

**PENGARUH WAKTUREAKSI DAN DAYAMICROWAVE ASSISTED
TRANSESTERIFICATION TERHADAP KARAKTERISTIK BIODIESEL MINYAK
BIJI RANDU (*Ceiba pentandra*)**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**PRIYO JATI WAHYONO
NIM. 105060203111002-62**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2015

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN DAYA *MICROWAVE ASSISTED*
TRANSESTERIFIKATION TERHADAP KARAKTERISTIK BIODIESEL
MINYAK BIJI RANDU (*Ceiba pentandra*)**

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**PRIYO JATI WAHYONO
NIM. 105060203111002-62**

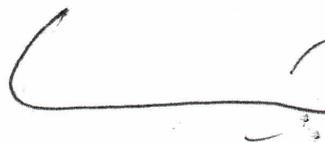
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
NIP. 19740121 199903 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN DAYA *MICROWAVE ASSISTED*
TRANSESTERIFIKATION TERHADAP KARAKTERISTIK BIODIESEL MINYAK
BIJI RANDU (*Ceiba pentandra*)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

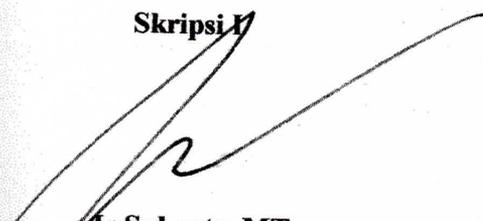
Disusun oleh :

**PRIYO JATI WAHYONO
NIM. 105060203111002-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 06 Januari 2015

Majelis Penguji

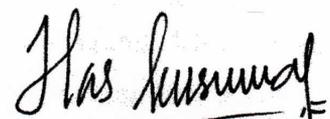
Skripsi I


Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

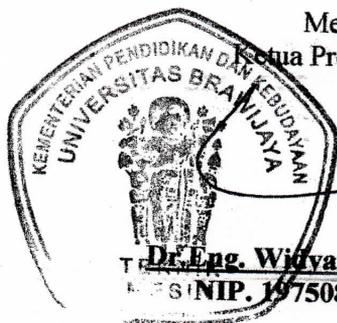
Skripsi II


Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Skripsi III


Haslinda Kusumaningsih, ST., M. Eng.
NIK. 201405 890102 1 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1




Dr. Eng. Widya Wijavanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nyalah penyusunan skripsi dengan judul **"Pengaruh Waktu Reaksi Dan Daya Microwave Assisted Transesterification Terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Biji Randu (*Ceiba pentandra*)"** ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tak lepas dari bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, serta ilmunya yang membantu dalam terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Francisca Galuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, motivasi dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Hastono Wijaya, MT., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan motivasi dan bimbingan dalam perkuliahan.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu selama perkuliahan.
7. Segenap staff dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Kedua orang tua penulis, Bapak Sutarno dan Ibu Winarsih beserta keluarga besar atas doa restu, nasihat dan dukungannya yang luar biasa.
9. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) Universitas Brawijaya atas semangat solidaritasnya.
10. Saudara-saudara "Mesin 2010 (IMMORTAL)" atas seluruh bantuan dalam bentuk motivasi dan solidaritasnya dalam penyelesaian skripsi ini.

11. Seluruh Asisten Laboratorium Metrologi Industri atas seluruh bantuan secara langsung ataupun tidak langsung dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh Bubuhan Keluarga Pelajar Mahasiswa Balikpapan Malang (KPMB Malang) atas semangat dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
13. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritik dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Malang, Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Biodiesel.....	5
2.2.1 Proses Pembuatan Biodiesel	6
2.3 Minyak Biji Kapuk Randu (<i>Ceiba pentandra</i>).....	8
2.4 Transesterifikasi Minyak Nabati	10
2.5 Metode Sintesis <i>Microwave</i>	12
2.5.1 Molekul Dielektrik	14
2.5.2 Pemanasan Dielektrik.....	15
2.6 Sifat Fisik Biodiesel	20
2.7 Sistem Aplikasi <i>Microwave Assisted Transesterification</i>	23
2.8 Hipotesa.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian.....	25
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	25



3.3 Variabel Penelitian	25
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	26
3.4.1 Peralatan Penelitian.....	26
3.3.2 Bahan Penelitian	33
3.4 Skema Instalansi Penelitian.....	34
3.5 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data	34
3.6 Diagram Alir Penelitian	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Biodiesel Minyak Biji Randu.....	37
4.2 Hasil Pengujian Komposisi Biodiesel Minyak Biji Randu.....	39
4.2 Analisa Data dan Pembahasan	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Rumus Molekul Ester	5
Gambar 2.2	Kulit, Serat dan Biji Kapuk Randu	8
Gambar 2.3	Reaksi Kimia Transesterifikasi Trigliserida	10
Gambar 2.4	Spektrum Gelombang Elektromagnetik	12
Gambar 2.5	<i>Microwave Oven</i>	13
Gambar 2.6	Konfigurasi Molekul Dielektrik Air	14
Gambar 2.7	Perbandingan Pemanasan Konvensional dan Gelombang Mikro	15
Gambar 2.8	Mekanisme <i>Ionic Conduction</i> dan <i>Dipolar Rotation</i>	16
Gambar 3.1	<i>Microwave Oven</i>	28
Gambar 3.2	Gelas Kimia (<i>Beaker Glass</i>)	28
Gambar 3.3	Bomb Kalorimeter	29
Gambar 3.4	Viskometer	29
Gambar 3.5	Hidrometer	30
Gambar 3.6	<i>Flash Point Tester</i>	30
Gambar 3.7	Termometer Digital	31
Gambar 3.8	Alat Uji Destilasi	31
Gambar 3.9	Timbangan Digital	32
Gambar 3.10	<i>Gas Chromatography and Mass Spectrometry</i>	32
Gambar 3.11	Skema Instalasi Penelitian	34
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Nilai Massa Jenis Biodiesel Minyak Biji Randu	40
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Nilai Viskositas Kinematik Biodiesel Minyak Biji Randu	43
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Nilai Indeks Setana Jenis Biodiesel Minyak Biji Randu	46
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Nilai Kalor Jenis Biodiesel Minyak Biji Randu	48
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Nilai Titik Nyala Jenis Biodiesel Minyak Biji Randu	50
Gambar 4.6	Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Daya Penyinaran Terhadap Suhu Reaksi Proses Transesterifikasi Biodiesel Minyak Biji Randu	52

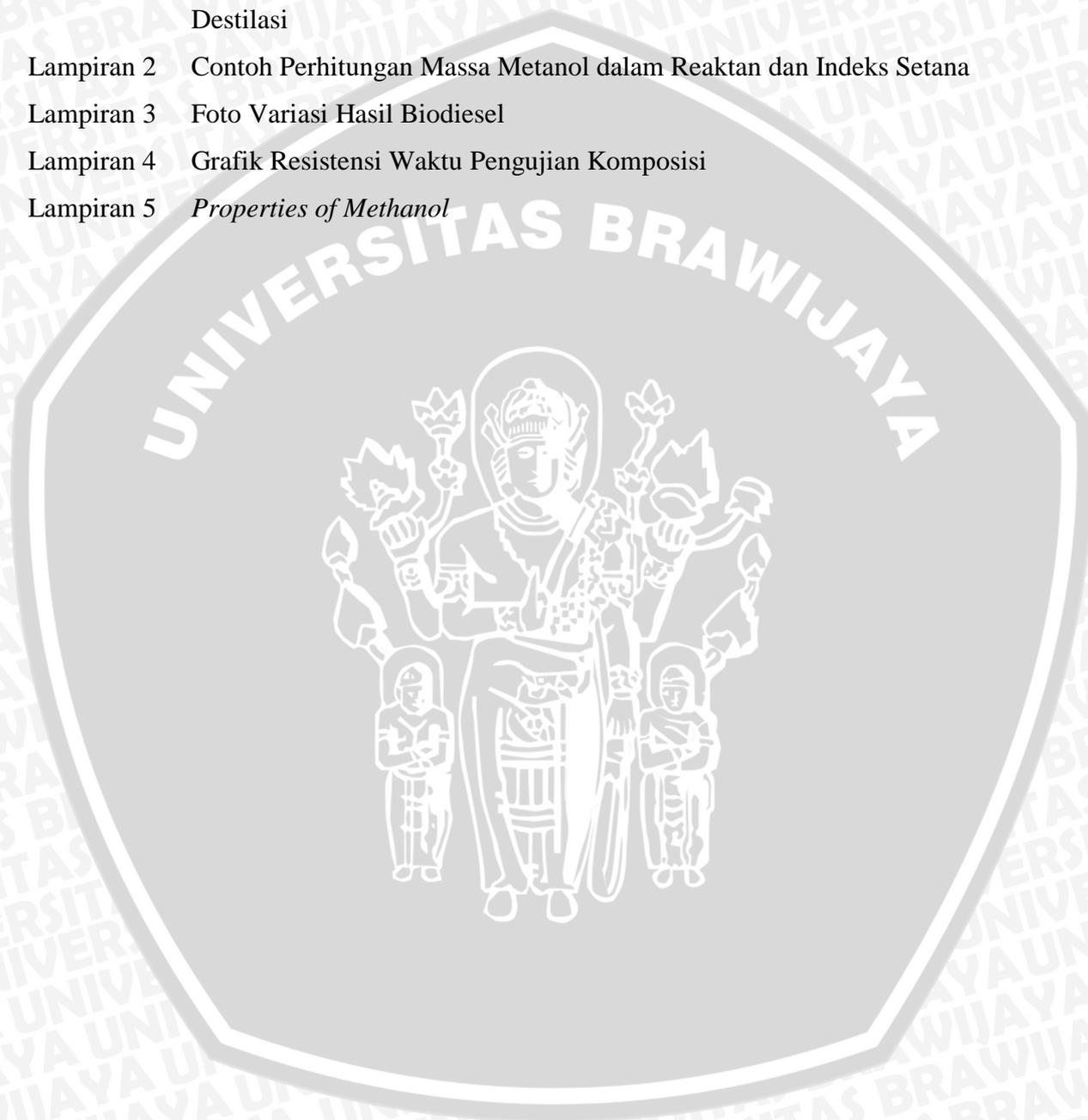
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Standar Nilai Mutu Biodiesel dan Perbandingan dengan Solar	6
Tabel 2.2	Komposisi Minyak Biji Kapuk Randu	9
Tabel 2.3	Perbandingan Sifat Fisik Minyak Nabati	9
Tabel 2.4	Jenis Respon Material Terhadap Radiasi Gelombang Mikro	17
Tabel 2.5	<i>Dielectric Loss Factor</i>	18
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Nilai Massa Jenis	37
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Nilai Viskositas Kinematik	37
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Nilai Indeks Setana	37
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Nilai Kalor	38
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Nilai Titik Nyala	38
Tabel 4.6	Data Volume Akhir Reaktan Setelah Proses Transesterifikasi.	38
Tabel 4.7	Data Suhu Akhir Reaksi dan Nilai Ph	39
Tabel 4.8	Data Hasil Pengujian GC-MS Biodiesel Minyak Biji Randu	39



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Data Kenaikan Suhu Reaksi Transesterifikasi dan Suhu Pengujian Destilasi
- Lampiran 2 Contoh Perhitungan Massa Metanol dalam Reaktan dan Indeks Setana
- Lampiran 3 Foto Variasi Hasil Biodiesel
- Lampiran 4 Grafik Resistensi Waktu Pengujian Komposisi
- Lampiran 5 *Properties of Methanol*



DAFTAR SIMBOL

Besaran	Satuan	Simbol
Entalpi Reaksi	Joule/kg	ΔH
Entalpi Produk	Joule/kg	H_p
Entalpi Reaktan	Joule/kg	H_r
<i>Dielectric Loss Factor</i>		ϵ''
<i>Dielectric constant</i>		ϵ'
<i>Tangent loss</i>		δ
Daya Dissipasi	Watt/m ³	P
<i>Permittivity constant</i>	F/m	ϵ_0
Kuat Medan Elektromagnetik	V/m	E
<i>Calculated Cetane Index</i>		CCI
Densitas pada 15°C	g/ml	D
Temperatur Destilasi	°C	B



RINGKASAN

Priyo Jati Wahyono, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Pengaruh Waktu Reaksi Dan Daya Microwave Assisted Transesterification Terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Biji Randu (Ceiba pentandra)*, Dosen Pembimbing: Nurkholis Hamidi dan Widya Wijayanti.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kebutuhan energi terbesar di dunia, dimana sebagian besar kebutuhan energi Indonesia bersumber dari bahan bakar tidak dapat diperbarui yang ketersediannya semakin menurun. Sehingga dibutuhkan solusi mengenai ketersediaan sumber energi yang dapat diperbarui, salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar yang tersusun dari campuran *mono-alkly ester* dari rantai panjang asam lemak, yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang didapatkan dari sumber yang terbaharui seperti minyak sayur dan lemak hewan. Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi (alkoholisis) antara trigliserida (minyak nabati atau lemak hewan) dengan alkohol dengan bantuan katalis menghasilkan alkil ester (biodiesel) dan gliserol. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan waktu dan daya penyinaran terhadap karakteristik biodiesel melalui proses transesterifikasi menggunakan gelombang mikro. Dalam penelitian ini digunakan minyak biji randu sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Proses transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan minyak biji randu hasil esterifikasi, metanol dan katalis kalsium oksida (CaO) dengan bantuan penyinaran gelombang mikro dengan memvariasikan daya penyinaran sebesar 140 dan 280 watt serta waktu reaksi 5, 10 dan 15 menit. Untuk mengetahui kualitas dan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dilakukan pengujian sifat fisik berupa nilai massa jenis, viskositas kinematik, indeks setana, nilai kalor dan nilai titik nyala serta pengujian komposisi untuk mengetahui kadar kandungan metil ester pada biodiesel yang dihasilkan. Dari nilai sifat fisik biodiesel minyak biji randu yang dihasilkan diketahui pada daya penyinaran 140 watt, penambahan waktu reaksi akan meningkatkan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Sedangkan pada daya 280 watt, penambahan waktu reaksi akan menurunkan kualitas biodiesel yang dihasilkan.. Pada daya penyinaran 140 watt, kualitas biodiesel terbaik didapatkan pada proses dengan waktu reaksi 15 menit dan meningkat pada daya penyinaran 280 watt dengan waktu reaksi 5 menit, kemudian nilai sifat fisiknya turun kembali dengan penambahan waktu reaksi. Hal ini disebabkan pada Nilai sifat fisik biodiesel yang memenuhi standar nilai biodiesel SNI dan konversi metil ester yang paling optimal diperoleh pada proses transesterifikasi dengan daya penyinaran 280 watt, dan waktu reaksi 5 menit

Kata Kunci: Biodiesel Minyak Randu, *Microwave Assisted Transesterification*, Karakteristik.

SUMMARY

Priyo Jati Wahyono, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2015, *The Effect Of Time Reaction And Power On Microwave Assisted Transesterification To The Characteristics of Kapok Seed Oil Biodiesel (Ceiba pentandra)*, Academic Supervisor: Nurkholis Hamidi and Widya Wijayanti.

Indonesia is one of the nations with the world's largest energy needs, where the majority of Indonesia's energy needs derived from a non-renewable sources that the availability of it constantly decreases. So we need a solution on the availability of renewable energy sources, such as biodiesel . Biodiesel is a kind of fuel that is composed of a mixture of mono - alkyl esters of long chain fatty acids , which are used as an alternative fuel for diesel engines derived from renewable sources such as vegetable oils and animal fats . Biodiesel is produced through a process of transesterification (alcoholysis) between triglycerides (vegetable oils or animal fats) with an alcohol in the presence of produce alkyl esters (biodiesel) and glycerol . This study was conducted to determine the effect of variations in addition to the time reaction and power irradiation to the characteristics of biodiesel through a process transesterification using microwaves. In this research, kapok seed oil is used as a raw material for making biodiesel. Transesterification process carried out by reacting kapok seed oil from the esterification process, methanol and catalyst calcium oxide (CaO) using microwave irradiation power 140 and 280 Watt also time reaction in 5, 10 and 15 minutes. To determine the quality and the characteristics of biodiesel produced, the physical properties was tested, such as the value of the density, kinematic viscosity, cetane index, calorific value and the flash point temperature and also the composition was tested to determine the amount of methyl ester content of the biodiesel produced. The result showed in the process with 140 watts irradiation power, the addition reaction time will improve the quality of physical properties of biodiesel produced. In the process with 280 watts irradiation power, the addition reaction time will degrade the quality of biodiesel produced. In the irradiation power of 140 watts, the best biodiesel quality obtained in the process with reaction time of 15 minutes and increasing the irradiation power of 280 watts with areaction time of 5 minutes, then the value of physical properties turn down with the addition of the reaction time. Due to the value of the physical properties of biodiesel, the biodiesel produced that compatible with SNI standards and has the most optimal conversion methyl ester obtained in transesterification process with irradiation power of 280 watts , and a reaction time of 5 minutes.

Keyword: Biodiesel Kapok Oil, Microwave Assisted Transesterification, Characteristics.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan kebutuhan energi terbesar didunia, dimana 45% dari keseluruhan kebutuhan energi Indonesia berasal dari bahan bakar minyak, sedangkan minyak adalah salah satu sumber bahan bakar yang tidak dapat diperbarui. Total cadangan minyak Indonesia cenderung terus menuru pada 10 tahun terakhir dikarenakan produksi minyak bumi jauh lebih besar dari penemuan sumber cadangan minyak. Pada tahun 2012 cadangan minyak Indonesia berada pada nilai 4 milyar barrel. Sehingga dibutuhkan solusi ketersediaan sumber energi yang dapat diperbarui, salah satunya adalah biodiesel. Berdasarkan Permen ESDM No. 25 tahun 2013, mulai September 2013 pemanfaatan biodiesel ditargetkan meningkat menjadi 10% untuk sektor transportasi dan 2% untuk sektor industri dan pertambangan. (BPPT, 2013).

Biodiesel merupakan bahan bakar yang tersusun dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang didapatkan dari sumber yang terbaharui seperti minyak sayur dan lemak hewan. Biodiesel merupakan sumber bahan bakar alternatif yang paling tepat menggantikan posisi bahan bakar fosil sebagai sumber energi dunia, khususnya dalam dunia transportasi. Biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Biodiesel tidak mengandung bahan berbahaya seperti Pb, bersifat *biodegradable*, memiliki emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan emisi bahan bakar diesel. Biodiesel juga memiliki efek pelumasan yang baik sehingga memperpanjang umur mesin serta memiliki nilai angka setana yang tinggi. (Soerawidjaja, 2006).

Kapuk (*Ceiba pentandra*) merupakan salah satu tanaman berbiji yang berpotensi menghasilkan minyak nabati. Setiap biji kapuk mengandung 25% - 40% minyak biji. Biji kapuk randu merupakan limbah sehingga ketersediaannya cukup banyak untuk dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku biodiesel. Melalui proses transesterifikasi, kandungan asam lemak (trigliserida) minyak biji randu diubah menjadi ester yang merupakan senyawa penyusun biodiesel dengan mereaksikan dengan alkohol melalui reaksi endoterm, sehingga membutuhkan kalor dari luar.

