

MENKAJI KEBERKESANAN APLIKASI PEMUSAR UDARA RAM BILAH RATA DALAM MENGURANGKAN EMISI DARI PEMBAKAR BERBAHAN API CECAIR

MOHAMMAD NAZRI MOHD JAAFAR^{1*}, ISMAIL SAMAT² & MUHAMED
SHUKRI ABDUL MOOKMIN³

Abstrak. Enjin turbin gas digunakan secara meluas sama ada dalam bidang industri atau penerbangan. Kecekapan enjin merupakan salah satu kriteria dalam pemilihan enjin yang baik. Pembakar adalah antara komponen penting dalam enjin turbin gas yang banyak diberi perhatian dalam kajian oleh penyelidik. Pembakar yang baik dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna dengan kadar bahan cemar yang minimum. Ini dapat dicapai dengan menggunakan pemusar udara. Maka melalui projek ini, kajian dilakukan untuk mengkaji keberkesanan aplikasi pemusar udara ram rata dalam mengurangkan emisi dari pembakar berbahan api cecair. Ujian pembakaran yang dilakukan menggunakan pemusar udara aliran jejarian ram rata dengan sudut pesongan ram yang berlainan. Tahap penghasilan bahan cemar diukur dan dibandingkan bagi sudut-sudut bilah yang berlainan. Keputusan yang diperolehi menunjukkan sudut pesongan bilah yang tertinggi memberikan tahap pengeluaran bahan cemar terendah berbanding sudut-sudut bilah yang lain.

Kata kunci: Pemusar udara, NO_x, CO, bahan api cecair, ram bilah rata

Abstract. Gas turbine engine has been used extensively either in the industrial or the aviation sector. Engine efficiency is one of the criteria in selecting a good engine. The combustor or combustion chamber is one of the important components in a gas turbine engine that has been given attention by researchers in their research. A good combustor is capable to achieve complete combustion with minimal pollutants emissions. This can be achieved by the application of air swirler. Through this work, a study has been made to demonstrate the effectiveness of the application of straight vane air swirler in reducing emissions from liquid fuel combustor. Tests were done using straight blade radial air swirler with varying vane angles. Emissions level emitted from the combustor was measured and compared for varying vane angles. Results obtained show that the highest vane angle produces the lowest level of emissions compared to the other vane angles.

Key words: Air swirler, NO_x, CO, liquid fuel, straight vane

1.0 PENGENALAN

Enjin turbin gas berfungsi dengan menukarkan tenaga bahan api kepada bentuk tenaga yang berguna seperti kuasa mekanikal atau tujuh jet berhalaju tinggi. Enjin turbin gas terdiri daripada pemampat, kebuk pembakaran, turbin dan nozel.

^{1,2&3} Jabatan Aeronautik dan Automotif, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia 81310 UTM Skudai, Johor.

* To whom correspondence should be addressed.

Pembakar merupakan komponen yang penting dalam enjin turbin gas kerana di dalamnya berlaku pembakaran percampuran antara udara dan bahan api. Hasil pembakaran ini akan menggerakkan turbin dan memberikan tujah pada pesawat.

Sepanjang setengah abad yang lalu, teknologi pembakar enjin turbin gas telah dimajukan beransur-ansur dan berterusan. Ia tidak berlaku secara mendadak kerana [1]:

- (i) Geometri asas pembakar yang terpaksa ditetapkan menurut keperluan supaya panjang dan keluasan hadapannya berada dalam jidar yang ditentukan oleh komponen lain enjin.
- (ii) Reka bentuk pembakar yang perlu dipertimbangkan agar peresap dapat meminimumkan kejatuhan tekanan dan pelapik dapat menyediakan operasi yang stabil dalam jidar nisbah udara bahan api yang luas.
- (iii) Penentuan saiz dan reka bentuk pembakar melibatkan pertimbangan bahan cemar hasil pembakaran.

