



Kinetika Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Microwave Pada Produksi Biodisel Dari Minyak Jarak

Bambang Poerwadi ^{1*)}, Bambang Ismuyanto ¹⁾, Ahmad Ridwan Rosyadi ¹⁾, dan Ayu Indah Wibowo ¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang 65145, Indonesia

^{*)} Penulis korespondensi : bampoer@ub.ac.id ; bpoerwadiub@gmail.com

Abstract

Microwave Assisted Transesterification Reaction Kinetics of Biodiesel from Jatropha Oil. Biodiesel has become an important alternative green fuel to diminish the use of fossil fuel. In this paper, biodiesel was produced by microwave assisted transesterification of *Jatropha curcas* oil. Transesterification was varied in temperature of 45-65°C and time of 2-6 minutes. Ratio of methanol and oil was fixed as 7.5:1, while the KOH concentration was 1.5% from the total mass of oil and methanol. Conversion of *Jatropha* oil into biodiesel was evaluated by analyzing the concentration of produced methyl ester using GC-FID. In this study, reaction rate constant and activation energy of microwave-assisted esterification were calculated and evaluated in detail. The average reaction rate constant for the temperature of 65, 60, 55, 50, and 45°C were 1.222, 1.930, 2.002, 1.666, and 1.608 L/mol.menit, respectively. The activation energy of this microwave assisted esterification was 18.91 kJ/mol, which was lower than that of using direct heating, 28.8 kJ/mol.

Keywords: activation energy; transesterification; rate reaction constant; microwave reactor; *Jathropa curcas*

Abstrak

Biodisel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Penelitian ini, memproduksi biodisel melalui reaksi transesterifikasi minyak jarak dengan menggunakan microwave. Transesterifikasi dilakukan variasi pada suhu 45-65°C dan waktu 2-6 menit dengan rasio mol metanol dan minyak 7,5:1 serta KOH 1,5% terhadap berat total minyak dan metanol dalam microwave. Konversi minyak jarak menjadi biodisel dilihat dari metil ester yang terbentuk dan dianalisis menggunakan GC-FID. Pada penelitian ini, konstanta laju reaksi dan energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak jarak dengan katalis KOH dengan menggunakan microwave dihitung dan dievaluasi secara detail. Konstanta laju reaksi transesterifikasi rata-rata yang dihasilkan untuk temperatur operasi 65, 60, 55, 50, dan 45 oC secara berurutan adalah 1,222 L/mol.menit; 1,930 L/mol.menit; 2,002 L/mol.menit; 1,666 L/mol.menit dan 1,608 L/mol.menit. Energi aktivasi reaksi transesterifikasi yang dihasilkan sebesar 18,91 kJ/mol, dimana lebih kecil dibandingkan dengan transesterifikasi menggunakan pemanasan langsung yaitu sebesar 28,8 kJ/mol.

Kata kunci: energi aktivasi; transesterifikasi; konstanta laju reaksi; reaktor microwave; minyak jarak

PENDAHULUAN

Biodisel mendapat perhatian yang sangat penting sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin disel dikarenakan semakin menurunnya cadangan

bahan baku untuk bahan bakar fosil. Selain itu biodisel juga merupakan salah satu solusi bahan bakar ramah lingkungan dan dapat terbarukan, karena biodisel terbuat dari sumber daya alam yang dapat

diperbarui dan dapat didegradasi, seperti minyak tumbuhan dan lemak hewan yang mengandung alkil ester sederhana dari asam lemak, sehingga biodiesel dapat dipertimbangkan akan berkontribusi cukup besar untuk mengurangi pemanasan global, dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi gas CO₂ cukup tinggi (Demirbas, 2007).

Pada umumnya, biodiesel dapat diproduksi dengan menggunakan reaksi transesterifikasi dengan mereaksikan trigliserida seperti minyak tumbuhan dengan alkohol, biasanya metanol, dengan menggunakan katalis alkali. Transesterifikasi ini menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserol. FAME inilah yang diambil sebagai biodiesel. Metode esterifikasi dengan menggunakan katalis alkali ini yang paling banyak diadopsi dalam produksi biodiesel karena metal alkoksida atau hidroksida alkali lebih efektif daripada katalis asam (Asakuma dkk, 2009). Metode pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa menghasilkan konversi trigliserida menjadi biodiesel dengan kadar FAME yang tinggi dan memiliki sifat mendekati bahan bakar disel, serta membutuhkan biaya operasi yang relatif rendah (Lin dkk., 2011).

