

KAJIAN PENGGUNAAN *STATIC MIXING REACTOR* PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL SECARA KATALITIK DENGAN SISTEM *CONTINUE*

(*Assessment of Static Mixing Reactor on Biodiesel Production by Using Catalytic a Continuous System*)

Christian Soolany¹, Armansyah H. Tambunan², & R Sudradjat³

¹Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, FATETA-IPB, Bogor,

²Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, FATETA-IPB, Bogor

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan,

Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610, Telp. 0251-8633378, Fax. 0251-8633413

E-mail: christiansoolany@yahoo.com

Diterima 21 Januari 2014, Direvisi 1 Juni 2015, Disetujui 30 Juni 2015

ABSTRACT

Production of biodiesel catalytically requires catalyst and stirring. Good stirring system will produce a homogeneous mixture between triglycerides and methanol. Good stirring can be generated with the use of static mixers. This paper studies the static mixing reactor with continuous system in production of biodiesel catalytically and optimizing the length of static mixer in order to obtain methyl ester level based on standard. The experiments were conducted with transesterification method using palm olein (RBDPO) and methanol with molar ratio 1:6, KOH catalyst of 0.5% and the reaction temperature of 65°C. Biodiesel production process used transien condition. Biodiesel production process with catalyst used two moduls of static mixer. The treatment was the length of the static mixer. The variations of the static mixer lenght were conducted by passing fluid one time through static mixer reactor after the temperature has been reached (A0 = 2 static mixer), passed two times through the static mixer reactor (A1 = 4 static mixers), passed three times through the static mixer reactor (A2 = 6 static mixers), and passed four times through the static mixer reactor (A3 = 8 static mixers). Results show that for each treatment had produced methyl ester content above the standard of 96.5% w/w. The determination of the best treatment was obtained based on the best value for parameters of methyl ester and total glycerol resulted was on the condition of 4 times passed in the static mixer reactor (A3 = 8 static mixers) which produced methyl ester content of 97.92% w / w, total glycerol of 0.85%, acid number of 0.31 mg KOH / g, saponification number of 202 mg KOH / g, the biodiesel yield of 98.26%, and reaction time 29 minute.

Keywords: Catalytic biodiesel, static mixing reactors, static mixers, methyl ester content, yield

ABSTRAK

Produksi biodiesel secara katalitik membutuhkan katalis dan pengadukan. Sistem pengadukan yang baik akan menghasilkan campuran yang homogen antara trigliserida dan metanol juga dapat dihasilkan dengan penggunaan *static mixer*. Tulisan ini mempelajari rancangan *static mixing reactor* dengan sistem *continue* pada proses produksi biodiesel secara katalitik dan mencari panjang *static mixer* yang dibutuhkan sehingga diperoleh kadar metil ester sesuai standar yang sudah ditetapkan. Percobaan ini dilakukan secara transesterifikasi menggunakan minyak *palm olein* (RBDPO) dan metanol dengan perbandingan molar 1:6 menggunakan katalis KOH 0,5%, dan suhu reaksi 65°C. Proses produksi biodiesel dilakukan pada kondisi transien. Reaktor *static mixer* yang digunakan terdiri dari dua buah. Perlakuan yang dikaji yaitu panjang *static mixer*, variasi yang dilakukan yaitu melewati satu kali menuju reaktor *static mixer* ketika suhu tercapai (A0 = 2 *static mixer*), dilewatkan dua kali menuju reaktor *static mixer* (A1 = 4 *static mixer*), dilewatkan tiga kali menuju reaktor *static mixer* (A2 = 6 *static mixer*), dan dilewatkan empat kali

menuju reaktor *static mixer* ($A3 = 8 \text{ static mixer}$). Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk masing-masing perlakuan menghasilkan kadar metil ester diatas standar yang ditetapkan sebesar 96,5% w/w. Penentuan perlakuan terbaik diperoleh berdasarkan nilai terbaik pada parameter kadar metil ester dan gliserol total yang dihasilkan pada kondisi 4 kali dilewatkan reaktor *static mixer* ($A3 = 8 \text{ static mixer}$) menghasilkan kadar metil ester sebesar 97,92% w/w, gliserol total 0,85 %, angka asam 0,31 mg KOH/g, angka penyabunan 202 mg KOH/g, rendemen biodiesel sebesar 98,26%, dan waktu reaksi 29 menit.

Kata kunci: Rancangan, *Static Mixing Reactor*, kadar metil ester, waktu reaksi

I. PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan alternatif bahan bakar pengganti solar yang bersumber dari minyak nabati ataupun lemak hewani. Biodiesel dapat diperoleh dengan cara reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan metanol. Secara komersil produksi biodiesel umumnya menggunakan metode katalitik yang membutuhkan katalis untuk menurunkan energi aktivasi dan mempercepat terjadinya reaksi antara trigliserida dengan metanol. Namun, penggunaan katalis ini mempunyai beberapa permasalahan seperti perlunya proses pemurnian yang panjang, terbentuknya penyabunan (saponifikasi), dan harga dari katalis yang relatif mahal oleh sebab itu jumlah penggunaannya pada proses produksi biodiesel perlu dikurangi dengan cara memaksimalkan terjadinya tumbukan antara trigliserida dan metanol pada saat pencampuran, yaitu dengan sistem *rigorous mixing* (pengadukan yang kuat) supaya trigliserida dan metanol yang bersifat *immiscible* (tidak saling campur) dapat bercampur dengan baik.

