

# jTEP

## JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 3, Desember 2017



Publikasi Resmi  
**Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia**  
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)  
bekerjasama dengan  
**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA**  
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Mulai edisi ini redaksi memandang perlu untuk meningkatkan nomor penerbitan dari dua menjadi tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap nomornya. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

**Penanggungjawab:**

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia  
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

**Dewan Redaksi:**

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)  
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)  
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)  
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)  
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)  
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)  
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)  
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

**Redaksi Pelaksana:**

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)  
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)  
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)  
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)  
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)  
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)  
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)  
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)  
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

**Penerbit:** Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

**Alamat:** Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.  
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,  
E-mail: [jtep@ipb.ac.id](mailto:jtep@ipb.ac.id) atau [jurnaltep@yahoo.com](mailto:jurnaltep@yahoo.com)  
Website: [web.ipb.ac.id/~jtep](http://web.ipb.ac.id/~jtep) atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

**Rekening:** BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

**Percetakan:** PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

---

## Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaan (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 3 Desember 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. I Made Supartha, MS.,PhD (Fakultas Teknologi Pertanian, Udayana), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Hj, Nurpilihan Bafdal, MSc (Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, PhD (Fakultas Teknik, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Kamaruddin Abdullah, MSA (Universitas Darma Persada), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Andri Prima Nugroho, STP.,M.Sc (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Akhiruddin Maddu, MSi (Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP.,M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Universitas Sriwijaya), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Muhammad Faiz Syaib, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso, BW.,MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rudiati Evi Masitoh, STP.,M.Dev.Tech, (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Sri Rahayoe, STP.,MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada).

---

*Technical Paper*

## **Aplikasi Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Melalui Reaksi Transesterifikasi Basa**

### *Kinetics of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil through Base Transesterification*

Agus Haryanto, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: [agus.haryanto@fp.unila.ac.id](mailto:agus.haryanto@fp.unila.ac.id)

Ovita Yozana, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: [yozannaovita@yahoo.com](mailto:yozannaovita@yahoo.com)

Sugeng Triyono, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: [striyono2001@yahoo.com](mailto:striyono2001@yahoo.com)

#### **Abstract**

*This study aims to determine parameters of first order kinetics of biodiesel production from used cooking oil through transesterification reaction with NaOH catalyst. Used cooking oil was obtained from fried food peddlers in Bandar Lampung. The transesterification reaction was carried out with 100 ml of waste cooking oil and 0.5 grams of NaOH at a molar ratio of 1:4 (oil:methanol). Treatment combinations of temperature (30°C, 40°C, 50°C, and 60°C) and reaction time (10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes) were performed to observe the resulting yield. Kinetic parameters were calculated with assumption that the transesterification is a first order reaction. Results showed that the reaction rate constant increased with temperature (i.e.  $k = 0.003 \text{ min}^{-1}$  at 30°C to  $0.010 \text{ min}^{-1}$  at 60°C). The value of activation energy for transesterification of used cooking oil was 30.69 kJ/mol.*

**Keywords:** Biodiesel, used cooking oil, yield, activation energy.

#### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter kinetika reaksi orde satu pembuatan biodiesel dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis NaOH. Minyak jelantah diperoleh dari penjual gorengan di Bandar Lampung. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan 100 ml minyak jelantah dan 0.5 gram NaOH pada perbandingan molar 1:4 (minyak:metanol). Kombinasi perlakuan suhu (30°C, 40°C, 50°C, and 60°C) dan lama reaksi (10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit) dilakukan untuk mengamati rendemen yang dihasilkan. Parameter kinetika dihitung dengan asumsi bahwa transesterifikasi adalah reaksi orde satu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstanta laju reaksi meningkat seiring dengan bertambahnya suhu, yaitu  $k = 0.003$  per menit pada suhu 30°C hingga  $k = 0.010$  per menit pada suhu 60°C. Nilai energi aktivasi transesterifikasi minyak jelantah adalah 30.69 kJ/mol.