Reaksi transesterifikasi pada umumnya dilakukan pada suhu operasi sesuai dengan titik didih jenis alkohol yang digunakan (pada umumnya menggunakan metanol), yaitu 40-100°C. Metode pemanasan yang umum digunakan adalah dengan cara langsung menggunakan *hot plate* atau *oil bath* (Leung dkk., 2010). Beberapa jurnal telah melaporkan bahwa yield biodiesel yang cukup tinggi dihasilkan dengan menggunakan pemanasan (Helwani dkk., 2009). Reaksi transesterifikasi dengan menggunakan pemanasan membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu 1 sampai 2 jam (Gude dkk., 2013). Waktu reaksi yang cukup lama ini dikarenakan proses pemanasannya harus melalui tiga tahapan perpindahan panas, yaitu radiasi, konduksi, dan konveksi. Proses perpindahan panas tersebut menyebabkan energi yang hilang menjadi besar sehingga energi dari pemanasan yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi transesterifikasi juga menjadi besar. Jamil dan Muslim 2012 melaporkan energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel dengan menggunakan metode pemanasan dibutuhkan sebesar 28,8 kJ/mol pada kondisi temperatur reaksi 30 sampai 60°C, konsentrasi katalis 1,5% berat, dan rasio mol minyak jarak : metanol sebesar 1:16.

Waktu reaksi transesterifikasi minyak jarak pada metode pemanasan dapat dipersingkat dengan menggunakan metode lain, seperti dengan menggunakan *microwave* sebagai sumber energinya. Reaksi transesterifikasi dengan menggunakan *microwave* pada kondisi temperatur reaksi 40-100°C dapat berlangsung dalam waktu singkat antara 0,05 sampai 0,1 jam (Gude dkk., 2013). Waktu yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi dapat ditempuh dalam waktu singkat karena *microwave* memancarkan radiasinya langsung ke tingkat molekul

dan menyebabkan adanya pergerakan molekul yang menghasilkan panas sehingga panas lebih cepat merata dan suhu reaksi lebih cepat tercapai. *Microwave* memiliki frekuensi 2,5 GHz sehingga tidak dapat diserap oleh bahan-bahan gelas dan keramik (Handayani, 2010). Oleh karena itu, energi yang hilang dalam proses transesterifikasi menggunakan *microwave* menjadi lebih kecil dibandingkan dengan pemanasan. Selain itu, proses transesterifikasi dengan menggunakan *microwave* dapat meningkatkan laju reaksi, *yield* biodiesel, dan kemurnian biodiesel dibandingkan pemanasan langsung (Lin dkk., 2014).

Pengaruh pemanasan dapat diketahui lebih detail dengan menggunakan *microwave* terhadap jalannya reaksi transesterifikasi, perlu dipelajari kinetika reaksi pada reaksi transesterifikasi menggunakan bantuan *microwave*, salah satu parameter dengan menghitung kecepatan laju reaksi dan energi aktivasi reaksi transesterifikasi.

Properti bahan bakar biodiesel juga sangat dipengaruhi oleh struktur dan kadar FAME yang berasal pada sumber minyak tumbuhan yang dipakai. Tanaman jarak atau yang dikenal dengan jarak pagar (*Jatropha curcas*), terutama bijinya, merupakan sumber minyak nabati non-pangan yang dapat digunakan sebagai sumber bahan baku biodiesel. Minyak jarak pagar dihasilkan dengan mengekstrak biji keringnya secara mekanik maupun kimiawi. minyak jarak pagar ini merupakan trigliserida yang tersusun oleh asam lemak palmitat 14,1%, stearat 6,8%, oleat 38,6%, linoleat 36%, dan asam-asam lemak lainnya 4,5%, yang merupakan bahan baku proses transesterifikasi (Harimurti dan Sumangat, 2011). Penggunaan minyak jarak sebagai bahan baku biodiesel memberikan peluang yang baik, karena bisa bersaing dengan minyak pangan seperti kelapa sawit yang umumnya harganya lebih mahal.

