixer, 3) *sprayer*, 4) *heater*, 5) kondenser, 6) *hoper feedstock*, 7) *hoper metanol dan alkali*, 8) kran produk, 9) kaca duga, 10) rangka . Rancangan fungsional reaktor dapat dijelaskan sebagai berikut. Tangki berfungsi untuk melangsungkan reaksi transesterifikasi (bisa untuk reaksi esterifikasi bila diperlukan), pengadukan, dan *drying*. *Static mixer* dan *sprayer* atau *spuyer* digunakan untuk melangsungkan pengadukan atau pencampuran yang intensif (*vigorous stirring*). Kondenser berfungsi untuk mengkondensasi metanol, *hoper feedstock* dan *hoper metanol – alkali* digunakan untuk pemasukan bahan-bahan tersebut. Kran produk berfungsi untuk mengalirkan (*drain*) biodiesel dan gliserol. Kaca duga untuk mengamati lapisan metil ester dan gliserol serta rangka untuk menyangga reaktor. Secara skematis rancangan reaktor disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Rancangan Reaktor biodiesel



Gambar 2. Rancangan Static mixer

Static mixer yang dirancang berbentuk (geometri) *helix* yang terdiri dari 6 elemen berdiameter 3 cm dan panjang masing-masing 5 cm. Elemen *static mixer* yang dirancang berbentuk plat empat persegi panjang (*rectangular*) yang diputar 180°. Mekanisme aliran dalam *static mixer* adalah pada tahap awal fluida dipecah dalam elemen pertama, dan aliran (*channel*) yang dihasilkan kemudian diputar 180°. Setiap *channel* dipecah kembali dan diputar 180° dalam arah yang berlawanan .

2. Percobaan

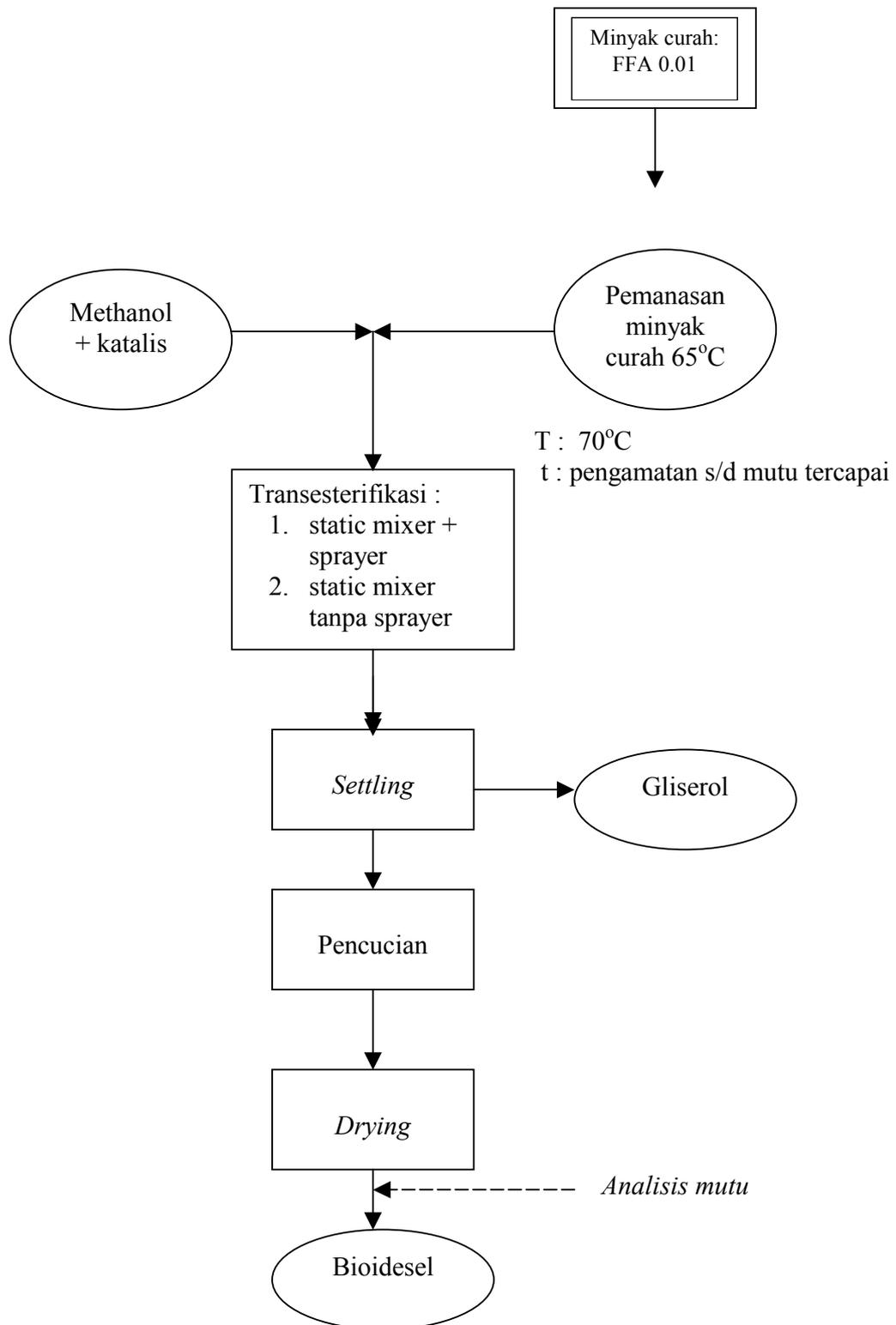
Percobaan reaktor dilakukan dengan kondisi: 1) menggunakan *static mixer* dan *sprayer* (percobaan I), dan 2) menggunakan *static mixer* -tanpa *sprayer* (percobaan II). Percobaan di atas dilakukan dengan kecepatan aliran fluida cepat (maksimal). Jumlah volume bahan yang direaksikan adalah 16,5 liter dengan molar rasio 1 : 6 (minyak terhadap metanol) dengan suhu transesterifikasi mendekati 70 °C. Prosedur percobaan pengolahan biodiesel disajikan dalam **Gambar 3**.