Sistem pengadukan mekanis yang sudah banyak diterapkan pada proses produksi biodiesel salah satunya menggunakan *blade agitator* di dalam *continous stirrer tank reactor* (CSTR). Beberapa peneliti yang menggunakan *blade agitator* sebagai pengaduk mekanis dalam proses produksi biodiesel antara lain Wu, Foglia, Marmer dan Phillips (1999), Darnoko dan Cheryan (2000), dan Gerpen (2005). *Blade agitator* masih kurang optimal bila dilakukan pada putaran (rpm) rendah. Bahan pereaktan dapat bereaksi atau proses reaksi bisa mengarah ke kanan bila diterapkan mekanisme *vigorous stirring* (peng-adukan yang kuat) dan suhu yang relatif tinggi (Darnoko & Cheryan, 2000). Sehingga dibutuhkan putaran (rpm) yang tinggi dengan daya yang besar untuk proses pengadukan ini yang menyebabkan batang pengaduk yang terangkai pada *blade agitator* lebih cepat mengalami

kerusakan karena adanya gaya gesekan yang timbul dari tahanan fluida. Menurut Leblebici (2011), kendala lainnya adalah membutuhkan tempat yang besar untuk pengadukan, waktu pengadukan yang relatif lama, dan membutuhkan biaya yang tinggi untuk perawatannya.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan alat yang berfungsi sebagai pengaduk sekaligus pencampuran dalam kondisi statis yaitu dengan penggunaan *static mixing reactor* (SMR). SMR adalah reaktor yang didalamnya terdapat *static mixer*, berfungsi untuk mencampur dua jenis fluida atau lebih tanpa kerja mekanik, hanya memanfaatkan aliran dan kekentalan fluida. Proses reaksi di dalam SMR memanfaatkan tumbukan antar partikel senyawa yang bereaksi akibat pergerakan aliran fluida di dalam reaktor. Semakin besar tumbukan yang terjadi di dalam reaktor maka reaksi antar partikel juga akan semakin besar, karena kontak antar bidang permukaan partikel akan semakin sering. Adanya sistem pengadukan yang optimal diharapkan dapat mengurangi penggunaan katalis pada proses produksi biodiesel.

Pemanfaatan SMR pada proses produksi biodiesel secara katalitik dimulai oleh Thompson dan He (2007), dan diperoleh kadar metil ester terbaik pada suhu reaksi 60°C, konsentrasi katalis 1,5%, dan waktu reaksi 30 menit. Alamsyah, Tambunan, Purwanto, & Kusdiana (2010), juga menggunakan SMR yang dikombinasikan dengan *blade agitator* pada proses produksi biodiesel diperoleh kadar metil ester sebesar 98,7% w/w, pada suhu reaksi 65°C, konsentrasi katalis KOH 1%, dan waktu reaksi 20 menit.

Penelitian yang dilakukan oleh Panggabean (2011), menunjukkan bahwa penurunan penggunaan katalis dapat dilakukan sampai dibawah 1% menggunakan satu *static mixer* pada kondisi waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 60°C, dan katalis KOH 0,5% diperoleh kadar metil ester

terbaik sebesar 95,82%. Hasil ini kurang optimal karena kadar metil ester yang dihasilkan belum sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan yaitu 96,5% w/w. Aritonang (2013) mencoba melakukan optimasi terhadap penggunaan prototipe SMR yang digunakan oleh Panggabean (2011), dan diperoleh titik optimum pada kondisi waktu reaksi 45 menit, suhu 30° C, dan konsentrasi katalis KOH 0,4% menghasilkan kadar metil ester sebesar 97,41 % w/w. Hasil tersebut sudah mencapai nilai standar kadar metil ester yang ditetapkan. Namun, baik penelitian yang dilakukan oleh Panggabean (2011) dan Aritonang (2013) pada proses produksi biodiesel masih menggunakan sistem *batch* yang kurang sesuai jika diterapkan pada kapasitas yang besar. Sehingga perlu dilakukan kajian penggunaan SMR dengan sistem *continue*.

Tulisan ini mempelajari rancangan SMR dengan sistem *continue* pada proses produksi biodiesel secara katalitik dan mencari panjang SMR yang dibutuhkan pada proses produksi biodiesel dengan sistem *continue* sehingga diperoleh kadar metil ester sesuai dengan standar.

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan perancangan ulang terhadap prototipe SMR yang dirancang oleh Panggabean (2011). Gambar skematik SMR yang telah dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak *palm olein* komersial, metanol teknis, katalis

kalium hidroksida (KOH), dan aquades. Pengukuran suhu di lakukan pada bagian dinding pipa pemanas dan reaktor *static mixer*. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan *thermocouple* tipe K (CA) dan sensor LM 35.