**Kata Kunci:** Biodiesel, minyak jelantah, rendemen, energi aktivasi

*Diterima: 9 Oktober 2016; Disetujui: 23 Nopember 2017*

#### **Latar Belakang**

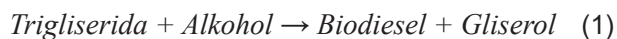
Bahan bakar minyak bumi diperkirakan akan habis jika dieksploitasi secara terus-menerus. Salah satu sumber energi yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif adalah biodiesel (Hindryawati *et al.*, 2014). Biodiesel merupakan mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak yang terbuat dari minyak tumbuh-tumbuhan atau lemak hewan sehingga ramah lingkungan. Emisi gas buang

dari pembakaran biodiesel relatif lebih rendah dibandingkan emisi bahan bakar konvensional. Jika diproduksi secara efisien, biodiesel bahkan mendekati netral karbon (Janajreh *et al.*, 2015).

Bahan baku biodiesel meliputi berbagai jenis minyak seperti minyak kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, kacang tanah, jarak pagar dan beberapa jenis minyak tumbuhan lainnya. Biodiesel yang diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewan lebih mahal dibandingkan dengan bahan bakar

diesel konvensional karena biaya bahan baku bisa mencapai hingga 85% dari biaya operasional (Canakci and Sanli, 2008). Minyak jelantah (minyak bekas) berpotensi digunakan sebagai bahan baku biodiesel karena harganya murah. Selain itu, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa karsinogen yang membahayakan kesehatan jika dikonsumsi (Yuniwati dan Karim, 2009). Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah merupakan solusi yang tepat (Adhiatma et al., 2012), karena tidak hanya lebih murah tetapi juga lebih aman secara ekologis (Syamsidar, 2013).

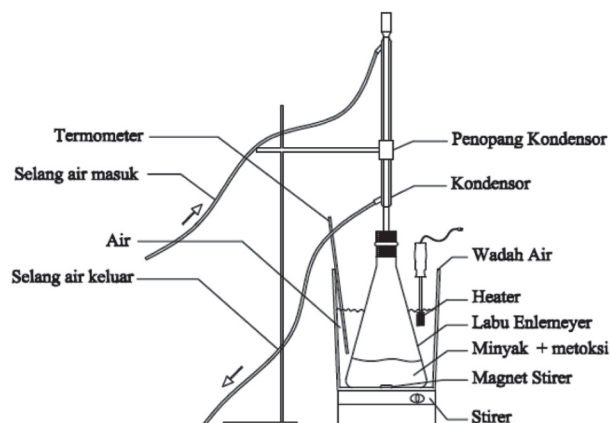
Biodiesel dapat dibuat melalui reaksi transesterifikasi menggunakan alkohol dan katalis basa, seperti diberikan dalam Persamaan 1. Metanol merupakan alkohol monohidrik yang berpotensi sebagai pemasok gugus alkil dengan kelebihan memiliki reaktivitas paling tinggi dan harga murah. Katalis yang digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah NaOH yang harganya murah.



Studi mengenai kinetika meliputi penentuan parameter-parameter yang dapat digunakan untuk memprediksi hasil reaksi pada sembarang waktu dan kondisi tertentu. Parameter-parameter itu meliputi konstanta laju reaksi dan energi aktivasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan parameter kinetika reaksi orde satu pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis NaOH.

### Bahan dan Metode

Minyak jelantah diperoleh dari pedagang gorengan di sekitar Universitas Lampung. Minyak dibersihkan dari partikel-partikel kasar menggunakan saringan. Karakterisasi minyak jelantah untuk menentukan bilangan asam, kadar asam lemak bebas, dan komposisi asam lemak dilakukan di Laboratorium Analisis Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bahan



Gambar 1. Rangkaian alat pembuatan biodiesel.

kimia yang digunakan adalah metanol (teknis) dan NaOH (p.a).

### Pembuatan Biodiesel

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan biodiesel disajikan pada Gambar 1. Kondenser refluks pada Gambar 1 dipasang ke labu untuk mencegah penguapan metanol. Reaksi transesterifikasi dilakukan menggunakan bahan 100 ml minyak jelantah pada rasio molar minyak terhadap metanol 1:4, suhu reaksi 30, 40, 50, dan 60°C, serta lama reaksi 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Massa molar minyak jelantah adalah 880 g/mol (Haryanto et al., 2015) yang dihitung berdasarkan komposisi minyak jelantah yang dilaporkan oleh Kheang et al. (2006). Massa jenis minyak jelantah adalah 0.912 g/ml sehingga 100 ml akan setara dengan 0.11 mol. Oleh karena itu, metanol yang diperlukan untuk memperoleh perbandingan molar 1:4 adalah 18 ml (massa jenis methanol 791.8 g/l). Katalis untuk reaksi transesterifikasi ini adalah NaOH sebanyak 0.5 g per 100 ml minyak.

