

PENGUNAAN PENGADUK STATIK UNTUK PENGURANGAN KEBUTUHAN KATALIS DALAM PRODUKSI BIODIESEL

APPLICATION OF STATIC MIXER TOWARDS THE REDUCTION OF REQUIRED CATALYST IN BIODIESEL PRODUCTION

Sri Purnama Sari¹⁾, Armansyah H Tambunan^{2)*}, dan Lilik P EkoNugroho²⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor

²⁾Program Studi Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor

PO Box 220, Kampus Darmaga, Bogor, Jawa Barat 16002

E-mail: ahtambun@yahoo.com

Makalah: Diterima 13 April 2015; Diperbaiki 12 Maret 2016; Disetujui 30Maret 2016

ABSTRACT

Current technology for biodiesel production is a transesterification process of vegetable oil with metanol in batch system with the help of catalyst. The technology faces many disadvantageous for large scale, such as the requirement for rigorous stirring and purification of the product from the catalyst. Previous study showed that utilization of static mixing reactor can enhance the reaction rate and reduce the requirement of catalyst and can be operated continuously. The objective of this study was to examine the role of static mixer in reducing the catalyst requirement for the transesterification process of biodiesel production in continuous mode. Palm olein was used as feedstock for the transesterification process with 1:6 of mole ratio to metanol at 65°C reaction temperature. Catalyst used for the experiment was KOH with variations of 0.3% and 0.5% to the oil fed into the reactor and the numbers of static mixer modules were varied (1, 2, 3, 4, and 5 modules) to evaluate their effects to the required catalyst. As expected, the experimental results confirmed a higher conversion of the reaction by the increasing number of the static mixer modules at a specific catalyst percentage. Highest conversions obtained with 5 modules were 92.5% (w/w) and 88.9% (w/w), for 0.3% and 0.5% of catalyst, respectively. Analysis to the experimental results showed that 0.1% of catalyst could be replaced by the addition of 0.9 modules of static mixer, which was equivalent to 58.1 cm length of the used static mixer configuration.

Keywords: continuous mode of transesterification, static mixing module, catalyst reduction

ABSTRAK

Saat ini teknologi untuk memproduksi biodiesel adalah proses transesterifikasi minyak nabati dengan alkil alkohol berupa metanol dalam sistem *batch* dengan bantuan katalis. Teknologi ini menghadapi banyak kendala untuk produksi dalam skala besar, seperti kebutuhan pengadukan yang kuat, proses produksi yang lama, serta kesulitan untuk memisahkan produk dari katalis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan reaktor berpengaduk statik dapat meningkatkan proses reaksi, mengurangi katalis dan dapat dioperasikan secara kontinyu. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji peran pengaduk statik dalam mengurangi kebutuhan katalis untuk proses transesterifikasi produksi biodiesel beraliran kontinyu. Bahan baku yang digunakan untuk proses transesterifikasi adalah minyak kelapa sawit (*RBDPO*) dengan menggunakan rasio mol metanol 1: 6 pada suhu reaksi 65°C. Katalis yang digunakan adalah KOH dengan konsentrasi 0,3% dan 0,5% (dari masa minyak yang dimasukkan dalam reaktor) dan variasi jumlah modul berpengaduk statik : 1, 2, 3, 4, dan 5 untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap jumlah katalis yang diperlukan dalam reaksi. Hasil penelitian membuktikan bahwa peningkatan kadar metil ester terjadi seiring dengan meningkatnya penggunaan jumlah modul pengaduk statik dengan persentase katalis tertentu. Kadar metil ester tertinggi yang diperoleh dengan menggunakan 5 modul berpengaduk statik adalah 92,5%(b/b) dan 88,9%(b/b) untuk penggunaan katalis sebanyak 0,3% dan 0,5%, secara berturut-turut. Analisis terhadap hasil penelitian menunjukkan bahwa 0,1% katalis dapat digantikan dengan penambahan 0,9 modul pengaduk statik, yang setara dengan 58,1 cm panjang dari konfigurasi pengaduk statik yang digunakan.

Kata kunci: transesterifikasi sistem kontinyu, modul pengadukan statik, pengurangan katalis

PENDAHULUAN

Biodiesel berasal dari minyak nabati atau lemak hewani yang diproses dengan cara transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol rantai pendek berupa metanol (Mittelbach dan Remschmidt, 2006). Reaksi transesterifikasi

umumnya dapat dilakukan dengan menggunakan metode katalitik atau non-katalitik. Proses produksi biodiesel secara katalitik membutuhkan bantuan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi antara trigliserida dan metanol, dengan cara menurunkan energi aktivasi tanpa mengubah energi reaksi (ΔE) tersebut sehingga molekul yang jumlah energinya

*Penulis untuk korespondensi

tidak tinggi dapat bereaksi membentuk zat yang diinginkan (Clark, 2004). Sedangkan metode non katalitik tidak membutuhkan katalis, namun untuk mendapatkan energi aktivasi yang dibutuhkan harus mencapai kondisi *supercritical methanol*, dengan menggunakan suhu dan tekanan yang tinggi (453–573°K, 6-18 MPa) (Ani *et al.*, 2011). Penggunaan suhu dan tekanan yang tinggi pada kondisi *supercritical methanol* dapat beresiko memicu terjadinya ledakan, sehingga dibutuhkan alternatif perubahan kondisi dari *supercritical methanol* menjadi *superheated methanol vapor* menggunakan temperatur tinggi (523–563°K) pada tekanan atmosfer (Joelianingsih *et al.*, 2008). Sistem *superheated methanol vapor* masih memiliki kelemahan yaitu laju reaksi proses masih rendah, dibutuhkan jumlah metanol lebih banyak, dan waktu reaksi yang relatif lebih lama.