Analisis desain SMR meliputi perhitungan *head loss* total pompa, daya fluida, daya poros pompa, *pressure drop* pada *static mixer*, dan daya heater. Perhitungan *head loss* total dengan persamaan (1)

$$h_{total} = h_f + h_{statis} + h_{kl} \quad (1)$$

dimana:

h_{total} = *head loss* total pompa (m),

h_f = *head* kerugian di pipa, katup, belokan, sambungan, dan *static mixer* (m),

h_{statis} = perbedaan tinggi output keluaran produk dan sisi isap pompa (m),

h_{kl} = *head* kecepatan keluar (m) (Sularso dan Tahara, 2000).

Perhitungan daya fluida ditunjukkan pada persamaan (2) dan daya poros pompa ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\text{Daya fluida (Pf)} = \rho \times g \times Q \times h_{total} \quad (2)$$

(Sularso & Tahara, 2000)

$$\text{Daya poros pompa (P)} = \frac{Pf}{\eta_{pompa}}$$

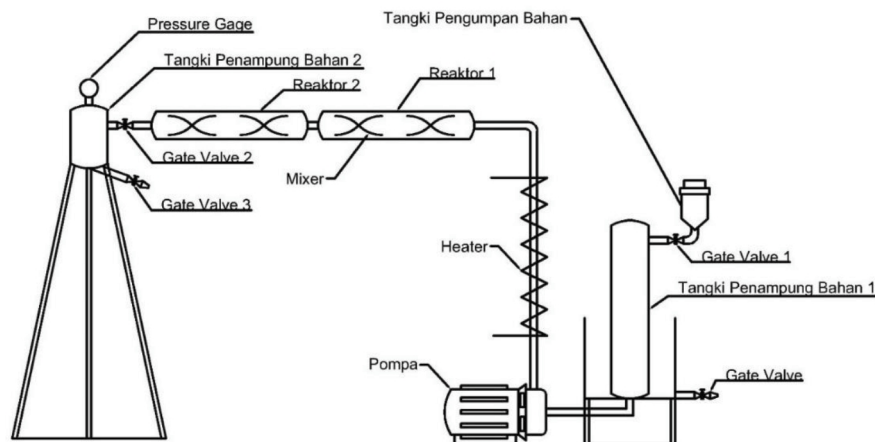
dimana,

ρ = densitas campuran bahan pereaktan (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Q = debit (m³/s) (Sularso dan Tahara, 2000).

Perhitungan nilai *pressure drop* (ΔP_{sm}) akibat adanya *static mixer* ditunjukkan pada persamaan (4).



Gambar 1. Skema SMR
Figure 1. Schematic SMR

$$\Delta P_{sm} = K_T \Delta P \quad (4)$$

$$\Delta P = 4f \frac{L V^2 \rho}{D 2 g}$$

$$K_T = 0,5$$

(Paul et al., 2003)

dimana,

ΔP = *pressure drop* di pipa (bar)

K_T = koefisien faktor geometri elemen *static mixer*

f = *friction factor*

L = panjang *static mixer* (m)

V = kecepatan fluida (m/s)

D = diameter (m)

Pada penelitian ini, pompa yang digunakan merupakan pompa yang diperuntukkan untuk memompa air, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap performansi dari pompa terhadap nilai *head loss* yang tersedia pada pompa. Perhitungan nilai koreksi terhadap *head* pompa ditunjukkan pada persamaan (5).

$$H_o = C_H \times H_w \quad (5)$$

dimana:

H_o = *head* koreksi pompa (m),

C_H = koefisien reduksi *head* pompa,

H_w = *head* pompa yang tersedia (m)
(Sularso dan Tahara, 2000).

Perancangan ulang meliputi rancangan fungsional dan rancangan struktural. Rancangan fungsional bertujuan untuk menentukan komponen yang dapat menjalankan fungsi pada prototipe SMR, sedangkan rancangan struktural bertujuan untuk menentukan bentuk, tata letak, dan ukuran komponen pada prototipe SMR.

A. Rancangan Fungsional

Proses modifikasi yang dilakukan yaitu pada bagian reaktor *static mixer*, *heater*, dan output keluaran produk. Setiap fungsi dari masing – masing bagian tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

B. Rancangan Struktural

Bahan, bentuk, tata letak, dan ukuran merupakan faktor penting pada proses perancangan ulang prototipe SMR, karena ketepatan faktor tersebut berdampak pada kinerja prototipe SMR. Rancangan struktural modifikasi SMR terdiri dari reaktor *static mixer*, tata letak pompa, pipa *heater*, dan output keluaran produk.

C. Reaktor *static mixer*

Reaktor *static mixer* merupakan reaktor yang dalamnya terdapat *static mixer*, terbuat dari bahan *stainless steel* 304 dengan diameter dalam reaktor 4 cm, diameter saluran masuk 1,27 cm, diameter saluran keluar 1,27 cm, dan panjang reaktor 47 cm. Reaktor *static mixer* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.

