

PENGARUH RASIO MOLAR UMPAN TERHADAP METANOL DAN WAKTU REAKSI PROSES PEMBUATAN BIODIESEL MENGGUNAKAN MEMBRAN REAKTOR

Devi Indra Nengsih¹, Syarfi², Jecky Asmura³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Email : vie_5p34rs@yahoo.co.id

ABSTRAK

Indonesia dihadapkan pada krisis energi bahan bakar. Kondisi ini menjadikan peluang bisnis produksi biodiesel masih menjanjikan. Salah satu teknologi dalam menghasilkan energi alternatif adalah konversi minyak jarak menjadi *biodiesel* menggunakan membran reaktor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi rasio molar minyak jarak dengan metanol terhadap konversi biodiesel dan pengaruh waktu reaksi terhadap konversi, serta mempelajari karakteristik biodiesel yang dihasilkan. Proses pembuatan biodiesel menggunakan membrane reaktor *polypropilen* ukuran diameter pori 0,1 μ m dengan temperatur maksimum 55 °C dan tekanan maksimum 1 bar. Variasi rasio molar adalah 1:10, 1:15 dan 1:20 dan variasi waktu 1, 2 dan 3 jam. Yield biodiesel tertinggi pada rasio 1:20 sebesar 97,35% pada waktu reaksi 1 jam. Hasil Karakterisasi sifat fisika biodiesel telah memenuhi standar mutu biodiesel yaitu viskositas kinematik biodiesel berkisar antara 4.02-5,84 cSt dan densitas biodiesel berkisar 0.864-0.892 g/cm³ serta angka keasaman berkisar antara 0.45-0.76 mg KOH/g sampel. Variasi molar mempengaruhi kualitas biodiesel yang dihasilkan yaitu pada rasio molar 1:20.

Kata Kunci : Biodiesel, Membran Reaktor, Rasio Molar, Waktu Reaksi.

ABSTRACT

Indonesia is faced with an energy crisis fuel . This condition makes the business opportunity of biodiesel production is still promising . One of the technologies in generating alternative energy is the conversion of Jatropha oil into biodiesel using membrane reactor . This research aims to study the effect of variations in the molar ratio of castor oil with methanol to biodiesel conversion and the effect of reaction time on conversion , as well as studying the characteristics of biodiesel produced . The process of making biodiesel using membrane reactor polypropilen pore size of 0.1 μ m diameter with a maximum temperature of 55 ° C and a maximum pressure of 1 bar . Variation is the molar ratio of 1:10, 1:15 and 1:20 and the time variation of 1 , 2 and 3 hours . The highest biodiesel yield at a ratio of 1:20 was 97.35 % at the reaction time of 1 hour . Results

Characterization of physical properties of blends of biodiesel which meets the quality standards of the kinematic viscosity of biodiesel ranges between 4.01-4,24 cSt and biodiesel ranges 0874-0883 g/cm³ density and acidity rate ranged between 0.56-0.71 mg KOH / g sample . Molar variation affects the quality of the biodiesel produced is at a molar ratio of 1:20 .

Keywords : Biodiesel , Membrane Reactor , molar ratio , reaction time.

PENDAHULUAN

Pengembangan biodiesel dari jarak pagar banyak dilakukan secara konvensional. Proses pembuatan biodiesel secara konvensional masih mengalami banyak kendala antara lain karena perpindahan masa antar fasa sangat terbatas (karena bersifat immisibile/tidak saling bercampur) (Dube, 2007). Hasil Review (Aziz. 2010) menyebutkan, kendala dalam produksi biodiesel saat ini yaitu teknologi konvensional pada proses pemurnian seperti pengendap gravitasi, dekantasi dan filtrasi telah terbukti tidak efisien waktu, energi konsumtif serta biaya yang tinggi sehingga perlu dikembangkan teknologi produksi biodiesel menggunakan membran reaktor.

