

KESAN PELBAGAI FREKUENSI ULTRABUNYI KE ATAS
PENGHASILAN BIODIESEL DARIPADA MINYAK JARAK PAGAR

MUH. IRWAN

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi
syarat penganugerahan ijazah
Doktor Falsafah (Kejuruteraan Kimia)

Sekolah Kejuruteraan Kimia & Kejuruteraan Tenaga
Fakulti Kejuruteraan
Universiti Teknologi Malaysia

JULAI 2020

PENGHARGAAN

Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya diucapkan kepada penyelia saya Prof. Dr. Hamdani Bin Saidi ke atas bimbingan, panduan dan nasihat yang amat bernilai sepanjang tempoh menjadi pelajar program Doktor Falsafah di Universiti Teknologi Malaysia. Tak lupa pula teriring doa buat Allahyarham Dr. Mahyudin A. Rachman sebagai co-penyelia saya, semasa hidup beliau telah banyak memberikan panduan dan bimbingan ke arah penyelesaian pengajian di Universiti Teknologi Malaysia (UTM).

Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada kawan-kawan dan kakitangan makmal di Jabatan Kejuruteraan Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Mereka telah banyak membantu menyelesaikan pelbagai masalah sepanjang tempoh kajian ini dilaksanakan.

Pada kesempatan ini saya juga ingin menyampaikan ribuan terima kasih kepada Kerajaan Provinsi Kalimantan Timur keatas sokongan kewangan dan juga kepada Pengarah Kampus Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia.

Akhir sekali, ucapan terima kasih kepada ahli keluarga, isteri saya Nurul Arifah, anak-anak saya Shofwa Mawaddah dan Muhammad Akbar Al Mumtaz, ayah, arwah ibu, adik-adik saya, arwah ayah mentuah, ibu mentuah atas segala sokongan, doa dan pemahaman mereka. Tak lupa juga saya mengucapkan terima kasih untuk rakan-rakan yang telah membantu saya sama ada secara langsung ataupun secara tidak langsung.

ABSTRAK

Penghasilan biodiesel daripada bahan mentah diperbaharui merupakan satu alternatif untuk mengurangkan penggunaan sumber bahan api fosil dan pelepasan gas rumah hijau. Biodiesel boleh dihasilkan dari pelbagai jenis minyak sayuran seperti minyak kelapa sawit, tetapi minyak jarak pagar merupakan sumber yang paling sesuai dan berpotensi terutama untuk pengurangan kos. Objektif kajian ini ialah menentukan kesan ultrabunyi ke atas kadar tindak balas, model tindak balas kimia dan kecekapan penghasilan biodiesel dari minyak jarak pagar. Penghasilan biodiesel dilakukan melalui proses tindak balas transesterifikasi minyak jarak pagar dengan menggunakan pelbagai jenis pelarut alkohol iaitu metanol, etanol, isopropil alkohol dan *tert*-butanol dengan kalium hidroksida (KOH) sebagai mangkin. Tiga frekuensi yang berbeza telah digunakan iaitu 35 kHz, 42 kHz dan 48 kHz. Hasil penyelidikan menunjukkan bahawa peratusan hasil tertinggi biodiesel yang diperolehi ialah 97.80 % pada frekuensi ultrabunyi 35 kHz, dengan nisbah molar alkohol terhadap minyak jarak pagar 8 : 1, kepekatan KOH 0.5 %, suhu tindak balas 60 °C dan masa tindak balas 15 minit. Pada frekuensi 42 kHz dan 48 kHz kadar hasil biodiesel yang diperolehi adalah lebih rendah. Tindak balas transesterifikasi adalah sesuai mengikut model sehala tertib kedua dengan tenaga pengaktifan 14.372 kJ/mol. Prestasi enjin terbaik yang diperolehi bagi campuran 40% biodiesel dalam minyak diesel tulen (B40) dengan brek penggunaan bahan api khusus 0.19 kg/kWh dan kecekapan haba brek 30.21%. Ujian pelepasan eksoz yang diperolehi ialah 0.17 % CO; 3.3 % CO₂; 1428 ppm NO_x; 22 % O₂. Berikut adalah sifat-sifat fizikal biodiesel yang diuji : kelikatan (4.0 mm²/s), ketumpatan (900 kg/m³), titik kilat (110.5 °C) dan nombor setana (51). Ujian yang dijalankan adalah memenuhi piawaian USA ASTM D 6751 dan piawaian Eropah EN 14214 2003. Kajian ini menunjukkan bahawa penggunaan ultrabunyi dapat meningkatkan peratusan hasil biodiesel dari minyak jarak pagar.

ABSTRACT

Biodiesel production from renewable feedstock is a viable alternative to reduce both the depletion of fossil fuel and greenhouse gas emissions. Biodiesel can be produced from vegetable oils such as palm oil. However, jatropha curcas oil can be most suitable source with potentially lower cost. The objective of this study was to determine the effect of ultrasound on the reaction rate, chemical reaction model and efficiency of biodiesel production from jatropha curcas oil. The production of biodiesel was done by the process of transesterification reaction using various types of solvents such as methanol, ethanol, isopropyl alcohol and *tert*-butanol and potassium hydroxide (KOH) as catalyst. Three different frequencies of ultrasound namely 35 kHz, 42 kHz and 48 kHz were used. The results showed that the highest percentage of biodiesel obtained was 97.80 % at 35 kHz, at molar ratio of isopropyl alcohol to jatropha curcas oil of 8 : 1, KOH concentration of 0.5 %, reaction temperature of 60 °C and the reaction time of 15 minutes. At frequency of 42 kHz and 48 kHz, lower biodiesel yields were found. An irreversible second order reaction model was observed with the calculated activation energy of 14.372 kJ/mol. The best engine performance for a mixture containing 40 % of jatropha biodiesel in diesel oil (B40) resulted brake specific fuel consumption of 0.19 kg/kWh and the brake thermal efficiency of 30.21 %. The exhaust emission test showed 0.17 % of CO; 3.3 % of CO₂; 1428 ppm of NO_x and 22 % O₂. The followings are the physical properties of biodiesel tested : viscosity (4.0 mm²/s); density (900 kg/m³); flash point (110.5 °C) and cetane number (51). The testing complies with USA ASTM D 6751 and European standards EN 14214 2003. The study showed that the application of ultrasound enhanced the biodiesel conversion of jatropha curcas oil.

ISI KANDUNGAN

	TAJUK	MUKA
	PENGAKUAN	iii
	DEDIKASI	iv
	PENGHARGAAN	v
	ABSTRAK	vi
	ABSTRACT	vii
	ISI KANDUNGAN	viii
	SENARAI JADUAL	xiii
	SENARAI RAJAH	xiv
	SENARAI SINGKATAN	xvii
	SENARAI SIMBOL	xviii
	SENARAI LAMPIRAN	xix
BAB 1	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Pernyataan Masalah	4
1.3	Objektif Kajian	6
1.4	Skop Penyelidikan	7
1.5	Kepentingan Kajian	7
1.6	Rangka Tesis	8
BAB 2	KAJIAN LITERATUR	9
2.1	Pengenalan	9
2.1.1	Profil Tenaga Dunia	10
2.1.2	Difinisi Daripada Biodiesel	10
2.2	Bahan Mentah Penghasilan Biodiesel	13
2.2.1	Pelbagai Jenis Bahan Mentah Penghasilan Biodiesel	14
2.2.2	Minyak Jarak Sebagai Bahan Mentah Penghasilan Biodiesel	15

2.2.3	Pencirian Minyak Jarak Pagar	17
2.3	Kaedah Penghasilan Biodiesel	18
2.3.1	Penggunaan Langsung dan Pengadunan	19
2.3.2	Pengemulsian Mikro	20
2.3.3	Pirolisis atau Keretakan Haba	20
2.3.4	Transesterifikasi	21
2.4	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Proses Transesterifikasi	26
2.4.1	Pelbagai jenis alkohol yang kerap digunakan	27
2.4.2	Nisbah Molar Alkohol Terhadap Minyak	30
2.4.3	Kepekatan Mangkin	32
2.4.4	Suhu Tindak Balas	33
2.4.5	Masa Tindak Balas	34
2.4.6	Intensiti Pencampuran	34
2.5	Pelbagai Jenis Mangkin Yang Kerap Digunakan	35
2.5.1	Mangkin Asid	35
2.5.2	Mangkin Alkali	36
2.5.3	Mangkin Enzim	37
2.6	Prinsip / Kaedah Teknologi Ultrabunyi	37
2.6.1	Penghasilan Biodiesel Menggunakan Tenaga Ultrabunyi	40
2.6.2	Kesan Ultrabunyi Pada Sistem Cecair Pelbagai Fasa	41
2.6.3	Kajian Terdahulu Penghasilan Biodiesel Menggunakan Ultrabunyi	43
2.6.4	Kinetik Tindak Balas Transesterifikasi	44
2.7	Sifat – Sifat Fizikal Produk Biodiesel	49
2.7.1	Ketumpatan	49
2.7.2	Kelikatan	50
2.7.3	Nombor Setana	50
2.7.4	Titik Kilat	51
2.8	Prestasi Enjin	52

2.8.1	Brek Khusus Penggunaan Bahan Api	53
2.8.2	Brek Kecekapan Haba	53
2.9	Pelepasan Ekzos	53
2.9.1	Karbon Monoksida, CO	53
2.9.2	Karbon Dioksida, CO ₂	54
2.9.3	Oksida Nitrogen, NO _x	54
2.9.4	Oksigen, O ₂	55
2.10	Rumusan	55
BAB 3	METODOLOGI	57
3.1	Pengenalan	57
3.2	Bahan dan Kaedah	57
3.3	Peralatan Ultrabunyi	58
3.4	Eksperimen	59
3.4.1	Parameter yang Menjejaskan Dalam Proses Penghasilan Biodiesel	61
3.4.2	Mekanisme Pencampuran Ultrabunyi	61
3.4.3	Penyediaan Mangkin	62
3.4.4	Proses Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar	62
3.5	Eksperimen Awal Penghasilan Biodiesel	63
3.5.1	Nisbah Molar Alkohol Terhadap Minyak Jarak	63
3.5.2	Kepekatan Mangkin	64
3.5.3	Suhu Tindak Balas	64
3.5.4	Masa Tindak Balas	65
3.6	Pemisahan Produk Biodiesel	66
3.6.1	Proses Pembasuhan Produk Biodiesel	67
3.6.2	Pemanasan Pemanasan Produk Biodiesel	68
3.6.3	Pencirian Produk Biodiesel	69
3.6.4	Pengiraan Hasil Biodiesel	70
3.7	Penentuan Sifat-Sifat Fizikal Biodiesel	71
3.7.1	Penentuan Ketumpatan	71
3.7.2	Penentuan Kelikatan	71
3.7.3	Penentuan Titik Kilat	72

