

**PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MELALUI
TRANSESTERIFIKASI DENGAN BANTUAN GELOMBANG
ULTRASONIK**

(Skripsi)

**Oleh
Fitriani**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2016**

ABSTRACT

BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL THROUGH ULTRASONIC-ASISTED TRANSESTERIFICATION

By

FITRIANI

Biodiesel is an alternative fuel made from vegetable oil or animal fat that can be used as a substitute for diesel fuel. Used cooking oil has potential as a raw material for making biodiesel because of its continuous availability compared to other feedstocks. The purpose of this study was to determine the production of biodiesel from waste cooking oil with the assistance of ultrasonic wave. The experiment was arranged in completely randomized design by two factors, namely reaction temperature and reaction time. Each factor consists of four levels, namely 40, 45, 50, 55°C for temperature and 1, 2, 3, 4 minutes for reaction times. All treatments were replicated by 3 repetitions. Analysis of variance was employed to understand the effect of each treatment factor. Results showed that there was no effect of factors on the biodiesel production as well as on its density and viscosity. Average biodiesel yield was 62.54 %. The biodiesel had an average density of 0.88 g/ml (complies SNI) and average viscosity of 4.93 cSt (complies SNI).

Keyword : biodiesel, waste cooking oil, ultrasonic, yield, density and viscosity.

ABSTRAK

PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MELALUI TRANSESTERIFIKASI DENGAN BANTUAN GELOMBANG ULTRASONIK

Oleh

FITRIANI

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbarui dan dimanfaatkan sebagai pengganti solar/diesel. Minyak jelantah berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel karena ketersediaannya yang kontinyu dibandingkan bahan lain. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan bantuan gelombang ultrasonik. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor yaitu, suhu reaksi dan waktu reaksi. Masing-masing faktor terdiri dari 4 taraf, faktor suhu yaitu 40, 45, 50, 55°C dan waktu reaksi yaitu 1, 2, 3, 4, menit. Semua perlakuan dilakukan 3 kali ulangan. Analisis ragam digunakan untuk mengetahui pengaruh terhadap masing-masing faktor perlakuan. Berdasarkan hasil menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh terhadap produksi biodiesel maupun massa jenis dan viskositas. Rata-rata rendemen sebesar 62,54%. Biodiesel mempunyai rata-rata massa jenis 0,88 g/ml (sesuai SNI) dan rata-rata viskositas 4,93 cSt (sesuai SNI).

Kata kunci : biodiesel, minyak jelantah, ultrasonik, rendemen, massa jenis, dan viskositas.

**PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MELALUI
TRANSESTERIFIKASI DENGAN BANTUAN GELOMBANG
ULTRASONIK**

Oleh

FITRIANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi

**: PRODUKSI BIODIESEL DARI
MINYAK JELANTAH MELALUI
TRANSESTERIFIKASI DENGAN
BANTUAN GELOMBANG ULTRASONIK**

Nama Mahasiswa

: Fitriani

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1214071035

Jurusan

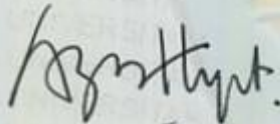
: Teknik Pertanian

Fakultas

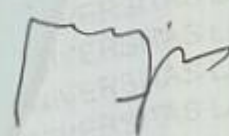
: Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

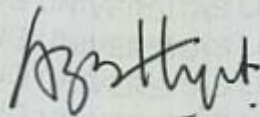


Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002



Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.
NIP 19611211 198703 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian



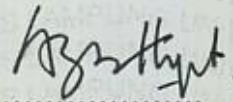
Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

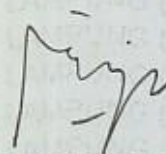
Ketua

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



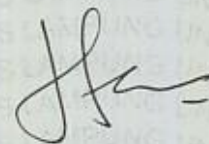
Sekretaris

: **Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Tamrin, M.S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 November 2016

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah**Fitriani**.....NPM**1214071035**.....

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) **Dr. Ir. Sugeng Triyono, 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, Oktober 2016

Yang membuat pernyataan


Fitriani

NPM. 1214071035

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Rejoagung pada tanggal 05 Juni 1994, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, buah kasih dari pasangan Bapak Kemin dan Ibu Jumilah. Penulis menempuh Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Rejoagung pada tahun 2000 sampai dengan tahun 2006. Penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Sekampung pada tahun 2009 dan sekolah menengah atas diselesaikan di MA Ma'arif NU 05 Sekampung Lampung Timur pada tahun 2012. Pada tahun 2012, penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui SNMPTN Undangan. Penulis mendapatkan beasiswa BIDIK MISI selama 4 tahun.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten dosen Kekuatan Bahan Teknik. Penulis aktif pada organisasi tingkat jurusan yaitu Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai Anggota Bidang Keprofesian pada periode 2013 – 2014 dan menjabat sebagai Sekretaris Bidang Keprofesian pada periode 2014 – 2015.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Praktik Umum di PTPN VIII Kebun Gedeh Cianjur Jawa Barat dengan judul **“Teknologi dan Proses Pengolahan Teh**

Hitam Orthodox di PTPN VIII Kebun Gedeh Cianjur Jawa Barat” selama 30 hari mulai tanggal 27 Juli 2015 sampai tanggal 27 Agustus 2015. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, selama 60 hari mulai tanggal 18 Januari 2016 sampai dengan 17 Maret 2016.

UCAPAN TERIMA KASIH

**Penelitian ini dibiayai melalui skim fundamental
a.n. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. dengan nomor
kontrak 76/UN26/8/LPPM/2016 tanggal 13 April
2016**



*Kupersembahkan Karya Kecil Terindah ini Teruntuk:
Ayahku, Ibu, dan Adikku
Yang selalu Memberikan Semangat dan Mendoakanku Selama ini*

*Dosen – dosenku
Yang Telah Memberikan Ilmu Semoga Menjadi Ilmu yang
Bermanfaat dan Barokah, Tidak Hanya Untuk Sekarang Namun
Untuk Masa Depan*

*Sahabat, dan Teman – teman Seperjuanganku
Terimakasih Banyak atas Kerjasama dan Kebersamaan Kita yang
Tidak Akan Pernah Hilang Diingat Sampai Kapanpun*

*Serta
Almamaterku Tercinta
Teknik Pertanian Universitas Lampung
TEKJAN 2012*

خير الناس أنفعهم للناس

Sebaik-baiknya manusia adalah yang lebih bermanfaat bagi manusia lain.

Kau berharap kesuksesan tapi kau banyak tidur setiap malam. Padahal para mutiara pun harus menyelam di kedalaman (Imam Syafi'i).

انظر ما قال ولا تنظر من قال

Lihatlah apa yang orang katakan jangan melihat siapa yang berkata.

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah – Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul **“Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Melalui Transesterifikasi dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak 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 atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
3. Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.S., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku Penguji Utama pada Ujian Skripsi. Terimakasih untuk masukan dan saran – saran selama melaksanakan skripsiSeluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung;

5. Keluargaku Ibu dan Ayah, Adikku yang selalu memberikan doa dan memberikan dukungan dan semangat;
6. Teman – teman Teknik Pertanian Angkatan 2012.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 02 November 2016

Penulis

Fitriani

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kondisi Energi di Indonesia	4
2.2 Peran Biodiesel.....	5
2.3 Minyak Jelantah	6
2.4 Pembuatan Biodiesel	8
2.4.1 Esterifikasi.....	8
2.4.2 Transesterifikasi	9
2.5 Spesifikasi Biodiesel	11
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Pembuatan Biodiesel.....	12
2.7 Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik.....	14
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1 Waktu dan Tempat	18
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Parameter Perlakuan.....	18

3.4	Prosedur Penelitian	19
3.4.1	Pembuatan larutan metoksi untuk proses transesterifikasi	21
3.4.2	Pembuatan biodiesel	21
3.4.3	Diagram alir	20
3.5	Pengujian Biodiesel	22
3.5.1	Analisis rendemen biodiesel	22
3.5.2	Analisis massa jenis	23
3.5.3	Analisis viskositas	23
3.5.4	Analisis data	24
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	Karakteristik minyak jelantah	25
4.2	Rendemen (%)	25
4.3	Karakteristik Biodiesel	28
4.3.1	Massa Jenis (gam/ml)	29
4.3.2	Viskositas (cSt)	30
V.	SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
	DAFTAR PUSTAKA	34
	LAMPIRAN	37