Membran reaktor adalah sistem reaktor baru yang mengkombinasikan pemisahan dengan membran dan reaksi kimia. Beberapa keuntungan pembuatan biodiesel dengan membran reaktor, yaitu mudah memisahkan produk utama dari produk samping, dapat meningkatkan laju reaksi, dapat menghalangi pengotor sehingga menghasilkan produk dengan tingkat kemurnian yang tinggi, dapat digunakan untuk bahan baku yang memiliki kadar *free fatty acid* (FFA) yang tinggi tanpa melakukan *pretreatment*, dan konsumsi energi rendah karena tidak memerlukan pengadukan (Dube, 2006).

Pada penelitian Dube, dkk (2006), Cao, dkk (2007) dan Zhu, dkk (2010)

dilakukan metode pembuatan biodiesel dari minyak nabati dengan menggunakan membran reaktor. Membran reaktor memadukan proses reaksi dan proses pemisahan produk dalam satu tahap yang simultan sehingga terjadi pengadukan bahan baku secara kontinu dan menjaga proses perpindahan massa yang besar antara fasa yang saling tidak larut. Membran reaktor dapat melakukan pemisahan reaktan yang tidak bereaksi dan produk yang dihasilkan secara kontinu sehingga keseimbangan reaksi bergeser ke arah produk dan perolehan produk biodiesel tinggi.

Kandungan minyak jarak pagar cukup tinggi, tetapi di dalamnya terkandung racun, sehingga tidak dapat digunakan sebagai minyak makan oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mencari alternatif penggunaan lain dari minyak tersebut yang lebih sesuai dengan karakteristik sifatnya. Salah satu alternatif produk yang akan diteliti adalah untuk pembuatan biodiesel dengan bahan baku minyak jarak pagar.

(Dube *et al*, 2006) telah melakukan penelitian tentang pembuatan biodiesel menggunakan reaktor membran dengan proses transesterifikasi dua fase dari bahan baku minyak *canola*. Pembuatan biodiesel dilakukan pada temperatur 60⁰C, 65⁰C dan 70⁰C dengan perbandingan molar rasio alkohol : lemak dari 50:1 - 6:1 dan 0.05-2% wt (basa) serta 1-5% wt (asam). Sirkulasi laju alir 90-180 kg/menit selama 1-3 jam, yield biodiesel yang diperoleh

65% untuk katalis asam dan 96% untuk katalis basa. Berdasarkan paparan tersebut, maka penelitian ini akan dilakukan dengan variasi rasio molar 1:10, 1:15, 1:20 dan waktu reaksi 1, 2, 3 jam pada temperatur 60°C dengan tekanan 1 bar serta bantuan katalis basa KOH (1% berat). Ditinjau dari yield yang diperoleh, maka penting adanya penelitian mengenai pengaruh variasi rasio molar yang lebih luas lagi pada proses produksi biodiesel dari minyak biji jarak pagar menggunakan membran reaktor untuk meningkatkan konversi dan mempelajari pengaruh waktu reaksi terhadap konversi serta mempelajari karakteristik biodiesel yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Bahan & Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

a. Minyak Nabati

Penelitian ini menggunakan minyak jarak pagar sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Sebelumnya biji jarak diekstrak dulu untuk mendapatkan minyaknya.

b. Alkohol

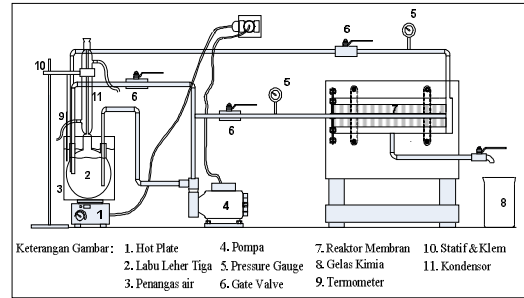
Alkohol yang digunakan di dalam penelitian ini adalah adalah Methanol PE dengan kemurnian yang digunakan adalah 99%.