Yuniar (2014) melakukan penelitian mengenai esterifikasi minyak biji karet menggunakan gelombang mikro dengan memvariasikan lama waktu penyinaran (5, 10,

15, 20 dan 25 menit) dengan menggunakan rasio metanol 10 % dan katalis H_2SO_4 0,5% dari volume reaktan serta daya *microwave* sebesar 280 watt. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa karakteristik biodiesel dipengaruhi oleh lama waktu penyinaran dimana hasil terbaik didapatkan pada waktu penyinaran 5 dan 10 menit, untuk waktu penyinaran 15 sampai 25 menit didapatkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dibawah standar biodiesel SNI dikarenakan meningkatnya suhu reaksi yang menyebabkan penguapan metanol sehingga tidak dapat bereaksi sempurna

Berdasarkan penjelasan diatas besarnya daya penyinaran berpengaruh pada suhu reaksi. Oleh karena itu untuk meningkatkan hasil biodiesel menggunakan penyinaran gelombang mikro dilakukan penelitian dengan memvariasikan besar daya dan lama waktu penyinaran pada minyak biji randu. Sehingga diharapkan setelah dilakukan variasi tersebut akan terjadi peningkatan kualitas biodiesel dari sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dirumuskan sebuah permasalahan yaitu: Bagaimana pengaruh besar daya dan lama waktu penyinaran pada proses transesterifikasi minyak biji randu (*Ceiba pentandra*) untuk menghasilkan biodiesel dengan gelombang mikro?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bahan untuk proses transesterifikasi yang digunakan adalah minyak biji randu hasil esterifikasi.
2. Jenis proses yang digunakan adalah transesterifikasi dengan menggunakan gelombang mikro.
3. Analisa berdasarkan data penelitian hasil pengujian karakterisasi yaitu berupa sifat fisik yang meliputi: nilai massa jenis, viskositas kinematik, nilai kalor, indeks setana, nilai titik nyala dan kadar *fatty acid methyl ester* (FAME).
4. Katalis yang digunakan adalah kalsium oksida (CaO), sebanyak 1% dari berat minyak biji randu hasil esterifikasi.
5. Alkohol yang digunakan adalah metanol dengan perbandingan mol 3:1 dengan mol minyak randu hasil esterifikasi.
6. Putaran *mechanic stirer* selama proses konstan

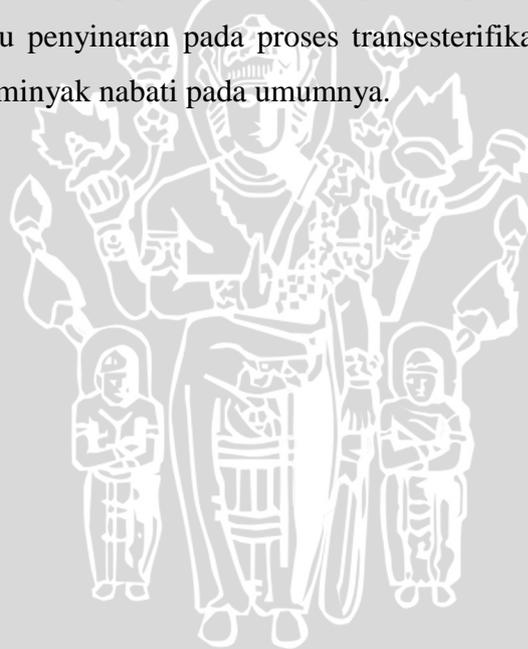
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh besar daya dan lama waktu penyinaran pada proses transesterifikasi minyak biji randu (*Ceiba pentandra*) untuk menghasilkan biodiesel dengan gelombang mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai sarana untuk pengoptimalan produksi biodiesel dari minyak biji randu sebagai sumber bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui.
2. Untuk mengetahui hubungan daya dan waktu penyinaran gelombang mikro pada transesterifikasi minyak biji randu sehingga didapatkan biodiesel dengan kualitas yang baik.
3. Sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh besar daya dan lama waktu penyinaran pada proses transesterifikasi minyak biji randu khususnya, dan minyak nabati pada umumnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai pembuatan biodiesel dengan menggunakan minyak nabati telah banyak dilakukan sebelumnya. Mehdi et al (2011) melakukan investigasi mengenai transesterifikasi minyak biji almond menggunakan pemanasan konvensional untuk mengetahui jumlah yield biodiesel yang dihasilkan terhadap sifat fisik biodiesel dengan memvariasikan metanol, waktu pemanasan serta suhu reaksi. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yield biodiesel sebesar 90,7% pada perbandingan mol metanol dengan minyak biji almond sebesar 9:1 selama 2 jam, pada suhu 60°C. Pada kondisi tersebut didapatkan nilai sifat fisik yang baik dimana nilai viskositas biodiesel mendekati standar, sedangkan nilai *flash point*, densitas dan angka setana berada di atas standar. Pada perbandingan jumlah yield dengan nilai sifat fisik biodiesel diketahui semakin tinggi yield biodiesel yang dihasilkan maka nilai fisik yang didapatkan juga semakin baik.

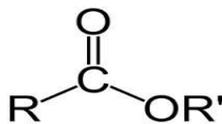
Majid et al (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh pemanasan dengan gelombang mikro pada minyak jelantah terhadap besar yield biodiesel yang dihasilkan dengan memvariasikan daya (100, 150, 200, 250 dan 300 watt) serta waktu pemanasan (5, 10, 15, 20 dan 25 menit) dengan perbandingan mol metanol dengan minyak nabati sebesar 6:1 dengan katalis KOH. Didapatkan hasil terbaik pada kondisi pemanasan dengan daya 100 watt selama 10 menit dimana yield yang dihasilkan adalah sebesar 93,06%.

Putra dan Wibawa (2012) melakukan observasi pada transesterifikasi minyak goreng menggunakan radiasi gelombang mikro untuk mengetahui daya dan waktu optimal untuk pembuatan biodiesel serta sifat fisiknya dengan menggunakan berbagai macam katalis (CaO, H₂SO₄, dan tanpa katalis). Daya yang divariasikan adalah 100, 200, 300 dan 400 watt dengan lama penyinaran 5, 10, 15 dan 20 menit. Dari eksperimen tersebut didapatkan bahwa katalis CaO dapat memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan katalis H₂SO₄ pada kondisi operasi menggunakan daya 200 watt dengan lama penyinaran 20 menit, dimana yield terbesar yang dihasilkan adalah sebesar 60,11%. Sedangkan kualitas sifat fisik biodiesel yang dihasilkan seperti viskositas, densitas serta *flash point* sudah sesuai standar biodiesel.

Arsandi (2014) melakukan eksperimen lanjut pada esterifikasi minyak biji karet menggunakan gelombang mikro dengan memvariasikan lama waktu penyinaran (5, 10, 15, 20 dan 25 menit) dengan menggunakan rasio metanol 10 % dan katalis H_2SO_4 0,5% dari volume reaktan serta daya *microwave* sebesar 280 watt. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa karakteristik biodiesel dipengaruhi oleh lama waktu penyinaran dimana hasil terbaik didapatkan pada waktu penyinaran 5 dan 10 menit, untuk waktu penyinaran 15 sampai 25 menit didapatkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dibawah standar biodiesel SNI dikarenakan meningkatnya suhu reaksi yang menyebabkan penguapan metanol sehingga tidak dapat bereaksi sempurna.

2.2 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak, yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel dan bersumber dari bahan yang dapat diperbarui seperti minyak nabati atau lemak hewan. (Soerawidjaja, 2006). Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi (alkoholisis) antara trigliserida (minyak nabati atau lemak hewan) dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis menghasilkan alkil ester dan gliserol atau esterifikasi asam-asam lemak (bebas) dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis menjadi senyawa alkil ester dan air. Rumus molekul ester dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rumus Molekul Ester

Sumber : Ralph J. Fessenden (1996:314)

Biodiesel dapat menjadi bahan bakar alternatif bagi mesin diesel dengan berbagai macam kelebihan, diantaranya kadar emisi gas buang yang rendah, *biodegradable*, memiliki angka setana yang tinggi, memiliki daya pelumasan yang baik sehingga memperpanjang umur mesin, standar mutu biodiesel di Indonesia sudah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional yang tercantum dalam SNI 7182 tahun 2012 pada tabel 2.1, sedangkan untuk standar mutu biodiesel internasional ditetapkan melalui standar ASTM D 6751 dan standar

mutu minyak diesel solar 48 ditetapkan melalui standar Dirjen Migas nomor 3675K/24/DJM tahun 2006.

Biodiesel tersusun dari beberapa jenis alkil ester asam lemak seperti asam oleat, stearat, oktadekadienoat, palmitat dan elaidat dengan panjang rantai karbon permolekul antara 12 sampai 20. Hal ini menyerupai senyawa penyusun minyak solar yang terdiri 38% n-alkana. 38% alkana rantai cabang dan sikloalkana, 3% isoprenoid, 20% senyawa aromatik dengan panjang rantai karbon permolekul antara 15 sampai 20. Hal ini yang menyebabkan biodiesel dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar pengganti minyak solar tanpa harus memodifikasi mesin diesel (Mittlebach,2006).

Tabel 2.1 Standar Nilai Mutu Biodiesel dan Perbandingan dengan Solar

No	Karakteristik	Solar 48 SNI	SNI	ASTM D6751
1	Massa Jenis	820-860 (kg/m ³)	850-890 (kg/m ³)	-
2	Viskositas Kinematik, 40°C	2,0-4,5 (cSt)	2,3-6,0 (cSt)	1,9-6,0 (cSt)
3	Angka Setana	≥ 48	≥ 51	≥ 51
4	Flash Point	≥ 55 (°C)	≥ 100 (°C)	≥ 130 (°C)
5	Nilai Kalor	10100 – 10600 (kkal/kg)	-	-
6	Kandungan Sulfur	≤ 0,05 (% m/m)	≤ 0,001 (% m/m)	≤ 0,0015 (% m/m)
7	Kandungan Abu	≤ 0,01 (% m/m)	≤ 0,02 (% massa)	≤ 0,02 (% massa)

2.2.1 Proses Pembuatan Biodiesel

Secara umum proses pembuatan biodiesel dibagi menjadi empat tahap yaitu,

1. Ekstraksi bahan.

Proses ekstraksi bahan adalah proses untuk mengeluarkan minyak dari bahan mentah yang mengandung minyak. Pada biji kapuk randu, proses ini biasanya diawali dengan membersihkan sisa – sisa kapuk yang ada pada biji. Selanjutnya biji dibelah menjadi beberapa bagian sebelum nantinya dijemur dibawah sinar matahari. Penjemuran bisa dilakukan selama 2-3 hari. Proses penjemuran ini berguna untuk mengurangi kadar air pada biji tersebut. Setelah biji tersebut kering, maka dilakukan pengepressan untuk mengeluarkan minyak yang terkandung didalamnya. Minyak hasil pengepresan didiamkan selama 24 jam untuk mengendapkan kotoran-kotoran hasil pengepresan sebelum dilakukan proses lebih lanjut

2. *Degumming*

Proses *degumming* dilakukan untuk menghilangkan getah, kotoran dan menurunkan nilai viskositas minyak, dilakukan dengan memanaskan minyak pada suhu sekitar 80 °C dengan penambahan katalis basa sebanyak 0,5-1% dari berat minyak. Campuran minyak dan katalis tersebut diaduk selama 15 menit. Setelah diaduk, campuran didiamkan selama 1 jam sebelum dipisahkan dengan pengotornya. Minyak selanjutnya dicuci dengan air hangat hingga minyak tersebut jernih.

3. Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses untuk mengkonversi asam lemak bebas hasil dari proses *degumming* menjadi ester dengan hasil samping air. Esterifikasi dilakukan pada minyak nabati dengan komposisi asam lemak bebas diatas 2%. Katalis yang digunakan adalah zat dengan sifat asam yang cukup tinggi, salah satu yang terbaik adalah asam sulfat (H₂SO₄). Reaksi esterifikasi dilakukan pada suhu 60 – 70°C. Proses esterifikasi dimulai dengan mencampur alkohol dengan katalis. Campuran tersebut diaduk selama 10 menit. Setelah itu, campuran katalis dan alkohol ditambahkan ke dalam minyak dan diaduk kembali selama 10 menit. Bila sudah tercampur maka, larutan tersebut dapat dipanaskan pada reaktor selama 2-3 jam. Minyak hasil esterifikasi selanjutnya diendapkan selama 24 jam untuk memisahkan ester dengan hasil sampingnya.

4. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses pembuatan metil ester (biodiesel) dengan hasil samping gliserol. Proses transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan trigliserida, digliserida, dan mono gliserida hasil esterifikasi dengan alkohol serta bantuan katalis. Katalis yang biasa digunakan adalah katalis basa. Proses transesterifikasi ini merupakan lanjutan dari proses esterifikasi. Reaksi ini berlangsung cepat sekitar 1-2 jam, tetapi sangat sensitif terhadap keberadaan air. Adanya air akan menyebabkan reaksi samping, yaitu reaksi penyabunan. Reaksi penyabunan adalah reaksi trigliserida dengan basa dalam air.

2.3 Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra*)

Tanaman kapuk randu merupakan salah satu komoditas perkebunan yang cukup besar di Indonesia. Kapuk randu merupakan salah satu komoditas perkebunan yang sudah sejak lama diperdagangkan sebagai salah satu sumber serat alami. Daerah penghasil kapuk di Indonesia meliputi daerah D.I.Aceh, Jambi, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Sumatera Utara. Sampai dengan tahun 2013 luas perkebunan kapuk di Indonesia mencapai 150 hektar dengan produksi mencapai 64,8 ribu ton gelondong buah kapuk. (Dirjen Perkebunan dan Badan Pusat Statistik)



Gambar 2.2 Kulit, Serat dan Biji Kapuk Randu

Sumber : Balittas Litbang (2013:348)

Secara morfologi, setiap gelondong biji kapuk seperti pada gambar 2.2 dibagi menjadi tiga bagian, yaitu kulit gelondong, serat kapas dan biji kapuk. Pada saat ini pemanfaatan tanaman kapuk randu hanya terbatas pada komoditas serat kapuknya, hal ini

menyebabkan biji kapuk menjadi limbah utama dari komoditas kapuk randu. Setiap gelondong buah kapuk mengandung 26% biji kapuk, sehingga untuk 100 kg gelondong dapat menghasilkan 26 kg biji kapuk. Biji kapuk mengandung 25-40% minyak biji. Kandungan asam lemak tak jenuh minyak biji kapuk mencapai 80% lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kelapa, sehingga tidak cocok digunakan sebagai minyak makanan karena mudah tengik. Sesuai data Dirjen Perkebunan, jika dikonversikan ke minyak maka produksi minyak biji kapuk mencapai 22,68 ribu ton minyak (rendemen 30%) yang berpotensi sebagai salah satu sumber bahan bakar biodiesel Indonesia. (Litbang Dirjen Perkebunan). Berikut penjelasan mengenai komposisi minyak randu dan perbandingan sifat fisik minyak nabati pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2 Komposisi Minyak Biji Kapuk Randu

No.	Persen	Retensi Waktu	Jenis Asam Lemak (Trigliserida)
1	0.176	44.669	Asam 9-heksadekanoat
2	24.765	45.112	Asam palmitat
3	0.556	46.553	Asam 2-heksil siklopropanoktanoat
4	0.611	47.328	Asam dekstro kamforat
5	35.107	48.283	Asam 8,11-oktadekadienoat
6	21.623	48.398	Asam elaidat
7	4.084	48.482	Asam elaidat
8	0.649	48.864	Asam stearat
9	0.579	49.529	Asam malvalat
10	1.005	49.659	Asam malvalat
11	2.078	50.316	Asam 2-oktil siklopropanoktanoat
12	0.334	51.386	Asam 2-oktilsiklopropena-1-oktanoat
13	0.805	52.303	Asam arakhidat
14	0.529	55.482	Asam behenat / asam dokosanoat

Sumber: Pengujian Komposisi GC-MS Laboratorium ULP Farmasi UNAIR.

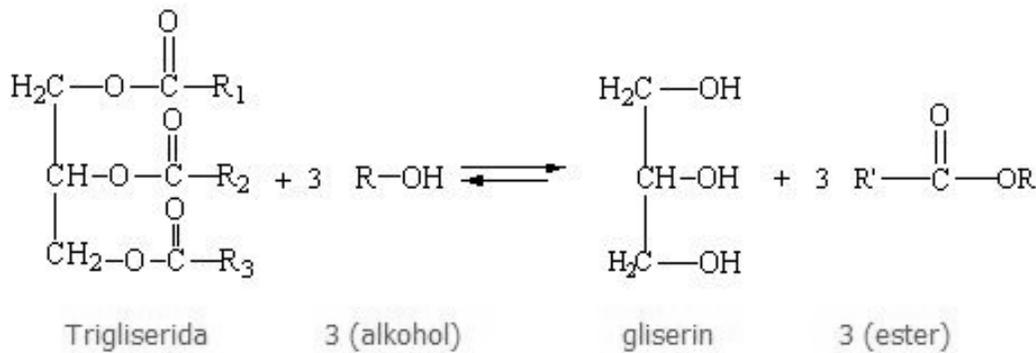
Tabel 2.3 Perbandingan Sifat Fisik Minyak Nabati

Karakteristik	Minyak Randu	Minyak Jarak	Minyak Sawit
Massa Jenis (kg/m^3)	960 – 970	900 – 910	910 – 920
Viskositas Kinematik (cSt)	46 – 50	30 – 36	30 – 36
Nilai Kalor (kkal/kg)	8000 – 8100	8300 – 8400	8300 – 8500
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	220 – 229	229 – 235	225 – 232

Sumber : Balittas Litbang (2013:352-354)

2.4 Transesterifikasi Minyak Nabati

Transesterifikasi minyak nabati adalah suatu proses reaksi kimia antara trigliserida dengan alkohol menghasilkan senyawa ester dan gliserol dengan bantuan katalis asam atau basa kuat. Proses reaksi dijelaskan pada gambar 2.3. Alkohol yang digunakan biasanya adalah metanol, etanol dan isopropanol. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi tiga tahap dimana trigliserida ditransformasikan bertahap menjadi digliserida dan kemudian monogliserida dengan bantuan alkohol dan menghasilkan gliserol dan ester. Reaksinya dapat dijelaskan sebagai berikut,



Gambar 2.3 Reaksi Kimia Transesterifikasi Trigliserida

Sumber : Ralph J. Fessenden (1996:316)

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi endotermis yang bersifat bolak – balik. Sehingga dibutuhkan energi reaksi dari luar. Reaksi transesterifikasi konvensional biasa dilakukan sekitar 1-2 jam dengan suhu optimal 60-70°C. Untuk mempercepat proses reaksi dan meningkatkan hasil produk ada beberapa faktor yang berpengaruh.

1. Energi Reaksi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi endotermis, reaksi endotermis merupakan reaksi kimia yang membutuhkan energi reaksi dari luar. Dari persamaan 2-1 kita ketahui entalpi produk (Hp) lebih besar dari entalpi reaktan (Hr). Sehingga energi reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\Delta H = (H_p - H_r) > 0 \quad (\text{James E. Brady, 1998:251}) \quad (2 - 1)$$

Keterangan : ΔH = Entalpi Reaksi (J/kg)

H_p = Entalpi Produk (J/kg)

H_r = Entalpi Reaktan (J/kg)

Sumber energi reaksi untuk proses transesterifikasi bermacam – macam, secara konvensional digunakan energi panas sehingga membutuhkan waktu proses 1-2 jam. Untuk mempercepat waktu dan hasil sumber energi reaksi proses transesterifikasi dapat menggunakan gelombang mikro dan getaran ultrasonik.

