

PRESTASI PEMBAKARAN MINYAK JATROPHA SEBAGAI BAHAN API CECAIR BODIESEL PADA SISTEM PEMBAKAR BERBAHAN API CECAIR

Muhammad Roslan Rahim, Mustafa Yusof, Aidil Hafiz Azman, Mohammad Nazri Mohd Jaafar*

Institute for Vehicle System and Engineering (IVeSE), Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Johor Bharu, Johor, Malaysia

Article history

Received

13 March 2017

Received in revised form

6 June 2017

Accepted

10 August 2017

*Corresponding author

nazri@mail.fkm.utm.my

Graphical abstract



Abstract

The world is passing through a phase of sustainable modernization and industrial development day by day. As a result, there is an increasing number of vehicles used and heat engines demands in the market. However, energy sources used in these engines are limited and decreasing gradually. This situation leads to evolution of alternative sources to viable fuel for diesel engine. Biodiesel is seen as an alternative fuel for diesel engine combustion. The esters of vegetable or plant oil and animal fats are known as biodiesel. This article investigates the prospect of producing biodiesel from Jatropha oil. Jatropha curcas oil is a renewable non-edible plant. The seeds of Jatropha contain 50-60% oil. In this study, the oil has been converted to biodiesel by a well-known two-step, acid-base catalytic transesterification and used in diesel burner for performance evaluation. Biodiesel used in this study is a blend of diesel and Jatropha biodiesel. The performance of burner system using Jatropha biodiesel is based on its temperature profile and emissions generated such as nitrous oxide (NO_x), sulphur dioxide (SO_2) and carbon monoxide (CO). A reduction of 50% was achieved for both CO dan SO_2 when burning Jatropha biodiesel compared to burning diesel.

Keywords: Jatropha curcas, biodiesel, temperature profile, emission, oil burner

Abstrak

Dunia masa kini sedang melalui fasa pemodenan mampan dan pembangunan perindustrian hari demi hari. Akibatnya, bertakulah peningkatan bilangan penggunaan kenderaan dan permintaan terhadap bekalan enjin. Namun sumber-sumber tenaga yang digunakan dalam enjin ini adalah terhad dan semakin berkurangan secara beransur-ansur. Keadaan ini membawa kepada evolusi sumber alternatif untuk bahan api yang berdaya maju bagi enjin diesel. Biodiesel dilihat sebagai bahan api alternatif untuk pembakaran enjin diesel. Ester lemak minyak sayuran atau tumbuhan dan haiwan dikenali sebagai biodiesel. Artikel ini mengkaji prospek menghasilkan biodiesel daripada minyak Jatropha. Minyak Jatropha curcas merupakan minyak tumbuhan yang boleh diperbaharui dan tak boleh dimakan. Biji-biji Jatropha mengandungi 50-60% minyak. Dalam kajian ini, minyak telah ditukar kepada biodiesel melalui dua langkah yang telah dikenal pasti, asid-bes pemangkin transester dan digunakan dalam pembakar diesel untuk penilaian prestasi. Biodiesel yang digunakan dalam kajian ini adalah campuran diesel dan biodiesel Jatropha. Prestasi sistem pembakar menggunakan Jatropha biodiesel adalah berdasarkan kepada susuk suhu dan emisi yang dijanakan seperti nitrus oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2) dan karbon monoksida (CO). Pengurangan sebanyak 50% telah diperolehi untuk pembentukan emisi CO dan SO_2 apabila membakar biodiesel Jatropha berbanding membakar bahan api diesel.

Kata kunci: Jatropha curcas, biodiesel, susuk suhu, emisi, pembakar minyak

© 2017 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Pada masa kini dunia berhadapan dengan situasi penyusutan secara beransur-ansur simpanan bahan mentah serta peningkatan masalah pencemaran alam sekitar yang disebabkan oleh pembentukan emisi dari gas ekzos. Hal ini telah mendorong kepada keperluan untuk membangunkan sumber tenaga alternatif seperti bahan api biodiesel bagi mengekang masalah ini dari terus berlaku. Berdasarkan kepada kajian yang dijalankan mendapati bahawa minyak sayuran atau tumbuhan telah dikenal pasti sebagai pengganti kepada bahan api diesel. Ini telah dibuktikan buat pertama kalinya apabila kajian dilakukan dengan menggunakan minyak kacang tanah oleh Rudolph Diesel pada tahun 1900. Berdasarkan kajian tersebut, beliau mendapati bahawa minyak sayuran mempunyai nilai kelikatan yang lebih tinggi dan tidak sesuai digunakan secara langsung sebagai bahan api enjin, kerana ia boleh menyebabkan kerosakan pada enjin [1]. Bagi membolehkan minyak sayuran digunakan pada enjin, nilai kelikatan yang lebih rendah diperlukan di mana pada peringkat awal minyak sayuran perlu menjalani proses rawatan yang dikenali sebagai trans-esterifikasi. Kaedah proses rawatan ini telah terbukti keberkesannya dan kejayaannya [2, 3]. Merujuk kepada kajian yang dijalankan didapati nilai kelikatan minyak *Jatropha* sebelum menjalani proses rawatan adalah 35.98 mm²/s merupakan nilai kelikatan yang tinggi namun selepas menjalani proses rawatan trans esterifikasi nilai kelikatan minyak *Jatropha* B100 adalah sebanyak 4.4761 mm²/s.