3.7.4	Penentuan Nombor Setana	72
3.8	Analisis Kinetik	73
3.8.1	Penentuan Kadar Malar Tindak Balas	73
3.8.2	Pengiraan Tenaga Pengaktifan	76
3.9	Prestasi Enjin	76
3.9.1	Spesifikasi Enjin	77
3.9.2	Penyediaan Bahan Api	78
3.9.3	Prosedur Eksperimen	78
3.10	Pelepasan Ekzos	79
3.11	Rumusan	80
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	81
4.1	Pendahuluan	81
4.2	Pembolehubah Yang Mempengaruhi Penghasilan Biodiesel	81
4.2.1	Kesan Pelbagai Jenis Alkohol	81
4.2.2	Kesan Nisbah Molar Alkohol	83
4.2.3	Kesan Kepekatan Mangkin	85
4.2.4	Kesan Masa Tindak Balas	86
4.2.5	Kesan Suhu Tindak Balas	88
4.3	Parameter Tindak Balas Transesterifikasi Dengan Isopropil Alkohol	89
4.3.1	Kesan nisbah molar isopropil alkohol ke atas Minyak Jarak Pagar	90
4.3.2	Kesan Kepekatan KOH Sebagai Mangkin	91
4.3.3	Kesan Suhu Tindak Balas	93
4.4	Kehadiran Ultrabunyi Pada Proses Penghasilan Biodiesel	95
4.4.1	Kesan Pelbagai Frekuensi Ultrabunyi	95
4.5	Kinetika Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar	97
4.5.1	Nilai Tenaga Pengaktifan	101
4.6	Sifat-Sifat Fizikal Biodiesel	101
4.7	Analisis Prestasi Enjin	101
4.7.1	Brek Penggunaan Bahan Api Khusus	102

4.7.2	Kecekapan Haba Brek	103
4.8	Pelepasan Ekzos	104
4.8.1	Pelepasan Karbon Monoksida, CO	105
4.8.2	Pelepasan Karbon Dioksida, CO ₂	106
4.8.3	Pelepasan Oksida Nitrogen, NO _x	108
4.8.4	Pelepasan Oksigen, O ₂	109
4.9	Rumusan	110
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	111
5.1	Kesimpulan	111
5.2	Cadangan	112
	RUJUKAN	113
	SENARAI PENERBITAN	139

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA
Jadual 2.1	Negara Pengeluar Minyak Sayuran Yang Boleh Dan Tidak Boleh Dimakan	15
Jadual 2.2	Kandungan kimia minyak jarak pagar	17
Jadual 2.3	Pencirian minyak jarak pagar	18
Jadual 2.4	Perbandingan Utama Teknologi Penghasilan Biodiesel	23
Jadual 2.5	Kesan Pelbagai Jenis Alkohol Yang Kerap Digunakan Pada Penghasilan Biodiesel	29
Jadual 2.6	Sifat Fizikal Pelbagai Jenis Alkohol	29
Jadual 2.7	Pemakaian Ultrabunyi Pada Pelbagai Jenis Industri	38
Jadual 2.8	Kajian Terdahulu Penghasilan Biodiesel Minyak Sayur Sayuran Menggunakan Ultrabunyi	43
Jadual 2.9	Sifat Fizikal Minyak Diesel dan Piawaian Biodiesel	52
Jadual 3.1	Bahan Yang Diperlukan Dalam Proses Tindak Balas Penghasilan Biodiesel Daripada Minyak Jarak Pagar	58
Jadual 3.2	Jenis Ultrabunyi dengan Frekuensi dan Kapasiti Berbeza	58
Jadual 3.3	Spesifikasi Enjin Yang Digunakan untuk Ujian Prestasi	78

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA
Rajah 2.1	Struktur kimia molekul trigliserida	13
Rajah 2.2	Persamaan am transesterifikasi Trigliserida dengan Alkohol	24
Rajah 2.3	Pembentukan Digliserida	25
Rajah 2.4	Pembentukan Monogliserida	25
Rajah 2.5	Pembentukan Gliserol	25
Rajah 2.6	Tindak Balas Bertahap Transesterifikasi Trigliserida	25
Rajah 2.7	Tindak Balas Transesterifikasi Daripada Trigliserida	26
Rajah 2.8	Tindak Balas Penghasilan Butil Ester	28
Rajah 2.9	Tindak Balas Esterifikasi Penghasilan Isopropil Ester	28
Rajah 2.10	Kesan Nisbah Metanol Kepada Minyak Bunga Matahari	31
Rajah 2.11	Pembentukan, Pertumbuhan dan Keruntuhan Gelembung Peronggaan	41
Rajah 2.12	Skim asas penghasilan biodiesel kumpulan ultrabunyi	42
Rajah 3.1	Eksperimen penghasilan biodiesel menggunakan tiga frekuensi yang berbeza	59
Rajah 3.2	Charta Alir Penghasilan Biodiesel Menggunakan Ultrabunyi dengan Tiga Jenis Frekuensi yang Berbeza	60
Rajah 3.3	Dua lapisan terbentuk, lapisan biodiesel dan gliserol	66
Rajah 3.4	Proses Pembasuhan menghasilkan dua lapisan	67
Rajah 3.5	Produk Biodiesel	69
Rajah 3.6	Persediaan ujian diesel enjin	77
Rajah 4.1	Kesan pelbagai jenis alkohol ke atas penghasilan biodiesel Pada Nisbah Molar Minyak dan Alkohol 1 : 3	82
Rajah 4.2	Kesan pelbagai jenis alkohol ke atas penghasilan biodiesel Pada Pelbagai Nisbah Molar terhadap Minyak Jarak Pagar	83

Rajah 4.3	Kesan kepekatan pemangkin ke atas penghasilan biodiesel pada nisbah molar 7 : 1, suhu tindak balas 35 °C	85
Rajah 4.4	Kesan pelbagai jenis alkohol ke atas penghasilan biodiesel pada nisbah molar 7 : 1, kepekatan KOH sebagai pemangkin 0.5 % pada suhu ambien 35 °C	87
Rajah 4.5	Kesan pelbagai jenis alkohol ke atas penghasilan biodiesel pada pelbagai suhu nisbah molar 7 : 1, kadar KOH sebagai pemangkin 0.50 % dan masa tindak balas adalah 15 minit.	88
Rajah 4.6	Kesan pelbagai nisbah molar isopropil alkohol terhadap minyak jarak pagar, kepekatan KOH 0.5 % pada suhu 60 °C	90
Rajah 4.7	Kesan pelbagai kepekatan KOH sebagai mangkin pada nisbah isopropil alkohol terhadap minyak jarak pagar iaitu 8 : 1 dan suhu 60 °C	92
Rajah 4.8	Kesan pelbagai suhu ke atas tindak balas transesterifikasi pada nisbah isopropil alkohol terhadap minyak jarak pagar iaitu 8 : 1 dan kepekatan KOH 0.5 % sebagai mangkin	94
Rajah 4.9	Kesan pelbagai frekuensi ultrabunyi pada peratusan hasil biodiesel, nisbah molar alkohol kepada minyak jarak pagar 8 : 1; kepekatan KOH sebagai pemangkin 0.50 %, suhu tindak balas 60 °C	96
Rajah 4.10	Perbandingan Peratusan Biodiesel antara Hasil Ramalan dan Eksperimen pada suhu tindak balas 40 °C, nisbah molar alkohol kepada minyak jarak pagar ialah 8 : 1; kepekatan KOH sebagai pemangkin 0.50 %.	98
Rajah 4.11	Perbandingan Peratusan Biodiesel antara Hasil Ramalan dan Eksperimen pada suhu tindak balas 50 °C, nisbah molar alkohol kepada minyak jarak pagar ialah 8 : 1; kepekatan KOH sebagai pemangkin 0.50 %	99
Rajah 4.12	Perbandingan Peratusan Biodiesel antara Hasil Ramalan dan Eksperimen pada suhu tindak balas 60 °C, nisbah molar alkohol kepada minyak jarak pagar ialah 8 : 1; kepekatan KOH sebagai pemangkin 0.50 %.	100
Rajah 4.13	Kesan campuran biodiesel kepada penggunaan bahan api khusus	102
Rajah 4.14	Kesan campuran biodiesel kepada kecekapan haba brek	103
Rajah 4.15	Kesan campuran biodiesel kepada pelepasan CO	105

Rajah 4.16	Kesan campuran biodiesel kepada pelepasan CO ₂	107
Rajah 4.17	Kesan campuran biodiesel kepada pelepasan NO _x	108
Rajah 4.18	Kesan campuran biodiesel kepada pelepasan O ₂	109

SENARAI SINGKATAN

LNG	-	Liquefaction Natural Gas
CO	-	Carbon monoksida
CO ₂	-	Carbon dioksida
NO _x	-	Nitrogen Monoxide
O ₂	-	Oksigen

SENARAI SIMBOL

ρ	-	Ketumpatan (density)
μ	-	Kelikatan (viscosity)
μs	-	Micro second

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA
Lampiran A	Pengiraan Hasil Daripada Biodiesel	129
Lampiran B	Gambar Alat – alat Analisis	130
Lampiran C	Hasil Analisis Gas Kromatografi	131
Lampiran D	Hasil Pengujian Titik Tuang dan Titik Kilat	132
Lampiran E	Hasil uji Enjin	134
Lampiran F	Senarai Penerbitan	139

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebahagian besar keperluan tenaga dunia dibekalkan melalui sumber petrokimia, arang batu dan gas asli dengan pengecualian hidroelektrik dan tenaga nuklear. Semua sumber-sumber tenaga ini adalah terhad dan pada kadar penggunaan semasa dan hanya boleh digunakan dalam tempoh tidak lama lagi. Oleh kerana semakin berkurangan dan meningkatnya harga minyak mentah dunia dengan kebimbangan alam sekitar yang semakin meningkat ke atas kesan negatif daripada penggunaan bahan api fosil dan usaha untuk pengurangan pada pelepasan rumah hijau selaras dengan perjanjian Protokol Kyoto untuk persekitaran yang bersih bagi keselamatan manusia, kepentingan makhluk, pencarian sumber bahan api alternatif telah mendapat perhatian serius baru-baru ini (Satyanarayana dan Muraleedharan, 2011).

Memandangkan ini, minyak sayuran adalah menjanjikan sebagai bahan api alternatif kerana ia mempunyai beberapa kelebihan diantaranya boleh diperbaharui, mesra alam dan dihasilkan dengan mudah di kawasan luar bandar. Alkil ester yang terhasil daripada minyak sayuran, lemak haiwan, dikenali sebagai biodiesel yang menjanjikan dan mempunyai potensi sebagai bahan api diesel alternatif. Biodiesel, secara kimia terdiri daripada asid lemak ester yang dihasilkan melalui tindak balas transesterifikasi atau proses alkoholisis trigliserida semula jadi seperti lemak haiwan dan minyak sayuran (Kaur & Ali, 2014).

Biodiesel adalah pengganti bahan api diesel konvensional yang sangat baik kerana kelebihan utama adalah ianya mesra alam sekitar, tidak toksik dan merupakan sumber yang boleh diperbaharui. Selain itu, biodiesel dapat menghasilkan lebih sedikit karbon monoksida, sulfur dioksida, hidrokarbon dan pelepasan ekzos berbanding dengan minyak diesel (Muhammad *et al.*, 2018).

Penggunaan langsung minyak sayuran sebagai biodiesel adalah mungkin dengan menggabungkan ia dengan bahan api diesel dalam nisbah yang sesuai, tetapi penggunaan langsung minyak ini tidak memuaskan dan tidak praktikal untuk kegunaan jangka panjang yang sedia ada dalam enjin diesel kerana mempunyai kelikatan yang tinggi (Elkady *et al.*, 2015). Kelikatan tinggi adalah disebabkan oleh jisim dan struktur molekul kimia yang besar daripada minyak sayuran yang seterusnya membawa kepada masalah dalam mengepam, pembakaran dan pengabusan dalam sistem penyuntik daripada enjin diesel.