DAFTAR TABEL

Tabel	<i>Teks</i>	Halaman
1.	Syarat mutu biodiesel.....	11
2.	Satuan Percobaan	19
3.	Karakteristik minyak jelantah yang digunakan dalam penelitian	25
4.	Analisis sidik ragam rendemen biodiesel.....	26
5.	Analisis sidik ragam massa jenis biodiesel	29
6.	Analisis ragam viskositas biodiesel	31
<i>Lampiran</i>		
7.	Volume biodiesel setelah pencucian ke-3 (ml)	38
8.	Massa jenis biodiesel (g/ml).....	38
9.	Bobot biodiesel setelah pencucian (g).....	39
10.	Hasil pengukuran massa biodiesel (g).....	41
11.	Hasil pengukuran lama waktu (s) bola di dalam viscometer	43
12.	Rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel yang dihasilkan	45
13.	Kesimpulan uji sidik ragam rendemen biodiesel faktor 1.....	50
14.	Kesimpulan uji sidik ragam rendemen biodiesel faktor 2.....	50
15.	Kesimpulan hasil uji sidik ragam massa jenis aktor 1	54
16.	Kesimpulan hasil uji sidik ragam massa jenis faktor 2	55
17.	Kesimpulan hasil uji sidik ragam viskositas faktor 1	60
18.	Kesimpulan Hasil Uji Sidik Ragam Viskositas Faktor 2	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Reaksi esterifikasi	8
2.	Reaksi transesterifikasi	10
3.	Arah gelombang dan vibrasi partikel	15
4.	Diagam alir proses pembuatan biodiesel minyak jelantah dengan bantuan gelombang ultrasonik	20
5.	<i>Ultrasonic batch cleaner</i>	21
6.	(a) biodiesel (b) gliserol	29
<i>Lampiran</i>		
7.	Minyak Jelantah	63
8.	Minyak jelantah dipanaskan menggunakan <i>heater</i>	63
9.	Biodiesel dan gliserol	64
10.	Biodiesel sebelum dicuci	64
11.	Pencucian biodiesel pertama	65
12.	Pencucian biodiesel ke-2	65
13.	pencucian biodiesel ke-tiga	66
14.	Proses pemberian gelombang ultrasonik	66
15.	pengukuran viskositas biodiesel	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Teks	Halaman
1.	Perhitungan Rendemen Biodiesel (%)	38
2.	Perhitungan Massa jenis biodiesel (g/ml) menggunakan piknometer (Vbiodiesel = 25 ml).....	41
3.	Perhitungan viskositas biodiesel (cSt)	43
4.	Hasil perhitungan rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel yang dihasilkan.....	45
5.	Hasil Analisis ragam	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi minyak bumi saat ini mulai menipis seiring meningkatnya pembangunan dan penggunaannya di bidang industri maupun transportasi. Saat ini, banyak negara terutama Indonesia kekurangan bahan bakar minyak (bahan bakar diesel/solar) sehingga perlu mengimpor untuk memenuhi kebutuhan dalam jumlah yang besar. Menurut Haryanto (2002), sejumlah laporan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kebutuhan energi khususnya untuk bahan bakar mesin diesel yang diperkirakan akibat meningkatnya jumlah industri, transportasi dan pusat pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) diberbagai daerah di Indonesia sejak pertengahan tahun 80-an. Hal tersebut dikarenakan stok minyak mentah yang berasal dari fosil terus berkurang seiring dengan meningkatnya jumlah kebutuhan konsumsi.

Biodiesel merupakan salah satu potensial permasalahan energi yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti solar/diesel. Minyak biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari sumber daya alam yang dapat diperbarui, diantara sumber daya yang dapat diperbarui adalah minyak tumbuhan dan hewan, baik di darat maupun di laut. Pada sektor darat dan laut, total sumber penghasil minyak biodiesel lebih dari 50 jenis (Kuncahyo dkk, 2013). Biodiesel ini dapat

dijadikan sebagai bahan bakar pengganti solar, sebab komposisi fisika-kimia antara biodiesel dan solar tidak jauh berbeda. Biodiesel selain sebagai energi alternatif juga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan salah satu polutan yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan mengakibatkan polusi udara meningkat.

Menurut Kuncahyo, dkk (2013) di Indonesia bahan baku yang berpotensi menghasilkan minyak biodiesel meliputi, kelapa sawit, jarak pagar, minyak jelantah, kelapa, kapuk/randu, nyamplung, alga, dan lain sebagainya. Dari beberapa jenis bahan yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel tersebut, salah satunya adalah minyak jelantah yang mudah ditemui dan terjangkau. Potensi dari minyak jelantah adalah ketersediaan produksinya kontinyu dibandingkan jenis bahan yang lain. Sampai tahun 2101 diperkirakan Indonesia dapat mengatasi krisis energi dengan adanya suplemen biodiesel (Kuncahyo, dkk. 2013).

Umumnya proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati/hewani melalui tahapan esterifikasi dan transesterifikasi minyak hingga menjadi biodiesel. Proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan metode transesterifikasi. Transesterifikasi minyak jelantah direaksikan dengan alkohol dan katalis akan menghasilkan biodiesel dan gliserol. Proses pengolahan biodiesel dengan metode transesterifikasi minyak jelantah dan metanol memiliki sifat *immiscible* (tidak bercampur). Oleh karena itu, *heating* (pemanasan) dan *mixing* (pencampuran) sangat penting dilakukan. Proses ini melalui tahapan-tahapan yang panjang sehingga efisiensi energi rendah dan konsumsi energi tinggi, biaya produksi biodiesel meningkat.

Reaksi transesterifikasi diperoleh alternatif lain tanpa membutuhkan pengadukan mekanis dan waktu yang lama. Pemberian gelombang ultrasonik sebagai salah satu upaya untuk memperkecil *input* energi untuk proses pemanasan dan pengadukan. Gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik. Penggunaan gelombang ultrasonik dapat mempercepat proses pembuatan biodiesel dengan waktu yang lebih efisien.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu dan suhu terhadap produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan bantuan gelombang ultrasonik.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah menghasilkan energi alternatif bahan bakar diesel dari minyak jelantah yang merupakan limbah rumah tangga dalam bentuk energi terbarukan sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi minyak bumi yang berasal dari bahan bakar fosil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Energi di Indonesia

Produksi minyak terus menurun sementara permintaan BBM terus tumbuh yang menyebabkan peningkatan impor minyak mentah dan produk olahan. Pada tahun 2013 pangsa terbesar penggunaan energi adalah sektor industri (37,17%) diikuti oleh sektor rumah tangga (29,43%), transportasi (28,10%), komersial (3,24%), dan lainnya (2,04%). Selama kurun waktu 2000 – 2013, sektor transportasi mengalami pertumbuhan terbesar yang mencapai 6,71% per tahun, diikuti sektor komersial (4,65%), dan sektor industri (3,35%). Sedangkan, sektor rumah tangga mengalami pertumbuhan hanya sebesar 1,03%, dan sektor lainnya mengalami penurunan sebesar 1,65% (BPPT, 2015).

Sektor transportasi merupakan sektor pengguna energi terbesar ketiga setelah sektor rumah tangga. Saat ini hampir seluruh konsumsi energi di sektor transportasi berupa BBM dan sekitar 89% konsumsi BBM di sektor transportasi merupakan konsumsi sub sektor transportasi darat. Tingginya pertumbuhan konsumsi energi sektor transportasi disebabkan pesatnya pertumbuhan kendaraan bermotor sebesar 13,99% per tahun dalam kurun waktu 2000 – 2013 yang didominasi oleh kendaraan pribadi dan transportasi komersial (bis dan truk) (BPPT, 2015).

BBM terbesar yang digunakan di sektor transportasi adalah jenis *gasoline*, termasuk di dalamnya BBM subsidi dan non subsidi. Pemakaian BBM jenis *gasoline* terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Konsumsi *gasoline* di sektor transportasi mengalami peningkatan 11,93% dari 23,1 juta kl menjadi 25,94 juta kl dibandingkan tahun 2010. Pemanfaatan biofuel juga menunjukan trend yang positif, meskipun sejak tahun 2009 pemanfaatan biofuel hanya terjadi pada jenis biodiesel. Hingga akhir tahun 2011, realisasi volume BBM bersubsidi 2011 mencapai 41,78 juta kl, terdiri dari : premium 25,5 juta kl, 1,7 juta kl untuk minyak tanah, dan 14,5 juta kl untuk solar. Seiring dengan semakin meningkatnya konsumsi BBM dalam negeri yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas kilang minyak dalam negeri menyebabkan impor BBM Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya (Kementrian ESDM, 2012).

2.2 Peran 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. 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).

Menurut Haryanto (2002), biodiesel memiliki keunggulan sebagai bahan bakar minyak alternatif untuk menutupi kekurangan kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin meningkat namun ketersediaannya semakin berkurang. 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 NO_x, 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.

2.3 Minyak Jelantah

Minyak goreng adalah minyak nabati yang telah dimurnikan dan dapat digunakan sebagai bahan pangan, penambah cita rasa, ataupun *shortening* yang membentuk tekstur pada pembuatan roti. Sebanyak 49% dari total permintaan minyak goreng merupakan konsumsi rumah tangga dan sisanya untuk keperluan konsumsi untuk makanan pada perhotelan dan restoran-restoran. Pertumbuhan jumlah penduduk

dan perkembangan industri perhotelan, restoran dan usaha *fastfood* yang pesat menyebabkan permintaan akan minyak goreng semakin meningkat. Hal ini menyebabkan minyak goreng bekas dalam jumlah yang cukup tinggi (Listiadi dan Putra, 2013).