2. Penambahan Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang membantu mempercepat proses reaksi kimia tanpa ikut bereaksi didalam proses tersebut. Katalis mempercepat laju reaksi dengan cara memberikan jalan lain sehingga energi aktivasi reaksi tersebut turun sehingga laju reaksinya meningkat. Katalis yang biasa digunakan untuk proses transesterifikasi adalah katalis asam kuat dan basa kuat, katalis asam yang biasa digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4).

3. Rasio Perbandingan Alkohol dengan Minyak Nabati

Rasio molar antara alkohol dengan minyak nabati merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses transesterifikasi. Secara stokiometri perbandingan mol antara alkohol dengan trigliserida adalah 3:1, Akan tetapi pemakaian alkohol berlebih akan mendorong reaksi ke arah pembentukan metil ester karena semakin banyak reaksi antara molekul alkohol dengan minyak. Namun, pemberian alkohol berlebih mengakibatkan pemisahan gliserol dengan biodiesel menjadi sulit. Oleh karena itu perbandingan mol antara alkohol dengan trigliserida harus dilakukan dengan perhitungan yang baik sehingga hasil metil ester dapat dimaksimalkan.

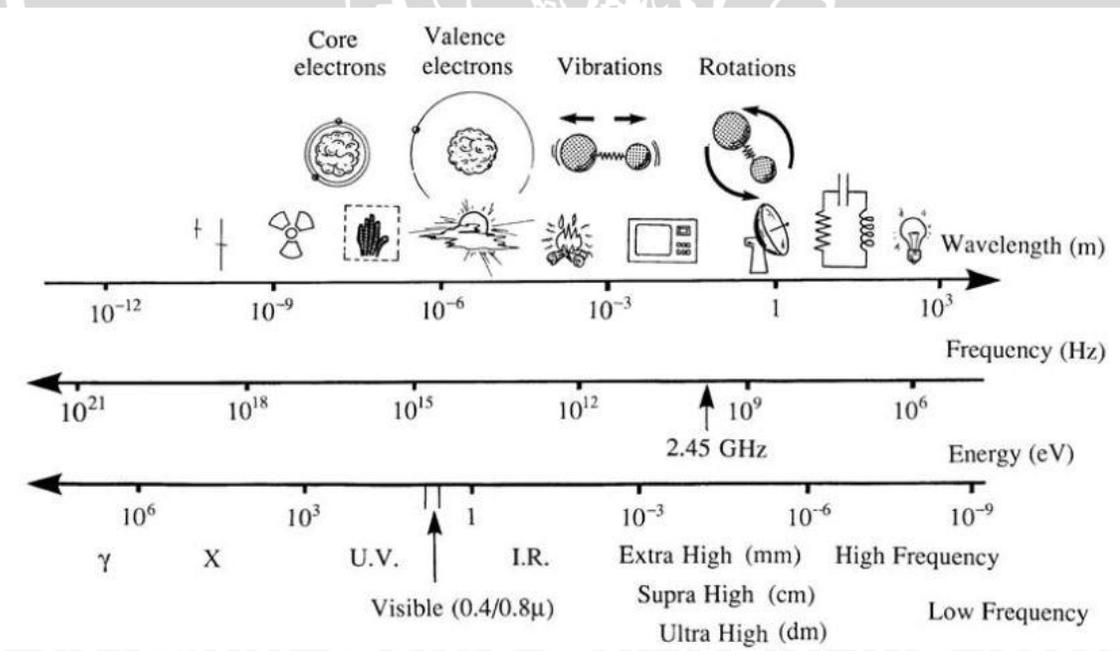
4. Waktu Reaksi

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan alkohol dimana hasil dari reaksi adalah akil ester. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat *reversible*, sehingga pada saat pemanasan lanjut, gliserol

dan ester akan mulai kembali bereaksi kembali menjadi asam lemak dan alkohol setelah melewati batas kesetimbangan reaksi. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan waktu reaksi yang baik untuk mencegah reaksi balik dari transestrifikasi sehingga hasil metil ester yang dihasilkan dapat maksimal. Salah satu cara untuk menurunkan waktu reaksi aatau mempercepat waktu proses sintesis dalam menggunakan radiasi gelombang mikro.

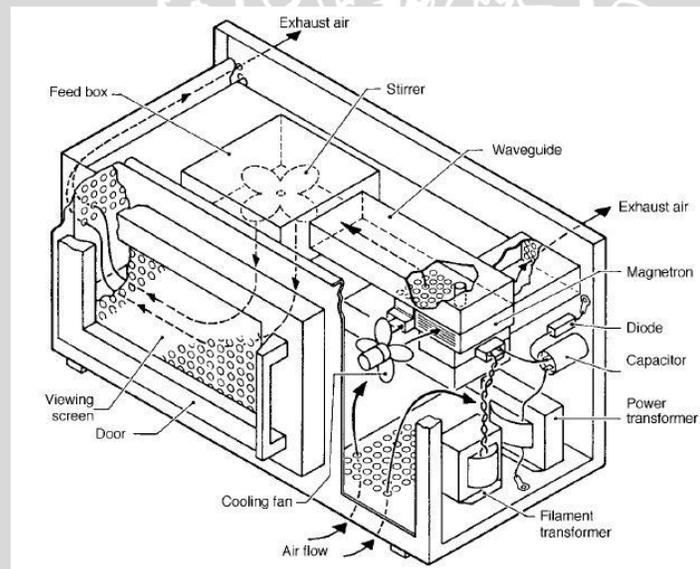
2.5 Metode Sintesis Microwave

Banyak reaksi kimia dan proses yang hanya dapat berlangsung apabila ditambahkan energi dari luar, yang pada umumnya berupa energi termal. Energi termal yang dibutuhkan pada proses umumnya didapatkan dari pengkonversian energi listrik, kelemahan utamanya adalah untuk mencapai temperatur reaksi proses, dibutuhkan pengkonversian energi listrik secara berulang – ulang dan bertahap sehingga menurunkan efisiensi dan meningkatkan konsumsi energi. Salah satu metode untuk memberikan energi reaksi secara efisien adalah dengan menggunakan metode sintesis *microwave*. Metode sintesis *microwave* adalah metode pemberian energi reaksi menggunakan bantuan gelombang mikro.



Gambar 2.4 Spektrum Gelombang Elektromagnetik
 Sumber : P. Fellows (2000:366)

Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik yang panjang gelombangnya sangat pendek antara 1 cm sampai 1 m seperti gambar 2.4, dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency, SHF*), yaitu antara 0,3 - 30 GHz (Hayes, 2002). Gelombang mikro merupakan cara alternatif untuk pemberian input energi ke dalam proses reaksi kimia. *Microwave* merupakan salah satu perangkat yang dapat menghasilkan gelombang mikro. Komponen utama dari *microwave* oven adalah magnetron. Magnetron yang dapat dilihat pada gambar 2.5 berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi radiasi gelombang mikro dengan cara memancarkan elektron dari sumber sentralnya yang biasa disebut katoda. Katoda tersebut dikelilingi oleh kutub-kutub positif (anoda) untuk menerima elektron yang dipancarkan tadi. Elektron yang dipancarkan bergerak lurus, dipaksa untuk bergerak dengan jalur melingkar oleh sebuah magnet untuk menghasilkan gelombang elektromagnetik.



Gambar 2.5 *Mikrowave* Oven
Sumber : P. Fellows (2000:369)

Proses pemanasan dengan gelombang mikro disebabkan karena gelombang mikro memiliki frekuensi osilasi yang tinggi sehingga menimbulkan suatu medan magnet yang mampu menggerakkan molekul – molekul dielektrik, seperti air, lemak dan gula. Pergerakan dari molekul tersebut menghasilkan gesekan yang menghasilkan panas yang merata pada

seluruh bagian molekul. Pemanasan yang memanfaatkan gaya ekstitasi atau gesekan molekul – molekul dielektrik inilah yang dinamakan pemanasan dielektrik atau dapat disebut sebagai pemanasan menggunakan gelombang mikro. Penggunaan metode ini pada transesterifikasi biodiesel akan menyebabkan penurunan waktu reaksi dan peningkatan hasil metil ester karena reaksi yang lebih merata. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari metode sintesis *microwave*,

Kelebihan metode sintesis *microwave*,

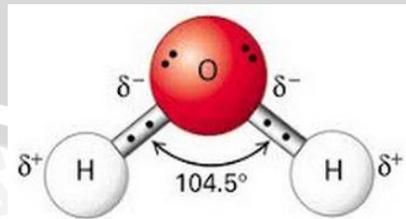
1. Pemanasan merata disemua bahan atau objek.
2. Efisiensi waktu proses pemanasan.

Kekurangan metode sintesis *microwave*,

1. Dibutuhkan energi listrik yang besar untuk pengoperasian *microwave*.

2.5.1 Molekul Dielektrik

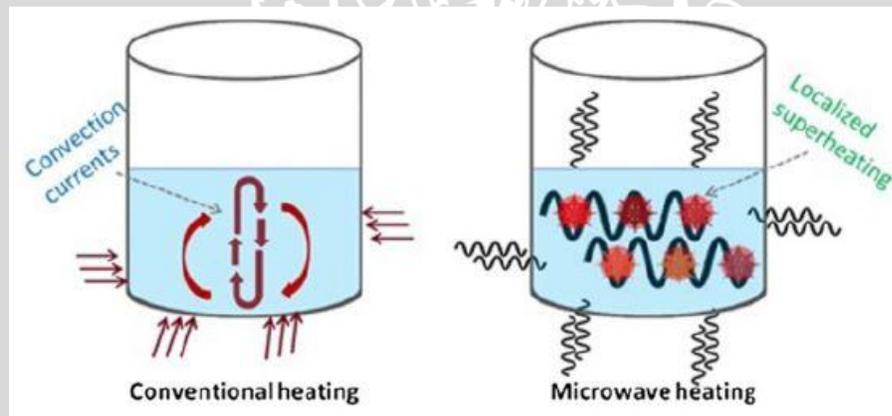
Molekul dielektrik atau dipolar adalah jenis molekul yang tersusun dari molekul *dipole* (netral), dimana setiap molekulnya memiliki muatan negatif dan positif yang seimbang. Molekul ini merupakan sejenis isolator yang dapat dikutubkan (*polarized*) dengan cara menempatkan bahan dielektrik dalam medan listrik. Ketika bahan ini berada dalam medan listrik, muatan listrik yang terkandung di dalamnya tidak akan mengalir, sehingga tidak timbul arus seperti bahan konduktor, tapi hanya sedikit bergeser dari posisi setimbangnya mengakibatkan terciptanya *ionic conduction* dan *dipolar rotation*. Oleh karena pengutuban dielektrik, muatan positif bergerak menuju kutub negatif medan listrik, sedang muatan negatif bergerak pada arah berlawanan. Contoh dari molekul dielektrik adalah air, alkohol, asam lemak, gula. Air merupakan molekul dielektrik yang terdiri dari ion H^+ dan ion O^{2-} seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konfigurasi Molekul Dielektrik Air.
Sumber : Veera Gnaneswar Gede et al (2013:2)

2.5.2 Pemanasan Dielektrik.

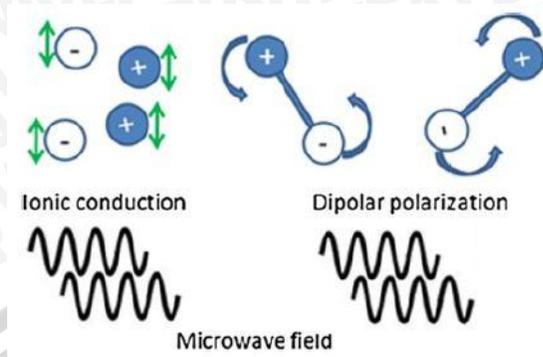
Pada reaksi kimia, energi termal merupakan salah satu sumber energi reaksi yang umum digunakan. Pemanasan dapat dilakukan secara konvensional atau dengan cara alternatif. Secara konvensional energi reaksi didapatkan melalui proses perpindahan panas melalui konduksi dan konveksi dari luar seperti pada gambar 2.7 Panas dialirkan kedalam substansi melalui dinding wadah substansi kemudian sampai pada reaktan. Metode pemanasan seperti ini tidak efisien dan lambat karena bergantung pada konduktivitas termal bahan wadah dan substansi itu sendiri. Panas pada permukaan wadah pemanas akan lebih besar dibandingkan dengan panas pada substansi sampai reaksi tersebut mencapai kesetimbangan. Proses ini membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga tidak efisien. Salah satu cara pemanasan alternatif adalah pemanasan dielektrik. Metode yang digunakan pada pemanasan dielektrik dengan gelombang mikro adalah mekanisme *dipole rotation* dan *ionic conduction*.



Gambar 2.7 Perbandingan Pemanasan Konvensional dan Gelombang Mikro

Sumber : Veera Gnaneswar Gede et al (2013:3)

Dipole rotation adalah reaksi molekul melekul dipolar saat terkena radiasi gelombang mikro, dimana molekul dipolar tersebut tereksitasi atau mensejajarkan diri dengan medan listrik dan magnet dari gelombang dengan cepat. Pada gambar 2.8 dapat dilihat pergerakan tersebut menghasilkan gesekan yang cepat antara molekul bermuatan. Gesekan dan tumbukan antara molekul ini yang dinamakan *ionic conduction* dan menghasilkan panas dengan cepat.



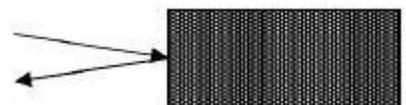
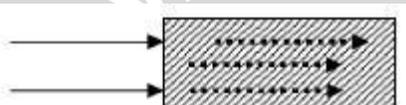
Gambar 2.8 Mekanisme *Ionic Conduction* dan *Dipolar Rotation*.
Sumber : Veera Gnaneswar Gede et al (2013:4)

Keunggulan utama dalam metode pemanasan dielektrik dengan gelombang mikro adalah pada kecepatan pemanasannya sehingga mengurangi waktu reaksi. Pemanasan dielektrik dapat diterapkan pada proses transesterifikasi biodiesel, sehingga menyebabkan penurunan waktu reaksi dan peningkatan jumlah metil ester yang dihasilkan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas dari proses pemanasan dielektrik dengan gelombang mikro yaitu,

1. Respon Material

Setiap material mempunyai respon yang berbeda terhadap radiasi gelombang mikro yang dapat dilihat pada tabel 2.4. Tidak semua bahan dapat mengalami pemanasan dengan gelombang mikro karena pemanasan gelombang mikro hanya akan bekerja pada molekul dielektrik. Berdasarkan respon tersebut, material dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu konduktor (*reflector*), isolator (*transparent*) dan dielektrik (*absorber*). Gelombang mikro akan melewati material isolator tanpa terjadi pemanasan, sedangkan gelombang mikro akan dipantulkan oleh material konduktor. Pemanasan dengan gelombang mikro hanya terjadi pada material dielektrik, karena tersusun oleh molekul – molekul dipolar. Salah satu contoh material dielektrik adalah asam lemak atau trigliserida yang merupakan komponen penyusun minyak nabati, oleh karena itu pemanasan dielektrik dapat digunakan untuk proses reaksi dengan bahan minyak nabati.

Tabel 2.4 Jenis Respon Material Terhadap Radiasi Gelombang Mikro

Respon Material	Penetrasi	Contoh
 <p><i>Transparent</i></p>	<p><i>Total Transmission</i> (No Heat)</p>	<p>Plastik, Kaca.</p>
 <p><i>Conductor</i></p>	<p><i>Reflected</i> (No Heat)</p>	<p>Besi, Alumunium</p>
 <p><i>Dielektrik</i></p>	<p><i>Partial to Total Absorption</i> (Heating)</p>	<p>Air, Lemak dan Gula</p>

Sumber : Zhiwei Peng (2012:29)

2. *Dielectric Loss Factor*

Tidak semua bahan dapat dipanaskan menggunakan gelombang mikro, karena hanya bahan yang terdiri dari molekul – molekul dipolar yang akan terpengaruh efek radiasi gelombang mikro. *Dielectric Loss Factor* (ϵ'') didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk dapat dipanaskan dengan radiasi gelombang mikro, hal ini dipengaruhi oleh dua factor yaitu, *dielectric constant* (ϵ') yang didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu material untuk dapat mengalami polarisasi molekul karena radiasi gelombang elektromagnetik (gelombang mikro) dan *tangent loss* (δ) adalah kemampuan dari suatu material untuk dapat menyerap energi dari radiasi gelombang elektromagnetik (gelombang mikro). Hubungan dari ketiganya dapat dituliskan pada persamaan 2-2 sebagai berikut,

$$\epsilon'' = \epsilon' \cdot \delta \quad (\text{Brittany L. Hayes, 2002:30}) \quad (2-2)$$

Dimana:

$\epsilon'' = \text{Dielectric Loss Factor}$

$\epsilon' = \text{Dielectric constant}$

$\delta = \text{Tangent loss}$

Dielectric Loss Factor bukan merupakan suatu besaran yang nilainya tetap seperti pada tabel 2.5, ada beberapa hal yang mempengaruhi besarnya kemampuan suatu material untuk dapat dipanaskan dengan gelombang mikro, seperti suhu, frekuensi gelombang mikro dan daya gelombang mikro. Pada suhu dan frekuensi gelombang yang tetap, *Dielectric Loss Factor* suatu material akan dipengaruhi oleh daya gelombang mikro. Hal ini menyebabkan penambahan daya akan meningkatkan kemampuan suatu benda untuk dapat dipanaskan dengan gelombang mikro. Berikut adalah contoh nilai *Dielectric constant* beberapa material.

Tabel 2.5 *Dielectric constant* Larutan

Solvents	Dielectric constants	Solvents	Dielectric constants
Sulphuric acid (H ₂ SO ₄)	110	Pyridine (C ₅ H ₅ N)	12.5
Formamide (HCONH ₂)	109	Dichloroethane (ClCH ₂ CH ₂ Cl)	10.65
Water (H ₂ O)	80.4	Acetic acid (CH ₃ COOH)	6.15
Formic acid (HCOOH)	57.9	Chlorobenzene (C ₆ H ₅ Cl)	5.71
Methanol (CH ₃ OH)	33.6	Trichloromethane (CHCl ₃)	5.00
Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	25.1	Benzene (C ₆ H ₆)	2.28
Acetone (CH ₃ COCH ₃)	21.2	Tetrachloromethane (CCl ₄)	2.24
Acetic anhydride [(CH ₃ CO) ₂ O]	20.0	n-hexane (n-C ₆ H ₁₄)	1.89
Butanol (C ₄ H ₉ OH)	17.8		

Sumber : Brittany L. Hayes (2002:132)

3. Daya Dissipasi

Daya dissipasi adalah fenomena berpindahnya energi yang dibawa oleh gelombang mikro yang akan diserap oleh suatu material dielektrik sehingga terjadi pemanasan. Energi pada gelombang mikro ditransferkan melalui interaksi antara molekul dielektrik dengan medan elektromagnetik. Energi yang dibawa oleh gelombang mikro akan menyebabkan gaya eksitasi molekul sesuai dengan medan elektromagnetiknya dan menghasilkan panas. Besarnya energi yang berpindah atau diserap objek dielektrik dapat dituliskan pada persamaan 2-3 sebagai berikut,

$$P = 2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon'' \cdot |E|^2 \quad (\text{Zhiwei Peng, 2012:38}) \quad (2-3)$$

Dimana:

P = Daya Dissipasi (W/m^3)

ϵ_0 = *Permittivity constant* = 8.86×10^{-12} (F/m)

ϵ'' = *Dielectric Loss Factor*

E = Kuat medan elektromagnetik (V/m)

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa daya yang dibutuhkan pada pemanasan dielektrik dengan gelombang mikro dipengaruhi oleh *dielectric loss factor* dari material dan besar kuat medan elektromagnetik. Pada peralatan *microwave oven* dengan frekuensi 2450 Hz, kuat medan elektromagnetiknya adalah sebesar 2000 V/m. Persamaan diatas juga menjelaskan hubungan daya yang dibawa oleh radiasi gelombang mikro terhadap kecepatan pemanasan, karena besarnya daya akan mempengaruhi *dielectric loss factor* kemampuan suatu material untuk dapat dipanaskan dengan gelombang mikro. Dalam reaksi transesterifikasi dengan gelombang mikro, penambahan daya akan meningkatkan kecepatan pemanasan suatu material sehingga akan meningkatkan reaksi antara asam lemak dan alkohol sehingga mengurangi waktu reaksi dan meningkatkan jumlah metil ester yang dihasilkan.