Oleh itu, minyak sayuran diproses untuk memperoleh kelikatan sama dengan bahan api fosil dan boleh digunakan secara langsung dalam enjin diesel yang sedia ada. Masalah kelikatan tinggi minyak sayuran telah didekati dengan beberapa cara, seperti prapemanasan minyak, mengadun atau pencairan dengan bahan api lain, tindak balas transesterifikasi dan keretakan haba / pirolisis. Biodiesel boleh dihasilkan daripada sumber yang boleh diperbaharui seperti minyak sayuran, lemak haiwan dan minyak masak sisa melalui tindak balas transesterifikasi.

Walau bagaimanapun, hakikat bahawa minyak makan dari sumber seperti minyak kelapa sawit dan kacang soya adalah lebih baik dijadikan sebagai bekalan bahan makanan sehingga kurang menarik apabila digunakan sebagai bahan baku penghasilan biodiesel (Zahan dan Kano, 2018). Oleh yang demikian, minyak dari tanaman tidak boleh dimakan, seperti minyak jarak pagar telah mendapat perhatian untuk tujuan ini. Jarak pagar merupakan pokok tahan musim kemarau yang dipunyai oleh keluarga Euphorbiaceae, yang boleh tumbuh di kawasan Amerika Tengah dan Amerika Selatan, Asia Tenggara, India dan Afrika (Takase *et al.*, 2015).

Kaedah yang lazim digunakan untuk penghasilan biodiesel adalah proses transesterifikasi. Tindak balas transesterifikasi, dikenal juga dengan alkoholisis adalah tindak balas antara trigliserida dengan alkohol untuk menghasilkan ester (biodiesel), contohnya adalah metil ester atau etil ester manakala gliserol sebagai produk sampingan. Pemangkin biasanya digunakan untuk meningkatkan kadar tindak balas dan peratusan hasil dan memerlukan kadar alkohol berlebihan untuk dapat meningkatkan kecekapan proses transesterifikasi (Sahu *et al.*, 2017).

Tindak balas transesterifikasi boleh dimangkin oleh alkali, asid dan enzim. Walau bagaimanapun, kedua-dua pemangkin iaitu asid dan enzim secara amnya lebih perlahan daripada pemangkin alkali (Armenta *et al.*, 2007; Gebremariam & Marchetti 2017). Dalam industri penghasilan biodiesel, tindak balas transesterifikasi dengan pemangkin alkali adalah yang paling kerap digunakan iaitu natrium dan kalium hidroksida (Ghazali *et al.*, 2015; Obieogu *et al.*, 2016). Sebaliknya, proses tindak balas transesterifikasi dengan menggunakan pemangkin asid kurang diberi perhatian kerana ia mempunyai kadar tindak balas yang agak perlahan dan juga memiliki sifat menghakis yang boleh merosakkan peralatan (Thangaraj *et al.*, 2019).

Proses tindak balas transesterifikasi dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk nisbah molar alkohol untuk minyak, jenis pemangkin dan tumpuan, kecekapan pencampuran, suhu tindak balas dan lain-lain. Kerana alkohol dan minyak tak boleh campur, kecekapan pencampuran adalah salah satu faktor yang paling penting untuk menyesuaikan bagi meningkatkan hasil transesterifikasi. Proses konvensional adalah kaedah yang kerap digunakan untuk mencampurkan bahan tindak balas. Kaedah lainnya, menggunakan pemangkin metanol superkritikal, telah digunakan untuk menghasilkan biodiesel (Karki *et al.*, 2017; Poudel *et al.*, 2017).

Pelbagai inovasi telah dikaji dan sebahagian daripada mereka telah digunakan secara komersil dalam penghasilan biodiesel samada inovasi dari sisi teknologi pembuatan mahupun bahan mentah. Bahan-bahan mentah penghasilan biodiesel ketika ini lebih tertumpu kepada minyak yang tidak boleh dimakan untuk mengelakkan gangguan terhadap kestabilan harga bahan makanan jika menggunakan minyak yang boleh dimakan (Anggono *et al.*, 2018). Minyak yang boleh dimakan seperti kacang soya, minyak rapeseed, minyak jagung dan minyak kelapa sawit yang digunakan dalam penghasilan biodiesel untuk enjin pencucuhan mampatan. Walau bagaimanapun, penggunaan minyak ini untuk bahan api enjin akan bersaing dengan produk bahan makanan. Oleh itu, penggunaan minyak tidak boleh dimakan sebagai sumber bahan api alternatif (biodiesel) untuk diesel enjin menjadi perhatian yang besar (Demirbas *et al.*, 2016; Khan *et al.*, 2018).

Ramai penyelidik yang menganjurkan penggunaan minyak sayuran yang tidak boleh dimakan sebagai bahan mentah penghasilan biodiesel. Salah satu daripada bahan mentah yang berpotensi adalah minyak jarak pagar. Minyak jarak pagar dianggap sebagai spesies tumbuhan yang paling sesuai untuk penghasilan biodiesel kerana ia memenuhi semua keperluan piawai kesatuan Eropah. Tingginya biaya bahan mentah memberi kesan kepada kos penghasilan biodiesel. Dijangka sekitar 70 % sehingga 80 kos daripada penghasilan biodiesel berasal daripada bahan mentah (Sanchez *et al.*, 2015).

1.2 Pernyataan Masalah

Bahan mentah penghasilan biodiesel dunia kira-kira 95 % berasal dari sumber minyak yang boleh dimakan. Penggunaan minyak boleh dimakan dalam penghasilan biodiesel dapat menyebabkan harga biodiesel meningkat menjadi 1.5 hingga dua kali ganda lebih tinggi daripada bahan api diesel. Untuk membuat biodiesel yang tersedia pada skala komersil, penting untuk melihat keuntungan penggunaan minyak tidak boleh dimakan dengan kos rendah yang boleh mengurangkan kos penghasilan biodiesel. Minyak tidak boleh dimakan dianggap sebagai bahan mentah alternatif penghasilan biodiesel yang menjanjikan dan boleh mengelakkan persaingan dengan sumber bahan makanan (Chuah *et al.*, 2016).

Salah satu bahan mentah alternatif penghasilan biodiesel ialah minyak jarak pagar yang boleh tumbuh pada pelbagai kawasan termasuk pada tanah yang kurang subur. Biji jarak pagar mengandungi minyak dengan kadar kira-kira 38 - 45 %. Tingginya kandungan minyak yang dimiliki merupakan salah satu penyebab bagi menggalakkan penggunaan minyak jarak pagar sebagai bahan mentah penghasilan biodiesel. Bahan mentah yang bersumber daripada minyak tidak boleh dimakan adalah sebuah masa hadapan yang menjanjikan kerana tidak bersaing dengan sumber bahan makanan dan tidak pula meningkatkan harga bahan makanan (Jonas *et al.*, 2020; Wibowo *et al.*, 2018).

Lazimnya penghasilan biodiesel menggunakan mangkin alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Kedua-dua pemangkin ini kerap digunakan dalam industri kerana mempunyai beberapa kelebihan : (i) dapat memangkinkan tindak balas pada suhu rendah dan tekanan atmosfera, (ii) peratusan hasil yang tinggi boleh diperolehi dalam masa yang singkat, (iii) boleh didapati secara meluas dan menjimatkan. Penggunaan mangkin KOH memiliki kelebihan iaitu proses tindak balas boleh berjalan lebih cepat dengan pembentukan gliserol yang lebih sedikit berbanding dengan menggunakan mangkin NaOH (Srbinoski *et al.*, 2015; Kosgei & Inambao, 2019).

Proses konvensional berazaskan penggunaan pengadukan secara mekanikal memerlukan masa yang cukup lama (2 - 4 jam) untuk melengkapkan proses tindak balas. Satu kaedah alternatif iaitu menggunakan ultrabunyi telah dilaporkan bahawa ianya dapat mengurangkan masa tindak balas, nisbah molar alkohol terhadap minyak yang lebih rendah, dan mengurangkan penggunaan tenaga dan jumlah pemangkin. Penggunaan ultrabunyi dijangka boleh meningkatkan kadar tindak balas (Encinar *et al.*, 2018).

Penggunaan kaedah ultrabunyi dalam proses tindak balas transesterifikasi dilaporkan dapat meningkatkan kecekapan pencampuran antara alkohol dan minyak sebagai bahan mentah, mengurangkan penggunaan tenaga dan dapat mengurangkan masa tindak balas, jumlah alkohol dan pemangkin yang diperlukan (Freitas, *et al.*, 2019).

Alkohol yang kerap digunakan dalam tindak balas transesterifikasi ialah metanol kerana harganya yang cukup murah dan mudah diperolehi. Namun untuk alasan kepelbagaian bahan pelarut, jenis alkohol lain seperti isopropil alkohol, *tert*-butanol perlu juga dilakukan sebuah kajian sebagai sandaran / rizab bahan mentah (Pukale *et al.*, 2015). Kes ini berlaku pada negara seperti Taiwan. Menurut Pentadbiran Perlindungan Alam Sekitar Taiwan, bahawa terdapat lebih daripada 140.000 tan sisa isopropil alkohol (IPA) dihasilkan setiap tahun kerana IPA adalah pelarut industri yang

berkesan yang biasa digunakan dalam industri teknologi tinggi di Taiwan. Oleh itu, menggunakan sisa isopropil alkohol (IPA) sebagai reaktan alkohol alternatif boleh mengatasi masalah sampah dan mengurangkan kos khususnya di negara Taiwan (Chang *et al.*, 2018).

Baru-baru ini eksperimen mengenai proses tindak balas transesterifikasi bagi penghasilan biodiesel menggunakan pelbagai frekuensi ultrabunyi belum secara meluas diterbitkan. Biasanya kajian dijalankan dengan kaedah konvensional menggunakan pengadukan mekanikal. Walaupun terdapat beberapa kajian dalam literatur pada tindak balas transesterifikasi minyak sayuran dengan metanol / etanol dan jenis alkohol yang lain, hanya beberapa daripada mereka mengambil berat kepada proses dan penggunaan daripada ultrabunyi.

Kesan ultrabunyi pada penghasilan biodiesel daripada minyak jarak pagar telah dikaji, namun interaksi antara pembolehubah dan ultrabunyi yang mempengaruhi kadar tindak balas belum difahami sepenuhnya, diantaranya ialah kesan pelbagai frekuensi ultrabunyi keatas kadar hasil daripada biodiesel yang dihasilkan.

1.3 Objektif Kajian

Objektif kajian ini ialah untuk menghasilkan biodiesel daripada minyak jarak pagar melalui tindak balas transesterifikasi menggunakan kaedah ultrabunyi. Untuk mencapai matlamat ini, diperlukan objektif sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis kesan kehadiran ultrabunyi pada proses tindak balas transesterifikasi penghasilan biodiesel daripada minyak jarak pagar.
2. Untuk menganalisis kinetik penghasilan biodiesel daripada minyak jarak pagar di bawah kesan ultrabunyi.
3. Untuk menguji prestasi enjin menggunakan campuran biodiesel dan diesel tulen.

