

**PENENTUAN NILAI PARAMETER KINETIKA ORDE SATU PADA
SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH**

(Skripsi)

Oleh

AMIERIA CITRA GITA



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

PENENTUAN NILAI PARAMETER KINETIKA ORDE SATU PADA SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH

Oleh

Amieria Citra Gita

Pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan metode transesterifikasi yaitu mereaksikan minyak jelantah dan metanol yang menghasilkan metil ester dan gliserol dengan bantuan katalis basa. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh suhu, waktu reaksi dan perbandingan molar dalam pembuatan biodiesel dengan metode transesterifikasi basa dan menentukan nilai parameter kinetika orde satu pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah.

Penelitian ini dilakukan dengan rasio molar 1:6, 1:5 dan 1:4. Waktu reaksi terdiri dari 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 6 dan 10 menit. Suhu reaksi terdiri dari 30, 35, 40, 45, 50, dan 55 °C. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi minyak jelantah, metanol dan NaOH. Parameter yang dianalisis adalah rendemen, massa jenis, viskositas, konstanta laju reaksi dan energi aktivasi. Kinetika reaksi yang digunakan adalah reaksi orde satu dan merupakan fungsi dari konsentrasi alkil ester atau non biodiesel.

Hasil penelitian menunjukkan rendemen biodiesel tertinggi didapatkan pada suhu 55°C , waktu reaksi 10 menit dan rasio molar 1:6 yaitu sebesar 78,44%. Massa jenis biodiesel berkisar antara 0,821-0,886 g/ml yang telah sesuai dengan standar SNI. Viskositas biodiesel berkisar antara 2,825-6,972 cSt yang telah sesuai dengan dengan standar SNI. Nilai k terendah sebesar 0,045 per menit pada kondisi suhu 30 °C dengan perbandingan molar 1:4 dan nilai k tertinggi sebesar 0,130 per menit pada kondisi suhu 55 °C dengan rasio molar 1:6. Energi aktivasi pada reaksi transesterifikasi sebesar 17,33 kJ/mol – 23,83 kJ/mol.

Kata Kunci : Biodiesel, Minyak Jelantah, Rendemen, Transesterifikasi Basa, dan Kinetika Reaksi.

ABSTRACT

DETERMINING THE VALUE OF ONE ORDER KINETICAL PARAMETER ON BIODIESEL SYNTHESIS FROM WASTE COOKING OIL

by

Amieria Citra Gita

Making biodiesel can be done by transesterification method that is reacting of waste cooking oil and methanol which produce methyl ester and glycerol with the aid of basic catalyst. The aim of this research is to know the effect of temperature, reaction time and molar ratio in making biodiesel by basic transesterification method and determining the value of first order kinetics parameter on biodiesel synthesis from wasteland.

This study was conducted with a molar ratio of 1: 6, 1: 5 and 1: 4. The reaction time is 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 6 and 10 min. The reaction temperature comprises 30, 35, 40, 45, 50, and 55 ° C. The materials used in this research include waste cooking oil, methanol and NaOH. Parameters analyzed were rendement, density, viscosity, reaction rate constant and activation energy. The kinetics reaction used are first-order reactions and are a function of the concentration of alkyl ester or non-biodiesel.

The results showed that the highest biodiesel rendement was obtained at 55 ° C, reaction time 10 minutes and molar ratio 1: 6 which was 78.44%. Biodiesel density ranges from 0.821-0.886 g / ml which has been in accordance with SNI standard. Biodiesel viscosity ranged from 2,825-6,972 cSt which has been in accordance with SNI standard. The lowest k value is 0.045 per minute under 30 ° C with a 1: 4 molar ratio and the highest k value of 0.130 per minute under 55 ° C with a molar ratio of 1: 6. The activation energy at transesterification reaction was 17.33 kJ / mol - 23.83 kJ / mol.

Keywords : Biodiesel, Waste Cooking Oil, Rendement, Base Transesterification, and Kinetics Reaction

**PENENTUAN NILAI PARAMETER KINETIKA ORDE SATU PADA
SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH**

Oleh
AMIERIA CITRA GITa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada
Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

: **PENENTUAN NILAI PARAMETER
KINETIKA ORDE SATU PADA SINTESIS
BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH**

Nama Mahasiswa

: **Amieria Citra Gita**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1414071008

Jurusan

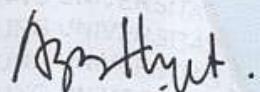
: Teknik Pertanian

Fakultas

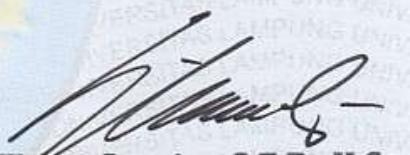
: Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

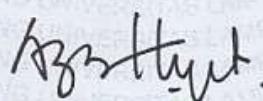


Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002



Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc.

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian



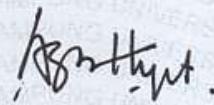
Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

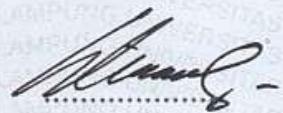
Ketua

: Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.



Sekretaris

: Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



PROF. DR. IR. IRWAN SUKRI BANUWA, M.SI.

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **6 Februari 2018**

SURAT PERNYATAAN

Saya adalah **Amieria Citra Gita NPM 1414071008**.

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.** dan 2) **Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal,dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Februari 2018

Yang membuat pernyataan



Amieria Citra Gita

NPM 1414071008

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Banjarsari Kota Metro pada 13 Februari 1996, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari Bapak Jarno dan Ibu Aniati. Jenjang pendidikan yang pernah ditempuh Penulis adalah Sekolah Dasar (SD) Negeri 2 Metro Utara pada tahun 2002-2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 6 Metro pada tahun 2008-2011, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 3 Metro pada tahun 2011-2014.

Tahun 2014, Penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Kalkulus, Kekuatan Bahan Teknik, Transfer Panas dan Rancangan Percobaan Keteknikan Pertanian. Selain itu penulis aktif di Organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai anggota Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) PERMATEP Periode 2015-2016 dan menjabat sebagai Sekretaris Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) PERMATEP Periode 2016-2017. Pada Tahun 2016-2017 penulis menjabat sebagai Staff Rayon B Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI). Penulis juga pernah

menjadi Mentor Forum Ilmiah Mahasiswa (FILMA) Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada Tahun 2017.

Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Momenta Agrikultura (*Amazing Farm*), Lembang, Bandung selama 30 hari pada tahun 2017 dengan judul laporan “Mempelajari Penerapan Hidroponik Sistem NFT dan Aspek Lingkungan pada Budidaya Tumpang Sari Kale Merah dan Salanova Di PT Momenta Agrikultura (*Amazing Farm*) Lembang Jawa Barat”. Penulis pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada tahun 2017 di Desa Payung Mulya Kecamatan Pubian Kabupaten Lampung Tengah. Penulis berhasil mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.T.P.) S1 Teknik Pertanian pada tahun 2018 dengan menghasilkan skripsi yang berjudul “Penentuan Nilai Parameter Kinetika Orde Satu Pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah”.



Alhamdulillahirobbil'alamin

Dengan tulus dan penuh rasa syukur kupersembahkan karya sederhana ini untuk:

Bapak dan Mamak yang aku sayangi dan aku cintai (Jarno dan Aniati)

sebagai wujud rasa terima kasih dan baktiku atas doa, pengorbanan, kasih sayang, dan dukungan yang diberikan. Tiada kata seindah lantunan doa dan tiada doa yang paling khusyuk selain doa yang terucap dari orang tua. Ucapan terima kasih saja takkan cukup untuk membalas budi Bapak dan Mamak karena itu terimalah bukti cintaku dan baktiku untuk kalian bapak dan mamaku

Adikku tersayang (Sindi Sabela)

yang senantiasa memberikan semangat, dukungan dan doanya untuk keberhasilanku.

Dosen – dosenku

yang telah memberikan ilmu, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan berguna bagi agama, keluarga, bangsa dan negara.

Sahabat, dan Teman – teman Seperjuanganku

Terima kasih atas kekeluargaan, kebersamaan dan kerjasama yang tak akan pernah kulupakan dalam hidup.

Serta
Almamater tercinta

Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
Keluarga Tektan 2014

“Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain)”

(Q.S. Al-Insyirah (94): 7)

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagi kamu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagi kamu. Allah maha mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui.”

(Al-Baqarah:216)

“Belajarlah selagi yang lain sedang tidur,
Bekerjalah selagi yang lain sedang bermalas-malasan,
Bersiap -siaplah selagi yang lain sedang bermain, dan
Bermimpilah selagi yang lain sedang berharap’

(William Arthur Ward)

Keluarga adalah Sesuatu yang sangat berharga di dunia

(Amieria Citra Gita)

SANWACANA

Alhamdulillahirabbil 'alamin, Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Tuhan Semesta Alam, atas berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir perkuliahan dalam penyusunan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta kita semua sebagai umatnya.