Penggunaan minyak sayuran atau tumbuhan sebagai bahan api alternatif mempunyai beberapa kelebihan, di mana ia boleh diperbaharui dan dapat dihasilkan dengan mudah walaupun di kawasan luar bandar. Minyak sayuran dilihat bukan sahaja sebagai sumber bahan api alternatif malah ia juga adalah sebagai salah satu sumber tenaga moden untuk digunakan pada masa hadapan [4]. Menyedari kepentingan penggunaan minyak sayuran sebagai sumber bahan api alternatif, satu kajian telah dijalankan dalam beberapa tahun kebelakangan ini bagi menilai prestasi penggunaan minyak sayuran sebagai bahan api biodiesel di dalam enjin [5]. Sebagai makluman, produk berasaskan minyak sayur-sayuran didapati mempunyai potensi yang besar untuk merangsang pembangunan ekonomi luar bandar kerana peningkatan permintaan terhadap minyak sayuran dilihat dapat memberi manfaat kepada para petani. Sumber minyak sayuran boleh diperolehi daripada pelbagai jenis tanaman seperti minyak kelapa sawit, minyak kacang soya, minyak bunga matahari, minyak biji sesawi, dan minyak canola. Minyak yang diperolehi dari sumber tanaman ini telah digunakan untuk menghasilkan bahan api biodiesel dan juga minyak pelincir [6]. Namun permintaan yang tinggi terhadap minyak sayuran sebagai bahan api telah menyebabkan berlakunya inflasi harga makanan. Berdasarkan kepada kertas kerja penyelidikan yang diterbitkan pada Julai 2008

oleh bank dunia, telah dirumuskan bahawa bahan api bio yang dihasilkan daripada bijirin telah menyebabkan berlakunya peningkatan harga makanan di antara 70 hingga 75 peratus. Walau bagaimanapun, pada 2010 satu kajian yang dijalankan oleh bank dunia telah menyatakan bahawa kajian yang dijalankan sebelum ini bekemungkinan besar tidak mengambil kira sumbangan pengeluaran bahan api bio, ini kerana kesan peningkatan harga makanan disebabkan keperluan terhadap bahan api bio adalah tidak begitu besar. Kenyataan ini juga turut dipersetujui oleh Pertubuhan bagi Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (OECD), di mana menurut OECD kesan penggunaan bahan api bio terhadap peningkatan harga makanan adalah terlalu kecil [7].

Penggunaan biodiesel sebagai sumber tenaga dilihat semakin berkembang secara mendadak dalam tempoh beberapa tahun kebelakangan ini. Biodiesel merupakan sumber bahan api yang tidak bertoksik, mesra alam, serta tidak mengandungi sulfur [8] dan biodiesel juga boleh digunakan secara bersendirian atau bersama campuran bahan api diesel. Biodiesel didapati mempunyai banyak kelebihan jika dibandingkan dengan bahan api diesel. Biodiesel mempunyai nilai nombor setana yang lebih tinggi berbanding dengan bahan api diesel dan tidak mengandungi aroma serta didapati terdapat 10-12% kandungan oksigen mengikut berat. Disebabkan biodiesel adalah bahan bakar alternatif beroksigen, jadi ia dapat menghasilkan pembakaran yang lebih lengkap serta membentuk emisi pencemar dan merbahaya yang sedikit [9]. Hal ini disebabkan oleh biodiesel mengandungi sejumlah kandungan karbon yang kurang jika dibandingkan dengan kandungan hidrogen dan oksigen yang lebih tinggi berbanding bahan api diesel fosil. Kandungan ini telah mendorong kepada peningkatan prestasi pembakaran biodiesel serta pada masa yang sama mengurangkan pembentukan emisi daripada hidrokarbon tak terbakar [7].

Penghasilan biodiesel boleh dilakukan dengan pelbagai kaedah seperti trans-esterifikasi, pencairan, pirolisis dan mikro-emulsi [10]. Daripada keseluruhan kaedah yang dinyatakan didapati trans-esterifikasi merupakan kaedah yang lebih berkesan dalam penghasilan biodiesel. Ini kerana ia didapati dapat mengurangkan kelikatan minyak serta merupakan salah satu kaedah yang lebih ekonomi. Proses trans-esterifikasi dipengaruhi oleh pelbagai faktor seperti suhu, jenis pemangkin, nisbah kepekatan alkohol untuk bahan bakar dan kadar kelajuan kacau [11].