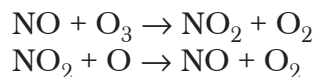
2.0 PANCARAN

2.1 Bahan Cemar

Bahan cemar yang paling ketara daripada enjin turbin gas ialah asap. Bahan cemar yang lain ialah karbon monoksida (CO), hidrokarbon tak terbakar (UHC), oksida nitrogen (NO_x) dan sulfur dioksida. Bahan cemar ini memberikan pelbagai kesan negatif seperti berikut [1, 2]:

- (i) Pancaran asap termasuk partikelnya mengotorkan atmosfera dan dipercayai mengandungi karsinogen.
- (ii) Karbon monoksida (CO) dan oksida nitrogen (NO_x) membahayakan nyawa manusia, binatang dan tanaman.
- (iii) Oksida sulfur (SO_x) yang umumnya terdiri daripada SO_2 dan SO_3 adalah beracun dan mengakis serta boleh mengakibatkan pembentukan asid sulfurik dalam atmosfera (hujan asid).

Namun begitu, bahan cemar yang menjadi perhatian di sini ialah NO_x dan tindak balasnya dengan lapisan ozon dalam atmosfera. Mekanisme tindak balas ini boleh ditunjukkan seperti berikut:



Tindak balas pertama menunjukkan bagaimana ozon (O_3) dimusnahkan dan tindak balas kedua menunjukkan bagaimana nitrik oksida (NO) dihasilkan semula daripada tindak balas sebelumnya. Oleh itu pengurangan pencemaran NO_x telah dan masih kekal sebagai matlamat utama reka bentuk enjin pesawat terbang.

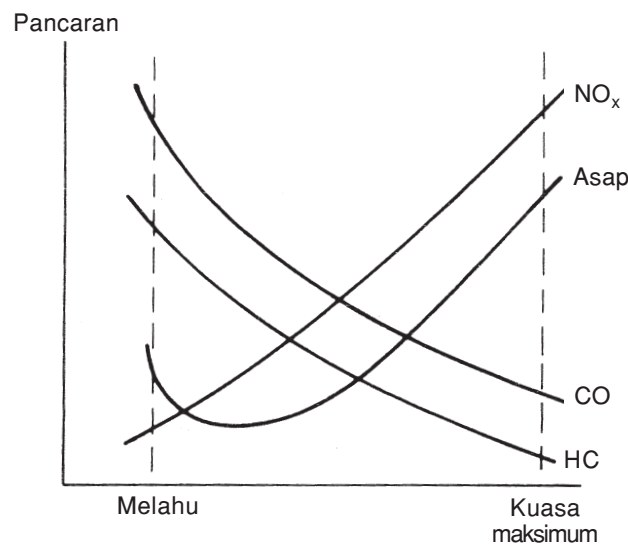
2.2 Mekanisme Pembentukan Bahan Cemar

Tahap keamatan kebanyakan bahan cemar boleh dikaitkan secara langsung dengan suhu, masa dan sejarah keamatan sesuatu pembakar. Sejarah keamatan ini berubah-ubah terhadap sesuatu pembakar dan bagi satu pembakar, ia berubah dengan keadaan operasi. Secara amnya keamatan tertinggi bagi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon tak terbakar (UHC) berlaku pada keadaan kuasa rendah dan berkurangan dengan penambahan kuasa. Perkara yang sebaliknya berlaku pada oksida nitrogen (NO_x) dan asap yang mana keamatan masing-masing rendah ketika kuasa rendah dan meningkat dengan penambahan kuasa. Corak perubahan ini boleh dilihat seperti Rajah 1.

Faktor utama pengawalan bahan cemar dari pembakar turbin gas mungkin dipertimbangkan dalam bentuk:

- (i) Suhu zon utama dan nisbah kesetaraan.
- (ii) Darjah kehomogenan dalam proses pembakaran zon utama.
- (iii) Masa mastautin dalam zon utama.
- (iv) Ciri lindap kejut dinding pelapik.
- (v) Fungsi zon pertengahan.

