

## PENGARUH PENYELITAN PLAT ORIFIS DALAM MENGURANGKAN EMISI DARI PEMBAKAR

MOHAMMAD NAZRI MOHD JAAFAR<sup>1</sup>, MOHD. ROSDZIMIN ABDUL  
RAHMAN<sup>2</sup>, MOHAMAD SHAIFUL ASHRUL ISHAK<sup>3</sup> &  
KIRAN BABU APPALANIDU<sup>4</sup>

**Abstrak.** Penyelidikan telah dijalankan ke atas plat orifis pelbagai saiz yang dipasangkan pada keluaran pemusar udara sebuah pembakar berbahan api cecair yang berdiameter dalam 163 mm dan panjangnya 280 mm. Pembakar ini menggunakan kerosin sebagai bahan api. Terdapat dua saiz plat orifis yang setiap satunya berdiameter 25 mm dan 30 mm telah digunakan dengan pemusar udara aliran jejarian yang mempunyai sudut bilah 30°. Dalam ujikaji ini, penyelitan plat orifis ini akan menyebabkan peningkatan terhadap kehilangan tekanan di bahagian keluaran pemusar dan seterusnya meningkatkan aliran gelora yang akan menambah kadar percampuran bahan api dengan udara. Pemancit bahan api semburan paksi yang mempunyai dua lubang keluaran telah dipasangkan di bahagian belakang pemusar udara. Kadar alir bahan api menjadi parameter yang diubah dalam ujikaji yang dijalankan. Keputusan yang diperolehi menunjukkan dengan penyelitan plat orifis, emisi NO<sub>x</sub> berjaya dikurangkan sebanyak 50% bagi penyelitan plat orifis 25 mm, manakala CO sebanyak 5% dan CO<sub>2</sub> sebanyak 20% jika dibandingkan dengan kes tanpa penyelitan plat orifis.

*Kata kunci:* Plat orifis, emisi NO<sub>x</sub>, pemusar udara, emisi CO, pemancit bahan api

**Abstract.** A liquid fuel burner system with different orifice plate sizes mounted at the exit plane of the radial air swirler outlet has been investigated using 163 mm inside diameter combustor of 280 mm length. All tests were conducted using kerosene as fuel. Two different orifice plates with diameter of 25 mm and 30 mm were used with a 30° radial air swirler vane angle. The purpose of orifice plate insertion was to create the swirler pressure loss at the swirler outlet so that the swirler outlet shear layer turbulence was maximized to assist in the mixing of fuel and air. Fuel was injected at the back plate of the swirler outlet using central fuel injector with dual fuel nozzles pointing axially outwards. The fuel flow rates were varied. The results show that orifice plate enhances better mixing and reduces NO<sub>x</sub> emissions. NO<sub>x</sub> reduction of more than 50% was obtained using the 25 mm diameter orifice plate compared to the test condition without orifice plate. CO emissions were also reduced by 5%. CO<sub>2</sub> emission reduction of more than 20% was achieved for the same condition.

*Key words:* Orifice plate, NO<sub>x</sub> emissions, air swirler, CO emissions, fuel atomiser

### 1.0 PENGENALAN

Penyelidikan dan pembangunan enjin pada dekad 80an–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

<sup>1,2,3&4</sup> Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor.

nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), oksida sulfur ( $\text{SO}_x$ ), hidrokarbon tidak terbakar (UHC) dan karbon monoksida CO. Gas-gas ini telah menyebabkan terjadinya pemanasan bumi, jerebu fotokimia (photochemical smog), penipisan lapisan ozon dan hujan asid. Namun penumpuan lebih diberikan kepada pengurangan  $\text{NO}_x$  kerana kaedah untuk mengurangkan  $\text{NO}_x$  adalah melibatkan kos yang tinggi dan kompleks.