Proses pembuatan biodiesel minyak jelantah dimulai dengan pembuatan larutan metoksida. Setengah gram kristal NaOH dilarutkan ke dalam 18 ml methanol dan diaduk hingga semua partikel NaOH larut. Minyak jelantah dipanaskan dalam labu Erlenmeyer 500-ml hingga suhu yang telah ditentukan. Larutan metoksi dituang ke dalam labu berisi minyak hangat dan diaduk menggunakan stirrer selama waktu yang telah ditentukan. Labu direndam dalam air hangat selama reaksi untuk mempertahankan suhu reaksi. Setelah mencapai waktu tertentu larutan dibiarkan selama kurang lebih 24 jam sehingga diperoleh dua lapisan. Biodiesel (lapisan atas) dipisahkan dari gliserol (lapisan bawah). Biodiesel kemudian dicuci dengan aquades hangat sampai bersih (tiga sampai empat kali pembilasan).

### Rendemen Biodiesel

Rendemen biodiesel dihitung dengan:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{bobot biodiesel setelah pencucian (gram)}}{\text{bobot minyak jelantah (gram)}} \times 100\% \quad (2)$$

### Kinetika Reaksi Orde Satu

Model kinetika yang dipilih dalam penelitian didasarkan pada asumsi bahwa transesterifikasi adalah reaksi orde satu dan merupakan fungsi dari konsentrasi non-metil ester (NME) dan suhu reaksi. Komponen NME meliputi trigliserida, digliserida, monogliserida, dan asam lemak bebas yang tidak bereaksi. Kinetika reaksi dirunut mengacu pada Kusdiana dan Saka (2001):

$$\text{Laju reaksi} = - \frac{d[\text{NME}]}{dt} = k[\text{NME}] \quad (3)$$

dimana [NME] adalah konsentrasi NME dan  $k$  adalah konstanta laju reaksi. Persamaan (3) dapat

Tabel 1. Karakteristik minyak jelantah pada pembuatan biodiesel.

Parameter	Nilai
Massa jenis (kg/l)	0.912
FFA (%)	1.43
Bilangan Asam	0.7199
<b>Asam lemak (%)</b>	
Methyl Laurate	0.75
Methyl Myristate	1.58
Methyl Palmitate	42,84
Methyl Linoleat	12.43
Methyl Oleat	35.71
Tidak dikenal	1.54
Methyl Stearat	5.15

ditulis ulang menjadi:

$$-\frac{d[NME]}{[NME]} = k dt \quad (4)$$

Kondisi batas untuk Persamaan (4) adalah konsentrasi NME pada  $t = 0$  adalah  $[NME_0]$  dan pada  $t = t$  adalah  $[NME_t]$ , dimana  $[NME_0] > [NME_t]$ . Integrasi Persamaan (4) pada batas-batas  $t = 0$  hingga  $t$  dan  $[NME] = [NAE_0]$  hingga  $[NME] = [NAE_t]$  menghasilkan:

$$-\int_{NME_0}^{NME_t} \frac{d[NME]}{[NME]} = k \int_0^t dt \quad (5)$$

$$-\ln \frac{[NME_t]}{[NME_0]} = k t \quad (6)$$

atau

$$\ln \frac{[NME_0]}{[NME_t]} = -k t \quad (7)$$

Banyaknya komponen  $NME$  pada waktu  $t$  adalah sama dengan  $NME$  pada  $t = 0$  dikurangi biodiesel (BD) yang dihasilkan selama waktu  $t$ :

$$[NME_t] = [NME_0] - [BD_t] \quad (8)$$

Substitusi Persamaan (8) ke Persamaan (7) menghasilkan:

$$\ln \left( \frac{[NME_0] - [BD_t]}{[NME_0]} \right) = -k t \quad (9)$$

atau

$$\ln(1 - \text{Rendemen}) = -k t \quad (10)$$

dimana Rendemen adalah  $[BD_t]/[NME_0]$ .