Selama penggorengan, minyak goreng akan mengalami pemanasan pada suhu tinggi $\pm 170 - 180^{\circ}\text{C}$ dalam waktu yang cukup lama. Hal ini akan menyebabkan terjadinya proses oksidasi, hidrolisis, dan polimerisasi yang menghasilkan senyawa-senyawa hasil degradasi minyak seperti keton, aldehid, dan polimer yang merugikan kesehatan manusia. Proses-proses tersebut menyebabkan minyak mengalami kerusakan (Listiadi dan Putra, 2013). Kerusakan utama ditimbulkan oleh bau dan rasa tengik, sedangkan kerusakan lain meliputi peningkatan kadar asam lemak bebas (FFA), perubahan indeks refraksi, angka peroksida, angka karbonil, timbulnya kekentalan minyak, terbentuknya busa dan adanya kotoran dari bumbu yang digunakan dan dari bahan yang digoreng (Wijana, 2005).

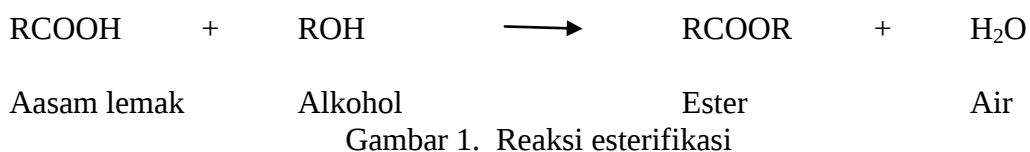
Minyak goreng yang digunakan di industri maupun rumah tangga akan menjadi minyak jelantah dalam jumlah tinggi dan adanya bahaya konsumsi minyak goreng bekas, maka perlu dilakukan upaya-upaya untuk memanfaatkan minyak goreng bekas tersebut agar tidak terbuang dan mencemari lingkungan. Pemanfaatan minyak goreng bekas ini dapat dilakukan dengan pemurnian agar dapat digunakan kembali dan digunakan sebagai bahan baku produk berbasis minyak seperti sabun, sampo, dan bahan bakar diesel (Harianja, 2010).

2.4 Pembuatan Biodiesel

Menurut Hikmah dan Zuliyana (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

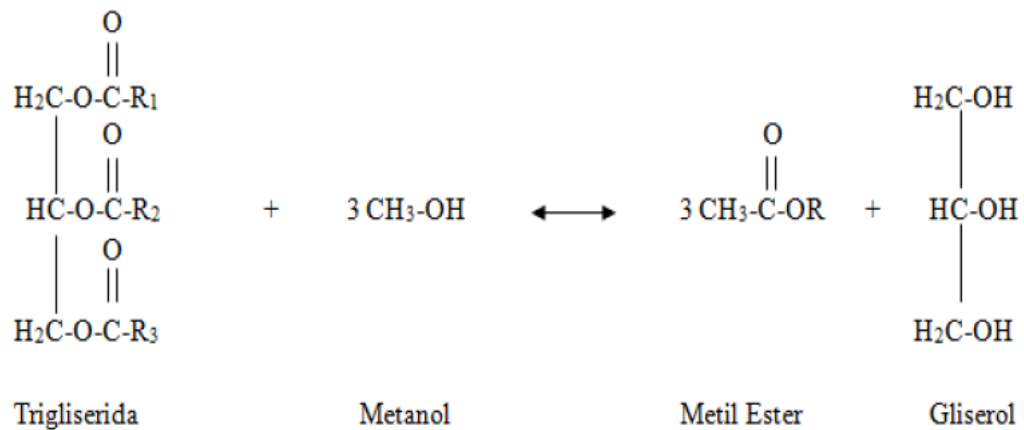
Esterifikasi adalah konversi dari asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Katalis-katalis yang cocok adalah zat berkarakter asam kuat merupakan katalis-katalis yang biasa dipakai dalam industri. Reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih dan air sebagai produk samping reaksi disingkirkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak. Melalui kombinasi-kombinasi yang tepat dari kondisi-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 terlihat pada Gambar 1.



2.4.2 Transesterifikasi

Methyl ester (biodiesel) dari minyak kelapa bekas (jelantah) dapat dihasilkan melalui proses transesterifikasi, yaitu dengan cara gliserin dikeluarkan dari minyak dan asam lemak bebas direaksikan dengan *alkohol* (misalnya *methanol*) menjadi *alkohol ester* (*Fatty Acid Methyl Ester/FAME*), atau biodiesel. *Methanol* lebih umum digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk *direcovery*. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi kesetimbangan. Reaksi didorong supaya bergerak ke kanan sehingga dihasilkan *methyl ester* (biodiesel) maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah berlebih atau salah satu produk yang dihasilkan harus dipisahkan (Yuniwati dan Karim, 2009).

Transesterifikasi (reaksi alkoholis) adalah lemak atau minyak nabati direaksikan dengan alkohol yang akan menghasilkan ester dan gliserol sebagai produk samping dengan bantuan katalis basa. Katalis digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan jumlah produk (Listiadi dan Putra, 2013). Metanol ataupun etanol merupakan alkohol yang umumnya digunakan. Reaksi ini 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 ($< 2\%$) untuk menghindari pembentukan sabun (Pristiyani, 2015). Reaksi transesterifikasi terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut:

- 1) Pada tahap pertama, penyerangan ikatan karbonil pada trigliserida oleh anion dari alkohol dan membentuk zat antara tetrahedral.
- 2) Pada tahap kedua, zat antara tetrahedral bereaksi dengan alkohol dan terbentuk anion dari alkohol.
- 3) Pada tahap akhir, 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 yang harus dinetralisir terlebih dahulu dengan menambahkan jumlah alkali sehingga 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 Spesifikasi Biodiesel

Spesifikasi biodiesel yang akan dicampur harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan karena standar tersebut dapat memastikan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari reaksi pemrosesan bahan baku minyak nabati sempurna yaitu bebas gliserol, katalis, alkohol, dan asam lemak bebas (Boedoyo, 2006).

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (BSN, 2015) melalui Standar Nasional Indonesia syarat mutu biodiesel seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat mutu biodiesel

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	min	51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		nomor 1
7	Residu karbon		
	- dalam percontoh asli; atau	%-massa, maks	0,05
	- dalam 10% ampas distilasi		0,3
8	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24

(Sumber : SNI 7182:2015 syarat mutu biodiesel)

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Reaksi Pembuatan Biodiesel

Tahapan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel selalu menginginkan agar didapatkan produk biodiesel dengan jumlah yang maksimum. Beberapa kondisi reaksi yang mempengaruhi konversi serta perolehan biodiesel melalui transesterifikasi adalah sebagai berikut (Freedman *et al*, 1984):

1. Pengaruh air dan asam lemak bebas

Minyak nabati yang akan ditransesterifikasi harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari 1. Banyak peneliti yang menyarankan agar kandungan asam lemak bebas lebih kecil dari 0.5% ($<0.5\%$). 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 kontak dengan 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 untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Perbandingan alkohol dengan minyak nabati 4,8:1 dapat menghasilkan konversi 98% (Burt and Meuly, 1944). Secara umum ditunjukkan bahwa semakin banyak jumlah alkohol yang digunakan, maka konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah. Pada rasio molar 6:1, setelah 1 jam 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 *et al.*, 2005).

3. Pengaruh jenis alkohol

Pada rasio 6:1, metanol akan memberikan perolehan ester yang tertinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol atau butanol.

4. Pengaruh jenis katalis

Alkali katalis (katalis basa) akan 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 (NaOCH₃), dan kalium metoksida (KOCH₃).

Katalis sejati 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 yang efektif untuk reaksi 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*). Namun apabila produk metil ester akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, cukup digunakan bahan baku berupa minyak yang telah dihilangkan getahnya dan disaring.

6. Pengaruh temperatur

Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada temperatur 30 - 65° C (titik didih metanol sekitar 65° C). Semakin tinggi temperatur, konversi yang diperoleh akan semakin tinggi untuk waktu yang lebih singkat.

7. Pengadukan

Pengadukan akan 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 *immiscible*.

