

PENGURANGAN EMISI DARI PEMBAKAR BERBAHAN API GAS MENGGUNAKAN REKA BENTUK “RETAINER” BARU

Amadtakiyaumidin Ramli dan Mohammad Nazri Mohd Jaafar
Jabatan Kejuruteraan Aeronautik, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor

ABSTRAK

Pembebasan emisi ke persekitaran menyebabkan alam sekitar semakin tercemar. Berpunca dari masalah ini telah timbul banyak kesedaran untuk mengawal alam sekitar supaya lebih selamat untuk didiami hidupan di muka bumi. Pembakar merupakan salah satu penyumbang utama kepada masalah pencemaran ini. Proses pembakaran dari pembakar yang menggunakan gas sebagai bahan api berkecenderungan untuk membebaskan emisi seperti NO_x , CO, CO_2 , uHC dan sebagainya. Oleh itu langkah yang sewajarnya perlu diambil dengan membuat kajian yang menyeluruh terhadap kaedah-kaedah pengurangan emisi daripada pembakar. Objektif kajian ini adalah untuk mengurangkan emisi daripada pembakar berbahan api gas dengan menggunakan reka bentuk retainer yang baru. Kajian ini bertujuan mengkaji keberkesanan penggunaan retainer baru dengan berbagai sudut dalam mengurangkan emisi. Tiga rekabentuk telah dihasilkan iaitu R_{30} , R_{45} dan R_{60} dan hasil ujikaji dibandingkan dengan retainer sedia ada. Retainer baru yang dihasilkan adalah berdasarkan kekuatan nombor pusing 0.4802 bagi R_{30} , 0.8314 bagi R_{45} dan 1.4405 bagi R_{60} . Melalui kaedah ini didapati 45.21% emisi NO, 60.0% emisi CO dan 15.08% gas CO_2 dapat dikurangkan.

Kata kunci: retainer baru, emisi, bahan api gas, nombor pusing.

1.0 PENGENALAN

Penyelidikan dan pembangunan enjin pada dekad 80an dan 90an lebih bertumpu kepada pembakar, kerana gas ekzos yang terhasil dari proses pembakaran telah mendatangkan kesan buruk kepada seluruh alam. Gas-gas yang terhasil adalah terdiri daripada oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO_x), hidrokarbon tidak terbakar (UHC) dan karbon monoksida CO [1]. Gas-gas ini telah menyebabkan terjadinya pemanasan bumi, jerebu (photochemical smog), penipisan lapisan ozon dan hujan asid [2]. Namun penumpuan lebih diberikan kepada pengurangan NO_x kerana kaedah untuk mengurangkan NO_x adalah melibatkan kos yang tinggi dan kompleks.

Pelbagai parameter pembakar diubahsuai bagi mendapatkan ciri-ciri yang dapat mengurangkan emisi. Kaedah kawalan yang selalu dipraktikkan adalah pembakar bermangkai, pembakar berperingkat [3], pembakar dengan daya edaran semula [4], pembakar dengan penyejukan air [5], pembakar pra-pengewapan pra-campuran dan pembakar dengan penurunan terpilih tanpa mangkai (SNCR) [6]. Pembakar dengan daya edaran semula adalah pembakar yang menggunakan pemutar bagi menghasilkan daya edaran semula. Penyelitan plat orifis pada laluan masuk ke zon utama adalah bagi meningkatkan halaju udara dan mengurangkan tekanan pada zon tersebut yang mana akan memberikan kesan kepada emisi yang terhasil.

Emisi merupakan bahan cemar yang terhasil dari tindakbalas kimia seperti yang dilakukan semasa pembakaran [7]. Terdapat empat emisi utama akibat proses pembakaran iaitu oksida nitrogen (NO_x), karbon monoksida (CO), hidrokarbon tidak terbakar (UHC) dan asap. NO_x juga terbentuk semasa operasi pembakaran pada suhu tinggi dengan pembakaran stoikiometri.