Nilai konstanta laju reaksi  $k$  pada suatu suhu tertentu diperoleh dari plotting hubungan antara  $t$  sebagai absis dan nilai negatif logaritma alam dari  $(1 - \text{Rendemen})$  sebagai ordinat. Nilai-nilai  $k$  pada suhu yang berbeda-beda digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) reaksi transesterifikasi dengan memanfaatkan persamaan Arrhenius:

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (11)$$

dengan  $A$  adalah konstanta frekuensi tumbukan,  $T$  adalah suhu mutlak, dan  $R$  adalah konstanta gas universal (8.314 J/mol).

### Uji Parameter

Parameter kinetika yang telah diperoleh diuji dengan cara membandingkan rendemen biodiesel hasil prediksi terhadap rendemen biodiesel yang diperoleh dari eksperimen dengan lama reaksi 120 menit pada suhu 30°C, 40°C, 40°C, dan 60°C.

## Hasil dan Pembahasan

### Karakteristik Minyak Jelantah

Tabel 1 menunjukkan karakteristik minyak jelantah yang digunakan dalam penelitian ini. Komposisi ini sedikit berbeda dari komposisi minyak jelantah yang dilaporkan Kheang *et al.* (2006). Hasil perhitungan menggunakan karakteristik minyak pada Tabel 1 menghasilkan massa molar trigliserida yang terdapat pada minyak jelantah adalah 857.3 g/mol. Oleh karena itu, reaksi menggunakan 100 ml minyak dan 18 ml metanol memberikan rasio molar minyak terhadap metanol 1:4,19, tidak jauh berbeda dengan yang diinginkan (1:4).

Tabel 1 menunjukkan kandungan asam lemak bebas (FFA) cukup rendah (1.43%) sehingga pembuatan biodiesel dapat dilakukan satu tahap melalui transesterifikasi langsung.

### Rendemen Biodiesel

Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan rendemen biodiesel dan nilai  $[NME_t]/[NME_0]$  pada berbagai suhu dan waktu reaksi. Semakin lama waktu reaksi, maka semakin besar konversi yang diperoleh karena kesempatan untuk bertumbukan antara zat pereaksi semakin besar (Parhusip *et al.*, 2012).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa rendemen tertinggi yakni 76.6% terjadi pada suhu 60°C dan lama reaksi 60 menit. Kartika dan Widyaningsih (2012) menyatakan bahwa hal ini mungkin terjadi karena pada suhu 60°C metanol telah mendekati titik didihnya sehingga intensitas tumbukan antar reaktan meningkat. Selain itu, pada suhu yang tinggi minyak lebih encer sehingga reaksi menjadi lebih mudah.

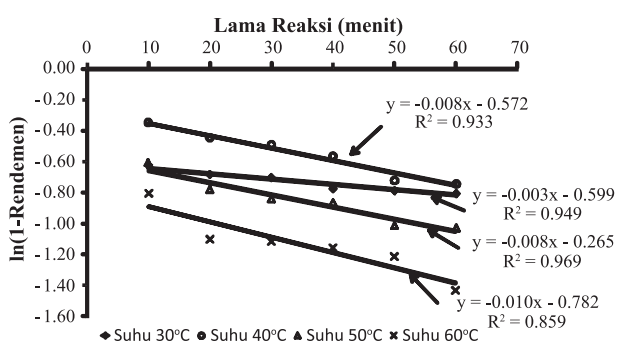


Tabel 2. Rendemen biodiesel dan nilai [NAEt]/[NAE0].

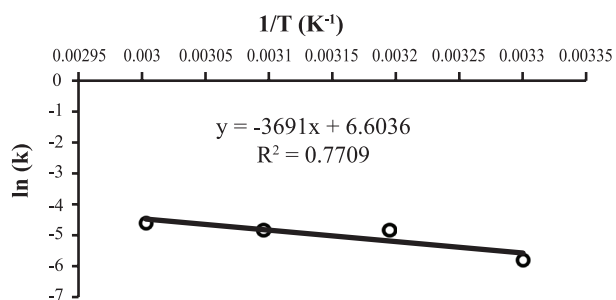
Lama reaksi (menit)	Suhu 30°		Suhu 40°		Suhu 50°C		Suhu 60°C	
	Rend. (%)*	$\frac{[NME_t]}{[NME_0]}$	Rend. (%)	$\frac{[NME_t]}{[NME_0]}$	Rend. (%)	$\frac{[NME_t]}{[NME_0]}$	Rend. (%)	$\frac{[NME_t]}{[NME_0]}$
10	46.7	0.533	29.6	0.704	45.8	0.542	55.5	0.445
20	49.8	0.502	36.2	0.638	54.5	0.455	67.1	0.329
30	50.9	0.491	39.1	0.609	57.2	0.428	67.6	0.324
40	54.3	0.457	43.5	0.565	58.2	0.418	69.0	0.310
50	54.8	0.452	51.7	0.483	64.1	0.359	70.7	0.293
60	55.8	0.442	52.8	0.472	64.6	0.354	76.6	0.234