Perkembangan produksi biodiesel di Indonesia umumnya masih terbatas pada skala lab menggunakan sistem *batch* (Wirawan dan Tambunan, 2006), yang dilakukan dalam satu kali proses selama waktu tertentu dan suhu konstan. Selain penggunaan katalis, produksi biodiesel secara katalitik juga dipengaruhi oleh pengadukan. Proses pengadukan ini diperlukan agar bahan reaktan dapat bercampur, bertumbukan, dan bereaksi membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME). Salah satu jenis pengaduk yang telah umum digunakan saat ini adalah pengaduk statik, penggunaan pengaduk statik mampu meningkatkan turbulensi aliran campuran antara trigliserida dan metanol yang bersifat *immisible* (tidak saling larut), sehingga molekul campuran menjadi lebih kecil dan mudah bercampur.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa produksi biodiesel bersistem *batch* dengan pemanfaatan reaktor berpengaduk statik (*static mixer*) mampu menurunkan penggunaan katalis dalam reaksi transesterifikasi. Pengurangan katalis pada reaksi transesterifikasi diperlukan karena saat reaksi berlangsung asam lemak bebas bereaksi dengan katalis basa membentuk sabun, sehingga dapat mengurangi *yield* biodiesel yang dihasilkan. Panggabean (2011) menyatakan bahwa katalis dapat diturunkan di bawah 1% menjadi 0,5% menggunakan 6 elemen *static mixer* dalam 1 modul pada kondisi waktu reaksi 30 menit, suhu reaksi 60°C, diperoleh nilai konversi tertinggi sebesar 95,82%. Adapun kelemahan dari penggunaan sistem *batch* pada produksi biodiesel adalah tidak dapat digunakan untuk produksi dalam skala yang besar, dibutuhkan energi yang besar untuk pengadukan, proses produksi yang lama. Banyak penelitian eksperimental baru-baru ini telah berfokus pada peningkatan hasil produksi biodiesel, bersama dengan mengurangi waktu reaksi dan penggunaan bahan baku yang lebih murah. Salah satunya dengan memproduksi biodiesel menggunakan sistem kontinyu, seperti yang dilaporkan Thompson *et al.* (2004) bahwa pengaduk statik (*static mixer*) dapat

digunakan untuk produksi biodiesel bersistem aliran kontinyu. Produksi biodiesel secara kontinyu diharapkan mampu mengatasi kelemahan pada sistem *batch* dalam hal memperbesar kapasitas produksi dan mempersingkat waktu reaksi.

Soolany (2014) melakukan modifikasi reaktor bersistem *batch* untuk produksi biodiesel bersistem *semi-continue* menggunakan 12 elemen *static mixer* yang terbagi dalam 2 modul. Pengujian dilakukan dengan 4 kali dilewatkan pada SMR (8 *static mixer*) menghasilkan kadar metil ester sebesar 98,26% (w/w) menggunakan katalis 0,5% pada suhu 65 °C.

Penambahan jumlah modul pengaduk statik dapat meningkatkan nilai kadar metil ester dan dapat menurunkan penggunaan katalis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji sejauh mana pengaruh peningkatan pengadukan dengan pengaduk statik terhadap penurunan jumlah katalis pada produksi biodiesel secara kontinyu dan mengkaji kualitas biodiesel yang dihasilkan dengan *prototipe static mixer reactor* tipe kontinyu.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

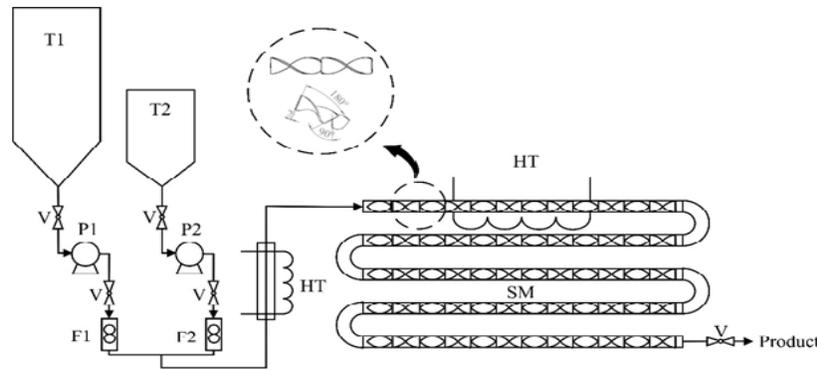
Alat yang digunakan untuk memproduksi biodiesel secara katalitik pada penelitian ini adalah *prototipe static mixer reactor* (SMR) tipe kontinyu dengan 60 elemen statik bertipe helikal yang terbagi dalam 5 modul reaktor. Panjang 1 modul reaktor adalah 66 cm yang terdiri dari 12 elemen, tiap elemen dipuntir dengan sudut 180° dan penyambungan tiap elemen dengan sudut 90°. Diagram skematik SMR yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Peralatan penunjang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: gelas ukur (50 mL dan 500 mL), erlenmeyer (500 mL), corong pemisah, pipet tetes, termometer, pH meter, botol sampel, timbangan digital, *viskometer Ostwald* dan *rotary vacuum evaporator*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak kelapa sawit (*refined bleached deodorized palm olein*- RBDPO), metanol teknis, katalis kalium hidroksida (KOH), dan aquades.

Metode

Proses produksi biodiesel pada penelitian dilakukan secara experimental dengan perlakuan kombinasi konsentrasi katalis KOH 0,3% dan 0,5% (massa KOH/massa minyak) dan variasi jumlah modul berpengaduk statik : 1, 2, 3, 4, dan 5. Suhu operasi yang digunakan 65°C dengan jumlah perbandingan rasio molar minyak dan metanol 1:6 untuk semua perlakuan, berat 1 mol minyak ditentukan dari rata-rata berat molekul minyak sawit berdasarkan komposisi asam lemak dari minyak.



Gambar 1. Diagram skematik SMR (T₁: tangki minyak (50 L), T₂: tangki metanol (15 L), V: kran, P₁: pompa minyak, P₂: pompa metanol, F₁: *flowmeter* minyak, F₂: *flowmeter* metanol, HT: *heater*, SM : *static mixer*)

Tujuan diterapkan perlakuan ini untuk melihat bagaimana pengaruh peningkatan penggunaan pengaduk statik terhadap pembentukan kadar metil ester yang dihasilkan menggunakan *prototype static mixing reactor* tipe kontinyu. Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah: kadar metil ester (GC-EN14103), viskositas kinematik (ASTMD445), densitas (ASTMD4052), dan bilangan asam (SNI 7182-2012) biodiesel yang dihasilkan (BSN, 2012).