2.6 Sifat Fisik Biodiesel

Sifat fisik biodiesel perlu diketahui untuk menilai kelayakan pengganti bahan bakar solar. Reaksi transestrifikasi dengan pemanasan dilektrik akan meningkatkan jumlah metil ester yang dihasilkan, semakin banyak jumlah metil ester yang dihasilkan maka nilai sifat fisik akan semakin mendekati nilai sifat fisik yang telah distandarkan. Sehingga akan semakin meningkatkan kelayakan penggunaan biodiesel. Sifat fisik utama biodiesel yang berkaitan dengan kualitas pembakaran mesin diesel antara lain adalah massa jenis, viskositas, temperatur titik nyala, nilai kalor, dan indeks setana.

1. Massa Jenis

Massa jenis merupakan suatu perbandingan antara jumlah massa suatu zat dengan suatu volume tertentu dari zat tertentu. Karakteristik ini berhubungan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Dimana semakin tinggi massa jenis suatu bahan bakar maka nilai kalorinya semakin rendah.

2. Viskositas Kinematik.

Viskositas kinematik suatu fluida merupakan suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu zat cair untuk mengalir. Viskositas tergantung pada suhu.. Pengukuran viskositas dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut viskometer.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor bahan bakar pada mesin diesel. Viskositas dari minyak diesel mempengaruhi bentuk pengabutan. Minyak diesel dengan viskositas terlalu rendah akan menghasilkan pengabutan yang halus sedangkan minyak diesel dengan viskositas yang besar akan menghasilkan pengabutan yang kasar. Viskositas pada biodiesel memiliki nilai yang lebih tinggi dari minyak solar.

3. Indeks Setana

Indeks setana ini merupakan pendekatan untuk nilai bilangan setana. Angka setana menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menyala sendiri (*auto ignition*). Skala untuk angka setana menggunakan referensi berupa

campuran untuk normal setana ($C_{16}H_{34}$) dan *alpha methyl naphthalene* ($C_{10}H_7CH_3$). Normal setana memiliki angka setana 100, sedangkan *alpha methyl naphthalene* memiliki angka setana 15. Angka setana suatu bahan bakar didefinisikan sebagai persentase volume dari normal setana terhadap campurannya tersebut. Angka setana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang lebih rendah, dan sebaliknya angka setana yang rendah menunjukkan bahan bakar tersebut butuh temperatur yang lebih tinggi untuk dapat menyala. Bahan bakar dengan temperatur penyalaan yang tinggi akan menyebabkan terjadinya kelambatan penyalaan sehingga menyebabkan detonasi atau *knocking*.

Secara umum, biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar.. Panjangnya rantai hidrokarbon yang terdapat pada ester (*fatty acid alkyl ester*) menyebabkan tingginya angka setana biodiesel dibandingkan dengan solar (Mittlebach, 2006). Indeks setana adalah nilai yang dapat ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan temperatur destilasi pada *recovery* 50% volume dan densitas minyak pada suhu 15°C. Besarnya indeks setana dapat dihitung dengan persamaan perhitungan indeks setana berikut ini:

$$CCI = 454,74 - 1641,416 D + 774,74 D^2 - 0,554 B + 97,803 (\log B)^2 \quad (\text{ASTM D976}) \quad (2 - 4)$$

Keterangan:

CCI = *Calculated Cetane Index* (perhitungan indeks setana)

D = Densitas pada 15°C (g/ml)

B = Temperatur berdasarkan destilasi pada *recovery* 50% volume (°C),

4. Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan karakteristik yang menunjukkan jumlah energi panas atau kalor yang terkandung dalam suatu massa atau volume bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna. Nilai kalor diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu nilai kalor tertinggi (*Higher Heating Value* / HHV) dan nilai

kalor rendah (*Lower Heating Value* / LHV). Nilai kalor tertinggi / HHV adalah panas pembakaran yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran dimana produk H_2O berada dalam fasa cair. Sedangkan nilai kalor terendah / LHV produk H_2O berada dalam fasa cair uap. Nilai kalor dapat diukur dengan *bomb calorimeter* dimana yang terukur adalah nilai kalor tertinggi (HHV), karena terjadi kondensasi air. Nilai kalor ini dinyatakan dalam kilo kalori per kilogram (kcal/kg). Nilai kalori suatu bahan bakar berhubungan dengan jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan.

5. Titik Nyala (*flash point temperature*)

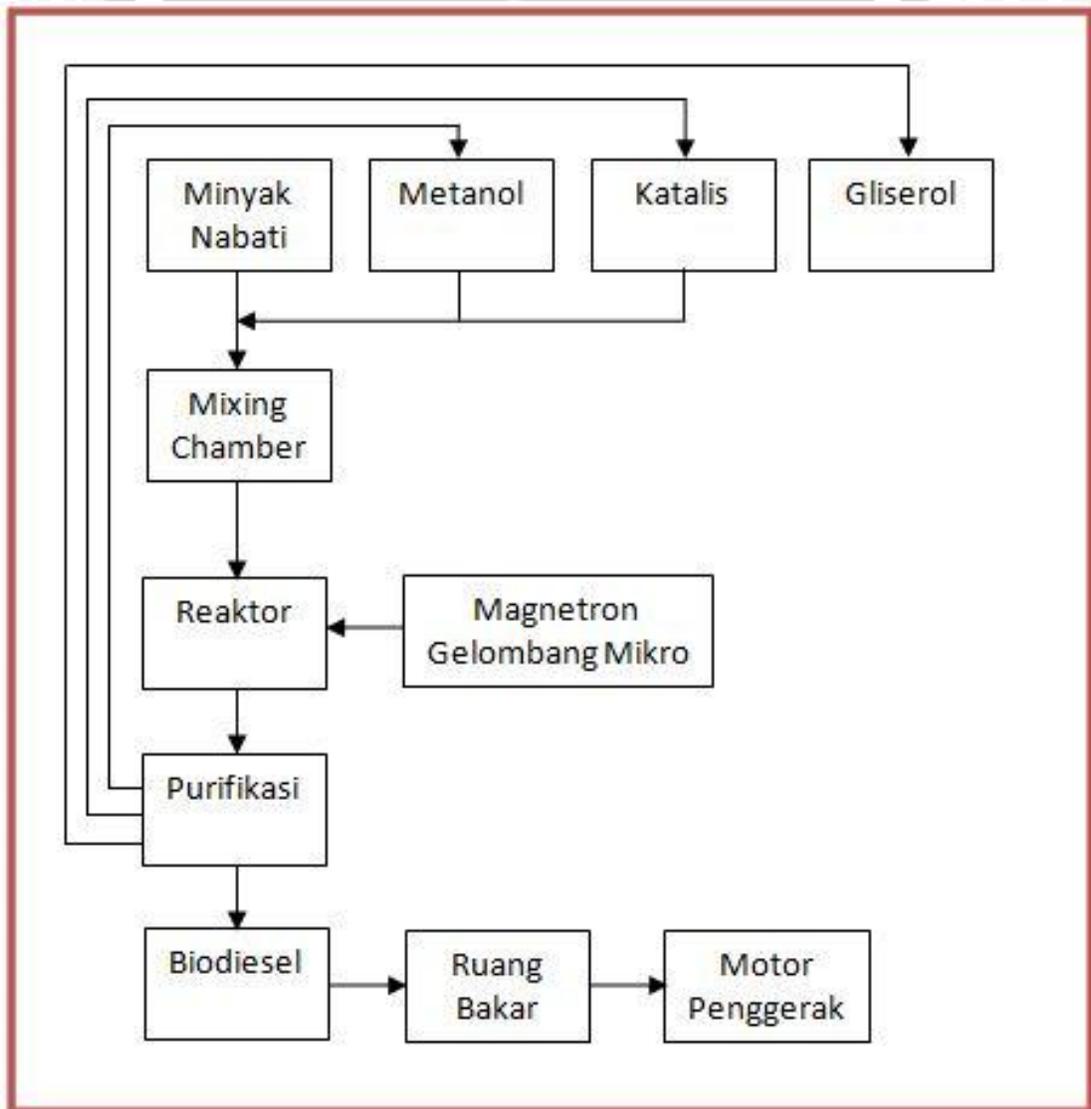
Titik nyala adalah temperatur terendah dimana suatu senyawa atau bahan mengeluarkan uap yang apabila tercampur dengan udara membentuk suatu campuran yang dapat menyala atau terbakar. Titik nyala dapat diukur dengan *flash point tester*, dimana bahan bakar uji akan dipanaskan sampai terbentuk uap dan dilakukan pemantikan sampai terjadi penyalaan api pada suhu tertentu. Suhu pada saat terjadi penyalaan itu merupakan temperatur titik nyala (*flash point temperature*). Titik nyala juga berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan mobilisasi bahan bakar, semakin tinggi titik nyala berarti semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan.

6. Kadar *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME)

Kadar FAME adalah karakteristik yang menyatakan jumlah kandungan jenis senyawa metil ester yang terkandung pada suatu biodiesel. Kadar FAME dapat diukur menggunakan alat uji komposisi *Gas Chromatography and Mass Spectrometry*, dimana akan diketahui jenis – jenis metil ester yang terkandung pada biodiesel melalui uji komposisi tersebut. Jumlah kandungan jenis senyawa metil ester yang terkandung akan mempengaruhi sifat fisik biodiesel tersebut dan dapat digunakan sebagai parameter dari metode transesterifikasi yang digunakan.

2.7 Sistem Aplikasi *Microwave Assisted Transesterification*

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak solar yang berasal dari bahan baku yang dapat diperbarui yaitu minyak nabati dan hewani. Melalui proses transesterifikasi asam lemak dari minyak nabati direaksikan dengan metanol membentuk alkil ester dan gliserol. Dengan menggunakan energi radiasi gelombang mikro, pembuatan biodiesel dapat dipercepat sehingga dapat langsung diaplikasikan ke sistem kendaraan bermotor. Sistemnya dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 2.9 Sistem Aplikasi Biodiesel Gelombang Mikro.

2.8 Hipotesa

Pada proses transesterifikasi minyak randu dengan gelombang mikro, trigliserida akan bereaksi dengan metanol dan menghasilkan ester (biodiesel). Penambahan daya akan meningkatkan kecepatan pemanasan suatu material sehingga akan mempercepat reaksi transfigurasi antara asam lemak dan alkohol menjadi alkil ester. Peningkatan kecepatan reaksi tersebut akan menyebabkan peningkatan jumlah ester yang dihasilkan. Peningkatan waktu reaksi transesterifikasi menggunakan gelombang mikro akan meningkatkan reaksi konversi antara asam lemak dan alkohol sehingga meningkatkan jumlah ester yang dihasilkan.

Penambahan daya dan lama waktu pemanasan pada proses transesterifikasi minyak biji randu akan mempengaruhi sifat fisik biodiesel yang dihasilkan, karena semakin banyak jumlah ester yang dihasilkan, akan menyebabkan nilai sifat fisik biodiesel yang semakin baik dan sesuai standar biodiesel.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan mengetahui pengaruh daya dan lama waktu penyinaran gelombang mikro pada transesterifikasi biodiesel minyak biji kapuk randu. Dari objek yang diteliti akan didapatkan data-data yang kemudian di plot dalam suatu grafik sehingga membentuk suatu pola kecenderungan tertentu yang nantinya dapat dibandingkan dan diambil suatu kesimpulan tentang objek yang diteliti.

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2014 sampai Desember 2014, bertempat di:

1. Laboratorium Motor Bakar Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Di laboratorium ini dilakukan proses pembuatan biodiesel dan pengujian sifat fisik yaitu berupa: nilai massa jenis, nilai viskositas kinematik, nilai kalor dan nilai titik nyala.
2. Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Di laboratorium ini dilakukan pengujian destilasi untuk mengetahui suhu pada *recovery* 50%. Suhu tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai indeks setana.
3. Laboratorium Unit Layanan Pengujian Fakultas Farmasi Universitas Airlangga. Di laboratorium ini dilakukan pengujian komposisi menggunakan *Gas Chromatography and Mass Spectrometry* untuk mengetahui kadar *fatty acid methyl ester* (FAME).

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sendiri oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas (*independent variable*) dari penelitian ini adalah:

- a. Variasi daya penyorotan: 140 dan 280 watt
- b. Variasi waktu penyorotan: 5, 10 dan 15 menit.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu: Nilai viskositas kinematik biodiesel, nilai massa jenis biodiesel, nilai kalor biodiesel, nilai titik nyala biodiesel, serta nilai Indeks setana dan kadar *fatty acid methyl ester* (FAME).

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dibuat konstan dalam suatu penelitian. Dalam penelitian ini parameter yang dijaga tetap selama pengujian adalah:

- a. Bahan untuk proses transesterifikasi yang digunakan adalah minyak biji randu hasil esterifikasi dengan volume 500 ml.
- b. Jenis proses yang digunakan adalah transesterifikasi dengan menggunakan gelombang mikro.
- c. Katalis yang digunakan adalah CaO, sebanyak 1% dari berat minyak biji randu hasil esterifikasi.
- d. Alkohol yang digunakan adalah metanol dengan perbandingan mol 3:1 dengan mol minyak randu hasil esterifikasi.
- e. Kecepatan putaran *mechanic stirrer* selama proses konstan.

3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.4.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. *Microwave oven*

Microwave oven pada gambar 3.1 digunakan sebagai reaktor penghasil gelombang mikro untuk meradiasi minyak biji kapuk randu yang akan diuji agar menghasilkan biodiesel.



Gambar 3.1 *Microwave Oven*

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk *microwave* : Meriton GP-PM-010659
- Kapasitas : Maksimal 17 liter
- *Power output* : Maksimal 700 watt
- Frekuensi Gelombang : 2450 Hz

2. Gelas Reaksi (*Beaker glass*)

Gelas Reaksi pada gambar 3.2 digunakan untuk mencampur minyak biji kapuk randu, katalis, dan metanol dan wadah reaksi



Gambar 3.2 Gelas Kimia (*Beaker glass*)

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : Herma
- Kapasitas : 500 ml dan 1000 ml.

3. Bomb kalorimeter

Bomb kalorimeter pada gambar 3.3 digunakan untuk mengukur nilai kalor bahan bakar, nilai kalor dinyatakan dalam satuan (kkal/kg)



Gambar 3.3 Bomb kalorimeter

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : PAAR
- Model : PAAR 1241
- Tahun : 1987
- Standar Pengujian : ASTM D4809

4. Viskometer

Viskometer pada gambar 3.4 digunakan untuk mengukur viskositas kinematik zat cair. satuan dari alat uji ini adalah centiStokes (cSt).



Gambar 3.4 Viskometer

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : LEYBOLD
- Model : Engler *Viscosity*
- Tahun : 1987
- Standar Pengujian : ASTM D1665

5. Hidrometer

Hidrometer pada gambar 3.5 digunakan untuk mengukur massa jenis bahan bakar yang dipakai.



Gambar 3.5 Hidrometer

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : Baume
- Kapasitas : 800-900 dan 900-1000 Kg/m³
- Ketelitian : 1 kg/m³
- Tahun : 2010
- Standar Pengujian : ASTM D1298

6. *Flash Point Tester*

Flash Point Tester pada gambar 3.6 digunakan untuk mengukur titik nyala bahan bakar. Satuan *Flash Point* dinyatakan dalam °C.



Gambar 3.6 *Flash Point Tester*

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : LEYBOLD
- Model : *Pensky-Martens Closed Cup*
- Ketelitian : 1 °C
- Tahun : 1987
- Standar Pengujian : ASTM D93

7. Termometer Digital

Termometer digital pada gambar 3.7 digunakan untuk mengukur temperatur reaksi transesterifikasi.



Gambar 3.7 Termometer digital

Sumber: Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : OMRON
- Model : E5CWL
- Tahun : 2013
- Kapasitas : 0-999°C
- Ketelitian : 1 °C
- Jenis Sensor : Termokopel tipe K

8. Alat Uji Destilasi

Alat pada gambar 3.8 ini berfungsi untuk untuk mengetahui suhu pada *recovery* 50%. Suhu tersebut nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai Indeks setana.



Gambar 3.8 Alat Uji Destilasi

Sumber: Laboratorium Operasi Teknik Kimia FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : M-TOPS
- Model : MS-E104
- Tahun : 2013
- Standar Pengujian : ASTM D86

9. Timbangan Digital

Timbangan digital pada gambar 3.9 ini digunakan untuk mengukur massa minyak dan massa katalis CaO agar sesuai dengan rencana penelitian.



Gambar 3.9 Timbangan Digital

Sumber: Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin FT-UB

Spesifikasi:

- Merk : CAMRY
- Model : EK5055
- Tahun : 2014
- Ketelitian : 1 gr
- Kapasitas : 5 kg.

10. *Gas Chromatography and Mass Spectrometry*

Gas Chromatography and Mass Spectrometry (GC-MS) pada gambar 3.10 merupakan instrumen pengujian komposisi untuk mengetahui jumlah kadar *fatty acid methyl ester* (FAME) dari biodiesel yang dihasilkan.



Gambar 3.10 *Gas Chromatography and Mass Spectrometry*

Sumber: Laboratorium Unit Layanan Pengujian Fakultas Farmasi UNAIR

Spesifikasi:

- Merk : AGILENT GC
- Model : Agilent 6980N
- Tahun : 2010
- Standar Pengujian : D1983

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah:

a. Minyak biji randu hasil esterifikasi

Minyak biji randu hasil esterifikasi yang digunakan sebanyak 500 ml tiap sampel. Minyak tersebut merupakan bahan utama untuk proses transesterifikasi untuk menghasilkan metil ester minyak biji randu.

b. Metanol

Metanol berfungsi sebagai reaktan yang bereaksi dengan minyak biji randu hasil esterifikasi. Sebelum bereaksi dengan minyak, metanol direaksikan dahulu dengan kalsium oksida (CaO). Metanol yang digunakan berkadar 95%. Perbandingan mol metanol yang digunakan adalah 3:1 dengan mol minyak biji kapuk randu hasil esterifikasi.