**Konstanta Laju Reaksi (k)**

Berdasarkan Tabel 2 dapat dihitung nilai  $\ln(1 - \text{Rendemen})$  pada berbagai suhu yang dapat diplotkan terhadap lama reaksi seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Konstanta laju reaksi ( $k$ ) diperoleh dari plot tersebut yang merupakan gradien persamaan garis linear yang mewakili tiap suhu reaksi. Terdapat kecenderungan bahwa konstanta laju reaksi tranesterifikasi minyak jelantah meningkat terhadap suhu, yaitu  $k = 0.003/\text{menit}$  pada suhu 30°C,  $k = 0.008/\text{menit}$  pada suhu 40 dan 50°C, dan  $k = 0.010/\text{menit}$  (pada 60°C). Gambar 2 juga menunjukkan bahwa semua garis linear tidak memiliki intersep. Hal ini mungkin terjadi karena selain NME dan biodiesel, di dalam minyak terdapat komponen lain sehingga asumsi sebagaimana diberikan pada Persamaan (8) tidak terpenuhi.



Gambar 2. Hubungan antara lama reaksi terhadap  $\ln(1 - \text{Rendemen})$



Gambar 3. Grafik hubungan antara  $-\ln k$  dengan  $1/T$ .

**Energi Aktivasi**

Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan untuk memulai suatu reaksi, yang diperoleh dengan mengambil nilai logaritma alam Persamaan (11) yang menghasilkan:

$$\ln k = -\frac{E_a}{R} \frac{1}{T} + \ln A \tag{12}$$

Plot hubungan antara  $1/T$  dengan nilai logaritma alam  $k$  seperti diunjukkan pada Gambar 3 menghasilkan persamaan matematis:

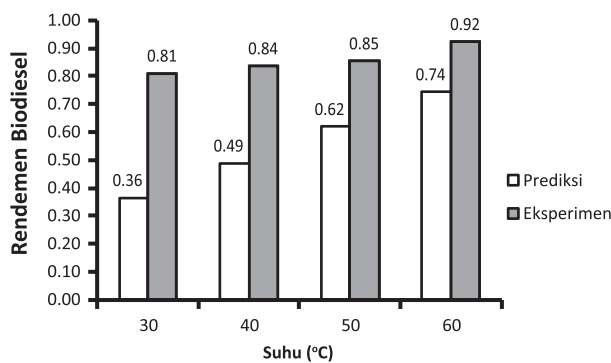
$$\ln k = -3691 \left( \frac{1}{T} \right) + 6.603 \tag{13}$$

atau

$$k = 737.30 \exp(-30.687/RT) \tag{14}$$

Persamaan (14) menunjukkan bahwa nilai energi aktivasi adalah  $E_a = 30.687 \text{ J/mol} = 30.69 \text{ kJ/mol}$  dan konstanta frekuensi tumbukan adalah  $A = 737.30$  per menit.

Nilai energi aktivasi reaksi pembuatan biodiesel telah dilaporkan oleh beberapa peneliti dengan nilai yang berbeda-beda seperti diberikan pada Tabel 3. Nilai energi aktivasi yang dihasilkan dalam penelitian ini berada pada kisaran nilai-nilai tersebut. Tabel 3 juga mengindikasikan bahwa perbedaan energi aktivasi mungkin disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya adalah jenis dan sifat minyak yang digunakan, rasio molar minyak



Gambar 4. Perbandingan antara rendemen biodiesel hasil perhitungan dan hasil eksperimen.