Sumber bahan mentah bagi penghasilan biodiesel untuk ujian kali ini adalah menggunakan sumber daripada *Jatropha*. *Jatropha* merupakan bahan mentah yang tidak boleh dimakan tetapi berpotensi besar serta berdaya maju untuk dikomersialkan bagi penghasilan bahan api bio. Tumbuhan *Jatropha* ini dilihat tidak mengganggu atau memberi saingan terhadap sumber makanan mahupun memberi kesan terhadap kenaikan harga bahan makanan. Tumbuhan ini boleh ditanam hampir di mana sahaja,

serta sesuai pada pelbagai bentuk permukaan tanah sama ada berbatu, berpasir dan tanah masin serta memerlukan kuantiti air yang sangat rendah. Pengekstrakan sumber biodiesel daripada biji *Jatropha* adalah mudah dan turut mempamerkan sifat-sifat bahan api yang lebih baik berbanding dengan sumber biodiesel daripada bahan mentah yang lain. Data yang diperolehi daripada kajian sifat-sifat fizikal dan kimia menunjukkan kandungan minyak *Jatropha* adalah sebanyak 63.16%. Kandungan minyak *Jatropha* ini didapati lebih tinggi daripada biji rami, kacang soya, dan isirong sawit yang mana setiapnya adalah 33.33%, 18.35% dan 44.6%, masing-masing [12]. Kandungan minyak yang tinggi pada *Jatropha* menunjukkan bahawa *Jatropha* sesuai sebagai bahan mentah dalam industri oleokimia (biodiesel, asid lemak, sabun dan lain-lain [13]. Sumber minyak daripada *Jatropha* amat sesuai digunakan serta mengatasi sumber minyak kelapa sawit kerana nilai *Cold Filter Plugging Point* (CFPP) pada minyak *Jatropha* menjadikan ia sebagai pilihan yang lebih baik untuk kegunaan di kawasan yang beriklim sejuk [14].

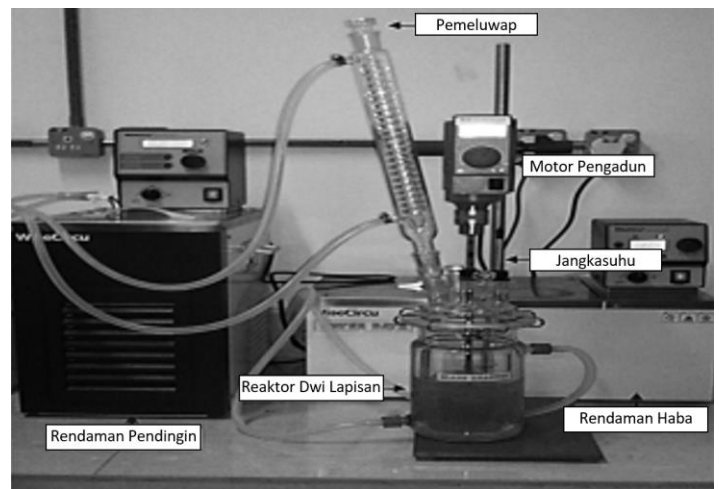
2.0 KAEDAH UJIKAJI

2.1 Penyediaan Bahan Api Biodiesel dari Sumber Minyak *Jatropha* pada Skala Makmal

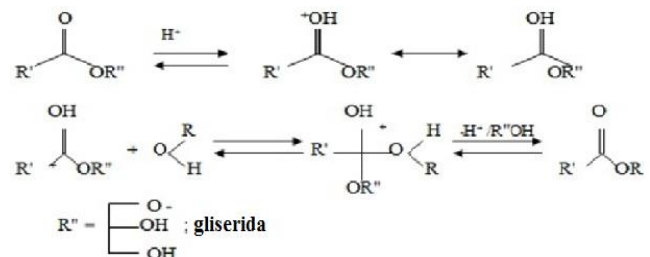
Biodiesel telah disediakan bersama dengan dua bahan yang berbeza iaitu metanol dan etanol masing-masing dengan keadaan tindak balas yang berbeza. Dengan menggunakan metanol, ujikaji telah dijalankan pada nisbah optimum molar iaitu 6:1 dengan mengekalkan kepekatan pemangkin sebanyak 1% sodium hidroksida (NaOH), suhu tindak balas ialah 65°C manakala masa tindak balas adalah 1 jam. Sementara itu dengan menggunakan etanol pula, ujikaji telah dijalankan dengan nisbah optimum molar sebanyak 8:1 dengan mengekalkan kepekatan pemangkin sebanyak 1% potasium hidroksida (KOH), pada suhu tindak balas 70°C dan masa tindak balas adalah 3½ jam.