Karakterisasi Bahan Baku

Pada uji pendahuluan dilakukan penentuan karakteristik bahan baku (minyak sawit dan metanol) yang dianalisis meliputi penentuan karakteristik fisik dan termal dari bahan yang digunakan (densitas, viskositas, kadar air) dan kadar FFA (*free fatty acid*). Pengukuran nilai viskositas dilakukan dengan menggunakan *viscometer oswald*, densitas menggunakan timbangan digital dan FFA menggunakan metode titrasi.

Tahapan Produksi Biodiesel

Secara garis besar proses produksi biodiesel yang dilakukan terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap proses (pemanasan awal dan transesterifikasi), tahap pemisahan dan purifikasi. Pada awal setiap percobaan, 18 L minyak dengan suhu awal sebesar 30°C dimasukkan ke dalam tangki 1 dan dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu minyak mencapai ± 50°C dengan cara dilewatkan secara berulang-ulang pada reaktor selama 12 menit hingga suhu pada reaktor *steady*. Pemanasan minyak dilakukan menggunakan *heater* yang diatur menggunakan termostat pada modul reaktor, *heater* diletakkan pada pipa sebelum modul reaktor dan pada modul reaktor pertama. Selanjutnya larutan katalis KOH yang telah dihomogenkan dengan 4,2 L metanol dituangkan ke dalam tangki 2, nantinya setelah suhu minyak dan reaktor telah stabil maka kran tangki reaktan akan dibuka penuh sehingga bahan dapat mengalir melewati pipa pemanas menuju reaktor.

Setelah suhu reaksi sebesar 65°C tercapai, selanjutnya kedua pompa dinyalakan untuk mengalirkan bahan pereaktan (tangki 1 dan tangki 2) melewati *static mixer reactor* (SMR) dengan laju aliran yang diatur menggunakan kran pada *flowmeter*. Berdasarkan perhitungan rasio minyak dan metanol diketahui bahwa pengaturan laju aliran yang diatur pada *flowmeter* tangki minyak adalah 9 L/menit dan laju aliran pada *flowmeter* untuk tangki metanol sebesar 2 L/menit.

Proses pengambilan sampel dilakukan dengan membuka kran *output* pada tiap modul (1, 2, 3, 4 dan 5) pada waktu yang bersamaan, selanjutnya produk biodiesel yang dihasilkan dari perlakuan di atas ditampung di dalam botol. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan melalui diagram alir pembuatan biodiesel yang disajikan pada Gambar 2. Hasil pemurnian biodiesel selanjutnya dihitung kandungan metil ester (% b/b) yang menunjukkan besarnya perubahan minyak sawit menjadi biodiesel dengan *gas chromatography*. Perhitungan jumlah kadar metil ester menggunakan rumus *internal standard*.

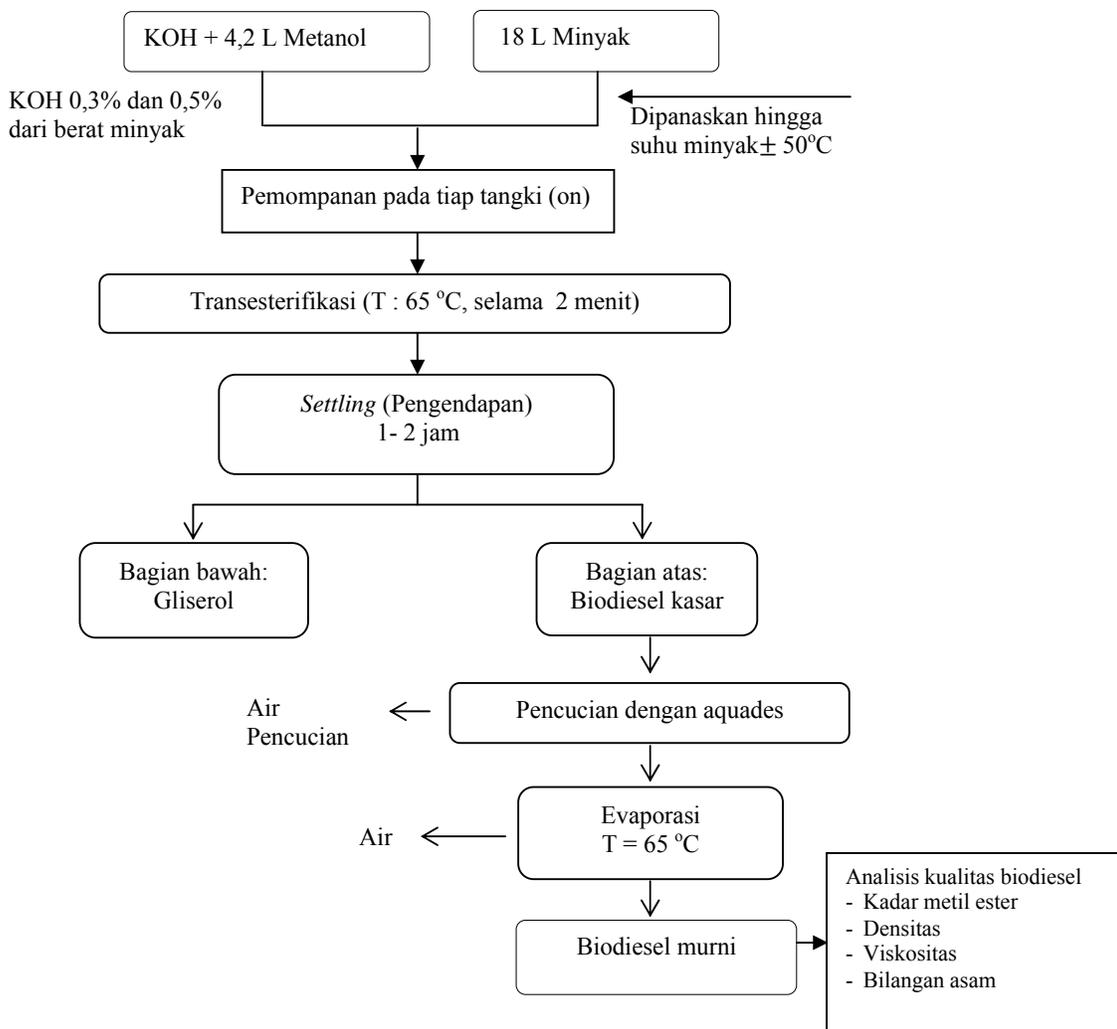
$$\text{Konsentrasi Metil Ester (\%)} = \frac{\sum A - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{W_{EI}}{W} \times 100$$

