

KAJIAN PRESTASI PENGGUNAAN BAHAN API ENVO-DIESEL DALAM SISTEM PEMBAKARAN

Mohammad Nazri Mohd Jaafar*, Muhammad Roslan Rahim, Mohd Naquiddin Mohd Salleh

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

Article history

Received
7 December 2016
Received in revised form
31 January 2017
Accepted
15 February 2017

*Corresponding author
nazri@mail.fkm.utm.my

Graphical abstract



Abstract

This paper presents an investigation on the combustion performance of an oil burner system utilising various Envo-diesel blends. Fuel used in this study is the blend of diesel with palm oil called Envo-Diesel. The experiment was conducted using E5, E10, E15, E20 and E25 as fuel. All fuel blends were investigated using two different types of nozzle with different fuel mass flow rates. The combustion performance of burner system using Envo-Diesel was based on its wall temperature profiles and emissions generated such as nitric oxide (NO_x) and carbon monoxide (CO). The result for NO_x at equivalent ratio 0.9 indicates that when the volume of palm oil increases in the blend compared to diesel, the emission decreased around 13% for E5. For CO emission at equivalent ratio 1.4, the percentage increment of palm oil volume in the blends compared to diesel caused decrease in CO emission of around 3% for E5. Results also show that the high content of palm oil in the blends increase the viscosity, surface tension and density, hence lower concentrations of emission.

Keywords: Envo-Diesel, Oil Burner, NO_x Emission, CO Emission, Wall Temperature

Abstrak

Kertas kerja ini membentangkan kajian prestasi pembakaran pelbagai adunan Envo-diesel menggunakan sistem pembakar berbahan api cecair. Bahan api yang digunakan dalam kajian ini merupakan adunan diesel dengan minyak kelapa sawit yang dikenali sebagai Envo-Diesel. Ujikaji telah dijalankan ke atas adunan bahan api E5, E10, E15, E20 dan E25. Semua adunan ini telah diuji menggunakan dua jenis muncung dengan kadar aliran jisim bahan api yang berbeza. Prestasi pembakaran sistem pembakar menggunakan Envo-Diesel adalah berdasarkan kepada suhu dinding pembakar dan emisi yang dihasilkan seperti nitrik oksida (NO_x) dan karbon monoksida (CO). Contoh keputusan untuk NO_x pada nisbah kesetaraan 0.9 didapati terdapat penurunan emisi untuk adunan minyak sawit berbanding diesel sekitar 13% untuk E5. Bagi CO pula pada nisbah kesetaraan 1.4, peratus peningkatan dalam isi padu minyak sawit di dalam adunan berbanding diesel telah menurun sekitar 3% bagi pembentukan emisi CO untuk E5. Keputusan menunjukkan bahawa kandungan minyak sawit yang tinggi dalam adunan meningkatkan kelikatan, ketegangan permukaan dan ketumpatan serta mengakibatkan kepekatan emisi yang lebih rendah.

Kata kunci: Envo-Diesel, Pembakar Berbahan Api Cecair, Emisi NO_x , Emisi CO, Suhu Dinding

© 2017 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Pertumbuhan pesat industri dan peningkatan populasi manusia menjadi penyebab utama terhadap permintaan bahan api fosil yang tinggi. Pertumbuhan ekonomi tidak boleh berlaku tanpa peningkatan penggunaan tenaga. Ini kerana penggunaan bahan api fosil seperti minyak, gas asli dan arang batu masih lagi menjadi keutamaan bagi memacu sumber tenaga dunia [1]. Kesan daripada peningkatan drastik tersebut menyebabkan simpanan bahan mentah dan simpanan tenaga utama dunia didapati semakin terhad. Menurut anggaran, simpanan bahan mentah dunia dapat bertahan selama 218 tahun lagi bagi arang batu, 41 tahun bagi minyak mentah dan 63 tahun bagi gas asli [2]. Kesan dari masalah tersebut telah mendorong kepada kajian mengenai penggunaan sumber tenaga alternatif bagi menggantikan sumber tenaga utama yang semakin susut di samping dapat memelihara dan memulihara alam sekitar.