1.1 Emisi Oksida Nitrogen (NO_x)

Oksida nitrogen (NO_x) terhasil daripada proses pembakaran bersuhu tinggi di antara nitrogen dan oksigen. Oksida nitrogen juga dihasilkan daripada proses semulajadi seperti tindakan bakteria dalam tanah, kilat dan letupan gunung berapi. Nitrik oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) merupakan

oksida nitrogen utama yang menyebabkan kesan buruk terhadap haiwan dan tumbuhan. NO merupakan gas yang tidak berwarna, berwarna biru gelap dalam keadaan cecair dan putih kebiru-biruan apabila berbentuk pepejal. Sebatian ini adalah paramagnetik dan mempunyai bilangan elektron yang ganjil [1].

NO boleh membahayakan kesihatan tetapi kesannya kurang jika dibandingkan dengan NO₂. Sebatian NO dihasilkan melalui tiga mekanisma yang berlainan iaitu:

- i) *NO haba* dihasilkan melalui pengoksidaan nitrogen atmosfera dalam gas pascanyalaan.
- ii) *NO penggesa* dihasilkan melalui tindakbalas berhalaju tinggi pada bahagian depan nyalaan.
- iii) *NO bahan api* dihasilkan melalui pengoksidaan nitrogen yang terkandung di dalam bahan api.

Kepekatan NO bergantung kepada situasi berikut:

- i) Kepekatan nitrogen dan oksigen dalam zon pembakar – Pengaliran udara oksigen yang tinggi didapati daripada kuantiti NO yang tinggi.
- ii) Masa Mastautin – Pendedahan masa yang panjang diperlukan pada suhu tinggi untuk membentuk nitrogen oksida.
- iii) Suhu – Kepekatan NO yang tinggi didapati apabila nilai suhu adalah tinggi.

NO₂ merupakan sejenis gas berwarna perang kemerahan yang berbau. Anggapan dibuat bahawa NO₂ dihasilkan daripada pengoksidaan lanjutan NO_x. Nisbah kepekatan NO: NO₂ dianggarkan lebih kurang 10:1. Persamaan tindak balas bagi pembentukan NO_x adalah seperti berikut:



Nitrus oksida, N₂O pula merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak bertoksik yang terbentuk hasil aktiviti biologi tanah dengan kereaktifan yang rendah. Teknik untuk mengurangkan emisi NO_x adalah:

- i) Mengurangkan pengaliran udara pembakaran.
- ii) Pembakaran berperingkat.
- iii) Kitaran aliran gas.

1.2 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah sejenis gas beracun yang tidak mempunyai warna, rasa dan bau yang terhasil daripada pembakaran tidak lengkap bahan api fosil dan pengoksidaan atmosferik metana dan hidrokarbon biogenik yang lain.

1.3 Emisi Hidrokarbon Tidak Terbakar (uHC)

Hidrokarbon yang dipancarkan oleh ekzos adalah campuran kompleks bahan api tidak terbakar, proses pengoksigenan dan sebatian bahan teroksida yang terhasil sebagai produk penurunan haba bahan api induk dengan berat molekul yang rendah. Di antara kaedah yang dapat mengurangkan emisi UHC adalah dengan kaedah pembaikan pengabusan bahan api di mana kebanyakannya melalui kesan tekanan dan suhu udara masukan yang lebih tinggi yang akan meningkatkan kadar tindak balas kimia dalam zon pembakaran utama.

2.0 RETAINER BARU

2.1 Aliran Berpusar

Aliran berpusar adalah aliran utama yang dihasilkan oleh pemusar udara di dalam pembakar. Corak aliran yang dihasilkan ini adalah gabungan pusaran dan kerosakan vorteks. Kerosakan vorteks adalah

fenomena yang terjadi di dalam aliran pusar yang menyebabkan ia mengedar semula dalam kawasan teras apabila jumlah putaran yang diberikan kepadanya adalah tinggi [1].