Dapat dijelaskan di sini, terdapat empat kesan pencemaran berlaku di udara iaitu hujan asid, penipisan ozon (O_3), kenaikan suhu bumi (kesan rumah hijau) dan 'photochemical smog' [3].



Rajah 1 Ciri pancaran dari enjin turbin gas [1]

3.0 PUSARAN

3.1 Aliran Berpusar

Aliran berpusar adalah aliran utama yang dihasilkan oleh pemusar udara di dalam enjin turbin gas. 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 di dalam kebuk pembakaran. Sifat aerodinamik pada aliran pusar gelora ini adalah gabungan daripada ciri pergerakan berpusar dan fenomena gelora bebas yang bertembung di dalam aliran jet dan aliran olakan. Sistem gelora berpusar ini dapat dibahagikan kepada beberapa kumpulan iaitu [4], 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 kebuk pembakaran dan persekitaran dari dalam kebuk pembakaran.

Percampuran udara dan bahan api 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 bahan api 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

3.2 Pembentukan Pusaran

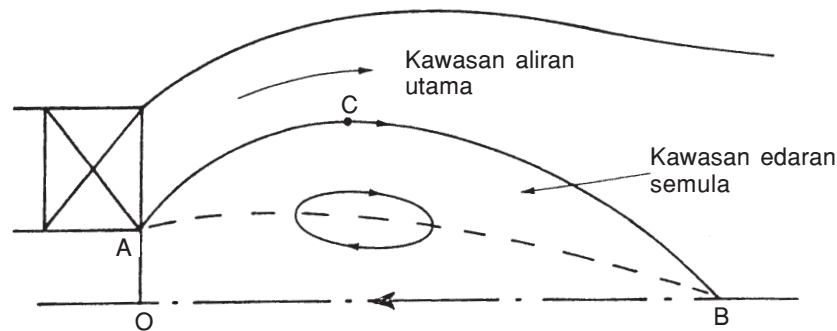
Apabila udara dimasukkan secara tangen ke dalam kebuk pembakaran, ia dipaksa untuk mengubah arah haluan alirannya, jadi aliran berpusar akan terbentuk. Keseimbangan tercipta antara daya empar yang bertindak pada partikel bendalir dengan daya tekanan yang terjadi pada dinding tiub. Keseimbangan daya ini didemonstrasikan oleh pergerakan taburan tekanan statik di dalam kebuk 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 dari kebuk 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 didefinisikan daripada titik keluar permulaan dari kebuk pembakaran ke titik di mana aliran pembalikan berlaku, meningkat dengan peningkatan nombor pusar [4].

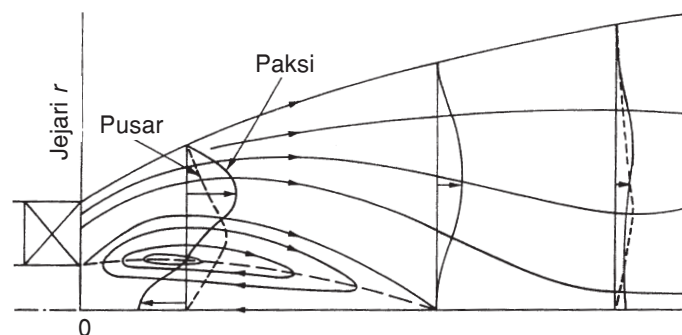
3.3 Corak Aliran

Kawasan edaran semula dalam aliran bebas putar ditunjukkan dalam Rajah 2 [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 3. Semua



Rajah 2 Kawasan edaran semula dalam medan aliran pusar [1]



Rajah 3 Susuk biasa komponen halaju paksi dan pusar dalam medan aliran pusaran yang kuat [1]

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.