Menurut kajian oleh Sperling dan Gordon [3] ke atas penggunaan kenderaan di peringkat global, menjelang tahun 2035 peningkatan penggunaan kenderaan di atas jalan raya dijangka meningkat sebanyak dua billion unit dan jumlah ini akan terus meningkat dari semasa ke semasa. Oleh kerana peningkatan bilangan kenderaan agak drastik di peringkat global, maka jumlah pelepasan emisi NO_x dan pelepasan emisi CO pada masa itu secara logiknya akan meningkat dengan ketara.

Pelepasan gas ekzos secara berleluasa, seperti yang diketahui, dapat menyumbang kepada pelbagai masalah pada alam sekitar dan hidupan seperti peningkatan kesan rumah hijau, pemanasan global, penipisan lapisan ozon, hujan asid, dan lain-lain [4].

Menyedari akan kepentingan terhadap memelihara alam sekitar dan hidupan, satu kajian dijalankan ke atas kebuk pembakaran turbin gas [5]. Kajian tertumpu pada corak aliran dengan simulasi, senario tenaga ini telah merangsang minat terhadap penyelidikan secara aktif dalam 'nonpetroleum', sumber boleh diperbaharui, dan bahan api mesra alam [6]. Terbaharu, Lembaga Minyak Sawit Malaysia (MPOB) telah menghasilkan E5 'biofuel' minyak sawit yang dikenali sebagai "Envo Diesel" untuk kegunaan tempatan. Sifat-sifat fizikal dan kimia envo-diesel adalah berbeza daripada bahan api diesel fosil, di mana terdapat perbezaan kecekapan pada semburan pengabusan dalam kebuk pembakaran. Walau bagaimanapun, nilai kalori envo-diesel adalah lebih rendah berbanding bahan api diesel komersial [7].

Para penyelidik telah menjalankan kajian ke atas envo-diesel dan ciri-cirinya, di mana tindak balas envo-diesel dalam enjin pembakaran dalam telah direkodkan [8], selain itu terdapat juga beberapa kajian yang dijalankan ke atas envo-diesel bagi mengkaji prestasinya dalam pembakar berbahan api cecair, serta mendapati envo-diesel adalah bahan api pengganti yang berpotensi tinggi untuk digunakan ke atas pembakar turbin gas [9]. Para penyelidik juga

mendapati dari hasil kajian ke atas biodiesel, didapati biodiesel menghasilkan emisi pencemaran yang lebih rendah (kecuali NO_x) jika dibandingkan dengan bahan api diesel komersial [10, 11].

Kajian ini memberi tumpuan kepada prestasi pembakaran menggunakan bahan api alternatif dalam pembakar berbahan api cecair yang sedia ada. Kertas kerja ini mempersembahkan keputusan kajian yang dijalankan untuk menilai prestasi dan pelepasan emisi yang dihasilkan oleh bahan api envo-diesel yang terdiri daripada adunan minyak sawit sebanyak 5% dan 95% bahan api diesel (sebagai E5). Penyelidikan ini juga turut menghasilkan adunan bahan api lain seperti 10% minyak sawit dengan 90% bahan api diesel (seperti E10), diikuti pula dengan E15, E20 dan E25. Kesemua adunan yang dihasilkan mempunyai kadar aliran jisim yang berbeza. Walau bagaimanapun, kesemua keputusan dibandingkan dengan bahan api diesel komersial (B0).

2.0 KAEDAH UJIKAJI

Campuran minyak sawit telah disediakan dengan menggunakan mesin pengadun pada skala makmal. Proses pengadunan mengambil masa dua hingga tiga jam dengan menggunakan kipas teraduk berkembar yang bergerak perlahan pada kelajuan putaran 50 putaran per minit untuk memastikan campuran minyak sawit dan diesel dapat dihasilkan dengan campuran yang homogen. Radas makmal seperti hidrometer telah digunakan untuk memeriksa graviti tentu (SG) daripada campuran. SG daripada campuran dipantau untuk setiap setengah jam. Campuran dianggap homogen apabila graviti tentu (SG) campuran kekal malar yakni tidak lagi berubah.

Tiga sifat-sifat campuran minyak sawit yang memberi kesan kepada ciri-ciri semburan diukur: kelikatan kinematik, ketegangan permukaan dan ketumpatan serta tambahan satu lagi parameter iaitu nilai kalori. Kelikatan kinematik campuran diukur menggunakan *Viscometer (Cole-Parmer)*. Sementara itu ketegangan permukaan diukur menggunakan *tensionmeter (Kruss Tensionmeter)* manakala ketumpatan ditentukan dengan menggunakan meter ketumpatan (*Pycnometer*).