Percobaan I

Static mixer	:	digunakan
Spuyer (<i>sprayer</i>)	:	tidak digunakan
Diameter elemen static mixer	:	3 cm
Katalis	:	KOH (1 % dari TG)
Suhu proses	:	70 °C
Mol	:	1 mol TG (minyak curah) : 6 mol methanol
Volume bahan	:	11 liter TG (minyak curah) + 5,5 liter methanol

Percobaan II

Static mixer	:	digunakan
Spuyer (<i>sprayer</i>)	:	digunakan
Diameter elemen static mixer	:	3 cm
Katalis	:	KOH (1 % dari TG)
Suhu proses	:	70 °C
Mol	:	1 mol TG (minyak curah) : 6 mol methanol
Volume bahan	:	11 liter TG (minyak curah) + 5,5 liter methanol



Gambar 3. Prosedur percobaan (experimenta) pengolahan biodiesel

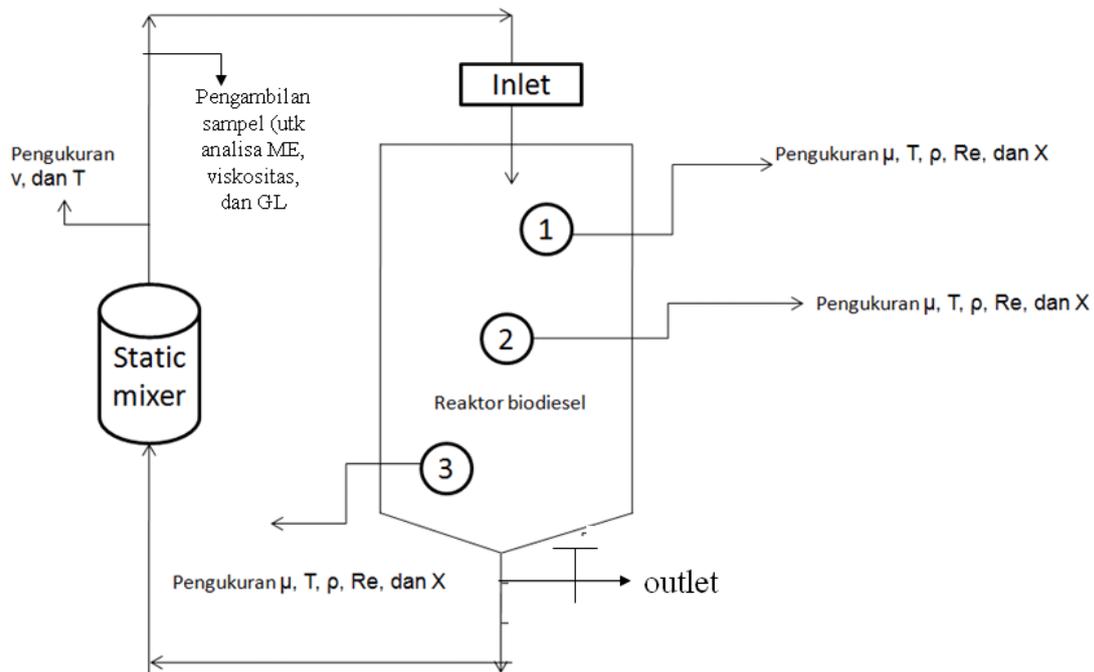
3. Parameter Ukur dan Pengukuran

a. Parameter Mutu Biodiesel

Kinerja reaktor transesterifikasi dapat dilihat dari efektifitas reaksi dan mutu biodiesel yang dihasilkan. Efektifitas reaksi bisa dilihat dari: 1) *yield* (jumlah) biodiesel yang dihasilkan, 2) waktu reaksi yang diperlukan hingga mutu yang dipersyaratkan tercapai, dan 3) parameter mutu utama biodiesel yang ditentukan (SNI 04-7128-2006). Parameter mutu utama biodiesel terdiri dari: 1) viskositas, 2) kandungan metil ester, 3) gliserol bebas, dan 4) gliserol total. Parameter utama biodiesel dianalisa dengan menggunakan metoda uji SNI 04-7128-2006. Viskositas kinematik diukur pada suhu 40 oC, sedangkan untuk analisa metil ester dengan titrasi/ perhitungan, gliserol bebas (AOCS Ca 14-56 /titrasi), dan total gliserol (AOCS Ca 14-56/titrasi). Parameter lain dalam SNI biodiesel tidak diamati karena nilai parameter lainnya dipengaruhi oleh bahan baku, tidak hanya didasarkan kinerja reaktor (Soerawidjaja, 2008).

b. Pengukuran

Untuk melihat kinerja reaktor selama proses pengolahan biodiesel dilakukan pengambilan sampel hasil untuk dianalisa. Pengukuran dilakukan untuk selang waktu 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, dan 90 menit. Sampel dianalisa dengan acuan (SNI 04-7128-2006). Di samping itu dilakukan pengukuran kecepatan alir, suhu (larutan, dinding reaktor, suhu lingkungan). Posisi pengukuran pengamatan dapat dilihat pada **Gambar 4**. Posisi pengambilan sampel dilakukan pada titik setelah bahan keluar dari static mixer.