Langkah pertama dalam penghasilan bahan api biodiesel dengan menggunakan sumber dari *Jatropha* ialah dengan menjalankan proses esterifikasi terlebih dahulu. Jumlah minyak *Jatropha* yang diperlukan telah ditapis dan diukur dengan menggunakan kelalang penyukat dan kemudian ia dituangkan ke dalam bikar dasar bulat tiga leher. Minyak *Jatropha* seterusnya dipanaskan sehingga mencapai suhu yang diperlukan. Larutan *alkoxide* disediakan. Larutan *alkoxide* yang telah disediakan kemudiannya dicampurkan ke dalam bekas reaksi. Campuran itu didapati menghasilkan tindak balas antara satu sama lain. Apabila tempoh tindak balas yang dikehendaki dicapai, campuran yang dihasilkan dari tindak balas akan dimasukkan ke dalam corong pemisah, di mana proses ini mengambil masa selama 12 jam atau semalaman. Campuran terdiri daripada dua lapisan, di mana lapisan bawah merupakan

gliserin mentah dan ia perlu dipisahkan menggunakan corong. Apabila proses esterifikasi selesai, langkah kedua ialah menjalankan proses trans-esterifikasi. Selepas itu lapisan biodiesel pula kemudiannya dicuci dengan menggunakan air suam bagi menghilangkan kandungan metanol, sisa pemangkin dan sabun. Sebelum proses basuhan dilakukan, pH lapisan biodiesel telah diukur dan asid fosforik telah ditambah ke dalam lapisan biodiesel untuk meneutralkan sisa pemangkin. Selepas proses peneutralan, proses basuhan biodiesel dimulakan [15]. Rajah 1 menunjukkan penyediaan peralatan bagi menghasilkan bahan api biodiesel manakala Rajah 2 menunjukkan proses esterifikasi bagi pengurangan nilai asid.



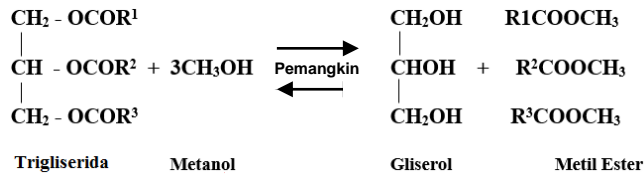
Rajah 1 Penyediaan radas ujikaji bagi proses pengesteran dan trans-esterifikasi



Rajah 2 Proses esterifikasi. R' rantai karbon Asid Lemak dan R adalah kumpulan Alkil Alkohol [16]

Semasa proses basuhan, pengadukan lembut diperlukan untuk mengelak dari berlakunya emulsi. Selepas proses pemisahan lapisan selama 30 minit, larutan air basuhan telah disalurkan keluar dari bahagian bawah corong pemisah. Proses basuhan diulangi sehingga lapisan ester menjadi jelas. Selepas proses basuhan, pengukuran nilai pH lapisan biodiesel dilakukan. Apabila nilai pH lapisan biodiesel mencapai angka 7, maka proses basuhan telah pun selesai. Selepas itu, lapisan biodiesel kemudiannya dimasukkan ke dalam penapis pasir dan penapis garam. Akhir sekali, produk biodiesel telah diperolehi

di mana dapat dilihat dengan jelas cecair kekuningan dengan kelikatan yang sama dengan bahan api diesel. Rajah 3 menunjukkan proses trans-esterifikasi.



Rajah 3 Proses trans-esterifikasi, R1, R2 dan R3 adalah terdiri dari rantaian hidrokarbon yang berbeza [17]

2.2 Pengadunan Bahan Api Biodiesel

Pengadunan bahan api biodiesel adalah terdiri daripada campuran dua bahan api yang berbeza iaitu bahan api fosil Diesel (FDF) dan biodiesel Jatropa. Untuk adunan ini, alat yang digunakan bagi mengukur nilai bacaan graviti tentu (SG) ialah hidrometer pada skala 0.8-0.9 Kg/L dan 0.9-1.0 Kg/L. Jadual 1 menunjukkan isipadu bahan api fosil Diesel (FDF) dan biodiesel Jatropa untuk proses pengadunan.

Jadual 1 Isipadu bahan api Diesel (FDF) dan biodiesel Jatropa untuk proses pengadunan

Adunan	Biodiesel Jatropa (liter)	FDF (liter)	Jumlah (liter)
B0	0.0	10.0	10
B5	0.5	9.5	10
B10	1.0	9.0	10
B15	1.5	8.5	10
B20	2.0	8.0	10

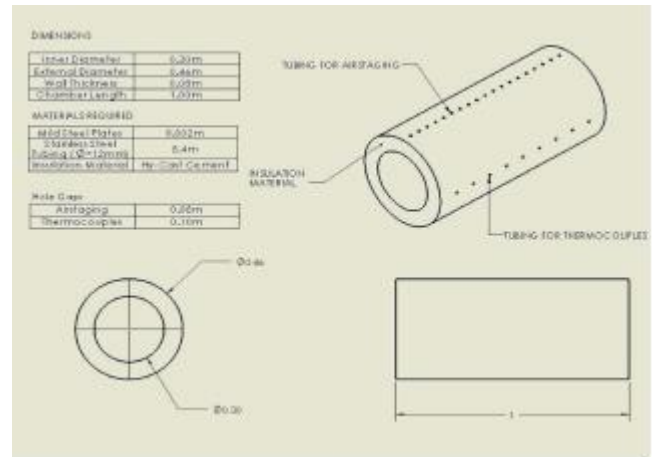
2.3 Penyediaan Ujikaji

Penyediaan peralatan dan bahan ujikaji adalah seperti yang ditunjukkan di bawah. Rajah 4 menunjukkan kebuk pembakar yang digunakan sewaktu ujikaji dijalankan.