c. Katalis

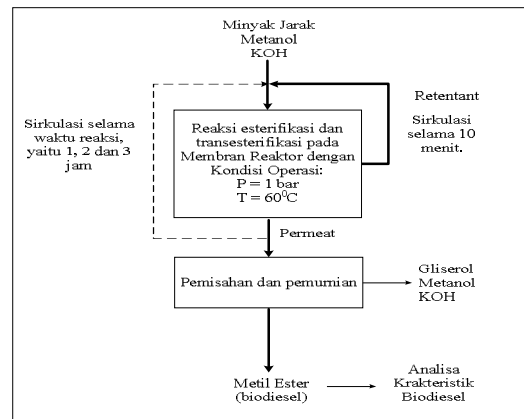
Katalis yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu katalis basa (KOH 1%-berat).

d. Alat

Penyediaan alat utama yaitu rangkaian membran reaktor dan alat pendukung seperti gelas ukur, gelas piala, termometer, corong pisah, erlenmeyer, buret, statif, *oil batch*, piknometer, oven, pipet tetes, viskometer dan neraca digital. Reaktor membran yang digunakan adalah jenis membran polypropilen dengan ukuran pori $0,1\mu\text{m}$. Rangkaian Alat Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan skema pembuatan biodiesel pada Gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian Alat Membran Reaktor. (Syarfi dan Nazaruddin, 2010).



Gambar 2. Skema Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak.

Prosedur & Kondisi

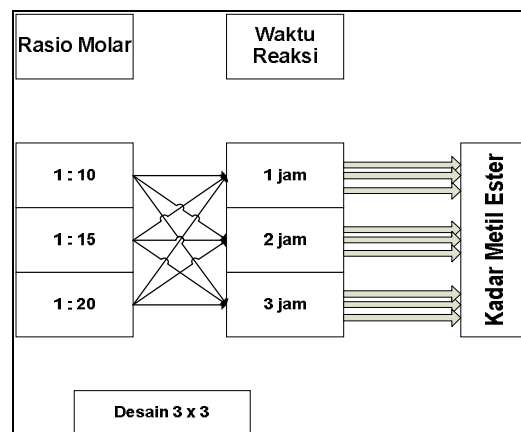
Proses pembuatan biodiesel menggunakan membrane reaktor ini dilakukan pada kondisi reaksi dengan temperature maksimum 60°C dan tekanan 1 bar. Sebelum direaksikan, umpan harus dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara sebagai berikut:

- Minyak Jarak di analisa densitas, viskositas dan bilangan asam. Tujuan dilakukan analisa adalah sebagai parameter keberhasilan proses transesterifikasi pada membrane reaktor.
- Selanjutnya minyak jarak dipanaskan terlebih dahulu didalam oven selama ± 15 menit pada temperature $\pm 80-100^{\circ}\text{C}$. tujuan dilakukan pemanasan adalah untuk menguapkan heksan yang masih tersisa dari proses ekstraksi minyak dan untuk menurunkan viskositas minyak.

- Setelah dipanaskan, minyak didinginkan hingga temperature 60°C dan dimasukkan kedalam labu leher 3 sebanyak 300 gram.
- Kedalam labu leher 3 di tambahkan methanol PE sebanyak yang dibutuhkan sesuai perbandingan rasio molar yang diinginkan dan ditambahkan katalis 1%-berat minyak yang telah dilarutkan dengan sebagian methanol yang akan digunakan.
- Setelah semua bahan dimasukkan, lakukan proses sirkulasi terlebih dahulu selama 10 menit dengan temperature reaksi 60°C untuk menghomogenkan campuran umpan sebelum masuk membrane reactor.
- Setelah sepuluh menit, umpan dialirkan ke membrane reactor dengan tekanan TMP 1 bar selama waktu reaksi yang diinginkan.
- Setelah waktu reaksi dicapai, tampung produk. Kemudian diamkan didalam corong pisah selama ± 2 jam hingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas adalah metil ester dan lapisan bawah adalah gliserol. Selanjutnya dipisahkan dan catat volume metil ester yang dihasilkan.
- Lakukan analisa karakteristik biodiesel, yaitu densitas, viskositas dan bilangan asam.
- Untuk mengetahui senyawa kimia yang terkandung pada metil ester yang dihasilkan, yaitu dengan analisa GC-MS.