3.4 Nombor Pusar

Nombor pusar adalah nombor parameter tidak berdimensi yang merupakan nisbah antara fluks paksi momentum sudut kepada tujuh paksi didarab dengan jejari nozel [1]. Kedua-dua fluks momentum ini boleh dipertimbangkan sebagai ciri-ciri atau sifat aerodinamik aliran jet. Pembakar tipikal selalunya mempunyai nombor pusar dalam lingkungan 0.6 hingga 2.5 [5].

Pusaran Lemah ($S < 0.6$) – Dalam sistem pusaran lemah, kecerunan tekanan paksi adalah tidak cukup besar untuk menghasilkan edaran semula dalaman. Pusaran memberikan kesan kepada kadar penumpuan aliran dan kadar aliran halaju melambat [4].

Pusaran Kuat ($S > 0.6$) – Pusaran kuat berlaku apabila keamatan pusaran meningkat di dalam aliran jet, di mana satu titik akan dicapai bila kecuraman suhu yang rendah di sepanjang aliran paksi jet tidak dapat ditampung oleh tenaga kinetik zarah bendalir dalam aliran paksi.

4.0 PEMUSAR UDARA

4.1 Fungsi Pemusar Udara

Satu cara berkesan untuk mengaruh aliran edaran semula seperti ini di dalam zon utama adalah dengan memasang pemusar di dalam kubah sekeliling penyuntik bahan api. Komponen pusar diperhatikan dapat menghasilkan kawasan riakan yang kuat, gelora tinggi dan kadar percampuran yang cepat [1]. Ciri aliran pusaran ini telah lama diaplikasikan dalam kebanyakan peranti pembakaran praktik untuk mengawal kestabilan dan keamatan pembakaran serta saiz dan bentuk kawalan nyalaan.

Dalam sistem pembakaran yang berterusan seperti pembakar turbin gas selalunya bantuan nyalaan mengarahkan nyalaan yang pendek dan kesungguhan nyalaan ini bagi mencapai kadar pelepasan haba yang cepat. Nyalaan yang panjang secara umumnya menghasilkan percampuran yang kurang baik. Ini boleh ditentukan oleh nyalaan kuning yang hadir dan sumbangannya kepada pembentukan pancaran selagi mana masa mastautin makin meningkat [6]. Tambahan pula nyalaan kuning adalah kawasan yang mempunyai pembakaran yang kurang lengkap semasa melintasi nyalaan dan ini boleh menyebabkan kesan peningkatan terhadap emisi NO_x .

4.2 Susunan Pemusar

Terdapat dua susunan yang biasanya digunakan dalam pembakar tiub dan anulus iaitu pemusar udara tunggal dan pemusar kembar. Pemusar tunggal digunakan

bersama dengan pemancit bahan api yang dipasangkan di tengah bagi menghasilkan edaran berputar. Pemusar kembar pula digunakan bersama pemancit bahan api tekanan mudah yang juga dipasangkan di tengah bagi menghasilkan edaran kontra berputar.

4.3 Jenis Pemusar

Jenis reka bentuk pemusar udara bergantung kepada kaedah aliran yang digunakan. Terdapat tiga reka bentuk pemusar yang asas iaitu:

- (i) Pemusar aliran paksi
- (ii) Pemusar aliran jejarian
- (iii) Pemusar aliran gabungan
- (iv) Pemusar jenis diskret jet (*jet discrete*)

Manakala secara amnya, bentuk bilah bagi pemusar udara terdiri daripada dua iaitu jenis ram rata dan ram lengkung.