1.4 Skop Penyelidikan

Skop kajian ini adalah :

1. Kerja - kerja dalam makmal, diantaranya ialah :
 - a. Uji kaji menggunakan pelbagai jenis alkohol sebagai pelarut iaitu metanol, etanol, isopropil alkohol dan *tert*-butanol pada nisbah molar minyak jarak pagar terhadap alkohol ialah 1 : 3 sehingga 1 : 12.
 - b. Uji kaji menggunakan pelbagai kepekatan KOH sebagai pemangkin (0.25; 0.50 %; 0.75 % dan 1.0 %).
 - c. Uji kaji menggunakan pelbagai frekuensi ultrabunyi iaitu 35, 42 dan 48 kHz.
2. Melakukan analisis model kinetik tindak balas transesterifikasi.
3. Ujian prestasi enjin iaitu brek penggunaan bahan api khusus dan brek kecekapan haba serta pelepasan ekzos (CO, CO₂, NO_x dan O₂) campuran daripada biodiesel dan minyak diesel tulen.

1.5 Kepentingan Kajian

Salah satu kelebihan utama biodiesel adalah tindak balas transesterifikasi yang digunakan untuk penghasilan biodiesel boleh dilakukan di hampir mana-mana skala daripada skala makmal yang hanya menggunakan beberapa liter minyak sehingga skala perindustrian yang besar dan mampu mengeluarkan berjuta-juta liter biodiesel dalam satu tahun.

Penghasilan biodiesel daripada minyak jarak pagar menggunakan ultrabunyi boleh memberikan sumbangan kepada pengetahuan sebagai pengganti kaedah yang selama ini digunakan iaitu kaedah pengadukan mekanikal pada proses pencampuran antara minyak jarak sebagai bahan mentah dengan pelarut alkohol yang digunakan.

Kajian ini melibatkan tindak balas transesterifikasi minyak jarak pagar dengan alkohol dan kalium hidroksida (KOH) sebagai pemangkin. Kesan pelbagai parameter akan dikaji. Objektif kajian ini memberi tumpuan kepada menggunakan teknologi penghasilan biodiesel daripada minyak tidak boleh dimakan (minyak jarak pagar) menggunakan pemangkin alkali dengan bantuan ultrabunyi, melakukan analisis kinetik tindak balas dan menguji prestasi enjin menggunakan bahan api biodiesel.

1.6 Rangka Tesis

Seperti yang telah dibincangkan dalam bahagian sebelum ini, kerja-kerja ini memberi tumpuan kepada kesan ultrabunyi dalam proses penghasilan biodiesel dari minyak jarak pagar, analisis kinetik tindak balas dan uji enjin bagi mengetahui prestasi enjin menggunakan bahan api biodiesel serta pelepasan ekzos yang dihasilkan. Satu pengenalan bagi meningkatkan penghasilan biodiesel untuk prestasi enjin dengan pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian, kepentingan kajian dikemukakan dalam Bab 1. Dalam Bab 2, teori asas tindak balas transesterifikasi itu ialah menerangkan dan diikuti dengan kajian sebelumnya ulasan pada bahan mentah penghasilan biodiesel, perbandingan proses pengadukan secara konvensional dan ultrabunyi. Bab 3 kerja-kerja eksperimen termasuk jenis bahan kimia yang digunakan, penerangan peralatan, prosedur eksperimen dan pengukuran, analisis kinetik tindak balas serta uji prestasi enjin dan pelepasan ekzos. Bab 4 terdiri daripada keputusan dan perbincangan serta Bab 5 terdiri daripada kesimpulan dan cadangan.

RUJUKAN

- Abba, E.C., Nwakuba, N.R., Obasi, S.N., Enem, J.I., (2017). Effect of Reaction Time on the Yield of Biodiesel from Neem Seed Oil, *American Journal of Energy Science*, 4(20), 5-9.
- Abba, E.C., Nwandikom, G.I., Egwuonwu, C.C., Nwakuba, N.R., (2016). Effect of Reaction Temperature on the Yield of Biodiesel from Neem Seed Oil, *American Journal of Energy Science*, 3(3), 16-20.
- Abdullah, A.Z., Razali, N., Mootabadi, H., Salamatinia, B., (2007). Critical technical areas for future improvement in biodiesel technologies, *Environmental Research Letter*, 2, 1-5.
- Abdulrahman, R.K., (2017). Effect of Reaction Temperature on the Biodiesel Yield from Waste cooking Oil and chicken fat, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 44(4), 186-188.
- Acevedo, P., Cabeza, I., Puello, J., Benedetti, E., (2016). Mobile Plant for Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* seeds, in Collombian Carribian Regions, *Chemical Engineering Transactions*, (50) 283-288.
- Adipah, S., (2019). Biodiesel Preparation from *Allanblackia floribunda* Seed oil, *Journal of Environmental Science and Public Health*, 3 (1) 25-33.
- Agarwal, A., Gupta, P., Rajdeep., (2015). Biodiesel Production for C.I. Engine from Various Non- Edible Oils : A Review, *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 3 (1), 8-16.
- Ahmad, K.A., Abdullah, M.E., Hassan, N.A, Ambak, K.B, Musbah, A, Usman, N, Khadijah, S., (2016). Extraction Techniques and Industrial Applications of *Jatropha Curcas*, *Jurnal Teknologi*, 78 (7-3), 53-60.
- Alhassan, F.H., Uemura, Y., (2016). Isopropanolysis of Cottonseed Oil to Biodiesel via Potassium Hydroxide Catalysts, *4th International Conference on Process Engineering and Advanced Materials*, Procedia Engineering, 148, 473-478.
- Al-Sakkari, E.G., El-Sheltawy, S.T., Soliman, A, Ismail, I., (2018). Transesterification of Low FFA Waste Vegetable Oil using Homogeneous Base Catalyst for Biodiesel Production : Optimization, Kinetics and Product Stability, *Journal of Advanced Chemical Sciences*, 4 (3), 586–592.

- Anggono, W., Noor, M.M., Suprianto, F.D., Lesmana, L.A., Gotama, G.J., Setiyawan, A., (2018). Effect of Cerbera Manghas Biodiesel on Diesel Engine Performance, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 15 (3), 5667-5682.
- Ansari, N.A., Kumar, J., Amitkumar., Trivedi, D., (2013). Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Soyabean Oil and Diesel Blends, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (5), 793-798.
- Ansori, A., Wibowo, S.A., Kusuma, H.S., Bhuana, D.S., Mahfud, M., (2019). Production of Biodiesel from Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) using Microwave with CaO Catalyst from Eggshell Waste : Optimization of Transesterification Process Parameters, *Open Chemistry Journal*, 17 (1), 1185–1197.
- Armenta, R.E., Vinatoru, M., Burja, A.M., Kralovec, J.A., Barrow, C.J., (2007). Transesterification of Fish Oil to Produce Fatty Acid Ethyl Esters Using Ultrasonic Energy, *J Am Oil Chem Soc*, 84, 1045-1052.
- Aworanti, O.A., Ajani, A.O., Agarry, S.E., (2019). Process Parameter Estimation of Biodiesel Production from Waste Frying Oil (Vegetable and Palm oil) using Homogeneous Catalyst, *Journal of Food Processing & Technology*, 10 (9), 1-10.
- Ashraful, A.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Fattah, I.M.R., Imtenan, S., Shahir, S.A., Mobarak, H.M., (2014). Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils : A review, *Energy Conversion and Management*, 80, 202-228.
- Ayeter, G.K, Sunnu, A., Parbey, J., (2015). Effect of biodiesel production parameters on viscosity and yield of methyl esters : *Jatropha curcas*, *Elaeis guineensis* and *Cocos nucifera*, *Alexandria Engineering Journal*, 54, 1285-1290.
- Azad, A.K, Rasul, M.G., Giannangelo, B, Islam, R., (2015). Comparative study of diesel engine performance and emission with soybean and waste oil biodiesel fuels, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 12, 2866-2881.
- Badday, A.S., Abdullah, A.Z., Lee, K.T., Khayoon, M.S., (2012). Intensification of Biodiesel production via ultrasonic-assisted process : A critical review on

- fundamentals and recent development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4574-4587.
- Behcet, R, Oktay, H, Cakmak, A, Aydin, H., (2015). Comparison of exhaust emissions of biodiesel-diesel fuel blends produced from animal fats. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46 : 157-165.
- Bharadwaz, Y.D., Rao, B.G., Rao, V.D., Anusha, C., (2016). Improvement of biodiesel methanol blends performance in a variable compression ratio engine using response surface methodology, *Alexandria Engineering Journal*, 55, 1201–1209.
- Brito, J.Q.A., Silva, C.S., Almeida, J.S., Korn, M.G.A., (2012). Ultrasound-assisted synthesis of ethyl esters from soybean oil via homogeneous catalysis, *Fuel Processing Technology*, 95, 33-36.
- Chang, C.C., Teng, S., Yuan, M.H., Ji, D.R., Chang, C.Y., Chen, Y.H., Shie, J.L., Ho, C., Tian, S.Y., Tacca, C.A.A., Manh, D.V., Tsai, M.Y., Chang, M.C., Chen, Y.H., Huang, M., Liu, B.L., (2018). Esterification of Jatropha Oil with Isopropanol via Ultrasonic Irradiation, *Energies*, 11, 1456, 1-15.
- Chen, Xi., Qian, W.W., Lu, X.P., Han, P.F., (2011). Preparation of biodiesel catalyzed by KF/CaO with ultrasonic, *Natural Product Research Journal*, 1- 8.
- Choudhury, H.A., Malani, R.S., Moholkar, V.S., (2013). Acid catalyzed biodiesel synthesis from Jatropha oil : Mechanistic aspects of ultrasonic intensification, *Chemical Engineering Journal*, 231, 262 - 272.
- Chuah, L.F., Aziz, A.R.A., Yusup. S., Bokhari, A., Klemes, J.J., Abdullah, M.Z., (2015). Performance and emission of diesel engine fuelled by wastecooking oil methyl ester derived from palm olein using hydrodynamic cavitation, *Clean Techn Environ Policy*.
- Chuah, L.F., Bokhari, A., Yusup. S., Klemes, J.J., Akbar, M.M., Saminathan, S., (2016). Optimisation on pretreatment of kapok seed (*Ceiba pentandra*) oil via esterification reaction in an ultrasonic cavitation reactor, *Biomass Conv. Bioref.*
- Cuaca, V., Wendi., Taslim. (2014). Effect of Reaction Time and Molar Ratio of Alcohol to Beef Tallow for Producing Biodiesel from Waste Beef Tallow Using Heterogeneous Catalyst CaO from Waste Eggshell, *The 5th Sriwijaya International Seminar on Energy and Environmental Science & Technology*, September 10-11, Palembang, Indonesia, 48-53.