Dari penjelasan di atas, maka pada penelitian ini dilakukan studi untuk mengkaji konstanta laju reaksi dan energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel dengan menggunakan *microwave* sebagai sumber energinya. Adapun eksperimen reaksi transesterifikasi dengan bantuan *microwave* yang dilakukan mengacu pada penelitian Sherbiny dkk. (2010). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi dengan sumber energi *microwave* dapat menurunkan waktu reaksi menjadi 2 menit. *Yield* biodiesel terbesar yang diperoleh dari penelitian tersebut, yaitu 97,2% dengan menggunakan rasio molar metanol : minyak jarak sebesar 7,5 : 1, katalis KOH 1,5%, dan waktu reaksi selama 2 menit dalam *microwave*.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan adalah minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) dari Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas) di Karangploso, Malang. Bahan penunjang yang

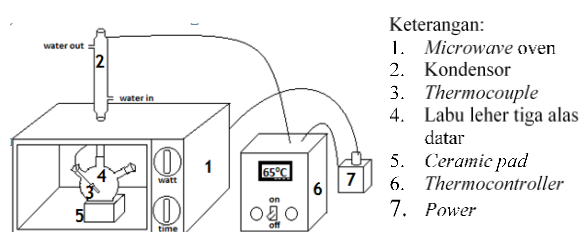
digunakan antara lain metanol 99,8% teknis, etanol 95% p.a., KOH teknis, NaOH p.a., *polytetrafluoroethylene film*, asam oksalat p.a., dan akuades.

Prosedur Penelitian

Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar

Proses transesterifikasi menggunakan katalis berupa KOH dalam bentuk larutan metanolik, dimana padatan KOH dicampurkan dalam larutan metanol. Padatan KOH yang dipakai sebanyak 1.5% berat minyak jarak dan metanol. Jumlah metanol yang dibutuhkan sesuai dengan rasio mol metanol dan minyak jarak 7.5:1, dimana komposisi minyak jarak pagar sesuai dengan jenis, varietas tanaman jarak pagar sumber minyak jarak, sehingga berat molekul dan densitas minyak jarak yang digunakan adalah 0,9 g/cm³ dan 800 g/mol (Sundarapandian dan Devaradjane, 2007), sesuai dengan uji awal densitas sebesar 0,91 g/cm³ dan varietas dan iklim tumbuh jarak pagar yang relatif mendekati.

Persiapan proses transesterifikasi, minyak jarak 105 gram dipanaskan menggunakan *heating mantle* terlebih dahulu di dalam labu leher tiga sampai suhu sesuai dengan variabel penelitian. Kemudian ditambahkan katalis KOH yang sudah dilarutkan dalam metanol. Reaksi dibiarkan berlangsung sesuai dengan variabel waktu yang diinginkan. Skema alat yang digunakan dalam proses transesterifikasi dengan menggunakan *microwave* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat transesterifikasi dengan menggunakan *microwave*.

Pemisahan Produk Biodisel

Hasil reaksi transesterifikasi masih perlu dilakukan pemisahan untuk memisahkan produk biodisel mentah dengan hasil samping berupa gliserol, sehingga diperoleh produk biodisel mentah yang lebih murni. Pemisahan dilakukan menggunakan corong pisah dengan prinsip gravitasi, polaritas senyawa dan perbedaan densitas biodisel dan gliserol. Biodisel akan terpisah dan berada di bagian atas bersama senyawa lain yang mempunyai kesamaan polaritas, sedangkan gliserol bersama air hasil reaksi dan metanol sisa akan terpisah dan berada di bagian bawah corong pisah. Pemisahan dilakukan selama 24 jam. Kemudian, produk biodisel mentah dan lapisan gliserol yang telah terpisah ditimbang.

Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pengujian kadar asam lemak bebas FFA (*Free Fatty Acid*)
Pengujian kadar FFA dilakukan dengan metode titrasi yang mengacu pada SNI 01-3555-1998. Pengujian kadar FFA dilakukan pada minyak jarak sebelum dan setelah titrasi.
2. Pengujian kadar FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*)
Kandungan FAME dalam produk biodisel mentah diuji menggunakan GC (*Gas Chromatography*) dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*).

Nilai kadar FFA dan FAME yang diperoleh dari eksperimen ini kemudian digunakan untuk perhitungan konstanta laju reaksi dan energi aktivasi reaksi transesterifikasi.

Penentuan Nilai Konstanta Laju Reaksi dan Energi Aktivasi

Persamaan Arrhenius digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi (Hill, 1977).

Energi aktivasi dihitung dengan menggunakan data konstanta laju reaksi pada suhu yang berbeda.

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} = k_0 e^{-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)} \quad (1)$$

Atau dengan menjadikan ruas kanan dan ruas kiri dalam bentuk log normal:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

persamaan tersebut di atas merupakan persamaan garis lurus dengan sumbu x adalah (1/T) dan sumbu y adalah ln k, dimana kemiringan (*slope*) adalah (-E_a/R) dan intersep ln k₀.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Esterifikasi Minyak Jarak dengan Bantuan Microwave

Kandungan kadar FFA, air dan densitas minyak jarak yang digunakan sebagai bahan baku utama dalam proses transesterifikasi dapat dilihat dalam Tabel 1.

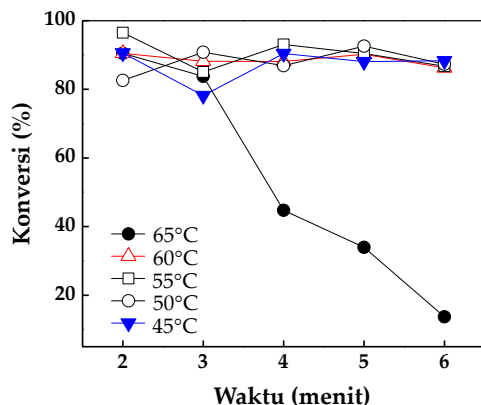
Tabel 1. Karakterisasi Minyak Jarak Pagar

Sifat	Nilai
Kadar FFA	6,95 %
Kadar air	0 %
Densitas	0,905 gr/cm ³

Penentuan kadar FFA dan kadar air digunakan untuk menentukan jumlah trigliserida dalam minyak jarak pagar. FFA merupakan senyawa non trigliserida. Dengan kadar FFA dan air sebesar 6,95% dan 0%, maka bisa diketahui kadar trigliserida dalam minyak jarak sebesar 93,05%.

Gambar 2 dan Tabel 2 menunjukkan konversi Trigliserida menjadi FAME untuk setiap variabel waktu pada suhu 45°C sampai 65°C. Konversi

trigliserida menjadi FAME cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Khususnya pada suhu 65°C, terjadi penurunan konversi yang cukup drastis seiring dengan meningkatnya waktu reaksi transesterifikasi.



Gambar 2. Konversi Trigliserida menjadi FAME setiap waktu pada suhu 45-65°C

Selain itu penurunan konversi ini juga dimungkinkan karena pengaruh gelombang mikro pada produk reaksi (FAME) yang telah terbentuk. Sesuai dengan penelitian (Sherbiny dkk., 2010). Degradasi yang terjadi dikarenakan stabilitas senyawa terhadap paparan gelombang mikro pada waktu tertentu (Jain dan Sharma, 2012).