4.4 Pengaruh Jenis Ram (Bilah) Terhadap Zon Edaran Semula

Saiz zon edaran ini dipengaruhi oleh kesan berasingan akibat perubahan dalam [1]:

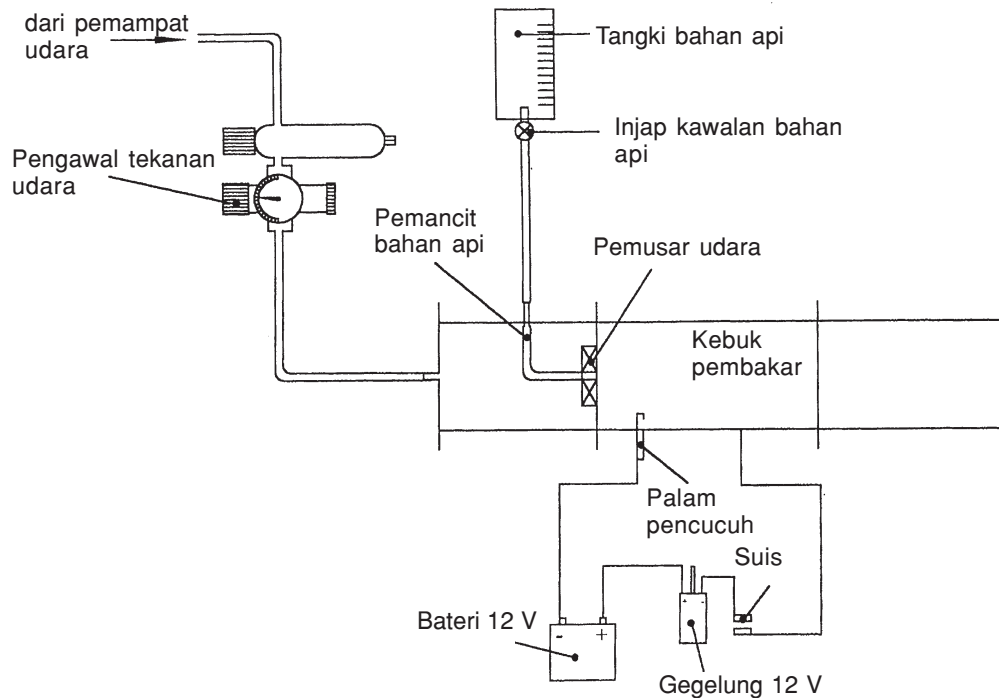
- (i) Jenis ram (lengkung/rata)
- (ii) Sudut ram
- (iii) Nisbah aspek ram
- (iv) Nisbah jarak perentas

Data uji kaji menunjukkan bahawa saiz edaran semula ditingkatkan oleh [1]:

- (i) Peningkatan pada sudut ram
- (ii) Peningkatan pada jumlah ram
- (iii) Pengurangan dalam nisbah (jarak/perentas)
- (iv) Pengurangan pada nisbah aspek ram
- (v) Penukaran dari ram rata kepada ram lengkung

5.0 RIG UJI KAJI

Rajah rig ujian pembakar jenis kaleng untuk ujian pembakaran yang dijalankan ditunjukkan dalam Rajah 4. Rig ujian tersebut dipasangkan ke atas troli boleh gerak pada kedudukan mendatar. Udara dimasukkan ke dalam kebuk melalui paip masukan dan mengalir secara memaksi sebelum masuk ke dalam kebuk pembakaran melalui pemusar udara aliran jejarian dengan garis pusat keluaran sebanyak 40 mm. Pemusar



Rajah 4 Rig uji kaji pembakar jenis kaleng

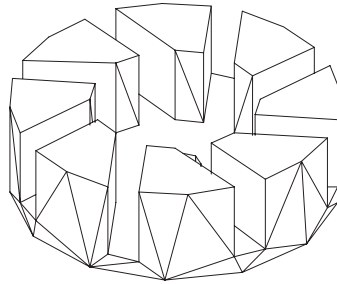
udara ini dibangunkan oleh penyelidik terdahulu dan sebahagiannya melalui kajian ini [7, 8].

Rig ujian tersebut dipasangkan dengan pemancit bahan api jenis memusat. Garis pusat dalaman kebuk pembakaran ialah 140 mm dan panjangnya ialah 280 mm. Pembakar ini disejukkan secara olakan oleh udara ambien di dalam makmal dan tidak memerlukan kaedah pendinginan yang lain.