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Sifat kimia dan fisika minyak jarak merupakan parameter tetap. Pengaruh temperature dan tekanan diabaikan. Rasio molar (1:10, 1:15 dan 1:20) dan waktu reaksi (1, 2 dan 3 jam) keduanya merupakan parameter berubah. Sedang kadar metil ester biodiesel yang dihasilkan merupakan parameter control.



Gambar 3. Rancangan Penelitian

Kebutuhan Bahan Baku

Untuk menghasilkan kadar metil ester optimum, bahan baku yang diperlukan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

Massa Total Minyak Biji Jarak

Massa minyak biji jarak = 300 gr

Massa total minyak biji jarak (variasi 3 rasio molar dan 3 variasi waktu)

$$= 300 \text{ gr} \times 3 \times 3$$

$$= 2700 \text{ gr}$$

Massa Total Katalis

Jumlah katalis (KOH) yang digunakan:

$$= 1\% \times 300 \text{ gr}$$

$$= 3 \text{ gr}$$

$$\text{Massa total katalis (KOH)} = 3 \text{ gr} \times 3 \times 3 = 27 \text{ gr}$$

Volume Total Metanol

Untuk menghitung kebutuhan methanol, harus diketahui mol dari minyak jarak. Table 1 menunjukkan nilai BM minyak yang dapat digunakan untuk menghitung mol minyak jarak.

Tabel 1. Kandungan Asam Lemak Minyak

No	Asam Lemak	Persentase (%)	BM	BM sebenarnya
1	Asam palmitat	14,2	256,42	36,41
2	Asam stearat	6,9	284,48	19,63
3	asam oleat	43,2	282,46	122,02
4	asam linoleat	34,3	280,45	96,19
Total				274,25

BM Trigliserida Minyak Biji Jarak

$$= 3 \times 274,25 \\ = 822,75 \text{ gr/mol}$$

Mol minyak biji jarak 300 gr.

$$n = \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \\ = \frac{300 \text{ gr}}{822,75 \text{ gr/mol}} \\ = 0,36 \text{ mol}$$

Rasio Molar Minyak Biji Jarak dengan Metanol 1:10

$$n_{\text{metanol}} = 10 \times \text{mol minyak biji jarak} \\ = 10 \text{ gr} \times 0,36 \text{ mol} \\ = 3,6 \text{ mol}$$

$$M_{\text{metanol}} = 3,6 \text{ mol} \times \text{BM}_{\text{metanol}} \\ = 3,6 \text{ mol} \times 32,04 \text{ gr/mol}$$

$$= 116,68 \text{ gr}$$

$$V_{\text{metanol}} = m/\rho_{\text{metanol}} \\ = 116,68 / 0,792 \text{ gr/cm}^3 \\ = 147,36 \text{ cm}^3 \\ = 148 \text{ ml}$$

Rasio Molar Minyak Biji Jarak dengan Metanol 1:15

$$n_{\text{metanol}} = 15 \times \text{mol minyak biji jarak} \\ = 15 \text{ gr} \times 0,36 \text{ mol} \\ = 5,47 \text{ mol}$$

$$m_{\text{metanol}} = 5,47 \text{ mol} \times \text{BM}_{\text{metanol}} \\ = 5,47 \text{ mol} \times 32,04 \text{ gr/mol} \\ = 175,02 \text{ gr}$$

$$V_{\text{metanol}} = m/\rho_{\text{metanol}} \\ = 175,02 \text{ gr} / 0,792 \text{ gr/cm}^3 \\ = 221,04 \text{ cm}^3 \\ = 222 \text{ ml}$$