Rajah 4 Kebuk pembakar sewaktu ujikaji

Kebuk pembakar yang digunakan untuk ujikaji ini terdiri daripada keluli lembut dengan ketebalan 2mm. Terdapat 9 bukaan lubang pada dinding kebuk pembakar dengan masing-masing berjarak 100mm setiap satu. Tujuan lubang ini dibuat adalah untuk menempatkan kuar pengganding haba. Simen penebat haba digunakan untuk melindungi kebuk pembakar dan memanjangkan jangka hayat kebuk tersebut. Ketebalan simen penebat adalah sebanyak 8.0 cm. Rajah 5 menunjukkan dimensi lengkap kebuk pembakar.



Rajah 5 Kebuk pembakar dengan dimensi lengkap

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1 Sifat Fizikal Bahan Api Biodiesel Jatropa

Jadual 2 menunjukkan sifat fizikal yang terkandung dalam bahan api biodiesel Jatropa. Jadual 2 menunjukkan kadar ketegangan permukaan bagi bahan api biodiesel Jatropa. Ketegangan permukaan adalah cenderung untuk menstabilkan cecair serta mengelakkan daripada berlaku penyepaian ke dalam titisan yang lebih kecil. Cecair yang memiliki kadar ketegangan permukaan yang lebih tinggi cenderung untuk mempunyai purata saiz titisan yang lebih besar berbanding pengabusan.

Jadual 2 Ketegangan permukaan

Adunan	Ketegangan Permukaan (mN/m)			Purata
0	30.0	30.0	30.2	30.1
5	30.5	30.5	30.5	30.5
10	30.5	30.7	30.5	30.6
15	30.5	30.9	30.9	30.8
20	30.9	30.9	31.0	30.9
100	34.2	34.0	34.2	34.1

Jadual 3 Ketumpatan bahan api Biodiesel Jatropha

Bahan api	Jumlah berat (g)	Berat bahan api (g)	Ketumpatan (g/cm ³)
MS123 2005	-	-	0.81-0.87
Diesel	68.565	41.55	0.831
B5	68.665	41.65	0.833
B10	68.765	41.75	0.835
B15	68.865	41.85	0.837
B20	68.965	41.95	0.839
Jatropha	70.515	43.5	0.870

Jadual 3 menunjukkan ketumpatan bahan api biodiesel Jathropa. Ketumpatan diukur berdasarkan unit berat per isipadu. Kandungan bahan api cecair yang mempunyai kadar ketumpatan yang tinggi mempunyai kadar kadungan tenaga yang lebih. Jadual 3 ini menunjukkan kandungan diesel mempunyai ketumpatan yang lebih tinggi dan ini menunjukkan kadar tenaga yang dihasilkan oleh diesel adalah lebih [18].

Jadual 4 menunjukkan graviti tentu bagi adunan biodiesel dalam ujikaji yang dijalankan.

Jadual 4 Graviti tentu

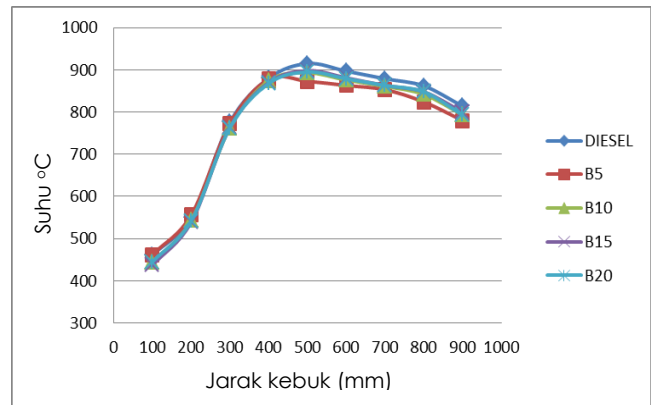
Adunan biodiesel	Interpolasi linear	Graviti tentu ujikaji
B0	0.839	0.839
B5	0.841	0.841
B10	0.842	0.842
B15	0.844	0.844
B20	0.845	0.845
B100	0.870	0.870

3.2 Susuk Suhu Dinding Kebuk Pembakar

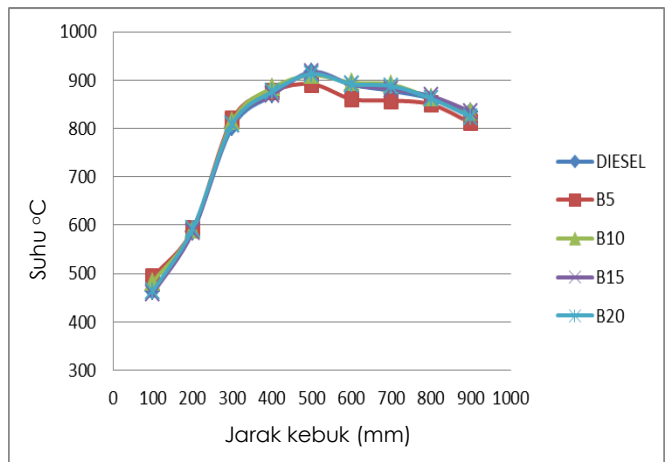
Susuk suhu di sepanjang kebuk pembakar telah direkodkan semasa ujikaji dijalankan. Terdapat dua kawasan suhu iaitu suhu dinding dan suhu dalaman kebuk pembakar. Terdapat sembilan kuar pengganding haba di sepanjang kebuk pembakar di mana suhu dinding kebuk pembakar direkodkan [19].