Pelbagai parameter pembakar diubah suai bagi mendapatkan ciri-ciri yang dapat mengurangkan emisi. Kaedah kawalan yang selalu dipraktikkan adalah pembakar bermangkin, pembakar berperingkat, pembakar dengan daya edaran semula, dan pembakar prapengewapan pracampuran. Pembakar dengan daya edaran semula adalah pembakar yang menggunakan pemusar 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 tindak balas kimia seperti pembakaran [1]. Terdapat empat emisi utama akibat proses pembakaran iaitu oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), karbon monoksida (CO), hidrokarbon tidak terbakar (HTT) dan asap.  $\text{NO}_x$  juga terbentuk semasa operasi pembakaran pada suhu tinggi dengan pembakaran stoikiometri.

### 1.1 Emisi Oksida Nitrogen ( $\text{NO}_x$ )

Oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) 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. Nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) 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.

NO boleh membahayakan kesihatan tetapi kesannya kurang jika dibandingkan dengan  $\text{NO}_2$ . Sebatian NO dihasilkan melalui tiga mekanisme yang berlainan iaitu:

- (i) *NO haba* dihasilkan melalui pengoksidaan nitrogen atmosfera dalam gas pascanyalaan.
- (ii) *NO penggesa* dihasilkan melalui tindak balas 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.

NO<sub>2</sub> merupakan sejenis gas berwarna perang kemerahan yang berbau. Anggapan dibuat bahawa NO<sub>2</sub> dihasilkan daripada pengoksidaan lanjutan NO<sub>x</sub>. Nisbah kepekatan NO:NO<sub>2</sub> dianggarkan lebih kurang 10:1. Persamaan tindak balas bagi pembentukan NO<sub>x</sub> adalah seperti berikut:



Nitrus oksida, N<sub>2</sub>O pula merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak bertoksik yang terbentuk dari hasil aktiviti biologi tanah beraktif rendah.

Teknik untuk mengurangkan emisi NO<sub>x</sub> adalah dengan

- (i) mengurangkan pengaliran udara pembakaran,
- (ii) pembakaran berperingkat, atau
- (iii) kitaran aliran gas.

## 1.2 Emisi Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>)

Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) merupakan sejenis gas tidak berwarna yang terbentuk akibat pembakaran bahan api fosil di stesen janakuasa. SO<sub>2</sub> bertindak balas terhadap zarah-zarah pepejal yang hancur dalam kandungan air dan dioksidakan di antara titisan air yang berterbangan menghasilkan asid sulfurik, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang menyebabkan fenomena hujan asid.

Akibat pembakaran antara sulfur dan bahan api fosil, pengoksidaan yang berlaku menyebabkan kewujudan emisi. Pengurangan pancaran SO<sub>2</sub> dalam atmosfera dapat dilakukan dengan beberapa cara iaitu:

- (i) proses penyahsulfuran (termasuk proses penyahsulfuran bahan api dan sisa gas).
- (ii) mengurangkan kadar penyerapan sulfur di dalam bahan api semasa pembakaran.
- (iii) pengelasan arang/penyahsulfuran gas dalam sistem pembakaran.
- (iv) mencegah penghasilan dan pembebasan sulfur semasa pembakaran.
- (v) memindahkan sulfur selepas pembakaran.

## 1.3 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.

#### 1.4 Emisi Hidrokarbon Tidak Terbakar

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. Antara kaedah yang dapat mengurangkan emisi HTT 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 KESAN PENYELITAN PLAT ORIFIS

Penyelitan plat orifis ke atas pembakar menghasilkan beberapa kesan, antaranya adalah seperti berikut:

#### Kesan terhadap tekanan

- (i) tekanan pada fasa jalan keluar pusran akan berkurangan maka lapisan ricihan gelora jalan keluar pusran akan meningkat dan membantu percampuran.
- (ii) tekanan '*vane passage*' akan meningkat berbanding tekanan '*outlet plane*' ini akan membentuk gelora maksimum pada lapisan ricihan pusran.
- (iii) dari sudut reka bentuk aerodinamik darjah percampuran akan meningkat dengan penambahan nilai faktor kehilangan tekanan. Faktor ini dinyatakan dalam nisbah kehilangan tekanan pembakar terhadap turus dinamik yang berpandukan rujukan kawasan aliran pembakar [2].

$$\frac{\Delta P}{q_{\text{ref}}} \sim (\Delta P) A_{\text{ref}}^2 \quad (2)$$

dengan  $A_{\text{ref}}$  = luas permukaan  
 $q_{\text{ref}}$  = kadar alir udara rujukan

- (iv) peningkatan kehilangan tekanan ini akan menyebabkan peningkatan percampuran dengan meningkatkan tenaga udara jet yang memasuki paksi pembakar yang berfungsi aliran utama [2].