Rajah 1 menunjukkan gambar rajah skematik penyediaan ujikaji yang terdiri daripada sistem pengabus kukuh dengan dua muncung yang bertalian di mana ia terdiri daripada kadar aliran bahan api yang berbeza. Turut digunakan ialah penganalisis gas untuk mengukur emisi yang terdiri daripada NO_x dan CO. Sewaktu ujikaji dijalankan pelantar ujikaji diletakkan secara mendatar di atas troli mudah alih. Pelantar ujikaji terdiri daripada sebuah kebuk pembakar, pembakar berbahan api cecair dan dilengkapi kuar pengganding haba dari jenis K bagi menganalisis suhu ketika pembakaran berlaku [12]. Diameter bahagian dalam kebuk pembakar ialah 300 mm dan panjang ialah 1000 mm. Kebuk pembakar menggunakan udara ambien bagi tujuan penyejukan selepas pembakaran. Dalam kajian ini,

sembilan kuar pengganding haba digunakan dan diletakkan pada jarak 100mm antara satu sama lain dan bacaan suhu diukur menggunakan perakam suhu. Semua campuran bahan api diuji dengan menetapkan nisbah kesetaraan 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, dan 1.4.

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

3.1 Sifat Fizikal Envo Diesel

Jadual 1 menunjukkan hasil pengukuran sifat fizikal bahan api cecair. Jadual 1 menunjukkan bahawa ketumpatan, kelikatan kinematik dan ketegangan permukaan adunan minyak sawit didapati meningkat berdasarkan peningkatan kandungan minyak sawit dalam bentuk isi padu di dalam adunan tersebut berbanding diesel. Kelikatan minyak sawit adalah lebih tinggi daripada diesel. Perbezaan terhadap ketumpatan, ketegangan permukaan dan nilai kalori diesel dibandingkan dengan minyak sawit adalah, masing-masing sebanyak 7.4%, 12.7% dan 14.5%. Oleh itu, percampuran di antara minyak sawit dan bahan api petroleum telah menghasilkan perubahan terhadap kelikatan jika dibandingkan dengan ketumpatan dan ketegangan permukaan.

Jadual 2 pula menunjukkan kadar aliran jisim pada setiap muncung, dua jenis muncung digunakan dengan kadar aliran jisim yang berbeza. Perbezaan

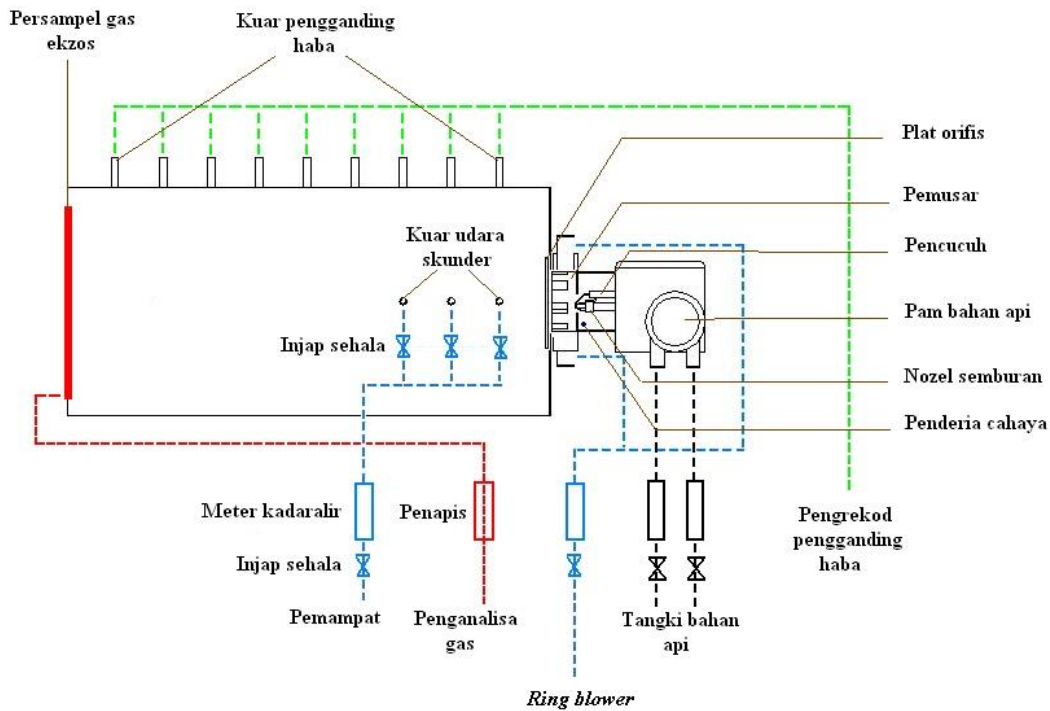
kadar aliran jisim pada muncung 2 adalah kira-kira 20% peningkatan berbanding muncung 1.

