

**PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT MELALUI
REAKSI TRANSESTERIFIKASI DENGAN BANTUAN GELOMBANG
ULTRASONIK**

SKRIPSI

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Eria Harini

NIM. 135061101111032

Riska Amelia Septyarini

NIM. 135061101111034

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2017

LEMBAR PENGESAHAN
PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT MELALUI REAKSI
TRANSESTERIFIKASI DENGAN BANTUAN GELOMBANG ULTRASONIK

SKRIPSI



ERIA HARINI

NIM. 135061101111032

RISKA AMELIA SEPTYARINI

NIM. 135061101111034

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 11 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

Dosen Pembimbing II

Rama Oktavian, ST., M.Sc
NIP. 19861021 201404 1 001



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP.19600126 198603 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI**Penguji I**

Nama : Ir. Bambang Poerwadi, MS

NIK : 19600126 198603 1 001

Jenis Kelamin : Laki-laki

Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Alamat : JL. Pelabuhan Tanjung Priok No. 1015, Malang

Telp./HP : (0341) 803241 / 08125229840

Email : bpoerwadiub@gmail.com**Penguji II**

Nama : Ir. Bambang Ismuyanto, MS

NIK : 19600504 198603 1 003

Jenis Kelamin : Laki-laki

Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Alamat : JL. Cucak Rawun Raya 8B/20 Sawojajar II Malang, 65141

Telp./HP : (0341) 725210 / 087759712022

Email : bambang_ismuyanto@yahoo.com

Penguji III

Nama : A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati, ST., MT

NIK : 2012018308272001

Alamat : Villa Bukit Tidar B1-205 Malang

Telp/HP : 081553591660

Email : dearest_as@yahoo.com / say2as@ub.ac.id



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2017

Mahasiswa



Eria Harini

135061101111032

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2017

Mahasiswa



Riska Amelia Septyarini

135061101111034

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Mahasiswa 1

DATA DIRI

Nama : Eria Harini

Tempat, Tanggal Lahir : Manado, 7 Februari 1995

Jenis Kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Alamat Asal : Perum Jember Permai II/ T.14 RT 001/RW 012, Jember.

Telepon : 081233102246

Email : harinieria@gmail.com



PENDIDIKAN

SDN Karangrejo II Jember	2001 – 2007
SMP Negeri 3 Jember	2007 – 2010
SMA Negeri 4 Jember	2010 – 2013
Universitas Brawijaya	2013

ORGANISASI

Juli 2014 – Juni 2015	Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia
Juli 2015 – Maret 2016	Staff Departemen Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia
Oktober 2015 – Oktober 2016	Bidang Redaksi Lembaga Pers Mahasiswa Solid Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Juli 2016 – Maret 2017	Ketua Departemen Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia

Maret 2016 – 7 April 2017

Biro Umum Perhimpunan Pers Mahasiswa Indonesia – Kota
Malang

PENGALAMAN KERJA

Agustus 2016

Praktek Kerja Lapang di PT.Petrowidada Gresik.

KETERAMPILAN

Komputer

: - Microsoft Office (Ms. Word, Ms. Excel, Ms. Power
Point)

- Hysys

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Mahasiswa 2

DATA DIRI

Nama : Riska Amelia Septyarini
 Tempat, Tanggal Lahir : Tuban, 9 September 1994
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Agama : Islam
 Alamat Asal : Jalan Majapahit Gang Barokah, Tuban – Jawa Timur
 Telepon : 085645111299
 Email : riskamelia924@yahoo.co.id



PENDIDIKAN

SDN Kebonsari 1 Tuban 2001 – 2007
 SMP Negeri 1 Tuban 2007 – 2010
 SMA Negeri 1 Tuban 2010 – 2013
 Universitas Brawijaya 2013

ORGANISASI

Agustus 2014 – Oktober 2016 Bidang Kesekretariatan Lembaga Pers Mahasiswa Solid Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
 Oktober 2015 – Oktober 2016 Staff Riset dan Teknologi Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Daerah IV

PENGALAMAN KERJA

Agustus 2016 Staff Magang di PT. Air Liquide Cilegon, Banten

KETERAMPILAN



Komputer

: - Microsoft Office (Ms. Word, Ms. Excel, Ms. Power Point)

- Hysys





Untuk ayahanda dan ibunda kami tercinta

RINGKASAN

Eria Harini dan Riska Amelia Septyarini, Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2017, *Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Transesterifikasi Dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik*, Dosen Pembimbing: Ir. Bambang Poerwadi M.S dan Rama Oktavian, S.T.,M.Sc

Bahan bakar minyak bumi merupakan salah satu kebutuhan utama yang banyak digunakan di berbagai negara. Diantara berbagai produk minyak bumi, bahan bakar diesel (minyak solar) termasuk yang paling banyak digunakan setelah bensin yaitu sekitar 43,6 % dari total kebutuhan energi dalam sektor transportasi (BPPT, 2016). Untuk menjamin ketersediaan energi perlu diadakannya pemanfaatan energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan seperti biodiesel. Biodiesel merupakan energi alternatif menjanjikan yang telah dipelajari dan dieksplorasi dalam beberapa tahun terakhir. Biodiesel merupakan bahan bakar pengganti solar yang ramah lingkungan. Indonesia memiliki prospek yang baik dalam industri biodiesel. Minyak kelapa sawit dihasilkan dari bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO) yang kemudian diolah menjadi biodiesel dengan proses transesterifikasi alkoholis. Proses produksi biodiesel dari minyak nabati umumnya membutuhkan waktu lama, sehingga digunakan gelombang ultrasonik hingga proses pencampuran menjadi lebih cepat, sempurna dan peluang kontak antar molekul reaktan bertambah intensif. Pencampuran dengan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan kecepatan transfer massa antara senyawa yang bereaksi. Hal ini disebabkan karena adanya efek kavitasi, termal dan mekanik yang dihasilkan gelombang ultrasonik yang memberikan energi.

Pada penelitian ini, produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dilakukan dengan reaksi transesterifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik. Pada proses transesterifikasi ini dilakukan lima variasi temperatur (35, 40, 45, 50, 55 °C) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *yield* dalam pembuatan biodiesel dengan menggunakan minyak kelapa sawit produksi PT. Mikie Oleo Nabati Industri, jenis alkohol methanol, rasio molar metanol:minyak 6:1, katalis KOH 1% dari massa minyak, dan waktu reaksi 25 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi yang optimal dihasilkan pada suhu 45 °C dengan konversi sebesar 66,83%, *yield* 92,8% dan energi aktivasi 24,3 kJ/mol. Hasil karakterisasi biodiesel berdasarkan SNI 7182-2015 untuk viskositas, densitas, dan bilangan asam telah memenuhi SNI, sedangkan untuk kadar metil ester masih belum memenuhi SNI.

Kata Kunci:Biodiesel, Minyak Kelapa Sawit, Gelombang Ultrasonik, Transesterifikasi.

SUMMARY

Eria Harini and Riska Amelia Septyarini, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, August 2017, *Biodiesel Production from Palm Oil with Transesterification Reaction Using Ultrasonic Wave-Assisted*, Academic Supervisor: Ir. Bambang Poerwadi M.S dan Rama Oktavian, S.T.,M.Sc.

Petroleum fuel is one of the most needs that are widely used in the world. Among the various petroleum products, diesel fuel (diesel oil) is the most widely used after gasoline which is about 43.6% of the total energy demand in the transportation sector (BPPT, 2016). To ensure the availability of energy, it is necessary to hold the utilization of energy generated from sustainable energy resources such as biodiesel. Biodiesel is a promising alternative energy that has been studied and explored in recent years. Biodiesel is an environmentally friendly diesel fuel replacement. Indonesia has good prospects in the biodiesel industry. Palm oil is produced from raw materials of Crude Palm Oil (CPO) which is then processed into biodiesel by alcoholic transesterification process. Biodiesel production process from vegetable oil generally takes a long time, that ultrasonic waves are used so the mixing process becomes faster, perfect and the chance of contact between reactant molecules is intensified. Mixing with ultrasonic waves can increase the mass transfer rate between the reacting compounds. This is due to the cavitation effect, thermal and mechanical generated ultrasonic waves that provide enormous energy.

In this research, Biodiesel is produced from Palm Oil with Transesterification Reaction Using Ultrasonic Wave-Assisted. In this transesterification process five variations of temperature (35, 40, 45, 50, 55 °C) were used to determine the effect on yield in biodiesel using palm oil produced by PT. Mikie Oleo Vegetable Industry, type of alcohol used is methanol, methanol molar ratio: oil 6:1, KOH catalyst 1% of oil mass, and reaction time 25 minutes. The results showed that the optimum transesterification reaction was produced at 45 °C with conversion of 66.83%, yield 92.8% and activation energy of 24.3 kJ / mol. Result of biodiesel characterization based on SNI 7182-2015 for viscosity, density, and acid number have fulfilled SNI, while for percentage of methyl ester is not suitable yet.

Keywords: Biodiesel, Palm Oil, Transesterification, Ultrasonic Wave.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT penulis atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini dengan judul *Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Transesterifikasi Dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik*.

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana teknik. Penulis menyadari bahwa sangat bergunanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak selama mengerjakan proposal skripsi, melakukan penelitian hingga dapat menyusun naskah skripsi ini dengan lengkap. Oleh karenanya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ayah, Ibunda, dan saudara - saudara kami tercinta serta segenap keluarga yang telah memberikan doa, dorongan moral maupun material, serta kasih sayang.
3. Ir.Bambang Poerwadi, M.S., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan pembimbing utama kami yang telah membimbing dan membantu kami dalam proses pelaksanaan skripsi.
4. Rama Oktavian, ST.,M.Sc selaku pembimbing kedua kami yang telah membimbing dan membantu kami dalam proses pelaksanaan skripsi.
5. A.S. Dwi Saptati N.H., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik kami yang telah membimbing dan membantu kami dalam proses perkuliahan hingga akhir pelaksanaan skripsi.
6. Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, MS., Ir. Bambang Ismuyanto, MS., Julianda, ST.,M.Sc., Vivi Nurhadianty, ST., MT., Dr. Rizka Zulhijah, ST., MT, Supriyono, ST., MT., Luthfi Kurnia Dewi, ST., MT., Aji Hendra Sarosa, ST., MT., dan Nurul Faiqotul Himma, ST., MT., selaku dosen program studi Teknik Kimia Universitas Brawijaya atas bekal ilmu, wawasan serta pengalaman yang diajarkan selama mengikuti perkuliahan sampai akhir penulisan skripsi.

7. Evi Sulviani Nengseh, A.Md., Rifa Rahma, ST., dan Agustina Rahayu, A.Md., selaku PLP Laboratorium Teknik Kimia yang telah membantu selama penelitian skripsi.
8. Serta seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya, serta seluruh rekan-rekan kami yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, namun telah membantu dan memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan naskah skripsi ini.

Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada perkataan atau perbuatan yang kurang berkenan selama mengerjakan naskah skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam naskah skripsi ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan. Semoga naskah skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.

Malang,

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
RINGKASAN.....	vii
SUMMARY.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
2.1 Biodiesel.....	5
2.2 Minyak Nabati dari Kelapa Sawit.....	7
2.3 Metanol.....	11
2.4 Transesterifikasi.....	12
2.5 Katalis KOH.....	15
2.6 Gelombang Ultrasonik.....	18
2.7 Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III.....	23



3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2	Bahan dan Alat Penelitian.....	23
3.2.1	Bahan Penelitian.....	23
3.2.2	Alat Penelitian.....	23
3.3	Variabel Penelitian.....	25
3.4	Tahapan Penelitian.....	26
3.4.1	Reaksi Transesterifikasi.....	26
3.4.2	Pemisahan Produk Biodiesel.....	27
3.4.3	Karakterisasi Biodiesel.....	29
3.4.3.1	Pengujian Nilai Densitas.....	29
3.4.3.2	Pengujian Bilangan Asam.....	30
3.4.3.3	Pengujian Viskositas.....	31
3.4.3.4	Pengujian Kadar Asam Lemak Bebas (FFA).....	31
BAB IV	33
4.1	Karakterisasi Minyak Kelapa Sawit.....	33
4.2	Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel.....	34
4.3	Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi.....	35
4.4	Pengaruh Suhu Terhadap Energi Aktivasi.....	37
4.5	Karakterisasi Biodiesel.....	38
4.5.1	Densitas.....	38
4.5.2	Viskositas.....	39
4.5.3	Kadar Metil Ester.....	40
4.5.4	Bilangan Asam.....	41
BAB V	43

5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
	DAFTAR PUSTAKA	45
	LAMPIRAN 1	51
	LAMPIRAN 2	71
	LAMPIRAN 3	79
	LAMPIRAN 4	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel.....	6
Tabel 2.2 Jenis Tanaman yang Menghasilkan Biodiesel.....	7
Tabel 2.3 Kebutuhan Lahan dan Produksi Kelapa Sawit untuk Memenuhi Kebutuhan Biodiesel di Indonesia, 2017 – 2025	8
Tabel 2.4 Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa Sawit	10
Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit	10
Tabel 2.6 Syarat Mutu Minyak Kelapa Sawit	11
Tabel 2.7 Sifat Fisika dan Kimia Metanol.....	11
Tabel 4. 1 Karakteristik Minyak Kelapa Sawit	33
Tabel 4. 2 Energi Aktivasi	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian Buah Kelapa Sawit yang Menghasilkan Minyak	9
Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Dengan Alkohol.....	12
Gambar 2.3 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi	13
Gambar 2.4 Diagram Profil Energi dari Reaksi Tanpa dan Dengan Katalisator.....	15
Gambar 2.5 Klasifikasi dari Katalis	16
Gambar 2.6 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis KOH.....	17
Gambar 3. 1 Rangkaian Alat Transesterifikasi dengan Gelombang Ultrasonik.....	24
Gambar 3. 2 Diagram Alir Metode Penelitian.....	26
Gambar 3. 3 Skema Proses Transesterifikasi Biodiesel	27
Gambar 3. 4 Skema Proses Pemisahan <i>Crude</i> Biodiesel.....	29
Gambar 4. 1 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap <i>Yield</i> Biodiesel.....	34
Gambar 4. 2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi.....	36
Gambar 4. 3 Densitas Biodiesel.....	39
Gambar 4. 4 Viskositas Biodiesel.....	40
Gambar 4. 5 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Kadar Metil Ester.....	41
Gambar 4. 6 Bilangan Asam Biodiesel	42

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bahan bakar minyak bumi merupakan salah satu kebutuhan utama yang banyak digunakan di berbagai negara. Saat ini, kebutuhan akan bahan bakar semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya populasi dan berkembangnya teknologi. Diantara berbagai produk minyak bumi, bahan bakar diesel (minyak solar) termasuk yang paling banyak digunakan setelah bensin yaitu sekitar 43,6 % dari total kebutuhan energi dalam sektor transportasi (BPPT, 2016). Untuk menjamin ketersediaan energi perlu diadakannya pemanfaatan energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang berkelanjutan seperti biodiesel.