#### Kesan terhadap halaju

- (i) peningkatan halaju ini akan mengelakkan nyalaan dari berpatah balik ke kawasan campuran kerana halaju lebih tinggi daripada halaju nyalaan.
- (ii) namun jika halaju terlalu tinggi maka '*liftoff*' akan berlaku dari pembakar ke lingkungan yang nyalaan akan terpadam dengan iringan udara tambahan di sekeliling pembakar.

- (iii) apabila halaju meningkat maka nombor Reynolds akan turut meningkat, kesan peningkatan nombor Reynolds ini akan menambahkan kekuatan gelora, dan seterusnya akan mengurangkan masa mastautin.

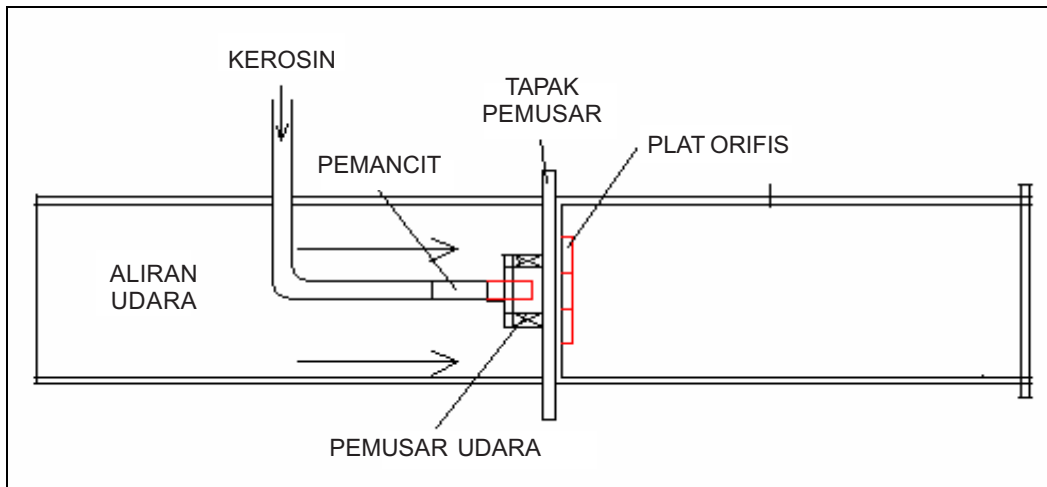
Perubahan mendadak aliran apabila melintasi orifis dari masukan ke kebuk pembakaran akan menstabilkan zon edaran semula [3,4]. Ini akan melengkapkan peningkatan keseluruhan kecekapan pembakar untuk pembakar pendek. Edaran semula ini akan menstabilkan nyalaan dan menyediakan had peningkatan keseluruhan 'blowout'.

Untuk nisbah kesetaraan yang sama atau udara yang berlebihan, orifis ini akan mengurangkan haba masukan pembakar. Campuran gelora dalam zon tindak balas dan kawasan pencairan bergantung kepada bentuk aliran kompleks yang terhasil dan ini akan berlaku apabila aliran melintasi plat orifis. Beberapa pengkaji [5,6] membuktikan bahawa bentuk orifis yang digunakan untuk udara masuk akan mempengaruhi campuran dan keseluruhan kecekapan pembakar. Diameter orifis penting kerana, jika diameter terlalu kecil maka aliran campuran mungkin akan bergerak dengan begitu laju dan ini akan mendatangkan kesan buruk kepada nyalaan yang terhasil. Orifis ini juga akan mengurangkan kawasan aliran pusar keluar kerana jika tidak dikurangkan mungkin akan menyebabkan berlaku nyalaan kaya.