Jadual 1 Sifat Fizikal

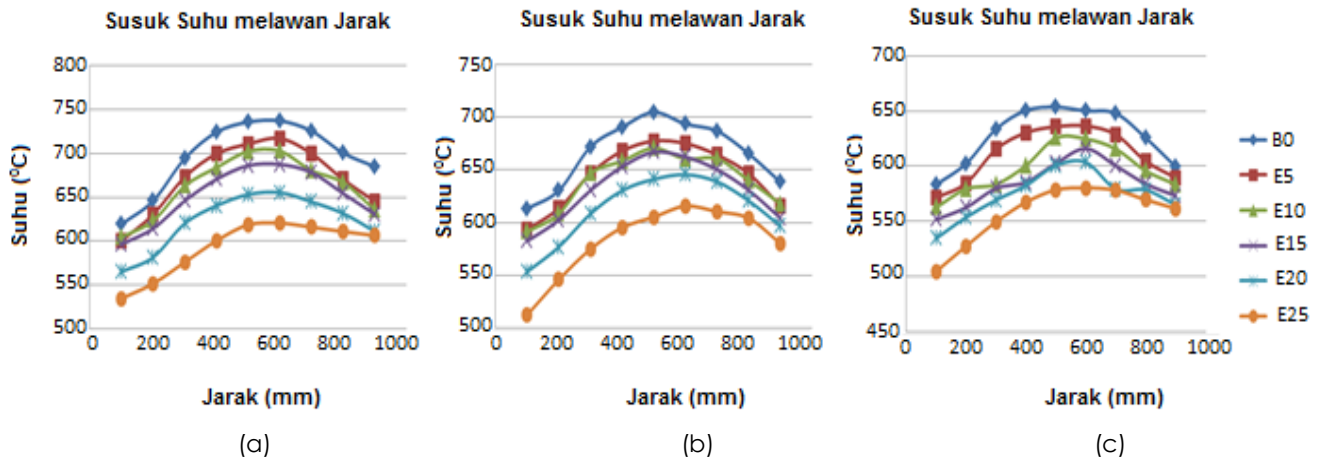
Sampe l	Ketumpatan (kg/m ³)	Kelikatan Kinematik (Cst)	Ketegangan Permukaan (N/m)	Nilai Kalori (KJ/kg)
Diesel	835.91	3.0625	0.02956	45632
E5	839.78	3.4675	0.03040	45340
E10	842.68	4.5227	0.03056	45055
E15	845.58	4.5706	0.03067	44671
E20	848.49	4.7734	0.03076	44474
E25	851.39	5.3679	0.03083	44183
Minyak Sawit	903.64	35.0876	0.03386	39845