Biodiesel merupakan energi alternatif menjanjikan yang telah dipelajari dan dieksplorasi dalam beberapa tahun terakhir. Biodiesel merupakan bahan bakar pengganti solar yang ramah lingkungan. Biodiesel terdiri dari senyawa asam lemak alkil ester yang dihasilkan dari minyak nabati, lemak hewan dan limbah minyak goreng dengan beberapa metode seperti pengenceran, mikro-emulsifikasi, pirolisis (*thermal cracking*), esterifikasi atau transesterifikasi menggunakan katalis (Poosumas, 2016).

Indonesia memiliki prospek yang baik dalam industri biodiesel. Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman yang sudah dibudidayakan secara luas hampir di seluruh Indonesia. Minyak kelapa sawit dihasilkan dari bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO) yang kemudian diolah menjadi biodiesel dengan proses transesterifikasi alkoholis. Proses ini terjadi karena adanya reaksi antara alkohol dengan trigliserida untuk menghasilkan metil ester dan hasil samping gliserol. Gugus alkil dalam alkohol akan menggantikan gugus hidroksil pada struktur ester minyak kelapa sawit (trigliserida) dengan bantuan katalis (Putri, 2012).

Beberapa jenis alkohol yang dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi diantaranya adalah metanol, etanol, isopropil alkohol dan lain sebagainya. Akan tetapi, alkohol yang paling umum digunakan yaitu metanol karena biayanya yang rendah dan ketersediaannya mudah (Pukale, 2014). Selain itu, keuntungan lain menggunakan metanol adalah pemisahan gliserin dimana dapat dilakukan dengan dekantasi sederhana (Nagi, 2008).

Sebagian besar biodiesel diproduksi dengan menggunakan katalis basa homogen seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Apabila menggunakan katalis heterogen, sintesis biodiesel jauh lebih lambat daripada dengan katalis homogen. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan laju perpindahan massa yang melibatkan sistem tiga fasa yaitu minyak, alkohol dan katalis heterogen (Veljkovic, 2011). Adanya air dan metanol dalam reaksi campuran menyebabkan fenomena *leaching* pada senyawa aktif katalis yang dapat mengurangi efisiensi dan menurunkan *yield* biodiesel (Buchori, 2016). Katalis basa homogen biasanya digunakan karena mampu mengkatalisis reaksi pada suhu reaksi dan tekanan atmosfer yang rendah serta menghasilkan konversi yang tinggi. Selain itu, ketersediaannya melimpah dan rendah biaya (Loter, 2005). Katalis basa homogen dibutuhkan hanya dalam jumlah yang sedikit pada reaksi transesterifikasi (Shahbazi, 2012). Menurut penelitian Eman dan Cadence (2012) dengan menggunakan CPO sebagai bahan baku, metanol sebagai alkohol dan kalium hidroksida (KOH) sebagai katalis dapat menghasilkan biodiesel optimum sebesar 88%.

Proses produksi biodiesel dari minyak nabati umumnya membutuhkan waktu lama, sehingga didapatkan beberapa kesulitan dalam perancangan mesin produksi biodiesel dengan sistem kontinyu (Susilo, 2016). Secara umum, reaksi transesterifikasi hanya terjadi pada daerah antar muka (*interface*) antara cairan – cairan dan berlangsung sangat lambat. Berdasarkan penelitian Mohammad Reza Shahbazi et al., (2012), produksi biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa sawit RBD Malaysia dengan katalis alkali membutuhkan waktu 60 menit pada suhu 60 °C. Selain waktu reaksi, proses transesterifikasi juga dipengaruhi oleh suhu reaksi. Semakin tinggi suhu yang digunakan, konversi trigliserida menjadi metil ester yang

diperoleh akan semakin tinggi dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu, suhu yang meningkat dapat menurunkan viskositas minyak sebagai bahan baku dan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi (Leung, 2006). Namun, temperatur reaksi juga dijaga agar tidak melebihi titik didid alkohol, dimana penguapan alkohol dapat menyebabkan menurunnya *yield* yang dihasilkan.

Untuk memperbaiki efektifitas kontak antar fase pada proses transesterifikasi, digunakan gelombang ultrasonik hingga proses pencampuran menjadi sempurna dan peluang kontak antar molekul reaktan bertambah intensif (Susilo, 2016). Pencampuran dengan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan kecepatan transfer massa antara senyawa yang bereaksi. Laju reaksi dalam kondisi ultrasonik jauh lebih tinggi daripada laju reaksi dengan kondisi pengadukan konvensional (Deng, 2010). Hal ini disebabkan karena adanya efek kavitasi, termal dan mekanik yang dihasilkan gelombang ultrasonik yang memberikan energi sangat besar. Peningkatan laju reaksi akan menghasilkan konversi pembentukan biodiesel yang lebih tinggi (Putri, 2012).

Berdasarkan penelitian sebelumnya Maghami et al., (2014), pembentukan biodiesel dengan menggunakan gelombang ultrasonik dari minyak ikan menghasilkan *yield* sebesar 79,6%. Konversi tersebut terjadi pada perbandingan metanol dan minyak yaitu 6:1, jumlah katalis 1% dari massa minyak serta pada suhu 55 °C dalam waktu 30 menit. Selain itu, menurut penelitian Le dkk (2013), pembuatan biodiesel dengan gelombang ultrasonik diketahui dapat mempercepat reaksi dalam waktu 25 menit. Dari penelitiannya diperoleh metil ester lebih dari 98% pada konsentrasi katalis KOH 1% wt dari massa trigliserida dan rasio molar trigliserida : metanol yaitu 1:6.

Dalam penelitian ini dilakukan kajian untuk mengetahui pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap *yield* dalam pembuatan biodiesel pada frekuensi 37 kHz dan pengaruh suhu reaksi terhadap karakteristik biodiesel.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian yang telah dipaparkan diatas, maka permasalahan yang akan diselesaikan adalah :

1. Bagaimana pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap *yield* dalam pembuatan biodiesel.

2. Bagaimana pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap karakteristik biodiesel.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, yaitu :

1. Bahan baku biodiesel berupa minyak kelapa sawit
2. Kondisi operasi pada penelitian ini yaitu :
 - Rasio molar minyak terhadap metanol yaitu 1 : 6
 - Jumlah katalis yang digunakan yaitu 1 % dari massa minyak
 - Waktu reaksi transesterifikasi 25 menit
 - Frekuensi *ultrasonic bath* 37 kHz

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap *yield* dalam pembuatan biodiesel.
2. Untuk mengetahui pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap karakteristik biodiesel.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai :

1. Suhu reaksi optimum dalam menghasilkan *yield* biodiesel yang maksimum dengan bantuan gelombang ultrasonik.
2. Mengetahui pengaruh suhu reaksi dengan bantuan gelombang ultrasonik terhadap karakteristik biodiesel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel didefinisikan sebagai rantai panjang ester monoalkil dari minyak nabati dan lemak hewan. Biodiesel digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar motor (BBM) diesel. Biodiesel memiliki keunggulan sebagai bahan bakar minyak alternatif untuk menutupi kekurangan kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin meningkat namun ketersediaannya semakin berkurang. Biodiesel termasuk golongan rantai panjang ester monoalkil seperti metil dan etil. Bahan dasar yang biasa digunakan dalam pembuatan biodiesel diantaranya minyak dari kedelai, minyak kelapa sawit, minyak biji jarak, minyak biji bunga matahari dan lain sebagainya (Anshary, 2012). Biodiesel biasanya terdiri dari asam lemak alkil yang memiliki panjang rantai karbon antara 12 sampai 20. Nilai-nilai pemanasan biodiesel relatif tinggi (39-41 MJ / kg), yang sedikit lebih rendah dari minyak bumi (42 MJ / kg), namun lebih tinggi dari batubara (32-37 MJ / kg) (Demirbas, 2009).

Bahan bakar memiliki standar viskositas tertentu sebagai parameter fisik dari bahan tersebut. Adanya standar viskositas ini akan memudahkan dalam menghidupkan mesin pada saat awal penyalaan. Viskositas bahan bakar yang terlalu tinggi maka pengaliran bahan bakar pada ruang pembakaran akan sulit sehingga terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Viskositas minyak tanaman dapat diturunkan dengan proses pelarutan, emulsifikasi, pirolisis, dan transesterifikasi. Proses yang paling banyak dilakukan adalah transesterifikasi (Demirbas, 2009).

Biodiesel dapat digunakan secara langsung pada mesin diesel dalam bentuk murni yang biasa disebut B100 (100% biodiesel) atau dalam campuran dengan proporsi yang berbeda dari bahan bakar diesel konvensional. Yang termasuk biodiesel campuran yaitu B20 (20% biodiesel dan 80% solar konvensional), dimana memiliki karakteristik yang jauh lebih dekat dengan bahan bakar diesel daripada B100 dan B5 (5% biodiesel dan 95% solar konvensional) (Zhou, 2013).

Beberapa kelebihan biodiesel dibandingkan bahan bakar *petroleum* yaitu lebih ramah lingkungan, dapat diperbarui (*renewable*) dan dapat terurai (*biodegradable*). Emisi gas buang yang dihasilkan biodiesel jauh lebih baik daripada diesel/solar, yaitu bebas sulfur, bilangan asap (*smoke number*) rendah, dan angka setana (*cetane number*) memiliki kisaran antara 57 – 62, sehingga efisiensi pembakaran lebih baik, terbakar sempurna dan tidak menghasilkan racun (Lotero, 2005)

Spesifikasi biodiesel di Indonesia telah ditetapkan oleh Badan Standar Nasional melalui Standar Nasional Indonesia (SNI). Standar mutu biodiesel disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel

No	Parameter	Satuan	Nilai
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	Angka asam	Mg-KOH/g	Maks 0,5
7	Gliserol bebas	% massa	Maks 0,02
8	Gliserol total	% massa	Maks 0,24
9	Kadar metil ester	% massa	Min 96,5

Sumber : Standar Nasional Indonesia, 2015

2.2 Minyak Nabati dari Kelapa Sawit

Seiring dengan berkurangnya cadangan minyak mentah, penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel telah banyak dikaji dalam berbagai negara. Minyak nabati terdiri dari 90 – 98% trigliserida dan sejumlah kecil mono dan digliserida. Trigliserida merupakan

ester dari tiga asam lemak dan satu gliserol. Pada asam lemak pada umumnya terdapat asam stearat, asam palmitat, asam oleat, asam linoleat dan asam linolenat. Minyak nabati mengandung asam lemak bebas (biasanya 1 hingga 5%), fosfolipid, fosfat, karoten, tokoferol, komponen sulfur dan sedikit air (Widyastuti, 2007).

Pengembangan biodiesel membutuhkan bahan baku minyak nabati yang dihasilkan dari tanaman yang mengandung asam lemak seperti kelapa sawit, jarak pagar, biji kemiri, kelapa, srikaya dan kapuk. Beberapa jenis tanaman yang dapat menghasilkan biodiesel ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Jenis Tanaman yang Menghasilkan Biodiesel

No.	Jenis Tanaman	Nama Latin	% minyak (kering)
1.	Kelapa sawit	<i>Elais guineensis</i>	45 – 70
2.	Jarak pagar	<i>Jatropha curcas</i>	40 – 60
3.	Biji kemiri	<i>Aleurites moluccana</i>	57 – 69
4.	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i>	60 – 70
5.	Srikaya	<i>Annona muricata</i>	15 – 20
6.	Kapuk	<i>Ceiba pantandra</i>	24 – 40

Sumber : Tatang, 2006

Berdasarkan Tabel 2.2, di Indonesia yang memiliki prospek untuk pengolahan biodiesel adalah kelapa sawit. Berdasarkan hasil penelitian Suarna (2006), bahwa bahan baku biodiesel yang akan dimanfaatkan adalah CPO (*Crude Palm Oil*) dari kelapa sawit. Kelapa sawit merupakan komoditas pertanian yang sudah dikenal dan telah dibudidayakan secara luas, sehingga tidak memerlukan waktu yang lama dalam sosialisasi penanaman kelapa sawit (Maulana, 2012). Perkiraan kebutuhan lahan dalam penanaman kelapa sawit disajikan pada Tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Kebutuhan Lahan dan Produksi Kelapa Sawit untuk Memenuhi Kebutuhan Biodiesel di Indonesia, 2017 – 2025



	Unit	2017	2019	2021	2023	2025
Biodiesel	PJ	9.95	30.01	46.39	226.68	281.28
	Ton	251.580	758.786	1.172.946	5.731.479	7.112.010
	Kiloliter	218.875	660.144	1.020.463	4.986.387	6.187.449
Lahan Kelapa Sawit	(Ha)	143.171	431.814	667.506	3.261.699	4.047.338
CPO	(Ton)	279.183	841.037	1.301.636	6.360.312	7.892.309

Catatan : 1 PJ = 25,284 ton biodiesel, 1 ton = 0,87 kiloliter biodiesel

Rata – rata produksi CPO di Indonesia = 1.95 ton/Ha

Rata – rata kebutuhan lahan kelapa sawit di Indonesia = 14.389 Ha/PJ

Sumber : Suarna, 2006

Kelapa sawit terdiri dari dua spesies yaitu *Aracaceae* atau famili palma dan spesies *Elaeis guineensis* yang berasal dari Afrika Barat. Kelapa sawit memiliki ketinggian mencapai 24 meter. Bunga dan buahnya berupa tandan serta bercabang. Indonesia merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi kelapa sawit terbesar kedua di dunia setelah Malaysia, karena kelapa sawit tumbuh pesat pada daerah tropis (Andriyanda, 2012). Di Indonesia, kelapa sawit tersebar pada beberapa daerah seperti Sumatera, Jawa, Sulawesi, Kalimantan, Maluku dan Papua (Ditjen Bina Produksi Perkebunan, 2004).