Skripsi dengan judul **“Penentuan Nilai Parameter Kinetika Orde Satu pada Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah”** merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian sekaligus Pembimbing Utama dan Pembimbing Akademik atas kesediaanya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
3. Tri Wahyu Saputra, S.T.P., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan berbagai masukan dan bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.

4. Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc. , selaku pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sebagai perbaikan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian yang telah membantu dan memberikan ilmunya selama ini;
6. Bapak dan Mamak tercinta yang telah memberikan kasih sayang, dukungan moral, material dan doa; serta adikku Sindi Sabela yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk keberhasilanku;
7. Teman-temanku Akhmad Bangsawan, Aldo Christian, Panji Ario, Rizky Febrian, Rendi Wahyu, Renaldy Fiqih, Rivan Okfrianas, Komang Sukarye, Eny Supriyanti, Intan Nurul Faizah, Diah Miftahul Z, Pipit Intan Lendasari, Nikita Permatahati dan Nana Aprilliana yang telah membantu dalam melakukan penelitian;
8. Cewe Hitzz : Intan Nurul, Diah Miftahul, Eny Supriyanti, Pipit Intan Lendasari, Nikita Permatahati, Gresia Dame Rianti, Nana Aprilliana, Siti Anisa, Diana Wicaksani, Sarifah Aini, Dea Permatasari, Fatimah Marsela, Heryanti N Triandini dan Rima Anggari yang telah memberikan kebersamaan dan kenangan indah selama di Tektan.
9. Teman-teman Kosan F18 : Yuniana Putri, Indah Marlina Ardianti, Devie Fitriana, Rischa Rahmawati, dan Zenia Apriani yang telah menemani dan menyemangatiku dalam penggerjaan skripsi ini;
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Pertanian Angkatan 2014;
11. Kakak Tingkat 2012 dan 2013 serta Adik-adik 2015,2016 yang selalu memberikan keceriaan dan doanya;

12. Teman-teman KKN desa Payung Mulya Kecamatan Pubian Kabupaten Lampung Tengah : Kak Winda Jayanti, Akbar Ramadhan, Alexander Indrawan, Ashfira Novthya, Sherly Meiriza P dan Aldo Christian yang telah menjadi keluarga baru selama 40 hari;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, Terima kasih telah membantu dalam menyelesaikan skripsi.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi ada sedikit harapan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya. Penulis berharap semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 6 Februari 2018

Penulis,

Amieria Citra Gita

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR SIMBOL	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Definisi Biodiesel.....	6
2.2 Peran Biodiesel.....	7
2.3 Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Biodiesel.....	8
2.4 Pembuatan Biodiesel	11
2.4.1 Esterifikasi.....	11
2.4.2 Transesterifikasi	12
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Pembuatan Biodiesel	13
2.6 Kinetika Transesterifikasi	16

III. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Parameter Perlakuan.....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	21
3.4.1 Diagram Alir	21
3.4.2 Pembuatan Larutan Metoksi untuk Proses Transesterifikasi	22
3.4.3 Pembuatan Biodiesel	22
3.4.4 Proses Pencucian Biodiesel.....	24
3.5 Analisis Data	24
3.5.1 Analisis Rendemen Biodiesel	24
3.5.2 Massa Jenis	25
3.5.3 Viskositas.....	25
3.5.4 Analisis Kinetika.....	26
3.5.5. Validasi Model Kinetika	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Rendemen Biodiesel (%).....	30
4.2 Massa Jenis Biodiesel (<i>g/ml</i>).....	36
4.3 Viskositas Biodiesel (<i>cSt</i>)	41
4.4 Kinetika Reaksi Biodiesel	46
4.4.1 Laju Reaksi (<i>k</i>)	46
4.4.2 Energi Aktivasi.....	60
4.5 Validasi Model Kinetika	67
V. SIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	70

DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	79
Lampiran 1. Data Rendemen Biodiesel	76
Lampiran 2. Data Massa Jenis Biodiesel	78
Lampiran 3. Data Viskositas Biodiesel.....	80
Lampiran 4. Data Analisis Kinetika Biodiesel Rasio Molar 1:6.....	82
Lampiran 5. Data Analisis Kinetika Biodiesel Rasio Molar 1:5.....	85
Lampiran 6. Data Analisis Kinetika Biodiesel Rasio Molar 1:4.....	88
Lampiran 7. Data Validasi Model Persamaan.....	91
Lampiran 8. Gambar - Gambar.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel	<i>Teks</i>	Halaman
1. SNI Biodiesel		9
2. Perkembangan Konsumsi Minyak Jelantah di Indonesia.....		10
3. Karakteristik Minyak Goreng Bekas.....		10
4. Satuan Percobaan		20
5. Kebutuhan metanol untuk menghasilkan rasio molar yang digunakan		22
6. Rendemen Biodiesel Rasio Molar 1:6 pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi	31	
7. Rendemen Biodiesel Rasio Molar 1:5 pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi	33	
8. Rendemen Biodiesel Rasio Molar 1:4 pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi	34	
9. Data Massa Jenis Biodiesel pada Rasio Molar 1:6		37
10. Data Massa Jenis Biodiesel pada Rasio Molar 1:5		38
11. Data Massa Jenis Biodiesel pada Rasio Molar 1:4		39
12. Data Viskositas Biodiesel Rasio Molar 1:6		41
13. Data Viskositas Biodiesel pada Rasio Molar 1:5		42
14. Data Viskositas Biodiesel pada Rasio Molar 1:4		44
15. Data $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6.....		47
16. Hubungan Suhu dengan Konstanta Laju Reaksi pada Rasio Molar 1:6		50

17. Data $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5.....	51
18. Hubungan Suhu dengan Konstanta Laju Reaksi pada Rasio Molar 1:5	55
19. Data $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ pada Berbagai Suhu dan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4.....	56
20. Hubungan Suhu dengan Konstanta Laju Reaksi pada Rasio Molar 1:4	59
21. Nilai I/T dan k pada Berbagai Suhu Reaksi pada Rasio Molar 1:6	61
22. Nilai I/T dan k pada Berbagai Suhu Reaksi pada Rasio Molar 1:5	62
23. Nilai I/T dan k pada Berbagai Suhu Reaksi pada Rasio Molar 1:4	63
24. Nilai Ea pada Setiap Rasio Molar	64
25. Energi Aktivasi Reaksi Pembuatan Biodiesel.....	66
26. Hasil Rendemen Observasi dengan Rendemen Hasil Prediksi	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Hal
1. Diagram Alir Proses Pembuatan Biodisel dari Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik	21	
2. Pengadukan Larutan Metoksi dan Minyak Jelantah dengan <i>Stirrer</i>	23	
3. Kurva hubungan waktu dan [NAEt] / [NAE0]	27	
4. Kurva hubungan I/T dengan k	28	
5. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel pada rasio molar 1:6	32	
6. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel pada rasio molar 1:5	34	
7. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap rendemen biodiesel pada rasio molar 1:4	35	
8. Grafik hubungan antara waktu dan suhu terhadap massa jenis biodiesel pada rasio molar 1:6	37	
9. Grafik hubungan antara waktu dan suhu terhadap massa jenis biodiesel pada rasio molar 1:5	38	
10. Grafik hubungan antara waktu dan suhu terhadap massa jenis biodiesel pada rasio molar 1:4	39	

11. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap viskositas biodiesel pada rasio molar 1:6	42
12. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap viskositas biodiesel pada rasio molar 1:5	43
13. Hubungan antara waktu reaksi dan suhu reaksi terhadap viskositas biodiesel pada rasio molar 1:4	44
14. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ Dengan Waktu Reaksi Pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 30 °C	47
15. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 35 °C	48
16. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 40 °C	48
17. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 45 °C	49
18. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 50 °C	49
19. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:6 dan Suhu 55 °C	50
20. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 30 °C	52
21. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 35 °C	52
22. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 40 °C	53

23. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 45 °C	53
24. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 50 °C	54
25. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:5 dan Suhu 55 °C	54
26. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 30 °C	56
27. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 35 °C	57
28. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 40 °C	57
29. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 45 °C	58
30. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 50 °C	58
31. Grafik Hubungan $\{[NAEt] / [NAEo]\}$ dengan Waktu Reaksi pada Rasio Molar 1:4 dan Suhu 55 °C	59
32. Grafik Hubungan Antara I/T dengan k pada Rasio Molar 1:6.....	61
33. Grafik Hubungan Antara I/T dengan k pada Rasio Molar 1:5.....	62
34. Grafik Hubungan Antara I/T dengan k pada Rasio Molar 1:4.....	64
35. Grafik Perbandingan Rendemen Hasil Observasi dengan Rendemen Prediksi	68
36. Alat dan Bahan yang Digunakan pada Pembuatan Biodiesel	92

37. Proses Pembuatan Larutan Metoksi	92
38. Proses Pemanasan Minyak Jelantah.....	93
39. Proses Penghomogenan Minyak Jelantah dan Larutan Metoksi dengan <i>Stirrer</i>	93
40. Hasil Biodiesel dan Gliserol Setelah Didiamkan Selama 24 jam	94
41. Proses Pencucian Biodiesel.....	94
42. Pencucian Biodiesel Pertama	95
43. Pencucian Biodiesel Kedua.....	95
44. Proses Pencucian Biodiesel Ketiga	96
45. Proses Pencucian Biodiesel Keempat	96
46. Proses Pencucian Biodiesel Kelima	97
47. Biodiesel yang Dihasilkan Setelah Proses Pencucian	97