Jadual 2 Kadar Alir Muncung Bahan Api

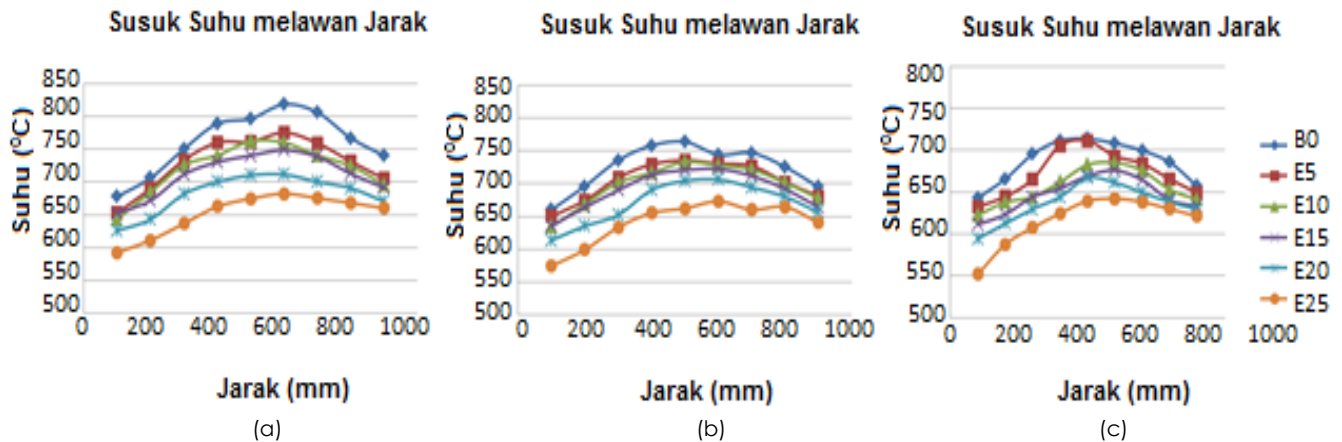
Jenis	Kadar Alir Jisim (l/jam)	Sudut Semburan(°)
Muncung 1	4.732	45
Muncung 2	6.625	45



Rajah 1 Rajah skematik pelantar ujikaji



Rajah 2 Muncung 1, susuk suhu melawan jarak pada setiap nisbah kesetaraan (a) Nisbah Kesetaraan 0.9; (b) Nisbah Kesetaraan 1.0; (c) Nisbah Kesetaraan 1.4



Rajah 3 Muncung 2, susuk suhu melawan nisbah kesetaraan pada setiap nisbah kesetaraan (a) Nisbah Kesetaraan 0.9; (b) Nisbah Kesetaraan 1.0; (c) Nisbah Kesetaraan 1.4

3.2 Taburan Suhu Dinding Pembakar

Bagi membandingkan ciri-ciri pembakaran bahan api yang berbeza, adalah lebih mudah untuk menyatakan kekuatan campuran dalam bentuk nisbah kesetaraan, ϕ . Nisbah kesetaraan adalah nisbah bahan api/udara sebenar dibahagikan dengan nisbah bahan api/udara pada keadaan stoikiometri, di mana bagi semua bahan api, nisbah kesetaraan, $\phi = 1$ menunjukkan campuran stoikiometri, manakala bagi nilai nisbah kesetaraan yang kurang daripada 1 menunjukkan campuran adalah cair, sementara nilai nisbah kesetaraan yang lebih besar daripada 1 menunjukkan campuran yang kaya. [13].

Rajah 2 dan 3 menunjukkan terdapat peningkatan suhu dinding pada setiap nisbah kesetaraan, di mana bahan api diesel mempamerkan suhu dinding lebih tinggi pada setiap peningkatan nisbah kesetaraan, diikuti oleh bahan api E5, E10, E15, E20 dan E25. Peningkatan suhu yang dihasilkan oleh bahan api diesel turut dinyatakan dalam kajian yang dijalankan oleh Jaafar dan rakan-rakan [14], di mana keputusan kajian menunjukkan bahawa bahan api diesel

mempunyai susuk suhu tertinggi semasa ujian pembakaran diikuti oleh bahan api biodiesel yang lain. Kajian yang dijalankan juga turut mendapati bahan api diesel adalah lebih tinggi dari segi kandungan tenaga berbanding adunan biodiesel.

Dalam campuran kaya bahan api didapati suhu pembakaran yang terhasil adalah sangat tinggi pada setiap gabungan adunan bahan api berbanding dengan percampuran cair bahan api. Merujuk pada ujian muncung 2 seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3, suhu dinding didapati amat tinggi berbanding dengan ujikaji muncung 1. Berdasarkan kajian yang dijalankan, didapati terdapat persamaan pada corak susuk suhu untuk semua bahan api yang digunakan.