Minyak kelapa sawit diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). Buah kelapa sawit terdiri dari serabut buah (*pericarp*) dan inti (*kernel*). Serabut buah kelapa sawit terdiri dari tiga lapis yaitu lapisan luar atau kulit buah yang disebut *pericarp*. Lapisan sebelah dalam disebut *mesocarp* dan lapisan paling dalam disebut *endocarp*. *Mesocarp* mengandung kadar minyak rata – rata sebesar 56%, inti (*kernel*) mengandung minyak sebesar 44% dan *endocarp* tidak mengandung minyak (Istighfaro, 2010).



Gambar 2.1 Bagian Buah Kelapa Sawit yang Menghasilkan Minyak

Sumber : Ketaren, 2005

Pemrosesan daging buah kelapa sawit akan menghasilkan minyak kelapa sawit kasar yang disebut CPO atau *Crude Palm Oil*, sedangkan inti sawit akan menghasilkan minyak inti sawit kasar yang disebut CPKO atau *Crude Palm Kernel Oil*. CPO kaya akan asam palmitat, sedangkan CPKO kaya dengan asam laurat dan asam miristat. Umumnya, CPO lebih banyak diproses menjadi minyak goreng yang sering disebut sebagai minyak kelapa sawit (Ketaren, 2005).

Komposisi minyak kelapa sawit yang berperan penting dalam pembuatan biodiesel adalah trigliserida dan asam lemak. Komposisi trigliserida dan asam lemak dalam minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 2.4 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa Sawit

Trigliserida	Jumlah (%)
Tripalmitin	3 – 5
Dipalmito – Stearine	1 – 3
Oleo – Miristopalmitin	0 – 5
Oleo – Dipalmitin	21 – 43
Oleo – Palmitostearine	10 – 11
Palmito – Diolein	32 – 48
Stearo – Diolein	0 – 6
Linoleo – Diolein	3 – 12

Sumber : Istighfaro, 2010

Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak Minyak Kelapa Sawit

Asam Lemak	Jumlah (%)
Asam Kaprilat	-
Asam Kaproat	-
Asam Miristat	1.1 – 2.5
Asam Palmitat	40 – 46
Asam Stearat	3.6 – 4.7
Asam Oleat	30 – 45
Asam Laurat	-
Asam Linoleat	7 – 11

Sumber : Istighfaro, 2010

Standar mutu minyak kelapa sawit di Indonesia diatur dalam SNI 01 – 2901 – 2006 yang disajikan pada Tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2.6 Syarat Mutu Minyak Kelapa Sawit

No.	Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan Mutu
1.	Warna	-	Jingga kemerah – merahan
2.	Kadar air dan kotoran	%, fraksi massa	0.5 maks
3.	Asam lemak bebas (sebagai asam palmitat)	%, fraksi massa	0.5 maks
4	Bilangan Yodium	g Yodium/100 g	50 - 55

Sumber : Standar Nasional Indonesia, 2006

2.3 Metanol

Metanol (CH_3OH) merupakan jenis alkohol yang paling sederhana yang mengandung satu atom karbon. Metanol berbentuk cairan yang tidak berwarna, tidak berasa, mudah terbakar dan memiliki bau alkohol yang ringan. Metanol dapat disintesis dari reaksi antara hidrogen dan karbon monoksida atau karbon dioksida pada tekanan dan temperatur yang tinggi dengan menggunakan katalis. Metanol juga dapat diproduksi dari oksidasi parsial hidrokarbon (Pritchard, 2007). Sifat fisik dan kimia metanol ditunjukkan pada Tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2.7 Sifat Fisika dan Kimia Metanol

Parameter	Nilai
Berat molekul	32,04 g/mol
Wujud	Cairan tidak berwarna
Densitas	792 kg/m ³
Flash point	11°C
Titik didih	65°C
Kelarutan	Larut dalam air, etanol, eter, aseton, dan kloroform

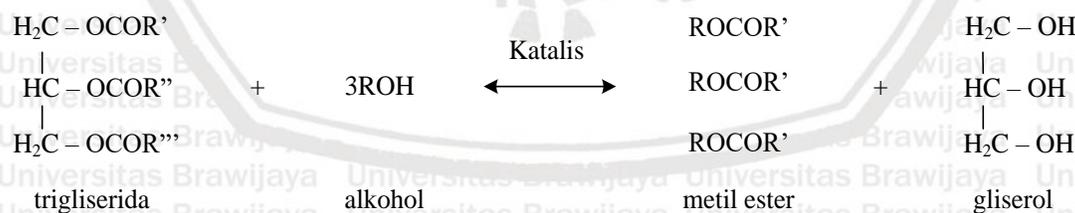
Sumber : Valtech, 2013



Beberapa alkohol yang dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah metanol, etanol, propanol, butanol dan amil alkohol. Diantara alkohol tersebut yang paling sering digunakan adalah metanol. Hal tersebut disebabkan karena metanol merupakan senyawa polar dengan rantai karbon yang paling pendek, sehingga dapat bereaksi lebih cepat dengan trigliserida. Selain itu, dapat melarutkan semua jenis katalis dan harganya yang lebih ekonomis. Apabila menggunakan metanol, maka dapat disebut dengan reaksi metanolisis (Susilowati, 2006).

2.4 Transesterifikasi

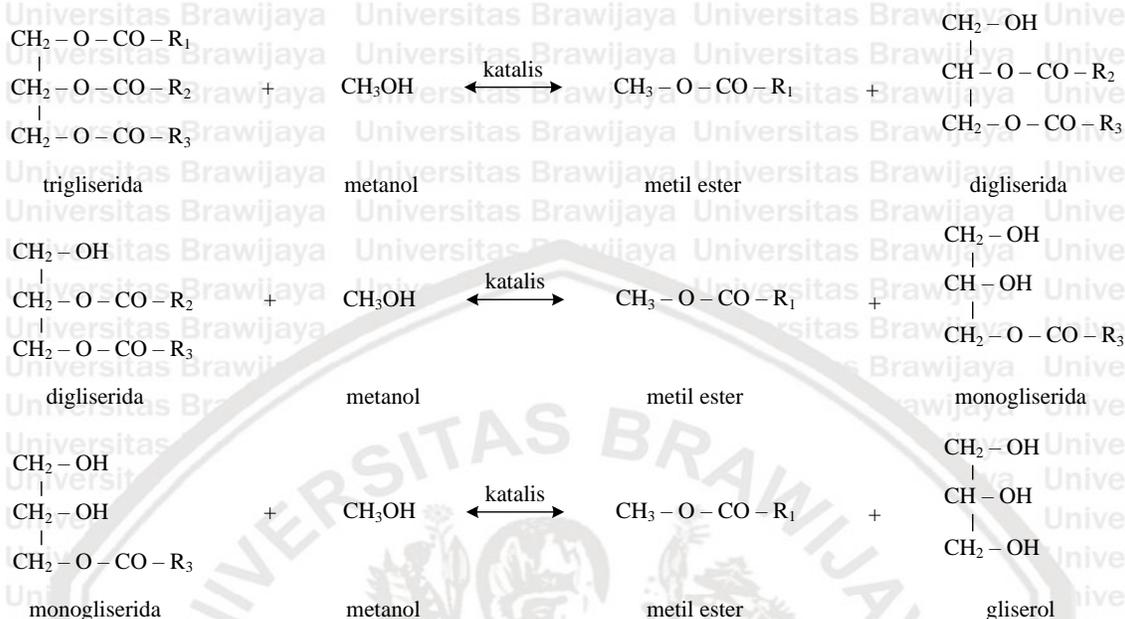
Transesterifikasi (biasanya disebut dengan alkoholisis) merupakan reaksi antara trigliserida yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol untuk membentuk alkil ester dan gliserol sebagai hasil samping. Pada Gambar 2.2 menggambarkan reaksi transesterifikasi dari trigliserida dengan bantuan katalis untuk meningkatkan laju reaksi dan *yield* (Demirbas, 2009). Meskipun konversi yang dihasilkan dapat maksimum tanpa adanya katalis, namun reaksinya berjalan dengan lambat (Mittlebatch, 2004). Reaksi dari transesterifikasi merupakan reaksi yang *reversible* atau bolak-balik. Jenis reaksi ini adalah reaksi kesetimbangan, maka alkohol yang berlebih diperlukan untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk, sehingga *yield* ester akan meningkat (Setyoprato, 2008). Reaksi stokiometris membutuhkan satu mol trigliserida dan tiga mol alkohol menghasilkan tiga mol ester dan satu mol gliserol (Manurung, 2006).



Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Dengan Alkohol

Sumber : Demirbas, 2009

Reaksi transesterifikasi berlangsung dalam tiga tahapan yang ditunjukkan Gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2.3 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi

Sumber : Ramachandran, 2013

Berdasarkan Gambar 2.3, tahapan pertama merupakan konversi trigliserida menjadi digliserida. Kemudian dilanjutkan konversi digliserida menjadi monogliserida. Tahapan terakhir merupakan konversi monogliserida menjadi gliserol (Pandey, 2009). Digliserida dan monogliserida dihasilkan sebagai reaksi intermediet (Putri, 2012).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi jalannya reaksi transesterifikasi, diantaranya adalah sebagai berikut (Ahmad et. al., 2013):

1. Pengaruh FFA dan Kadar Air

Kandungan asam lemak bebas (FFA) dan kandungan air yang terkandung pada bahan baku dalam proses transesterifikasi harus memenuhi beberapa spesifikasi.

Keberadaan air selama proses transesterifikasi dapat menyebabkan adanya reaksi saponifikasi membentuk sabun. Kandungan asam lemak bebas (FFA) pada bahan baku juga perlu diperhatikan. Hal ini dikarenakan, kandungan FFA yang tinggi pada minyak dapat bereaksi dengan katalis basa membentuk sabun. Sehingga,



kandungan FFA dalam minyak perlu dijaga yaitu dibawah 5%. Terbentuknya sabun selama reaksi dapat meningkatkan viskositas, memicu pembentukan gel yang dapat menurunkan *yield* dan mempersulit dalam proses pemisahan gliserol.

2. Katalis

Katalis yang digunakan pada proses produksi biodiesel dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen merupakan katalis yang berada dalam satu fase dengan minyak dan alkohol, sedangkan katalis heterogen memiliki fase yang berbeda dengan medium reaksi. Katalis homogen dapat dibedakan menjadi katalis asam dan basa, dan katalis heterogen dapat dikelompokkan menjadi golongan oksida logam, kompleks logam, dan enzim lipase. Jenis katalis yang berbeda akan membutuhkan konsentrasi yang berbeda dalam pengaplikasiannya ke dalam reaksi transesterifikasi.

3. Rasio Molar Metanol/Trigliserida

Rasio molar metanol dan trigliserida dapat menentukan *yield* biodiesel yang dihasilkan. Rasio stoikiometri pada transesterifikasi adalah tiga mol alkohol dengan satu mol trigliserida menghasilkan tiga mol *fatty acid ester* dan satu mol gliserol. Molar rasio juga dapat dipengaruhi oleh jenis katalis yang digunakan. Untuk mencapai *yield* ester maksimum, dibutuhkan rasio molar 6:1 dengan menggunakan katalis basa.

4. Waktu dan Temperatur Reaksi

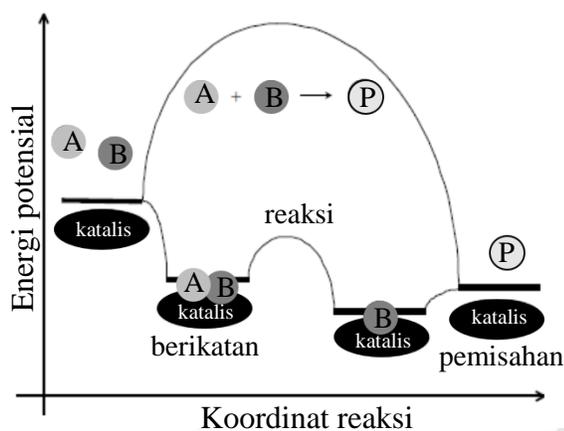
Konversi minyak menjadi biodiesel dapat meningkat seiring dengan meningkatnya waktu reaksi. Apabila reaksi dilakukan dalam waktu yang singkat, *yield* ester yang dihasilkan akan menjadi rendah karena terdapat beberapa molekul trigliserida yang belum bereaksi. Temperatur dapat mempengaruhi reaksi transesterifikasi. Semakin tinggi temperatur maka kecepatan reaksi dapat meningkat, sehingga menurunkan waktu reaksi yang dibutuhkan. Namun, temperatur reaksi harus dijaga tidak melebihi titik didih alkohol, agar tidak terjadi penguapan alkohol yang dapat menyebabkan menurunnya *yield* yang dihasilkan.