DAFTAR SIMBOL

$[NAE_0]$: Konsentrasi Non Alkil Ester pada $t = 0$	(%)
$[NAEt]$: Konsentrasi Non Alkil Ester pada t reaksi	(%)
k	: Konstanta Laju Reaksi	(t^{-1})
A	: Faktor Tumbukan	(t^{-1})
Ea	: Energi Aktivasi	(J/mol)
T	: Suhu	($^{\circ}C$)
R	: Konstanta Gas Umum	(cal/gmol $^{\circ}K$)
ρ	: Massa Jenis	(g/ml)
$M1$: Massa piknometer kosong	(g)
$M2$: Massa piknometer berisi sampel biodiesel	(g)
V	: Volume Sampel	(ml)
ν	: Viskositas	(cSt)
K	: Koefesien bola	(0,01336)
t	: Waktu	(detik)
ρ_{ball}	: Massa Jenis Bola	(8,02 g/ml)
ρ_{bd}	: Massa Jenis Biodiesel	(g/ml)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam proses kehidupan manusia. Kebutuhan energi akan terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk dan kemajuan teknologi. Sebagai salah satu negara berkembang di dunia, Indonesia terus mengalami peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan jumlah penduduk menimbulkan peningkatan penggunaan energi yang meliputi sektor rumah tangga, industri, transportasi, dan lain sebagainya.

Selama ini kebutuhan energi lebih banyak dipenuhi dari bahan fosil seperti bahan bakar minyak yang sifatnya tidak dapat diperbaharui (*unrenewable fuels*) dan ketersediaan di alam sangatlah terbatas. Pada akhir 2014, cadangan minyak bumi Indonesia tersisa 10,5 miliar ton. Pada tingkat produksi 852 ribu barrel per hari, cadangan ini hanya akan bertahan selama 12 tahun (Statistik British Petroleum, 2015). Minyak solar adalah bahan bakar minyak yang paling banyak dikonsumsi, yaitu 169,175 juta barel di tahun 2011.

Cadangan dan produksi bahan bakar minyak bumi (fosil) di Indonesia mengalami penurunan 10% setiap tahunnya sedangkan tingkat konsumsi minyak rata-rata naik 6% per tahun (Bambang, 2006). Hal tersebut dikarenakan saat ini produksi

bahan bakar minyak bumi tidak dapat mengimbangi besarnya konsumsi bahan bakar minyak. Indonesia harus melakukan impor bahan bakar guna memenuhi kebutuhan tersebut. Perlu adanya pengembangan energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah biodiesel.

Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif pengganti bahan bakar diesel atau solar. Biodiesel berasal dari bahan baku yang dapat diperbarui seperti tumbuhan dan hewan. Indonesia merupakan negara tropis yang potensial untuk pengembangan biodiesel karena curah hujan yang tinggi dan sinar matahari yang cukup sehingga tumbuhan dapat tumbuh dengan subur. Selain itu, Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi sehingga banyak jenis tumbuhan dan hewan yang dapat digunakan sebagai bahan utama membuat biodiesel. Indonesia memiliki lebih dari 50 jenis bahan baku yang berpotensi sebagai bahan utama membuat biodiesel yaitu minyak jelantah, kelapa sawit, kelapa, alga, jarak pagar dan karet (Kucahyo dkk., 2013). Minyak jelantah merupakan salah satu bahan yang paling efektif dari beberapa bahan tersebut, karena mudah ditemui di masyarakat, tersedia secara kontinu, dan harganya terjangkau bahkan gratis. Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang memiliki kandungan karsinogenik yang cukup tinggi. Sehingga pemanfaatan limbah minyak jelantah juga dapat mengatasi masalah pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Minyak jelantah mempunyai kandungan asam lemak bebas yang cukup tinggi sehingga perlu diturunkan dalam 2 tahap proses yaitu proses esterifikasi dan

transesterifikasi sebelum diolah menjadi biodiesel (Hambali dkk., 2007). Proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dapat menggunakan metode transesterifikasi. Metode transesterifikasi dapat dilakukan dengan mereaksikan minyak jelantah, alkohol dan katalis yang akan menghasilkan biodiesel dan gliserol. Pada prinsipnya, proses transesterifikasi adalah mengeluarkan gliserin dari minyak dan mereaksikan asam lemak bebasnya dengan alkohol (metanol) menjadi metil ester (Pinto dkk., 2005).

Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal merupakan suatu kondisi yang berasal dari minyak itu sendiri seperti kadar air dan asam lemak bebas. Faktor eksternal merupakan suatu kondisi yang berasal dari luar seperti jenis katalis dan konsentrasinya, perbandingan molar antara alkohol dengan minyak dan jenis alkohol, suhu dan lama reaksi, intensitas pencampuran dan penggunaan co-solvent organik (Pinto dkk., 2005). Semakin tinggi suhu dan waktu reaksi maka rendemen biodiesel yang diperoleh akan semakin tinggi dan karakteristik biodiesel akan semakin baik (Sinaga dkk., 2014).

Pada sintesis biodiesel, perlu dipelajari kinetika reaksi untuk memprediksi hasil reaksi sehingga didapatkan rendemen biodiesel yang maksimal pada suatu waktu dan kondisi tertentu. Kinetika reaksi mempelajari laju reaksi dan besarnya energi pada reaksi yang dilakukan. Nilai parameter kinetika reaksi yang dapat ditentukan meliputi laju reaksi (k) dan energi aktivasi (Ea). Kinetika reaksi pada sintesis biodiesel merupakan reaksi orde satu. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini

akan mempelajari kinetika pembuatan biodiesel pada minyak jelantah sehingga dapat ditentukan operasi pembuatan biodiesel dari minyak jelantah yang optimal.

1.2 Batasan Masalah

Masalah yang diangkat dalam skripsi ini terlalu luas jika diteliti secara menyeluruh, sehingga penelitian dibatasi pada pengamatan rendemen, massa jenis, viskositas dan kinetika reaksi. Kinetika reaksi yang dianalisis berupa nilai konstanta laju reaksi dan energi aktivasi. Faktor perlakuan hanya menggunakan dua faktor yaitu suhu dan waktu reaksi. Suhu reaksi menggunakan suhu sebesar 30, 35, 40, 45, 50, dan 55°C dan waktu reaksi menggunakan 0,25 , 0,5, 1, 2, 3, 6, dan 10 menit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh suhu, waktu reaksi, dan perbandingan molar dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan metode transesterifikasi basa pada hasil dan kualitas rendemen biodiesel.
2. Menentukan nilai parameter kinetika orde satu pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi basa.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Menghasilkan energi alternatif berupa biodiesel dari limbah rumah tangga yaitu minyak jelantah yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil
2. Menghasilkan nilai parameter kinetika orde satu pada pembuatan biodiesel untuk memperoleh prosedur pembuatan biodiesel yang optimal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Biodiesel

Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati, baik minyak baru maupun bekas penggorengan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Esterifikasi adalah konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan dengan prinsip reaksi didorong supaya bergerak ke kanan sehingga dihasilkan methyl ester (biodiesel). Perlu penggunaan alkohol dalam jumlah berlebih dan pemisahan campuran dari produk yang dihasilkan. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM untuk motor diesel. Biodiesel dapat diaplikasikan baik dalam bentuk 100% (B100) atau campuran dengan minyak solar pada tingkat konsentrasi tertentu (Hambali dkk., 2007).

Bahan bakar minyak ini merupakan hasil proses esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel termasuk golongan mono-alkil ester atau metil ester yang memiliki panjang rantai karbon antara 12 sampai 20 terkandung oksigen. Hal tersebut membedakan antara biodiesel dengan petroleum diesel, karena petroleum diesel mengandung hidrokarbon tanpa oksigen (Sinaga, 2013).

Biodiesel memiliki keunggulan sebagai bahan bakar minyak alternatif untuk menutupi kekurangan kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin meningkat namun ketersediaannya semakin berkurang (Haryanto, 2002). Kelebihan biodiesel dibandingkan bahan bakar petroleum yaitu bahan bakar yang tidak beracun dan dapat dibiodegradasi, memiliki setana yang tinggi, dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NOx, dan terdapat dalam fase cair. Bahan bakar diesel sendiri relatif mudah terbakar (tanpa harus dipicu dengan letikan api busi) apabila disemprotkan ke dalam udara panas yang memiliki tekanan. Bilangan setana merupakan tolak ukur dari sifat ini, yang diartikan sebagai % volume n-setana di dalam bahan bakar berupa campuran n-setana (n-C₁₆H₃₄) dan α-metil naftalena (α-CH₃-C₁₀H₇) serta di dalam mesin diesel standar memiliki kualitas pembakaran. n-setana (suatu hidrokarbon berantai lurus) sangat mudah terbakar sendiri dengan nilai bilangan setana 100, sedangkan α-metil naftalena (suatu hidrokarbon aromatik bercincin ganda) sangat sukar terbakar dengan nilai bilangan setana nol.