Dimana $\sum A$ adalah total daerah puncak metil ester C₆ hingga C_{24:1}, A_{EI} adalah daerah puncak *internal standard* (C₁₉), W_{EI} adalah berat bahan *internal standard* (mg), dan W adalah berat sampel (mg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Baku

Penentuan karakteristik bahan baku meliputi analisis viskositas dan densitas (minyak dan metanol), selain itu juga analisis FFA untuk mengetahui jumlah bilangan asam yang terkandung pada minyak sawit. Hasil karakteristik bahan baku ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Diagram pembuatan biodiesel

Tabel 1. Karakteristik bahan baku minyak sawit (*refined bleached deodorized palm olein-RBDPO*) dan metanol

Parameter	Nilai	Satuan
Densitas (ρ)		
Minyak sawit	0,870	g/cm ³
Metanol	0,785	g/cm ³
Viskositas (π)		
Minyak sawit	34,59	cSt
Metanol	0,653	cSt
Free fatty acid (FFA)	0,23	%
Kadar air	0,1	g/100g

Nilai FFA yang diperoleh sebesar 0,23% (Tabel 1) telah memenuhi syarat yang menyebutkan bahwa minyak nabati yang ditransesterifikasi sebaiknya memiliki kandungan asam lemak bebas < 1% atau 2 mg KOH/g agar reaksi pembentukan metil ester berlangsung sempurna (Somnuk *et al.*, 2014). Srinivas dan Kumar (2012) menyatakan jika kadar

FFA < 2% dapat langsung dilakukan proses transesterifikasi menggunakan katalis basa, tetapi apabila kadar FFA > 2% perlu diesterifikasi terlebih dahulu menggunakan katalis H₂SO₄. Esterifikasi dilakukan untuk menurunkan nilai asam lemak bebas yang tinggi dalam memproduksi biodiesel. Berkurangnya asam lemak bebas akan menghindari reaksi saponifikasi yang terjadi jika asam lemak bebas bereaksi dengan katalis basa saat reaksi transesterifikasi dan menurunkan *yield* biodiesel (Wu *et al.*, 2012).

Hasil Produksi Biodiesel

Proses konversi minyak menjadi biodiesel dilakukan dengan mereaksikan minyak dan metanol menggunakan katalis basa KOH. Rasio molar minyak:metanol (1:6) dan dilakukan pada suhu 65°C (mendekati titik didih metanol 64,8°C) agar diperoleh konversi yang tinggi dengan waktu yang singkat. Penggunaan rasio molar 1:6 dianggap paling optimum dibandingkan perbandingan molar rasio yang lain (Thompson *et al.*, 2007; Knothe *et al.*,

2005). Produk reaksi pada penelitian ini menghasilkan dua lapisan, yaitu biodiesel pada lapisan atas dan gliserol pada lapisan bawah. Terbentuknya dua lapisan ini karena sifatnya yang tidak saling larut. Beda berat jenis antara metil ester, yaitu sebesar 0,86 g/cm³ dan gliserol sebesar 1,26 g/cm³, menyebabkan gliserol akan berada di lapisan bawah dan metil ester di lapisan atas.

Produk biodiesel dipisahkan dari gliserol dengan cara didiamkan dalam tabung pengendapan selama 1 hingga 2 jam. Pemisahan gliserol perlu dilakukan karena gliserol yang masih terkandung dalam biodiesel dapat menyebabkan disfungsi penggunaan bahan bakar saat dipakai pada mesin diesel dan mengakibatkan proses kerja dari mesin tidak maksimal, khususnya pada emisi dari mesin diesel tersebut. Prihandana *et al.* (2006) menyebutkan gliserol dapat membentuk senyawa akrolein dan terpolimerisasi menjadi senyawa plastik yang agak padat, senyawa ini membentuk deposit dan akan menyebabkan kerusakan pada mesin. Selanjutnya biodiesel yang telah dipisahkan dari gliserol dicuci untuk menghilangkan dan membersihkan sisa-sisa katalis dan metanol yang masih tersisa. Pencucian menggunakan air sebanyak 10% hingga 100% dari berat bahan. Penambahan air dilakukan secara bertahap, lama pengadukan antara air dan biodiesel sekitar 1 menit dan kemudian didiamkan untuk proses pemisahan air dengan biodiesel selama beberapa jam hingga memiliki pH 7 atau netral.

Evaporasi adalah proses penguapan sisa-sisa air pencucian dan metanol dari biodiesel dengan cara pemanasan menggunakan *rotary vacuum evaporator* untuk memperoleh ester yang lebih murni, suhu pemanasan yang digunakan adalah 65°C. Berdasarkan hasil penelitian, dari 1 kg minyak

yang diolah diperoleh biodiesel sebanyak 0,6 kg sisanya adalah gliserol dan metanol yang tidak beraksi, sehingga *yield* yang diperoleh adalah 64,48%. Warna biodiesel yang diperoleh dari hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit memiliki tampilan warna kuning pucat, transparan dan encer. Secara visual tidak terdapat perbedaan antara metil ester dari berbagai perlakuan. Pigmen berwarna kuning disebabkan oleh karoten yang ada pada minyak kelapa sawit (Hariadi, 2013). Karoten merupakan persenyawaan hidrokarbon tidak jenuh dan jika minyak dihidrogenasi, maka karoten tersebut juga terhidrogenasi sehingga intensitas warna kuning berkurang.

Komposisi Senyawa Biodiesel dengan Gas Chromatography (GC)

Kadar metil ester dari transesterifikasi diuji menggunakan GC dengan metode EN14103 untuk mengetahui jumlah senyawa dan komposisi yang terdapat pada hasil reaksi. Hasil analisis dengan kromatografi gas (GC) dari metil ester minyak sawit dengan variasi konsentrasi katalis dan jumlah modul berpengaduk statik ditunjukkan pada Tabel 2.