Gambar 4. Posisi pengukuran / pengamatan proses

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil percobaan static mixer menunjukkan bahwa *static mixer* sangat berperan dalam berlangsungnya reaksi transesterifikasi. Hasil pengamatan menunjukkan beberapa saat trigliserida (minyak curah dengan suhu 65°C) dan metanol (suhu 65°C) bercampur metil ester langsung terbentuk. Untuk mencapai suhu campuran 68-70 oC diperlukan waktu sekitar 20 menit.

Pompa merupakan salah satu elemen reaktor untuk mengalirkan campuran menuju static mixer. Dari hasil pengukuran laju volumetrik campuran 0,35 liter/detik dan kecepatan alir 1,25 m/detk. Total kebutuhan head sepanjang 1,305 m dengan sebuah static mixer 30 cm adalah 24,75 cm. Dari hasil perhitungan didapatkan daya hidrolis 72,74 watt. Sedangkan daya pompa yang tersedia 100 watt, sehingga efisiensi penggunaan daya pompa adalah 72,74 %.

Hasil percobaan baik pada percobaan I maupun percobaan II ditabulasikan dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2** di bawah ini. Secara umum hasil kedua percobaan tersebut mutu biodiesel yang telah memenuhi persyaratan mutu yang ditentukan. Konversi trigliserida

menjadi metil ester untuk seluruh percobaan memenuhi jumlah persyaratan yang ditentukan (lebih besar dari yang ditentukan SNI 96,5 %) baik untuk hasil percobaan I di mana (*static mixer dan sprayer/spuyer*) maupun untuk percobaan II (*static mixer tanpa sprayer*) Untuk percobaan I

Tabel 1. Konversi metil ester, viskositas metil ester, dan kandungan gliserol hasil pengolahan minyak curah menjadi biodiesel (*static mixer +sprayer*)

Menit ke	viskositas	% Metil ester	Gliserol bebas	Gliserol total	Bilangan penyabunan (As), mg KOH/g	Angka asam (Aa)
0, 5, 10, dan 15	-	-	-	-	-	-
20	2,04	99,2963	0,0845	0,0683	152,031	0,7574
30	2,05	99,2688	0,0845	0,0883	158,763	0,7574
60	2,05	99,2342	0,0956	0,0956	155,958	0,7574
90	2,05	99,2212	0,0845	0,0905	150,348	0,7574