Tabel 3. Energi aktivasi pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Bahan baku	Ea (kJ/mol)	Model Reaksi	Keterangan (kondisi reaksi)	Referensi
Minyak jelantah	30.69	Reaksi orde satu	Rasio molar 1:4 (minyak : metanol), waktu 10 s/d 60 menit, katalis NaOH, suhu 40-55°C	Penelitian ini
Minyak biji kapuk	10.39	Reaksi orde satu	Rasio molar 1:3 (minyak : metanol), waktu 60 s/d 120 menit, katalis KOH.	Salamah dkk. (2014)
Minyak nyamplung	23.34	Reaksi orde satu	Rasio waktu 10-120 menit, katalis kalium oksida, suhu 40-80°C	Widyawati dkk.(2015)
Minyak goreng kelapa sawit	71.83	Reaksi <i>pseudo</i> -orde ketiga	Rasio molar 1:6 (minyak:metanol), waktu 10 s/d 30 menit, katalis KOH.	Penggabean. (2011)
Minyak jarak jagar	38.46	Reaksi <i>pseudo</i> -orde satu	Rasio molar 1:2 , 1:4, 1:6 (minyak : metanol), waktu 10 s/d 60 menit, katalis NaOH	Said dkk. (2010)
Minyak jarak jagar	87.81	Reaksi orde satu	Suhu 20-80°C, waktu sampai 3 jam, katalis NaOH	Jain and Sharma (2010)
Minyak CPO	6.195	Reaksi <i>pseudo</i> -orde satu	Rasiomolar 1:6 (minyak : metanol), suhu 55-70°C waktu 5 s/d 90 menit, katalis NaOH.	Utami dkk. (2007)
Minyak jelantah	22.468±0.975	<i>pseudo</i> -homogen, satu.	Metanol-hexana sebagai ko-solven, katalis ZnO/TiO <sub>2</sub> . Minyak jelantah 100 g, katalis 3 g, methanol 61 g. Suhu 100-200°C, tekanan 24 bar, waktu 15-60 menit.	Emeji <i>et al.</i> 92015)
Minyak CPO	39.27	Reaksi <i>pseudo</i> -orde satu	Rasio molar 1:6 (minyak:metanol), waktu 1-60 menit, katalis KOH (0.5g), suhu 40-50°C.	Yoeswono dkk. (2008)
Minyak jelantah	52.51	Reaksi orde dua	Rasio molar 1:1,54 (minyak:metanol), waktu 10-60 menit, katalis KOH, suhu 30-70°C.	Aziz
CPO dan Mustard	30.2 (CPO), 26.8 (Mustard)	Reaksi orde dua	Rasio molar 1:6 (minyak:metanol), waktu 1-30 menit, katalis KOH, suhu 40-60°C.	Issariyakul and Dalai (2012)

terhadap metanol, dan jenis katalis. Issariyakul and Dalai (2012) menyatakan dua faktor yang mempengaruhi kinetika transesterifikasi, yaitu jumlah senyawa jenuh yang mempengaruhi tahap konversi trigliserida dan distribusi panjang rantai yang mempengaruhi tahap konversi monogliserida.

Nilai parameter kinetika yang dihasilkan dari penelitian ini digunakan untuk memprediksi rendemen biodiesel pada lama reaksi  $t = 120$  menit. Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara rendemen biodiesel hasil prediksi dan hasil eksperimen. Pada suhu rendah (30°C) hasil prediksi jauh lebih rendah dibandingkan hasil eksperimen dengan penyimpangan mencapai 55%. Makin tinggi suhu hasil prediksi makin mendekati hasil eksperimen dengan penyimpangan 19.5% pada suhu 60°C.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, yang telah memberikan dukungan pendanaan penelitian ini dengan kontrak No. 76/UN26/8/LPPM/2016 tanggal 13 April 2016.

### Simpulan

Konstanta laju reaksi transesterifikasi minyak jelantah ( $k$ ) pada suhu operasi 30°C – 60°C berkisar antara 0.003 – 0.01 per menit. Energi aktivasi ( $E_a$ ) pada reaksi transesterifikasi minyak jelantah diperoleh sebesar 30.69 kJ/mol dengan nilai konstanta frekuensi tumbukan sebesar  $A$  737.30 per menit. Kinetika orde satu dapat memprediksi rendemen biodiesel secara cukup memuaskan pada waktu reaksi yang panjang (120 menit) dan suhu tinggi (60°C), tetapi kurang memuaskan pada suhu rendah (30°C).