- Darnoko, D., Cheryan, M., (2000). Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor, *JAOCS*, 77, 1263-1267.
- Datta, A., Das, B., Chowdhuri, A.K, Mandal, B.K., (2013). Experimental Study on The Performance of Biodiesel Fuelled Ci Engine Using Exhaust Gas Recirculation, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 89 - 95.
- Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W., Sheikh, M., (2016). Biodiesel production from non-edible plant oils, *Energy Exploration and Exploitation*, 34(2) 290–318.
- Deshmane, V.G., Gogate, P.R., Pandit, A.B., (2009). Ultrasound assisted synthesis of isopropyl esters from palm fatty acid distillate, *Ultrasonics Sonochemistry*, 16, 345-350.
- Diasakou, M., Louloudi, A., Papayannakos, N., (1998). Kinetics of the non-catalytic transesterification of soybean oil, *Fuel*, 77, 1297-1302.
- Du, H., Huque, Z., Kommalapati, R.R., (2018). Impacts of Biodiesel Applied to the Transportation Fleets inthe Greater Houston Area, *Journal of Renewable Energy*, 1-10.
- El Azim, M.H.M., (2014). Methanolysis of jatropha curcas oil by each sodium hydroxide and calcium oxide as a catalyst, *Natural Products An Indian Journal*, 10 (4), 87-90.
- Elkady, M.F, Zaatout, A, Balbaa, O., (2015). Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil via KM Micromixer, *Journal of Chemistry*, 1-9.
- Encinar, J.M., Pardal, A., Sánchez, N., Nogales, S., (2018). Biodiesel by Transesterification of Rapeseed Oil Using Ultrasound : A Kinetic Study of Base-Catalysed Reactions, *energies*, 11, 1-13.
- Eryilmaz, T., Yesilyurt, M.K., Cesur, C., Gokdoganm, O., (2016). Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 842-851.
- Fazlena, H., Norsuraya, S., Nadiah, S.N., (2013). Ultrasonic Assisted Enzymatic Reaction : An Overview on Ultrasonic Mechanism and Stability-Activity of the IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC).
- Freedman, B., Butterfield., R.O., Pryde, E.H., (1986). Transesterification Kinetics of Soybean Oil, *Journal American Oil Chemists Society (JAOCS)*, 63, 1375-1380.

- Freitas, V.O.D., Matte, C.R., Poppe, J.K, Rodrigues, R.C, Ayub, M.A.Z., (2019). Ultrasound-Assisted Transesterification of Soybean Oil Using Combi-Lipase Biocatalysts, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36 (2), 995 - 1005.
- Gashaw, A., Lakachew, A., (2014). Production of Biodiesel From Non Edible Oil and Its Properties, *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(4), 1544 – 1562.
- Gebremariam, S.N., Marchetti, J.M., (2017). Biodiesel Production Technologies : Review, *Energy Journal*, 5(3), 425-457.
- Geuens, J., Sergejev, S., Maes, B.U.W., Tavernier, S.M.F., (2013). Influence of the Free Fatty Acids, Water, Temperature, and Reaction Time on the Catalyst-Free Microwave-Assisted Transesterification of Triglycerides with 1-Butanol, *Energy&Fuel*, xx, A-F.
- Ghazali, W.N.M.W., Mamat, R., Masjuki, H.H., Najafi, G., (2015). Effects of Biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions : A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (51), 585-602.
- Ginting, M.S.A., Azizan, M.T.,Yusup, S., (2012). Alkaline in situ ethanolysis of *Jatropha curcas*, *Fuel*, 93, 82 - 85.
- Gude, F.G., Grant, G.E., (2013). Biodiesel from waste cooking oils via direct sonication, *Applied Energy*, 109, 135-144.
- Guerra, E.M., Gude, V.G., (2015). Continuous and pulse sonication effects on transesterification of used vegetable oil, *Energy Conversion and Management*, 96, 268-276.
- Guerra, E.M., Gude, V.G., (2014). Synergistic effect of simultaneous microwave and Ultrasound irradiations on transesterification of waste vegetable oil, *Fuel*, 137, 100-108.
- Guo, S., Yang, Z., Gao, Y., (2016). Effect of Adding Biodiesel to Diesel on the Physical and Chemical Properties and Engine Performance of Fuel Blends, *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 10, 1-10.
- Halek, F., Kavousi, A., Banifatemi, M., (2009). Biodiesel as an Alternative Fuel for Diesel Engines, *World Academy of Science Engineering and Technology*, 57, 460-462.
- Hanh, H.D., Kim, D.D., Dong, N.T., Linh, N.T., (2010). Biodiesel production from *Jatropha curcas* oil under Ultrasonic irradiation Condition, 7th *Biomass Asia Workshop*, November 29 - December 01, Jakarta, Indonesia, 1-6.

- Hasan, A.K.M., Mashkour, M.A., Mohammed, A..A., (2016). Impact of mixing speed & reaction time on the biodiesel production from sunflower oil, *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*.
- Hoang, T.A., Le, V.V, N., (2017). The Performance of A Diesel Engine Fueled With Diesel Oil, Biodiesel and Preheated Coconut Oil, *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 6 (1), 1-7.
- Hossain, A.B.M.S., Boyce A, N., Salleh, A., Chandran, S., (2010). Biodiesel production from waste soybean oil biomass as renewable energy and environmental recycled process, *African Journal of Biotechnology*, 9(27), 4233-4240.
- Hsiao, M.C., Lin, C.C., Chang, Y.H., Chen, L.C.S., (2010). Ultrasonic mixing and closed microwave irradiation-assisted transesterification of soybean oil, *Fuel*, 89, 3618 - 3622.
- Ibeto, C., Ugwu, C., (2019). Exhaust Emissions from Engines Fuelled with Petrol, Diesel and their Blends with Biodiesel Produced from Waste Cooking Oil, *Journal of Pol. J. Environ. Stud.* 28 (5), 3197-3206.
- Jabbari, H., Pesyan, N.N., (2017). Production of biodiesel from jatropha curcas oil using solid heterogeneous acid catalyst, *Asian Journal of Green Chemistry*, 1, 16-23.
- Jaichandar, S., Annamalai, K., (2016). Jatropha oil methyl ester as diesel engine fuel - an experimental investigation, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 13 (1), 3248-3261.
- Jamil, C.A.Z., Muslim, A., (2012). Performance of KOH as a catalyst for Transesterification of Jatropha Curcas Oil, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2 (2), 635-639.
- Ji. J., Wang, J., Li, Y., Yu. Y., Xu, Z., (2006). Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation, *Ultrasonics*, 44, e411-e414.
- Jitputti. J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat. K., Attanatho, L., Jenvanitpanjakul, P., (2006). Transesterification of Crude Palm Kernel Oil and Crude Coconut Oil by Different Solid Catalyst, *Chemical Engineering Journal*, 116 (1), 61-66.
- Joelianingsih., Maeda, H., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sagara, Y., Soerawidjaya, T.H., Tambunan, A.H., Abdullah, K., (2008). Biodiesel Fuels from palm oil via

- the non catalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure : A kinetic study, *Renewable Energy*, 33, 1629 - 1636.
- Jonas. M., Ketlogetswe. C., Gandure. J., (2020). Variation of *Jatropha curcas* seed oil content and fatty acid composition with fruit maturity stage, *Heliyon Journal*, 6, e03285.
- Juan. J.C., Kartika. D.A., Wu. T.Y., Yap. T., Hin Y., (2011). Biodiesel production from *jatropha* oil by catalytic and non-catalytic approaches : An overview, *Bioresource Technology*, 102, 452-460.
- Kamel, D.A., Farag, H.A., Amin., N.K., Zatout, A.A., Ali, R.M., (2018). Smart utilization of *jatropha* (*Jatropha curcas* Linnaeus) seeds for biodiesel production : Optimization and mechanism, *Industrial Crops & Products*, 111, 407-413.
- Kapilan, N., (2012). Production of Biodiesel from Vegetable Oil Using Microwave Irradiation, *Acta Polytechnica*, 52 (1), 46-50.
- Karki, S., Sanjel., N, A., Poudel, J., Choi, J,H., Oh, S.C., (2017). Supercritical Transesterification of Waste Vegetable Oil: Characteristic Comparison of Ethanol and Methanol as Solvents, *Applied Sciences*, 1-13.
- Karmakar, R., Kundu, K., Rajor, A., (2018). Fuel properties and emission characteristics of biodiesel produced from unused algae grown in India, *Petroleum Science*, 15, 385–395.
- Kathirvelu, B., Subramanian., S., Govindan, N., Santhanam, N., (2017). Emission characteristics of biodiesel obtained from *jatropha* seeds and fish wastes in a diesel engine, *Sustainable Environment Research*, 27, 283-290.
- Kaur, M., Ali., A., (2014). Ethanolysis of waste cottonseed oil over lithium impregnated calcium oxide : Kinetics and reusability studies, *Journal of Renewable Energy*, 63, 272-279.
- Keera, S.T., El Sabagh, S.M., and Taman, A.R., (2011). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst, 90, 42-47.
- Khan, Z.A., Roy, M.M., (2018). Performance and Emission Analysis of a Modern Small DI Diesel Engine Using Biodiesel - Diesel Blends and Additives with EGR, *Journal of Engineering Research and Application*, 8(II), 34-46.
- Kusdiana, D., Saka, S., (2001). Kinetics of transesterification in rapeseed oil to biodiesel fuel as treated in supercritical methanol, *Fuel*, (80) 693-698.

- Kumar, D., Kumar, G., Poonam., Singh, C.P., (2010). Fast, easy ethanolysis of coconut oil for biodiesel production assisted by ultrasonication, *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 555-559.
- Kumar, D., Kumar, G., Poonam., Singh, C.P., (2010). Ultrasonic-assisted transesterification of Jatropha curcus oil using solid catalyst, Na/SiO₂, *Ultrasonics Sonochemistry*, 17, 839-844.
- Koh, M.Y., Ghazi, T.I.M., (2011). A review of biodiesel production from Jatropha curcas L. oil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2240-2251.
- Kosgei, C., Inambao, F.L., (2019). A Comprehensive Review of Low-Cost Biodiesel Production from Waste Beef Tallow, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10 (8), 285-305.
- Larпкиattawon, S., Jeerapan, C., Tongpan, R., Tongon, S., (2010). Ultrasonic Transesterification Reaction for Biodiesel Production, *Biomass Asia Workshop*, November 29 - 1 Desember, Jakarta, 1-5.
- Leevijit, T., Tongurai, C., Prateepchaikul, G., Wisutmethangoon, W., (2006). Performance test of a 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production, *Bioresource Technology*, xxx, 1-8.
- Lee, S.B., Lee, J.D and Hong, I.K., (2011). Ultrasonic energy effect on vegetable oil based biodiesel synthetic process, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (17), 138-143.
- Lerin, L.A., Remonato, D., Pereira T.M.M., Zenevicz, M.C., Valério, A., Oliveira, J.V., Oliveira, D.de., (2017). Lipase-Catalyzed Ethanolysis of Jatropha Curcas L. Oil Assisted By Ultrasonication, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 34 (2), 531 - 539.
- Liang, Y.C., Nang, H.L.L., May, C.Y., (2013). Physico-Chemical Properties of Biodiesel Produced From Jatropha Curcas Oil and Palm Oil, *Journal of Oil Palm Research*, 25(2), 159-164.
- Lim, S., Teong, L.K., (2010). Resent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia : An overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 938 - 954.
- Lin, C.Y., Fan, C.L., (2011). Fuel properties of biodiesel produced from Camellia oleifera Abel oil through supercritical-methanol transesterification, *Fuel*, 90, 2240 - 2244.