Rasio Molar Minyak Biji Jarak dengan Metanol 1:20

$$n_{\text{metanol}} = 20 \times \text{mol minyak biji jarak} \\ = 20 \text{ gr} \times 0,36 \text{ mol} \\ = 7,29 \text{ mol}$$

$$m_{\text{metanol}} = 7,29 \text{ mol} \times \text{BM}_{\text{metanol}} \\ = 7,29 \text{ mol} \times 32,04 \text{ gr/mol} \\ = 233,36 \text{ gr}$$

$$V_{\text{metanol}} = m/\rho_{\text{metanol}} \\ = 233,36 \text{ gr} / 0,792 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 294,73 \text{ cm}^3 \\ = 295 \text{ ml}$$

Jadi volume total metanol yang digunakan:
 $3 \times (148 + 222 + 295) \text{ ml} = 1995 \text{ ml}$

Teknik Analisis Data

Analisa kandungan senyawa pada biodiesel minyak jarak menggunakan GCMS, analisa viskositas menggunakan viscometer Ostwald dan densitas menggunakan piknometer serta analisa bilangan asam menggunakan metode uji ASTM D-664.

Parameter Uji Keberhasilan

Teknik analisis yang dipakai adalah analisa deskriptif dengan cara membandingkan kualitas biodiesel hasil penelitian dengan standard nasional indonesia-SNI 04-7182-2006.

HASIL & PEMBAHASAN

Bahan Baku

karakteristik minyak jarak hasil uji ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik minyak jarak pagar

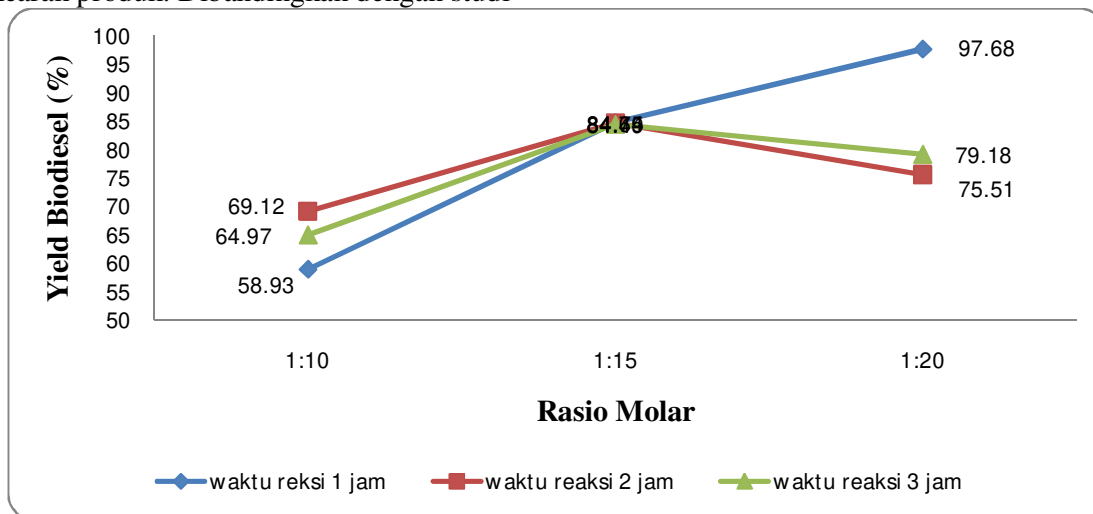
Parameter	Minyak jarak (Tirto. P, 2005)	Minyak jarak (Devi, 2013)
Bilangan asam (mg KOH/g)	4,75	4.54
FFA (%)	-	2.22
Viskositas kinematik (40°C) (cSt)	49,15	52.17
Densitas (40°C) (g/cm ³)	0.92	0.93

Dapat dilihat pada tabel di atas, minyak yang digunakan memiliki viskositas kinematik yang tinggi sebesar 52.17 cSt dan densitas 0.93 g/cm³. Kedua parameter tersebut sangat mempengaruhi keberhasilan reaksi transesterifikasi pada proses *membrane reactor*.