Sesuai dengan persamaan Arrhenius :

$$k = A e^{(-E_a/RT)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, T = Suhu absolut (°C)

R = Konstanta gas umum (cal/gmol °K)

E = Tenaga aktivasi (cal/gmol)

A = Faktor tumbukan (t⁻¹)

k = Konstanta laju reaksi (t⁻¹)

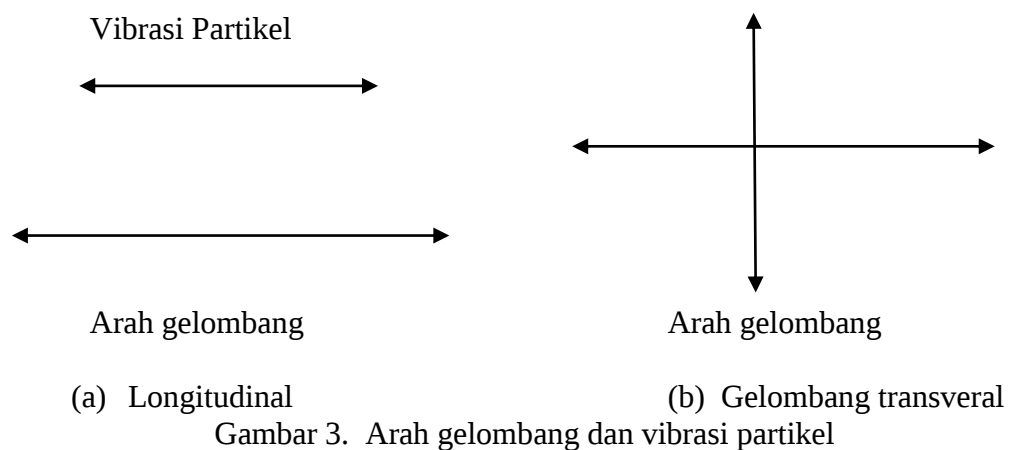
8. Waktu Reaksi

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

2.7 Pemanfaatan Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik dengan frekuensi di atas ambang pendengaran manusia yaitu 20 – 20.000 kHz. Gelombang ultrasonik dapat merambat dan berinteraksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya karena gelombang ini merupakan rambatan energi dan momentum

mekanik. Gelombang ultrasonik mempunyai karakteristik partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan tegangan (*stress*) yang disebabkan medium yang dilaluinya mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal. Hal ini disebabkan oleh getaran partikel secara periodik selama gelombang ultrasonik melaluinya. Osilasi partikel searah dengan arah gelombang dan menghasilkan gelombang ultrasonik longitudinal (Gambar 2.a), sedangkan pada medium padat karena memiliki regangan elastisitas (*shear elasticity*), sehingga menimbulkan tegangan tangensial (*tangential stress*), sehingga arah gerakan partikel tegak lurus pada arah gelombang (Gambar 2.b) (Fajar dan Widiyawati, 2011).



Transduser merupakan alat yang digunakan untuk membangkitkan gelombang ultrasonik. Transduser adalah sebuah alat yang dapat mengubah satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya, contoh adalah loudspeaker yang mengubah energi listrik ke energi suara. Ultrasonik transduser didesain untuk mengubah baik energi mekanik atau energi listrik menjadi suara dengan frekuensi tinggi. Suatu medium cairan apabila dilalui oleh gelombang ultrasonik, maka cairan

tersebut akan mengalami siklus kompresi (*compression*) dan ekspansi (*rarefaction*) (Fajar dan Widiyawati, 2011).

Menurut (Santos dkk., 2009; Hendee dan Ritenour, 2002) gelombang ultrasonik pada frekuensi rendah dapat digunakan untuk menghasilkan emulsi dari cairan yang *immiscable*. Kavitasi dinamik gelombang ultrasonik menciptakan lingkungan yang sangat ekstrim dimana suhu dan tekanan lokal sesaat berturut-turut bisa mencapai 10.000 derajat dan 1000 atm. Dalam kondisi ini akan tercipta radikal-radikal (akibat dekomposisi monomer, pelarut atau putus rantai polimer) yang mampu menginisiasi reaksi kimia (Xia dkk., 2002).

Gelombang ultrasonik yang dirambatkan pada cairan akan menimbulkan gelembung mikro (*microbubble*). Selain itu, juga dapat menimbulkan efek yang disebut efek akibat ketidakseimbangan kecepatan pengadukan dan pengembangan amplitudo. Konsekuensi normal dari pertumbuhan yang tidak stabil dan serangkaian keruntuhan ini adalah akibat pecahnya gelembung kavitasi. Model dinamik transesterifikasi minyak nabati dengan gelombang ultrasonik yang dikembangkan diharapkan mampu memfasilitasi reaksi transesterifikasi. Laju perubahan diameter gelembung diprediksi sebagai fungsi frekuensi, amplitudo, daya, dan viskositas secara dinamik. Hasil penelitian Susilo (2007), menunjukkan gelombang ultrasonik meningkatkan laju transesterifikasi biodiesel minyak sawit. Konversi dapat mencapai 100% dengan waktu proses 1 menit. Konversi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pengaduk mekanis yang hanya mampu pada kisaran konversi sekitar 96% dan waktu proses antara 30 menit

hingga 2 jam. Reaksi transesterifikasi dengan gelombang ultrasonik menunjukkan waktu reaksi lebih tinggi dibandingkan penggunaan pengaduk mekanis.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan April-Juli 2016 bertempat di Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian dan Laboratorium Rekayasa Pengolahan Limbah, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang telah digunakan pada penelitian ini adalah pipet tetes, *ultrasonic batch cleaner* (cole-parmer 8890), *heater*, aluminium 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 telah digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah dari pedagang gorengan di sekitar kampus Universitas Lampung, metanol teknis, NaOH, aquadest, larutan PP (*Phenophthalein*).

3.3 Parameter Perlakuan

Penelitian ini dilakukan dengan frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 42 kHz. Rasio molar yang digunakan perbandingan 4:1 dengan dua faktor perlakuan dimana faktor waktu reaksi menggunakan 4 taraf dan faktor suhu reaksi 4 taraf.

Waktu reaksi terdiri dari, 1, 2, 3, dan 4 menit. Sedangkan suhu reaksi terdiri dari 40, 45, 50, dan 55 °C. Rancangan percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah 16 perlakuan dan 3 kali ulangan seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Satuan Percobaan

Suhu Reaksi (°C)	Lama Reaksi (menit)			
	1	2	3	4
40	T ₁ t ₁ U ₁	T ₁ t ₂ U ₁	T ₁ t ₃ U ₁	T ₁ t ₄ U ₁
	T ₁ t ₁ U ₂	T ₁ t ₂ U ₂	T ₁ t ₃ U ₂	T ₁ t ₄ U ₂
	T ₁ t ₁ U ₃	T ₁ t ₂ U ₃	T ₁ t ₃ U ₃	T ₁ t ₄ U ₃
45	T ₂ t ₁ U ₁	T ₂ t ₂ U ₁	T ₂ t ₃ U ₁	T ₂ t ₄ U ₁
	T ₂ t ₁ U ₂	T ₂ t ₂ U ₂	T ₂ t ₃ U ₂	T ₂ t ₄ U ₂
	T ₂ t ₁ U ₃	T ₂ t ₂ U ₃	T ₂ t ₃ U ₃	T ₂ t ₄ U ₃
50	T ₃ t ₁ U ₁	T ₃ t ₂ U ₁	T ₃ t ₃ U ₁	T ₃ t ₄ U ₁
	T ₃ t ₁ U ₂	T ₃ t ₂ U ₂	T ₃ t ₃ U ₂	T ₃ t ₄ U ₂
	T ₃ t ₁ U ₃	T ₃ t ₂ U ₃	T ₃ t ₃ U ₃	T ₃ t ₄ U ₃
55	T ₄ t ₁ U ₁	T ₄ t ₂ U ₁	T ₄ t ₃ U ₁	T ₄ t ₄ U ₁
	T ₄ t ₁ U ₂	T ₄ t ₂ U ₂	T ₄ t ₃ U ₂	T ₄ t ₄ U ₂
	T ₄ t ₁ U ₃	T ₄ t ₂ U ₃	T ₄ t ₃ U ₃	T ₄ t ₄ U ₃

Keterangan :

T = Suhu reaksi (°C)