- Lin, C.C., Hsiao, M.C., (2012). Effects of Catalyst Amount, Reaction Temperature and Methanol/Oil Molar Ratio on Conversion Rate of Soybean Oil Assisted by Ultrasonic Mixing and Closed Microwave Irradiation, *International Journal of Engineering Inventions*, 1 (6), 40 - 48.
- Mathiyazhagan., M, Ganapathi., A, Jaganath., B, Renganayaki., N, Sasireka., A.N., (2011). Production of Biodiesel from Non-edible plant oils having high FFA content, *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, 2, 119-122.
- Mohamed, R.M., Kadry, G.A., Samad, H.A.A., Awad, M.E., (2020). High operative heterogeneous catalyst in biodiesel production from waste cooking oil, *Egyptian Journal of Petroleum*, 29, 59-65.
- Motasemi, F., Ani, F. N., (2011). The Production of Biodiesel From Waste Cooking Oil Using Microwave Irradiation, *Jurnal Teknologi*, 32, 61-72.
- Motasemi, F., Ani, F. N., (2012). A review on microwave-assisted production of biodiesel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4719-4733.
- Muhammad, U.L., Shamsuddin, I.M., Danjuma, A., Musawa, R.S., Dembo, U.H., (2018). Biofuels as the Starring Substitute to Fossil Fuels, *Petroleum Science and Engineering*, 2(1), 44-49.
- Murugesan, V.M., Neelakrishnan, S., (2016). Investigation of Variable Compression Ratio Engine fueled with Jatropha oil, *International Journal of ChemTech Research*, 9(4), 684-690.
- Musa, I.A., (2016). The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process – A review, *Egyptian Journal of Petroleum*, 25, 21-31.
- Mustafa, T., Soomro, S.A., Najam, M., Assadullah., Amin, M., Ahmad, I., (2016). Production of Biodiesel through Catalytic Transesterification of Jatropha Oil, *J. Appl. Emerg. Sci.*, 6(1), 9-13.
- Naik, R.L., Radhika, N., Sravani, K., Hareesha, A., Mohanakumari, B., Bhavanasindhu, K., (2015). Optimized Parameters for Production of Biodiesel from Fried Oil, *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 2(6), 62-65.
- Nakpong, P., Wootthikanokkhan, S., (2010). Optimization of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil via alkali-catalyzed methanolysis. *Journal of Sustainable Energy & Environmental*, (I), 105-109.

- Nanthagopal, K., Raj R, T.K., Vijayakumat, T., (2012). Performance and emission characteristics of karanja methyl esters : Diesel blends in a direct injection compression-ignition (CI) engine, *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*, 3(4), 36 - 41.
- Narayana, G.L., Ryali, N.S.D., Singh, A.K., (2016). Performance and emission analysis of a direct injection CI engine operated on Jatropha based diesel-biodiesel blendwith additives, *International Journal of Conceptionson Mechanical and Civil Engineering*, 4 (4), 21-26.
- Nasaruddin, R.R., Alam, M.Z., Jami, M.S., (2013). Enzymatic biodiesel production from sludge palm oil (SPO) using locally produced *Candida cylindracea* lipase, *African Journal of Biotechnology*, 12(31), 4966-4974.
- Noureddini, H., Zhu, D., (1997). Kinetics of Transesterification of Soybean Oil, *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 74(11), 1457-1463.
- Obieogu, K.N., Chiemenem L.I., Adekunle, K.F., (2016). Biodiesel Production from Plant Seed Oil - A Review, *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2(3) 738-749.
- Okullo, A.A., Temu, A.K., (2015). Modelling the Kinetics of Jatropha Oil Transesterification, *Energy and Power Engineering Journal*, (7) 135-143.
- Oluleye, M.A., Akindele, D.O., Adewuyi, E.N., Adeyemo, A.F., (2019). Effects of Reaction Conditions on the Alkali Catalysed Biodiesel Production from Jatropha Curcas Kernel of Nigerian Origin for Optimal Production, *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(3) 1560-1570.
- Padmavat, C.S., Yarasu, R.B., Khodke, P.M., (2016). Biodiesel as An Alternative Fuel : A State of Art Review, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7 (6) 175–198.
- Pal, A., Kachhwaha, S.S., (2011). Biodiesel production of non- edible oils through Ultrasound energy, Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, 08-10 December, 382 481, 1-4.
- Parida, S., Sahu, D.K, Misra, P.K., (2012). Preparation of Biodiesel Using Ultrasonication Energy and its performance in CI Engine, *International Journal of Green Energy*, 9, 430-440.
- Patil, P.D., Deng, S., (2009). Optimization of biodiesel production from edible and non-edible vegetable oils, *Fuel*, 88, 1302-1306.

- Paul, A.A.L., Adewale, F.J., (2018). Data on optimization of production parameters on *Persea Americana* (Avocado) plant oil biodiesel yield and quality, *Data in Brief*, 20, 855-863.
- Peters, S., Stockigt, M., Robler, C., (2009). Influence of Power Ultrasound on the Fluidity Setting of Portland Cement Pastes. *17th International Conference on Building Materials*, 23rd – 26th September, Weimar.
- Poudel, J., Shah, M., Karki, S., Oh, S.C., (2017). Qualitative Analysis of Transesterification of Waste Pig Fat in Supercritical Alcohols, *Energies*, 10 (265), 2-13.
- Pukale, D.D., Maddiker, G.L., Gogate, P.R, Pandit, B, Pratap, A.P., (2015). Ultrasound assisted transesterification of waste cooking oil using heterogeneous solid catalyst, *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 278-286.
- Rahim, M.R., Yusof, M., Azman, A.H., Jaafar, M.N.M., (2017). Prestasi Pembakaran minyak *Jatropha* Sebagai Bahan Api Cecair Biodiesel Pada Sistem Pembakar Berbahan Api Cecair, *Jurnal Teknologi*, 79 (6), 177-183.
- Raj, S., Bhandari, M., (2017). Comparison of Methods of Production of Biodiesel from *Jatropha Curcas*, *Journal of Biofuels*, 8 (2), 55-80.
- Rao, K.S., Panthangi, R.K., Baig, M.A.A., (2020). Comparative Characteristic Analysis of Diesel Engine With Biodiesels, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10 (1), 645–656.
- Rashid, U., Anwar, F., Jamil, A., Batti, H.N., (2010). *Jatropha Curcas* seed oil as a viable source for biodiesel, *Pak. J. Bot.*, 42 (1), 575-582.
- Robiah, Y., Azhari, M.H., (2011). Kinetics of the transesterification of *Jatropha curcas* triglyceride with an alcohol in the presence of an alkaline catalyst, *International Journal of Sustainable Energy*, 30 (S2), S175-S183.
- Rodrigues, J., Canet, A., Rivera, I., Osorio, N.M., Sandoval, G., Valero, F., Dias, S.F., (2016). Biodiesel production from crude *Jatropha* oil catalyzed by non-commercial immobilized heterologous *Rhizopus oryzae* and *Carica papaya* lipases, *Bioresource Technology Journal*, 213, 88-95.
- Rodrigues, S., Mazzone, L.C.A., Santos, F.F.P., Cruz, M.G.A., Fernandes, F.A.N., (2009). Optimization of The Production of Ethyl Esters by Ultrasound Assisted Reaction of Soybean Oil and Ethanol, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26 (2), 361-366.

- Royon, D., Daz, M., Ellenrieder, G., Locatelli, S., (2007). Enzymatic production of biodiesel from cotton seed oil using *t*-butanol as a solvent, *Bioresource Technology*, 98, 648-653.
- Sahu, G., Saha, S., Datta, S., Chavan, P., Naik, S., (2017). Methanolysis of *Jatropha curcas* oil using K_2CO_3 / CaO as a solid base catalyst. *Turkish Journal of Chemistry*, (41), 845 - 861.
- Salamatinia, B., Bathia, S., Abdullah, A.Z., (2011). A Response Surface Methodology Based Modelling of Temperature Variation in an Ultrasonic – Assisted Biodiesel Production Process. *World Applied Sciences Journal*, 12(9), 1549-1557.
- Salamatinia, B., Mootabadi, H., Hashemizadeh, I., Abdullah, A.Z., (2013). Intensification of biodiesel production from vegetable oil using ultrasonic-assisted process : Optimization and Kinetics . *Chemical Engineering and Processing : Process Intensification*, 73, 135-143.
- Sanchez, N., Encinar, J.M., Martinez, G., Gonzales, J.F., (2015). Biodiesel Production from Castor Oil under Subcritical Methanol Conditions, *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(1), 61-65.
- Sani, F.M., Abduhmalik, I.O., Rufai, I.A., (2013). Performance and Emission Characteristics of Compression Ignition Engines Using Biodiesel As A Fuel : A Review, *Asian Journal of Natural & Applied Sciences*, 2(4), 65-72.
- Sarala, R., Rajendran, M., Devadasan, S.R., (2012). Performance Characteristics of A Compression Ignition Engine Operated on Brassica Oil Methyl Esters, *ARPN Journal of Engineering and Applied Science*, 7 (7), 880-884.
- Satyanarayana, M., Muraleedharan, C., (2011). A comparative study of vegetable oil methyl esters (biodiesels), *Energy*, 36, 2129-2137.
- Sattanathan, R., (2015). Production of Biodiesel from Castor Oil with its Performance and Emission Test, *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 36, 273-279.
- Senthil, R., Kannan, M., Deepanraj, B., Nadanakumara, V., Santhanakrishnan, S., Lawrence, P., (2011). Study on Performance and Emission Characteristics of a Compression Ignition Engine Fueled with Diesel-2 Ethoxy Ethyl Acetate Blends, *Engineering*, 3, 1132-1136.
- Senthil, R., Sivakumar, E., Silambarasan, R., (2015). Effect of butanol addition on Performance and Emission Characteristics of a DI diesel engine fueled with

- PongamiaEthanol blend, *International Journal of ChemTech Research*, 8(2), 459-467.
- Senthur, N.S., Ravikumar., (2018). Comparative Evaluation of Performance and Emission Characteristics of Jatropa, Pongamia, Mahua and Eucalyptus Oil Based Biodiesel in Diesel Engine, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8(4), 845-854.
- Shahbazi, M.R., Khoshandam, B., Nasiri, M., Ghazvini, M., (2012). Biodiesel production via alkali-catalyzed transesterification of Malaysian RBD palm oil- Characterization, kinetics model, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43, 504-510.
- Shinde, K., Kaliaguine, S.N., (2019). A Comparative Study of Ultrasound Biodiesel Production Using Different Homogeneous Catalysts, *ChemEngineering*, 3(18), 2-10.
- Shrivastava, N., Varma, S.N., Pandey, M., (2012). An experimental investigation of performance and exhaust emission of a diesel engine fuelled with Jatropa biodiesel and its blends, *International Journal of Energy and Environment*, 3(6), 915-926.
- Siraj, S., Kale, R., Deshmukh, S., (2017). Effects of Thermal, Physical, and Chemical Properties of Biodiesel and Diesel Blends, *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(1), 24-31.
- Sivakumar, P., Anbarasu, K., Renganathan, S., (2011). Bio-diesel production by alkali catalyzed transesterification of dairy waste scum, *Fuel*, 90, 147-151.
- Sivaramakrishnan, K., (2018). Investigation on performance and emission characteristics of a variable compression multi fuel engine fuelled with Karanja biodiesel–diesel blend, *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 177-186.
- Srbinoski, G., Aleksovski, S.A., Capragoska, B.V., (2015). The Optimization of Biodiesel Production By Ultrasound Assisted Reaction, *Mechanical Engineering -Scientific Journal*, 33(2), 163-170.
- Srivastava, N., Gaurav, K., (2019). Biodiesel and its Production: Renewable Source of Energy, *J Biochem Tech*, 10 (3), 1-9.
- Stamenkovic, O.S., Kostic, M.D., Jokovic, N.M., Veljkovic, V.B., (2015). The Kinetics of Base-Catalyzed Methanolysis of Waste Cooking Oil, *Journal of Advanced Technology*, 4(1), 33-41.