Tabel 2. Konversi Trigliserida menjadi FAME

T (°C)	Konversi				
	2 menit	3 menit	4 menit	5 menit	6 menit
45	84,98%	73,37%	81,05%	80,66%	76,49%
50	78,33%	85,83%	82,06%	82,05%	76,59%
55	88,66%	77,62%	82,92%	82,44%	78,36%
60	85,70%	83,41%	83,01%	82,90%	79,86%
65	85,81%	79,27%	42,03%	31,67%	12,75%

Konstanta Laju Reaksi Transesterifikasi

Nilai konstanta laju reaksi untuk setiap variabel suhu dapat ditentukan secara numerik dalam bentuk konstanta laju reaksi rata-rata sesuai dengan persamaan (2), dimana sebelumnya dihitung nilai konstanta laju reaksi untuk setiap variabel waktu pada tiap suhu dengan persamaan (1). Nilai konstanta laju reaksi rata-rata untuk tiap variabel suhu dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 bisa dilihat bahwa konstanta laju reaksi transesterifikasi pada suhu 45-55°C terjadi peningkatan seiring dengan kenaikan suhu reaksi. Pada kondisi ini, peningkatan suhu reaksi akan menyebabkan peningkatan energi kinetik molekul sehingga tumbukan antar molekul semakin besar dan menyebabkan laju reaksi juga akan semakin meningkat.

Peningkatan konstanta laju reaksi seiring dengan peningkatan suhu juga dapat dijelaskan melalui persamaan Arrhenius (persamaan 1). Nilai konstanta laju reaksi (k) tidak dipengaruhi oleh faktor frekuensi (faktor pre-eksponensial) karena faktor frekuensi (k_0) relatif konstan dengan perubahan temperatur yang kecil sehingga faktor yang berpengaruh adalah $e^{-E_a/RT}$. Temperatur reaksi yang semakin tinggi menyebabkan nilai $e^{-E_a/RT}$ menjadi semakin besar sehingga konstanta laju reaksi (k) yang diperoleh juga akan semakin besar.

Akan tetapi pada Tabel 3 juga dapat diketahui bahwa pada temperatur reaksi lebih tinggi dari 55°C nilai konstanta kecepatan laju reaksi mulai menurun seiring dengan kenaikan temperatur reaksi, dimana penurunan nilai konstanta laju reaksi paling besar pada temperatur reaksi 65°C, karena suhu yang terlalu tinggi, FAME yang terbentuk sebagian terdegradasi menjadi senyawa lain yang tidak teridentifikasi sebagai reaktan maupun produk reaksi (FAME). Penurunan nilai kadar FAME ini yang menyebabkan nilai konstanta kecepatan reaksi dalam perhitungan ini menjadi lebih rendah.

Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa ada suhu optimum agar proses transesterifikasi juga berlangsung secara optimal dan menghasilkan kadar FAME yang cukup tinggi.

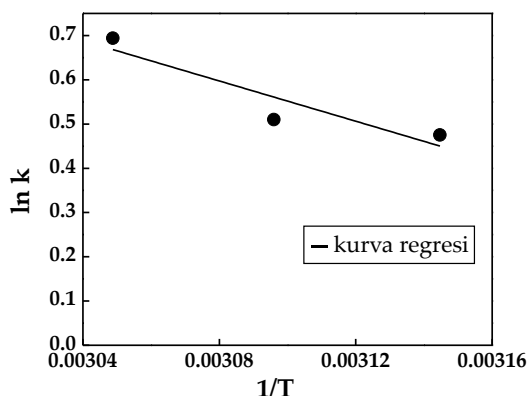
Tabel 3. Konstanta laju reaksi transesterifikasi rata-rata

Suhu (°C)	$\bar{k}$ (L/mol.menit)
45	1,608
50	1,666
55	2,002
60	1,930
65	1,222

Karena penurunan nilai konstanta laju reaksi pada suhu 60 dan 65°C tersebut, maka nilai konstanta laju reaksi pada suhu tersebut tidak digunakan dalam perhitungan selanjutnya untuk menentukan nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi.

Energi Aktivasi Reaksi Transesterifikasi

Energi aktivasi reaksi transesterifikasi ditentukan dari grafik plot $\ln k$ terhadap $1/T$ sesuai Gambar 3.