Aliran berpusar kerap digunakan untuk mengawal nyalaan dalam kebulut pembakaran. Sifat aerodinamik pada aliran pusar gelora ini adalah gabungan daripada ciri-ciri pergerakan berpusar dan fenomena gelora bebas yang bertembung dalam aliran jet dan aliran olakan. Sistem gelora berpusar ini dapat dibahagikan kepada beberapa kumpulan iaitu [8], jet gelora berpusar dengan pusar lemah, jet berpusar kuat dengan edaran semula dalaman dan jet gelora di dalam edaran berputar. Setiap kes ini terhasil apabila wujudnya keadaan perbezaan ketumpatan antara aliran jet yang memasuki kebulut pembakaran dan persekitaran dari dalam kebulut pembakaran.

Percampuran udara dan bahanapi yang baik boleh diperolehi dengan mewujudkan aliran berpusar yang mana seterusnya akan mewujudkan aliran berpusar dan kerosakan vorteks. Kelebihan yang diperolehi dengan mewujudkan aliran berputar ini ialah:

- i) Kecekapan pembakaran yang tinggi.
- ii) Pembakaran yang stabil dalam julat kawasan operasi pembakaran.
- iii) Edaran suhu yang baik.
- iv) Meminimumkan saiz tiub nyalaan.
- v) Mengurangkan pembentukan bahan cemar.

Satu kesan utama aliran berpusar ini adalah pembentukan zon edaran semula yang akan bertindak sebagai halangan aerodinamik, di mana ia akan membantu dalam menstabilkan nyalaan, percampuran udara dan bahanapi serta pengurangan pembentukan bahan cemar. Untuk mendapatkan kestabilan nyalaan pula, kawasan aliran mesti ‘didekati’ di mana aliran pembakaran mesti sama dengan halaju aliran dan juga sumber haba mesti sesuai untuk memulakan proses pembakaran

2.2 Pembentukan Pusaran

Apabila udara dimasukkan secara tangen ke dalam kebulut pembakaran, ia dipaksa untuk mengubah arah haluan alirannya, jadi aliran berpusar akan terbentuk. Keseimbangan tercipta di antara daya empar yang bertindak pada partikel bendalir dan daya tekanan yang terjadi pada dinding tiub. Keseimbangan daya ini didemonstrasikan oleh pergerakan taburan tekanan statik di dalam kebulut pembakar. Ia juga boleh diambil sebagai taburan tekanan yang dikira daripada pengukuran taburan halaju tangen. Tekanan yang rendah di pusat teras aliran pusar, berterusan dipulihkan dengan kemunculan aliran jet daripada kebulut pembakaran. Ini menghasilkan kecerunan tekanan paksi yang berlawanan, jadi pada sudut pusar tinggi yang memadai, aliran membalikkan arah pergerakannya dan vorteks pusar terbentuk. Panjang asas vorteks ini ditakrifkan daripada titik keluar permulaan dari kebulut pembakaran ke titik di mana aliran pembalikan berlaku, meningkat dengan peningkatan nombor pusar [8].

2.3 Corak Aliran

Kawasan edaran semula dalam aliran bebas putar ditunjukkan dalam Rajah 1 [1]. Oleh kerana aliran dianggap simetri sepaksi, maka hanya separuh corak aliran sahaja yang ditinjau. Kawasan edaran semula terkandung dalam lengkung OACB. Titik B dipanggil titik genangan. Aliran di luar kawasan OACB adalah aliran utama yang memandu edaran semula di sepanjang lengkung pepejal AB. Maka, tegasan ricih maksimum boleh terjadi hampir pada titik A, di sepanjang sempadan edaran semula. Keadaan di mana halaju paksi sifar adalah diwakili oleh lengkung putus-putus AB. Susuk halaju paksi dan pusat yang biasa ditunjukkan di dalam Rajah 2. Semua komponen halaju surut dalam arah muara. Selepas titik genangan, halaju paksi balikan menghilang dan jauh ke muara, puncak susuk halaju paksi berubah ke arah garisan tengah kerana kesan susutan pusaran.