2.2 Peran Biodiesel

Seiring dengan berkurangnya produksi minyak bumi dan dalam rangka mengurangi ketergantungan pada minyak, pemerintah telah mengeluarkan berbagai kebijakan pengembangan sumber energi terbarukan. Pada peraturan presiden nomor 5 (2006), ditargetkan bahwa pada tahun 2025 sumbangan energi terbarukan dalam penyediaan energi nasional adalah 17%. Peraturan Menteri

ESDM nomor 32 (2008) menyebutkan bahwa biofuel yang diprioritaskan meliputi biodiesel, bioetanol, dan minyak nabati murni.

Minyak nabati merupakan sumber energi terbarukan karena memiliki nilai energi setara dengan minyak diesel. Penggunaan minyak nabati secara langsung pada mesin akan menimbulkan masalah karena viskositas minyak nabati yang tinggi (hingga 17 kali minyak diesel) dan volatilitas yang rendah. Viskositas minyak nabati dapat diturunkan dengan mereaksikan minyak dengan alkohol rantai pendek (metanol atau etanol) untuk menghasilkan metil ester yang secara umum dinamakan biodiesel. Penelitian biodiesel mulai marak sejak tahun 1980-an sebagai akibat adanya perhatian terhadap sumber-sumber energi baru, hal ini bertujuan mengurangi emisi gas rumah kaca dan kekhawatiran terhadap makin menurunnya cadangan bahan bakar fosil (Jannaun dan Ellis, 2010). Karakteristik Biodiesel Standar Nasional Indonesia ditampilkan pada Tabel 1.

2.3 Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Biodiesel

Salah satu sumber bahan baku pembuatan biodiesel yang menjanjikan adalah limbah minyak jelantah. Seiring dengan meningkatnya konsumsi minyak goreng, maka potensi minyak jelantah juga meningkat. Tabel 2 menunjukkan selama tahun 2009 hingga 2013, konsumsi rata-rata minyak goreng Indonesia telah mencapai 10,17 kg per kapita (BPS, 2014).

Tabel 1. SNI Biodiesel

No	Parameter	Satuan	Nilai	Metoda
1	Massa Jenis pada 40°C	Kg/m ³	850 – 890	ASTM D 1298
2	Viskositas kinematika pada suhu 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana		Min. 51	ASTM D 613
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min. 100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C	Maks.18	Maks.18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		Maks. No 3	ASTM D 130
7	Residu karbon dalam contoh asli atau dalam 10% ampas distilasi	% massa	Maks 0,05	ASTM D 4530
8	Air dan sedimen	% vol	Maks. 0,05	ASTM D 2709 dan ASTM D 1796
9	Temperatur destilasi 90%	°C	Maks. 360	ASTM D 1160
10	Abu Tersulfatkan	%massa	Maks . 0,02	ASTM D 874
11	Belerang	ppm-m (mg/kg)	Mkas.100	ASTM D5453 dan ASTM D 1266
12	Fosfor	ppm-m (mg/kg)	Maks.10	AOCS Ca 12-55
13	Angka Asam	mg-KOH/g	Maks. 0,8	AOCS Ca3d-63 atau ASTM 664
14	Gliserol Bebas	%massa	Maks.0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM 6584
15	Gliserol Total	%massa	Maks.0,24	AOCS Ca14-56atau ASTMA 6584
16	Kadar Ester Alkil	%massa	Maks 96,5	Dihitung*
17	Angka Iodium	%massa (gIz/100g)	Maks.115	AOCS Cd 1-25
18	Uji Halphen	Negatif	Negatif	AOCS Cd1-25

Sumber : SNI 7182:2015 syarat mutu biodiesel

Tabel 2. Perkembangan Konsumsi Minyak Jelantah di Indonesia

Jenis Minyak Goreng	2009	2010	2011	2012	2013	Rata-rata
Minyak Kelapa.	1.564	2.034	1.877	1.304	1.356	1.627
Minyak Goreng Lainya	8.186	8.03	8.239	9.334	8.916	8.541
Jumlah	9.75	10.064	10.116	10.638	10.272	10.168

Sumber : BPS 2014

Minyak jelantah dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan hidup jika dibuang secara langsung karena memiliki nilai COD tinggi. Pengolahan minyak goreng bekas untuk keperluan makanan dapat menimbulkan masalah kesehatan karena bersifat karsinogenik (menimbulkan penyakit kanker). Minyak jelantah memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Minyak Goreng Bekas

No	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Massa Jenis	g/ml	0,912
2.	FFA	% berat	1,43
3.	Bilangan Peroksidida	Meq/kg	0,7199
4.	Viskositas (@30 ⁰ C)	cSt	61,75
5.	Methyl Laurate	Jam	23,81
6.	Methyl Myristate	%	56,5
7.	Methyl Palmitate	%	43,5
8.	Methyl Linoleat	% berat	1,3
9	Methyl Oleat	% berat	38,5
10	Methyl Stearat	% berat	5,6
11	Tidak dikenal	% berat	45,7

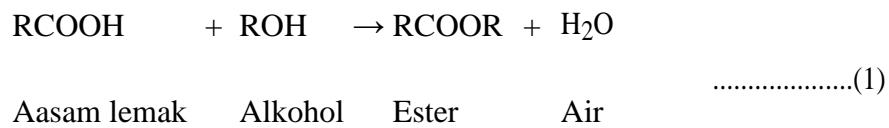
Sumber : Renata (2016)

2.4 Pembuatan Biodiesel

Menurut Hikmah dan Zulyana (2010), biodiesel merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dan atau reaksi esterifikasi asam lemak bebas tergantung dari kualitas minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku. Berdasarkan kandungan FFA dalam minyak nabati maka proses pembuatan biodiesel secara komersial dibedakan menjadi 2 yaitu :

2.4.1 Esterifikasi

Esterifikasi adalah konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat yang merupakan katalis-katalis yang biasa dipakai dalam industri. Reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih dan air sebagai produk samping reaksi disingkirkan dari fasa reaksi (fasa minyak). Melalui kombinasi yang tepat dari kondisi reaksi dan metode penyingkiran air, konversi sempurna asam-asam lemak ke ester metilnya dapat dituntaskan dalam waktu 1 jam (Listiadi dan Putra, 2013). Reaksi esterifikasi dapat dilihat pada Persamaan 1.

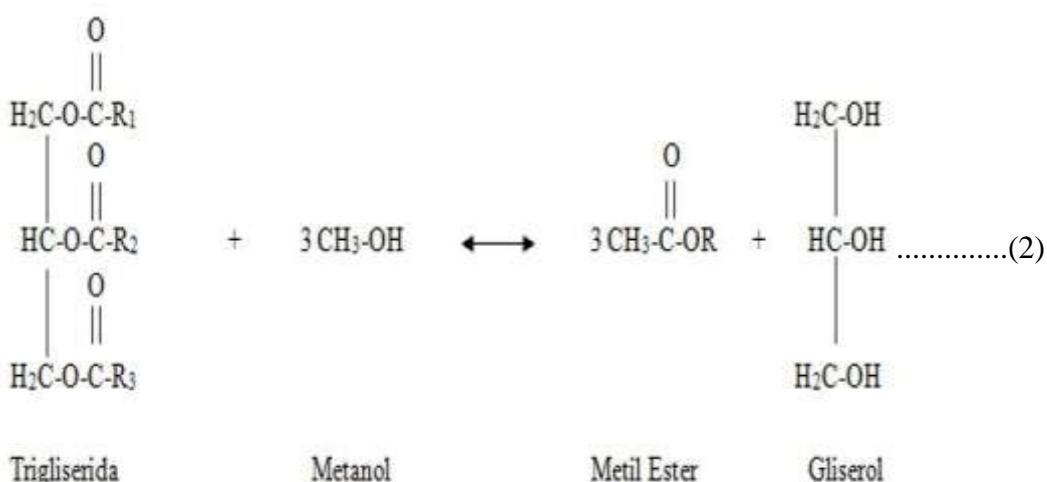


2.4.2 Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dilakukan dengan cara mengeluarkan gliserin dari minyak dan asam lemak bebas direaksikan dengan alkohol (misalnya methanol) sehingga menghasilkan alkohol ester (Fatty Acid Methyl Ester/FAME) atau biodiesel.

Methanol lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk di *recovery*. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan. Reaksi didorong supaya bergerak ke kanan sehingga dihasilkan methyl ester (biodiesel). Perlu penggunaan alkohol dalam jumlah berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan (Yuniwati dan Karim, 2009).

Metanol ataupun etanol merupakan alkohol yang umumnya digunakan. Reaksi transesterifikasi cenderung lebih cepat menghasilkan metil ester daripada reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis asam. Namun, penggunaan bahan baku pada reaksi transesterifikasi harus mempunyai angka asam lemak bebas yang kecil (< 5%) untuk menghindari pembentukan sabun (Damanik, 2008). Reaksi transesterifikasi terlihat pada Persamaan 2.