D. Elemen *static mixer*

Elemen *static mixer* yang digunakan terdiri dari enam segmen berbentuk heliks. Bentuk heliks tersebut dihasilkan melalui proses puntir dengan sudut puntir 180° pada masing-masing ujung plat yang digunakan sebagai bahan pembuat *static mixer* dan dipuntir dengan arah yang berlawanan. Dimensi elemen *static mixer* terdiri dari diameter *static mixer* 3,85 cm, panjang satu elemen *static mixer* 4,55 cm, panjang total *static mixer* 27,3 cm, tebal 0,35 cm. Gambar 3 menunjukkan elemen *static mixer* yang digunakan.

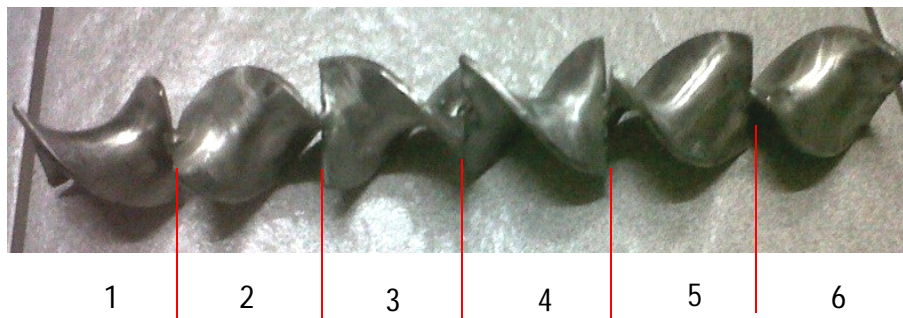
Tabel 1. Rancangan fungsional modifikasi SMR

Table 1. Functional design SMR

Bagian alat (<i>Tool part</i>)	Fungsi alat (<i>Function tool</i>)
Reaktor <i>static mixer</i>	Sebagai tempat untuk proses pencampuran dan pengadukan bahan (minyak <i>palm olein</i> dan metanol)
Elemen <i>static mixer</i>	Alat pengaduk fluida yang statis
Pompa	Untuk mengalirkan bahan menuju reaktor <i>static mixer</i>
<i>Heater</i>	Penyedia panas yang dibutuhkan dalam proses produksi biodiesel
Output keluaran produk	Sebagai tempat keluaran produk biodiesel



Gambar 2. Reaktor static mixer
Figure 2. Static mixer reactor



Gambar 3. Elemen Static Mixer
Figure 3. Static mixer

E. Tata Letak Pompa

Pompa yang digunakan pada penelitian ini merupakan pompa air semi jet pump dengan merek dagang Firman tipe FWP – 61ss, dengan spesifikasi produk daya listrik 200 W, daya hisap 11 m, daya dorong 38 m, total *head* 49 m, dan kapasitas maksimum 40 l/menit. Posisi pompa diletakan di bawah tangki pengumpan bahan 1 sehingga menyebabkan pompa selalu terisi oleh fluida yang akan dialirkan menuju pipa reaktor *static mixer*.



Gambar 4. Heater
Figure 4. Heater

F. Heater

Heater yang digunakan penelitian ini adalah *heater* turbular dengan panjang 1,3 m, diameter delapan mm, dan daya *heater* terpasang 800 W. Pemilihan jenis *heater* yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan desain posisi pipa *heater* yang dipasang pada prototipe SMR yang dimodifikasi, pipa *heater* yang digunakan berdiameter 1,27 cm dan panjang pipa 33 cm juga diisolasi dengan asbestos dan *glasswool* supaya panas tidak keluar. Kedua insulator panas dililitkan sepanjang pipa – pipa instalasi prototipe SMR. Gambar 4 menunjukkan *heater* yang digunakan.

G. Prosedur Penelitian

Proses produksi biodiesel dilakukan dengan transesterifikasi minyak *palm olein* menggunakan metanol dan katalis basa. Sebelum dilakukan proses transesterifikasi dilakukan pengujian kadar FFA menggunakan metode SNI 01-3555-1998. Jika kandungan FFA lebih dari 5%, sebelum dilakukan proses transesterifikasi dilakukan proses esterifikasi menggunakan katalis asam, jika kandungan FFA di bawah 5% maka dilakukan proses transesterifikasi (Sahirman, 2009). Perbandingan molar minyak dengan metanol yang

digunakan dalam penelitian ini adalah 1:6 dengan konsentrasi katalis KOH 0,5%.

Variabel penelitian ini adalah panjang reaktor *static mixer* dimana prototipe SMR ini menggunakan dua reaktor *static mixer*. Untuk mengetahui kebutuhan panjang *static mixer* pendekatan yang dilakukan menggunakan kondisi transien, dimana dilakukan proses pemanasan terhadap bahan pereaktan (minyak *palm olein*, metanol, dan katalis KOH) terlebih dahulu. Bahan pereaktan dimasukkan kedalam tangki penampung kemudian dialirkan menuju SMR secara berulang sampai suhu reaksi tercapai (65°C). Perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini adalah dengan melewati bahan pereaktan satu kali menuju *static mixer* (A0 = 2 reaktor *static mixer*), dilewatkan dua kali menuju *static mixer* (A1 = 4 *static mixer*), dilewatkan tiga kali (A2 = 6 *static mixer*), dan dilewatkan empat kali menuju *static mixer* (A3 = 8 *static mixer*). Percobaan yang dilakukan pada penelitian ini, untuk masing – masing perlakuan dilakukan ulang sebanyak satu kali.