### 3.0 RIG UJI KAJI DAN METODOLOGI

Uji kaji dijalankan menggunakan pembakar berbahan api cecair. Diameter dalam kebuk pembakar ialah 163 mm dan panjangnya 280 mm. Pemusar udara yang digunakan adalah dari jenis aliran jejarian dengan sudut kelengkungan  $30^\circ$  [7]. Pemusar ini diuji bersama dua plat orifis yang berdiameter 25 mm dan 30 mm serta tanpa plat orifis. Kedudukan plat orifis ditunjukkan dalam Rajah 1.

Pemancit bahan api yang digunakan adalah dari jenis semburan paksi dua lubang keluaran dan bahan api yang digunakan adalah kerosin. Tekanan bahan api disetkan pada 0.3 bar. Kadar alir udara yang memasuki kebuk pembakaran adalah 130 lit/min. Udara termampat diperolehi dari sebuah pemampat salingan. Tekanan yang diperlukan dikawal oleh 2 injap pengukur tekanan. Pengukur tekanan pertama mengawal tekanan ke pemancit bahan api dan pengukur tekanan kedua mengawal tekanan aliran udara ke pemusar. Tekanan udara pemusar disetkan pada 3 bar dan tekanan pada pemancit pula disetkan pada 0.3 bar. Penganalisis gas yang digunakan adalah penganalisis gas mudah alih terus MSI Drager. Penganalisis gas ini mempunyai ketepatan  $\pm 1$  ppm bagi setiap emisi yang diambil. Kuar yang digunakan untuk mengambil contoh gas ekzos diletakkan di keluaran kebuk pembakaran. Sampel gas yang diambil ditapis melalui penapis kelembapan sebelum memasuki penganalisis gas.

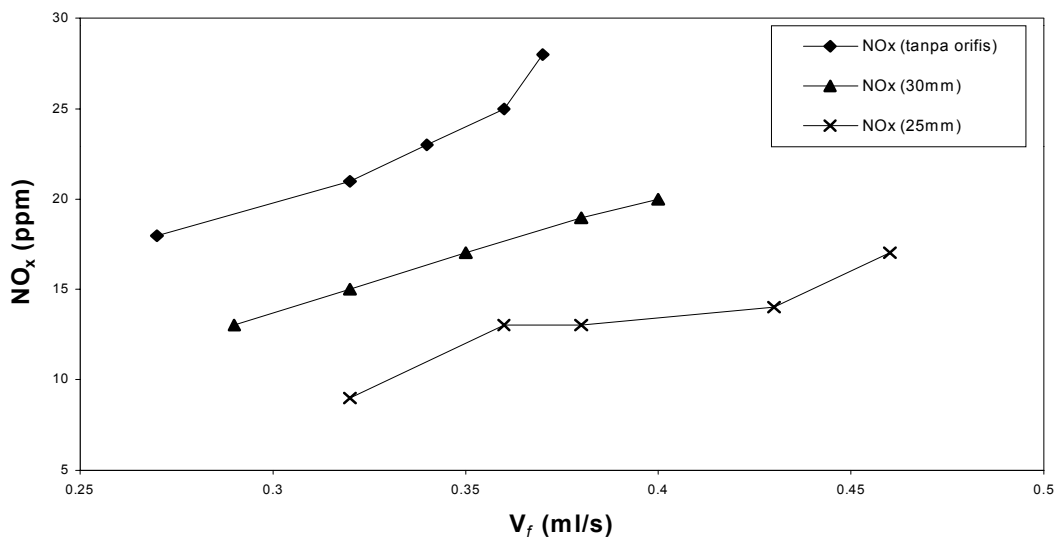


**Rajah 1** Kedudukan plat orifis di dalam kebuk pembakaran

Uji kaji dimulakan dengan menghidupkan nyalaan pada pembakar sehingga api didapati stabil. Kemudian bacaan kadar alir bahan api diambil dari tiub kadar alir. Setelah nyalaan stabil, bacaan emisi diambil. Uji kaji diulang pada 5 kadar alir yang berbeza bagi melihat variasi bacaan yang diperolehi. Uji kaji dijalankan pada 3 keadaan berbeza iaitu tanpa plat orifis, plat orifis berdiameter 25 mm dan 30 mm.