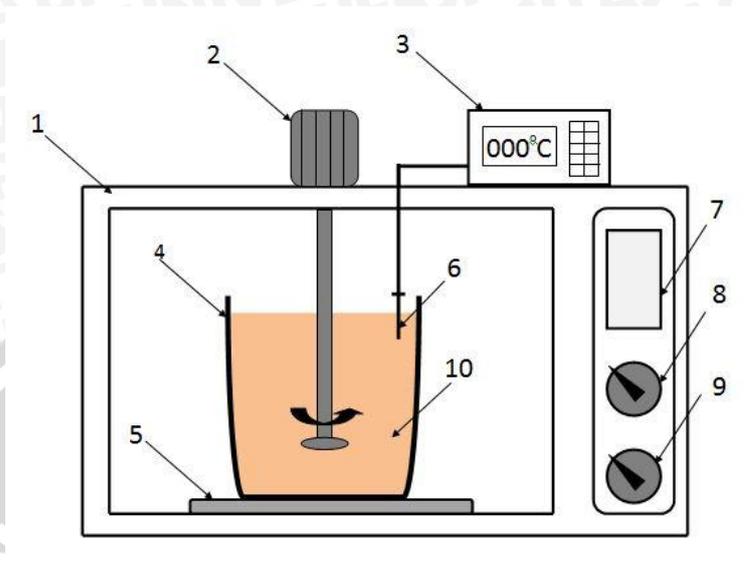
c. Kalsium Oksida (CaO)

CaO dalam penelitian ini digunakan sebagai katalis. Katalis basa yang dibutuhkan sebanyak 1% dari berat minyak biji kapuk randu hasil transesterifikasi.



3.5 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada skema di bawah ini :



Gambar 3.11 Skema Instalasi Penelitian

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Microwave Oven | 6. Sensor Termometer |
| 2. Mechanic Strirer | 7. Display |
| 3. Termometer Digital | 8. Tombol Pengatur Daya |
| 4. Gelas Reaksi | 9. Tombol Pengatur Waktu |
| 5. Spinning Plate | 10. Campuran Reaktan |

3.6 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data

1. Prosedur *treatment* awal dan *degumming* adalah sebagai berikut:
 - a. Melakukan penyaringan minyak randu murni untuk menghilangkan kotoran.
 - b. Mempersiapkan peralatan untuk proses *degumming*
 - c. Mencampur minyak biji kapuk murni dan katalis KOH 1% dari berat minyak dalam gelas ukur sampai campuran homogen.
 - d. Memanaskan campuran tersebut pada suhu 80°C.
 - e. Memisahkan antara minyak randu murni, kotoran yang mengendap dan getah yang sudah terpisah

2. Prosedur esterifikasi sebagai berikut:

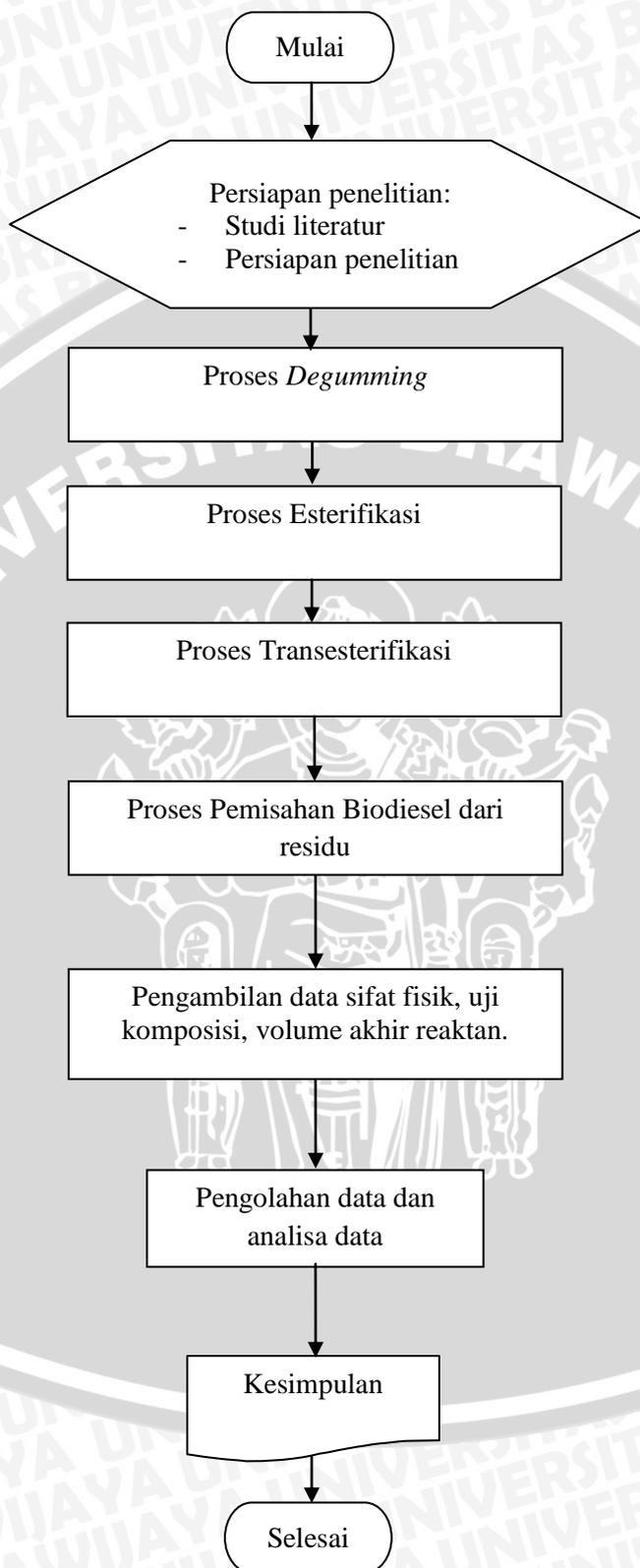
- a. Mempersiapkan semua instalasi peralatan dan memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik.
- b. Mengukur dan menimbang minyak biji kapuk randu hasil *degumming*, katalis, dan metanol.
- c. Mencampur minyak biji kapuk randu hasil esterifikasi, katalis (H_2SO_4), dan metanol dalam gelas ukur sampai campuran homogen.
- d. Memasukan bahan yang telah di campur ke dalam *microwave*.
- e. Mengatur daya pemanasan 140 watt dan waktu 5 menit.
- f. Menghidupkan *microwave* dan tunggu sampai waktu yang telah ditentukan.
- g. Mengeluarkan bahan uji dari dalam *microwave*.
- h. Memisahkan antara biodiesel dengan residu (gliserol, sisa metanol).

3. Prosedur transesterifikasi dan pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan semua instalasi peralatan dan memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik.
- b. Mengukur dan menimbang minyak biji kapuk randu hasil esterifikasi, katalis, dan metanol.
- c. Mencampur minyak biji kapuk randu hasil esterifikasi, katalis (CaO), dan metanol dalam gelas ukur sampai campuran homogen.
- d. Memasukan bahan yang telah di campur ke dalam *microwave*.
- e. Mengatur daya dan *timer microwave* sesuai variabel penelitian yang telah ditentukan.
- f. Menghidupkan *microwave* dan tunggu sampai waktu yang telah ditentukan.
- g. Mengeluarkan bahan uji dari dalam *microwave*.
- h. Memisahkan antara biodiesel dengan residu (gliserol, sisa metanol).
- i. Menghitung volume akhir minyak, gliserol dan sisa metanol
- j. Menguji karakterisasi dari biodiesel yang telah terpisah dari residu.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian kali ini dapat dilihat pada gambar berikut:



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Biodiesel Minyak Biji Randu.

Nilai sifat fisik biodiesel minyak randu yang diuji merupakan nilai sifat fisik utama biodiesel yang berkaitan dengan kualitas pembakaran mesin diesel seperti massa jenis, viskositas kinematik, temperatur titik nyala, nilai kalor, dan indeks setana.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu.

Massa Jenis (kg/m ³)	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	956	930	875	863	885	927
2	956	930	875	863	885	927
3	957	931	875	862	884	927
Σ	956	930	875	863	885	927

Tabel 4.2 Data hasil pengujian nilai viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu.

Viskositas Kinematik (cSt)	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	37,79	12,00	6,21	5,57	7,06	14,51
2	37,72	11,97	6,26	5,50	6,99	14,46
3	37,76	11,91	6,20	5,55	7,09	14,47
Σ	37,76	11,96	6,22	5,54	7,05	14,48

Tabel 4.3 Data hasil pengujian nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu.

Indeks Setana	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	33	38	51	55	49	39
2	33	38	51	55	49	39
3	33	38	51	55	49	39
Σ	33	38	51	55	49	39

Tabel 4.4 Data hasil pengujian nilai kalor biodiesel minyak biji randu.

Nilai Kalor (kkal/kg)	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	8254	8639	9675	9806	9390	8615
2	8263	8635	9669	9810	9382	8620
3	8260	8628	9678	9799	9385	8614
Σ	8259	8634	9674	9805	9386	8616

Tabel 4.5 Data hasil pengujian nilai titik nyala biodiesel minyak biji randu.

Titik Nyala (°C)	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	193	172	168	151	162	173
2	191	177	161	156	158	170
3	188	172	171	155	161	171
Σ	190	173	167	154	160	171

Tabel 4.6 Data volume akhir reaktan setelah proses transesterifikasi.

Reaktan	Volume Akhir Reaktan (ml)						Volume Awal Reaktan (ml)
	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt			
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit	
Minyak (metil ester & trigliserida)	498	497	496	496	497	494	500
Gliserol	38	38	40	43	41	40	0
Metanol	33	32	30	27	0	0	71
Total	569	567	566	566	538	534	571

Tabel 4.7 Data suhu akhir reaksi transesterifikasi & nilai pH biodiesel minyak biji randu

Daya (Watt)	Waktu (Menit)	Suhu Akhir (°C)	pH
140	5	42	7
	10	55	7
	15	62	7
280	5	65	7
	10	78	7
	15	93	7

4.2 Hasil Pengujian Komposisi Biodiesel Minyak Biji Randu.

Pengujian komposisi biodiesel minyak biji randu menggunakan *Gas Chromatography and Mass Spectrometry* untuk mengetahui jumlah senyawa metil ester dalam biodiesel minyak biji randu. Pengujian dilakukan menggunakan 3 sampel berdasarkan perbedaan suhu akhir reaksi proses transesterifikasi, yaitu pada suhu akhir reaksi 42°C, 65°C, 93°C. Sampel tersebut diambil berdasarkan kondisi suhu akhir proses, yaitu dibawah suhu optimal, pada saat suhu optimal dan diatas suhu optimal proses transesterifikasi. Suhu optimal untuk proses transesterifikasi adalah 60 -70°C.

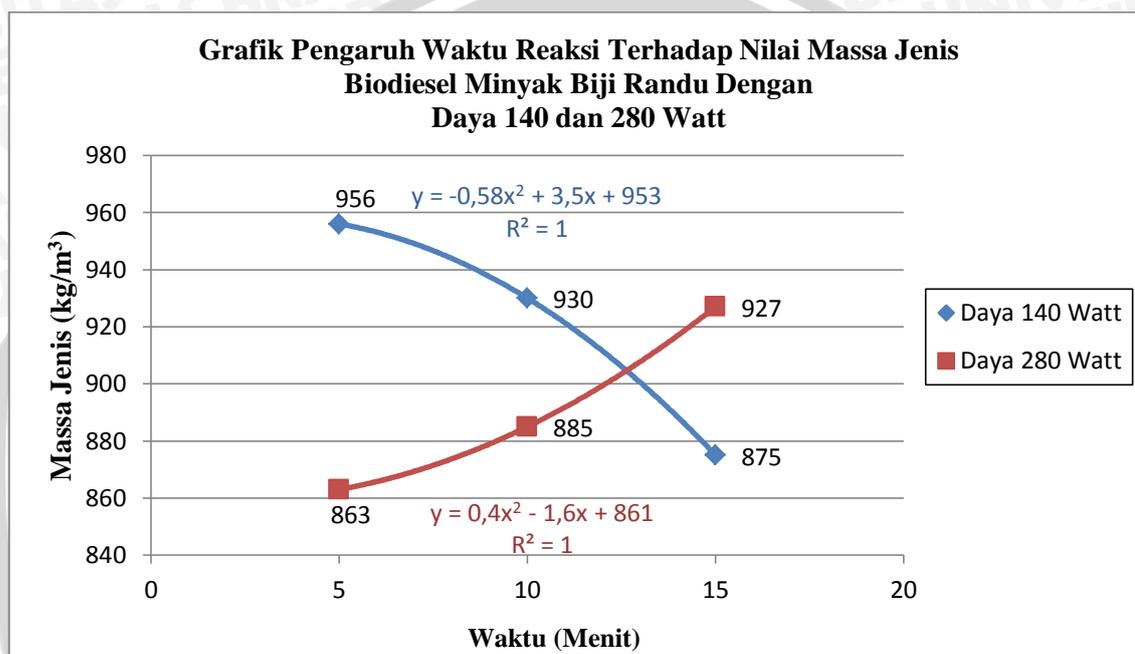
Tabel 4.8 Data hasil pengujian GC-MS Biodiesel minyak biji randu

Nama Metil Ester	Rumus Molekul	Jumlah (%)		
		42 °C	65 °C	93 °C
Asam metil palmitoleat	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0.32	0.61	0.541
Asam metil 8, 11-oktadekadienoat	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	35.316	28.871	30.854
Asam metil oleat	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	33.014	44.208	41.077
Asam metil stearat	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	5.514	8.679	7.47
Asam metil 11-oktadekenoat	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	2.453	2.032	1.268
Total Senyawa Metil Ester		76.617	84.4	81.21

4.3 Analisa Data dan Pembahasan

4.3.1 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Nilai Massa Jenis Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu dengan proses transesterifikasi menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.1 berikut,



Gambar 4.1 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu.

Grafik pada gambar 4.1 menjelaskan pengaruh hubungan antara lama waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu melalui proses transesterifikasi dengan gelombang mikro. Pada daya penyinaran 140 watt, nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu mengalami penurunan dengan penambahan waktu reaksi. Pada waktu reaksi 5 menit nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan yaitu 956 kg/m³ kemudian mengalami penurunan pada penambahan waktu reaksi 10 menit dan 15 menit menjadi 930 kg/m³ dan 875 kg/m³. Hal ini menunjukkan pada daya penyinaran 140 watt penambahan waktu reaksi akan menurunkan nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan. Pada daya penyinaran 280 watt, nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu reaksi. Pada waktu reaksi 5 menit nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan sebesar 863 kg/m³ dan mengalami peningkatan nilai pada penambahan waktu reaksi 10 menit

dan 15 menit menjadi 885 kg/m^3 dan 927 kg/m^3 . Hal ini menunjukkan pada daya 280 watt, nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan akan meningkat seiring penambahan waktu reaksi.

Pada proses transesterifikasi dengan daya 140 watt, nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan mengalami penurunan mendekati nilai standar massa jenis untuk biodiesel seiring penambahan waktu reaksi, hal ini disebabkan karena peningkatan waktu reaksi pada daya yang konstan akan menyebabkan peningkatan jumlah reaksi konversi antara asam lemak (trigliserida) dengan metanol sehingga meningkatkan hasil senyawa alkil ester (biodiesel) yang dihasilkan, peningkatan jumlah senyawa alkil ester yang dihasilkan akan meningkatkan kualitas biodiesel. Hal ini dapat dilihat pada proses transesterifikasi dengan waktu reaksi 15 menit nilai biodiesel yang dihasilkan yaitu 875 kg/m^3 dimana sesuai dengan standar biodiesel SNI yaitu berkisar $850\text{-}890 \text{ kg/m}^3$.

Sedangkan pada reaksi transesterifikasi pada daya 280 watt, penambahan waktu reaksi menyebabkan peningkatan nilai massa jenis biodiesel yang semakin menjauh dari nilai standar massa jenis untuk biodiesel. Hal ini disebabkan pada daya 280 watt, peningkatan daya yang diberikan akan meningkatkan daya dissipasi reaktan, sehingga meningkatkan kecepatan pemanasan pada proses transesterifikasi. Peningkatan kecepatan pemanasan ini akan meningkatkan suhu reaksi pada proses transesterifikasi, sehingga seiring dengan penambahan waktu reaksi, suhu reaksi juga akan semakin meningkat. Suhu optimal reaksi transesterifikasi berkisar $60\text{-}70 \text{ }^\circ\text{C}$. Peningkatan suhu reaksi yang berlebih akan menyebabkan penguapan metanol sehingga menurunkan kandungan metanol pada reaktan, penurunan ini akan menyebabkan berkurangnya reaksi konversi antara asam lemak dan metanol, sehingga jumlah alkil ester yang dihasilkan akan berkurang dan menyebabkan penurunan kualitas biodiesel. Hal ini dapat dilihat pada reaksi transesterifikasi dengan waktu 5 menit, suhu reaksi akhir yang dicapai adalah 65°C sehingga jumlah senyawa alkil ester yang dihasilkan optimal dan menyebabkan nilai massa jenisnya sesuai standar yaitu 863 kg/m^3 . Sedangkan pada reaksi dengan waktu 10 dan 15 menit, suhu akhir reaksi adalah 78°C dan 93°C . Peningkatan suhu reaksi karena efek peningkatan kecepatan pemanasan ini menyebabkan penurunan kualitas nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan yaitu, 885 kg/m^3 dan 927 kg/m^3 .