Sampel yang dihasilkan dari proses produksi terlebih dahulu diendapkan untuk memisahkan gliserol dengan biodiesel. Selanjutnya dilakukan proses pencucian terhadap biodiesel yang dihasilkan menggunakan aquades. Setelah proses pencucian selesai dilakukan proses evaporasi untuk mengupakan sisa-sisa metanol dan air hasil pencucian dari biodiesel.

Sampel biodiesel yang sudah dievaporasi selanjutnya dilakukan analisis laboratorium meliputi: angka asam, angka penyabunan, dan gliserol total di analisis menggunakan metode BSN, 2012. Untuk nilai kadar metil ester dan nilai rendemen biodiesel yang dihasilkan diperoleh melalui perhitungan yang dituliskan pada persamaan (6) dan persamaan (7)

$$\text{Kadar metil ester (\% w/w)} = \frac{100 (As - Aa - 4.57G_{\text{total}})}{As} \quad (6)$$

dimana:

As: angka penyabunan (mg KOH/g biodiesel),

Aa: angka asam (mg KOH/g biodiesel),

Gtotal : kadar gliserol total (%).

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{massa methyl ester}}{\text{Massa awal minyak}} \times 100\% \quad (7)$$

(Joelianingsih, 2008)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan ulang prototipe SMR ditunjukkan pada Gambar 5. Prototipe tersebut terdiri dari tangki pengumpan bahan, tangki pengumpul 1, pompa, pipa *heater*, reaktor *static mixer*, tangki pengumpul 2, dan output keluaran produk.

Perhitungan analisis desain prototipe SMR dihasilkan nilai *head loss* total pompa sebesar 36,13 m, daya fluida sebesar 103,88 Watt, daya poros



Gambar 5. Hasil modifikasi prototipe SMR
Figure 5. Modified prototype SMR

pompa 148,40 Watt, *pressure drop* pada *static mixer* sebesar 0,15 bar atau 2,91 psi, dan daya *heater* sebesar 682,40 Watt. Daya pompa terpasang sebesar 200 Watt dengan *head loss* dorong maksimal sebesar 38 m. Namun, nilai *head* yang tersedia pada pompa diperuntukan untuk memompakan air sedangkan pada penelitian ini bahan pereaktannya mempunyai nilai viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan air sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap performansi pompa. Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada persamaan (5) nilai koreksi dari *head* pompa adalah 39,14 m. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai *head* total dari desain prototipe SMR sebesar 36,13 m sehingga fluida dapat mengalir dan proses produksi biodiesel dapat berjalan. Daya *heater* yang terpasang sebesar 800 watt sehingga proses pemanasan fluida dapat tercapai dengan baik.

Hasil uji kinerja terhadap prototipe SMR, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu

reaksi (65°C) dari suhu awal (30°C) bahan pereaktan pada percobaan 1 dan 2 adalah 23 menit dan 21 menit. Biodiesel yang dihasilkan dari masing - masing perlakuan membentuk dua lapisan yaitu, lapisan atas merupakan biodiesel dan lapisan bawah merupakan gliserol. Terbentuknya dua lapisan ini karena adanya perbedaan berat jenis, dimana berat jenis biodiesel sebesar $0,88\text{ g/cm}^3$ (Srivastava, 2000) dan gliserol sebesar $1,26\text{ g/cm}^3$ (Appleby, 2004). Gambar 6 menunjukkan sampel biodiesel sebelum proses pencucian, setelah proses pencucian, dan setelah evaporasi dari masing - masing perlakuan yang dihasilkan dari prototipe SMR.

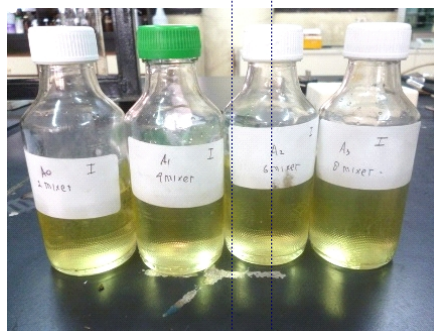
Biodiesel yang sudah dievaporasi selanjutnya dilakukan analisis laboratorium meliputi: angka asam, angka penyabunan, dan gliserol total. Hasil uji laboratorium masing - masing sampel biodiesel ditunjukkan pada Tabel 2. Data yang diperoleh dari Tabel 2 dijadikan dasar untuk menghitung nilai kadar metil ester yang dihasilkan dari masing - masing perlakuan.



a



b



c

Gambar 6. Biodiesel sebelum proses pencucian (a) Biodiesel hasil proses pencucian (b) Biodiesel hasil proses evaporasi (c)

Figure 6. Biodiesel before the washing process (a) Biodiesel results washing process (b) Biodiesel results evaporation process (c)

Tabel 2. Hasil analisis angka penyabunan, angka asam, dan gliserol total biodiesel
Table 2. Results analysis saponification number, acid number, and total glycerol biodiesel

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Angka penyabunan (<i>Saponification number</i>) (mg KOH/g)	Angka asam (<i>Acid number</i>) (mg KOH/g)	Gliserol total (<i>Total glycerol</i>) (%)
Transien	201	0,160	1,44
A0	201	0,295	1,10
A1	201	0,265	1,01
A2	201	0,270	0,90
A3	202	0,310	0,85

Keterangan (*Remarks*): A0 = 1 kali melewati SMR, A1 = 2 kali melewati SMR, A2 = 3 kali melewati SMR, dan A4 = 4 kali melewati SMR.