Berdasarkan pada Rajah 2 dan 3 juga didapati bahawa peningkatan suhu berlaku pada kedudukan 100mm dari kerongkong pembakar hingga ke hilir kebuk pembakaran iaitu pada jarak 500mm dari kerongkong pembakar. Suhu dalam kebuk pembakaran didapati semakin berkurangan selepas suhu puncak pada jarak 500mm sehingga ke hilir kebuk pembakaran (900mm). Berdasarkan kepada pemerhatian menunjukkan bahawa suhu tertinggi

yang telah direkodkan di dalam kebuk pembakaran adalah pada jarak 500 mm dari kerongkong pembakar.

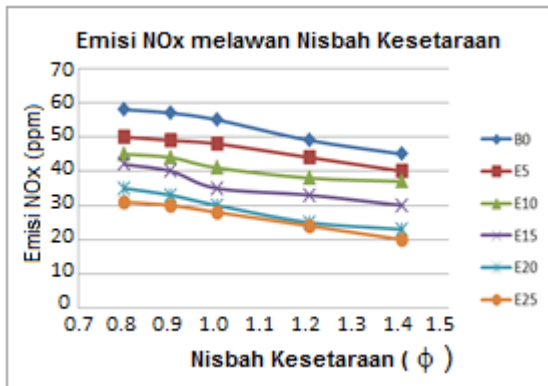
Berdasarkan pemerhatian dari ujikaji ini didapati percampuran bahan api berlaku dengan sempurna di bahagian tengah kebuk pembakar yang menyebabkan berlakunya peningkatan suhu yang tinggi pada jarak 500mm dari kerongkong pembakar. Dalam campuran yang kaya bahan api pula pada nisbah kesetaraan 1.4, didapati suhu pada dinding yang paling tinggi adalah untuk bahan api diesel bagi muncung 1 adalah 763.5°C, dan 839.9°C untuk muncung 2. Peningkatan suhu bagi muncung 2 berbanding muncung 1 adalah sekitar 10%. Manakala pada nisbah kesetaraan 1.0 pula, didapati suhu bahan api diesel adalah 704.6°C untuk muncung 1 dan 763.9°C untuk muncung 2. Peningkatan bagi suhu untuk muncung 2 berbanding muncung 1 adalah sekitar 8.4%.

3.3 Emisi

Dalam bahagian ini, emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran dipersembah dan dibincangkan. Kedua-dua bahan pencemar utama iaitu emisi NO_x dan CO dianalisis. Perbincangan meliputi nisbah kesetaraan, campuran bahan api dan jenis muncung.

3.3.1 Emisi NO_x

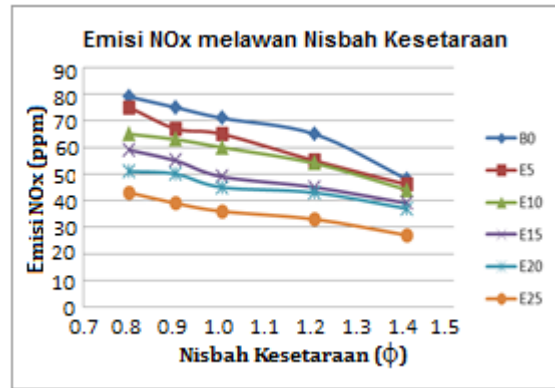
Rajah 4 dan 5 menunjukkan pembentukan emisi NO_x untuk bahan api diesel dan Envo-diesel pada nisbah kesetaraan yang berbeza dan jenis muncung yang berbeza. Persamaan yang boleh dilihat dari rajah tersebut adalah corak pembentukan emisi NO_x adalah sama bagi semua bahan api.



Rajah 4 Pembentukan emisi NO_x pada muncung 1

Dari rajah tersebut didapati berlaku penurunan emisi pada campuran cair bahan api hingga kaya bahan api. Pada keadaan campuran cair bahan api, pembentukan emisi NO_x adalah lebih tinggi jika dibandingkan dengan keadaan kaya bahan api. Ini disebabkan percampuran cair bahan api mempunyai lebihan udara dan suhu pembakaran yang tinggi,

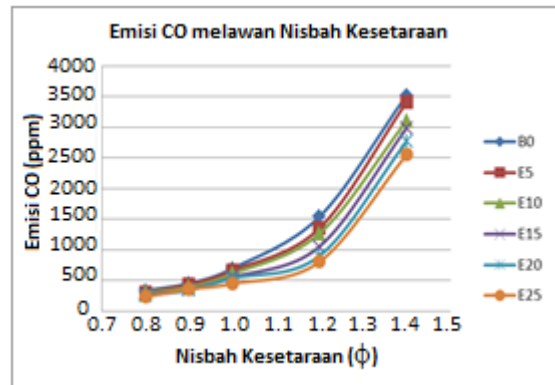
menyebabkan berlakunya penghasilan dan peningkatan pada pembentukan emisi NO_x.