Rajah 6, Rajah 7 dan Rajah 8 menunjukkan susuk suhu dinding kebuk pembaka untuk bahan api fosil Diesel (FDF) dan adunan biodiesel Jatropha pada nisbah kesetaraan 1.34, 1.0 dan 0.72 masing-masing. Persamaan yang boleh diperhatikan dari rajah tersebut adalah bentuk susuk suhu menunjukkan corak yang sama untuk semua bahan api. Rajah tersebut juga menunjukkan bahawa peningkatan suhu berlaku pada bahagian masuk kebuk pembakar iaitu 100mm dari kerongkong pembakar sehingga mencapai jarak 400mm selepas itu berlaku penurunan suhu sehingga ke hujung kebuk pembakar (900mm). Secara teorinya

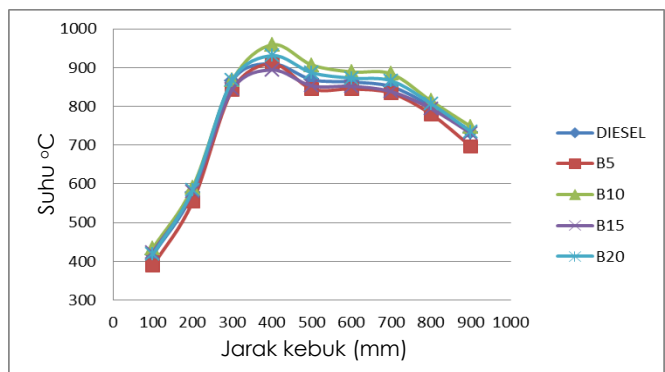
peratusan isipadu Jatropha biodiesel meningkat, menunjukkan nilai haba rendah (LHV) dan nilai kalori semakin berkurangan. Ini menyebabkan suhu nyalaan menurun disebabkan oleh peningkatan peratusan isipadu biodiesel Jatropha daripada B5 kepada B20 [20].



Rajah 6 Suhu dinding pada nisbah kesetaraan 1.34



Rajah 7 Suhu dinding pada nisbah kesetaraan 1.0

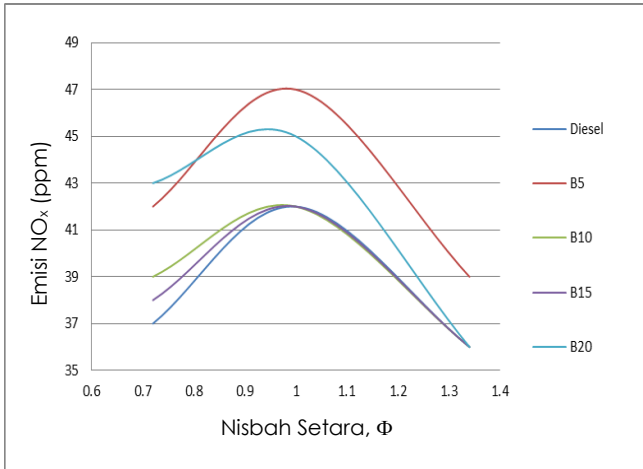


Rajah 8 Suhu dinding pada nisbah kesetaraan 0.72

3.3 Ciri-Ciri Emisi

Ciri-ciri emisi menunjukkan kesesuaian gabungan bahan api Biodiesel sebagai bahan api gantian kepada bahan api diesel.

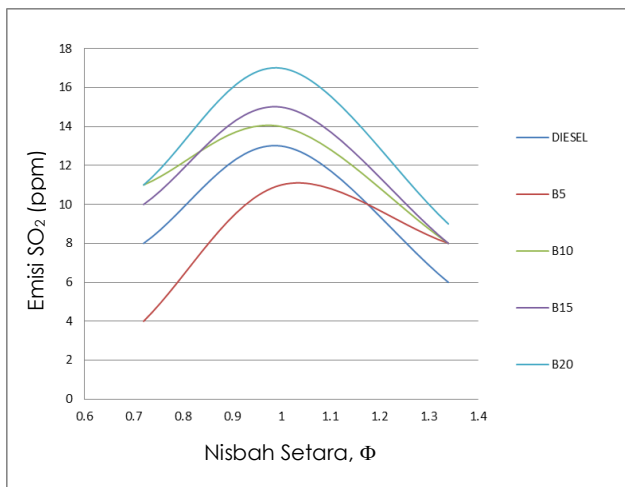
Berdasarkan ujikaji ini, pembentukan emisi seperti NO_x , SO_2 , dan CO dianalisis. Susuk emisi amat penting bagi memastikan kadar pembentukan bahan pencemar yang berbahaya terhadap alam sekitar dapat dikurangkan. Hal ini menunjukkan keberhasilan dalam bidang kejuruteraan kini yang sedang bergerak menuju ke arah pembangunan teknologi hijau [21].