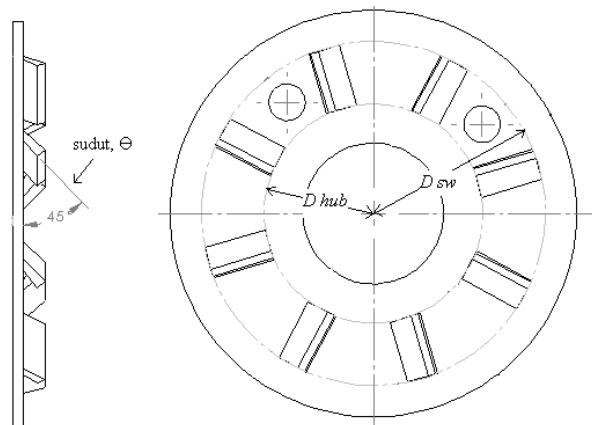
$$S_N = \frac{2}{3} \left[\frac{1 - \left(\frac{D_{hub}}{D_{sw}} \right)^3}{1 - \left(\frac{D_{hub}}{D_{sw}} \right)^2} \right] \tan \theta$$

Oleh itu nombor pusar bagi kesemua retainer baru yang dibangunkan adalah seperti dalam jadual di bawah:

Sudut Pesongan	30°	45°	60°
Nombor Pusar, S_N	0.4802	0.8314	1.4405

3.0 REKABENTUK RETAINER BARU

Reka bentuk retainer baru yang dihasilkan adalah berdasarkan luas retainer asal yang dibekalkan oleh pengeluar. Perbezaan di antara retainer asal dan retainer baru yang direka bentuk adalah kemasukan udara secara pusaran bagi retainer baru yang direka bentuk. Tiga keping retainer baru yang berbeza digunakan dalam kajian ini dengan darjah pusaran udara yang berbeza iaitu 30°, 45° dan 60°. Parameter yang diambilkira untuk reka bentuk adalah kekuatan pusaran sesuatu retainer baru tersebut. Selain daripada kekuatan pusaran, luas berkesan laluan udara retainer asal iaitu 576mm² juga telah diambilkira sebagai parameter untuk reka bentuk yang ingin dilakukan. Persamaan luas berkesan ini adalah supaya halaju udara yang memasuki setiap retainer baru yang dikaji adalah pada nisbah yang sama. Untuk mereka bentuk retainer baru, kepingan plat keluli lembut (mild steel) setebal 2mm digunakan. Pelbagai proses pemesinan dilakukan untuk mendapatkan reka bentuk yang dikehendaki (rujuk Rajah 3). Proses pemesinan yang dilakukan adalah dengan menggunakan mesin larik, *milling machine*, *hydraulic shearing machine* dan mesin gerudi. Bilah pemusar dan badan retainer baru dicantumkan melalui teknik *spot welding*.