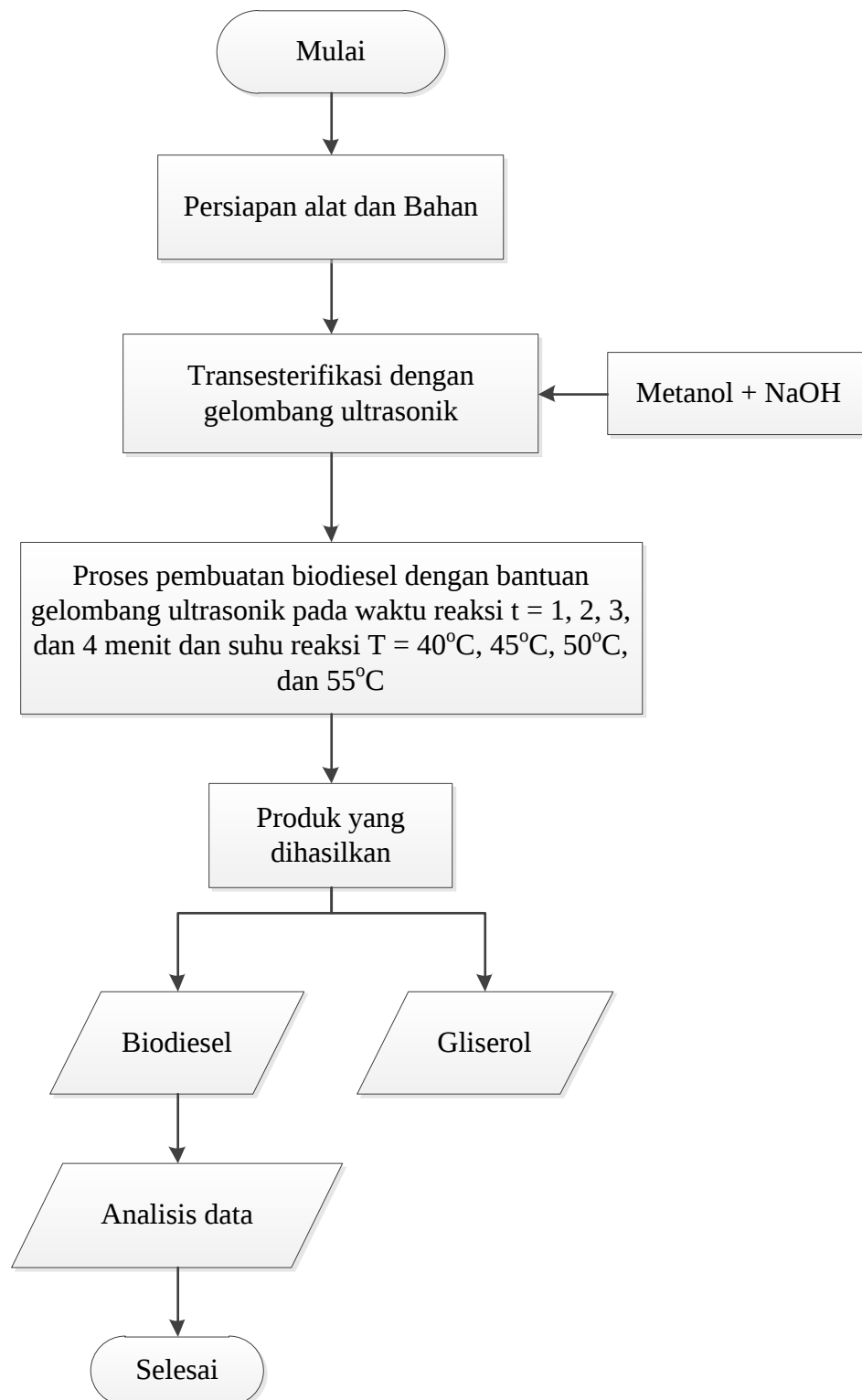
t = Waktu reaksi

U = Ulangan

3.4 Prosedur Penelitian

Proses pembuatan biodiesel ini melalui beberapa tahapan yaitu proses pembuatan larutan metoksi untuk reaksi transesterifikasi, dan pembuatan biodiesel. Diagram alir proses ditunjukkan pada Gambar 4.

3.4.1 Diagram alir



Gambar 4. Diagram alir proses pembuatan biodiesel minyak jelantah dengan bantuan gelombang ultrasonik

3.4.2 Pembuatan larutan metoksi untuk proses transesterifikasi

Proses pembuatan larutan metoksi adalah sebagai berikut:

- 1) 18 ml metanol dan banyaknya katalis 0,3 g dimasukkan ke dalam botol
- 2) Larutan dikocok hingga tercampur merata selama kurang lebih 5 – 10 menit

3.4.3 Pembuatan biodiesel

Adapun tahapan pembuatan biodiesel adalah:

- 1) 100 ml minyak jelantah dimasukkan ke dalam gelas beaker untuk dipanaskan pada suhu yang telah ditentukan, lalu minyak jelantah dimasukkan ke dalam botol
- 2) Larutan metoksi dimasukkan ke dalam botol yang berisi minyak jelantah tersebut
- 3) Botol yang berisi minyak jelantah dan metoksi tersebut diletakkan ke dalam *ultrasonic batch cleaner* seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Ultrasonic batch cleaner*

- 4) Alat *ultrasonic batch cleaner* dinyalakan dengan frekuensi 42 kHz, sampai waktu yang dikehendaki.
- 5) Setelah proses selesai, didiamkan selama 24 jam sampai terjadi pengendapan seperti yang terlihat pada lampiran Gambar 9.
- 6) Gliserol dan biodiesel dipisahkan menggunakan pipet tetes.
- 7) Biodiesel yang akan dihasilkan dicuci dengan menggunakan aquadest yang telah dipanaskan lalu diaduk hingga merata. Kemudian larutan didiamkan selama kurang lebih 10 menit. Pencucian diulang kembali hingga air cucian berwarna bening.
- 8) Biodiesel dipisahkan dari air dengan menggunakan *ruber bulb*.

3.5 Pengujian Biodiesel

Pengamatan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengukuran dan perhitungan rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel, dengan pengujian sebagai berikut:

3.5.1 Rendemen biodiesel

Perhitungan rendemen dilakukan dengan cara memisahkan biodiesel dari gliserol yang tersisa di dalam botol selama 12 jam kemudian dicuci. Pencucian biodiesel kotor dilakukan dengan menggunakan air hangat. Air yang masih tersisa dalam biodiesel kemudian dipisahkan dengan menggunakan *rubber bulb*. Kualitas biodiesel yang diperoleh kemudian dianalisis. Perhitungan rendemen biodiesel dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot setelah pencucian (g)}}{\text{Bobot minyak jelantah (g)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

3.5.2 Massa jenis

Pengukuran massa jenis dilakukan dengan menggunakan piknometer. Massa jenis biodiesel dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_{bd} = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (3)$$

dimana: ρ Biodiesel = massa jenis (g/ml)
 m = massa sampel biodiesel (g)
 V = volume sampel biodiesel (ml)

3.5.3 Viskositas

Alat *falling ball viscometer* dibersihkan dibiarkan hingga mengering. Sampel biodiesel dimasukkan ke dalam alat tersebut secara hati-hati hingga melebihi batas titik awal ± 1 cm. Kemudian bola besi dimasukkan dengan cara memiringkan alat tersebut dengan ditutup dengan rapat hingga tidak ada larutan yang menetes keluar. Lalu alat diputar 180° dan *stopwatch* dijalankan tepat saat bola bergerak dari titik awal. Waktu yang dibutuhkan oleh bola tersebut untuk bergerak hingga garis batas akhir diukur (t_0). Viskositas sampel dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\nu = \frac{k(\rho_{ball} - \rho_{bd})t_o}{\rho_{bd}} \dots\dots\dots (4)$$

dimana : ν = viskositas (cSt)
 ρ bola = massa jenis bola (8,02 g/ml)
 ρ biodiesel = massa jenis biodisel (g/ml)
 K = koefisien bola (0,01336)
 t_0 = waktu aliran larutan (s)

3.5.4 Analisis data

Data hasil penelitian dipresentasikan ke dalam bentuk tabel dengan menggunakan analisis ragam dan uji lanjut menggunakan uji beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5%. Pengujian yang dilakukan pada biodiesel yang dihasilkan adalah analisis rendemen biodiesel, analisis massa jenis, dan analisis viskositas.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pemanfaatan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 42 kHz dapat diaplikasikan dalam pembuatan biodiesel minyak jelantah tanpa membutuhkan energi *input* tinggi dan waktu lama
- 2) Biodiesel yang dihasilkan memiliki karakteristik massa jenis 0,88 g/ml dan viskositas sebesar 4,93 cSt (keduanya memenuhi standar SNI No. 7182 tahun 2015)
- 3) Faktor suhu reaksi dan waktu reaksi beserta interaksinya tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap nilai rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel.

5.2 Saran

Pada penelitian ini diduga kualitas *ultrasonic batch cleaner* sudah berkurang sehingga frekuensi gelombangnya tidak sesuai dengan yang diharapkan (42 kHz). Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2015. *Outlook Energi Indonesia 2015*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta. 95 hlm.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2015. Biodiesel. *www.bsn.go.id*. Jakarta.
- Boedoyo, M. S. 2006. Teknologi Proses Pencampuran Biodiesel dan Minyak Solar di Indonesia. *Dalam Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak* (Editor: Hari Suharyono dan Agung Nurrohim). Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 51 – 61.
- Burt, B.G. and W.C. Meuly. 1944. *Preparation of Detergent*. US Patent Office. 2,360,844.
- 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., J.F. Gonzalez, and A.R. Reinares. 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.
- Fajar, B. dan E. Widayawati. 2011. Investigasi Pengaruh Kavitasi Ultrasonik Pada Transesterifikasi Biodiesel (Skala Lab) untuk Pengembangan Ultrasonik Mobile Reactor. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*: A.7 – A.12.
- Felizardo, P., M.J.N. Correia, I. Raposo, J.F. Mendes, R. Berkemeier, and J.M. Bordado. 2005. Production of Biodiesel from Waste Frying Oils. *Waste Management Journal*. Vol. 26: 487 – 494.
- Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts. T.L., 1984. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*. Vol. 61: 1638 – 1643.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta. Agomedia. 42 hlm.