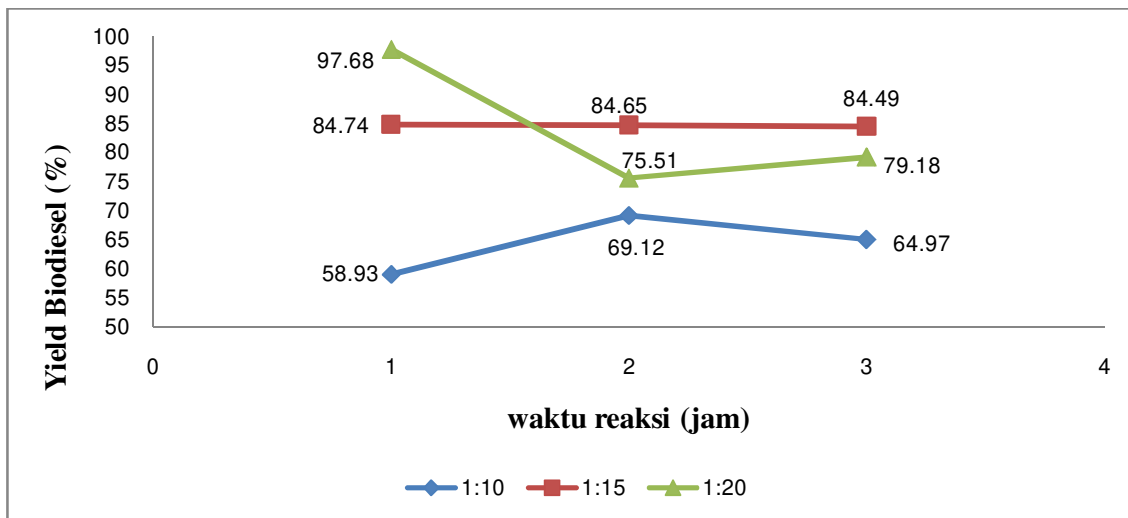
Pengaruh Variasi Molar Terhadap Yield Biodiesel

Grafik pengaruh perbandingan rasio molar alkohol dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa reaksi mencapai nilai yield tertinggi pada perbandingan molar 1:20 dengan waktu reaksi 1 jam yaitu 97,35 % . Rasio molar berpengaruh signifikan dalam perolehan yield, hal ini disebabkan karena fasa kontinu (metanol) reaksi akan bergeser kearah produk. Dibandingkan dengan studi

yang dilakukan Cao dkk [2007] menunjukkan membran reaktor beroperasi efektif pada tipe semi-kontinu ratio molar minyak dan alkohol adalah 1:16. Grafik diatas juga memperlihatkan yield biodiesel pada 1:15 tidak menunjukkan perubahan signifikan terhadap lama waktu reaksi, yaitu 84,93%, 84,65% dan 84,49%.



Gambar 4. Pengaruh Variasi Molar Terhadap Yield Biodiesel



Gambar 5. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Hubungan yield terhadap waktu reaksi ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan hubungan yield biodiesel terhadap waktu reaksi, pada rasio molar 1:15 waktu reaksi hampir tidak berpengaruh pada jumlah yield yang dihasilkan. Rasio molar 1:20 yield tertinggi mencapai 97,35% pada waktu 1 jam, sedangkan pada waktu reaksi 2 jam yield yang dihasilkan menurun menjadi 75,42% dan pada waktu 3 jam perolehan yield meningkat menjadi 79,18%. Penurunan nilai yield terjadi mungkin karena selektifitas membran yang menurun sehingga yield biodiesel yang dihasilkan juga menurun. Hal ini mungkin diakibatkan juga karena pencucian yang tidak maksimal sehingga terbentuk *cake* pada lapisan membrane yang membuat Jumlah produk yang tertampung semakin berkurang.