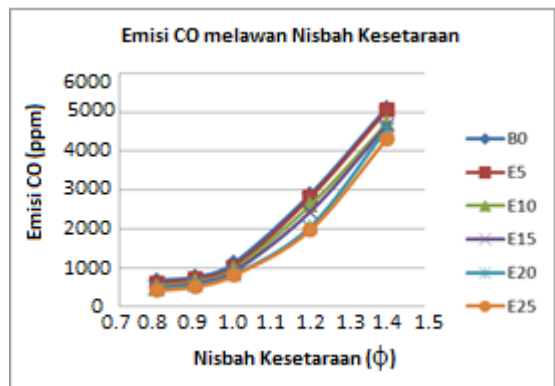
Rajah 5 Pembentukan emisi NO_x pada muncung 2

3.3.2 Emisi CO

Rajah 6 dan 7 menunjukkan pembentukan emisi CO bagi bahan api diesel dan Envo diesel pada nisbah kesetaraan yang berbeza dengan menggunakan dua muncung berbeza. Dari kedua-dua rajah tersebut didapati terdapat persamaan dari segi bentuk dan corak pembentukan emisi CO bagi semua bahan api.



Rajah 6 Pembentukan emisi CO pada muncung 1



Rajah 7 Pembentukan emisi CO pada muncung 2

Dari kedua-dua rajah juga, didapati bahawa peningkatan pembentukan emisi berlaku dari campuran cair bahan api sehingga campuran kaya bahan api. Pada campuran cair bahan api pembentukan emisi NO_x adalah sangat rendah berbanding dengan campuran yang kaya bahan api.

Campuran yang kaya bahan api didapati mempunyai bahan api yang berlebihan menyebabkan pembentukan emisi CO berlaku. Pembentukan emisi NO_x yang tinggi berlaku pada campuran yang cair bahan api adalah disebabkan oleh kehadiran nitrogen yang tinggi dan peningkatan pada suhu pembakaran yang mencukupi. Manakala pembentukan emisi CO yang tinggi pula berlaku pada campuran yang kaya bahan api di mana ia disebabkan kehadiran oksigen yang rendah. Hal ini turut dinyatakan oleh Jaafar dan rakan-rakan [15, 16], di mana kandungan oksigen yang tinggi di dalam bahan api biodiesel menyumbang kepada pengoksidaan bahan api lengkap di kawasan rantau kaya bahan api yang membawa kepada penurunan pembentukan emisi CO.

4.0 KESIMPULAN

Prestasi pembakaran menggunakan bahan api adunan minyak sawit dan diesel telah dijalankan di bawah suhu dan tekanan ambien dengan menggunakan muncung pengabusan yang berbeza. Kepelbagaian adunan minyak sawit iaitu E5, E10, E15, E20 dan E25 bersama bahan api diesel telah dikaji prestasi taburan suhu dan penghasilan emisi menggunakan kuar pengganding haba dan penganalisis gas. Berdasarkan kajian ini:

- 1- Suhu dinding didapati berkurangan dengan peningkatan kandungan minyak sawit dalam adunan (E5 hingga E25). Taburan suhu adalah disebabkan oleh peningkatan kadar aliran jisim dari muncung 1 kepada muncung 2.
- 2- Pembentukan emisi NO_x didapati semakin berkurangan apabila berlaku peningkatan kandungan minyak sawit dalam campuran (E0 hingga E25). Pada campuran yang kaya bahan api didapati pembentukan emisi NO_x yang rendah terhasil berbanding dengan campuran yang cair bahan api.
- 3- Pelepasan CO didapati berkurangan apabila berlaku peningkatan dalam kandungan minyak sawit dalam campuran (E5 hingga E25). Pada campuran kaya bahan api didapati pembentukan emisi CO adalah tinggi jika dibandingkan dengan campuran cair bahan api.
- 4- Berdasarkan kajian didapati peningkatan suhu berlaku pada muncung 2 berbanding dengan muncung 1 sekitar 10% dan 8.4% dalam campuran kaya bahan api ($\Phi = 1.4$) dan stoikiometri ($\Phi = 1$), oleh itu daripada kajian ini muncung 2 adalah disyorkan untuk digunakan bagi campuran bahan api ini.