- Stavarache, C., Vinatoru, M., Nishimura, R., Maeda, Y., (2005). Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy, *Ultrasonics Sonochemistry Journal*, 12, 367–372.
- Supranto, S., (2013). Palm Oil Transesterification Processing to Biodiesel Using a Combine of Ultrasonic and Chemical Catalyst, *Pertanika Journal Science & Technology*, 21(2), 567-580.
- Suppalakpanya, K., Ratanawilai, S., Nikhom, R., Tongurai, C., (2011). Production of ethyl ester from crude palm oil by two-step reaction using continuous microwave system, *Songklanakar J.Sci. Technol*, 33(1), 79-86.
- Suryanto, A., Sabara, Z., Ismail, H., Artiningsih, A., Zainuddin, U., Al Muknin A., Nurichsan, U., Niswah, F.W., (2018). Production Biodiesel from Kapok Seed Oil Using Ultrasonic, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Takase, M., Zhao, T., Zhang, M., Chen, Y., Liu, H., Yang, L., Wu, X., (2015). An expatiate review of neem, jatropha, rubber and karanja as multipurpose non-edible biodiesel resources and comparison of their fuel, engine and emission properties, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 495-520.
- Thananchayan, T., Krishnakumar, G., Pushpraj, M., Avinash, S.P.A., Karunya, S., (2013). Biodiesel production from jatropha oil using and castor oil by transesterification reaction – Experimental and Kinetics Studies, *International Journal of Chem Tech Research*, 5 (3), 1107 - 1112.
- Thangaraj, B., Solomon, P.R., Muniyandi, B., Ranganathan, S., Lin Lin., (2019). Catalysis in biodiesel production—a review, *Clean Energy Journal*, 3(1), 2–23.
- Thanh, L.T., Okitsu, K., Sadanaga, Y., Takenaka, N., Bandow, H., (2008). Biodiesel production from canola oil using ultrasonic reactor in small scale circulation process, *Proceeding of the International Seminar on Chemistry*, Jatinangor, West Java Province Indonesia, 30-31 October, 709-712.
- Thanh, L.T., Okitsu, K., Sadanaga, Y., Takenaka, N., Maeda, Y., Bandow, H., (2010). Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small scale circulation process, *Bioresource Technology*, 101, 639-645.
- Thanh, L.T., Okitsu, K., Maeda, Y., Bandow, H., (2013). Ultrasound assisted production of fatty acid methyl esters from transesterification of triglycerides with methanol in the presence of KOH catalyst : Optimization, mechanism and kinetics, *Ultrasonics Sonochemistry*, xxx-xxx.

- Theerayut, I., Worawut, W., Gumpon, P., Charktir, T., Michael, A., (2006). Transesterification of Palm Oil in Series of Continuous Stirred Tank Reactor, *Asian Journal of Energy and Environment*, 7, 336-346.
- Umaru, M., Aberuagba., (2012). Characteristics of a Typical Nigerian *Jatropha curcas* oil Seeds for Biodiesel Production, *Research Journal of Chemical Sciences*, 2 (10), 7-12.
- Varandal, A.B., Malviya, N., (2015). Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with *Jatropha* Biodiesel Blends, *International Journal of Engineering and Technical Research*, 3 (3), 39-42.
- Veljkovic, V.B., Avramovic, J.M., Stamenkovic, O.S., (2012). Biodiesel production by Ultrasound-assisted transesterification : State of the art and the perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1193-1209.
- Verma, P., Sharma, M.P., (2015). Performance and Emission Characteristics of Biodiesel Fuelled Diesel Engines, *International Journal of Renewable Energy Research*, 5(1), 245-250.
- Vijayakumar, M., Kumar, P.C.M., (2019). Performance and emission characteristics of compression-ignition engine handling biodiesel blends with electronic fumigation, *Heliyon*.
- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L, Bates, D., (2007). Applications and opportunities for Ultrasound assisted extraction in the food industry - A review, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, xx, 1-9.
- Vujicic, Dj., Comic, D., Zarubica, A, Micic, R, Boskovic, G., (2010). Kinetics of biodiesel synthesis from sunflower oil over CaO heterogeneous catalyst, *Fuel*, 89, 2054-2061.
- Wan, Y., Ou, S., Liu, P., Zhang, Z., (2007). Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two - step catalyzed process, *Energy Conversion & Management*, 48, 184-188.
- Wang, P.S., Tat, M.E., Gerpen, J.V., (2005). The production of fatty acid isopropyl esters and their use as a diesel engine fuel, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82 (11), 845–849.
- Wasiu, S., Syuhadah, N., (2019). Effects of Different Fractions of Biodiesel (B0, B7, B10 and B20) on the Performance Characteristics of Direct Injection Compression Ignition Engine, *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 11(1), 75-81.

- Wibowo, A., Wardana, I.N.G., Wahyudi, S., Yanuriyawan, D.W., (2018). A Comparative Analysis of Spray Combustion of Kapok Seed Oil and Jatropha Oil as An Alternative Biofuel, *Journal of Engineering Science and Technology*, 13 (4), 1111 - 1121.
- Yadav, P.K.S., Singh, O., Singh, R.P., (2010). Palm Fatty Acid Biodiesel : Process Optimization and Study of Reaction Kinetics, *Journal of Oleo Science*, 11, 575-580.
- Yin, X., Ma, H., You, Q., Wang, Z., Chang, J., (2012). Comparison of four different enhancing methods for preparing biodiesel through transesterification of sunflower oil, *Applied Energy*, 91, 320-325.
- Yusaf, T.F., Yousif, B.F., Elawad, M.M., (2011). Crude palm oil fuel for diesel-engines : Experimental and ANN simulation approaches, *Energy*, 36, 4871-4878.
- Zahan, K.A., Kano, M., (2018). Biodiesel Production from Palm Oil, Its By-Products, and Mill Effluent : A Review, *Energies*, 11, 2132, 1-25.
- Zeng, D., Yang, L., Fang, T., (2017). Process optimization, kinetic and thermodynamic studies on biodiesel production by supercritical methanol transesterification with CH₃ONa catalyst, *Fuel*, 203, 739-748.
- Zhao, X., Qi, F., Yuan, C., Du, W., Liu, D., (2015). Lipase-catalyzed process for biodiesel production: Enzyme immobilization, process simulation and optimization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 182–197.

LAMPIRAN A

Pengiraan hasil biodiesel yang diperoleh dalam uji kaji dengan menggunakan isopropil alkohol sebagai pelarut.

Sebagai contoh :

$$\begin{aligned} \text{Hasil} &= \frac{\text{Berat Produk Biodiesel}}{\text{Berat minyak jarak mula - mula}} \times 100 \% \\ &= \frac{19.6 \text{ gram}}{20 \text{ gram}} \times 100 \% \\ \text{Hasil} &= 97.80 \% \end{aligned}$$

LAMPIRAN B

Alat-alat analisis yang digunakan dalam penyelidikan diantaranya adalah sebagai berikut :



(a) Gas kromatografi



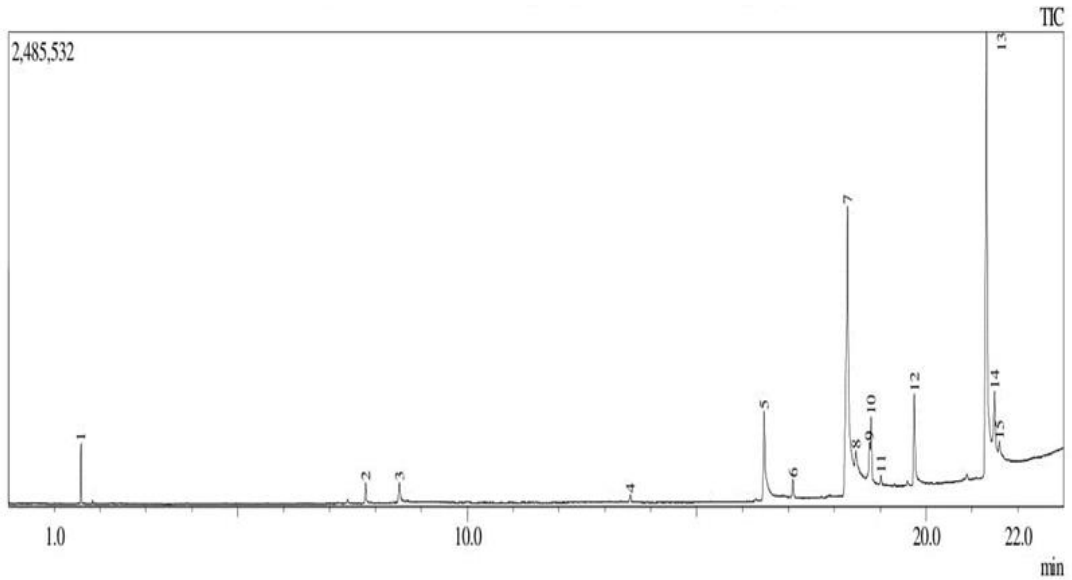
(b) Piknometer



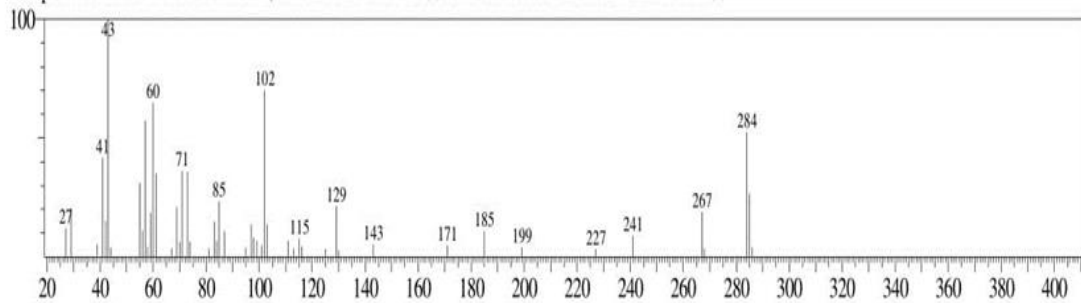
(c) Viscometer Ostwald

LAMPIRAN C

Hasil analisis produk biodiesel menggunakan gas kromatografi (GC).



Hit#:1 Entry:235497 Library:WILEY7.LIB
SI:90 Formula:C21 H42 O2 CAS:0-00-0 MolWeight:326 RetIndex:0
CompName:OCTADECANOIC ACID, ISOPROPYLESTER \$\$ STEARIC ACID ISOPROPYLESTER \$\$



Hasil analisis kromatografi gas daripada isopropil ester (biodiesel).