5. Intensitas Pengadukan

Pengadukan sangat penting mengingat larutan minyak-katalis metanol merupakan larutan yang *immiscible*. Pengadukan akan menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi dengan zat yang bereaksi. Hal tersebut dapat mempercepat reaksi dan bereaksi secara sempurna. Semakin besar tumbukan maka semakin besar pula harga konstanta laju reaksi.

2.5 Katalis KOH

Katalis merupakan zat yang dapat mempengaruhi laju reaksi tetapi zat tersebut tidak mengalami perubahan secara kimiawi pada akhir reaksi. Menambahkan katalis memberikan perubahan pada energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk melangsungkan terjadinya reaksi. Apabila partikel – partikel bertumbukan dengan energi yang lebih rendah dari energi aktivasinya maka tidak akan terjadi reaksi dan akan kembali pada keadaan semula.

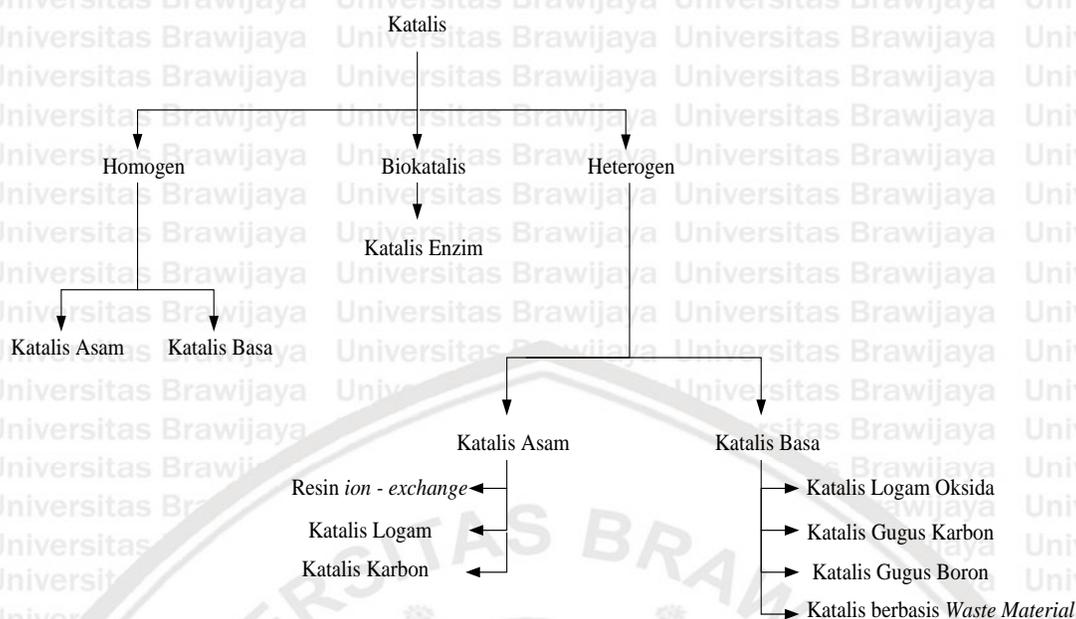


Gambar 2.4 Diagram Profil Energi dari Reaksi Tanpa dan Dengan Katalisator

Sumber : Chorkendorff, 2007

Berdasarkan Gambar 2.4 menunjukkan bahwa, katalis menyediakan mekanisme reaksi alternatif dengan energi aktivasi yang lebih rendah daripada reaksi tanpa katalis (Widjajanti, 2005).

Secara umum, katalis diklasifikasikan menjadi katalis homogen, heterogen dan biokatalis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 sebagai berikut :



Gambar 2.5 Klasifikasi dari Katalis

Sumber : Ramachndran, 2012

Katalis homogen merupakan katalis yang berada dalam fase sama dengan pereaksi, sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang berbeda fasenya dengan pereaksi. Transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa homogen merupakan metode yang paling umum digunakan pada skala laboratorium maupun industri. Katalis basa homogen yang biasa digunakan dalam produksi biodiesel adalah logam hidroksida seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) (Loter, 2005). Katalis ini digunakan dalam industri biodiesel karena dapat digunakan pada temperatur yang rendah, mencapai konversi yang tinggi dalam waktu yang singkat, ketersediaan melimpah dan rendah biaya. Kecepatan reaksi berkatalis basa 4000 kali lebih cepat daripada dengan katalis asam (Veljkovic, 2011). Penggunaan katalis ini hanya untuk minyak tumbuhan dengan kandungan FFA < 0,5% wt atau dengan angka asam < 1 mg KOH/g. Apabila kandungan FFA > 6%, maka katalis basa tidak sesuai untuk digunakan (Loter, 2005).

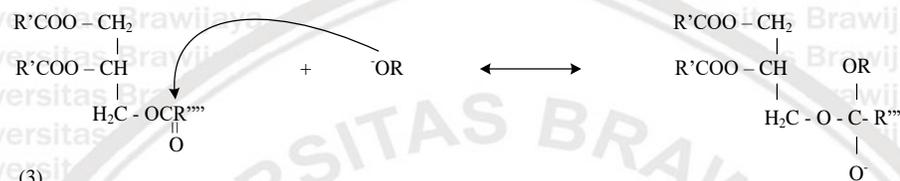
Menurut penelitian Fahma et al.,(2012), menyatakan bahwa katalis KOH memiliki energi ionisasi yang lebih kecil dari NaOH sehingga lebih cepat untuk membentuk suatu produk apabila digunakan sebagai katalis.



KOH merupakan padatan pelet berwarna putih dan tidak berbau. Berat molekul dari KOH yaitu 56,11 g/mol. Selain itu, KOH memiliki sifat fisik berupa titik didih dan titik leleh sebesar 1384 °C dan 380 °C. Penggunaan KOH perlu diperhatikan, karena berpotensi menyebabkan iritasi bila mengenai mata, kulit, pernafasan serta pencernaan (Sciencelab, 2013).



(2)



(3)



(4)



Gambar 2.6 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis KOH

Sumber : Encinar, 2012

Berdasarkan Gambar 2.6, tahap pertama pada reaksi transesterifikasi dengan katalis KOH adalah reaksi antara basa dan alkohol menghasilkan alkoksida dan katalis terprotonasi. Kemudian tahap kedua, nukleofilik menyerang alkoksida pada gugus karbonil dari trigliserida membentuk suatu intermediet. Tahap ketiga yaitu penstabilan muatan intermediet membentuk digliserida. Tahap terakhir, katalis mengalami deprotonasi dan menghasilkan katalis aktif yang baru pada keadaan semula. Katalis tersebut berikatan kembali dengan molekul alkohol lainnya hingga terbentuk monogliserida atau digliserida dalam mekanisme yang sama untuk menghasilkan alkil ester dan gliserol (Encinar, 2012).

2.6 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik dengan frekuensi di atas ambang pendengaran manusia yaitu diatas 20 kHz. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair, dan gas. Hal ini disebabkan gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik yang dapat berinteraksi dengan molekul maupun medium yang dilewatinya (Bueche, 1986).

Pada produksi biodiesel diperlukan pencampuran untuk memberikan kontak yang baik antara minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol. Aplikasi ultrasonik memberikan pencampuran dan energi yang intensif. Sehingga, reaksi transesterifikasi dapat dilakukan dengan cepat karena dua pengaruh. Pertama, kavitasi ultrasonik dan pembentukan gelembung mikro yang disebabkan oleh energi ultrasonik atau disebut *sonotrode*. Energi tersebut meningkatkan kontak *interface* antara campuran metanol dengan minyak nabati atau lemak hewan, sehingga dapat meningkatkan laju reaksi. Kedua, pembentukan dan pecahnya gelembung mikro yang disebabkan oleh adanya pengaruh kavitasi ultrasonik dengan memindahkan sejumlah energi disekitar molekul reaktan, sehingga meningkatkan laju reaksi keseluruhan (He, 2012). Gelembung mikro muncul sangat singkat yaitu (kurang dari 1×10^{-7} detik). Ketika gelembung tersebut pecah, akan muncul tetesan metanol yang menjadi 42% lebih kecil dibandingkan yang diperoleh dari metode konvensional. Hal ini menyebabkan jumlah area antar muka kedua fase reaktan bertambah banyak, sehingga membantu proses pembentukan metil ester (biodiesel) yang lebih cepat (Wu, 2007). Secara umum, frekuensi ultrasonik mempengaruhi ukuran kavitasi gelembung. Dengan semakin tinggi frekuensi yang digunakan, maka kavitasi gelembung akan lebih baik sehingga akan menghasilkan luas permukaan yang lebih besar antara cairan – cairan yang *immiscible*.

Gelombang ultrasonik yang dirambatkan pada cairan akan menimbulkan suatu efek yang disebut kavitasi akustik. Apabila cairan diradiasikan gelombang ultrasonik, maka tekanan cairan tersebut akan bertambah ketika gelombang ultrasonik memiliki amplitudo positif dan berkurang ketika amplitudo negatif. Perubahan tekanan ini, gelembung – gelembung yang biasanya terdapat dalam cairan akan terkompresi pada tekanan cairan naik dan tereksansi pada tekanan turun (Putri, 2012). Apabila amplitudo gelombang ultrasonik cukup besar maka gelembung tersebut akan pecah ketika kompresi. Pecahnya gelembung ini

akan menghasilkan gelombang kejut (*shock wave*) karena pada tekanan yang besar. Gelembung mikro yang terjadi berukuran sekitar 170 μm pada 20 kHz dan 3.3 μm pada 1000 kHz. Kavitasasi ultrasonik dan ukuran dari gelembung mikro dipengaruhi oleh adanya gas – gas yang terlarut, pola aliran fluida yang turbulen (biasa disebut dengan hidrodinamika kavitasasi), media cair yang saling berinteraksi, suhu lingkungan dan tekanan (He, 2012).

Menurut Kuldiloke (2002) juga menjelaskan ketika radiasi gelombang ultrasonik merambat ke dalam medium cair menghasilkan tekanan bolak-balik dan siklus ekspansi. Selain siklus ekspansi, gelombang ultrasonik dengan intensitas tinggi menyebabkan timbulnya gelembung-gelembung kecil dalam cairan. Akibat perubahan tekanan bolak-balik, gelembung-gelembung tersebut akan terkompresi pada saat tekanan cairan naik dan akan terekspansi pada saat tekanan turun. Ketika mencapai volume yang tidak cukup lagi menyerap energi atau ketika amplitude tekanan gelombang cukup besar, maka gelembung tersebut pecah dan menimbulkan energi kavitasasi. Energi kavitasasi di dalam proses biodiesel menimbulkan efek kimia dan fisika (*thermal*) yang dapat menghasilkan ion kimia bebas (radikal), mempercepat reaksi kimia dengan memfasilitasi pencampuran reaktan, dapat memecah ikatan kimia dan menghasilkan dispersi partikel yang seragam. Adanya kavitasasi menimbulkan adanya agitasi molekul-molekul atau ion-ion yang bergerak (*oscillate*) dimana pergerakan partikel-partikel tersebut bergerak secara acak menghasilkan panas dan memberikan efek interaksi antara ion terlarut dengan molekul pelarut. Semakin tinggi konsentrasi ion terlarut maka semakin tinggi pula harga faktor dispersi dan semakin banyak pula reaksi yang dihasilkan.

Terdapat tiga hal yang mempengaruhi mekanisme ultrasonik pada reaksi kimia yaitu tekanan osilasi ultrasonik yang menyebabkan cairan bergerak cepat pada tingkat molekuler, sehingga meningkatkan pencampuran pada keadaan mikro. Ultrasonik dapat menghasilkan kavitasasi akustik, pembentukan dan pertumbuhan gelembung mikro dalam cairan yang kemudian pecahnya *microbubbles* menghasilkan tekanan tinggi dan suhu disekitar molekul dapat memberikan energi yang dibutuhkan pada reaksi kimia. Pengaruh gabungan dari dua fenomena sebelumnya dapat digunakan molekul untuk memberikan energi membentuk

radikal bebas, sehingga menyebabkan adanya reaksi berantai dan produk berikutnya. (Cheeke, 2012)

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini penulis memaparkan dua penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang akan diteliti tentang suhu reaksi dengan ultrasonik untuk menghasilkan *yield* maksimum dalam pembuatan biodiesel.

Pada penelitian yang dilakukan Le Tu Thanh, Kenji Okitsu, Yasuaki Maeda, Hiroshi Bandow pada tahun 2013 yang berjudul “*Ultrasound Assisted Production Of Fatty Acid Methyl Esters From Transesterification Of Triglycerides With Methanol In The Presence Of KOH Catalyst : Optimization, Mechanism And Kinetics*”, bertujuan untuk mengetahui kondisi reaksi optimal, mekanisme dan kinetika reaksi pada transesterifikasi trigliserida dengan metanol dan katalis KOH menggunakan ultrasonik. Pada penelitian tersebut dihasilkan kondisi optimal dengan menggunakan ultrasonik pada transesterifikasi trigliserida dengan methanol yang menghasilkan rasio molar optimal pada perbandingan 1 : 6. Sedangkan konsentrasi katalis KOH yang optimal adalah 1% wt. *Yield* biodiesel yang dihasilkan sekitar 98 % dalam waktu 25 menit pada suhu 35 ± 2 °C.

M. Maghami, S.M. Sadrameli, B. Ghobadian pada tahun 2014 dengan judul “*Production Of Biodiesel From Fishmeal Plant Waste Oil Using Ultrasonic And Conventional Methods*”. Pada penelitian ini minyak ikan bekas industri tepung ikan digunakan untuk memproduksi biodiesel dengan metode konvensional dan ultrasonik. Produksi biodiesel ini dilakukan dengan dua tahapan. Tahap pertama dilakukan dengan proses esterifikasi. Penelitian ini mempelajari pengaruh kandungan FFA, konsentrasi katalis, suhu dan rasio molar metanol : minyak. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan 30 menit, *yield* yang dihasilkan ultrasonik lebih besar daripada dengan metode konvensional. Hasilnya diperoleh 87% metil ester dan *yield* sebesar 79.86% pada kondisi optimum 55 °C, katalis 1% berat dan rasio molar 6 : 1.