A. Kadar Metil Ester

Nilai kadar metil ester menunjukkan besarnya perubahan minyak *palm olein* menjadi metil ester. Semakin tinggi nilai kadar metil ester yang dihasilkan, maka semakin banyak minyak *palm olein* yang terkonversi menjadi metil ester pada proses produksi biodiesel secara katalitik. Nilai kadar metil ester yang dihasilkan dari masing-masing percobaan ditunjukkan pada Gambar 7.

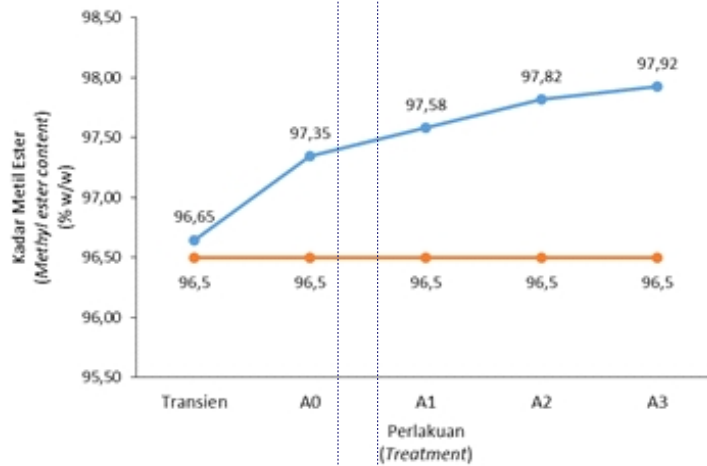
Kadar metil ester yang dihasilkan pada kondisi transien yang ditunjukkan pada Gambar 7, menghasilkan nilai kadar metil ester diatas standar yang sudah ditetapkan sebesar 96,5% w/w (SNI, 2012). Proses produksi biodiesel dengan kondisi transien dimulai dengan memasukkan bahan pereaktan ke dalam tangki pengumpul bahan dengan suhu awal sebesar 30° C kemudian dijalankan melewati SMR sampai suhu reaksi yang dirancang sebesar 65° C tercapai. Hasil kadar metil ester yang ditunjukkan pada Gambar 7, terlihat bahwa kadar metil ester yang dihasilkan pada saat perlakuan transien ternyata sudah menghasilkan kadar metil ester sesuai dengan SNI. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi sudah terjadi sebelum suhu reaksi yang diinginkan tercapai. Nilai kadar metil ester yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa adanya penambahan reaktor *static mixer* yang digunakan menjadi dua reaktor *static mixer* dan perlakuan melewati bahan (minyak *palm olein* dan metanol) secara berulang sebanyak empat kali dapat meningkatkan nilai kadar metil ester yang dihasilkan. Hal ini disebabkan, bentuk geometri dari elemen *static mixer* yang menyerupai heliks dimana pada setiap tepi dari elemen *static mixer*

akan mengalami pembagian dua lapisan dan akan mengalami pembagian lagi pada tepi elemen berikutnya sehingga peningkatannya akan setara dengan 2ⁿ dimana n adalah jumlah elemen dari *static mixer* yang digunakan (Godfrey, 1992).

Elemen *static mixer* yang digunakan pada penelitian ini untuk satu reaktor *static mixer* terdiri dari 6 segmen sehingga lapisan yang terbentuk untuk satu reaktor *static mixer* sebanyak 64 pembagian lapisan. Tabel 3 menunjukkan pengaruh jumlah lapisan yang terbentuk dari elemen *static mixer* terhadap kadar metil ester yang dihasilkan.

Semakin banyak elemen *static mixer* yang digunakan maka lapisan pencampuran yang terbentuk akan semakin banyak dan homogen sehingga menghasilkan proses pencampuran yang baik. Selain bentuk geometri dari *static mixer* yang digunakan untuk proses pengadukan sekaligus pencampuran bahan pereaktan, lama waktu pencampuran antara trigliserida dan metanol di dalam *static mixer* memberikan pengaruh terhadap kadar metil ester yang dihasilkan. Selama pencampuran tersebut terjadi tumbukan antara trigliserida dan metanol bereaksi membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol. Semakin tinggi intensitas terjadinya tumbukan yang terjadi di dalam reaktor *static mixer* maka reaksi transesterifikasi dapat terjadi. Menurut Reyes et al. (2010), reaksi yang melibatkan campuran fluida yang tidak terlarut membutuhkan intensitas pengadukan yang besar supaya reaksi dapat terjadi.