Rajah 9 Pembentukan emisi NO_x melawan nisbah kesetaraan, Φ

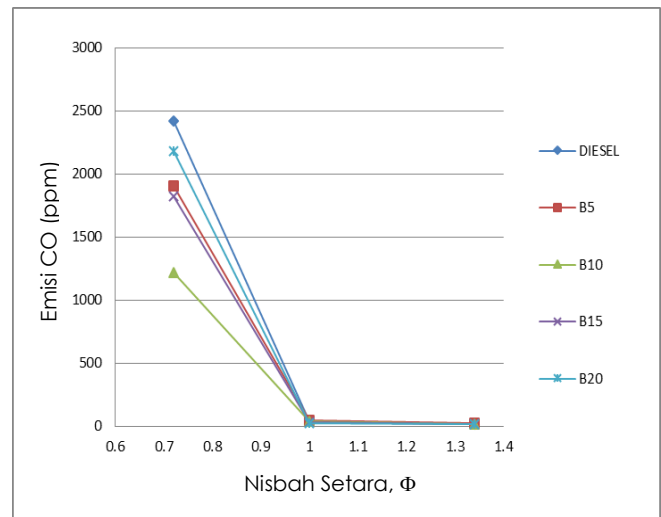
Rajah 9, Rajah 10 dan Rajah 11 menunjukkan pembentukan emisi yang dihasilkan oleh bahan api fosil Diesel (FDF) dan adunan biodiesel Jatropha.

Dari pengamatan, Rajah 9 menunjukkan bahawa NO_x meningkat bagi semua adunan biodiesel Jatropha. Ini adalah selari dengan keputusan para penyelidik terdahulu. Pembentukan NO_x adalah disebabkan oleh suhu pembakaran yang tinggi kerana biodiesel mengandungi oksigen di dalamnya yang mana didapati membantu dalam tindak balas serta menghasilkan emisi NO_x yang lebih tinggi [17].



Rajah 10 Pembentukan emisi SO_2 melawan nisbah kesetaraan, Φ

Rajah 10 menunjukkan pembentukan emisi SO_2 terhadap nisbah kesetaraan. Dari rajah ini juga dapat disimpulkan bahawa bahan api biodiesel dari sumber Jatropha curcas menghasilkan emisi SO_2 yang lebih tinggi berbanding pembentukan dari pembakaran bahan api diesel kecuali untuk adunan B5 yang menunjukkan penurunan yang agak ketara pada nisbah kesetaraan stoikiometri dan cair bahan api. Namun untuk keadaan kaya bahan api, nilai emisi SO_2 adalah lebih tinggi daripada bahan api diesel. Pengurangan sebanyak 50% dicapai pada nisbah setara 0.7 untuk B05 berbanding diesel.



Rajah 11 Pembentukan emisi CO melawan nisbah kesetaraan

Rajah 11 pula menunjukkan pengurangan yang banyak emisi CO apabila biodiesel Jatropha digunakan berbanding dengan menggunakan bahan api diesel. Perkara ini dapat diterangkan dengan mudah kerana seperti yang dijelaskan sebelum ini bahawa bahan api biodiesel mengandungi kandungan oksigen, maka proses kimia selanjutnya menukarkan kebanyakan daripada CO_2 kepada CO yang mana secara tidak langsung mengurangkan emisi CO dari proses pembakaran [22]. Pengurangan sebanyak hampir 50% juga telah diperolehi pada nisbah setara 0.7 untuk bahan api biodiesel B10 berbanding diesel. Namun tiada perubahan pada nisbah kesetaraan yang melebihi 1.0.

4.0 KESIMPULAN

Kesimpulan dari kajian ini ialah ketegangan permukaan, ketumpatan dan graviti tentu yang diperolehi daripada teori adalah sama seperti kajian yang dijalankan oleh para penyelidik terhadap analisis kimia biodiesel Jatropha pada tahap yang ditetapkan dalam ASTM. Penggunaan bahan mentah Jatropha curcas didapati mempunyai peluang yang lebih luas untuk pengeluaran biodiesel kerana beberapa ciri-ciri

menarik seperti kebolehan untuk memberi hasil dan produktiviti minyak yang lebih baik. Biodiesel daripada minyak *Jatropha* juga mempunyai pembentukan emisi yang rendah serta susuk suhu dan prestasi pembakaran yang hampir setanding dengan bahan api diesel malah ia juga menepati piawaian ASTM dan boleh digunakan dalam enjin diesel dengan prestasi yang sama atau lebih baik.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi terima kasih kepada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia dan Pusat Pengurusan dan Penyelidikan, Universiti Teknologi Malaysia kerana menganugerahkan geran penyelidikan bagi menjalankan projek ini (nombor projek: 11J97). Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia kerana menyediakan kemudahan ruang bagi menjalankan penyelidikan ini.