Berdasarkan penelitian Mohammad Reza Shahbazi, Benham Khoshandam, Masoud Nasiri dan Majeed Ghazvini pada tahun 2012 yang berjudul *Biodiesel Production Via Alkali – Catalyzed Transesterification of Malaysian RBD Palm Oil – Characterization, Kinetics Model*, bertujuan untuk mengetahui konversi metil ester dan *yield* yang kemudian

dibandingkan dengan kinetika reaksi pada penelitian sebelumnya. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dibandingkan dengan standart ASTM pada biodiesel dan bahan bakar diesel konvensional. Pada penelitian ini digunakan minyak kelapa sawit RBD yang direaksikan dengan metanol (rasio molar 6 : 1) dan katalis (1 wt%). Reaksi dilakukan selama 60 menit dengan refluks pada suhu 60 °C. Untuk meningkatkan reaksi transesterifikasi digunakan pengadukan dengan kecepatan agitasi 600 rpm. Penelitian ini menghasilkan konversi biodiesel dan *yield* FAME sebesar 90% dan 93% dengan menggunakan katalis KOH. Kualitas biodiesel yang dihasilkan memiliki sifat yang sama seperti pada bahan bakar diesel konvensional dan sesuai dengan standar ASTM.



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mencari data sebab – akibat melalui eksperimen sehingga diperoleh data empiris.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian ini dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Sedangkan pengujian kadar FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) dilakukan di Laboratorium Kimia Analisis Instrumentasi Politeknik Negeri Malang dengan menggunakan *Gas Chromatography* (HP 5890 dengan kolom HP 632). Waktu penelitian dilakukan selama semester genap tahun ajaran 2016/2017.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Minyak kelapa sawit merk “Sunco” diproduksi oleh PT.Mikie Oleo Nabati Industri
2. Metanol *grade pro analysis* diproduksi oleh Merck, Germany
3. Padatan KOH *grade pro analysis*
4. Etanol *grade pro analysis* diproduksi oleh Merck, Germany
5. Indikator fenolftalein
6. Serbuk asam oksalat
7. Aquades

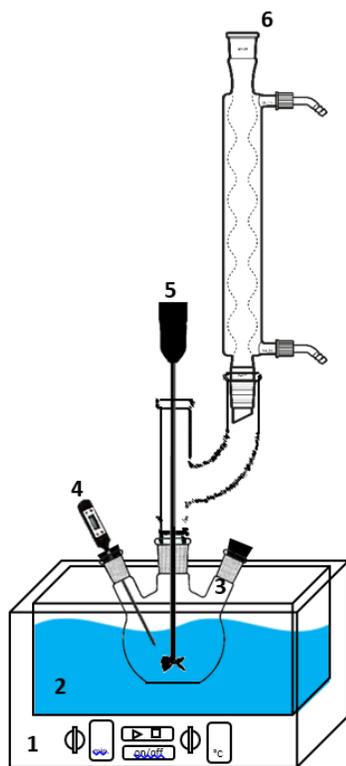
3.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. *Ultrasonic batch cleaner*, Elmasonic S 60 H 100 2238, 550 Watt

2. Kondensor alihhn dengan panjang 30 cm dan diameter 37,95 mm
3. Pknometer dengan volume 10 ml
4. Buret dengan panjang 86 cm, diameter 13,98 mm dan volume 50 mL
5. Viskometer *Ostwald*
6. Labu leher tiga alas datar dengan volume 250 mL
7. Corong pisah dengan volume 250 mL
8. Neraca analitik
9. *Thermocouple*
10. Termometer digital.

Untuk rangkaian alat transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Keterangan :

1. *Ultrasonic Bath*
2. Air
3. Labu leher tiga alas datar
4. Termometer
5. Stirrer
6. Kondensor

Gambar 3. 1 Rangkaian Alat Transesterifikasi dengan Gelombang Ultrasonik

3.3 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini meliputi variabel tetap, variabel bebas dan variabel terikat yaitu :

a. Variabel tetap merupakan variabel yang nilainya telah ditetapkan dan tidak berubah pada setiap percobaan. Variabel tetap pada penelitian ini adalah :

- Jenis Minyak : Minyak kelapa sawit merk “Sunco”
- Jenis Alkohol : Metanol *grade pro analysis*
- Rasio molar metanol : minyak : 6:1
- Konsentrasi katalis KOH (% w/w) : 1% wt
- Waktu reaksi : 25 menit

Jenis alkohol, rasio molar metanol : minyak, konsentrasi katalis KOH (% w/w) dan waktu reaksi mengacu pada penelitian Le Tu Thanh et al., (2013)

- Frekwensi gelombang ultrasonik : 37 kHz
Frekuensi yang digunakan merupakan spesifikasi dari alat *ultrasonic bath cleaner*

b. Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya tidak bergantung pada variabel lain dan nilainya divariasikan pada setiap percobaan. Variabel bebas pada penelitian ini adalah :

- Suhu reaksi : 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C

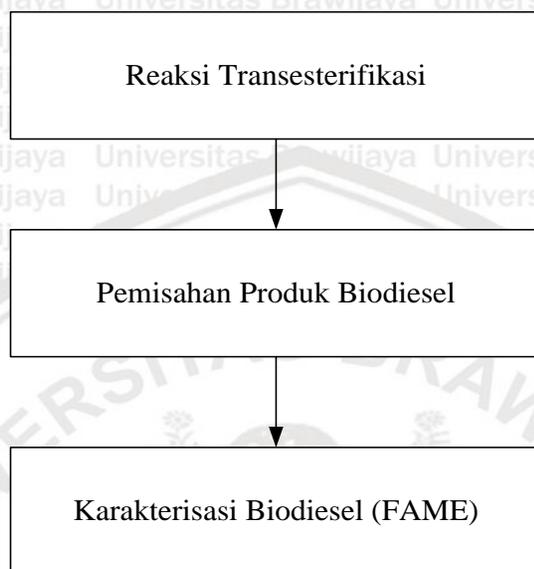
Variabel suhu yang digunakan merupakan kombinasi suhu reaksi yang digunakan dalam penelitian Le Tu Thanh et al., (2013) dan M. Maghami et al., (2014)

c. Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya bergantung pada variabel lain.

Variabel terikat pada penelitian ini yaitu *yield* biodiesel (FAME).

3.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan melalui tahapan yang dijelaskan pada diagram alir berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Metode Penelitian

Penjelasan lebih lanjut mengenai prosedur penelitian dijelaskan pada subbab berikut.

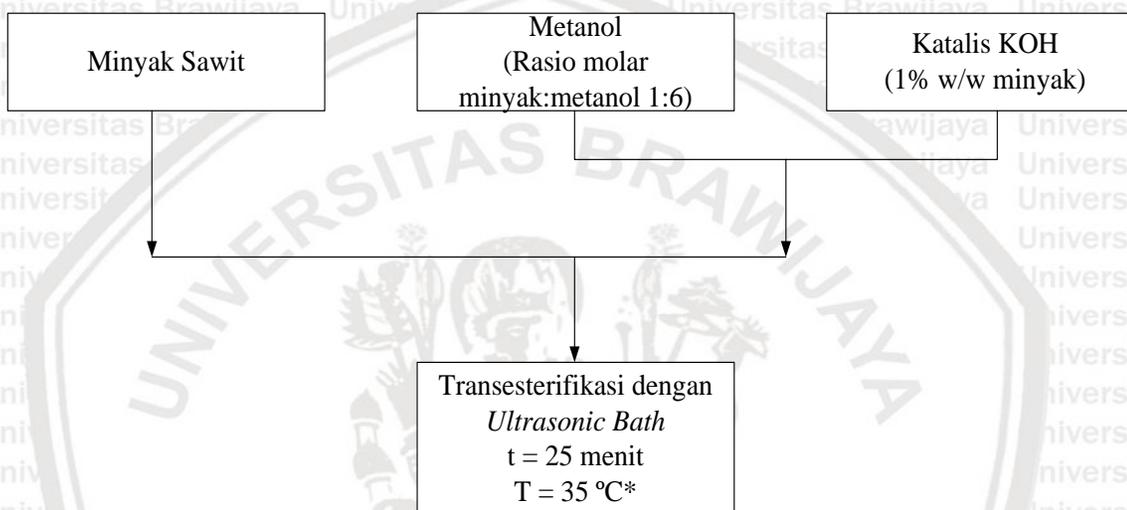
3.4.1 Reaksi Transesterifikasi

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan menggunakan reaksi transesterifikasi antara trigliserida dari minyak kelapa sawit dan metanol. Dalam penelitian ini, katalis yang digunakan yaitu katalis basa homogen KOH (1% w/w).

Sebelum melakukan reaksi transesterifikasi, dilakukan karakterisasi bahan baku minyak kelapa sawit untuk disesuaikan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Adapun karakterisasi minyak kelapa sawit meliputi uji densitas, kadar air dan kadar asam lemak bebas (FFA).

Sebanyak 200 mL minyak kelapa sawit dimasukkan ke dalam labu leher tiga alas datar dan dipanaskan dengan menggunakan *ultrasonic bath* hingga temperatur reaksi

yang divariasikan. Setelah mencapai temperatur tersebut, sebanyak 41,430 gram metanol dan 1,826 gram katalis dimasukkan ke dalam labu leher tiga alas datar yang berisi minyak kelapa sawit. Dalam proses transesterifikasi digunakan *ultrasonic bath cleaner* pada temperatur yang divariasikan yaitu 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C dan 55 °C. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan gelombang ultrasonik pada frekwensi 37 kHz dan waktu reaksi selama 25 menit. Proses transesterifikasi digambarkan pada diagram alir pada Gambar 3.3 sebagai berikut :



* diulang pada variabel suhu, T = 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C

Gambar 3. 3 Skema Proses Transesterifikasi Biodiesel

3.4.2 Pemisahan Produk Biodiesel

Setelah proses reaksi transesterifikasi mencapai 25 menit, tahapan selanjutnya adalah pemisahan produk biodiesel dari hasil samping berupa gliserol. Proses pemisahan dilakukan dengan proses dekantasi dan sentrifugasi. Proses dekantasi dilakukan dengan menggunakan corong pisah, sedangkan proses sentrifugasi menggunakan *centifuge*.

Prinsip proses pemisahan ini adalah adanya perbedaan antara senyawa yang akan dipisahkan secara gravitasi. Proses pemisahan dalam corong pisah dilakukan selama 24 jam untuk mendapatkan pemisahan yang maksimal antara biodiesel dengan gliserol. Setelah 24 jam, hasil samping berupa gliserol dikeluarkan dengan membuka *valve* pada corong pisah. Sehingga di dalam corong pisah hanya terdapat *crude* biodiesel, katalis

dan sisa metanol yang tidak bereaksi. Untuk memisahkan gliserol, sisa metanol, serta katalis pada biodiesel dilakukan dengan proses sentrifugasi dengan kecepatan putar 6000 rpm selama 30 menit. Proses pemisahan secara dekantasi dilakukan kembali selama 24 jam pada corong pisah untuk membentuk dua layer antara biodiesel (lapisan atas), sisa metanol, gliserol serta katalis (lapisan bawah).

Biodiesel yang telah dipisahkan ditimbang pada masing – masing variabel untuk menentukan *yield* biodiesel. *Yield* biodiesel merupakan analisis kuantitatif dengan membandingkan massa antara produk biodiesel dengan bahan baku minyak kelapa sawit sesuai persamaan sebagai berikut :

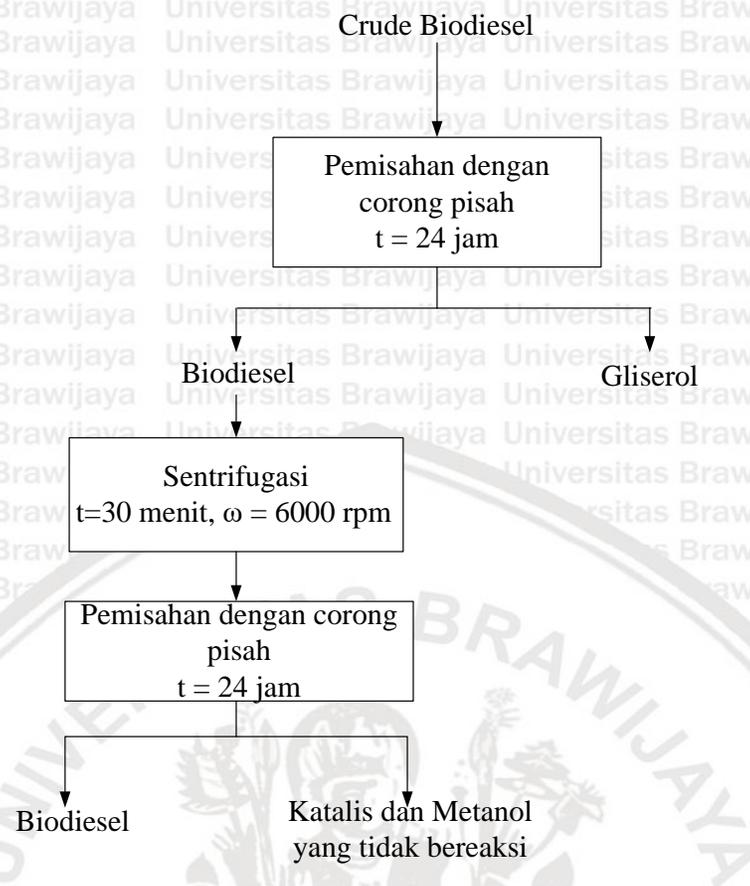
$$\text{Yield Biodiesel} = \frac{\text{mol biodiesel yang dihasilkan}}{3 \times \text{mol minyak}} \times 100\% \quad (3-1)$$

Berat molekul biodiesel yang digunakan diasumsikan sebesar 296 g/mol (F3 Fact Sheet, 2015). Sedangkan berat molekul pada minyak kelapa sawit diasumsikan sebesar 840.3 g/mol.