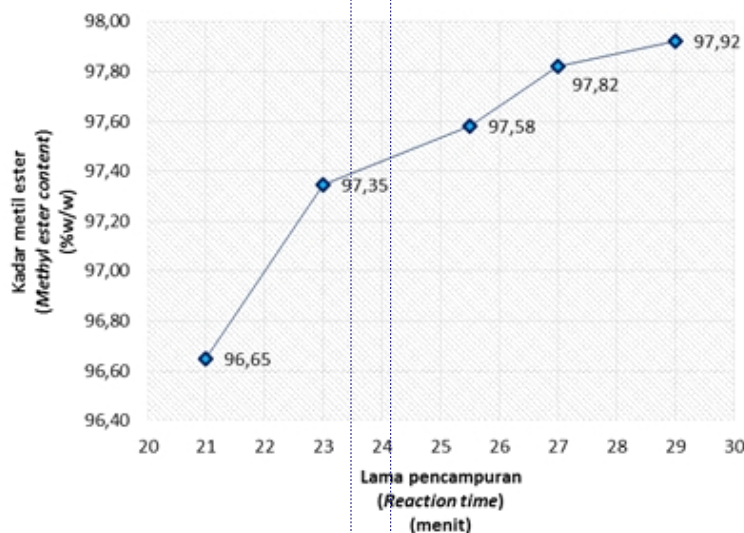
Gambar 8 menunjukkan pengaruh lama pencampuran bahan pereaktan terhadap kadar metil ester yang dihasilkan.



Gambar 7. Kadar metil ester setiap percobaan pada kondisi transien
Figure 7. Methyl ester content each experiment in transient conditions

Tabel 3. Pengaruh jumlah lapisan yang terbentuk terhadap kadar metil ester
Table 3. Effect the number of layers formed of methyl ester content

Perlakuan (Treatment)	Lapisan yang terbentuk (Layer formed) (2 ⁿ)	Kadar metil ester (methyl ester content) (%w/w)
A0	128	97,35
A1	256	97,58
A2	384	97,82
A3	512	97,92



Gambar 8. Pengaruh lama pencampuran terhadap nilai kadar metil ester
Figure 8. Effect long mixing time on the methyl ester content

Berdasarkan nilai kadar metil ester yang dihasilkan pada penelitian ini, maka perlakuan terbaik yaitu pada kondisi 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) dimana menghasilkan nilai kadar metil ester tertinggi sebesar 97,92% w/w. Nilai kadar metil ester yang didapatkan pada kondisi 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) menggunakan metode SNI sehingga dibutuhkan juga analisis angka asam, angka penyabunan, dan gliserol total.

Angka asam yang dihasilkan pada kondisi ini sebesar 0,310 mg KOH/g, angka ini cukup rendah dan memenuhi standar biodiesel berdasarkan SNI 7182-2012 (maksimal 0,6 mg KOH/g). Rendahnya angka asam yang dihasilkan ini salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu karakteristik bahan baku (minyak *palm olein*) yang digunakan sudah cukup baik dengan kadar asam lemak bebas yang kecil (0,32 mg KOH/g). Angka asam yang tinggi dapat mempengaruhi nilai kadar metil ester biodiesel yang dihasilkan, angka asam yang tinggi akan menghasilkan nilai kadar metil ester yang rendah. Hal ini sangat tidak diinginkan karena dapat menyebabkan terjadinya korosi dan deposit pada mesin.

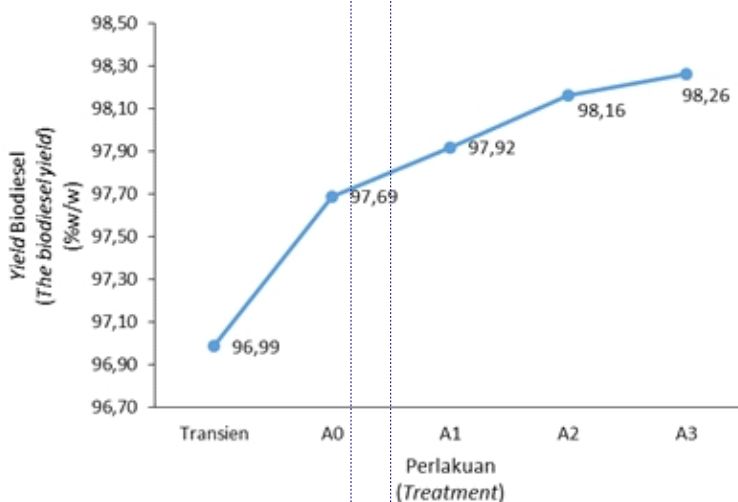
Nilai gliserol total yang dihasilkan pada kondisi ini sebesar 0,85%. Gliserol yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan terjadinya penurunan,

tetapi nilai ini masih berada diatas SNI yang ditetapkan maksimal 0,24%. Tingginya angka gliserol total yang dihasilkan salah satu faktor yang menyebabkan adalah adanya reaksi balik yang memungkinkan sebagian produk berubah kembali menjadi trigliserida. Sedangkan untuk angka penyabunan yang dihasilkan pada kondisi ini sebesar 202 mg KOH/g.