Udara yang memasuki kebuk pembakaran melalui kebuk plenum terlebih dahulu yang mempunyai garis pusat yang sama dengan kebuk pembakaran. Di dalam kebuk plenum ini pemusar udara dipasangkan di satah keluarannya dan pemancit bahan api di mana bahan api cecair dipancarkan.

Kuar pensampelan gas ekzos dipasangkan di bahagian hujung kebuk pembakaran. Penganalisis gas yang digunakan dalam ujian ini adalah jenis penganalisis gas mudah alih ROSEMOUNT SERIES 500 yang hanya boleh mengukur gas-gas oksida nitrogen, sulfur dioksida dan karbon monoksida. Dengan itu, hanya gas-gas ini sahaja yang akan dibincangkan dalam kertas kerja ini.

Dalam uji kaji ini, enam pemusar udara aliran jejarian ram rata dengan sudut bilah 30° , 40° , 45° , 50° dan 60° digunakan untuk menunjukkan kesan atau pengaruh kekuatan pusaran atau nombor pusaran ke atas mengurangkan emisi dari pembakar berbahan api cecair. Rajah 5 menunjukkan pandangan isometrik pemusar udara dengan sudut pusaran 40° .



Rajah 5 Pandangan isometrik pemusar udara sudut 40°

6.0 KEADAAN UJI KAJI

Ujian dijalankan pada suhu ambien untuk suhu udara masukan memandangkan tiada alat prapemanas yang digunakan semasa ujian ini dijalankan. Udara dibekalkan dari bekalan utama udara termampat di makmal pembakaran. Tekanan udara bekalan dikawal menggunakan pengatur tekanan udara. Udara bekalan ini dibahagikan kepada dua bahagian; satu untuk membekalkan udara kepada kebuk pembakaran dan yang satu lagi adalah untuk memampatkan bahan api yang dibekalkan supaya terkabus kepada titisan yang lebih kecil bagi kemudahan pembakaran.

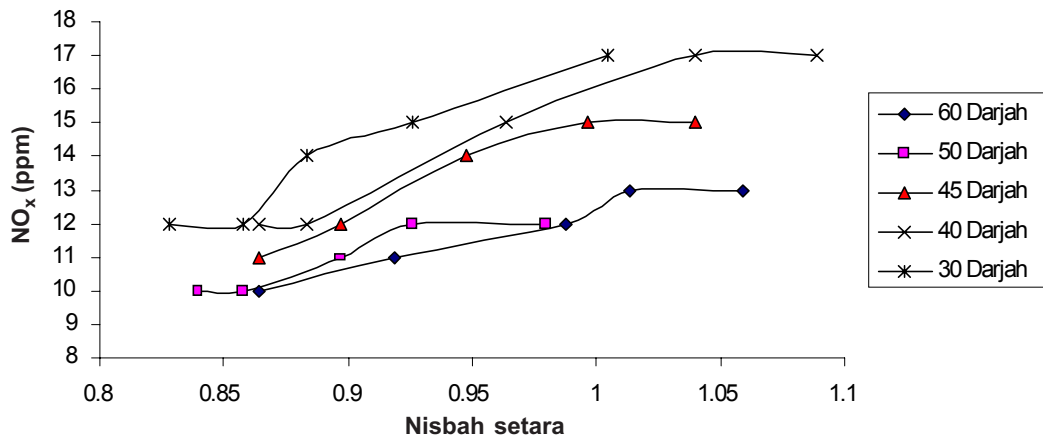
Kerosin digunakan sebagai bahan api untuk keseluruhan penyiasatan yang dijalankan. Parameter yang diubah ialah sudut bilah pemusar udara iaitu 30° , 40° , 45° , 50° dan 60° ; dan kadar aliran isi padu bahan api untuk melihat kesan keadaan pembakaran kaya dan cair ke atas pembentukan bahan cemar.