Secara umum senyawa ester yang mendominasi dalam sampel biodiesel (Tabel 2) adalah metil palmitat, metil oleat dan metil linoleat untuk masing-masing perlakuan. Senyawa ester yang diperoleh tersebut sesuai dengan kandungan asam lemak yang terdapat pada bahan dasar minyak sawit yang digunakan. Menurut Hariadi (2014), komposisi asam lemak yang paling banyak terkandung di dalam minyak sawit murni adalah asam palmitat (C16:0), asam oleat (C18:1) dan asam linoleat (C18:2) dengan konsentrasi sebesar 44%, 39,2% dan 10,1%, secara berturut-turut.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi katalis KOH dan jumlah modul berpengaduk statik terhadap persentase senyawa metil ester

Komponen	Konsentrasi Metil Ester(%)									
	KOH 0,3%					KOH 0,5%				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Metil dekanolat	0,00	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00
Metil laurat	0,01	0,02	0,02	0,04	0,07	0,07	0,06	0,12	0,12	0,13
Metil miristat	0,08	0,16	0,15	0,40	0,66	0,43	0,33	0,75	0,75	0,75
Metil palmitat	4,77	8,70	8,84	19,94	37,68	20,51	15,84	34,97	34,38	34,64
Metil palmitoleat	0,00	0,02	0,00	0,00	0,13	0,09	0,03	0,06	0,09	0,08
Metil stearat	0,47	1,04	0,92	2,33	3,97	2,40	1,75	3,82	3,77	3,85
Metil oleat	5,27	9,56	10,05	21,98	38,47	22,86	17,26	38,55	37,86	38,63
Metil linoleat	1,47	2,62	2,82	5,92	10,59	5,97	4,53	9,93	9,87	10,15
Metil linolenat	0,01	0,11	0,45	0,07	0,74	0,21	0,08	0,10	0,13	0,14
Metil linolenat	0,03	0,00	0,10	0,22	0,14	0,39	0,31	0,53	0,49	0,54
Σ ME	12,12	22,27	23,36	50,91	92,52	52,94	40,20	88,86	87,47	88,89

Berdasarkan data pada Tabel 2 terlihat bahwa peningkatan intensitas jumlah pengadukan oleh modul berpengaduk statik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan senyawa ester. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa gugus asam palmitat yang dapat terkonversi membentuk metil palmitat adalah sebesar 4,8% menggunakan 1 modul berpengaduk statik dan meningkat dengan penggunaan jumlah pengaduk statik menjadi 37,7% menggunakan 5 modul dengan katalis 0,3%. Begitupun pembentukan metil oleat sebesar 5,3% dengan menggunakan 1 modul berpengaduk statik dan meningkat menjadi 38,5% yang mampu terkonversi dengan menggunakan 5 modul. Pembentukan metil linoleat sebesar 1,5% menggunakan 1 modul berpengaduk statik dan terkonversi secara sempurna menjadi 10,1% dengan menggunakan 5 modul berpengaduk statik.

Hal ini sesuai dengan Reyes *et al.* (2010), reaksi yang melibatkan campuran fluida yang tidak terlarut membutuhkan intensitas pengadukan yang besar agar terjadi reaksi. Dengan kata lain, jumlah reaktan yang terkonversi menjadi produk akan semakin bertambah hingga mencapai konversi kesetimbangan.

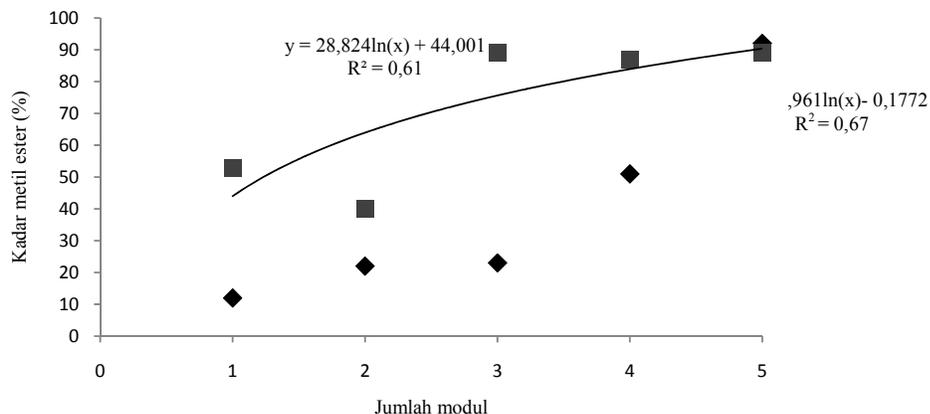
Komposisi metil ester yang terbentuk dengan katalis 0,5% lebih tinggi bila dibandingkan dengan penggunaan katalis 0,3%, hal ini terlihat dari banyaknya jumlah gliserida yang terkonversi membentuk metil ester. Pembentukan metil palmitat sebesar 20,5% menggunakan 1 modul berpengaduk statik dan meningkat menjadi 34,6% pada modul kelima. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar metil ester yang terbentuk pada modul kedua lebih rendah dari modul pertama, hal ini kemungkinan terjadi karena pengaruh *heater* yang berada pada modul 1, sehingga suhu pada modul pertama lebih tinggi dari modul kedua. Hal ini menunjukkan bahwa untuk katalis 0,5% pada modul kedua hanya sedikit molekul yang terkonversi

membentuk metil ester, selebihnya masih berbentuk trigliserida yang tidak bereaksi menjadi metil ester dikarenakan tidak memiliki cukup energi untuk bereaksi.

Sistem pengadukan statik yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan oleh elemen-elemen yang berbentuk heliks yang disusun sehingga dapat menciptakan fungsi pembelahan, pencampuran dan pembalikan fluida. Paul dalam Alamsyah (2010) menyebutkan bahwa 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 2^n aliran (n adalah jumlah elemen). Dalam penelitian ini digunakan 12 buah elemen dalam 1 modul sehingga ketika fluida keluar dari reaktor, maka seolah-olah fluida telah mengalami pembelahan aliran sebanyak 2^{12} . Apabila aliran dilewatkan melalui modul berikutnya, maka fluida mengalami pencampuran yang lebih homogen dan seolah-olah telah mengalami pencampuran dengan sistem *batch* konvensional dalam tangki.