Gambar 3. Plot $\ln k$ terhadap $1/T$

berdasarkan persamaan garis lurus yang diperoleh dari Gambar 3, diperoleh persamaan:

$$y = -2274,2x + 7,6016 \quad (5)$$

dengan nilai $R^2 = 0.8601$. Berdasarkan persamaan (4), dari persamaan tersebut dapat diperoleh *slope* yang menunjukkan nilai $-E_a/R$. Dengan menggunakan nilai R sebesar $8,314 \text{ J/mol.K}$, maka nilai energi aktivasi (E_a) bisa dihitung, yaitu sebesar $18,91 \text{ kJ/mol}$. Jika dibandingkan dengan nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi dengan pemanasan langsung, yaitu sebesar $28,8 \text{ kJ/mol}$ (Jamil dan Muslim, 2012), reaksi transesterifikasi dengan bantuan *microwave* ini memiliki nilai energi aktivasi yang lebih kecil.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan sumber energi yang digunakan akan mempengaruhi cepat atau lambatnya reaksi esterifikasi yang berlangsung. Sumber energi dari *microwave* mampu menurunkan nilai energi aktivasi reaksi transesterifikasi. Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan faktor frekuensi antara metode pemanasan langsung dan penggunaan sumber energi *microwave*. Faktor frekuensi atau jumlah tumbukan per satuan waktu untuk reaksi transesterifikasi menggunakan *microwave* lebih besar dibandingkan dengan metode pemanasan langsung. Namun, energi aktivasi reaksi transesterifikasi menggunakan *microwave* lebih kecil dibandingkan dengan metode pemanasan langsung.

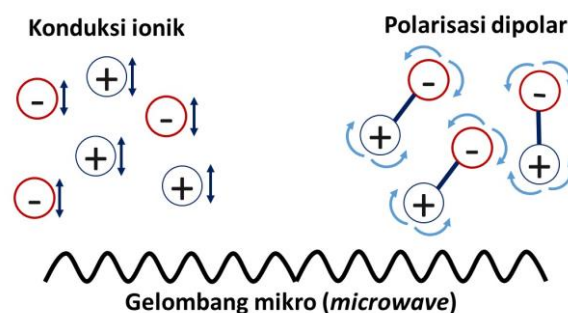
Tabel 4. Perbandingan nilai E_a dan k_0 berdasarkan sumber energi

Sumber Energi	Energi Aktivasi (E_a)	Faktor Frekuensi (k_0)
Pemanasan	28,8 kJ/mol	5,424
Microwave	18,91 kJ/mol	2000,195

Pengaruh *microwave* berasal dari dua peristiwa yaitu interaksi *microwave* dengan reaktan dan peristiwa polarisasi dipolar. Semakin besar polaritas molekul (seperti pelarut) maka semakin besar pula pengaruh *microwave* dalam kenaikan suhu. Metanol sebagai pelarut, merupakan pelarut organik dengan polaritas yang tinggi dan memiliki kapasitas absorpsi *microwave* yang besar. Metanol mengalami polarisasi

dipolar akibat interaksi tingkat molekular dari *microwave* terhadap campuran reaksi yang menghasilkan rotasi dipolar dan konduksi ionik. Interaksi *microwave* dengan reaktan (trigliserida dan metanol) menghasilkan penurunan energi aktivasi yang besar akibat peningkatan peristiwa polarisasi dipolar. Penurunan energi aktivasi ini dipengaruhi oleh media dan mekanisme reaksi. Selain itu, *superheating* yang cepat juga berperan dalam menurunkan energi aktivasi.

Karena reaksi melibatkan termodinamika maka pengaruh pemanasan dengan *microwave* dapat dijelaskan dengan persamaan Arrhenius. Hubungan antara energi aktivasi dan faktor frekuensi pada persamaan Arrhenius adalah berbanding terbalik sehingga peningkatan faktor frekuensi menyebabkan menurunnya energi aktivasi reaksi transesterifikasi. Hal ini berhubungan dengan pengaruh dari mekanisme polarisasi dipol dan konduksi ionik dari penyerapan *microwave*. Mekanisme polarisasi dipol dan konduksi ionik dapat dijelaskan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Polarisasi Dipol dan Konduksi Ionik dari *Microwave*

Sumber: Gude dkk. (2013)

Molekul yang memiliki momen dipol maka dipol tersebut akan berusaha untuk mengikuti medan listrik ketika terpapar radiasi *microwave*. Karena medan listrik bergelombang maka dipol akan berusaha mengikuti pergerakannya secara konstan. Molekul yang memiliki muatan maka ion tersebut akan digerakkan maju dan mundur melewati bahan serta mengalami tumbukan satu sama lain oleh komponen medan listrik dari radiasi *microwave*. Mekanisme tersebut menyebabkan tumbukan antarmolekul semakin besar sehingga faktor frekuensinya semakin besar pula dan mempengaruhi nilai energi aktivasi dari reaksi transesterifikasi.