Ket: pada menit ke 20 tercapai suhu 70 °C,

Tabel 2. Volume biodiesel terbentuk (*static mixer +sprayer*)

Menit ke	Biodiesel yang di ambil (ml)	Gliserol (ml)	Biodiesel sebelum di cuci (ml)	Biodiesel sesudah di cuci (ml)	Biodiesel setelah di drying (ml)
20	143	25	118	116	112
30	145	35	110	107	105
60	148	34	114	110	109
90	146	34	112	109	109

Tabel 3. Konversi metil ester, viskositas metil ester, dan kandungan gliserol hasil pengolahan minyak curah menjadi biodiesel (*static mixer + tanpa sprayer*)

Menit ke	viskositas	% Metil ester	Gliserol bebas	Gliserol total	Bilangan penyabunan (As), mg KOH/g	Angka asam (Aa)
0, 5, 10, dan 15	-	-	-	-	-	-
20	2,05	98,7	0,01	0,24	143,616	0,7574
30	2,05	99,0	0,017	0,2	140,25	0,7574
60	2,01	99,1	0,02	0,18	147,54	0,7574
90	1.98	99,1	0,04	0,186	145,86	0,7574

Ket: pada menit ke 20 tercapai suhu 70 °C,

Tabel 4. Volume biodiesel terbentuk (static mixer + tanpa sprayer)

Menit ke	Biodiesel yang di ambil (ml)	Gliserol (ml)	Biodiesel sebelum di cuci (ml)	Biodiesel sesudah di cuci (ml)	Biodiesel setelah di drying (ml)
20	150	30	118	116	110
30	150	35	114	112	107
60	150	35	115	113	108
90	150	35	115	113	108

E. KESIMPULAN

1. Waktu reaksi tranesterifikasi minyak nabati bisa dikurangi dengan dengan mekanisme pengadukan *static mixer* baik yang dilengkapi dengan *sprayer* maupun tidak.
2. Waktu reaksi tranesterifikasi dengan metoda *static mixer* dengan *sprayer* memberikan hasil yang lebih singkat baik
3. Waktu reaksi yang mampu dicapai sehingga mutu biodiesel tercapai sesuai dengan standard SNI adalah 20 menit (40 menit lebih awal dibandingkan dengan waktu pengolahan dengan CSTR

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, R. (2006). Pengolahan Minyak Goreng Bekas Industri Makanan menjadi Biodiesel. Penelitian In-House Research. Balai Besar Industri Agro, Bogor,
- BSN (2006), 'Indonesian National Standard on Biodiesel, SNI No. 04-7182-2006' SNI
- Darnoko, D. and M. Cheryan . (2000). Kinetics of Palm oil transesterification in a Batch reactor, *JAOCS*, 77, 1263-1267
- Freedman, B., R. O. Butterfield and E. H. Pryde (1986). Transesterification of kinetics of soybean oil. *JAOCS*, 63 : 1375-1380
- Gerpen, J.V. and G. Knothe. (2005). Basics of transesterification reaction. In : Knothe, J.V. , G. Knothe and J. Krahl, (ed). *The biodiesel handbook*, AOCS Press, Champaign, Illinois
- Kenics (2007). Kenics Mixing Technology, Chemeneer, Inc, Dayton, OH. (atau dapat diakses melalui [http:// www.kenics.com](http://www.kenics.com))
- Knothe G. (2005). Introduction : What is biodiesel ?. In Knothe G. Gerpen, J.V. , Krahl J. editors. *The biodiesel handbook*. Champaign Illinois: AOCS Press, p: 1-3
- Mittelbach, M. and Reshmidt, C. (2004). *Biodiesel The Comprehensive Handbook*, Martin Mettelbach (Publisher), Austria
- Oldshue, J.Y. (1983). *Fluid Mixing Technology*. Chemical Engineering Mc Graw-Hill Pub. Co, New York.
- Paul, E., Obeng, V.A.A., dan Kresta, S.M. (2003). *Handbook of Industrial Mixing*. Wiley-Interscience, New York.
- Soerawidjaja, T.H. (2008). *Characteristics of Jatropha and Other Possible Feedstocks for Biodiesel*. Makalah disampaikan dalam "Workshop on Biodiesel from Jatropha" IPB Campus, Dermaga, Bogor, 19 March 2008