Karakteristik Fisik Metil Ester

Ester yang dihasilkan berwarna kuning pucat, transparan, encer dan masih ada bau minyak jarak. Berdasarkan hasil uji analisa sifat fisik dan karakteristiknya telah memenuhi standar yang diinginkan. Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

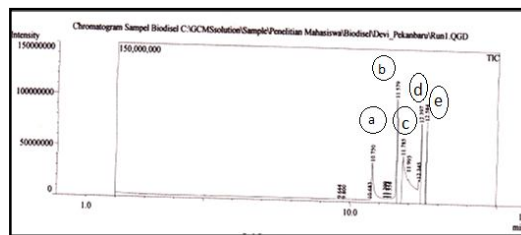
Tabel 3. Karakteristik Metil Ester

No	Parameter	Unit	SNI	Hasil Uji (Devi, 2013)
1	Densitas (40°C)	Kg/m ³	850 – 890	864 - 892
2	Viskositas (40°C)	Mm2/s (cSt)	2,3 – 6,0	4,02 - 5,84
3	Bilangan asam (N _A)	Mg-KOH/g	Max. 0,8	0,10 - 0,76

Hasil Analisa GCMS Biodiesel Minyak Jarak

Hasil analisa dengan menggunakan alat GC-MS menyatakan jumlah persentasi komponen kimia yang terkandung di

dalam biodiesel. Hasil analisis menggunakan GC-MS untuk sampel perbandingan molar 1 : 15 dan waktu reaksi 1, 2 dan 3 jam ditampilkan pada Gambar 6, 7 dan 8, sedangkan komponen senyawa diperlihatkan pada Tabel 4, 5 dan 6.

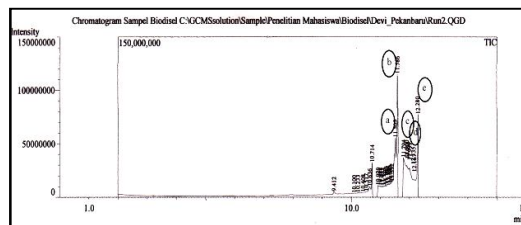


Gambar 6. GCMS Produk Metil Ester dengan Perbandingan Molar 1:15 dan Waktu Reaksi 1 jam.

Tabel 4. Hasil Analisa GC-MS Senyawa Metil Ester dari Minyak jarak dengan Perbandingan Molar 1 : 15 dan Waktu Reaksi 1 jam

peak	% Area	Komponen
4	18.35	Methyl Ester(CAS) Methyl palmitate
8	13..37	Methyl Ester(CAS) METHYL OCTADEC-7-ENOATE
9	26.94	Methyl Ester(CAS) Methyl 6-octadecenoate
12	7.89	Methyl Ester(CAS) Methyl 10-undecenoate
13	5.39	METHYL ESTER, (z)-RICINOLSAEUREMETHYL

Sumber : Hasil Uji UPTD. Balai Laboratorium Kesehatan - Padang, 2013

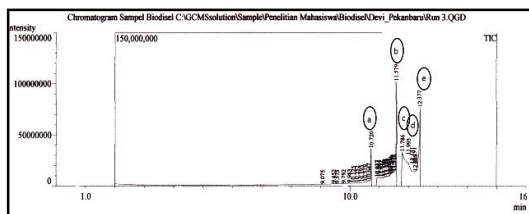


Gambar 7. GCMS Produk Metil Ester dengan Perbandingan Molar 1:15 dan Waktu Reaksi 2 jam.

Tabel 5. Hasil Analisa GC-MS Senyawa Metil Ester dari Minyak jarak dengan Perbandingan Molar 1 : 15 dan Waktu Reaksi 2 jam

peak	% Area	Komponen
17	13.99	<i>Methyl ester, (Z)- (CAS) methyl petroselinate</i>
18	14.82	<i>Methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-7-ENOATE</i>
19	11.71	<i>Methyl ester (CAS) Methyl oleate</i>
22	12.02	<i>METHYL ESTER OF RICINOLEIC ACID</i>
25	10.15	<i>Methyl ester (CAS) Methyl 10-undecenoate</i>

Sumber : Hasil Uji UPTD. Balai Laboratorium Kesehatan - Padang, 2013



Gambar 8. GCMS Produk Metil Ester dengan Perbandingan Molar 1:15 dan Waktu Reaksi 3 jam.