Reaksi transesterifikasi berlangsung dalam 3 tahap yaitu :

- 1) Penyerangan ikatan karbonil pada trigliserida oleh anion dari alkohol dan membentuk zat antara tetrahedral.
- 2) Zat antara tetrahedral bereaksi dengan alkohol dan terbentuk anion dari alkohol.
- 3) Zat antara tetrahedral mengalami transfer proton sehingga terbentuk ester dan alkohol. Pada reaksi transesterifikasi yang menggunakan katalis - katalis alkali, bilangan asam dari minyak nabati yang digunakan harus kurang dari satu. Jika bilangan asamnya lebih dari satu, maka minyak nabati harus dinetralisir terlebih dahulu dengan menambahkan jumlah alkali. Basa yang digunakan dapat berfungsi sebagai katalis dan penetralisir asam. Bilangan asam yang tinggi disebabkan oleh adanya kandungan asam lemak bebas pada minyak nabati (Susilowati, 2006).

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Pembuatan Biodiesel

Pada pembuatan biodiesel, selalu menginginkan agar didapatkan produk biodiesel dengan jumlah yang maksimal. Beberapa kondisi reaksi yang mempengaruhi konversi serta perolehan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi adalah (Freedman dkk., 1984) :

1. Pengaruh Air dan Asam Lemak Bebas

Minyak nabati yang ditransesterifikasi harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari <5% (Damanik, 2008). Selain itu, semua bahan yang akan digunakan

harus bebas dari air. Karena air akan bereaksi dengan katalis, sehingga jumlah katalis menjadi berkurang. Katalis harus terhindar dari udara agar tidak mengalami reaksi dengan uap air dan karbon dioksida.

2. Pengaruh Perbandingan Molar Alkohol dengan Bahan Mentah

Secara stoikiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 3 mol untuk setiap 1 mol trigliserida sehingga memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Perbandingan alkohol dengan minyak nabati 4,8:1 dapat menghasilkan konversi 98% (Burt dan Meuly, 1944). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, maka konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah. Pada rasio molar 6:1, konversi yang dihasilkan adalah 98-99%, sedangkan pada 3:1 adalah 74 – 89%. Nilai perbandingan yang terbaik adalah 6:1 karena dapat memberikan konversi yang maksimum (Encinar dkk., 2005).

3. Pengaruh Jenis Alkohol

Pada rasio 6:1, metanol memberikan perolehan ester yang tertinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol atau butanol (Majid dkk., 2012).

4. Pengaruh Jenis Katalis

Alkali katalis (katalis basa) mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Katalis basa yang paling populer untuk reaksi transesterifikasi adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH),

natrium metoksida (NaOCH_3), dan kalium metoksida (KOCH_3). Katalis bagi reaksi sebenarnya adalah ion metilat (metoksida). Reaksi transesterifikasi akan menghasilkan konversi yang maksimum dengan jumlah katalis 0,5-1,5%-b minyak nabati. Jumlah katalis reaksi yang efektif adalah 0,5%-b minyak nabati untuk natrium metoksida dan 1%-b minyak nabati untuk natrium hidroksida.

5. Jenis Minyak Nabati

Perolehan metil ester akan lebih tinggi jika menggunakan minyak nabati murni (*refined*) dibandingkan minyak kasar (*crude*). Apabila produk metil ester akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, maka cukup digunakan bahan baku berupa minyak yang telah dihilangkan getahnya dan disaring.

6. Pengaruh Temperatur

Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada temperatur $30 - 65^\circ\text{C}$ (titik didih metanol sekitar 65°C). Semakin tinggi temperatur, konversi yang diperoleh semakin tinggi untuk waktu yang lebih singkat.

7. Pengadukan

Pengadukan dapat menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi. Hal tersebut dapat mempercepat reaksi dan reaksi terjadi secara sempurna. Semakin besar tumbukan maka semakin besar pula harga konstanta laju reaksi. Dalam hal ini pengadukan sangat penting mengingat

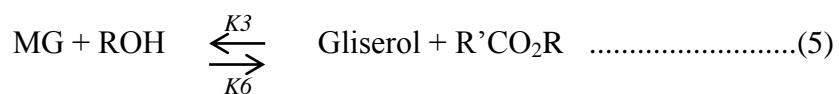
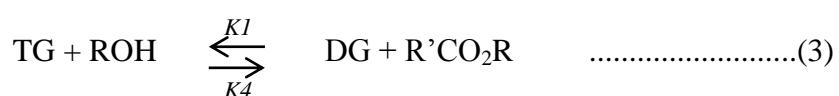
larutan minyak-katalis metanol merupakan larutan yang tidak dapat bercampur (*immiscible*).

8. Waktu Reaksi

Semakin lama waktu reaksi maka kemungkinan kontak antar zat semakin besar sehingga dapat menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan menguntungkan karena tidak memperbesar hasil.

2.6 Kinetika Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi trigliserida (TG) terjadi dalam tiga tahap dengan produk berupa monoglycerida (MG) dan diglycerida (DG). Reaksi total transesterifikasi seperti diberikan dalam Persamaan 2 dapat dinyatakan secara parsial dalam persamaan 3, 4 dan 5.



Studi mengenai kinetika reaksi meliputi penentuan parameter-parameter yang digunakan untuk memprediksi hasil reaksi pada waktu pada kondisi tertentu.

Parameter-parameter itu meliputi konstanta laju reaksi, konstanta keseimbangan dan energi aktivasi. Beberapa penelitian mengenai kinetika transesterifikasi telah dilaporkan pada penelitian Noureddini dan Zhu (1997) dan penelitian Darnoko dan Cheryan (2000).

Model kinetika didasarkan pada reaksi transesterifikasi menyeluruh seperti disajikan oleh Persamaan 6, 7 dan 8. Model kinetika berikut menganggap bahwa transesterifikasi adalah reaksi orde satu dan merupakan fungsi dari konsentrasi non alkil ester (NAE) dan suhu reaksi. NAE meliputi trigliserida, digliserida, monogliserida, dan asam lemak bebas (FAA) yang tidak bereaksi.

$$\text{Laju reaksi} = \text{Rate} = - \frac{d [NAE]}{dt} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{d [NAE]}{dt} = -k [NAE] \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{d [NAE]}{[NAE]} = -k dt \quad \dots \dots \dots (8)$$

Konsentrasi NAE pada $t = 0$ adalah $[NAE_0]$ dan pada $t = t$ adalah $[NAE_t]$ dengan $[NAE_0] > [NAE_t]$. Integrasi Pers. (8) menghasilkan :

$$\int_{NAEO}^{NAET} \frac{d[NAE]}{[NAE]} = -k \int_0^t dt \quad \dots \dots \dots (9)$$

Atau

$$\ln \frac{NAEt}{NAE_0} = - kt \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$\frac{NAEt}{NAE0} = \exp(-k t) \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

Ploting Pers. (10) dengan t sebagai absis dan nilai negatif logaritma alam dari $[\text{NAE}_t]/[\text{NAE}_0]$ sebagai ordinat dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta laju reaksi k pada berbagai suhu. Selanjutnya nilai-nilai konstanta pada suhu tertentu digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi global (E_a) dari reaksi transesterifikasi dengan menggunakan Persamaan Arrhenius seperti ditunjukkan pada Persamaan 13.

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

Keterangan,

T = Suhu (°C)

R = Konstanta gas umum (cal/gmol °K)

Ea = Tenaga aktivasi (cal/gmol)

A = Faktor tumbukan (t^{-1})

k = Konstanta laju reaksi (t^{-1})

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada 5 Oktober- 5 November 2017 bertempat di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pipet tetes, *stirrer, heater, alumunium foil, labu erlenmeyer, gelas ukur, gelas beaker, botol bening, timbangan analitik, falling ball viscometer, ruber bulb, termometer, piknometer, spatula, stopwatch, sarung tangan, dan masker*. Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah, metanol teknis, NaOH, dan aquades.