## Daftar Pustaka

- Adhiatma, A., C.P. Anshory, A. Purwanto dan W. Ciptonugroho. 2012. The enhancement of waste cooking oil esterification catalyzed by sulfated zirconia and assisted by the addition of silica gel. *Proceeding of 19<sup>th</sup> Regional Symposium on Chemical Engineering*. Bali: A 331 – A 337.
- Aziz, I. 2007. Kinetika reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas. *Jurnal Kimia Valensi* Vol. 1(1): 19-23.
- Canakci, M. and H. Sanli. 2008. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *J Ind Microbiol Biotechnol* Vol. 35:431-441.
- Emeji, I.C., A.S. Afolabi, A.S. Abdulkareem and J. Kalala, 2015. Characterization and kinetics of biofuel produced from waste cooking oil. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, October 21-23, 2015, San Francisco, USA. Vol. II: 589-592.
- Haryanto, A., U. Silviana, S. Triyono, dan S. Prabawa. 2015. Produksi biodiesel dari transesterifikasi minyak jelantah dengan bantuan gelombang mikro: pengaruh intensitas daya dan waktu reaksi terhadap rendemen dan karakteristik biodiesel. *Agritech* Vol. 35(2): 234-240.
- Hindryawati, N., G.P. Maniam, M.R. Karim and K.F. Chong. 2014. Transesterification of used cooking oil over alkali metal (Li, Na, K) supported rice husk silica as potential solid base catalyst. *Engineering Science and Technology, an International Journal* Vol. 17: 95-103.
- Issariyakul, T. and A.K. Dalai. 2012. Comparative kinetics of transesterification for biodiesel production from palm oil and mustard oil. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* Vol. 90: 342-350.
- Jain, S. and M.P. Sharma. 2010. Kinetics of acid base catalyzed transesterification of jatropha curcas oil. *Bioresource Technology* Vol. 101: 7701-7706
- Janajreh, I., T. El-Samad, A. Al-Jaberi and M. Diouri, M. 2015. Transesterification of Waste Cooking Oil: Kinetic Study and Reactive Flow Analysis. *Energy Procedia* Vol. 75: 547-553.
- Kartika, D. dan S. Widyaningsih. 2012. Konsentrasi katalis dan suhu optimum pada reaksi esterifikasi menggunakan katalis zeolit alam aktif (ZAH) dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Natur Indonesia* Vol. 14(3): 219-226.
- Kheang, L.C., C.Y. May, C.S. Foon dan M.A. Ngan. 2006. Recovery and conversion of palm olein-derived used frying oil to methyl esters for biodiesel. *Journal of Oil Palm Research* Vol. 18: 247-252.
- Kusdiana, D. and S. Saka. 2001. Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated insupercritical methanol. *Fuel* Vol. 80: 693-698.
- Parhusip, R., Iswahyudi, dan S. Miskah. 2012. Pengaruh waktu reaksi dan penambahan katalis pada pembuatan gliserol monooleat dari gliserol dan asam oleat. *Jurnal Teknik Kimia* Vol. 18(1): 54-59.
- Penggabean, S. 2011. Analisis kinetika reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel secara katalitik dengan *static mixing reactor*. (Tesis) Departemen Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, IPB. Bogor.
- Said, M., W. Septiarty, dan T. Tutiwi. 2010. Studi kinetika reaksi pada metanolisis minyak jarak pagar. *Jurnal Teknik Kimia* Vol. 17(1): 15-22.
- Salamah, S. 2014. Kinetika reaksi esterifikasi minyak jelantah biji kapuk pada pembuatan biodiesel. *Chemica* Vol. 1(1): 11-18.
- Syamsidar. 2013. Pembuatan dan uji kualitas biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Teknosains* Vol. 7(2): 209-218.
- Utami, T.S., R. Arbianti dan D. Nurhasman. 2007. Kinetika reaksi transesterifikasi CPO terhadap produk metil palmitat dalam reaktor tumpak. *Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS, Surabaya, 15 November 2007.
- Widyawati, Y., A. Suryani, M. Romli and Sukardi. 2015. Transesterification of calophyllum oil (*Calophyllum inophyllum* L) by calcium oxide catalyst: optimization and kinetic model. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* Vol. 25(3):239-247.
- Yoeswono, Triyono, dan I. Tahir. 2008. Kinetik transesterifikasi minyak sawit dengan metanol menggunakan katalis kalium hidroksida. *Indo. J. Chem.* Vol. 8(2): 219-225.
- Yuniwati, M., dan A.A. Karim. 2009. Kinetika reaksi pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas (jelantah) dan metanol dengan katalisator KOH. *Jurnal Teknologi* Vol. 2 (2): 130-136.