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: 01G60). Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia kerana menyediakan kemudahan ruang bagi menjalankan penyelidikan ini.

Rujukan

- [1] Norhayati Kamaruddin and Yuzlina Mohd. Yusop. 2000. Long Term Energy Strategy for the Malaysia Energy Sector Study. In: Kamaruzzaman Sopian and Mohd Yusof Hj Othman (Ed.). *Advances in Malaysia Energy Research 1999* Kuala Lumpur: Institut Tenaga Malaysia. 107-115.
- [2] Agarwal, A. K. 2007. Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines. *Procd of Energy Combustion Sci.* 33(3): 223-330.
- [3] Sperling, D., & Gordon, D. 2009. Two Billion Cars. Driving Toward Sustainability.
- [4] Liaquat, A. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H. & Jayed, M. H. 2011. Engine Performance and Emissions Analysis using "Envo Diesel" and Coconut Biodiesel Blended Fuel as Alternative Fuels. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE*.
- [5] Shahid, E. M. & Jamal, Y. 2011. Performance Evaluation of a Diesel Engine Biodiesel. *Pakistan Journal of Engineering & Applied Science.* 68-75.
- [6] Abul Hossain, K., Mohd Jaafar M. N., Mustafa, A., Babu Appalanidu, K., Faridnasir, A. 2004. Application of Selective Non-catalytic Reduction of NO_x in Small-Scale Combustion Systems. *Atmospheric Environment.* 38(39): 6823-6828.
- [7] Mohd Jaafar, M. N., Jusoff, K., Osman, M. S., Ishak, M. S. A., 2011. Combustor Aerodynamic Using Radial Swirler. *International Journal of Physical Sciences.* 6(13): 3091-3098.
- [8] Hosseini, S. E., Wahid, M. A., Aghili, N. 2013. The Scenario of Greenhouse Gases Reduction in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 28: 400-409.
- [9] Kalam, M. A., H. H. Masjuki, M. G. Saifullah and T. B. Seng. 2008. Envo Diesel Test on Automotive Engine – An Analysis of Its Performance and Emissions Results. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering.* 3(1): 55-60.
- [10] Roska, R., Rakosi E., Manolache, G., Nicula, M. 2005. Fuel and Injection Characteristics for a Biodiesel Type Fuel from Waste Cooking Oil. *SAE.* 01-3674:1-14.
- [11] Shaiful, M. A. I., Mohd. Amirul M. A. A., Nazri M. M. J.,c Norwazan A.R., and Ismail A. 2013. Numerical Investigation of Combustion Performance Utilizing Envo-diesel Blends. *Advanced Materials Research.* 647: 822-827.
- [12] British Standards Institution. BS 1041:1992. Temperature Measurement. Part 4. Guide to the Selection and Used of Thermocouples. British Standards Institution
- [13] Lefebvre, A. H. 1983. *Gas Turbine Combustion.* Hemisphere Publishing Corporation.
- [14] Ja'afar, M. N. M., Omar, W. Z. W., Rahim, M. R., Azmi, I., & Abdullah, M. H. 2014. Study on Combustion Performance of Palm Oil Biodiesel Blend. *Jurnal Teknologi.* 69(6).
- [15] Rahim, M. R. & Jaafar, M. N. M. 2017. Kesan Sudut Pusaran Terhadap Pembentukan Emisi Menggunakan Dwl Pemusar Udara Aliran Jejarian. *Jurnal Teknologi.* 79(2): 137-146.
- [16] Ja'afar, M. N. M., Omar, W. Z. W., Rahim, M. R., Azmi, I., & Abdullah, M. H. 2014. Study on Combustion Performance of Palm Oil Biodiesel Blend. *Jurnal Teknologi.* 69(6): 127-131.