3.3 Parameter Perlakuan

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode transesterifikasi pada rasio molar 1:6, 1:5 dan 1:4 dengan dua faktor perlakuan. Faktor waktu reaksi menggunakan 7 taraf yaitu 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 6 dan 10 menit. Suhu reaksi menggunakan 6 taraf

yaitu 30, 35, 40, 45, 50, dan 55 °C. Total satuan percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah 126 perlakuan seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Satuan Percobaan

Suhu Reaksi (°C)	Lama Reaksi (menit)						
	0.25	0.5	1	2	3	6	10
30	T1t1M1	T1t2M1	T1t3M1	T1t4M1	T1t5M1	T1t6M1	T1t7M1
	T1t1M2	T1t2M2	T1t3M2	T1t4M2	T1t5M2	T1t6M2	T1t7M2
	T1t1M3	T1t2M3	T1t3M3	T1t4M3	T1t5M3	T1t6M3	T1t7M3
35	T2t1M1	T2t2M1	T2t3M1	T2t4M1	T2t5M1	T2t6M1	T2t7M1
	T2t1M2	T2t2M2	T2t3M2	T2t4M2	T2t5M2	T2t6M2	T2t7M2
	T2t1M3	T2t2M3	T2t3M3	T2t4M3	T2t5M3	T2t6M3	T2t7M3
40	T3t1M1	T3t2M1	T3t3M1	T3t4M1	T3t5M1	T3t6M1	T3t7M1
	T3t1M2	T3t2M2	T3t3M2	T3t4M2	T3t5M2	T3t6M2	T3t7M2
	T3t1M3	T3t2M3	T3t3M3	T3t4M3	T3t5M3	T3t6M3	T3t7M3
45	T4t1M1	T4t2M1	T4t3M1	T4t4M1	T4t5M1	T4t6M1	T4t7M1
	T4t1M2	T4t2M2	T4t3M2	T4t4M2	T4t5M2	T4t6M2	T4t7M2
	T4t1M3	T4t2M3	T4t3M3	T4t4M3	T4t5M3	T4t6M3	T4t7M3
50	T5t1M1	T5t2M1	T5t3M1	T5t4M1	T5t5M1	T5t6M1	T5t7M1
	T5t1M2	T5t2M2	T5t3M2	T5t4M2	T5t5M2	T5t6M2	T5t7M2
	T5t1M3	T5t2M3	T5t3M3	T5t4M3	T5t5M3	T5t6M3	T5t7M3
55	T6t1M1	T6t2M1	T6t3M1	T6t4M1	T6t5M1	T6t6M1	T6t7M1
	T6t1M2	T6t2M2	T6t3M2	T6t4M2	T6t5M2	T6t6M2	T6t7M2
	T6t1M3	T6t2M3	T6t3M3	T6t4M3	T6t5M3	T6t6M3	T6t7M3

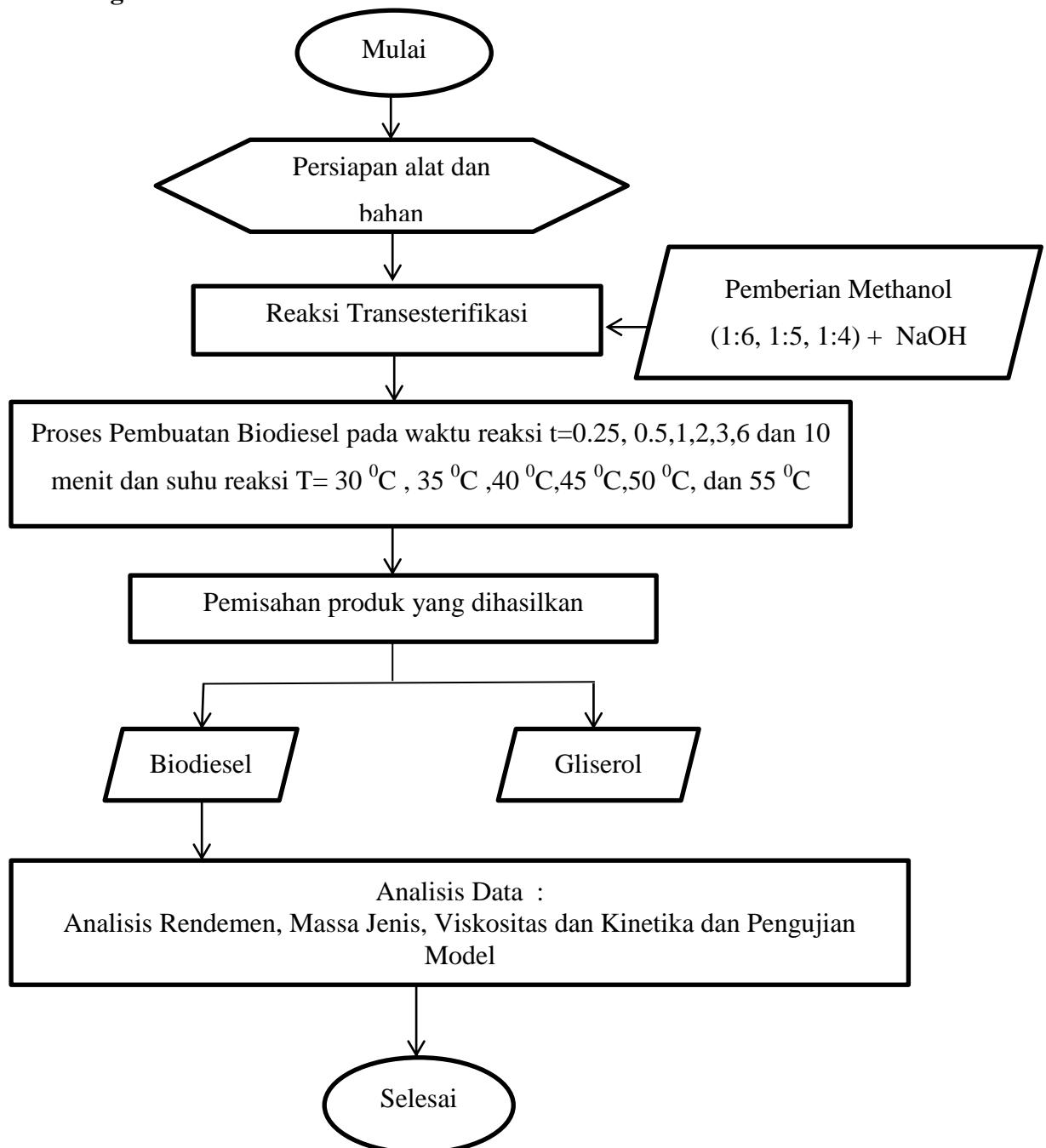
Keterangan :

T= Suhu reaksi (°C) ; t = Waktu reaksi (menit) ; M = Perbandingan molar

3.4 Prosedur Penelitian

Proses pembuatan biodiesel melalui beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

3.4.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik

3.4.2 Pembuatan Larutan Metoksi untuk Proses Transesterifikasi

Pembuatan larutan metoksi untuk proses transesterifikasi menggunakan perbandingan rasio molar 1:6, 1:5 dan 1:4. Kebutuhan metanol untuk menghasilkan rasio molar tersebut diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan metanol untuk menghasilkan rasio molar yang digunakan

Minyak Jelantah				Metanol			
Rasio	Massa	Mol	Volume	Mol	Massa	Volume	
1:4	82	0,09	100	0,37	11,84	14,9	
1:5	82	0,09	100	0,45	14,4	18,18	
1:6	82	0,09	100	0,54	17,28	21,81	

Langkah pembuatan larutan metoksi sebagai berikut:

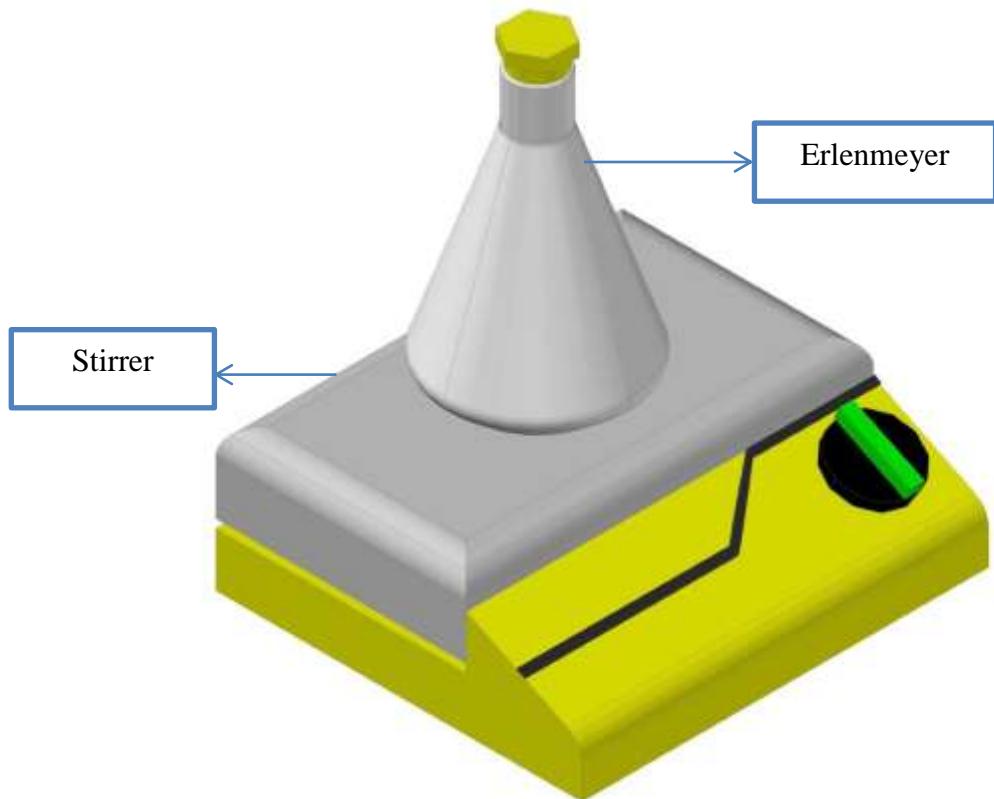
1. 22 ml metanol (6 mol) dan 0,5 gram NaOH (banyaknya katalis) dimasukkan kedalam labu erlenmeyer yang terdapat *magnetic stirrer* di dalamnya.
2. Larutan diaduk hingga tercampur rata (semua partikel NaOH telah larut) selama kurang lebih 5 menit.
3. Larutan yang telah diaduk rata disimpan dalam wadah tertutup agar metanol tidak menguap.