Pengaruh Pengadukan Statik dan Katalis terhadap Kadar Metil Ester

Kadar metil ester merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan. Kadar metil ester menunjukkan besarnya perubahan minyak *palm olein* menjadi biodiesel (*fatty acid methyl ester*), semakin tinggi nilai kadar metil ester yang dihasilkan maka semakin banyak minyak *palm olein* yang terkonversi menjadi biodiesel. Hasil pengujian peningkatan kadar metil ester terhadap peningkatan intensitas pengadukan dan katalis ditunjukkan pada Gambar 3. Perhitungan kadar metil ester dilakukan dengan menambahkan total konsentrasi masing-masing metil ester (Tabel 2) dari tiap komponen yang terbaca pada kromatogram.



Gambar 3. Kadar metil ester menggunakan konsentrasi KOH 0,3% () dan KOH 0,5% () pada tiap modul

Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi katalis berperan dalam meningkatkan kadar metil ester. Kadar metil ester yang mampu dicapai dengan menggunakan katalis 0,3% hanya sebesar 12,1% (b/b) sedangkan dengan penggunaan katalis 0,5% kadar metil ester yang mampu dicapai sebesar 52,94% (b/b) dengan waktu 56 detik menggunakan 1 modul berpengaduk statik. Kadar metil ester yang diperoleh dengan menggunakan katalis 0,3% menggunakan 3 modul sebesar 23,4% (b/b). Bila dibandingkan dengan penggunaan katalis 0,5% menggunakan modul yang sama dihasilkan kadar metil ester yang jauh lebih besar (88,5% (b/b)), namun penggunaan katalis 0,5% setelah modul ketiga menghasilkan metil ester yang cenderung konstan, sedangkan untuk katalis 0,3% masih mengalami peningkatan pembentukan metil ester.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar metil ester untuk katalis 0,3% (b/b) meningkat sejalan dengan peningkatan pengadukan oleh *static mixer* dan waktu pencampuran, dengan pengadukan menggunakan lima modul diperoleh kadar metil ester tertinggi sebesar 92,5% (b/b) dengan waktu pencampuran ± 2 menit. Kadar metil ester dengan menggunakan katalis 0,3% meningkat secara signifikan setelah melewati modul ketiga. Penggunaan katalis 0,5% (b/b) mengalami penurunan kadar metil ester biodiesel pada modul kedua sebesar 40,1% (b/b) dan kembali meningkat pada modul ketiga sebesar 88,8% (b/b) dan cenderung konstan menggunakan 5 modul dengan kadar metil ester tertinggi 88,9% (b/b) dengan waktu pencampuran selama 1,9 menit.

Jika dilihat dari waktu pembuatan biodiesel, persentase kadar metil ester yang diperoleh lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian Buasri *et al.* (2012) yang menghasilkan konversi optimum sebesar 86,7% dari minyak goreng bekas dengan *packed bed reactor* secara kontinu pada suhu 60°C dan katalis KOH, dengan rasio molar metanol/minyak 1: 6 dengan kondisi waktu reaksi 2 jam. Dewajani (2011) menggunakan konsentrasi katalis 2% dari berat minyak untuk menghasilkan konversi sebesar 98% menggunakan *fixed bed reactor* untuk pembuatan biodiesel secara kontinu, dengan rasio mol methanol 7:1.

Penurunan kadar metil ester yang terjadi pada modul kedua disebabkan oleh kurang sempurnanya reaksi transesterifikasi yang menyebabkan masih adanya trigliserida dalam biodiesel, semakin tinggi persentase kadar metil ester maka semakin sedikit jumlah trigliserida yang terdapat dalam biodiesel. Menurut Macaira *et al.* (2011), reaksi transesterifikasi merupakan reaksi berantai. Pertama, trigliserida direduksi menjadi digliserida, selanjutnya digliserida direduksi menjadi monogliserida yang akhirnya membentuk gliserol dengan menghasilkan metil ester pada setiap tahap. Konversi reaksi yang tidak sempurna menyebabkan

masih adanya senyawa mono, di dan trigliserida dalam biodiesel. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut memberikan kontribusi terhadap nilai viskositas kinematik, densitas dan angka asam.

Menurut Panggabean (2011), keberadaan *static mixer* akan membantu molekul-molekul reaktan mendapatkan energi kinetik total yang sama atau melebihi energi aktivasi. Dengan demikian, molekul-molekul reaktan yang memiliki energi yang cukup untuk bereaksi bertambah sehingga reaksi dapat berlangsung dengan cepat meskipun jumlah katalis yang digunakan sedikit.

Selain itu penggunaan katalis pada reaksi transesterifikasi mampu menurunkan energi aktivasi menjadi lebih rendah, sehingga molekul-molekul yang terlibat dalam reaksi dapat melakukan tumbukan lebih efektif dan lebih banyak. Semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin banyak pula reaktan yang berkontak dengan katalis. Dengan demikian, reaktan yang terkonversi menjadi biodiesel semakin meningkat sehingga *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin banyak pula (Clark, 2004).

Pemakaian katalis dapat diturunkan dengan meningkatkan intensitas tumbukan partikel-partikel melalui proses pengadukan dan pencampuran dalam reaktor. Peningkatan pengadukan menyebabkan molekul-molekul akan lebih sering bertabrakan dengan benturan yang lebih besar, sehingga bergerak lebih cepat dan menghasilkan reaksi kimia.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 dengan menggunakan persamaan model logaritmik dapat diduga hubungan antara penggunaan *static mixer* terhadap penurunan penggunaan katalis yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = -0,1313 \ln(x) + 0,4401$$

Berdasarkan persamaan di atas diketahui bahwa katalis sebanyak 0,1% dapat digantikan oleh 0,9 modul atau dengan panjang elemen *static mixer* sebesar 58,1 cm.

Kualitas Mutu Biodiesel

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, mutu biodiesel yang diperoleh menggunakan konsentrasi katalis yang berbeda dengan peningkatan penggunaan pengaduk statik menghasilkan mutu yang beragam. Karakteristik mutu biodiesel yang meliputi viskositas, densitas, dan bilangan asam dengan 3 kali ulangan yang disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182-2012) disajikan pada Tabel 3. Parameter lain dalam SNI biodiesel tidak diamati karena nilai parameter lainnya dipengaruhi oleh bahan baku, tidak hanya didasarkan pada kinerja reaktor (Soerawidjaja, 2008).