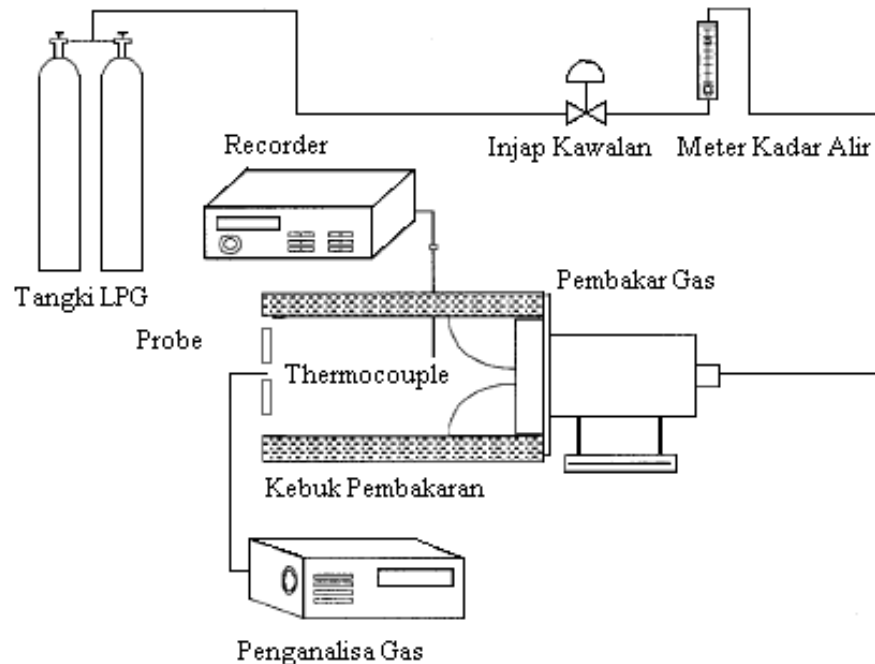
Rajah 3: Rajah skematik retainer baru

4.0 RIG UJIKAJI

Rajah rig ujian pembakar untuk ujian pembakaran yang dijalankan ditunjukkan di dalam Rajah 4. Rig ujian ini ialah untuk ujian pembakar Baltur SPARKGAS 3.6 berkapasiti maksimum 40 kW. Bahan api yang digunakan ialah kerencaman gas berisi 60% propana & 40% butana. Rig ujian tersebut dipasangkan ke atas troli boleh gerak pada kedudukan mendatar.

Kuar pensampelan gas ekzos dipasangkan di bahagian hujung kebuk pembakaran. Penganalisis gas yang digunakan di dalam ujian ini adalah jenis penganalisis gas MSI Draggar yang

mudah alih yang hanya boleh mengukur gas-gas oksida nitrogen, sulfur dioksida dan karbon monoksida. Dengan itu, hanya gas-gas ini sahaja yang akan dibincangkan di dalam kertas kerja ini.



Rajah 4 Rajah Skematik Rig Ujikaji

Pada ujikaji yang dijalankan, parameter yang akan dikawal ialah kadar alir udara dan kadar alir gas akan ditetapkan pada 0.3241L/s. Kadar alir gas ini akan ditentukkan menggunakan meter kadar alir, supaya dapat ditetapkan pada nilai yang dikehendaki. Kadar alir udara pula ditentukkan melalui pelaras bukaan udara yang telah terdapat pada komponen pembakar. Kadar alir udara akan mempengaruhi suhu pada kebuk pembakaran dan turut akan mengawal kadar penghasilan emisi. Pada awalnya, data taburan suhu dan jumlah pembebasan emisi bagi pembakaran untuk pembakar dengan retainer asal dijalankan. Setelah itu barulah proses pembakaran bagi pembakar dengan retainer baru yang direka bentuk dijalankan supaya data kedua-dua uji kaji tersebut dapat dibandingkan dan menilai keberkesanan penggunaan reka bentuk retainer baru dalam pengurangan emisi.

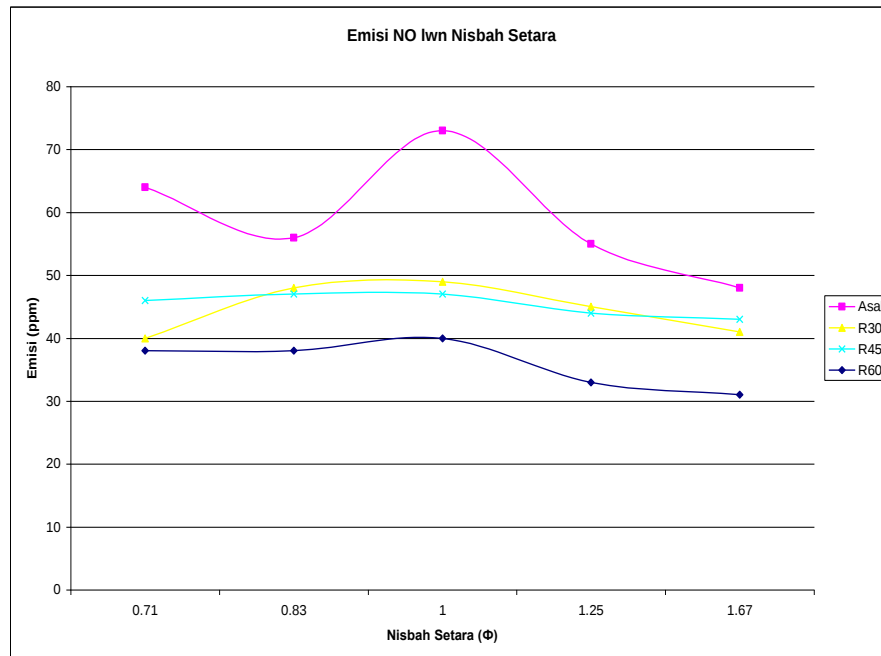
5.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