7.0 UJI KAJI DAN ANALISIS KEPUTUSAN

Setelah dijalankan uji kaji untuk 5 sudut bilah yang berbeza dari 30° hingga 60° dan beberapa kadar aliran bahan api yang berlainan, dua graf utama iaitu lengkung oksida nitrogen dan karbon monoksida dilakarkan dan ditunjukkan dalam Rajah 6 dan 7. Perbincangan berikut adalah mengenai kedua-dua rajah tersebut.

Rajah 6 menunjukkan graf oksida nitrogen, NO_x melawan nisbah setara, ϕ . Bentuk graf partikel NO_x melawan nisbah setara menunjukkan terdapatnya peningkatan kepekatan NO_x dengan penambahan nisbah setara sehingga mencapai nilai sekitar 1.0. Nilai ini kemudiannya mula mengurang selepas mencapai nisbah setara 1.0.

Pemusar dengan sudut 30° menghasilkan bacaan NO_x tertinggi dengan 17 ppm pada nisbah setara 1.005. Ini diikuti dengan pemusar 40° hingga ke 60° . Pemusar 60° memberikan bacaan maksimum NO_x sebanyak 13 ppm pada nisbah setara 1.06. Dapat diperhatikan yang julat antara nilai bacaan maksimum dan minimum NO_x ialah 7 ppm. Pada nisbah setara 0.9 pemusar 60° memberikan penurunan pengeluaran NO_x tertinggi berbanding dengan pemusar 30° iaitu sebanyak 28%. Ini diikuti oleh pemusar 50° , 45° dan 40° masing-masing dengan 24%, 17% dan 13%. Ini hampir serupa

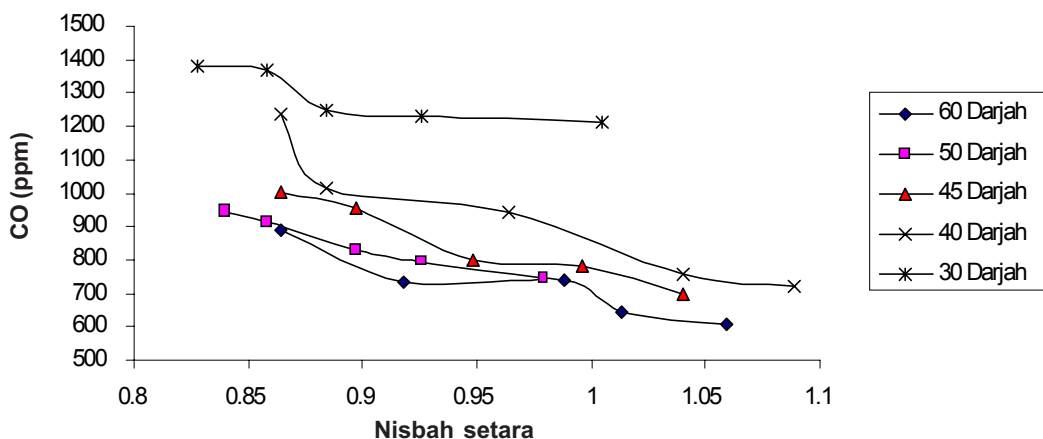


Rajah 6 Oksida nitrogen (NO_x) melawan nisbah setara (ϕ)

dengan yang didapati dari ujian apabila menggunakan pemusar udara aliran jejarian ram lengkung [9] dan pemusar udara aliran jejarian ram rata [10].

Perkara ini terjadi memandangkan dengan meningkatnya sudut pusaran akan meningkatkan kekuatan pusaran. Ini akan menambahkan keadaan gelora bagi aliran yang memasuki kebuk pembakaran yang mana membantu mencampurkan bahan api cecair yang telah dikabus dengan udara agar kedua-duanya bergabung dengan sebatu sebelum berlakunya pencucuhan. Oleh itu, dengan peningkatan nombor pusar akan menyebabkan pencampuran berlaku dengan lebih baik yang mana menghampiri keadaan pembakaran lengkap. Ini seterusnya mengurangkan pembentukan emisi. Perkara yang sama dapat dilihat untuk emisi CO dalam perenggan seterusnya.