Tabel 3. Kualitas mutu biodiesel

Perlakuan		Parameter		
Katalis	Jumlah modul	Viskositas (cSt)	Densitas (kg m ⁻³)	Bilangan asam (mg-KOH g ⁻¹)
0,3%	1	28,52±0,24	860,33±0,04	0,69±0,02
	2	22,30±0,28	855,67±0,02	0,65±0,04
	3	21,94±0,21	855,33±0,01	0,62±0,01
	4	12,04±0,04	853,67±0,02	0,53±0,04
	5	*5,26±0,15	*852,33±0,02	*0,10±0,02
0,5%	1	10,49±0,21	855,67±0,02	0,48±0,12
	2	12,28±0,35	857,33±0,04	0,58±0,06
	3	*5,73±0,03	*850,33±0,01	*0,42±0,12
	4	*5,49±0,03	*850,00±0,01	*0,45±0,01
	5	*5,35±0,22	*851,33±0,04	*0,32±0,02
SNI		2,3-6,0	850-890	<0,6

Ket: * : memenuhi standar SNI

Hasil pengukuran viskositas seperti yang ditampilkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai viskositas berkurang dengan semakin banyaknya modul pengaduk statik yang dilalui. Kadar katalis yang digunakan menghasilkan laju penurunan viskositas yang berbeda, dimana kadar katalis yang lebih tinggi menghasilkan laju penurunan viskositas yang lebih cepat. Penurunan nilai viskositas menunjukkan terjadinya reaksi yang menghasilkan FAME, sehingga hasil ini juga memberikan konfirmasi mengenai pengaruh modul pengaduk statik terhadap keberlangsungan reaksi yang menghasilkan FAME. Densitas yang diperoleh dari hasil pengujian berkisar antara $850,00 \pm 01-860,33 \pm ,04 \text{ kg/m}^3$ (Tabel 3), secara keseluruhan semakin banyak persen katalis dan pengadukan yang diberikan nilai massa jenis dan viskositas variabel ini cenderung turun. Hal ini terjadi karena semakin banyak persen katalis yang diberikan maka semakin cepat pula terpecahnya trigliserida menjadi tiga ester asam lemak yang akan menurunkan viskositas 5-10 persen (Prihandana, 2006).

Berdasarkan Tabel 3 nilai viskositas yang diperoleh sebanding dengan densitas, saat suatu senyawa memiliki viskositas kinematik yang tinggi maka nilai densitas zat tersebut juga akan tinggi. Viskositas dan densitas yang dihasilkan dari penggunaan konsentrasi katalis 0,3% yang memenuhi standar SNI biodiesel pada suhu 40°C adalah saat penggunaan seluruh modul atau harus melewati minimal 5 modul berpengaduk statik. Sedangkan dengan penggunaan konsentrasi katalis 0,5%, viskositas dan densitas yang memenuhi standar SNI adalah setelah melewati penggunaan 3 modul berpengaduk statik. Tingginya viskositas yang dihasilkan pada modul pertama hingga modul ketiga disebabkan masih terdapat banyak (tri, di dan monogliserida) di dalam biodiesel yang menandakan reaksi pembentukan metil ester tidak berjalan dengan tuntas. Jika reaksi berjalan dengan tuntas, maka akan banyak trigliserida dapat diubah menjadi metil ester yang ditunjukkan dengan menurunnya viskositas.

Nilai densitas biodiesel dari penelitian ini mendekati hasil yang dilaporkan Julianti *et al.* (2014) yaitu 851 kg/m^3 dengan bahan baku yang sama. Pencucian tidak memiliki pengaruh yang berbeda nyata terhadap densitas karena nilai densitas biodiesel lebih dipengaruhi oleh proses pembuatan biodiesel itu sendiri. Banyaknya jumlah trigliserida yang terkonversi menjadi metil ester akan mempengaruhi tinggi rendahnya densitas biodiesel. Menurut Hasahatan *et al.* (2012), densitas dipengaruhi oleh faktor gliserol yang terdapat dalam metil ester, semakin besar kadar densitas menunjukkan reaksi yang tidak sempurna pada konversi minyak nabati. Biodiesel dengan mutu seperti ini akan meningkatkan keausan pada mesin, emisi dan kerusakan pada mesin. Selain itu besarnya nilai densitas juga dapat terjadi akibat proses pencucian dan pemurnian yang kurang sempurna.

Angka asam merupakan tolak ukur yang digunakan untuk mengetahui sifat metil ester yang dihasilkan, dari hasil penelitian dengan beberapa perlakuan diperoleh angka asam berkisar $0,10 \pm 0,02-0,69 \pm 0,02 \text{ mg KOH/g}$. Angka asam yang dihasilkan seluruhnya memenuhi standar SNI (maksimal $0,6 \text{ mg KOH/g}$) kecuali biodiesel yang dihasilkan dari penggunaan katalis 0,3% dengan 1, 2 dan 3 modul berpengaduk statik yang memiliki bilangan asam $> 0,6 \text{ mg KOH/g}$.

Bilangan asam yang tinggi ($> 0,6 \text{ mg KOH/g}$) menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang terkandung dalam biodiesel, bilangan asam ini tidak hanya berasal dari asam organik (asam lemak bebas) tetapi juga bisa berasal dari asam lemak anorganik (katalis). Selain itu tingginya bilangan asam dapat terjadi akibat pencucian katalis yang tidak sempurna, bilangan asam yang tinggi menyebabkan rendahnya kualitas biodiesel karena kandungan asam lemak bebas dapat menyumbat filter atau saringan dengan endapan dan menjadi korosif pada logam. Menurut Faizal *et al.* (2013), semakin kecil angka asam maka akan semakin baik kualitas dari biodiesel. Bilangan asam berhubungan dengan pH dari masing-masing produk biodiesel.