LAMPIRAN D

Hasil pengujian titik tuang dan titik kilat daripada hasil biodiesel yang dijalankan pada Syarikat Vico Indonesia di kawasan Muara Badak, Provinsi Kalimantan Timur.

No.	Nama Sampel (Produk)	Titik Tuang (° C)	Titik Kilat (° C)
1.	Biodiesel 1	1.22	110.50
2.	Biodiesel 2	1.22	110.50



Vico Indonesia

Jl Cendrawasih No 1
Muara Badak, Kutai Kartanegara
Kalimantan Timur - Indonesia 75382
P.O. Box 1400, Samarinda Kaltim 75001
Phone : (0541) 204000, 525000
Fax : (0541) 525359


LABORATORY ANALYSIS REPORT
Non Routine

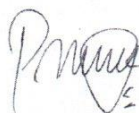
FS-169-REF-No. 1159

Requested by	Central Area Dept	Sample Date	July 14 , 2014
Location	Nilam Area	Received Date	July 14 , 2014
Sample Point	Oil Biodiesel	Analysis Date	July 14, 2014
Sample Type	Oil	Reported Date	July 15 , 2014
Sampling by	Mahasiswa TA	Page	1 of 1
W/O Maximo No.	3637643	File Number	05:18:01

No.	Sample Name	Pour Point (°C)	Flash Point (°C)	Remarks
1.	Biodiesel J	11.33	166.50	
2.	Biodiesel Z	11.89	148.50	
3.	Biodiesel M	8.56	113.50	
4.	Biodiesel R	9.67	120.50	
5.	Biodiesel K	8.56	117.50	
6.	Biodiesel Y	1.22	110.50	
7.	Biodiesel S	1.22	110.50	

Note :


Analyst


Bayu P Riyadi / Bambang Suhartono
Laboratory Supervisor

cc :

Laboratory File

Laboratory Administrator; Email: Fakhria.yuliana@vico.co.id
Telp :+62 541 525336/7. Fax :+62 541 525359

Lampiran E : Uji Enjin Campuran Biodiesel dan Diesel Tulen



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR

Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145
Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com



A. Alat Pengujian



Diesel Engine Test Bed (2018)

Spesifikasi Alat:

- Siklus : 4 langkah
- Jumlah silinder : 4
- Volume langkah torak total : 2164 cm³
- Diameter silinder : 83 mm
- Panjang langkah torak : 100 mm
- Perbandingan kompresi : 22 : 1
- Bahan bakar : Dexlite

- Pendingin : Air
- Daya Poros : 47 BHP / 3200 rpm
- Merk : Nissan, Tokyo Co.Ltd.
- Model : DWE – 47 – 50 – HS – AV
- Negara pembuat : Jepang

B. Prosedur Pengujian Motor Bakar

1. Persiapan Sebelum Mesin Beroperasi

- a. Menyalakan pompa pengisi untuk mengisi air dalam tangki sampai level air mencapai tinggi aman dan menyalakan *cooling tower*
- b. Membuka kran air pada pipa-pipa yang mengalirkan air ke mesin dan ke dinamometer.
- c. Mengatur debit air yang mengalir pada *flowmeter* pada debit tertentu dengan mengatur bukaan kran pada *flowmeter*.
- d. Menekan *switch power* untuk menghidupkan alat-alat ukur.
- e. Menghidupkan alarm air pendinginan yang akan memberitahu jika terjadi *overheating* dan level air kurang.
- f. Menyalakan dinamo *power control* dan atur kondisi poros mesin dalam keadaan tanpa beban.

2. Cara Menghidupkan Mesin

- a. Mengatur bukaan throttle sesuai yang diinginkan
- b. Setelah semua persiapan di atas dipenuhi, menyalakan kunci kontak pada posisi memanaskan mesin terlebih dahulu sampai indikator *glow signal* menyala.
- c. Memutar posisi kunci ke posisi *START* sambil mengurangi pembebanan pada poros.
- d. Setelah mesin menyala, biarkan mesin beroperasi beberapa saat untuk menstabilkan kondisi mesin.

3. Cara Mengambil Data

- a. Atur putaran mesin (rpm) dengan mengatur pembebanan pada dinamometer sampai mendapatkan putaran yang diinginkan.
- b. Tunggu kondisi mesin stabil kemudian lakukan pengambilan data yang diperlukan.

C. Rumus Pengiraan :

1. SFCe / BSFC

$$SFCe = \frac{FC}{Ne}$$

Dimana : $SFCe$: Spesific Fuel Consumption Effective

FC : konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne : daya efektif (PS)

2. Efisiensi Thermal Efektif / Brake Thermal Efficiency (η_e)

$$\eta_e = \frac{Ne}{Q_b} \times 632 \times 100\%$$

Dimana : η_e : efisiensi efektif (%)

Ne : daya efektif (PS)

Q_b : panas hasil pembakaran (kcal/jam)

3. Daya Efektif (Ne)

$$Ne = \frac{T \times n}{716,2} \text{ (PS)}$$

Dimana : n : putaran (rpm)

Ne : daya efektif (PS)

T : momen torsi (kg.m)

4. Fuel Consumption

$$FC = \frac{V}{t} \times \rho \times \frac{3600}{1000} \text{ (kg/jam)}$$

ρ masing-masing bahan bakar

Dimana : FC : Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

V : Volume bahan bakar (ml)

ρ : Massa jenis bahan bakar (gr/ml)

T : Masa konsumsi bahan bakar (s)

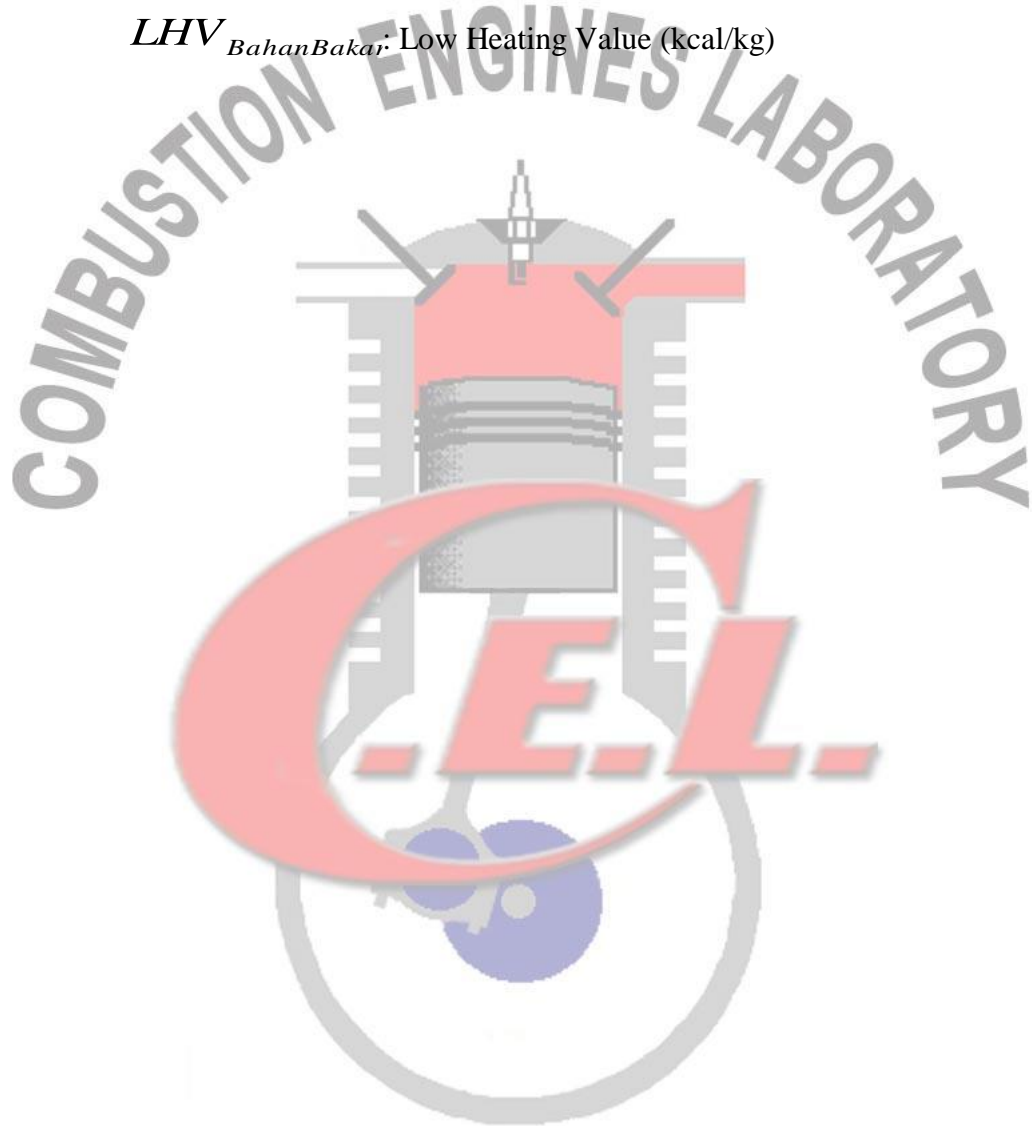
5. Panas Hasil Pembakaran

$$Q_b = FC \cdot LHV_{\text{BahanBakar}} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{Jam}} \right)$$

Dimana : Q_b : panas hasil pembakaran (kcal/jam)

FC : konsumsi bahan bakar (kg/jam)

$LHV_{\text{BahanBakar}}$: Low Heating Value (kcal/kg)



LAMPIRAN F
SENARAI PENERBITAN

Jurnal Terindeks

1. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman, Ramli, Marlinda. (2017). Rapid Alcoholysis Of Jatropha Curcas Oil For Biodiesel Production Using Ultrasound Irradiation. Bulletin Of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 12(3), 306-311.
<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/bcrec/article/view/801/946>

Jurnal Tidak Terindeks

1. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman. Synthesis of Isopropyl Esters from Jatropha Curcas Oil at Short Time Reaction. Journal of Advanced Materilas Research, Vol. 1123, pp, 209-211, 2015. <https://www.scientific.net/AMR.1123.209>
2. **Muh. IRWAN**, M.A RACHMAN, Hamdani SAIDI, Influence of Molar Ratio on Temperature Reaction to Synthesis of Isopropyl Esters (Biodiesel) from Jatropha Curcas Oil. Frontier of Applied Plasma Technology, Vol. 7 No. 2 July 2014

Prosiding Persidangan Tanpa Indeks

1. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman. (2016). Rapid Alcoholysis of Jatropha Curcas Oil for Biodiesel Production Using Ultrasound Irradiation. In 2016 International Seminar on Chemistry (ISoC).
2. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman (2014). Synthesis of Isopropyl Esters from Jatropha Curcas Oil at Short Time Reaction. In 2014 International Conference Advanced Material Science and Technology (*ICAMST*).
3. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman. (2012). Reduction Time Transesterification of Jatropha Curcas Oil with Alcohol Into Biodiesel Using Ultrasound-Assisted. In 2012 Conference on Emerging Energy & Process Technology (*CONCEPT*).
4. **Muh. Irwan**, Hamdani Saidi, M.A Rachman. (2012). Current Technology for Synthesis of Biodiesel using Jatropha Oil as Feedstock. In 2012 MJIT-JUC Joint Symposium (MJJS)