#### 4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

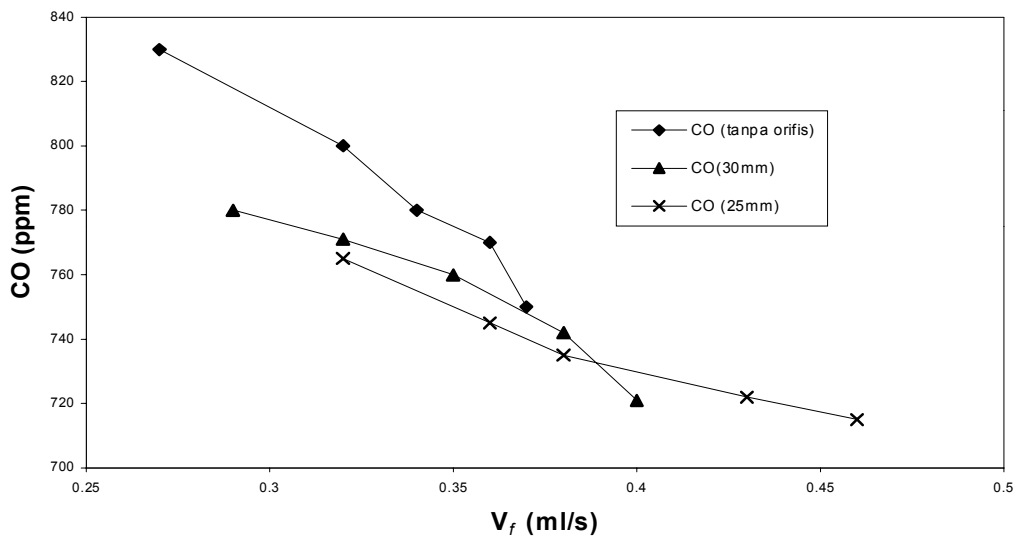
Rajah 2 menunjukkan kesan penggunaan pemusar udara aliran jejarian 30° dengan penyelitan plat orifis dan tanpa plat orifis terhadap emisi ekzos pembakar berbahan



**Rajah 2** Graf NO<sub>x</sub> melawan kadar alir bahan api

api cecair. Uji kaji dijalankan sebanyak lima kali bagi setiap kes maka lima data yang didapati telah diplotkan seperti di bawah. Graf menunjukkan penyelitan plat orifis telah dapat mengurangkan emisi  $\text{NO}_x$  dari pembakar, plat orifis yang mempunyai diameter yang kecil menunjukkan kesan pengurangan emisi  $\text{NO}_x$  yang lebih baik. Secara keseluruhannya, dapat dikatakan emisi  $\text{NO}_x$  berada pada paras di bawah 30 ppm. Pada kadar alir bahan api,  $V_f$  bersamaan 0.32 ml/s,  $\text{NO}_x$  berkurangan sebanyak 3% apabila plat orifis 30 mm diselitkan pada pemusar udara jejarian  $30^\circ$ . Plat orifis 25 mm telah mengurangkan emisi  $\text{NO}_x$  sebanyak 50% jika dibandingkan dengan pemusar udara tanpa plat orifis pada kadar alir bahan api yang sama. Pengurangan ini wujud kerana apabila menggunakan orifis yang lebih kecil diameter, kadar percampuran bahan api/udara semasa pembakaran dapat ditingkatkan. Selain itu, dengan mengecilkan diameter plat orifis yang dipasang pada keluaran pemusar udara akan mengurangkan tekanan pada fasa jalan keluar pusaran akan berkurangan kerana halaju udara meningkat maka lapisan ricihan gelora jalan keluar pusaran akan meningkat dan juga membantu percampuran bahan api dan udara dengan lebih baik. Peningkatan halaju juga akan menyebabkan Reynolds akan turut meningkat, kesan peningkatan nombor Reynolds ini akan menambahkan kekuatan gelora, dan seterusnya akan mengurangkan masa mastautin. Pendedahan masa yang pendek pada suhu tinggi akan mengurangkan pembentukan nitrogen oksida.