Semakin besar pH terutama berkisar antara 6 hingga 7, yaitu menuju netral maka semakin kecil angka asam serta semakin baik metil ester yang dihasilkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil simulasi dengan menggunakan persamaan model logaritmik menunjukkan bahwa 0,1% (b/b) katalis dapat digantikan oleh penggunaan 0,9 modul berpengaduk statik (*static mixer*) atau dengan panjang elemen *static mixer* sebesar 58,1 cm, untuk mempermudah perhitungan 0,9 modul dapat dibulatkan menjadi 1 modul.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan bahwa untuk semua perlakuan penggunaan 5 modul berpengaduk static dengan variasi konsentrasi katalis (0,3% dan 0,5%) telah memenuhi persyaratan karakteristik biodiesel SNI (densitas, viskositas, angka asam). Sedangkan untuk kadar metil ester masih belum mencapai standar SNI, kadar metil ester tertinggi yang diperoleh menggunakan 5 modul adalah 92,5% (b/b) dan 88,9% (b/b), untuk penggunaan katalis sebanyak 0,3% (b/b) dan 0,5% (b/b), secara berturut-turut.

Saran

Kadar metil ester yang dihasilkan pada penggunaan 5 modul berpengaduk statik menggunakan jumlah katalis yang berbeda masih berada dibawah nilai standard SNI. Namun, nilai tersebut masih bisa ditingkatkan dengan meningkatkan intensitas tumbukan yang terjadi, yaitu dengan meningkatkan suhu pemanasan minyak atau dengan memperpanjang reaktor yang dilengkapi dengan *static mixer*. Pada penelitian ini tidak dilakukan ulangan atau duplo sehingga diperlukan kajian lanjutan dengan menambahkan perulangan proses untuk memperoleh keseragaman data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang sudah mendukung penelitian ini dalam Penelitian Hibah Kompetensi tahun ketiga sesuai kontrak nomor: 157/SP2H/PL/DI.LITABMAS/2/2015 Tanggal 5 Februari 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah R, Tambunan AH, Purwanto YA, Kusdiana D. 2010. Comparison of static-mixer and blade agitator reactor in biodiesel production. *Agric Engin Int: The CIGR Ejournal*. 12 (1): 99-106.
- Ani AY, Azlan M, Ishak M, Ismail K. 2011. Production of Biodiesel via In-Situ Supercritical Methanol Transesterification, *Biodiesel Feedstocks and Processing*

- Technologies*. Margarita S, Editor. Cina (CN): InTech. ISBN: 978-953-307-713-0.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2012. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor : 04-7182: 2012 tentang Biodiesel. BSN. Jakarta.
- Buasri A, Chaikut N, Loryuenyong V, Rodklum C, Chaikwen T, Komphan N. 2012. Continuous process for biodiesel production in packed bed reactor from waste frying oil using potassium hydroxide supported on *Jatropha curcas* fruit shell as solid catalyst. *Appl Sci*.2: 641-65.
- Clark J. 2004. Laju Reaksi. http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_fisika1/laju_reaksi1/efek_dari_katalis/. [diunduh: 2014 Nov 14].
- Dewajani H. 2011. Pembuatan biodiesel dari minyak sawit secara kontinyu dalam model reaktor berisian. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, ISSN 1693-4393.
- Faizal M, Maftuchah U, dan Auriyani WA. 2013. Pengaruh kadar metanol, jumlah katalis, dan waktu reaksi pada pembuatan biodiesel dari lemak sapi melalui proses transesterifikasi. *J Tek Kim*. 4(19): 29-37.
- Hariadi P. 2013. Definisi minyak goreng sawit perlu koreksi [ulasan artikel]. *Info Sawit*. 26-27.
- Hariadi P. 2014. *Mengenal Minyak Sawit Dengan Beberapa Karakter Unggulnya*. Jakarta (ID): GAPKI. Tersedia pada: <http://www.gapki.or.id>, [2015 Nov 24];
- Hasahatan D, Sunaryo J, dan Komariah LN. 2012. Pengaruh ratio H₂SO₄ dan waktu reaksi terhadap kuantitas dan kualitas biodiesel dari minyak jarak pagar. *J Tek Kim*. 2(18): 26-36.
- Joelianingsih, Maeda H, Hagiwara S, Nabetani H, Sagara Y, Soerawidjaya TH, Tambunan AH, Abdullah K. 2008. Biodiesel fuels from palm oil via the non-catalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure: A kinetic study. *Renew Energy*. 33:1629-1636.
- Julianti NK, Wardani TK, Gunardi I, Roesyadi A. 2014. Pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit RBD dengan menggunakan katalis berpromotor ganda berpenyangga γ -alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam reaktor *fluidized bed*. *J Tek POMITS*.3(2): B143-B148.
- Knothe G, Gerpen JV, dan Krahl J. 2005. *The Biodiesel Handbook*. Champaign, Illinois US: AOCS Press.
- Macaira J, Santana A, Recasens F, Larrayoz AM. 2011. Biodiesel production using supercritical methanol/ carbon dioxide mixtures in a continous reactor. *Fuel*. 90: 2280-2288.

- Mittelbach M dan Remschmidt C. 2006. *Biodiesel: The Comprehensive Handbook*, Austria (AT). Graz: Martin Mittelbach.
- Panggabean S. 2011. Analisis kinetika reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel secara katalitik dengan *static mixing reactor* [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Prihandana R, Hendroko R, dan Nuramin M. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah, Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. PT. Agromedia Pustaka, Depok. 14-31.
- Reyes JF, Malverde PE, Melin PS, De Bruijn JP. 2010. Biodiesel production in a jet flow stirred reactor. *Fuel*.89: 1093 – 3098.
- Wirawan SS dan Tambunan AH. 2006. The current status and prospects of biodiesel development in Indonesia: A review. presented on the third asia biomass Workshop. Japan.
- Srinivas D dan Kumar SJ. 2012. Challenges and opportunities in biofuel production. *Indian J Chem*. 51A: 174-185.
- Soolany C. 2015. Kajian penggunaan *static mixing reactor* pada proses produksi biodiesel secara katalitik dengan sistem *continue*. *J Penel Has Hut*. 33(3): 261-272.
- Somnuk K, Niseng S, dan Prateepchaikul G. 2014. Optimization of high free fatty acid reduction in mixed crude palm oils using circulating process trough static mixer reactor and pilot-scale of two-step process. *Energy Convers Mgmt*. 80:374-381.
- Thompson JC dan He BB. 2007. Biodiesel production using static mixers. *Am Soc AgriBio Eng*. 50(1):161-165.
- Wu H, Zhang J, Wei Q, Zheng J, Zhang J. 2012. Transesterification of soybean oil to biodiesel using zeolite supported CaO as strong base catalysts. *Fuel Process Technol*. 109:13-18.