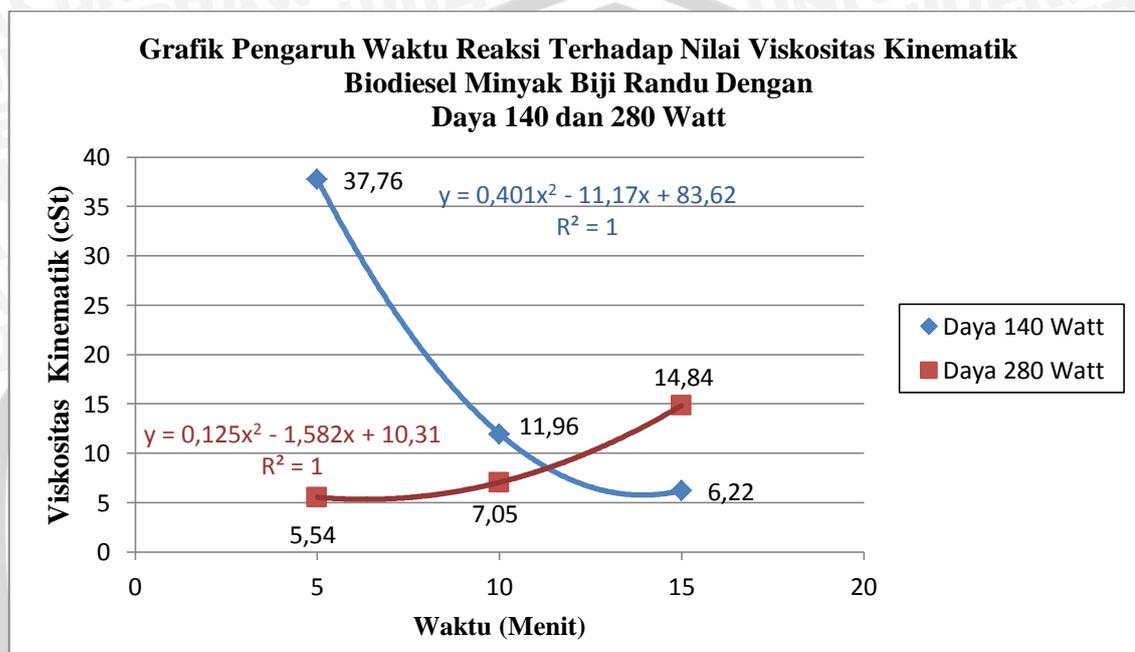
Pada grafik pada gambar 4.1 diatas dapat diketahui bahwa penambahan daya penyinaran gelombang mikro pada proses pembuatan biodiesel mempengaruhi nilai massa jenis yang dihasilkan. Pada proses transesterifikasi dengan daya 140 watt, nilai

massa jenis biodiesel yang sesuai dengan standar SNI didapatkan pada proses dengan waktu reaksi 15 menit, yaitu 875 kg/m^3 sedangkan untuk waktu reaksi 5 dan 10 menit, nilai massa jenis biodiesel yang didapatkan diatas standar SNI yaitu 956 kg/m^3 dan 930 kg/m^3 . Pada daya peninaran 280 watt, nilai massa jenis biodiesel yang sesuai standar diperoleh pada waktu reaksi 5 menit dan 10 menit, yaitu 863 kg/m^3 dan 885 kg/m^3 sedangkan pada waktu reaksi 15 menit nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan diatas standar SNI yaitu 927 kg/m^3 . Hal ini disebabkan pada daya 140 watt, untuk waktu reaksi 5 dan 10 menit, daya yang diberikan untuk mereaksikan asam lemak (trigliserida) dan metanol belum optimal sehingga kadar alkil ester (biodiesel) yang dihasilkan sedikit sehingga nilai massa jenisnya tidak sesuai dengan standar, akan tetapi pada waktu reaksi 15 menit, daya yang diberikan cukup untuk menghasilkan alkil ester yang optimal. Hal ini dapat juga dilihat dari besarnya suhu reaksi proses, pada daya 140 watt suhu akhir reaksi untuk waktu 5 dan 10 menit adalah berkisar 42°C dan 55°C sedangkan untuk waktu reaksi 15 menit suhu akhir proses adalah 62°C sehingga alkil ester yang dihasilkan dapat optimal sehingga nilai massa jenis yang didapat sesuai standar. Sedangkan pada reaksi dengan daya peninaran 280 watt, untuk waktu reaksi 5 dan 10 menit, daya yang diberikan dapat digunakan secara optimal untuk mereaksikan asam lemak dan metanol sehingga didapatkan perolehan alkil ester yang optimal, sehingga nilai massa jenisnya sesuai standar sedangkan pada peningkatan waktu reaksi 15 menit, nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan tidak sesuai standar, hal ini dikarenakan pada waktu reaksi 15 menit suhu reaksi meningkat mencapai 93°C yang menyebabkan penguapan metanol sehingga kadarnya berkurang, sehingga reaksi antara asam lemak dan metanol tidak optimal, hal ini menyebabkan penurunan kadar alkil ester yang dihasilkan sehingga nilai massa jenisnya meningkat. Hal ini dapat juga dilihat dari jumlah senyawa metil ester yang dihasilkan pada pengujian komposisi, dapat dilihat perolehan yang paling optimal yaitu 84,4% yang terjadi pada suhu akhir reaksi 65°C .

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa penambahan daya dan waktu reaksi mempengaruhi nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan, untuk nilai massa jenis biodiesel hasil reaksi transesterifikasi yang memenuhi nilai standar SNI untuk biodiesel didapatkan pada proses reaksi pada daya 140 watt dengan waktu reaksi 15 menit dan pada daya 280 watt dengan waktu reaksi 10 dan 15 menit.

4.3.2 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Nilai Viskositas Kinematik Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap nilai viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu dengan proses transesterifikasi menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.2 berikut,



Gambar 4.2 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu.

Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan pengaruh hubungan antara lama waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu melalui proses transesterifikasi dengan gelombang mikro. Pada daya penyinaran 140 watt, nilai viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu mengalami penurunan seiring meningkatnya waktu reaksi. Pada waktu reaksi 5 menit nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan yaitu 37,76 cSt kemudian mengalami penurunan pada penambahan waktu reaksi 10 menit dan 15 menit menjadi 11,96 cSt dan 6,22 cSt. Hal ini menjelaskan pada daya penyinaran 140 watt peningkatan waktu reaksi akan menurunkan nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan. Pada daya penyinaran 280 watt, nilai massa viskositas kinematik biodiesel minyak biji randu mengalami peningkatan seiring dengan penambahan waktu reaksi. Pada waktu reaksi 5 menit nilai viskositas kinematik biodiesel yang didapatkan sebesar 5,54 cSt dan mengalami peningkatan nilai pada penambahan waktu reaksi 10 menit dan 15 menit menjadi 7,05

cSt dan 14,84 cSt. Hal ini menunjukkan pada daya 280 watt, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan akan meningkat seiring penambahan waktu reaksi.

Pada proses reaksi dengan daya 140 watt, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan mengalami penurunan mendekati nilai standar viskositas kinematik untuk biodiesel seiring peningkatan waktu reaksi, hal ini disebabkan karena meningkatnya waktu reaksi akan mengakibatkan peningkatan reaksi konversi antara asam lemak (trigliserida) dengan metanol sehingga hasil senyawa alkil ester (biodiesel) yang dihasilkan akan meningkat, peningkatan jumlah senyawa alkil ester ini akan meningkatkan kualitas biodiesel. Hal ini dapat dilihat pada proses transesterifikasi dengan waktu reaksi 15 menit nilai biodiesel yang dihasilkan yaitu 6,22 cSt dimana mendekati nilai standar biodiesel SNI yaitu berkisar 2,3 – 6 cSt.

Sedangkan pada reaksi transesterifikasi dengan daya 280 watt, penambahan waktu reaksi menyebabkan penurunan kualitas nilai viskositas kinematik biodiesel yang semakin menjauh dari nilai standar viskositas kinematik untuk biodiesel. Hal ini disebabkan pada daya 280 watt, peningkatan daya akan menyebabkan kemampuan suatu material untuk dapat dipanaskan dengan gelombang mikro. Peningkatan kemampuan untuk dapat dipanaskan ini akan meningkatkan suhu reaksi proses, sehingga dengan penambahan waktu reaksi, suhu reaksi juga akan semakin meningkat. Suhu optimum untuk reaksi transesterifikasi berkisar 60-70 °C. Dengan meningkatnya suhu reaksi akan mengakibatkan sebagian metanol pada reaktan akan menguap sehingga kadarnya berkurang, penurunan kadar ini akan mengakibatkan penurunan reaksi antara asam lemak dan metanol, sehingga jumlah alkil ester yang dihasilkan akan berkurang dan menyebabkan penurunan kualitas biodiesel. Hal ini terlihat pada reaksi dengan waktu 5 menit, suhu reaksi akhir yang dicapai adalah 62 °C sedangkan pada waktu reaksi 10 dan 15 menit suhu reaksi akhir yang dicapai berkisar 78 °C dan 93 °C. Sehingga nilai viskositas kinematik yang dihasilkan untuk waktu reaksi 5 menit sesuai standar nilai biodiesel SNI yaitu 5,54 cSt.

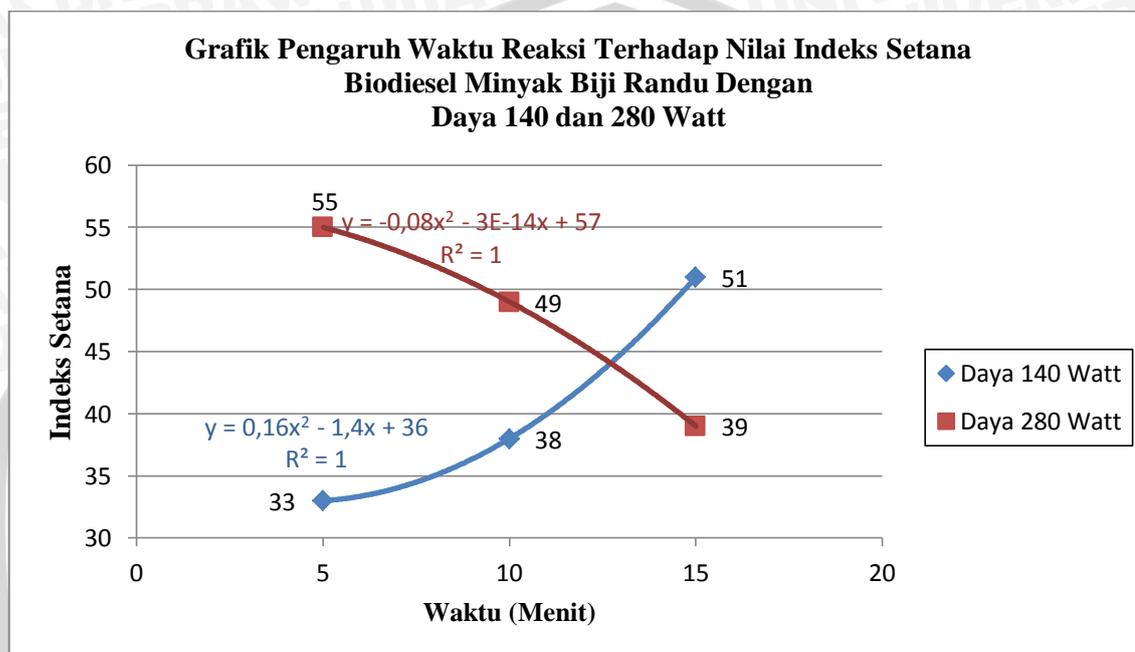
Pada grafik pada gambar 4.1 diatas juga dapat diketahui bahwa peningkatan daya penyinaran gelombang mikro pada proses pembuatan biodiesel berpengaruh pada nilai viskositas kinematik yang dihasilkan. Pada pembuatan biodiesel dengan daya 140 watt, nilai viskositas kinematik biodiesel yang didapatkan belum ada yang sesuai standar dimana nilai viskositas kinematik yang paling mendekati adalah pada waktu reaksi 15 menit yaitu 6,22 cSt. Pada daya penyinaran 280 watt, nilai viskositas kinematik biodiesel yang sesuai standar diperoleh pada waktu reaksi 5 menit, yaitu 5,54

cSt sedangkan pada waktu reaksi 10 dan 15 menit nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan diatas standar SNI. Hal ini dikarenakan pada daya 140 watt, daya yang diberikan untuk mengubah asam lemak (trigliserida) dan metanol belum optimal sehingga kadar alkil ester (biodiesel) yang didapatkan sedikit sehingga nilai viskositas kinematiknya tidak sesuai dengan standar. Hal ini juga disebabkan karena nilai viskositas dari minyak biji randu yang cukup tinggi (46-50 cSt) sehingga dibutuhkan proses *degumming* yang lebih baik agar setelah melalui proses transesterifikasi nilai viskositasnya dapat lebih baik. Sedangkan pada reaksi dengan daya penyinaran 280 watt, untuk waktu reaksi 5 daya yang diberikan dapat digunakan secara optimal untuk mereaksikan asam lemak dan metanol sehingga didapatkan perolehan alkil ester yang lebih baik, sehingga nilai viskositas kinematiknya sesuai standar sedangkan pada peningkatan waktu reaksi 10 dan 15 menit, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan tidak sesuai standar, hal ini dikarenakan pada waktu reaksi 10 dan 15 menit suhu reaksi meningkat mencapai 78 °C dan 93 °C yang menyebabkan sebagian metanol menguap sehingga kadarnya berkurang, sehingga reaksi antara asam lemak dan metanol tidak optimal, hal ini menyebabkan penurunan kadar alkil ester yang dihasilkan sehingga nilai viskositas kinematiknya meningkat. Hal ini dapat dibuktikan pada pengujian komposisi dimana jumlah metil ester pada suhu akhir reaksi mengalami penurunan menjadi 81,21% pada suhu akhir reaksi 93%.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa penambahan daya dan waktu reaksi mempengaruhi nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan, untuk nilai viskositas kinematik biodiesel hasil reaksi transesterifikasi yang memenuhi nilai standar SNI untuk biodiesel didapatkan pada proses reaksi pada daya 280 watt dengan waktu reaksi 5 menit.

4.3.3 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Nilai Indeks Setana Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu dengan proses transesterifikasi menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.3 berikut,



Gambar 4.3 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu.

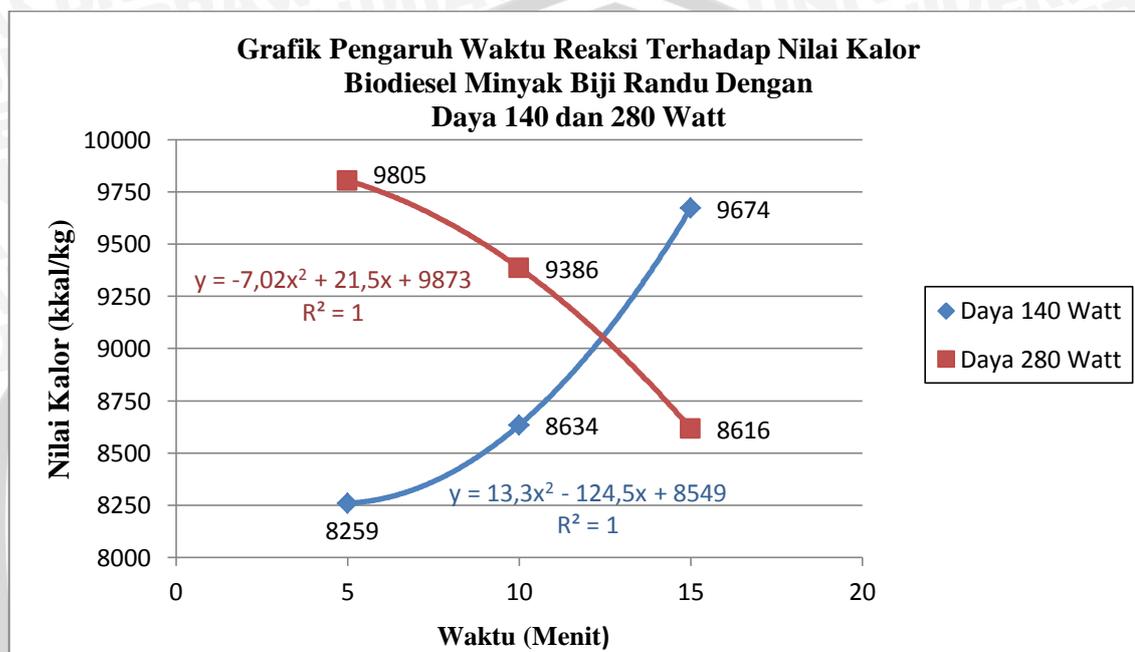
Grafik pada gambar 4.1 menjelaskan nilai indeks setana biodiesel hasil proses transesterifikasi minyak biji randu dengan penyinaran gelombang mikro dengan penambahan daya dan variasi waktu reaksi. Pada daya penyinaran 140 watt, nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu mengalami kenaikan dengan penambahan waktu reaksi. Pada waktu reaksi terendah yaitu 5 menit nilai indeks setana biodiesel yang dihasilkan yaitu 33, dan mengalami peningkatan pada penambahan waktu reaksi 10 menit dan 15 menit menjadi 38 dan 51. Hal ini menunjukkan pada daya penyinaran 140 watt penambahan waktu reaksi akan meningkatkan nilai indeks setana biodiesel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya waktu reaksi pada daya 140 watt, jumlah reaksi antara asam lemak (trigliserida) dengan metanol akan lebih optimal, sehingga hasil alkil ester yang didapat akan optimal dan juga pada daya 140 watt, kecepatan pemanasan yang terjadi pada reaksi rendah. Hal ini dapat dilihat pada suhu reaksi yang optimal terjadi pada reaksi pemanasan 15 menit, yaitu 62°C sedangkan pada

reaksi 5 dan 10 menit suhu reaksi akhir yang terjadi dibawah standar. Hal ini juga dapat dilihat pada perolehan metil ester pada pengujian komposisi biodiesel, pada suhu akhir reaksi 5 menit didapatkan perolehan metil ester yang dibawah perolehan pada suhu optimal yaitu 76,62%. Sedangkan pada daya penyinaran 280 watt, nilai massa indeks setana biodiesel minyak biji randu mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu reaksi, yaitu turun dari 55 pada waktu penyinaran 5 menit, kemudian menjadi 49 dan 39 pada waktu reaksi 10 dan 15 menit. Hal ini menunjukkan pada daya 280 watt, nilai indeks setana biodiesel yang dihasilkan akan menurun seiring penambahan waktu reaksi yang disebabkan pada daya 280 watt, peningkatan daya penyinaran akan meningkatkan kemampuan pemanasan reaktan sehingga suhu reaksi akan meningkat, suhu reaksi yang optimal pada proses transesterifikasi adalah sekitar 60-70 °C. Suhu reaksi akhir yang baik terjadi pada pemanasan dengan waktu 5 menit, yaitu berkisar 65 °C. Sedangkan pada suhu reaksi 10 dan 15 menit, suhu reaksi akhir proses yang tercapai diatas suhu optimal. Peningkatan suhu reaksi diatas batas optimal akan menyebabkan penguapan metanol yang menurunkan jumlah reaksi reaktan, sehingga kadar alkil ester nya menurun. Hal ini menyebabkan penurunan kualitas nilai indeks setana yang dihasilkan. Pada suhu akhir reaksi 65°C, didapatkan perolehan kadar metil ester yang paling optimal yaitu 84,4% kemudian turun menjadi 81,2% karena peningkatan suhu reaksi yang melebihi batas optimum.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa penambahan daya dan waktu reaksi mempengaruhi nilai indeks setana biodiesel yang dihasilkan, untuk nilai indeks setana biodiesel hasil reaksi transesterifikasi yang memenuhi nilai standar SNI untuk biodiesel didapatkan pada proses reaksi pada daya 140 watt dengan waktu reaksi 15 menit yaitu 51 dan pada daya 280 watt dengan waktu reaksi 5 menit yaitu 55. Jika dibandingkan dengan nilai setana solar yang berkisar 48, maka nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu hasil proses transesterifikasi lebih baik.

4.3.4 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Nilai Kalor Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap nilai indeks setana biodiesel minyak biji randu dengan proses transesterifikasi menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.4 berikut,



Gambar 4.4 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai kalor biodiesel minyak biji randu.

Grafik pada gambar 4.4 menjelaskan hubungan antara penambahan waktu reaksi proses transesterifikasi biodiesel minyak biji randu terhadap nilai kalor yang dihasilkan dengan daya penyinaran gelombang mikro sebesar 140 dan 280 watt. Pada daya penyinaran 140 watt, nilai kalor terendah yang dihasilkan yaitu 8259 kkal/kg pada waktu penyinaran 5 menit, kemudian nilai kalornya meningkat menjadi 8634 kkal/kg dan 8674 kkal/kg pada waktu penyinaran 10 dan 15 menit. Hal ini berkebalikan dengan proses transesterifikasi pada daya yang lebih tinggi, yaitu pada daya 280 watt. Pada waktu reaksi 5 menit, nilai kalor yang didapatkan adalah 9805 kkal/kg kemudian turun seiring penambahan waktu reaksi menjadi 9386 kkal/kg dan 8616 kkal/kg. Dari data tersebut dapat diketahui pada daya 140 watt, nilai kalor biodiesel yang dihasilkan mengalami kenaikan seiring penambahan waktu reaksi, dan berkebalikan pada daya 280 watt dimana nilai kalor biodiesel turun dengan peningkatan waktu reaksi.