- Harianja, E., 2010. *Pra Rancangan Pabrik Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Kapasitas 15.000 ton/tahun*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Haryanto, B. 2002. *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Bagian I. Pengenalan)*. Universitas Sumatera Utara digital library. Universitas Sumatera Utara. 1 – 13.
- 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.
- Hendee W.R. dan E.R. Ritenour. 2002. *Medical Imaging Physics*, 4th Ed., Wiley Liss, Inc. Pp 1 – 43.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012. *Kajian Supply Demand Energy*. Jakarta. 69 hlm.
- Kuncahyo, P., A. Z. M. Fathallah, 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 I M. B. Putra. 2013. Intensifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Transesterifikasi dan Pemurnian *Dry Washing*. *Skripsi*. Universitas Sultan Agung Tirtayasa. Banten.
- Pristiyani, R.. 2015. Sintesis Biodiesel Dan *Fuel Bioadditive* Triasetin Secara Simultan dengan Metode Interesterifikasi Minyak Jarak (*Jatropha curcas*). *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 124 hlm.
- Putri, S.K., Supranto, dan R. Sudiyo. 2012. Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 6(1): 147 – 153.
- Refaat, A.A., N.K. Attia, H.A. Sibak, S.T. El Eheltawy, and G.I El Diwani. 2008. Production Optimazation and Quality assement of Biodiesel from Waste Vegetables Oil. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, Vol. 5(1): 75 – 82.
- Santos, H.M., C. Lodeiro, and J. L. Capelo-Martinez. 2009. The Power of Ultrasound. In: *Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications* (Editor J-L. Capelo-Martinez). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim. Pp 1 – 16.
- Simanjutak, M.E. 2005. Beberapa Energi Alternatif yang Terbaru dan Proses Pembuatannya. *Jurnal Teknik Simetrika*. Vol. 4(1): 287 – 293 .
- Sinaga, S.V. 2013. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 95 hlm.

- Sumangat, D., dan T. Hidayat. 2008. Karakteristik Metil Ester Minyak Jarak Pagar Hasil Proses Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap. *Jurnal Pascapanen*. Vol. 5(2): 18 – 26.
- Susilo, B. 2007. *Aplikasi Gelombang Ultrasonik untuk Pengolahan Biodiesel dari Jarak Pagar (Jatropha Curcas L.)*. Universitas Brawijaya. Malang. 147 – 153.
- Susilowati. 2006. Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 1(1): 10 – 14.
- Wijana, Susinggih, N. Hidayat, dan A. Hidayat. 2005. *Mengolah Minyak Goreng Bekas*. Jakarta. Trubus Agisarana. 47 hlm.
- Xia, H., Q. Wang, Y. Liao, X. Xu, S.M. Baxter, R.V. Slone, S. Wu, G. Swift, and D.G. Westmoreland. 2002. Polymerization rate and mechanism of ultrasonically initiated emulsion polymerization of n-butyl acrylate. *Ultrasonic Sonochemistry*. Vol. 9: 151 – 158.
- 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.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Rendemen Biodiesel (%)

Tabel 7. Volume biodiesel setelah pencucian ke-3 (ml)

Suhu Reaksi (T)	Lama Reaksi (t)			
	1 menit	2 menit	3 menit	4 menit
40 °C	70	65	41	59
	56	60	61	63
	72	74	55	58
Rata – rata	66	66	52	60
45°C	55	60	58	45
	51	62	53	65
	72	57	68	59
Rata – rata	59	60	60	56
50°C	56	57	56	63
	61	65	63	65
	55	70	76	75
Rata – rata	57	64	65	68
55°C	65	59	55	52
	55	64	62	66
	59	73	74	70
Rata – rata	60	65	63	63

Tabel 8. Massa jenis biodiesel (g/ml)

Suhu Reaksi (T)	Lama Reaksi (t)			
	1 menit	2 menit	3 menit	4 menit
40°C	0,8780	0,8784	0,8799	0,8796
	0,8770	0,8788	0,8787	0,8778
	0,8767	0,8771	0,8788	0,8798
45°C	0,8778	0,8760	0,8789	0,8776
	0,8796	0,8770	0,8795	0,8779
	0,8771	0,8781	0,8748	0,8790
50°C	0,8797	0,8790	0,8797	0,8792
	0,8790	0,8797	0,8772	0,8775
	0,8791	0,8767	0,8749	0,8755
55°C	0,8770	0,8790	0,8789	0,8792
	0,8778	0,8799	0,8778	0,8769
	0,8827	0,8785	0,8796	0,8763

Rendemen biodiesel pada T 40°C dan t 1 menit

$$\rho_{bd} = \frac{m}{v}$$

$$0,8780 = \frac{m}{70}$$

$$m = 61,46 \text{ g}$$

$$\rho_{bd} = \frac{m}{v}$$

$$0,8770 = \frac{m}{56}$$

$$m = 49,11 \text{ g}$$

$$\rho_{bd} = \frac{m}{v}$$

$$0,8767 = \frac{m}{72}$$

$$m = 63,12 \text{ g}$$

Tabel 9. Bobot biodiesel setelah pencucian (g)

Suhu Reaksi (T)	Lama Reaksi (t)			
	1 menit	2 menit	3 menit	4 menit
40°C	61,4628	57,0726	36,0756	51,8983
	49,1142	52,6224	53,6009	55,3042
	63,1236	64,8770	48,3316	51,0265
45°C	48,2810	52,6702	50,9785	39,4922
	44,8594	54,5350	46,6137	57,0648
	63,1535	49,9965	59,4880	51,4203
50°C	49,2634	50,1431	49,2632	55,3886
	53,6161	57,1319	55,2636	57,0352
	48,3487	61,5348	66,4951	65,6655
55°C	57,0019	51,7402	48,3421	45,7180
	48,2808	56,1812	53,9842	57,8728
	52,0765	64,4336	64,6477	61,3388

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

$$0,9128 = \frac{m}{100}$$

$$m = 91,28 \text{ g (bobot minyak jelantah)}$$

Rendemen biodiesel pada T 40°C dan t 1 menit

$$\begin{aligned} \text{Rendemen biodiesel (\%)} &= \frac{\text{Bobot biodiesel setelah pencucian (g)}}{\text{Bobot minyak jelantah (g)}} \times 100\% \\ &= \frac{61,4628}{91,28} \times 100\% \\ &= 67,33 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen biodiesel (\%)} &= \frac{\text{Bobot biodiesel setelah pencucian (g)}}{\text{Bobot minyak jelantah (g)}} \times 100\% \\ &= \frac{49,1142}{91,28} \times 100\% \\ &= 53,81 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen biodiesel (\%)} &= \frac{\text{Bobot biodiesel setelah pencucian (g)}}{\text{Bobot minyak}} \times 100\% \\ &= \frac{63,1236}{91,28} \times 100\% \\ &= 69,15 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen rata-rata} &= (67,33 + 53,81 + 69,15)(\%)/3 \\ &= 63,43 (\%) \end{aligned}$$

Lampiran 2. Perhitungan Massa jenis biodiesel (g/ml) menggunakan piknometer
($V_{\text{biodiesel}} = 25 \text{ ml}$)

Tabel 10. Hasil pengukuran massa biodiesel (g)

Suhu Reaksi (T)	Lama Reaksi (t)			
	1 menit	2 menit	3 menit	4 menit
40°C	21,9510	21,9602	21,9973	21,9908
	21,9260	21,9696	21,9676	21,9461
	21,9179	21,9266	21,9689	21,9942
45°C	21,9459	21,8998	21,9735	21,9401
	21,9899	21,9251	21,9876	21,9480
	21,9283	21,9515	21,8706	21,9745
50°C	21,9926	21,9752	21,9925	21,9796
	21,9738	21,9922	21,9300	21,9366
	21,9767	21,9182	21,8734	21,8885
55°C	21,9238	21,9752	21,9737	21,9798
	21,9458	21,9969	21,9448	21,9215
	22,0663	21,9615	21,9890	21,9067

Massa jenis biodiesel pada T 40°C dan t 1 menit

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

$$\rho_m = \frac{21,9510}{25}$$

$$= 0,8780 \text{ g/ml}$$

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

$$\rho_m = \frac{21,9260}{25}$$

$$= 0,8770 \text{ g/ml}$$

$$\rho_m = \frac{m}{v}$$

$$\rho_m = \frac{21,9179}{25}$$

$$= 0,8767 \text{ g/ml}$$

$$\text{Massa jenis rata-rata} = (0,8780 + 0,8770 + 0,8767)(\text{g/ml})$$

$$= 0,8773 \text{ g/ml}$$

Lampiran 3. Perhitungan viskositas biodiesel (cSt)