Tabel 6. Hasil Analisa GC-MS Senyawa Metil Ester dari Minyak jarak dengan Perbandingan Molar 1 : 15 dan Waktu Reaksi 3 jam

peak	% Area	Komponen
11	3.71	<i>Methyl Ester(CAS) methyl palmitate</i>
24	10.64	<i>Methyl ester, (z)- (CAS) methyl petroselinate</i>
25	20.20	<i>Methyl ester (CAS) Methyl oleate</i>
26	9.42	<i>Methyl Ester(CAS) methyl 10-undecenoate</i>
30	15.89	<i>Methyl Ester(CAS) methyl 10-undecenoate</i>

Sumber : Hasil Uji UPTD. Balai Laboratorium Kesehatan - Padang, 2013

KESIMPULAN

1. Rasio molar 1:20 yield tertinggi mencapai 97,35% pada waktu 1 jam, sedangkan pada waktu reaksi 2 jam yield yang dihasilkan menurun menjadi 75,42% dan pada waktu 3 jam perolehan yield meningkat menjadi 79,18%. Penurunan nilai yield terjadi mungkin karena selektifitas membran yang menurun sehingga yield biodiesel yang dihasilkan juga menurun.
2. Ester yang dihasilkan berwarna kuning pucat, transparan, encer dan masih ada bau minyak jarak.
3. Hasil karakterisasi sifat fisika Biodiesel berupa densitas = 0,864 gr/ml hingga 0.892 gr/ml; viskositas kinematik = 4.02 cSt hingga 5.84 cSt dan angka keasaman = 0.45 mg KOH/gr sampel hingga 0.76 mg KOH/gr sampel. Karakterisasi tersebut telah memenuhi standar biodiesel yang diinginkan dan layak untuk digunakan.
4. Hasil GCMS menunjukkan komponen terbanyak pada tiap sampel adalah *Methyl Ester(CAS) Methyl 6-octadecenoate, Methyl Ester(CAS) methyl 10-undecenoate, Methyl ester (CAS) Methyl oleate, Methyl Ester(CAS) Methyl palmitate, Methyl ester, (Z)- (CAS) methyl petroselinate, Methyl ester (CAS) METHYL OCTADEC-7-ENOATE dan METHYL ESTER OF RICINOLEIC ACID.*

SARAN

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan pengukuran karakteristik metil ester yang lebih banyak sesuai dengan standar.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan berkaitan tentang pengaruh konsentrasi katalis terhadap yield biodiesel yang dihasilkan serta pengaruh proses pencucian membrane terhadap laju fluks permeat dan selektifitasnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Syarfi, MT., dan Bapak Jecky Asmura, ST., MT., yang telah membimbing dan memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao P., Tremblay A. Y., dan Dube M. A., 2007. *Effect of Membrane of Pore Size on The Performance of a Membrane Reactor for Biodiesel Production*. Ind. Eng. Chem. Res., 46, hal. 52.
- Dube, M., A., Tremblay, A., Y., dan Liu, L., 2006. *A Novel Membrane Reactor for Continous Production of Biodiesel*. Departement of Chemical Engineering. University of Ottawa. Canada.
- Prakoso Tirto. 2005. "Proses Pengolahan & Pemanfaatan Minyak Jarak Menjadi Biodiesel pada Berbagai Skala Industri". Teknik Kimia: ITB.
- Syarfi, Nazaruddin, Zahrina I. 2010. "Pengaruh Tekanan Transmembran Pada Pembuatan Biodiesel Dari CPO Parit Dengan Reaktor Membran". Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi III 2010. Lampung.
- Wenten. I G, HN. Mala. 2010. "Review Proses Produksi Biodiesel dengan Menggunakan Membran Reaktor". Fakultas Teknologi Industri: ITB.
- Zhu M., He B., Shi W., Feng Y., Ding J., Li J., dan Zeng F., (2010). "Preparation and Characterization of PSSA/PVA Catalytic Membrane for Biodiesel Production". *Fuel*. doi:10.1016/j.fuel.2010.02.001.