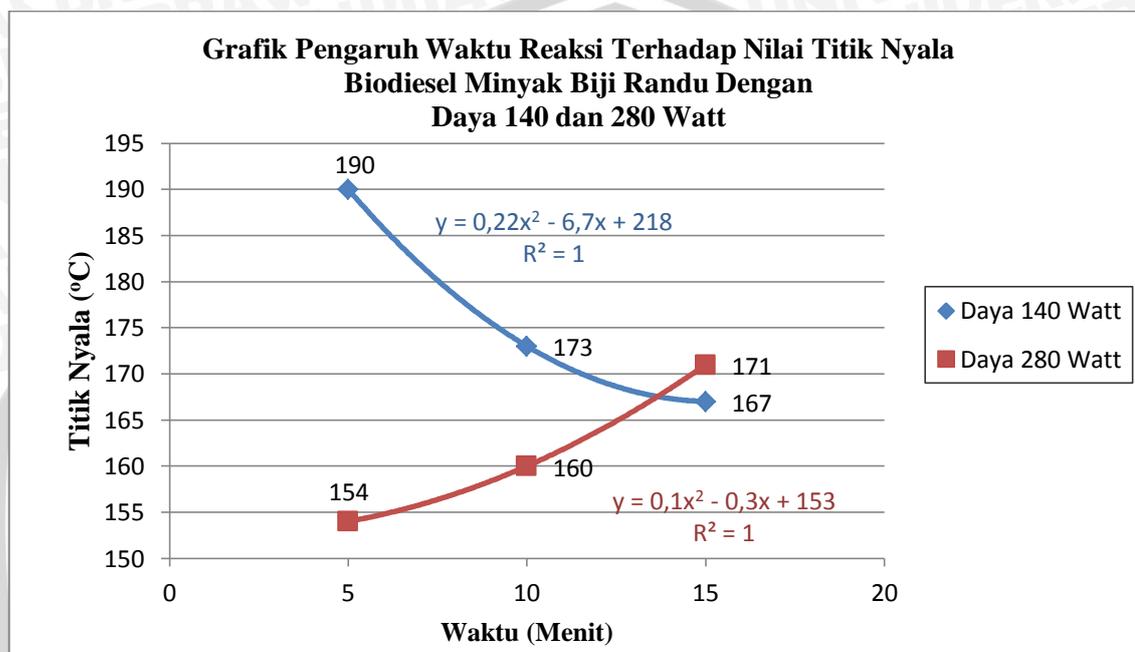
Dapat juga dilihat dari grafik diatas, penambahan daya berpengaruh pada nilai kalor biodiesel yang dihasilkan. Pada waktu reaksi 5 menit, nilai kalor yang dihasilkan pada daya 140 watt adalah 8259 kkal/kg sedangkan pada daya 280 watt nilai kalor yang dihasilkan lebih besar yaitu 9805 kkal/kg. Hal ini juga terjadi pada pemanasan dengan waktu reaksi 10 menit, dimana nilai kalor pada daya 280 watt lebih besar dari proses reaksi dengan daya 140 watt yaitu 9386 kkal/kg dan 8634 kkal/kg. Pada waktu reaksi 15 menit, pada daya 140 watt nilai kalor yang dicapai berbalik lebih besar dari nilai kalor hasil reaksi dengan daya 280 watt. Sehingga dapat diketahui pada daya 140 watt nilai kalor yang dihasilkan akan lebih kecil dibandingkan dengan daya penyinaran 280 watt pada waktu reaksi 5 dan 10 menit, akan tetapi pada peningkatan waktu reaksi 15 menit nilai kalor yang dihasilkan pada daya reaksi 140 watt menjadi lebih besar dari daya reaksi 280 watt.

Pada proses transesterifikasi dengan daya penyinaran 140 watt, nilai kalor yang dihasilkan mengalami peningkatan seiring kenaikan waktu reaksi. Sedangkan pada daya penyinaran 280 watt, nilai kalor cenderung turun. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan waktu reaksi pada daya 140 watt, jumlah reaksi antara asam lemak dan metanol perlahan meningkat sehingga alkil ester (biodiesel) yang dihasilkan akan juga meningkat. Sedangkan pada daya 280 watt, dengan adanya peningkatan daya reaksi kecepatan pemanasan dari reaktan juga akan meningkat, sehingga suhu reaksi proses akan meningkat lebih cepat. Peningkatan kecepatan pemanasan ini akan meningkatkan reaksi antara asam lemak dan metanol, akan tetapi dapat menurunkan kualitas reaksi jika suhu reaksi meningkat melebihi suhu optimal proses reaksi transesterifikasi. Hal ini menyebabkan pada daya 280 watt, penambahan waktu reaksi akan menurunkan nilai kalor biodiesel. Nilai kalor suatu bahan bakar juga dipengaruhi pada nilai massa jenis bahan bakar tersebut, semakin tinggi massa jenisnya nilai kalor yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini menjelaskan bahwa nilai massa jenis biodiesel minyak biji randu pada grafik 4.1 berkebalikan dengan grafik nilai kalornya.

Dari nilai kalor diatas dapat dilihat nilai terendah yaitu 8259 kkal/kg dan yang tertinggi adalah 9805 kkal/kg. Jika dibandingkan dengan nilai kalor solar yang berkisar 10100 – 10600 kkal/kg maka nilai kalor biodiesel masih dibawah nilai kalor solar. Hal ini merupakan salah satu kelemahan dari biodiesel dimana nilai kalornya lebih rendah sekitar 5-10% dibandingkan dengan solar, sehingga biodiesel akan menghasilkan energi pembakaran yang lebih rendah dari solar.

4.3.5 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Nilai Kalor Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap nilai titik nyala biodiesel minyak biji randu dengan proses transesterifikasi menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.5 berikut,



Gambar 4.5 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap nilai kalor biodiesel minyak biji randu.

Pengaruh penambahan daya dan waktu reaksi pada proses transesterifikasi biodiesel minyak biji randu dijelaskan pada gambar 4.5, dari grafik diatas diketahui bahwa pada daya 140 watt, penambahan waktu reaksi akan menurunkan nilai titik nyala biodiesel sedangkan pada penambahan daya 280 watt, nilai titik nyala dari biodiesel yang dihasilkan akan meningkat seiring penambahan waktu reaksi. Standar titik nyala untuk biodiesel berdasarkan standar SNI adalah diatas 100 °C, dari data diatas semua nilai titik nyala sudah sesuai standar. Pada daya 140 watt, nilai titik nyala tertinggi adalah 190 °C pada waktu reaksi 5 menit, kemudian turun menjadi 178 °C dan 167 °C pada penambahan waktu reaksi. Sedangkan pada daya 280 watt, titik nyala yang dihasilkan pada waktu reaksi 5 menit adalah 154 °C, sedangkan titik nyala pada penambahan waktu reaksi 10 dan 15 menit adalah 160 °C dan 171 °C.

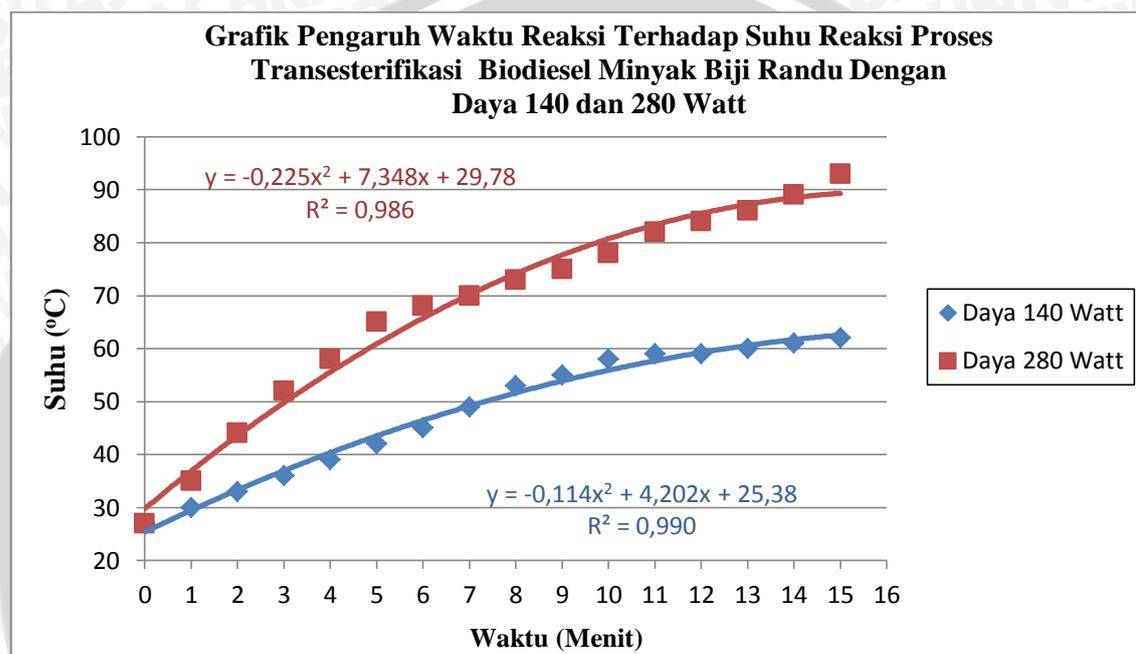
Dari grafik diatas dapat kita ketahui bahwa penurunan nilai titik nyala pada daya reaksi 140 watt dikarenakan semakin meningkatnya waktu reaksi akan meningkatkan

jumlah reaksi antara asam lemak dan biodiesel sehingga kadar alkil ester yang dihasilkan akan meningkat, peningkatan kadar alkil ester ini akan menurunkan nilai titik nyala biodiesel. Nilai titik nyala minyak biji randu adalah 235°C , oleh karena itu penurunan nilai titik nyala pada penambah daya tersebut mengindikasikan bahwa alkil ester yang dihasilkan semakin meningkat. Sedangkan pada daya 280 watt, pada waktu reaksi 5 menit nilai titik nyala yang dihasilkan adalah 154°C , hal ini menunjukkan dengan penambahan daya menjadi 280 watt, waktu reaksi yang dibutuhkan untuk mengubah asam lemak dan metanol menjadi alkil ester dapat dipersingkat. Hal ini dikarenakan dengan daya yang bertambah, kemampuan dari reaktan untuk dapat dipanaskan akan meningkat, sehingga kecepatan pembentukan alkil ester dari reaksi antara asam lemak dan metanol juga meningkat. Akan tetapi dengan bertambahnya waktu reaksi pada daya 280 watt, akan menurunkan titik nyala biodiesel. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya kecepatan pemanasan akan menyebabkan peningkatan suhu reaksi. Pada waktu reaksi 10 dan 15 menit, suhu reaksi akhir yang tercapai melebihi suhu optimal yang berkisar $60-70^{\circ}\text{C}$. Hal ini menyebabkan penguapan metanol, sehingga berkurangnya reaksi antara reaktan. Penurunan reaksi antara asam lemak dan metanol menyebabkan penurunan kadar alkil ester yang dihasilkan sehingga nilai titik nyalanya meningkat.

Dari data pada grafik 4.1 dapat disimpulkan, semua nilai titik nyala biodiesel yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar. Dari nilai titik nyala tersebut dapat diketahui dengan penambahan waktu reaksi dan daya akan mempengaruhi nilai titik nyala biodiesel yang dihasilkan.

4.3.6 Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Suhu Reaksi Proses Transesterifikasi Biodiesel Minyak Biji Randu Dengan Daya 140 Watt dan 280 Watt

Pengaruh waktu reaksi dan daya terhadap suhu reaksi proses transesterifikasi biodiesel minyak biji randu dengan menggunakan penyinaran gelombang mikro ditunjukkan seperti pada gambar 4.6 berikut,



Gambar 4.6 Grafik pengaruh waktu reaksi dan daya penyinaran terhadap suhu reaksi proses transesterifikasi biodiesel minyak biji randu.

Hubungan antara daya penyinaran dan waktu reaksi terhadap suhu reaksi proses transesterifikasi dijelaskan pada grafik 4.6 diatas. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pada daya 280 watt peningkatan suhu reaksi proses lebih besar dibandingkan dengan peningkatan suhu reaksi pada daya 140 watt. Hal ini disebabkan pada daya 280 watt, peningkatan daya yang diberikan oleh gelombang mikro akan meningkatkan kemampuan suatu material untuk dapat dipanaskan. Peningkatan ini akan menyebabkan peningkatan kecepatan pemanasan pada daya 280 watt, sehingga pada waktu reaksi 5 menit suhu yang dicapai mencapai 65°C , sedangkan pada daya 140 watt suhu tersebut dapat dicapai dengan waktu pemanasan 15 menit. Hal tersebut dapat menjelaskan pada daya 140 watt, penambahan waktu reaksi akan menyebabkan peningkatan kualitas biodiesel yang dihasilkan dikarenakan suhu reaksi meningkat sampai suhu reaksi optimal pada pemanasan dengan waktu reaksi 15 menit. Sedangkan pada daya 280 watt,

suhu reaksi yang optimal dapat dicapai pada waktu reaksi 5 menit dan terus meningkat yang menyebabkan penguapan metanol sehingga reaksi antara reaktan menurun. Penurunan ini menyebabkan penurunan kualitas biodiesel.

Dari data diatas dapat disimpulkan proses reaksi transesterifikasi dapat dilakukan dengan daya 140 dan 280 watt. Pada daya 140 watt reaksi transesterifikasi dapat berlangsung optimal dengan waktu pemanasan 13-15 menit, sedangkan pada peningkatan daya menjadi 280 watt, proses tersebut dapat dilakukan dengan kondisi yang optimal pada waktu reaksi 4-7 menit.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan waktu reaksi dan daya penyinaran pada proses transesterifikasi biodiesel minyak biji randu dengan gelombang mikro diperoleh kesimpulan sebagai berikut,

1. Dari hasil pengujian dan analisa data, dapat diketahui bahwa penambahan waktu reaksi dan daya penyinaran gelombang mikro mempengaruhi nilai sifat fisik biodiesel minyak biji randu yang dihasilkan.
2. Dari nilai sifat fisik biodiesel minyak biji randu yang dihasilkan diketahui pada daya penyinaran 140 watt, penambahan waktu reaksi akan meningkatkan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Sedangkan pada daya 280 watt, penambahan waktu reaksi akan menurunkan kualitas biodiesel yang dihasilkan.
3. Penambahan daya penyinaran gelombang mikro mempengaruhi nilai sifat fisik biodiesel yang dihasilkan. Pada daya penyinaran 140 watt, kualitas biodiesel terbaik didapatkan pada proses dengan waktu reaksi 15 menit dan meningkat pada daya penyinaran 280 watt dengan waktu reaksi 5 menit, kemudian nilai sifat fisiknya turun kembali dengan penambahan waktu reaksi.
4. Nilai sifat fisik biodiesel yang memenuhi standar nilai biodiesel SNI diperoleh pada proses transesterifikasi dengan daya penyinaran 280 watt, dan waktu reaksi 5 menit.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai proses esterifikasi dan transesterifikasi biodiesel dengan penambahan daya gelombang mikro pada suhu reaksi yang konstan.
2. Perlu dilakukan penambahan alat destilasi uap pada proses pembuatan biodiesel dengan penyinaran gelombang mikro untuk mengetahui kadar reaktan yang menguap dan tidak bereaksi.

DAFTAR PUSTAKA

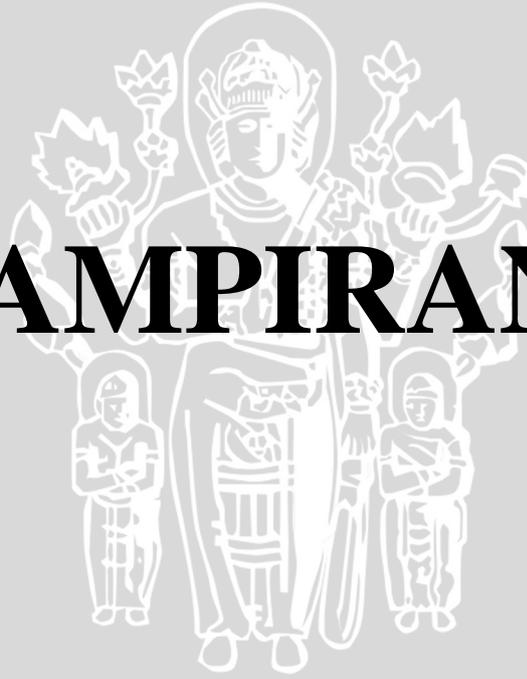
- Arismunandar, Wiranto. 2002. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Arsandi, Yuniar. 2014. *Pengaruh Variasi Waktu Pemancaran Gelombang Mikro Proses Esterifikasi Pembuatan Biodiesel Minyak Biji Karet*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- ASTM International. 2008. *ASTM D 6751, Standard Specification for Biodiesel*. [http://www.biodiesel.org/docs/default-source/ffs-specs/astm-d6751-\(b100\)-specification.pdf?sfvrsn=10](http://www.biodiesel.org/docs/default-source/ffs-specs/astm-d6751-(b100)-specification.pdf?sfvrsn=10) (diakses tanggal 4 Oktober 2014).
- ASTM International. 1995. *ASTM D 976, Standar Test Method for Calculated Cetane Index*. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.d976.1991.pdf> (diakses tanggal 6 Oktober 2014).
- Atapour, Mehdi. 2011. *Characterization and Transesterification of Iranian Bitter Almond for Biodiesel Production*. Journal of Applied Energy LXXXVVI: 2377-2381.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel (SNI 7182:2012)*. Jakarta.
- Balittas Litbang. 2013. *Laporan Tahunan Puslitbang Tanaman Industri*. Malang.
- Brady, James. E. 1998. *Kimia Universitas, Asas dan Struktur*. Universitas St. John's. New York.
- Fellows, P. 2000. *Food Processing Technology*. Abington: Woodhead Publishing.
- Fessenden, Ralph. J. 1996. *Dasar – Dasar Kimia Organik*. Universitas Montana. Montana.
- Fryling, Glenn. R. 1996. *Combustion Engineering, a reference book on fuel burning*. New York.
- Gude, V. Gnaneswar. 2013. *Microwave Energy Potential for Biodiesel Process*. Journal of Sustainable Chemical. Univesity of Missisipi.
- Hayes, Briant. L. 2002. *Microwave Synthesis, Chemistry at The Speed of Light*. New York: CEM Publishing.