Tabel 11. Hasil pengukuran lama waktu (s) bola di dalam viscometer

Suhu Reaksi (T)	Lama Reaksi (t)			
	1 menit	2 menit	3 menit	4 menit
40°C	26,674	29,814	32,064	29,972
	27,350	31,566	28,374	26,544
	29,670	26,260	25,210	23,816
45°C	26,804	25,644	31,675	28,122
	35,534	28,430	37,690	26,510
	24,122	28,066	22,358	28,137
50°C	27,908	26,854	32,476	37,544
	32,532	36,136	28,430	24,498
	35,576	23,682	21,536	21,028
55°C	27,990	34,112	33,642	39,386
	39,348	32,285	25,406	26,116
	42,915	24,488	23,454	22,265

Viskositas solar = 1.312 cp

$$v = k (\rho \text{ bola} - \rho \text{ solar}) t_0$$

$$1,312 \text{ cp} = k (8,02 \text{ g/ml} - 0,8505 \text{ g/ml}) 8,81 \text{ s}$$

$$k = \frac{1,312 \text{ cp}}{7,1695 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 8,81 \text{ s}}$$

$$k = 0,0208$$

Viskositas biodiesel pada T 40°C dan t 1 menit

$$v_{\text{biodiesel}} = \frac{k (\rho \text{ bola} - \rho \text{ biodiesel}) t_0}{\rho \text{ biodiesel}}$$

$$v = 0,0208 \times (8,02 \text{ g/ml} - 0,8780 \text{ g/ml}) \times 26,67 \text{ s}$$

$$v = 3,9619 \text{ cp} / 0,8780 \text{ g/ml}$$

$$v = 4,51 \text{ cSt}$$

$$v_{\text{biodiesel}} = \frac{k (\rho \text{ bola} - \rho \text{ biodiesel}) t_0}{\rho \text{ biodiesel}}$$

$$v = 0,0208 \times (8,02 \text{ g/ml} - 0,8770 \text{ g/ml}) \times 27,35 \text{ s}$$

$$v = 4,0635 \text{ cp}/0,8770 \text{ g/ml}$$

$$v = 4,63 \text{ cSt}$$

$$v_{\text{2}} = \frac{k (\rho_{\text{bola}} - \rho_{\text{biodiesel}}) t_0}{\rho_{\text{biodiesel}}}$$

$$v = 0,0208 \times (8,02 \text{ g/ml} - 0,8767 \text{ g/ml}) \times 29,67 \text{ s}$$

$$v = 4,4084 \text{ cp}/0,8767 \text{ g/ml}$$

$$v = 5,03 \text{ cSt}$$

$$\text{Viskositas rata-rata} = (4,51 + 4,63 + 5,03)(\text{cSt})/3$$

$$= 4,72 \text{ cSt}$$

Lampiran 4. Hasil perhitungan rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel yang dihasilkan

Tabel 12. Rendemen, massa jenis, dan viskositas biodiesel yang dihasilkan

No	Suhu reaksi (°C)	Lama reaksi (menit)	Ulangan	Rendemen (%)	Massa jenis (g/ml)	Viskositas (cSt)
40	40	1	1	68,57	0,88	4,51
			2	73,85	0,88	4,63
			3	62,10	0,88	5,03
40	40	2	1	62,53	0,88	5,04
			2	57,65	0,88	5,34
			3	71,08	0,88	4,45
40	40	3	1	39,52	0,88	5,41
			2	58,72	0,88	4,80
			3	52,95	0,88	4,26
40	40	4	1	56,86	0,88	5,06
			2	60,59	0,88	4,49
			3	55,90	0,88	4,02
45	45	1	1	52,89	0,88	4,54
			2	49,15	0,88	6,00
			3	69,19	0,88	4,09
45	45	2	1	57,70	0,88	4,35
			2	59,75	0,88	4,82
			3	54,77	0,88	4,75
45	45	3	1	55,85	0,88	5,35
			2	51,07	0,88	6,36
			3	65,17	0,87	3,80
45	45	4	1	43,27	0,88	4,76
			2	62,52	0,88	4,49
			3	56,33	0,88	4,75
50	50	1	1	53,97	0,88	4,71
			2	58,74	0,88	5,50
			3	52,97	0,88	6,01
50	50	2	1	54,93	0,88	4,54
			2	62,59	0,88	6,10
			3	67,41	0,88	4,01
50	50	3	1	53,97	0,88	5,48
			2	60,54	0,88	4,82
			3	72,85	0,87	3,66
50	50	4	1	60,68	0,88	6,34
			2	62,49	0,88	4,15

		3	71,94	0,88	3,57
55	1	1	62,45	0,88	4,74
		2	52,89	0,88	6,66
		3	57,05	0,88	7,22
55	2	1	56,68	0,88	5,76
		2	61,55	0,88	5,45
		3	70,59	0,88	4,14
55	3	1	52,96	0,88	5,69
		2	59,14	0,88	4,30
		3	70,82	0,88	3,96
55	4	1	50,09	0,88	6,65
		2	63,40	0,88	4,43
		3	67,20	0,88	3,78
Rata – rata			61,56	0,88	4,93

Lampiran 5. Hasil Analisis ragam

Rendemen Biodiesel

The GLM Procedure

Class Level Information		
Class	Levels	Values
fak1	4	T1 T2 T3 T4
fak2	4	t1 t2 t3 t4
r	3	1 2 3
Number of observations		48

The GLM Procedure
Dependent Variable: respon1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	799.203125	53.280208	0.87	0.6028
Error	32	1965.000000	61.406250		
Corrected Total	47	2764.203125			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	respon1 Mean
0.289126	12.73534	7.836214	61.53125

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	161.5572917	53.8524306	0.88	0.4633
fak2	3	99.6406250	33.2135417	0.54	0.6578
fak1*fak2	9	538.0052083	59.7783565	0.97	0.4796

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	161.5572917	53.8524306	0.88	0.4633
fak2	3	99.6406250	33.2135417	0.54	0.6578
fak1*fak2	9	538.0052083	59.7783565	0.97	0.4796

The GLM Procedure

Level of fak1	N	respon1	
		Mean	Std Dev
T1	12	61.1666667	8.87113125
T2	12	58.7083333	7.46037512
T3	12	63.5000000	7.19216746
T4	12	62.7500000	7.10793411

Level of fak2	N	respon1	
		Mean	Std Dev
t1	12	60.5833333	7.37881899
t2	12	63.8333333	5.85946528
t3	12	60.0833333	9.50797114
t4	12	61.6250000	7.94047457

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T1	t1	3	66.0000000	8.7177979
T1	t2	3	66.3333333	7.0945989
T1	t3	3	52.3333333	10.2632029
T1	t4	3	60.0000000	2.6457513

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T2	t1	3	59.3333333	11.1504858
T2	t2	3	59.6666667	2.5166115
T2	t3	3	59.6666667	7.6376262
T2	t4	3	56.1666667	10.2021240
T3	t1	3	57.3333333	3.2145503
T3	t2	3	64.0000000	6.5574385
T3	t3	3	65.0000000	10.1488916
T3	t4	3	67.6666667	6.4291005
T4	t1	3	59.6666667	5.0332230
T4	t2	3	65.3333333	7.0945989
T4	t3	3	63.3333333	9.3852722
T4	t4	3	62.6666667	9.4516313

The GLM Procedure t Tests (LSD) for respon1

NOTE This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	61.40625
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	6.5164

Tabel 13. Kesimpulan uji sidik ragam rendemen biodiesel faktor 1

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak1
A	63.500	12	T3
A			
A	62.750	12	T4
A			
A	61.167	12	T1
A			
A	58.708	12	T2

Keterangan: Angka – angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$.

The GLM Procedure t Tests (LSD) for respon1

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	61.40625
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	6.5164

Tabel 14. Kesimpulan uji sidik ragam rendemen biodiesel faktor 2

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A	63.833	12	t2
A			
A	61.625	12	t4

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A			
A	60.583	12	t1
A			
A	60.083	12	t3

Keterangan: Angka – angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$.