KESIMPULAN

Biodisel diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak jarak pagar dengan menggunakan *microwave*. konstanta laju reaksi dan energi aktivasi dihitung dan dievaluasi secara detail. Konstanta laju reaksi transesterifikasi rata-rata yang dihasilkan untuk temperatur operasi 65, 60, 55, 50, dan 45 °C secara berurutan adalah 1,222 L/mol.menit; 1,930 L/mol.menit; 2,002 L/mol.menit; 1,666

L/mol.menit dan 1,608 L/mol.menit. Energi aktivasi reaksi transesterifikasi yang dihasilkan sebesar 18,91 kJ/mol, dimana lebih kecil dibandingkan dengan transesterifikasi menggunakan pemanasan langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Asakuma, Y., Maeda, K., Kuramochi, H., dan Fukui, K. (2009). Theoretical Study of the Transesterification of Triglycerides to biodiesel fuel. *Fuel*, 88, 786-791.
- Baer, F., Lasse, S., Kevin, S., Zhu, F., Mustafa, E., Jens, S., Julian, G., Bernd, S., Benedikt, B., dan Juergen, K. (2013). Ageing of Biodiesel. Makalah dalam 6th International Conference on Biodiesel. Coburg University of Applied Sciences and Arts. Germany, 7th – 8th May 2013.
- Demirbas, A. (2007). Progress and Recent Trends in Biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 1–18.
- Gude, V.G., Prafulla, P., Edith M.G., Shuguang, D., dan Nagamany, N. (2013). Microwave Energy Potential for Biodiesel Production dalam *Sustainable Chemical Process*. USA: Mississippi State University.
- Handayani, S.P. (2010). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Ikan dengan Radiasi Gelombang Mikro. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret: Surakarta.
- Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernando, W.J.N., dan Kim, J. (2009). Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques: A review. *Fuel Processing Technology*, 90(12), 1502-1514.
- Jain, S dan Sharma, M. P. (2012). Study of Oxidation Stability of Jatropha Curcas Biodiesel/Diesel Blends. *International Journal of Energy and Environment*, 2(3), 533-542.
- Jamil, C. A. Z. dan A. Muslim. (2012). Performance of KOH as a Catalyst for Transesterification of Jatropha Curcas Oil. *International Journal of Engineering Research and Application (IJERA)*. 2, 635-639.
- Leung, D.Y.C., Wu, X., dan Leung, M.K.H. (2010). A Review on Biodiesel Production using Catalyzed Transesterification, *Applied Energy*, 87(4), 1083-1095
- Lin, Yuan-Chung, Shang-Cyuan, C., Chin-En, C., Po-Ming, Y., dan Syu-Ruei, J. (2014). Rapid Jatropha-Biodiesel Production Assisted by a Microwave System and Sodium Amide Catalyst. *Journal of Fuel*, 135, 435-442.
- Maeda, K., Kuramochi, H., Fujimoto, T., Asakuma, Y., Fukui, K., Osako, M., Nakamura, K., dan Sakai, S. (2008). Phase equilibrium of biodiesel compounds for the trioleinpalmitic acid-methanol system with dimethyl ether as cosolvent. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 53(4), 973–977.
- Miller, T. (2010). *Biofuels: Marine Transport, Handling, and Storage Issues*. United Kingdom: Loss Prevention Department P&I Ltd.
- Sherbiny, S.A., Refaat, A.A, Shakinaz, T.E.S. (2010). Production of biodiesel using the microwave technique. *Journal Advanced Resources*, 1(4): 309–314.
- Sundarapandian, S. dan G. Devaradjane. (2007). Performance and Emission Anaysis of Bio Disel Operated CI Engine. *Journal of Engineering, Computing and Architecture* 1.