Biodiesel yang telah terpisah dari produk samping juga diuji dengan menggunakan GC (*Gas Chromatography* HP 5890 dengan kolom HP 632). Hasil analisa gas kromatografi digunakan dalam perhitungan konversi Trigliserida. Persentase konversi didefinisikan sebagai jumlah mol trigliserida yang bereaksi per mol trigliserida sebagai umpan pada sistem (Colucci, 2005). Konversi reaksi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Konversi trigliserida} = \frac{\text{mol trigliserida mula-mula} - \text{mol trigliserida sisa}}{\text{mol trigliserida mula-mula}} \quad (3-2)$$

Adapun proses pemisahan produk biodiesel ditunjukkan skema pada Gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3. 4 Skema Proses Pemisahan *Crude Biodiesel*

3.4.3 Karakterisasi Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dilakukan untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan dan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia 7182-2015. Karakterisasi biodiesel dilakukan dengan pengujian densitas, bilangan asam, viskositas dan kadar asam lemak bebas (FFA). Sedangkan, untuk mengetahui kadar *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dilakukan pengujian biodiesel dengan menggunakan GC atau *Gas Chromatography*.

3.4.3.1 Pengujian Nilai Densitas

Pengujian densitas pada biodiesel dilakukan dengan menggunakan piknometer. Prosedur pengukuran diawali dengan penimbangan piknometer 10 mL kosong untuk mendapatkan massa piknometer (m_0). Kemudian dilakukan penimbangan aquades 25,5°C pada piknometer 10 mL tersebut. Selisih antara massa piknometer kosong dan massa piknometer yang berisi aquades menunjukkan massa

aquades yang selanjutnya akan digunakan untuk kalibrasi volume piknometer sebenarnya (V_p).

Setelah mendapatkan volume piknometer, tahapan selanjutnya adalah menimbang piknometer yang telah berisi biodiesel hasil reaksi transesterifikasi (m_1). Biodiesel dipanaskan hingga 40 ± 2 °C mengacu standar densitas biodiesel pada SNI dihitung pada temperatur tersebut. Massa biodiesel ditunjukkan dari selisih antara massa piknometer yang berisi biodiesel dengan piknometer kosong.

Dari data massa biodiesel dan volume piknometer yang sebenarnya, dapat dihitung densitas biodiesel, yaitu:

$$\text{Densitas biodiesel } (\rho) = \frac{m_1 - m_0}{V_p} \quad (3-3)$$

Dimana:

- ρ = densitas biodiesel (g/mL)
- m_1 = massa piknometer berisi biodiesel (g)
- m_0 = massa piknometer kosong (g)
- V_p = volume piknometer sebenarnya (mL)

3.4.3.2 Pengujian Bilangan Asam

Pengujian bilangan asam dilakukan dengan pelarutan lemak atau minyak ke dalam pelarut organik tertentu seperti alkohol 95% netral. Kemudian dititrasi dengan larutan basa yaitu KOH atau NaOH. Prosedur dilakukan dengan menimbang 5 gram biodiesel dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Selanjutnya, ditambahkan 50 mL etanol 95% (v/v) dan ditetaskan 3 tetes indikator *fenolftalein*. Kemudian, larutan dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N hingga muncul warna merah muda yang stabil selama 15 detik. Prosedur dilakukan sebanyak 3 kali dan bilangan asam dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} & \text{Bilangan asam } \left(\frac{\text{mg KOH}}{\text{g minyak}} \right) \\ &= \frac{\text{Berat molekul KOH} \times \text{Normalitas KOH} \times \text{Volume KOH (mL)}}{\text{massa sampel (g)}} \end{aligned} \quad (3-4)$$

3.4.3.3 Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan menentukan waktu yang dibutuhkan oleh fluida untuk mengalir melalui pipa kapiler (viskometer) dengan gaya gravitasi. Tahapan yang dilakukan adalah membandingkan antara viskositas *aquades* dengan viskositas sampel yaitu biodiesel. Sebanyak 10 mL *aquades* dimasukkan ke dalam viskometer Oswald yang kemudian dihisap dengan bola hisap hingga melewati batas atas viskometer. Selanjutnya menentukan waktu yang diperlukan (t) oleh *aquades* untuk mengalir dari batas atas hingga batas bawah. Pengujian viskositas pada biodiesel dilakukan dengan tahapan yang sama dan diulang hingga 3 kali. Perhitungan viskositas dari biodiesel dilakukan dengan cara membandingkan nilai viskositas *aquades* yang telah diukur waktu alirnya sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{\text{sample}} \left(\frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \right) = \frac{\rho_{\text{sample}} \times t_{\text{sample}}}{\rho_{\text{sample}} \times t_{\text{sample}}} \eta_{\text{aquades}} \quad (3-5)$$

Dimana :

η = viskositas (mm²/s)

ρ = densitas (g/mL)

t = waktu alir sampel (s)

3.4.3.4 Pengujian Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)

Pengujian kadar asam lemak bebas pada biodiesel dilakukan dengan prosedur yang sama seperti pada pengujian bilangan asam.

Kadar asam lemak bebas pada biodiesel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Kadar FFA (\%)} = \frac{\text{BM asam lemak} \times \text{volume KOH (ml)} \times \text{Normalitas KOH (N)}}{10 \times \text{Berat sampel (g)}} \times 100 \quad (3-6)$$

Asam lemak terbanyak pada minyak kelapa sawit adalah asam palmitat yaitu 40 – 46 % dengan rumus molekul $C_{16}H_{32}O_2$, sehingga berat molekulnya adalah 265,42 g/mol.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini diproduksi oleh PT. Mikie Oleo Nabati Industri dengan merk Sunco. Adapun hasil karakterisasi minyak kelapa sawit yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Karakteristik Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Standar Nasional Indonesia (SNI) 01 – 2901 – 2006
Kadar Air	%	0,0	Maks 0,5
FFA (<i>Free Fatty Acid</i>)	%	0,2	Maks 0,5

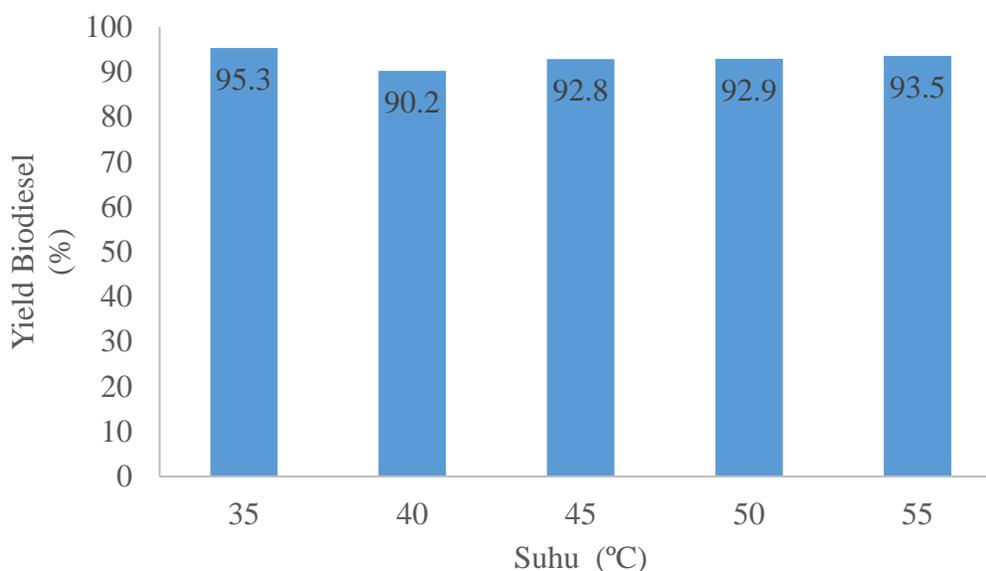
Karakterisasi minyak kelapa sawit yang dilakukan yaitu uji kadar air, dan kadar asam lemak bebas. Untuk penentuan kadar air diperoleh dengan metode gravimetri menggunakan oven. Sedangkan, penentuan kadar FFA dan bilangan asam diperoleh dengan metode titrasi menggunakan KOH 0,1 N sebagai titran.

Penentuan kadar FFA dan kadar air digunakan untuk menentukan jumlah trigliserida dalam minyak kelapa sawit. Kadar FFA yang diperoleh sebesar 0,84% dan kadar air sebesar 0%, sehingga kadar trigliserida pada minyak kelapa sawit diperoleh sebesar 99,16%. Trigliserida ini yang dapat mempengaruhi besarnya biodiesel yang dihasilkan.

Apabila asam lemak bebas atau FFA yang dihasilkan tinggi, maka dapat memungkinkan terjadinya reaksi penyabunan. Reaksi penyabunan ini mereaksikan asam lemak bebas dengan katalis yaitu KOH, sehingga dapat menurunkan efisiensi katalis pada reaksi transesterifikasi. Berdasarkan hasil uji karakterisasi bahan baku yang telah dilakukan, minyak kelapa sawit yang digunakan memiliki kadar FFA < 0,5% wt. Dengan nilai karakteristik yang telah diperoleh tersebut, minyak kelapa sawit sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel dapat digunakan dalam proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH karena kandungan FFA < 0,5% wt.

4.2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Yield Biodiesel

Pada penelitian ini digunakan variasi suhu reaksi transesterifikasi dalam waktu 25 menit untuk mengetahui besar *yield* biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan *ultrasonic bath cleaner*. Adapun *yield* biodiesel yang dihasilkan ditunjukkan dalam Gambar 4.1 sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap *Yield* Biodiesel

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *yield* tertinggi diperoleh pada variabel suhu 35 °C yaitu sebesar 95,3%. Nilai *yield* biodiesel diperoleh berdasarkan perhitungan kuantitatif, yaitu dinyatakan sebagai persentase berat crude biodiesel yang diperoleh terhadap berat bahan baku yang digunakan. *Yield* terendah diperoleh pada variabel suhu 40 °C yaitu sebesar 90,2%. Akan tetapi, variabel suhu diatas 40 °C mengalami kenaikan *yield* biodiesel seiring bertambahnya suhu. Sehingga *yield* yang diperoleh secara kuantitatif belum bisa mengindikasikan terjadinya proses transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi biodiesel. Hal tersebut dikarenakan *yield* hanya ditinjau berdasarkan massa biodiesel yang belum diketahui komposisi dan komponennya sebagai indikasi hasil reaksi transesterifikasi.

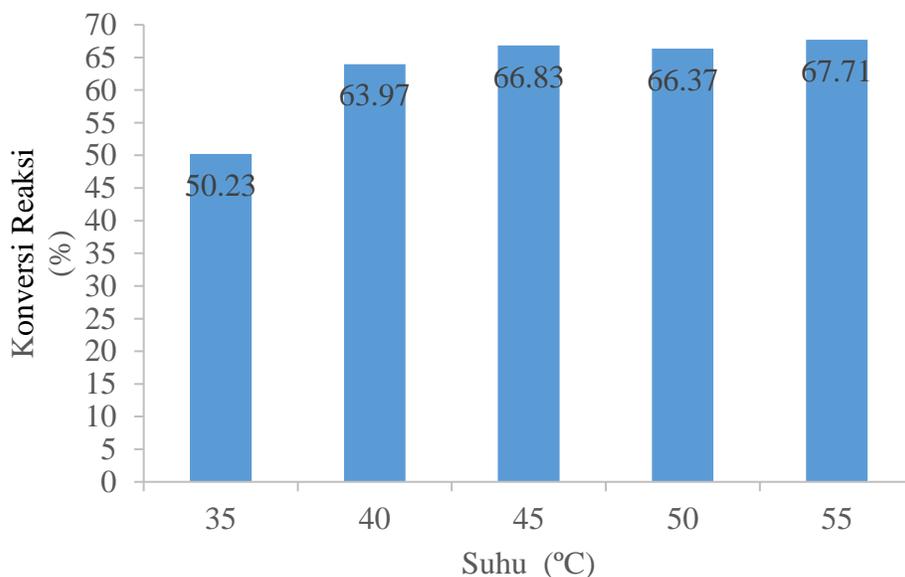
Pengaruh kavitasi yang dihasilkan gelombang ultrasonik dapat menimbulkan adanya agitasi molekul-molekul atau ion-ion yang bergerak (*oscillate*) dimana pergerakan

partikel-partikel tersebut bergerak secara acak menghasilkan panas dan memberikan energi sehingga menimbulkan interaksi antar molekul. Diduga pengaruh kavitasi pada suhu 35 °C belum memberikan energi yang cukup untuk memfasilitasi terjadinya reaksi transesterifikasi yang optimal.

Dari beberapa hasil yang telah diperoleh, dilakukan uji beda nyata terkecil atau BNT untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan yang divariabelkan. Nilai BNT yang dihasilkan sebesar 3,2 dengan menggunakan nilai persen probabilitas 5%. Berdasarkan hasil uji BNT dapat dilihat bahwa suhu reaksi pada proses transesterifikasi yang berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan *yield* biodiesel terjadi pada suhu 35 °C dan 40 °C. Sedangkan nilai uji BNT pada perlakuan variabel suhu yang lain terlihat tidak berpengaruh secara langsung pada perubahan nilai *yield* biodiesel. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Martinez (2015) bahwa dengan penggunaan iradiasi ultrasonik tidak dibutuhkan suhu reaksi yang tinggi dalam proses reaksi transesterifikasi.