Massa jenis biodiesel

The GLM Procedure

Class Level Information		
Class	Levels	Values
fak1	4	T1 T2 T3 T4
fak2	4	t1 t2 t3 t4
r	3	1 2 3

Number of observations	48
------------------------	----

The GLM Procedure Dependent Variable: respon1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	730.299631	48.686642	0.86	0.6057
Error	32	1801.793867	56.306058		
Corrected Total	47	2532.093498			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	respon1 Mean
0.288417	12.67527	7.503736	59.19979

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	151.2072562	50.4024187	0.90	0.4543
fak2	3	93.3017063	31.1005688	0.55	0.6503
fak1*fak2	9	485.7906687	53.9767410	0.96	0.4909

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	151.2072563	50.4024187	0.90	0.4543
fak2	3	93.3017063	31.1005688	0.55	0.6503
fak1*fak2	9	485.7906687	53.9767410	0.96	0.4909

Data Faktorial RAL

The GLM Procedure

Level of fak1	N	respon1	
		Mean	Std Dev
T1	12	58.8391667	8.48423078
T2	12	56.4691667	7.13378703
T3	12	61.0891667	6.81846751
T4	12	60.4016667	6.86145868

Level of fak2	N	respon1	
		Mean	Std Dev
t1	12	58.2983333	7.04913771
t2	12	61.4333333	5.68386126
t3	12	57.7966667	9.07223570
t4	12	59.2708333	7.57669208

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T1	t1	3	63.4300000	8.3807160
T1	t2	3	63.7466667	6.7935729
T1	t3	3	50.3966667	9.8513772
T1	t4	3	57.7833333	2.4775862
T2	t1	3	57.0733333	10.6595419
T2	t2	3	57.4033333	2.4982461
T2	t3	3	57.3633333	7.1707833
T2	t4	3	54.0366667	9.8326717
T3	t1	3	55.2266667	3.0834450

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T3	t2	3	61.6433333	6.2936264
T3	t3	3	62.4533333	9.5843223
T3	t4	3	65.0333333	6.0486803
T4	t1	3	57.4633333	4.7933843
T4	t2	3	62.9400000	7.0584063
T4	t3	3	60.9733333	9.0700459
T4	t4	3	60.2300000	8.9846925

The GLM Procedure
t Tests (LSD) for respon1

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	56.30606
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	6.2399

Tabel 15. Kesimpulan hasil uji sidik ragam massa jenis aktor 1

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak1
A	61.089	12	T3

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak1
A			
A	60.402	12	T4
A			
A	58.839	12	T1
A			
A	56.469	12	T2

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for respon1

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	56.30606
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	6.2399

Tabel 16. Kesimpulan hasil uji sidik ragam massa jenis faktor 2

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A	61.433	12	t2
A			
A	59.271	12	t4
A			
A	58.298	12	t1

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A			
A	57.797	12	t3

Keterangan: Angka – angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$.

Viskositas Biodiesel

The GLM Procedure

Class Level Information		
Class	Levels	Values
fak1	4	T1 T2 T3 T4
fak2	4	t1 t2 t3 t4
r	3	1 2 3

Number of observations	48
------------------------	----

The GLM Procedure

Dependent Variable: respon 1

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	15	0.00005833	0.00000389	0.93	0.5397
Error	32	0.00013333	0.00000417		
Corrected Total	47	0.00019167			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	respon1 Mean
0.304348	0.232069	0.002041	0.879583

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	0.00000833	0.00000278	0.67	0.5787
fak2	3	0.00002500	0.00000833	2.00	0.1338
fak1*fak2	9	0.00002500	0.00000278	0.67	0.7322

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1	3	0.00000833	0.00000278	0.67	0.5787
fak2	3	0.00002500	0.00000833	2.00	0.1338

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
fak1*fak2	9	0.00002500	0.00000278	0.67	0.7322

The GLM Procedure

Level of fak1	N	respon1	
		Mean	Std Dev
T1	12	0.88000000	0.00000000
T2	12	0.87916667	0.00288675
T3	12	0.87916667	0.00288675
T4	12	0.88000000	0.00000000

Level of fak2	N	respon1	
		Mean	Std Dev
t1	12	0.88000000	0.00000000
t2	12	0.88000000	0.00000000
t3	12	0.87833333	0.00389249
t4	12	0.88000000	0.00000000

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T1	t1	3	0.88000000	0.00000000
T1	t2	3	0.88000000	0.00000000
T1	t3	3	0.88000000	0.00000000
T1	t4	3	0.88000000	0.00000000
T2	t1	3	0.88000000	0.00000000
T2	t2	3	0.88000000	0.00000000

Level of fak1	Level of fak2	N	respon1	
			Mean	Std Dev
T2	t3	3	0.87666667	0.00577350
T2	t4	3	0.88000000	0.00000000
T3	t1	3	0.88000000	0.00000000
T3	t2	3	0.88000000	0.00000000
T3	t3	3	0.87666667	0.00577350
T3	t4	3	0.88000000	0.00000000
T4	t1	3	0.88000000	0.00000000
T4	t2	3	0.88000000	0.00000000
T4	t3	3	0.88000000	0.00000000
T4	t4	3	0.88000000	0.00000000

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for respon1

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	4.167E-6
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	0.0017

Tabel 17. Kesimpulan hasil uji sidik ragam viskositas faktor 1

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak1
A	0.8800000	12	T1
A			
A	0.8800000	12	T4
A			
A	0.8791667	12	T3
A			
A	0.8791667	12	T2

Keterangan: Angka – angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$.

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for respon1

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	32
Error Mean Square	4.167E-6
Critical Value of t	2.03693
Least Significant Difference	0.0017

Tabel 18. Kesimpulan Hasil Uji Sidik Ragam Viskositas Faktor 2

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A	0.8800000	12	t1
A			
A	0.8800000	12	t2

Means with the same letter are not significantly different.			
t Grouping	Mean	N	fak2
A			
A	0.8800000	12	t4
A			
A	0.8783333	12	t3

Keterangan: Angka – angka yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada taraf $\alpha = 5\%$.

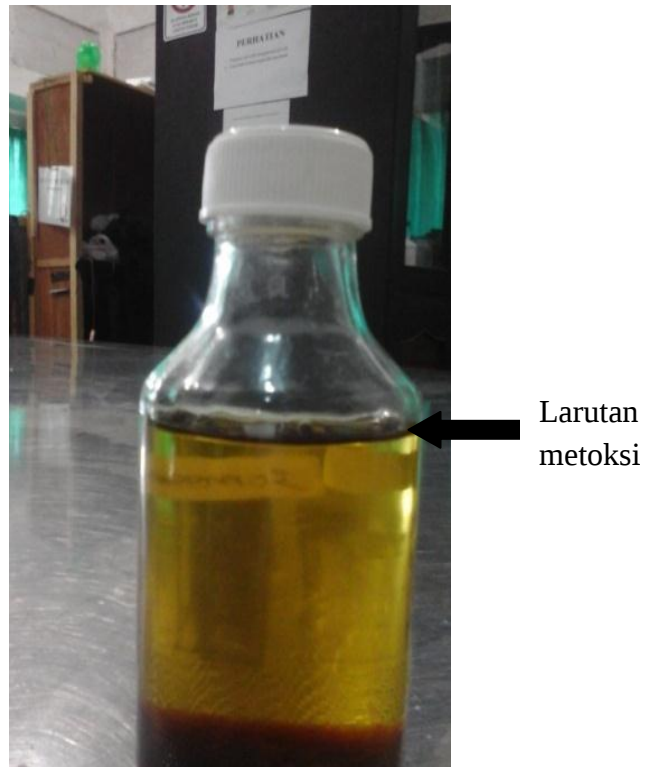
FOTO-FOTO PENELITIAN



Gambar 7. Minyak Jelantah



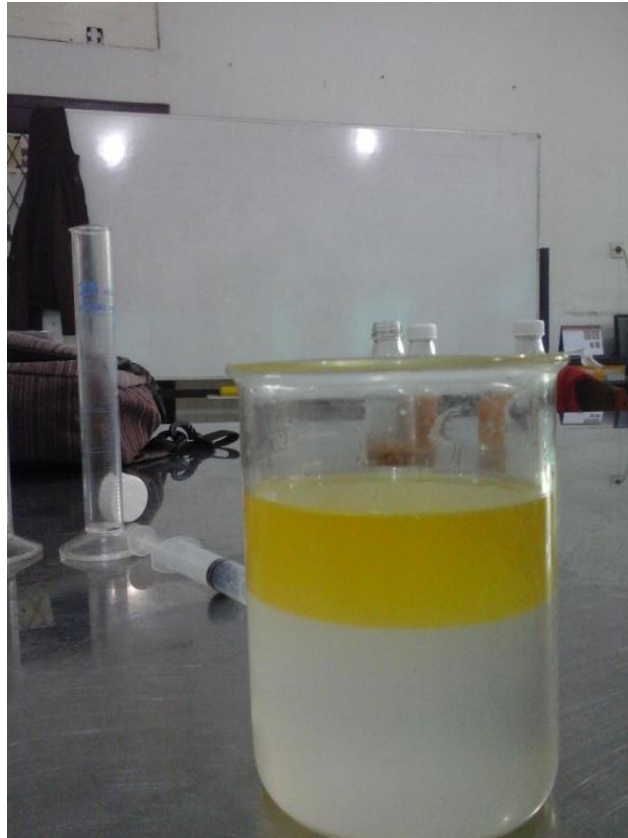
Gambar 8. Minyak jelantah dipanaskan menggunakan *heater*



Gambar 9. Biodiesel dan gliserol



Gambar 10. Biodiesel sebelum dicuci



Gambar 11. Pencucian biodiesel pertama



Gambar 12. Pencucian biodiesel ke-2



Gambar 13. pencucian biodiesel ke-tiga



Gambar 14. Proses pemberian gelombang ultrasonik



Gambar 15. pengukuran viskositas biodiesel