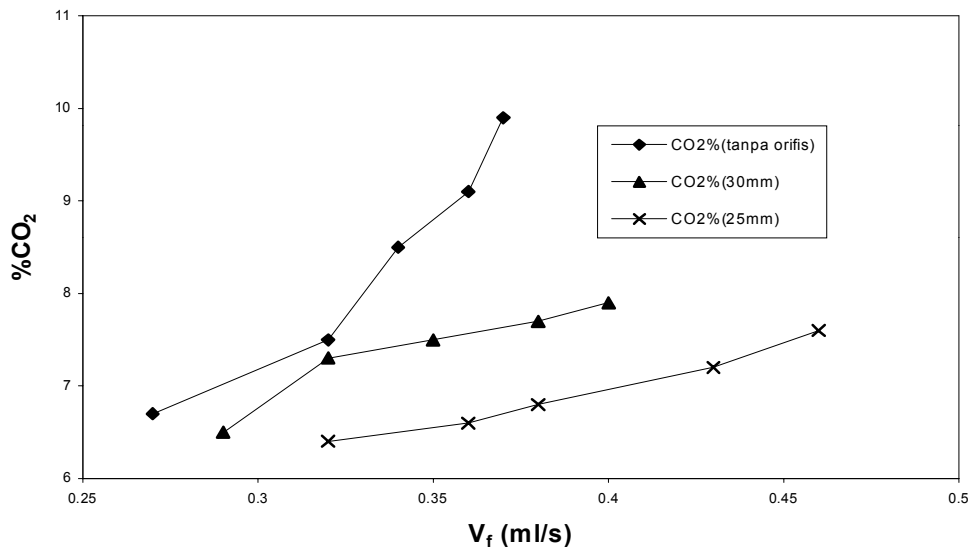
Rajah 3 menunjukkan emisi CO semakin berkurangan dengan peningkatan kadar alir bahan api. Kesan pengurangan emisi CO dengan penyelitan plat orifis tidak terlalu ketara kerana, penyelitan plat orifis 30 mm hanya mengurangkan emisi CO sebanyak 4%, jika dibandingkan tanpa penggunaan plat orifis. Plat orifis 25 mm berjaya mengurangkan CO sebanyak sebanyak 6%. Peratus pengurangan ini diambil pada



**Rajah 3** CO melawan kadar alir bahan api

kadar alir,  $V_f$  bersamaan 0.32 ml/s. Emisi CO berkadar songsang dengan emisi  $\text{NO}_x$ , kerana emisi  $\text{NO}_x$  meningkat dengan peningkatan suhu tetapi apabila suhu pembakaran tinggi emisi CO akan menurun [1].

Rajah 4, menunjukkan pengurangan peratus  $\text{CO}_2$  terhadap kadar alir bahan api bagi pembakar yang menggunakan pemusar udara jejarian bersudut  $30^\circ$  berserta penyelitan plat orifis. Sebanyak 20%,  $\text{CO}_2$  berjaya dikurangkan dengan penyelitan plat orifis 25 mm pada pembakar yang menggunakan pemusar udara aliran jejarian  $30^\circ$ , manakala plat orifis 30 mm, mengurangkan emisi sebanyak 10% jika dibandingkan dengan keadaan tanpa penggunaan plat orifis. Namun begitu, setiap plat orifis menunjukkan peratus  $\text{CO}_2$  yang meningkat dengan peningkatan kadar alir bahan api. Keadaan ini berlaku kerana pembakaran yang berlaku adalah lebih sempurna dan lebih banyak gas emisi CO (Rajah 3) telah dioksidakan kepada  $\text{CO}_2$ .