4.3 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi

Konversi reaksi menunjukkan jumlah metil ester yang dapat dihasilkan dari trigliserida yang terdapat dalam minyak kelapa sawit. Sedangkan kadar metil ester menunjukkan kualitas biodiesel yang mengacu pada banyaknya FAME yang terdapat pada biodiesel. Konversi biodiesel dapat ditentukan dengan membandingkan konsentrasi trigliserida sisa reaksi dengan konsentrasi trigliserida awal sebelum reaksi. Nilai dari konversi biodiesel yang didapatkan ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Konversi Reaksi

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya suhu reaksi akan meningkatkan konversi. Hal tersebut terlihat bahwa konversi trigliserida pada suhu 35 °C lebih rendah daripada variabel suhu reaksi lainnya. Secara kuantitas berdasarkan gambar 4.1, *yield* yang dihasilkan pada suhu 35 °C lebih besar daripada variabel suhu lainnya. Berdasarkan penelitian Cancela, *et al* (2015), suhu yang lebih rendah dapat menyebabkan viskositas campuran lebih tinggi yang akan mempersulit terbentuknya gelembung untuk memunculkan efek kavitasi, sehingga terjadi penurunan efisiensi ultrasonik. Penurunan efisiensi ultrasonik dapat mengurangi kecepatan reaksi sehingga konversi yang dihasilkan rendah. Konversi trigliserida tertinggi didapatkan pada suhu reaksi 55 °C yaitu sebesar 67,71%.

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat *reversible* sehingga metil ester yang sudah terbentuk memungkinkan bereaksi kembali menjadi trigliserida. Saat gelombang ultrasonik digunakan pada reaksi kimia, tekanan osilasi ultrasonik yang ada menyebabkan cairan bergerak cepat pada tingkat molekuler sehingga meningkatkan pencampuran pada keadaan mikro. Gelombang ultrasonik juga dapat menghasilkan kavitasi dimana terjadinya pembentukan dan pertumbuhan gelembung mikro dalam cairan yang kemudian pecahnya *microbubbles* dapat memberikan energi yang dibutuhkan oleh

reaksi kimia. Menurut Zhao (2016), pengaruh gabungan dari dua fenomena sebelumnya pada gelombang ultrasonik dapat mengubah reaktan menjadi produk kembali, atau menyebabkan adanya reaksi berantai membentuk produk berikutnya. Hal tersebut menyebabkan konversi FAME pada penelitian ini belum optimal.

Dari beberapa hasil yang telah diperoleh, dilakukan uji beda nyata terkecil atau BNT untuk mengetahui perbedaan diantara perlakuan yang divariabelkan. Nilai BNT yang dihasilkan sebesar 12,8 dengan menggunakan nilai persen probabilitas 5%. Berdasarkan hasil uji BNT dapat diketahui bahwa suhu reaksi pada proses transesterifikasi yang berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan konversi biodiesel terjadi pada suhu 35 °C dan 40 °C. Sedangkan nilai uji BNT pada perlakuan variabel suhu yang lain terlihat tidak berpengaruh secara langsung pada perubahan nilai konversi biodiesel.

4.4 Pengaruh Suhu Terhadap Energi Aktivasi

Suatu reaksi kimia akan berlangsung apabila terjadi tumbukan – tumbukan antar partikel dengan energi yang cukup. Energi minimum yang dibutuhkan agar terjadi reaksi kimia tersebut disebut sebagai energi aktivasi. Energi aktivasi dihitung menggunakan perbandingan persamaan Arrhenius dengan suhu referensi yaitu pada variabel suhu 35°C.

Tabel 4. 2 Energi Aktivasi

Variabel suhu (°C)	Ea (KJ/mol)
40	38,8
45	23,3
50	15,4
55	28,9

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi suhu, maka energi aktivasinya semakin kecil. Penurunan energi aktivasi selain dengan adanya katalis juga dipengaruhi oleh penggunaan gelombang ultrasonik yang menyebabkan efek kavitasi. Energi yang ditimbulkan oleh kavitasi menyebabkan gerakan molekul-molekul atau ion-ion bergerak secara acak menghasilkan tumbukan antar molekul dan mempengaruhi energi

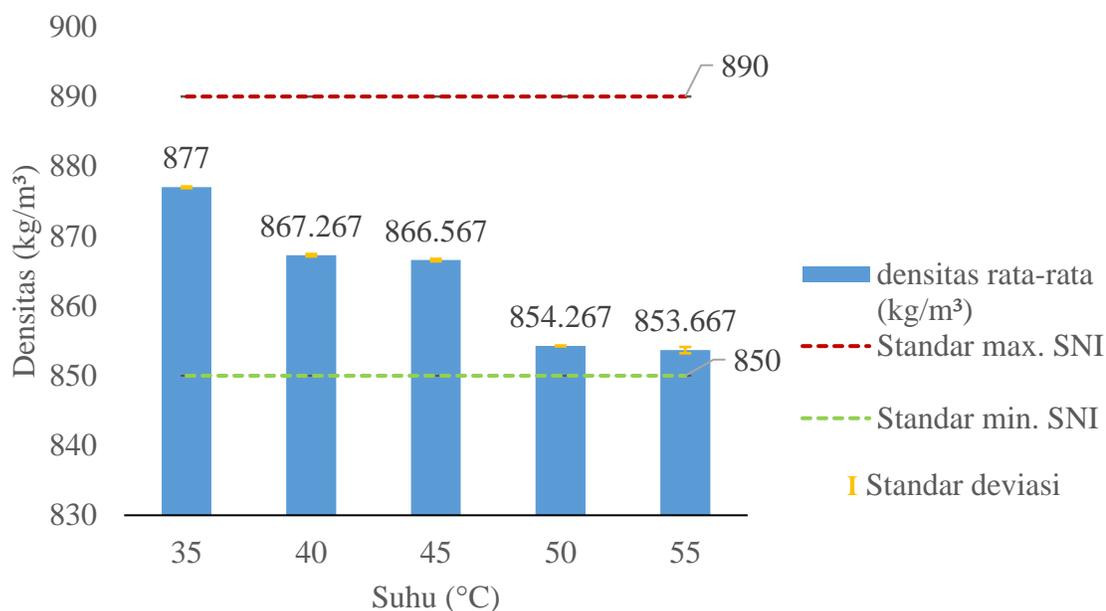
aktivasi dari reaksi transesterifikasi. Pada variabel suhu 50°C menunjukkan nilai energi aktivasi yang paling rendah yaitu 15,4 KJ/mol. Namun secara data *yield* dan konversi biodiesel yang diperoleh menunjukkan bahwa pada variabel suhu tersebut lebih rendah dibandingkan pada variabel suhu 40°C dan 45°C. Pada variabel suhu 55 °C terjadi kenaikan energi aktivasi yang mengindikasikan bahwa pada suhu tersebut mulai terjadi penurunan laju reaksi dan meningkatkan reaksi pembentukan produk selanjutnya, sehingga energi minimum yang dibutuhkan untuk mendorong terjadinya reaksi semakin besar.

4.5 Karakterisasi Biodiesel

Untuk mengetahui kualitas dari biodiesel yang dihasilkan, maka dilakukan karakterisasi biodiesel yaitu analisis sifat fisika dan kimia biodiesel. Selanjutnya hasil uji karakterisasi biodiesel tersebut di bandingkan dengan standar biodiesel Indonesia (SNI 7182-2015). Adapun uji karakterisasi biodiesel yang dilakukan adalah uji densitas, viskositas, kadar metil ester, dan bilangan asam sebagai berikut :

4.5.1 Densitas

Pengujian densitas pada biodiesel dilakukan dengan menggunakan piknometer 10 ml. Massa biodiesel ditunjukkan dari selisih antara massa piknometer yang berisi biodiesel dengan piknometer kosong. Dari data massa biodiesel dan volume piknometer yang sebenarnya, dapat dihitung densitas biodiesel. Densitas awal minyak kelapa sawit yang dipakai dalam penelitian ini sebesar $903 \pm 0.0006 \text{ kg/cm}^3$. Hasil pengujian densitas biodiesel pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut :



Gambar 4.3 Densitas Biodiesel

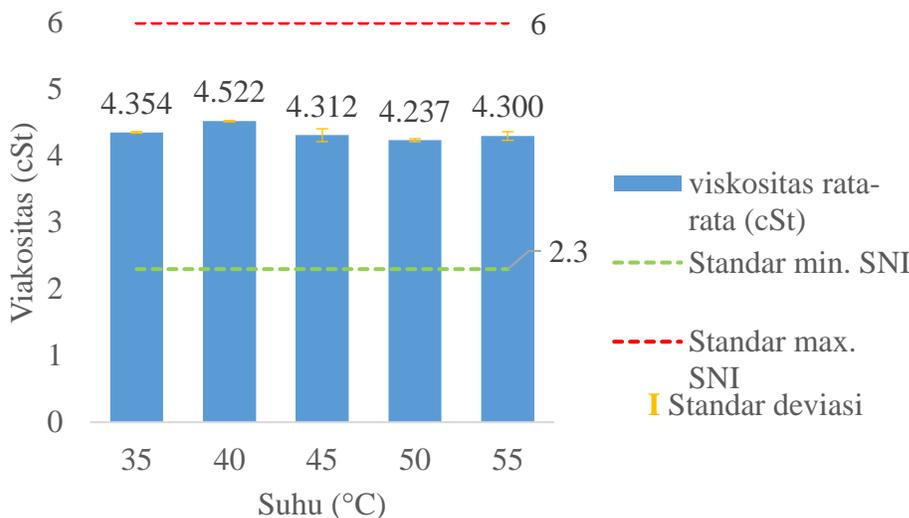
Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada semua variabel suhu, densitas biodiesel yang dihasilkan berkisar antara 853,667-877 kg/m³ telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia yaitu berkisar antara 850-890 kg/m³.

Densitas pada variabel suhu 35°C masih memenuhi standar namun memiliki densitas yang tertinggi diantara variabel lainnya yaitu sebesar 877 ± 0.1155 kg/m³ mendekati densitas awal minyak kelapa sawit yang dipakai yaitu sebesar 903 ± 0.6429 kg/m³. Hal ini berbanding terbalik dengan konversi reaksi yang dihasilkan dimana pada suhu tersebut konversi mencapai nilai yang paling rendah. Kemungkinan bahwa pada suhu tersebut kandungan trigliserida pada minyak masih belum terkonversi optimal menjadi FAME sehingga densitasnya pun masih tinggi.

4.5.2 Viskositas

Pengujian viskositas pada penelitian ini dilakukan dengan alat uji viskometer *Ostwald*. Perhitungan viskositas dari biodiesel dilakukan dengan cara membandingkan nilai viskositas aquades yang telah diukur waktu alirnya. Viskositas biodiesel akan mempengaruhi kecepatan alir bahan bakar melalui injektor, sehingga dapat mempengaruhi atomisasi bahan bakar di dalam ruang bakar. Selain itu, viskositas juga berpengaruh secara

langsung terhadap kemampuan bahan bakar yang bercampur dengan udara. Viskositas awal minyak kelapa sawit yang dipakai dalam penelitian ini sebesar 42.752 cSt. Standar Nasional Indonesia untuk viskositas biodiesel adalah 2.3 – 6 cSt. Hasil pengujian viskositas biodiesel pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut :

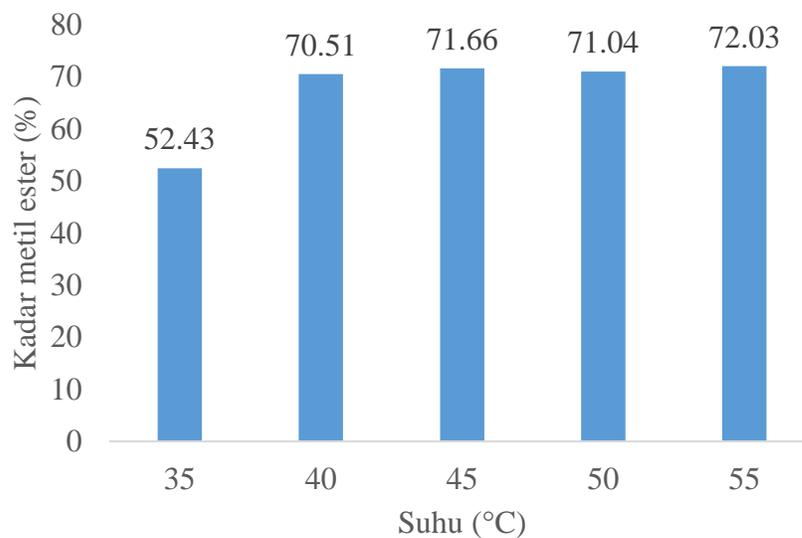


Gambar 4. 4 Viskositas Biodiesel

Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat bahwa viskositas yang didapatkan berkisar antara nilai 4.237 – 4.552 cSt, sedangkan viskositas biodiesel menurut SNI berkisar antara 2,300-6,000 cSt. Sehingga biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi syarat viskositas sebagai bahan bakar mesin diesel sesuai dengan ketentuan SNI.

4.5.3 Kadar Metil Ester

Pengaruh suhu terhadap produksi biodiesel tidak hanya dilihat dari kuantitas biodiesel, tetapi juga dapat dilihat dari kualitas biodiesel yang dihasilkan. Kadar metil ester diperoleh dari uji gas kromatografi (GC). Dari gambar 4.5 dapat dilihat pengaruh suhu terhadap kadar metil ester dalam biodiesel.