3.4.3 Pembuatan Biodiesel

Adapun tahapan pembuatan biodiesel adalah:

1. 100 ml minyak jelantah dimasukkan ke dalam gelas beaker lalu dipanaskan pada suhu yang telah ditentukan.

2. Minyak jelantah dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer apabila telah selesai dipanaskan.
3. Larutan metoksi dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang berisi minyak jelantah tersebut.
4. Labu erlenmeyer yang berisi minyak jelantah dan metoksi diletakkan di atas *stirrer* lalu dihomogenkan dengan kecepatan 12 rpm seperti pada Gambar 2.
5. Setelah proses selesai, campuran didiamkan selama 24 jam sampai terjadi pengendapan.
6. Gliserol dan biodiesel dipisahkan menggunakan pipet tetes.



Gambar 2. Pengadukan Larutan Metoksi dan Minyak Jelantah dengan *Stirrer*

3.4.4 Proses Pencucian Biodiesel

Proses pencucian biodiesel bertujuan untuk membuang sisa-sisa katalis yang masih terdapat pada biodiesel dengan tahapan sebagai berikut:

1. Biodisel yang telah dipisahkan dicampur dengan aquades yang telah dipanaskan hingga suhu 65 °C.
 2. Campuran dikocok secara perlahan.
 3. Campuran didiamkan selama 10 menit hingga terjadi pemisahan antara biodisel dan aquades. Bagian atas adalah biodisel dan bagian bawah adalah aquades.

Pemisahan dilakukan dengan *rubber bulb*.

 4. Langkah 1-3 diulangi hingga aquades jernih.

3.5 Analisis Data

Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah analisis rendemen, analisis massa jenis, viskositas biodiesel, dan analisis kinetika. Masing masing analisis dijelaskan sebagai berikut:

3.5.1 Analisis Rendemen Biodiesel

Perhitungan rendemen biodiesel dilakukan dengan menggunakan Persamaan 14.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot Biodiesel setelah pencucian (g)}}{\text{Bobot minyak jelantah (g)}} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (14)$$

3.5.2 Massa Jenis

Pengukuran massa jenis menggunakan piknometer. Piknometer dibersihkan dengan aquades lalu dioven menggunakan suhu 105 °C selama 2 jam. Selanjutnya piknometer dimasukan kedalam desikator hingga mencapai suhu ruangan. Piknometer yang telah didinginkan kemudian ditimbang sehingga mendapatkan massa piknometer kosong (M_1). Setelah itu bahan dimasukkan ke dalam piknometer sampai penuh dan ditutup. Sisa bahan yang keluar dilap dengan tisu. Piknometer yang berisi bahan ditimbang sehingga mendapatkan massa piknometer berisi sampel biodiesel (M_2). Massa jenis biodiesel dihitung dengan menggunakan Persamaan 15.

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V} \dots \dots \dots \quad (15)$$

Keterangan:

ρ = massa jenis (g/ml)

M₁ = massa piknometer kosong (g)

M_2 = massa piknometer berisi sampel biodiesel (g)

V = volume sampel biodiesel (ml)

3.5.3 Vikositas

Alat *falling ball viscometer* dibersihkan dibiarkan hingga mengering. Sampel biodiesel dimasukkan ke dalam alat tersebut secara hati-hati hingga melebihi batas titik awal sekitar 1 cm. Kemudian bola besi dimasukkan dengan cara memiringkan alat tersebut dan ditutup rapat hingga tidak ada larutan yang

menetes keluar. Alat diputar 180° dan *stopwatch* dijalankan tepat saat bola bergerak dari titik awal. Waktu yang dibutuhkan bola untuk bergerak hingga garis batas akhir diukur sehingga mendapatkan waktu aliran larutan (t_0). Viskositas sampel dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 16.

Keterangan :

ν = viskositas (cSt)

ρ bola = massa jenis bola (8,02 g/ml)

ρ biodiesel = massa jenis biodiesel (g/ml)

K = koefesien bola (0,01336)

t_o = waktu aliran larutan (s)

3.5.4 Analisis Kinetika

Analisis kinetika membutuhkan data rendemen sebagai fungsi suhu dan waktu reaksi. Kinetika reaksi dapat dirumus dengan Persamaan 17 – Persamaan 21.

$$[NAE\ t] = [NAE_0] - [AEt] \quad \dots \dots \dots (17)$$

$$\ln [NAE_t] / [NAE_0] = -k t \quad \dots \dots \dots (19)$$

$$\frac{NAEt}{NAE_0} = \exp (-k t) \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$1 - Rendemen = \exp (-k t) \quad \dots \dots \dots (21)$$

Keterangan:

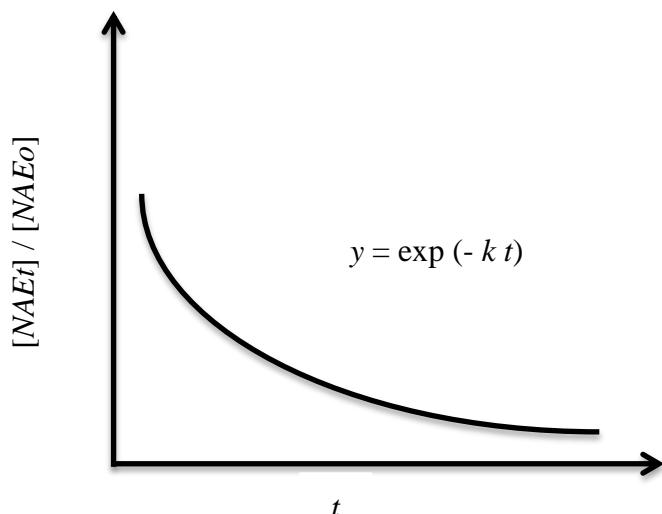
$[NAE_0]$ = Konsentrasi NAE pada $t = 0$

$[NAE_t]$ = Konsentrasi NAE pada $t = t$

t = Waktu Reaksi

k = Konstanta Laju Reaksi

Nilai k yaitu konstanta laju reaksi dan nilai regresi dapat dicari persamaan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva hubungan waktu dan $[NAEt] / [NAE_0]$

Selanjutnya nilai-nilai konstanta digunakan untuk menentukan nilai energi aktivitasi global (E_a) dari reaksi transesterifikasi dengan menggunakan Persamaan 22.

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad \dots \dots \dots \quad (22)$$

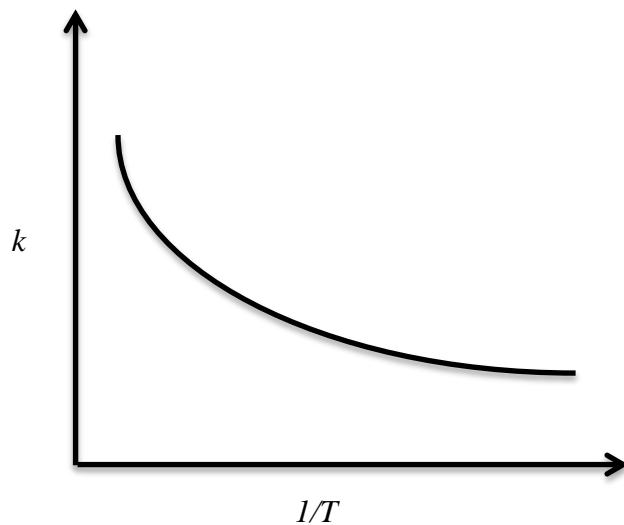
Keterangan :

A = Konstanta Frekuensi Tumbukan molekul

R = Konstanta Gas (8,314472 J/mol.K)

T = Suhu

Persamaan 22. diplot untuk mencari nilai Ea yang diasumsikan dengan kurva dan mendapatkan nilai regresinya seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Kurva hubungan $1/T$ dengan k

3.5.5. Validasi Model Kinetika

Pengujian model persamaan dilakukan dengan untuk membandingkan rendemen yang dihasilkan pada observasi dengan rendemen yang diprediksi. Validasi model persamaan ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan model kinetika yang telah dibuat. Validasi model dilakukan dengan data rendemen biodiesel pada waktu reaksi 8 menit pada tiap suhu. Keakuratan hasil validasi diketahui dari persentase data yang berada di wilayah $AE_t \pm \text{RMSE}$ pada grafik.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Suhu reaksi, waktu reaksi dan perbandingan molar berpengaruh terhadap proses pembuatan biodiesel. Hal tersebut ditunjukkan pada:
 - a. Rasio molar tertinggi menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi yaitu pada rasio molar 1:6 sebesar 78,44%, kemudian pada rasio molar 1:5 sebesar 73,84 % dan pada rasio molar 1:4 sebesar 73,04%. Rendemen biodiesel tertinggi pada penelitian ini didapatkan pada suhu 55°C dengan waktu reaksi 10 menit.
 - b. Massa jenis yang dihasilkan pada rasio molar 1:6 berkisar antara 0,863-0,885 g/ml, rasio molar 1:5 berkisar antara 0,856-0,886 g/ml dan rasio molar 1:4 berkisar antara 0,821-0,884 g/ml . Berdasarkan SNI massa jenis (0,85-0,9 g/ml), biodiesel yang dihasilkan sebagian besar memenuhi standar SNI.
 - c. Viskositas yang dihasilkan pada rasio molar 1:6 berkisar antara 2,825-5,277 cSt, rasio molar 1:5 berkisar antara 3,771-6,801 cSt dan rasio molar 1:4 berkisar antara 3,773-6,972 cSt. Berdasarkan SNI viskositas (2,3-6,0 cSt), biodiesel yang dihasilkan sebagian besar memenuhi standar SNI.