**Rajah 4** Peratus Emisi  $\text{CO}_2$  melawan Kadar Alir Bahan api

## 5.0 KESIMPULAN

Daripada keputusan ujikaji, didapati bahawa dengan penyelitan plat orifis, kadar emisi yang dibebaskan berjaya dikurangkan dan diameter orifis memainkan peranan penting di mana semakin kecil diameter yang digunakan maka kadar emisi semakin berkurangan. Diameter orifis juga mempengaruhi bentuk nyalaan yang terbentuk. Pengurangan tekanan disebabkan penambahan halaju pada bahagian keluaran pembakar amat mempengaruhi nilai emisi yang terhasil daripada pembakaran kerana nilai  $\text{NO}_x$  akan berkurang jika masa mastautin pembakaran hanya pada masa yang singkat. Selain itu kepekatan  $\text{NO}_x$  juga dapat direndahkan pada suhu yang tinggi.



Keputusan terhadap emisi  $\text{NO}_x$  menunjukkan keputusan yang memuaskan di mana sebanyak 50% emisi  $\text{NO}_x$  berjaya dikurangkan dengan penyelitan plat orifis 25 mm, jika dibandingkan dengan pembakar yang hanya menggunakan pemusar udara jejarian bersudut  $30^\circ$ , dan 30% pengurangan  $\text{NO}_x$  dengan penyelitan plat orifis 30 mm pada kadar alir bersamaan 0.32 ml/s.

Sementara itu, emisi CO dipengaruhi oleh Pembentukan  $\text{NO}_x$ . Emisi CO berkadar songsang emisi  $\text{NO}_x$ . Pengurangan CO adalah agak rendah jika dibandingkan dengan keputusan emisi yang lain. Namun dapat dibuktikan bahawa masih terdapat sedikit pengurangan dalam nilai CO dengan penggunaan plat orifis yang semakin mengecil diameternya.

Bagi  $\text{CO}_2$ , pengurangan sebanyak 20% diperolehi dengan penyelitan plat orifis 25 mm, pada kadar alir bersamaan 0.33 ml/s dan bagi plat orifis 30 mm, 10% pengurangan  $\text{CO}_2$  telah berjaya dicapai. Keadaan ini berlaku kerana pembakaran yang berlaku adalah lebih baik. Walaupun gas ini membawa kesan rumah hijau, tetapi gas ini stabil pada keadaan biasa.

## RUJUKAN

- [1] Glassman, Irvin. 1977. *Combustion*. Academic Press.
- [2] Demetri, E. P. 1974. Effect of Major Design and Operating Parameters on Achieving Low Emissions from Gas Turbine Combustors. *Fluid Mechanics of Combustion*. The American Society of Mechanical Engineering.
- [3] Graves, C.C. and W. E. Scull. 1960. Mixing Processes, Design and Performance of Gas Turbine Power Plant. *High Speed Aerodynamics and Jet Propulsion*. Princeton.
- [4] Miller, H. 1998. *Mechanical Engineering Handbook 2<sup>nd</sup> Ed.* John Wiley and Son Inc.
- [5] Mohammad Nazri, M. J. 2001. Influence of Orifice Plate Insertion on Reducing  $\text{NO}_x$  from Radial Swirl Burner System. *Brunei International Conference on Engineering and Technology*. October. Institut Teknologi Brunei. 595-603.
- [6] Mohammad Nazri, M. J, G. E. Andrew and M. C. Padi. 1999. The Effect of Orifice Plate Insertion of Low  $\text{NO}_x$  Radial Swirl Burner Performance (Simulated Variable Area Burner). *Proceeding of the World Renewable Energy Congress Malaysia*. 451-458.
- [7] Roazam, A. 2000. *Merekabentuk Pemusar Udara Untuk Kegunaan ke atas Pembakar*. Tesis Sarjana Muda. Universiti Teknologi Malaysia.