Rajah 7 pula menunjukkan graf karbon monoksida, CO melawan nisbah setara, ϕ . Lengkung CO menunjukkan penurunan nilai kepekatan CO dengan pertambahan



Rajah 7 Graf karbon monoksida (CO) melawan nisbah setara (ϕ)

nilai nisbah setara. Ini ketara untuk semua sudut bilah. Julat CO ialah dari 609 hingga 1378 ppm. Diperhatikan juga pembentukan emisi CO semakin berkurangan dengan penambahan sudut pesongan bagi semua sudut pesongan ram. Bagi nisbah setara yang tertentu, pembentukan CO semakin bertambah dengan pengurangan sudut pesongan ram. Pada nisbah setara 0.9 pemusar 60° memberikan penurunan pengeluaran CO tertinggi berbanding dengan pemusar 30° iaitu sebanyak 40%. Ini diikuti oleh pemusar 50° , 45° dan 40° masing-masing dengan 34%, 24% dan 18%.

8.0 KESIMPULAN

Kajian ini telah berjaya membuktikan bahawa perubahan sudut bilah yang mengubah kekuatan pusing berjaya mengurangkan emisi dari pembakar berbahan api cecair. Rajah 6 dan 7 berjaya menunjukkan bahawa dengan meningkatkan sudut pesongan bilah pemusar udara dapat mengurangkan kepekatan emisi yang dipancarkan dari proses pembakaran dengan sudut bilah 60° menunjukkan nilai kepekatan terendah untuk kesemua nisbah setara untuk kedua-dua emisi NO_x dan CO.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar kerana memperuntukkan geran penyelidikan di bawah projek nombor 08-02-06-0030 EA 207 dan kepada Universiti Teknologi Malaysia kerana menyediakan ruang dan peralatan.

RUJUKAN

- [1] Lefebvre, A.H. 1983. "*Gas Turbine Combustion*". New York: Hemisphere.
- [2] Mohd Nazri Mohd Jaafar. 1997. "Emissions from Gas Burner, Their Impact on The Environment and Abatement Techniques: A Review." *Jurnal Mekanikal*. 1: 50-70.
- [3] de Nevers, N. 1995. "*Air Pollution Control Engineering*". New York: McGraw-Hill, Inc.
- [4] Beer, J. M. dan N. A. Chigier. 1972. "*Combustion Aerodynamics*". London: Applied Science.
- [5] Mohd Nazri Mohd Jaafar. 1998. "Cold Flow Performance of Radial Swirler Gas Burner System". *Jurnal Teknologi*, Jun 1999, No. 30(A), Penerbit, Universiti Teknologi Malaysia.
- [6] Escott, N. H. 1993. "*Ultra Low NO_x Gas Turbine Combustion Chamber Design*". The University of Leeds. Ph.D Thesis.
- [7] Romales Ramli. 1998. "*Mereka bentuk, Membina dan Menguji Sebuah Unit Pembakar*". Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana Muda.
- [8] Roazam Ahmad. 2000. "*Mereka bentuk Pemusar Udara untuk Kegunaan ke Atas Pembakar*". Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana Muda.
- [9] Mohd Nazri Mohd Jaafar, Muhamad Shukri Abdul Mookmin and Ismail Samat. 2003. "Effect of Varying the Swirler Blade Angle on Reducing Emission from Liquid Fuel Burner". The Fourteenth International Symposium on Transport Phenomena, 6th -10th July 2003, Bali, Indonesia.
- [10] Mohd Nazri Mohd Jaafar, Ismail Samat dan Muhamed Shukri Abdul Mookmin. 2003. "Pengurangan emisi dari pembakar berbahan api cecair menggunakan aliran berpusing". Environmental 2003, 18th - 19th February 2003. Penang: The Bayview Beach Resort.