B. Rendemen Biodiesel

Nilai rendemen biodiesel merupakan persentase massa yang menunjukkan banyaknya metil ester yang dihasilkan per massa minyak awal. Hasil perhitungan nilai rendemen biodiesel masing-masing perlakuan ditunjukkan pada Gambar 9.

Rendemen yang dihasilkan pada Gambar 9 menunjukkan bahwa adanya penambahan *static mixer* mengakibatkan peningkatan nilai rendemen biodiesel yang dihasilkan. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kadar metil ester yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kadar metil ester yang dihasilkan maka nilai rendemen biodiesel yang dihasilkan juga semakin tinggi karena semakin banyak trigliserida yang terkonversi menjadi biodiesel. Nilai rendemen biodiesel tertinggi dihasilkan pada kondisi 4 kali dilewatkan SMR (A3 = 8 *static mixer*) sebesar 98,26% w/w.



Gambar 9. Rendemen biodiesel setiap perlakuan pada kondisi transien
Figure 9. Yield biodiesel each experiment in transient conditions

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Proses produksi biodiesel secara katalitik menggunakan SMR dapat berjalan menggunakan sistem *continue* pada kondisi transien menghasilkan nilai kadar metil berada di atas standar yang ditetapkan sebesar 96,5 % w/w dengan nilai kadar metil ester rata - rata berkisar 97,35 - 97,92% w/w dan kondisi terbaik pada keadaan transien untuk memproduksi biodiesel secara katalitik menggunakan SMR diperoleh pada perlakuan empat kali dilewatkan SMR ($A_3 = 8$ *static mixer*) dengan nilai kadar metil ester tertinggi sebesar 97,92% w/w, gliserol total 0,85 %, angka penyabunan 202 mg KOH/g, angka asam 0,310 mg KOH/g, rendemen biodiesel 98,26% w/w, dan waktu reaksi 29 menit.

B. Saran

Modifikasi yang dilakukan pada SMR untuk proses produksi biodiesel secara katalitik dapat dilakukan secara *continue* pada kondisi transien. Untuk tahap pengembangan selanjutnya perlu dilakukan kajian bagaimana proses produksi biodiesel menggunakan SMR ini dapat dilakukan pada kondisi *steady state*.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dirjen Dikti – Kemendiknas RI atas biaya penelitian melalui hibah kompetitif penelitian nomor 035/SP2H/PL/DI.LITABMAS/V/2013 tanggal 13 Mei 2013.

DAFTAR PUSTAKA

Alamsyah, R., Tambunan, A.H., Purwanto, Y.A., & Kusdiana, D. (2010). Comparison of static-mixer and blade agitator reactor in biodiesel production. *Agricultural Engineering International*, 12(1), 99 – 106.

Appleby, D.B., Knothe, G., Gerpen, J.V., & Krahl, J. (2004). *The Biodiesel handbook (glycerol)*. Illinois: AOCS Press, Champaign.

Aritonang, A.L.P. (2013). Analisis metode response surface pada produksi biodiesel secara katalitik dengan static mixing reactor. Skripsi. Program Pendidikan Sarjana: Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Badan Standardisasi Nasional. (1998). *Cara uji minyak dan lemak*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Biodiesel*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Darnoko, D., & Cheryan, M. (2000). Kinetics of palm oil transesterification in batch reactor. *JAOCS*, 77, 1263-1267.

Gerpen, J.V. (2005). Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 86, 1097 – 1107.

Godfrey, J.C., Harnbay, N., Edwards, M.F., & Nienow, M.F. (1992). *Mixing in the process industries (2nd Ed)*. Inggris: Butterworth-Heinemann Ltd. 225-249.

Joelianingsih, (2008). Biodiesel production from palm oil in a bubble column reactor by non-catalytic process. (Disertasi) Program Pendidikan Doktor, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Leblebici, M.E. (2011). Comparative study of net mixer and T-jets reactors based on pressure dynamics. (Tesis) Departamento De Engenharia Quimica. Universidade Do Porto.

Paul, E.L., Obeng, V.A.A., & Kreta, S.M. (2003). *Handbook of industrial mixing science and practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Panggabean, S. (2011). Analisis kinetika reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel secara katalitik dengan static mixing reactor. (Tesis) Program Pendidikan Magister: Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Sahirman. (2009). Perancangan proses produksi biodiesel dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*). (Disertasi) Program Pendidikan Doktor: Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Srivastava, A., & Prasad, R. (2000). Triglycerides based diesel fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 111-133.

Tahara, H.S. (2000). *Pompa dan kompresor*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Thompson, J.C, & He, B.B. (2007). Biodiesel production using static mixers. *American Society of Agricultural an Biological Engineers (ASABE)*, 50, (1) : 161 – 165.

Wu, W.H., Foglia, T.A., Marmer, W.N., & Phillips, J.G. (1999). Optimizing production of ethyl esters of grease using 95% ethanol by response surface methodology. *JAACS*, 76, 517 – 521.