5.1 EMISI NO

Rajah 5 menunjukkan jumlah pembebasan emisi nitrik oksida(NO) berbanding nisbah kesetaraan. Terdapat dua bentuk kecerunan graf yang dapat diperhatikan. Pertamanya pada sebelum keadaan stoikiometri ($\Phi=1$) dan keduanya selepas keadaan stoikiometri. Kecerunan yang positif diperolehi pada nisbah setara yang rendah. Keadaan maksimum pembebasan emisi diperolehi pada keadaan stoikiometri. Keadaan kecerunan graf negatif pula diperolehi pada nisbah setara yang semakin meningkat. Keadaan pembebasan emisi yang maksimum pada keadaan stoikiometri ini berpunca daripada peningkatan suhu yang maksimum pada keadaan tersebut. Pancaran emisi nitrik oksida akan meningkat dengan peningkatan suhu pembakaran.

Daripada perbandingan penggunaan retainer baru yang berbeza pula, didapati retainer baru yang direka bentuk berjaya mengurangkan emisi nitrik oksida. Retainer baru R_{60} diperhatikan dapat mengurangkan pembebasan emisi nitrik oksida secara paling maksimum berbanding R_{asal} . Pada

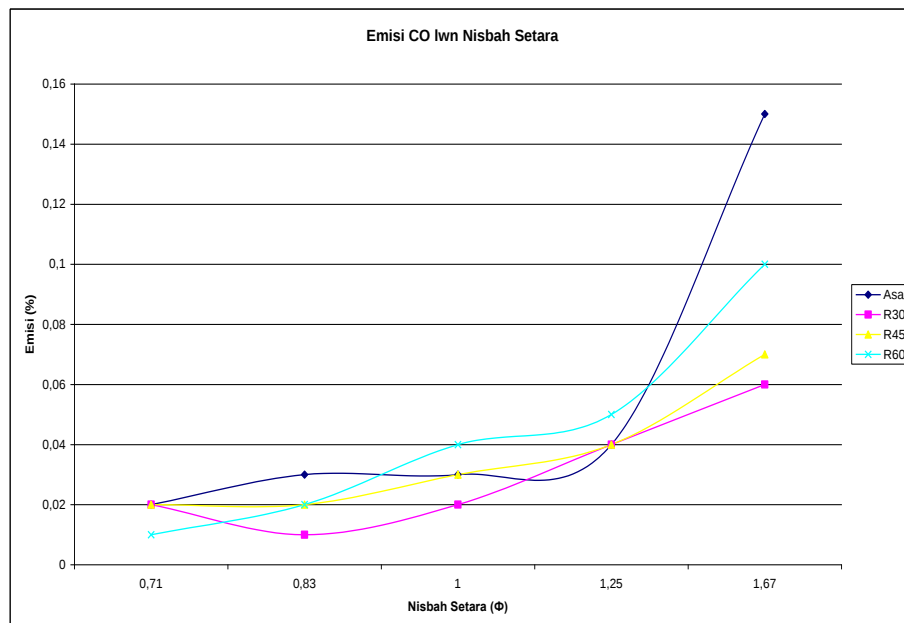
keadaan stoikiometri, 45.21% emisi nitrik oksida dapat dikurangkan bagi R_{60} . Sebanyak 32.88% emisi pula dapat dikurangkan oleh R_{30} dan 35.62% pada R_{45} .



Rajah 5: Graf Emisi Nitrik Oksida melawan Nisbah Kesetaraan

4.2 EMISI CO

Berdasarkan Rajah 6, didapati pembebasan emisi karbon monoksida semakin meningkat berkadar dengan nisbah kesetaraan. Keadaan ini berlaku adalah kerana kadar alir udara yang semakin berkurang akan meningkatkan pembebasan emisi karbon monoksida. Selain itu kekurangan oksigen (O_2) untuk melengkapkan tindak balas CO kepada CO_2 pada nisbah kesetaraan yang semakin meningkat juga membantu pada penghasilan emisi karbon monoksida.