- Majid, A. dan Prasetyo, D. 2012. *Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Iridiasi Gelombang Mikro*. Makalah Simposium Nasional RAPI FT UMS. Surakarta.
- Mittlebach, M., Remschmidt. 2006. *Biodiesel The Comprehensive Handbook*. Boersedruck Ges m.b.H, Vienna, Austria.
- Peng, Zhiwei. 2012. *Heat Transfer in Microwave Heating*. Disertasi. Michigan: Universitas Teknologi Michigan.
- Phal, Greg. 2008. *Biodiesel, growing a new energy economy*. Vermont: Chelsea Green Publiher.
- Prihandana, Rama, dkk; 2006: *Menghasilkan Biodiesel Murah*; Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Putra, P. Rhesa. dan Wibawa, Gria. 2012. *Pembuatan Biodiesel Secara Batch Dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro*. Jurnal Teknik ITS I (1): 34-37.
- Soerawidjaja, Tatang H. 2006. *Fondasi Ilmiah dan Keteknikan Teknologi Pembuatan Biodiesel*. Makalah Seminar Nasional UGM. Yogyakarta.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



LAMPIRAN 1

Tabel Data Kenaikan Suhu Reaksi Transesterifikasi

Waktu (Menit)	Suhu °C	
	140 Watt	280 Watt
0	27	27
1	30	35
2	33	44
3	36	52
4	39	58
5	42	65
6	45	68
7	49	70
8	53	73
9	55	75
10	58	78
11	59	82
12	59	84
13	60	86
14	61	89
15	62	93

Tabel Data Hasil Pengujian Destilasi

Suhu <i>Recovery</i> 50% (°C)	Daya 140 Watt			Daya 280 Watt		
	5 Menit	10 Menit	15 Menit	5 Menit	10 Menit	15 Menit
1	362	360	357	355	359	360
2	364	365	359	359	362	363
3	364	366	362	358	360	361

LAMPIRAN 2

Perhitungan Massa Metanol Dalam Reaktan

Diketahui:

- Massa minyak biji randu 500 ml = 440 gr
- Berat molekul minyak biji randu = 807 gr/mol
- Berat molekul metanol = 32 gr/mol
- Perbandingan mol metanol : mol minyak = 3 : 1

$$\begin{aligned} \text{mol minyak biji randu (500 ml)} &= \frac{\text{massa minyak}}{\text{berat molekul minyak}} \\ &= \frac{440 \text{ gr}}{807 \text{ gr/mol}} \\ &= 0,55 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\frac{\text{mol minyak biji randu}}{\text{mol metanol}} = \frac{1}{3}$$

$$\text{mol metanol} = 3 \cdot \text{mol minyak biji randu} = 3 \cdot 0,55 = 1,65 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{massa metanol} &= \text{mol metanol} \cdot \text{berat molekul metanol} \\ &= 1,65 \text{ mol} \cdot 32 \text{ gr/mol} \\ &= 52,8 \text{ gr} \end{aligned}$$

Contoh Perhitungan Indeks Setana

Untuk Biodiesel dengan Waktu Pemanasan 5 menit dan Daya 140 watt

Diketahui:

$$D = \text{Massa jenis biodiesel} = 0,956 \text{ g/ml}$$

$$B = \text{Suhu recovery } 50\% = 364 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} CCI &= 454,74 - 1641,416 D + 774,74 D^2 - 0,554 B + 97,803 (\log B)^2 \\ &= 454,74 - 1641,416 \cdot 0,956 + 774,74 \cdot (0,956)^2 - 0,554 \cdot 364 + 97,803 (\log 364)^2 \\ &= 454,74 - 1569,19 + 708,06 - 201,656 + 641,51 \\ &= 33,46 \end{aligned}$$

LAMPIRAN 3

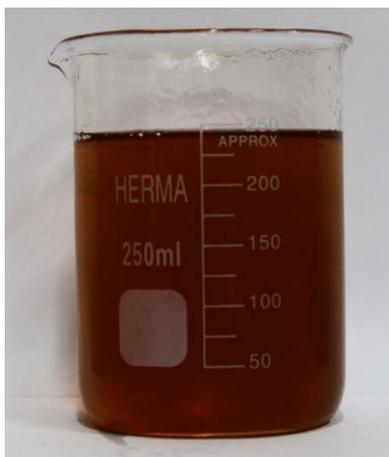
Foto Variasi Hasil Biodiesel



Dava 140 Watt dan Waktu 5 Menit



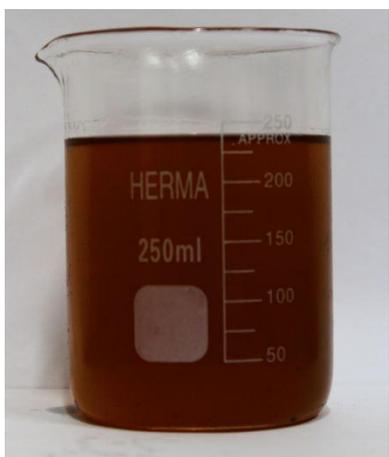
Dava 280 Watt dan Waktu 5 Menit



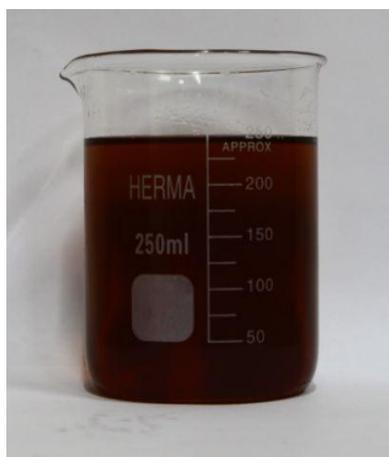
Dava 140 Watt dan Waktu 10 Menit



Dava 280 Watt dan Waktu 10 Menit



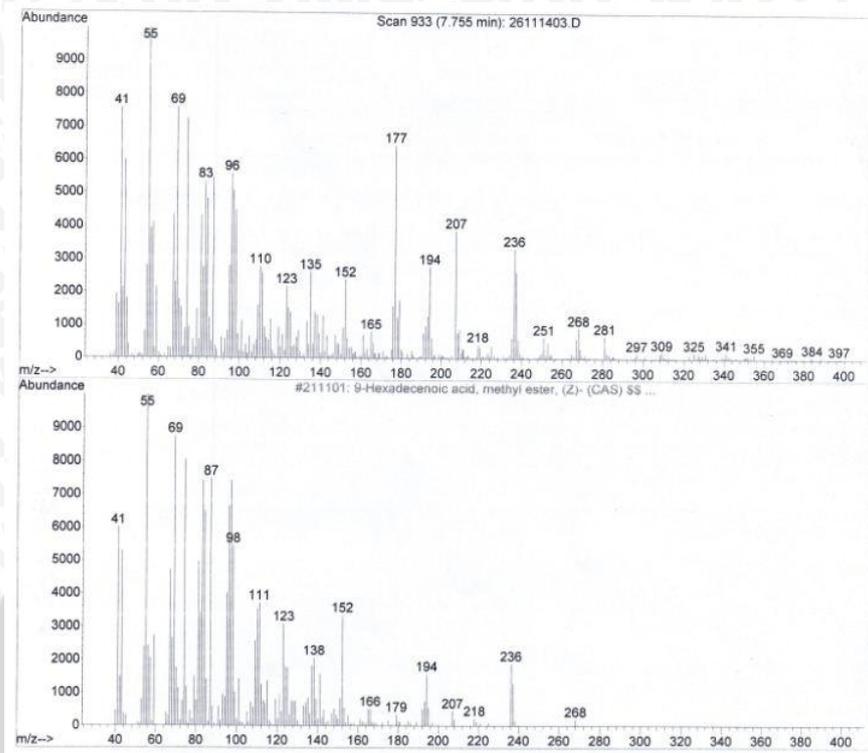
Dava 140 Watt dan Waktu 15 Menit



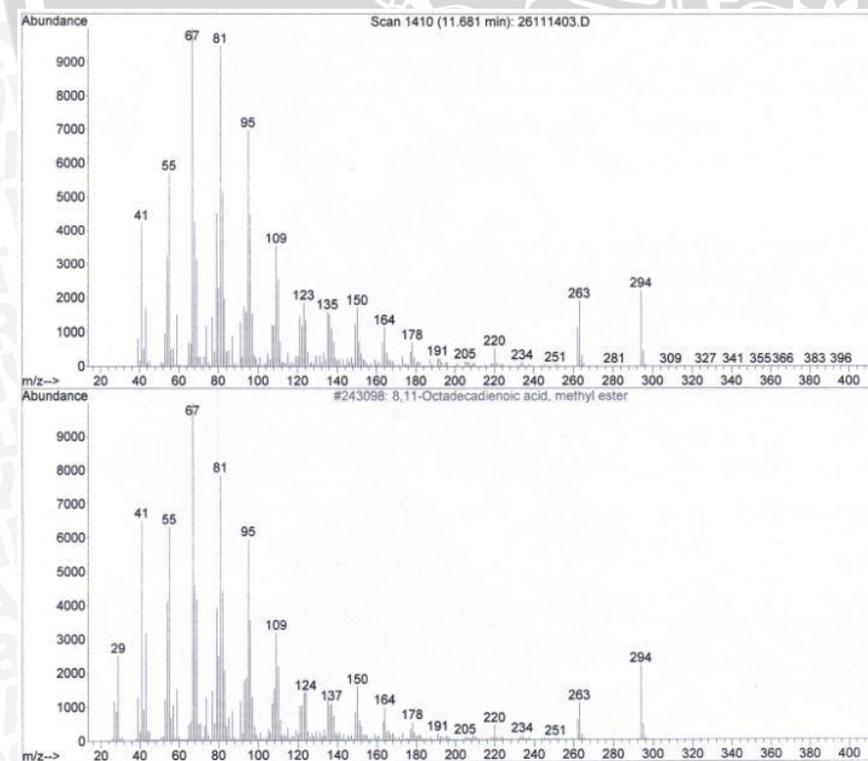
Dava 280 Watt dan Waktu 15 Menit

LAMPIRAN 4

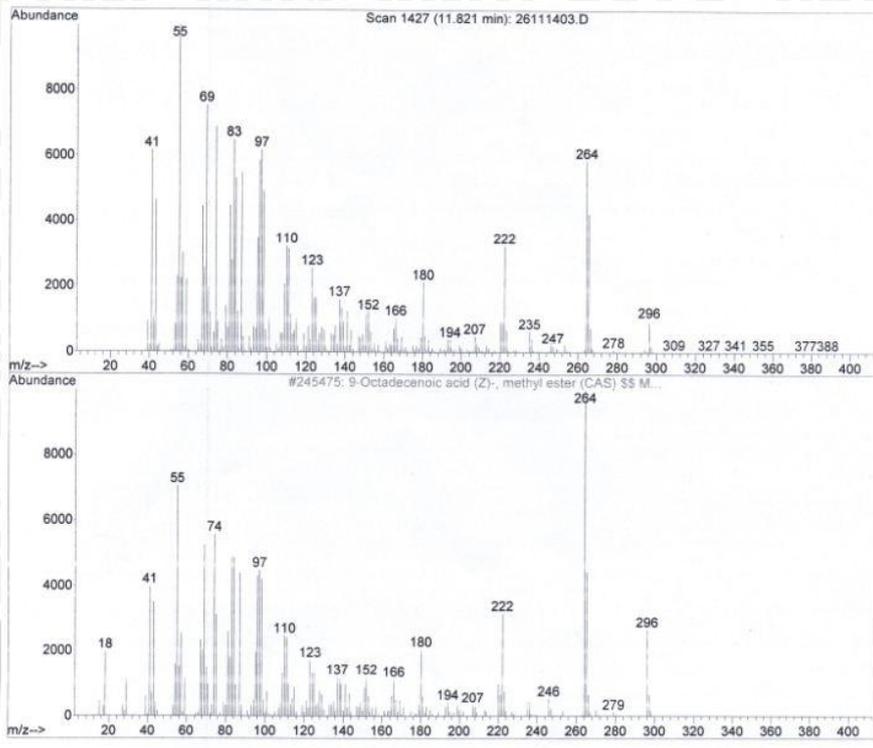
Grafik Resistensi Senyawa Asam metil palmitoleat



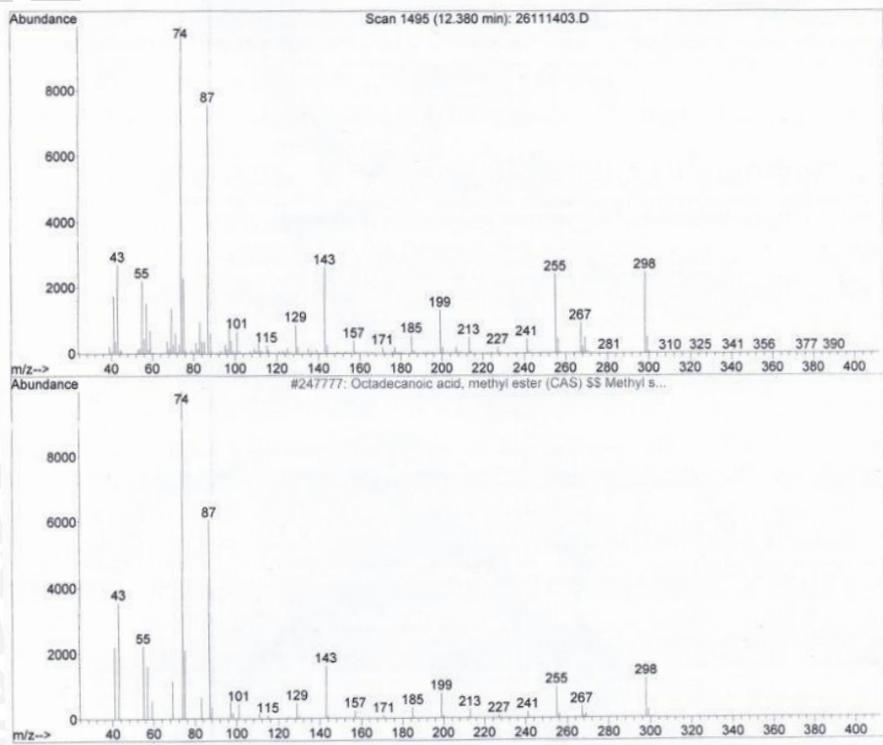
Grafik Resistensi Senyawa Asam metil 8, 11-oktadekadienoat



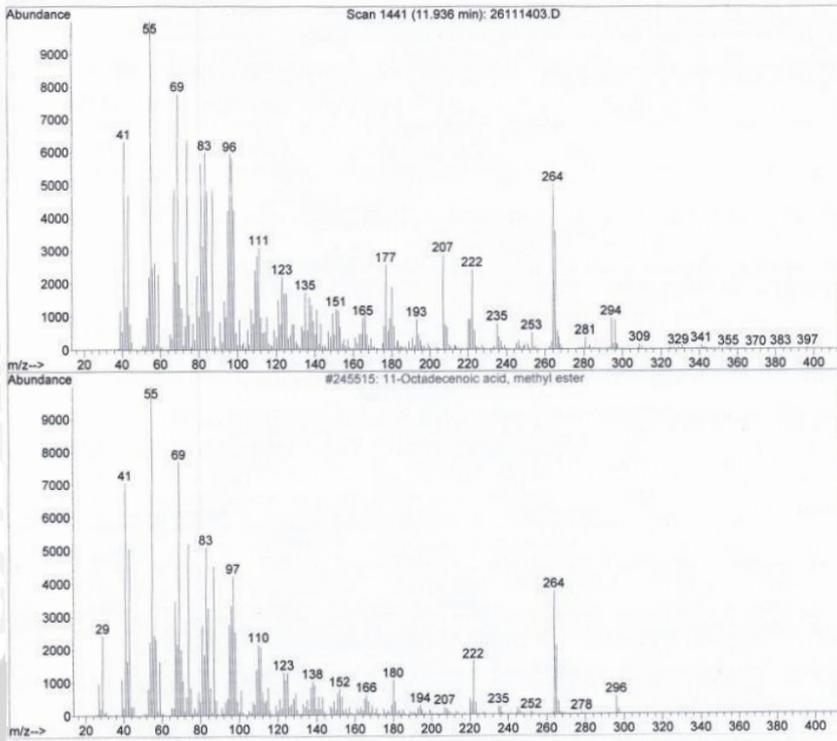
Grafik Resistensi Senyawa Asam metil oleat



Grafik Resistensi Senyawa Asam metil stearat



Grafik Resistensi Senyawa Asam metil 11-oktadekenoat



LAMPIRAN 5

Properties of methanol

Molecular Weight	32.04 g mol ⁻¹	Boiling Point	760 mm Hg (101.3 kPa)	64.6°C (148.3°F)
Critical Temperature	512.5K (239°C; 463°F)	Freezing Point		-97.6°C (-143.7°F)
Critical Pressure	8.084MPa (78.5 atm)	Reid Vapour Pressure		32 kPa
Critical Density	0.2715 g cm ⁻³	Flash Point		
Critical Compressibility Factor	0.224	Closed vessel (TCC method)		12°C (54°F)
Specific Gravity		Open vessel (TOC method)		15.6°C (60.1°F)
<i>Liquid</i>		Auto Ignition Temperature		470°C (878°F)
(25°/4°C)	0.7866	Viscosity		
(20°/4°C)	0.7915	<i>Liquid</i>		
(15°/4°C)	0.7960	-25°C (-13°F)		1.258 mPa s
<i>Vapour</i>	1.11	0°C (32°F)		0.793 mPa s
Vapour Pressure		25°C (77°F)		0.544 mPa s
20°C (68°F)	12.8 kPa (1.856 psia) (96 mm Hg)	<i>Vapour</i>		
25°C (77°F)	16.96 kPa (2.459 psia) (127.2 mm Hg)	25°C (77°F)		9.68 µPa s
Latent Heat of Vapourization		127°C (261°F)		13.2 µPa s
25°C (77°F)	37.43 kJ mol ⁻¹ (279.0 cal g ⁻¹)	Surface Tension		
64.6°C (148.3°F)	35.21 kJ mol ⁻¹ (262.5 cal g ⁻¹)	20°C (68°F)		22.6 mN m ⁻¹
Heat Capacity at Constant Pressure		25°C (77°F)		22.07 mN m ⁻¹
25°C (77°F) (101.3kPa)		Refractive Index		
<i>Liquid</i>		15°C (59°F)		1.33066
	81.08 J mol ⁻¹ K ⁻¹ (0.604 cal g ⁻¹ K ⁻¹) (0.604 Btu lb ⁻¹ °F ⁻¹)	20°C (68°F)		1.32840
<i>Vapour</i>		25°C (77°F)		1.32652
	44.06 J mol ⁻¹ K ⁻¹ [1] (0.328 cal g ⁻¹ K ⁻¹) (0.328 Btu lb ⁻¹ °F ⁻¹)	Thermal Conductivity		
Coefficient of Cubic Thermal Expansion		<i>Liquid</i>		
20°C	0.00149 per °C	0°C (32°F)		207 mW m ⁻¹ K ⁻¹
40°C	0.00159 per °C	25°C (77°F)		200. mW m ⁻¹ K ⁻¹
		<i>Vapour</i>		
		100°C (212°F)		14.07 mW m ⁻¹ K ⁻¹
		127°C (261°F)		26.2 mW m ⁻¹ K ⁻¹
		Heat of Combustion		
		Higher heating value (HHV)		
		(25°C, 101.325kPa)		726.1 kJ mol ⁻¹ (22.7 kJ g ⁻¹)
		Lower heating value (LHV)		638.1 kJ mol ⁻¹ [calc] (19.9 kJ g ⁻¹)
		(25°C, 101.325kPa)		Lower 6.0(v/v)% Upper 36.5(v/v)%
		Flammable Limits (in air)		