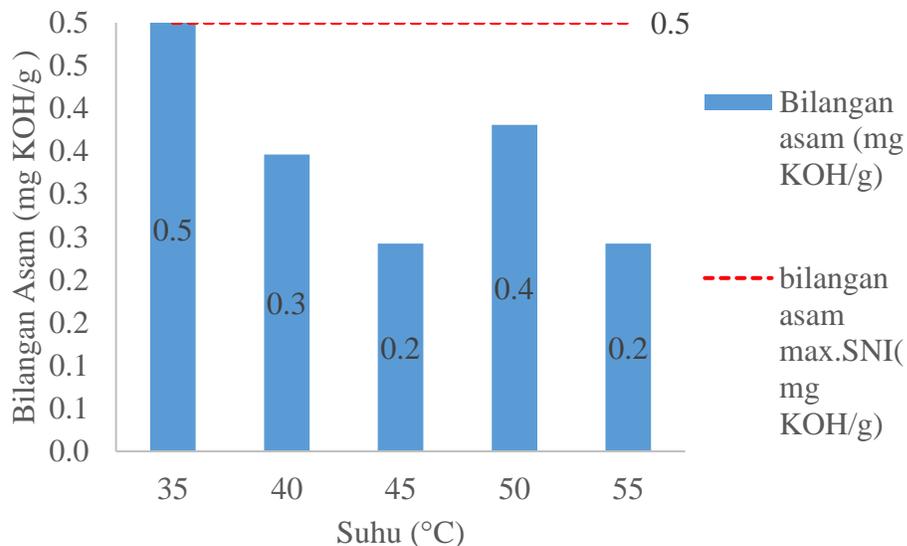


Gambar 4. 5 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Kadar Metil Ester.

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa dengan semakin bertambahnya suhu maka kadar metil ester semakin meningkat. Dari berbagai variabel suhu, kadar metil ester terbesar didapatkan pada suhu 55 °C yaitu sebesar 72.03 %. Hal ini berbanding lurus dengan konversi dan *yield* biodiesel yang dihasilkan dimana pada suhu tersebut konversi dan *yield* biodiesel mencapai nilai yang paling tinggi juga. Kadar terendah terjadi pada suhu 35°C yaitu sebesar 52.43 %. Pada penelitian ini dimungkinkan bahwa pada kondisi tersebut trigliserida pada minyak masih belum optimal terkonversi menjadi FAME.

4.5.4 Bilangan Asam

Bilangan asam menunjukkan adanya asam lemak bebas dalam biodiesel. Bilangan asam dapat menjadi indikator kerusakan yang terjadi pada biodiesel, yang diduga akibat terjadinya aktivitas oksidasi. Bilangan asam yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 0.2 – 0.5 mg KOH/g biodiesel seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 sebagai berikut :



Gambar 4. 6 Bilangan Asam Biodiesel

Berdasarkan Gambar 4.6 bahwa bilangan asam yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan SNI yaitu maksimal 0.5 mg KOH/g biodiesel. Nilai bilangan asam pada biodiesel ini memiliki grafik naik turun, hal ini terjadi karena jumlah asam-asam lemak bebas dalam biodiesel berbeda pada setiap suhu.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Reaksi transesterifikasi yang optimal pada penelitian ini terjadi pada suhu 45 °C dengan *yield* biodiesel sebesar 92,8%, konversi reaksi sebesar 66,83 %, E_a sebesar 24,3 KJ/mol.
2. Hasil karakterisasi produk biodiesel menunjukkan parameter densitas, viskositas, dan bilangan asam yang sesuai dengan standar yang disyaratkan SNI 7182-2015.

5.2 Saran

1. Perlu dikaji lebih lanjut mengenai pengaruh waktu reaksi, rasio molar metanol terhadap minyak serta jumlah katalis dalam transesterifikasi menggunakan gelombang ultrasonik agar dapat dilihat pengaruhnya terhadap hasil reaksi transesterifikasi.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai metode pemisahan dan pemurnian biodiesel, serta identifikasi komponen produk reaksi transesterifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Mustahaq, M.A. Khan., M. Zafar., S. Sultana. 2013. *Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties*. New Tork : CRC Press Taylor & Francis Group
- Ali, Eman N., Cadence Isis Tay. 2013. *Characterization of Biodiesel from Palm Oil Via Base Catalyzed Transesterification*. *Procedia Engineering* 53 (2013) 7 – 12
- Andriyanda, Oktovan. 2012. *Studi Kelayakan Pabrik Biodiesel Rute Non – Alkohol Sistem Batch*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Baharsyah, Aji., Hantoro Satriadi. 2013. *Optimasi Proses Pembuatan Biodiesel Berbantuan Gelombang Ultrasonik dari Blending Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil) dan Minyak Jarak (Jatropha Curcas Oil)*. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2, No. 3, Tahun 2013, Halaman 130 – 137
- BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi). 2016. *Outlook Energy Indonesia 2016: Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. Jakarta : Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK)
- BSN (Badan Standar Nasional). 2012. SNI 7182:2012, *Biodiesel*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia
- Bueche, R.J. 1986. *Introduction to Physics for Scientist and Engineers*. New York : Mc Graw – Hill
- Cheeke, J.David N. 2012. *Fundamentals And Applications Of Ultrasonic Waves*, second edition. Boca Raton : CRC-Press
- Chorkendorff, J., W. Niemantsverdriet. 2007. *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics, second edition*. Weinhei : Wiley – VCH Verlag GmbH & Co
- Demirbas, Ayhan. 2009. *Biofuels*. Turkey : Springer

- Deng, Xin., Zhen Fang., Yun-hu Liu. 2010. *Ultrasonic Transesterification of Jatropha Curcas L. Oil to Biodiesel by a Two – Step Process*. Elsevier Journal of Energy Conversion and Management 51 (2010) 2802–2807
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2015. Rencana Kinerja Tahunan (RKT) Tahun 2015. <http://ditjenbun.pertanian.go.id> (Diakses : 27 Januari 2017)
- Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan. 2004. *Statistik Perkebunan Kelapa Sawit 2000 – 2004*.
- Encinar, J.M., J.F.Gonzales., A. Pardal. 2012. *Transesterification of Castor Oil Under Ultrasonic Irradiation Conditions, Preliminary Results*. Elsevier Journal Of Fuel Processing Technology 103 (2012) 9–15
- F3 Fact Sheet. 2015. *FAME, Fatty Acid Methyl Ester : Fuel, No.4*. Swedia : The Swedish Knowledge Centre For Renewable Transportation Fuels.
- He, Brian., Jon H.V. Gerpen. 2012. *Application of Ultrasonication in Transesterification Processes for Biodiesel Production*. Journal of Biofuel 479 – 488, ISSN 1759 - 7269
- Istigfaro, Nila. 2010. *Peningkatan Kualitas Minyak Goreng Bekas dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Bentonit – Karbon Aktif Biji Kelor (Moringa Oleifera. Lamk)*. Malang : Universitas Islam Negeri
- Ketaren, S. 2005. *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta : Universitas Indonesia
- Kuldiloke, J. 2012. *Effect of Ultrasound, Temperature and Pressure Treatments on Enzyme Activity and Quality Indicators of Fruit and Vegetable Juice*. Berlin : University of Berlin
- Leung, D. Y. C., & Guo, Y. (2006). *Transesterification Of Neat And Used Frying Oil: Optimization For Biodiesel Production*. Fuel Processing Technology 87(10):883-890.
- Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Bruce, D. A., Jr., J. G., Suwarnnakarn, K. 2005. *Synthesis of Biodiesel Via Acid Catalysis*. Industrial & Engineering Chemical Research, 44, 5353-5363

- Maghami, M., S.M. Sadrameli., B. Ghobadian. 2014. *Production of Biodiesel From Fishmeal Plant Waste Oil Using Ultrasonic and Conventional Methods*. Elsevier Journal of Applied Thermal Engineering (2014) 1-5
- Manurung, Renita. 2006. *Transesterifikasi Minyak Nabati*. Jurnal Teknologi Proses, 47 - 52, ISSN 1412-7814
- Martinez, Edith., Veera Gnaneswar Gude. 2015. *Continuous and Pulse Sonication Effect in Transesterification of Used Vegetable Oil*. Elsevier Journal of Energy Conversion and Management 96 (2015) 268–276
- Maulana, Muhamad., Miftahul Aziz. 2012. *Kinerja dan Prospek Pengembangan Bahan Bakar Nabati di Indonesia*. Bogor : Forum Penelitian Agro Ekonomi, Volume 30 No.2, 147 – 158
- Mittlebach, M., Remschmidt, Claudia. 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Vienna : Boersedruck GmbH
- Nagi, J., Ahmed, S. K., Nagi, F. 2008. *Palm Biodiesel an Alternative Green Renewable Energy for the Energy Demands of the Future*. International Conference on Construction and Building Technology, 79-94
- Pandey, Ashok. 2009. *Handbook Of Plant – Based Biofuels*. New York : CRC Press
- Poosumas, Jutipong., Kanokwan Ngaosuwan., Armando T. Quitain., Suttichai Assabumrungrat. 2016. *Role of Ultrasonic Irradiation on Transesterification of Palm Oil Using Calcium Oxide as a Solid Base Catalyst*. Elsevier Journal of Energy Conversion and Management 120 (2016) 62–70
- Pritchard, J.D. 2007. *Methanol : General Information*. USA : Health Protection Agency
- Pukale, Dipak D., Ganesh L. Maddikeri., Parag R. Gogate., Aniruddha B. Pandit., Amit P. Pratap. 2014. *Ultrasound Assisted Transesterification of Waste Cooking Oil Using Heterogeneous Solid Catalyst*. Elsevier Journal of Ultrasonics Sonochemistry 22 (2015) 278–286

- Putri, Sri Kembaryanti., Supranto, Rahman Sudiyo. 2012. *Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (Coconut Oil) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik*. Jurnal Rekayasa Proses. Vol. 6, No. 1, 2012
- Ramachndran, K., T. Sugaya., N. Nagendra. G., S. Renganathan. 2013. *Recent Developments for Biodiesel Production by Ultrasonic Assist Transesterification Using Different Heterogeneous Catalyst : A Review*. Elsevier Journal Of Renewable and Sustainable Energy Reviews 22 (2013) 410–418
- Riyanti, Fahma., Poedji L. H., Catur D. L. 2012. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Katalis KOH pada Pembuatan Metil Ester dari Minyak Biji Ketapang (Terminalia catappa Linn)*. Jurnal Penelitian Sains, Volume 15, Nomer 2 (C), 15215-74
- Savitri., Agung Setia Nugraha., Isalmi Aziz. 2016. *Pembuatan Katalis Asam (Ni/ γ -Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/ γ -Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah*. Jurnal Kimia VALENSI. Vol. 2, No. 1, hal 1, ISSN : 2460 – 6065
- Sciencelab. 2013. *Material Safety Data Sheet Potassium Hydroxide*. USA : International CHEMTREC
- Setyoprato, Pugh., Edy Purwanto., Rudy Hartanto., J. Kristianto. 2008. *Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio CPO/Metanol terhadap Karakteristik Produk pada Pembuatan Biodiesel dengan Co Solvent Dietil Eter*. Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 9 No. 1, 72 - 77
- Shahbazi, M. Reza., Behnam Khoshandam., Masoud Nasiri., Majeed Ghazvini. 2012. *Biodiesel Production Via Alkali – Catalyzed Transesterification of Malaysian RBD Palm Oil – Characterization, Kinetics Model*. Elsevier Journal of Taiwan Institute of Chemical Engineers 43 (2012) 504–510
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2006. *Minyak Kelapa Sawit Mentah (Crude Palm Oil)*. Badan Standardisasi Nasional, SNI 01-2901-2006
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2015. *Biodiesel*. Badan Standardisasi Nasional, SNI 7182-2015

- Suarna, E., Rahayu, M., Sugiyono, A., Santosa, J., Boedoyo, M. S., & Nurdyastuti, I. 2007. *Prospek dan Tantangan Pemanfaatan Biofuel Sebagai Sumber Energi Alternatif Pengganti Minyak di Indonesia*. Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak. <http://www.reocities.com> (Diakses pada 27 Januari 2017)
- Susilo, Bambang., La Choviya., M. Bagus Hermanto. 2016. *Model Kavitasasi Irradiasi Gelombang Ultrasonik Pada Transesterifikasi Minyak Tanaman Menjadi Biodiesel*. Malang : Universitas Brawijaya
- Susilowati. 2006. *Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit*. Surabaya : Jurnal Teknik Kimia, Vol. 1, No.1
- Tatang, H.S. Material Aspects of Biodiesel Production in Indonesia, Seminar “ *Bussiness Opportunities Of Biodiesel Into The Fuel Market In Indonesia*”. BPPT, Jakarta, 8 Maret 2006
- Thanh, Le Tu., Kenji Okitsu., Yasuaki Maeda., Hiroshi Bandow. 2013. *Ultrasound Assisted Production Of Fatty Acid Methyl Esters From Transesterification Of Triglycerides With Methanol In The Presence Of KOH Catalyst: Optimization, Mechanism And Kinetics*. Elsevier Jurnal of Ultrasonics Sonochemistry 21 (2014) 467–471
- Valtech. 2013. *Methanol Safety Data Sheet*. <http://www.labchem.com> (diakses pada 27 Januari 2017)
- Veljkovic, Vlada. B., Jelena M. Avramovic., Ollivera S. Stamenkovic. 2011. *Biodiesel Production by Ultrasound – Assisted Transesterification: State Of The Art and The Perspectives*. Elsevier Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 1193– 1209
- Widjajanti, Endang. 2005. *Studi Pengaruh Katalisator Terhadap Laju Reaksi*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Widyastuti, L. 2007. *Reaksi Metanolisis Minyak Biji Jarak Pagara Menjadi Metil Ester sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH*. Semarang : Universitas Negeri Semarang

Wu, P., Yang Y., Colucci J.A., Grulke E.A. 2007. *Effect of Ultrasonication on Droplet Size in Biodiesel Mixture*. J Am Oil Chem Soc, 84 : 877 – 884

Zhao, Zhicheng., Yuan Xue., Guangwen Xu., Daming Chen., Jiawei Zhou., Ping Liu., Sheng Han., Hualin Lin. 2016. *Reaction Conditions of Ultrasound – Assisted Production of Biodiesel: A Review*. International Journal of Energy Research 41:1081–1095

Zhou, Ling., Regina Saskatchewan. 2013. *Reaction Kinetics Of Biodiesel Production By Using Low Quality Feedstock*. University of Regina