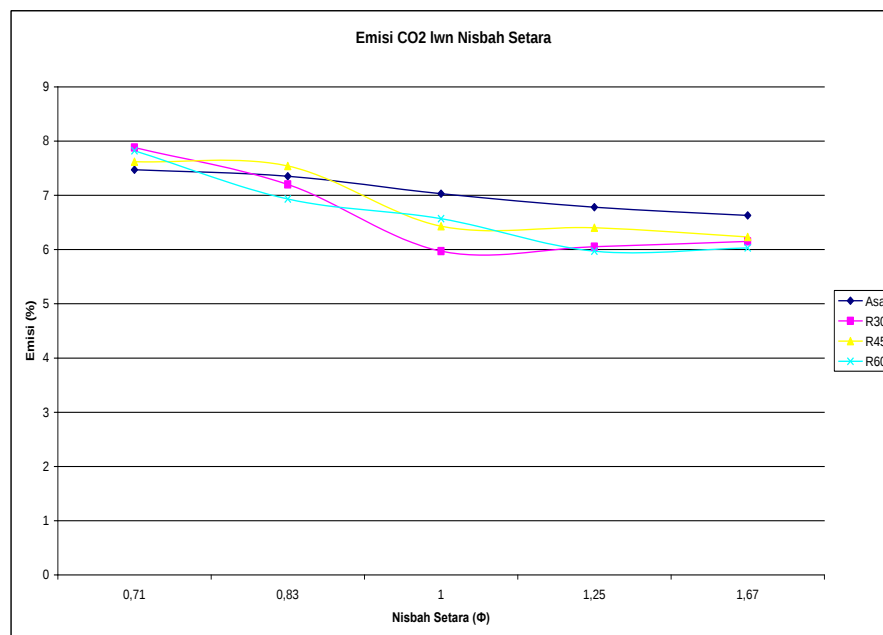


Rajah 6: Graf Emisi Karbon Monoksida melawan Nisbah Kesetaraan

Daripada graf yang diplot, didapati ketiga-tiga retainer baru yang direka bentuk berjaya mengurangkan pembebasan emisi karbon monoksida berbanding retainer asal. Keadaan yang berbeza berlaku pada pembebasan emisi karbon monoksida berbanding emisi nitrik oksida. Ini kerana penggunaan retainer baru R_{30} memberikan kadar pembebasan emisi paling rendah berbanding R_{45} dan R_{60} . Pada nisbah kesetaraan 1.67, peratusan emisi karbon monoksida yang berjaya dikurangkan adalah sebanyak 60.0% pada retainer baru R_{30} , 53.33% pada retainer baru R_{45} dan 33.33% pada retainer baru R_{60} berbanding retainer R_{asal} .

4.3 EMISI CO_2

Daripada Rajah 7, graf peratusan gas karbon dioksida melawan nisbah kesetaraan telah diplot. Walaupun kecelaruan diperhatikan pada bentuk graf yang terhasil, namun dapat dilihat penggunaan retainer baru yang direka bentuk (R_{30} , R_{45} dan R_{60}) dapat mengurangkan peratusan pembebasan gas karbon dioksida berbanding retainer asal (R_{asal}).



Rajah 7: Graf Emisi Karbon Dioksida melawan Nisbah Kesetaraan

Pada keadaan nisbah kesetaraan 0.71, gas karbon dioksida dilihat lebih tinggi dengan penggunaan retainer baru yang direka bentuk berbanding retainer asal. Namun dengan peningkatan nisbah kesetaraan, dilihat pembebasan gas karbon dioksida bagi retainer baru yang direka bentuk semakin berkurangan berbanding retainer asal. Peratusan pengurangan emisi paling maksimum diperolehi dengan penggunaan retainer baru R_{30} pada nisbah setara 1.00 dengan pengurangan sebanyak 15.08%. Karbon dioksida merupakan gas yang stabil dan tidak beracun atau bertoksik. Walaupun gas ini tidak memancarkan emisi, akan tetapi ia merupakan satu daripada komponen gas rumah hijau dan boleh meningkatkan dan mempengaruhi perubahan suhu di muka bumi.