Rujukan

- [1] Ng, H. K., Gan, S. 2010. Combustion Performance and Exhaust Emissions from the Non-pressurised Combustion of Palm Oil Biodiesel Blends. *Appl. Therm. Eng.* 30: 2476-2484.
- [2] Yang, P. M., Lin, K. C., Lin, Y. C., Jhang, S. R., Chen, S. C. 2016. Emission Evaluation of a Diesel Engine Generator Operating with a Proportion of Isobutanol as a Fuel Additive in Biodiesel Blends. *Appl. Therm. Eng.* 100: 628-635.
- [3] Anand, K., Sharma, R. P., Mehta, P. S. 2011. A Comprehensive Approach for Estimating Thermo-physical Properties of Biodiesel Fuels. *Appl. Therm. Eng.* 31: 235-242.
- [4] Lim, S., Teong, L. K. 2010. Recent Trends, Opportunities and Challenges of Biodiesel in Malaysia: An Overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 14(2010) 938-954.
- [5] M. A. Kalam, J. U. Ahamed, H. H. Masjuki. 2012. Land Availability of *Jatropha* Production in Malaysia. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, Malaysia.
- [6] D. H. Qi, H. Chen, L. M. Geng, Y. ZH. Bian. 2010. Experimental Studies on the Combustion Characteristics and Performance of a Direct Injection Engine Fueled with Biodiesel/Diesel Blends. School of Automobile, Chang'an University, China.
- [7] Abner Frasier. 2012. *Advances in Petroleum Physics*. AbeBooks.co.uk.
- [8] Jindal, S., Nandwana, B. P., Rathore, N. S., Vashistha, V. 2010. Experimental Investigation of the Effect of Compression Ratio and Injection Pressure in a Direct Injection Diesel Engine Running on *Jatropha Methyl Ester*. *Appl. Therm. Eng.* 30: 442-448.
- [9] Emil Akbar, Zahira Yaakob, Siti Kartom Kamarudin, Manal Ismail. 2009. Characteristic and Composition of *Jatropha Curcas* Oil Seed from Malaysia and Its Potential as Biodiesel Feedstock. National University of Malaysia, Malaysia.
- [10] Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S. 2012. A Comprehensive Review on Biodiesel as an Alternative Energy Resource and Its Characteristics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 2070-2093.
- [11] H. C. Ong, A. S. Silitonga. 2013. Production and Comparative Fuel Properties of Biodiesel from Non-edible Oils: *Jatropha Curcas*, *Sterculia Foetida* and *Ceiba Pentandra*. Faculty of Engineering, University of Malaya, Malaysia.
- [12] Gunstone, F. D. 1994. *The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses*. London: Blackwell Publishing Ltd.
- [13] Azam, M. M., Waris, A., Nahar, N. M. 2005. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-traditional Seed Oils for Use as Biodiesel in India. *Biomass and Bioenergy.* 29: 293-302.
- [14] Saroj Kumar Jha, S. F., S. D. Filip To. 2007. *Flame Temperature Analysis of Biodiesel Blends and Components*. Elsevier Ltd.
- [15] Monyem, A., Van Gerpen, J. H. Canakci M. 2001. The Effect of Timing and Oxidation on Emissions from Biodiesel Fueled Engines. *Trans ASAE.* 44(1): 35-42.
- [16] Schuchardt, U., Sercheli, R., & Vargas, R. M. 1998. Transesterification of Vegetable Oils: A Review. *Journal of the Brazilian Chemical Society.* 9(3): 199-210.
- [17] Islam, M. R., Chhetri, A. B., & Khan, M. M. 2012. *Green Petroleum: How Oil and Gas Can be Environmentally Sustainable*. John Wiley & Sons
- [18] Mohammad Nazri Mohd Jaafar. 2011. *Gas Turbine Engine Utilizing Biodiesel*. Lambert Academic Publishing.
- [19] Pradhan, R. C., Naik, S. N., Meda, V., Bhatnagar, N., & Vijay, V. K. 2009c. Mechanical expression of oil from oilseeds in a screw press oil expeller. International Conference on Food Security and Environmental Sustainability (FSES 2009). Kharagpur, India: IIT.
- [20] M. A. Kalam, H. H. Masjuki. 2004. Emissions and Deposit Characteristics of a Small Diesel Engine When Operated on Preheated Crude Palm Oil. *Biomass Bioenergy.* 27: 289-297.
- [21] Hoekman, S. K. 2013. Biodistillate Fuels and Emissions in the United States. Presentation at Institute of Medicine Workshop on the Nexus of Biofuels Energy, Climate Change, and Health; Washington, DC.
- [22] Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Muhammad Roslan Rahim, Mohd Naquiddin Mohd Salleh. 2017. Kajian Prestasi Penggunaan Bahan Api Envo-diesel dalam Sistem Pembakaran. *Jurnal Teknologi.* 79(3): 39-44.