2. Nilai parameter kinetika orde satu yang didapatkan pada penelitian ini berupa nilai konstanta laju reaksi (k) dan nilai energi aktivasi (Ea) yang dijabarkan sebagai berikut:
 - a. Konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh suhu dan rasio molar. Semakin tinggi suhu dan rasio molar maka nilai k akan semakin besar. Nilai k terendah sebesar 0,045 per menit pada kondisi suhu 30 °C dengan perbandingan molar 1:4 dan nilai k tertinggi sebesar 0,130 per menit pada kondisi suhu 55 °C dengan rasio molar 1:6.
 - b. Energi aktivasi pada reaksi transesterifikasi minyak jelantah untuk rasio molar 1:6 diperoleh sebesar 23,83 kJ/mol, pada rasio molar 1:5 sebesar 17,33 kJ/mol dan pada rasio molar 1:4 sebesar 23,61 kJ/mol .
 - c. Model persamaan yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki nilai RMSE sebesar $\pm 2,2\%$ dan tingkat keakuratan sebesar 83,33%.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan variasi kadar FFA (asam lemak bebas), katalis yang berbeda dan cara pengadukan yang berbeda pula. Hal ini dilakukan untuk memperoleh prosedur pembuatan biodiesel yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. 119 hlm.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2015. Biodiesel. www.bsn.go.id. Jakarta.
- Bambang. 2006. *Biodiesel Sumber Energi Alternatif Pengganti Solar yang Terbuat dari Ekstraksi Minyak Jarak Pagar*. Trubus Agrisarana. Surabaya.
- BPS. 2014. *Survei Sosial Ekonomi Nasional* . 2009-2013.
- British Petroleum. 2015. *BP Statistical Reviewof World Energy June 2015*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>. (diakses tanggal 2 Agustus 2017).
- Buchori, L., dan Sasongko, S. B. 2012. Kinetika Transesterifikasi Biodiesel Jarak Pagar. *Teknik*. Vol 33 (2), ISSN 0852-1697: 52-57
- Burt, B.G. and Meuly, W.C. 1944. *Preparation of Detergent*. US Patent Office. 2,360,844.
- Damanik, R.S. 2008. Pengaruh Kadar Air terhadap Kadar Asam Lemak Bebas (ALB) dari Minyak CPKO (*Crude Palm Kernel Oil*) pada Tangki Timbun (*Storage Tank*) di PT. Sarana Agro Nusantara Unit Belawan. *Karya Ilmiah*. Universitas Sumatera Utara. Medan. 39 hlm.
- Darnoko, D dan Cheryan. 2000. Kinetics of palm oil transsterification in a batch reactor. *JAOCs.*, 77(12): 1263-1267.
- Desiyana, V. 2014. Pengaruh Rasio Molar dan Waktu Reaksi Terhadap Hasil dan Mutu Biodiesel dari Minyak Jelantah Melalui Transesterifikasi yang Dibantu Gelombang Ultrasonik. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 105 hlm.
- Encinar, J.M., Gonzalez, J.F., and Reinares, A.R. 2005. Biodiesel from Used Frying Oil. Variabels Affecting the Yields and Characteristics of the

- Biodiesel. *Industrial and Engineering Chemistry Journal*. Vol. 44(15): 5491 – 5499.
- Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts, T.L. 1984. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Jurnal of the American Oil Chemists Society*. Vol. 61: 1638 – 1643.
- Hambali, E., Mujdalipah, A. H., Tambunan, A. W., Pattiwiri dan Hendroko, R. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta. Agomedia. 42 hlm.
- Haryanto, B. 2002. *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Bagian I. Pengenalan)*. Universitas Sumatera Utara digital library. Universitas Sumatera Utara. 1 – 13.
- Haryanto A., Silviana, U., Triyono, S., Prabawa, S. 2015. Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Mikro : Pengaruh Intensitas Daya dan Lama reaksi. *Agritech*. Vol. 35(2) : 234-240.
- Hikmah, M. N. dan Zuliyana. 2010. Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang. 43 hlm.
- Janaun J dan Ellis, N. 2010. Perspectives on Biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14: 1312-1320.
- Jaya, N. dan Selvan, B.K. 2014. Comparative Study on Kinetic Parameters for Tranesterification of Pongamia and Cotton Seed Oil. *International Journal of ChemTech Research*. Vol.6 (10) : 4475-4479.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012. *Kajian Supply Demand Energy*. Jakarta. 69 hlm.
- Kristianingrum, S. 2003. *Kinetika Kimia*. Workshop Guru Bidang Studi Kimia. Sidoarjo. 1-10 hlm.
- Kuncahyo, P., Fathallah, M. A. Z., dan Semin. 2013. Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 2(1): 2301 – 9271.
- Listiadi, A. P. dan Putra, I.M.B. 2013. Intensifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Transesterifikasi dan Pemurnian Dry Washing. *Skripsi*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa. Banten.
- Majid, A.A., Prasetyo, D., dan Danarto, Y.C. 2012. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Menggunakan Radiasi Gelombang Mikro. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS* : K 15 – K 51.

- Masduki, Sutijan, dan Budiman, A. 2013. Kinetika Reaksi Esterifikasi *Palm Fatty Acid Distilate* (PFAD) menjadi Biodiesel dengan Katalis Zeolit-Zirkonia Tersulfatas. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 7 (2) : 59 – 64.
- Noureddini H dan Zhu D. 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. *JAOCs.*, 74(11): 1457-1463.
- Parhusip, R., Iswahyudi, dan Miskah, S. 2012. Pengaruh waktu Reaksi dan Penambahan Katalis pada Pembuatan Gliserol Monooleat dari Gliserol dan Asam Oleat. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol.7 (2) :54-59.
- Penggabean, S. 2011. Analisis Kinetika Reaksi Tranesterifikasi pada Produksi Biodiesel Secara Katalitik dengan Static Mixing Reactor. (*Tesis*) Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor. 96
- Pinto, AC. Guarieiro, LLN., Rezende, MJC., RibeiroTorres,NM., Lopes, EA., Pereira,WA., and Andrade, JB. 2005. Biodiesel : *An Overview*. J. Braz. Chem. Soc. 16 (6B), 1313-1330.
- Putra, R.P., Wibawa Pantjawarni, G.A., dan Mahfud. 2012. Pembuatan Biodiesel Secara Batch dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 1 (1) : 1-9.
- Rahman, A.Z. dan Sanjaya, I.G.M. 2012. Rasionalisasi Jalur Sintesis Laevifonal dari Trans-Resveratol dengan menggunakan Teori Fungsional Kerapatan (DFT). *UNESA Journal of Chemistry*.Vol. 1(1) : 1-9
- Renata, M.O., 2016. Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Mikro. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 36 hlm.
- Said, M., Septiarty, W., dan Tutiwi, T. 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. *Jurnal Chemica*. Vol 1 (1) : 11-18.
- Simatupang, R.A., Ramli, dan Mahrizal. 2016. Optimasi Kecepatan Putar Waktu Pengadukan dan Waktu terhadap Kualitas Fisika Biodiesel dari Minyak Kelapa. *Pillar of Physics*. Vol. 7 : 89-96.
- Sinaga S. V., Haryanto, A., Triyono, S. 2014. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian*. Lampung, vol. 3(1):27-34).
- Sinaga, S.V. 2013. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 95 hlm.

- Susilowati. 2006. Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 1(1): 10 – 14.
- Wahyuni, S., Ramli, dan Mahrizal. 2015. Pengaruh Proses dan Lama Pengendapan terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Pillar of Physics*. Vol. 6 : 33-40.
- Yozana, O. 2016. Kinetika Transesterifikasi Minyak Jelantah. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 37 hlm.
- Yuniwati, M., dan Karim, A. A. 2009. Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dan Metanol dengan Katalisator KOH. *Jurnal Teknologi*. Vol. 2(2): 130 – 136.