5.0 KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, dapat disimpulkan bahawa penggunaan retainer baru berjaya mengurangkan emisi dari pembakar berbahan api gas. Keberkesanan penggunaan retainer baru yang direka bentuk iaitu R_{30} , R_{45} dan R_{60} ke atas pembakar Baltur SPARKGAS 3.6 telah berjaya mengurangkan emisi berbanding penggunaan retainer asal.

Dapat dirumuskan bahawa peningkatan nombor pusaran dapat mengurangkan julat pembebasan emisi nitrik oksida (NO), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2). Nilai

nombor pusingan 0.4802 (R_{30}), 0.8317 (R_{45}) dan 1.4405 (R_{60}) yang dikaji berjaya menghasilkan peratusan emisi yang rendah berbanding retainer asal yang dibekalkan oleh pengeluar. Bagi pembebasan emisi nitrik oksida, penggunaan retainer baru R_{60} pada nisbah setara 1.00 berjaya menghasilkan peratusan pengurangan yang paling maksimum iaitu 45.21%. Bagi pembebasan emisi karbon monoksida pula, penggunaan retainer baru R_{30} adalah paling efektif. Peratusan pengurangannya adalah 60.0% pada nisbah setara 1.67. Peratusan pembebasan gas karbon dioksida juga telah berjaya dikurangkan. Penggunaan 'retainer baru R_{30} adalah paling efektif pada nisbah setara 1.00 dengan 15.08%.

Daripada ujikaji yang telah dijalankan terhadap keberkesanan penggunaan retainer baru, didapati penggunaan aliran berpusar adalah salah satu kaedah yang efektif untuk mengurangkan emisi. Penggunaan aliran berpusar ini akan memendekkan masa mastautin pembakaran yang mempengaruhi penghasilan emisi-emisi nitrogen oksida (NO_x). Semakin panjang masa mastautin pembakaran, maka semakin tinggi kadar nitrogen oksida yang akan terhasil. Selain itu, aliran berpusar dapat memendekkan panjang nyalaan dan meningkatkan kecekapan sesebuah pembakar.

RUJUKAN

- [1] Lefebvre, A.H. (1997). "Pembakaran Turbin Gas", Skudai, Penerbit UTM.
- [2] Mohd Nazri Mohd Jaafar (1997). "Emissions from Gas Burner, Their Impact on The Environment and Abatement Techniques: A Review.", Jurnal Mekanikal, Jun 1997, Jilid 1, Bil. 3, ms 50-70.
- [3] M. N. Mohd-Jaafar, Andrews, G.E. dan MkPadi, M.C. (1999). "Application of Fuel Staging on Reducing NO_x from Domestic Central Heating Burner System", Journal of Energy and Environment, November 1999, Vol. 1, ms 17-24.
- [4] Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Ismail Samat dan Muhamad Shukri Abdul Mookmin. (2002). "The Influence of Variable Vane Angle Air Swirler on Reducing Emissions from Combustion Process", Jurnal Mekanikal, Disember 2002, Bil. 14, ms 93-100.
- [5] Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Andrews, G.E. dan MkPadi, M.C. (2000). "NO_x Emission Reduction from Gas Burner System Applying Water Cooling Technique", Jurnal Mekanikal, Disember 2000, Jilid 2, Bil. 10, ms 58-72.
- [6] Khandoker Abul Hossain, Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Azeman Mustafa dan Farid Nasir Ani. (2005). "Application of Commercial Grade Ammonia Liquor in the Selective Non-Catalytic Reduction of NO_x in Combusted Gas from a Diesel Burner", Jurnal Teknologi, Jun 2005, No. 42(A), Penerbit UTM, ms 107-118.
- [7] Glassman, Irvin, (1977), 'Combustion.', Academic Press.
- [8] Beer. J. M. dan Chigier N. A. (1972). "Combustion Aerodynamics". London: Applied Science.
- [9] Mohammad Nazri Mohd Jaafar (1999). "Cold Flow Performance of Radial Swirler Gas Burner System", Jurnal Teknologi, Jun 1999, No. 30(A), Penerbit UTM, ms 61-74.