

MEMBANGUNKAN PEMUSAR UDARA UNTUK KEGUNAAN KE ATAS PEMBAKAR BERBAHAN API CECAIR

Roazam Ahmad

Mohammad Nazri Mohd Ja'afar

Jabatan Aeronautik dan Automotif
Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknologi Malaysia

ABSTRAK

Pembakar turbin gas merupakan salah satu komponen utama yang terdapat di dalam setiap enjin turbin gas. Fungsi dan keupayaan pembakar ini telah begitu lama dikaji secara terperinci oleh ramai saintis mahupun penyelidik tidak kira komponen pembakar yang mana sekalipun. Salah satu komponen utama pembakar ialah pemusar udara. Melalui kertas kerja ini, kajian ilmiah, rekabentuk pemusar udara yang sesuai digunakan ke atas pembakar dan ujikaji pembakaran dibincangkan.

Pemusar udara aliran jejarian dengan dua sudut pesongan bilah yang berlainan merupakan rekabentuk yang dibangunkan. Hasil ujikaji pembakaran yang dilakukan menunjukkan bahawa perbezaan sudut pesongan bilah menjadi parameter utama yang membezakan tahap penghasilan bahan cemar. Keputusan menunjukkan bahawa pemusar yang mempunyai sudut pesongan bilah yang lebih tinggi menghasilkan pengurangan di dalam emisi oksida nitrogen, NO_x sebanyak 30.76% berbanding dengan sudut bilah pemusar yang lebih rendah. Emisi bahan cemar yang lain didapati meningkat dengan meningkatnya sudut pesongan bilah

pemusar udara. Ini ditunjukkan oleh graf sulfur dioksida, SO₂ dan karbon monoksida, CO.

1.0 PENGENALAN

Enjin turbin gas ialah enjin yang direkabentuk untuk menukarkan tenaga bahan api kepada satu bentuk kuasa berguna seperti kuasa mekanikal (aci) atau tujuh jet berhalaju tinggi [1].

Enjin turbin gas pada umumnya terdiri daripada dua bahagian asas di dalam bahagian penjana gas dan bahagian penukar kuasa. Bahagian penjana gas terdiri daripada pemampat, kebuk pembakaran dan turbin manakala bahagian penukar kuasa terdiri daripada nozel.

Dari dua komponen asas tadi, kebuk pembakaran merupakan komponen terpenting di dalam proses pembakaran bagi campuran udara dengan bahan api yang menghasilkan gas panas bagi menggerakkan komponen seterusnya iaitu turbin.

Sepanjang 40 tahun yang lalu, teknologi pembakar enjin turbin gas pesawat udara telah dimajukan secara beransur-ansur dan berterusan dan bukannya melalui perubahan yang mendadak. Kecerupaan kekeluargaan yang ada di kalangan pembakar sekarang adalah berpunca daripada [2]:

- Geometri asas pembakar yang terpaksa ditetapkan menurut keperluan supaya panjang dan keluasan hadapannya berada dalam jidar yang ditentukan oleh komponen enjin yang lain.
- Rekabentuk 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.
- Penentuan saiz dan rekabentuk pembakar melibatkan pertimbangan bahan cemar hasil pembakaran.

2.0 PUSARAN

2.1 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 diketahui terjadi di dalam aliran pusar yang menyebabkan ia mengedar semula dalam kawasan teras apabila jumlah putaran yang dikenakan ke atasnya adalah tinggi [2]. Penerangan yang lebih lanjut dapat dijelaskan dengan melihat setiap ciri-ciri aliran yang dihasilkan di dalam zon utama pembakaran.

Aliran berpusar sering digunakan untuk mengawal nyalaan dalam kebuk pembakaran. Sifat aerodinamik pada aliran pusar gelora ini adalah gabungan daripada ciri-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 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.

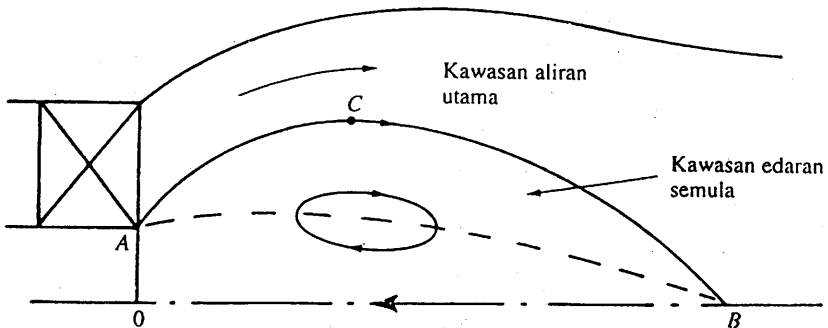
2.2 Pembentukan Pusaran

Apabila udara dimasukkan secara tangen ke dalam kebuk pembakaran, ia didayakan untuk mengubah arah haluan alirannya, di mana aliran berpusar akan terbentuk. Keseimbangan tercipta di antara daya empur yang bertindak pada partikel bendalir dan daya tekanan yang terjadi pada dinding tiub. Keseimbangan daya ini didemonstrasikan oleh pergerakan taburan tekanan statik di dalam kebuk pembakaran, juga boleh diambil sebagai taburan tekanan yang dikira daripada pengukuran taburan halaju tanjen. Tekanan yang rendah di pusat teras aliran pusar tetap mendapat kembali kemunculan aliran jet daripada kebuk pembakaran. Irti menghasilkan kecerunan tekanan paksi yang kurang baik, jadi pada sudut

pusar tinggi yang memadai, aliran memusar kembali ke arah pergerakannya dan vorteks pusar terbentuk

2.3 Corak Aliran

Kawasan edaran semula dalam aliran bebas pusar ditunjukkan dalam Rajah 1 [2]. Oleh kerana aliran dianggap simetri sepaksi, maka hanya separuh corak aliran sahaja yang ditinjau. Kawasan edaran semula terkandung dalam lengkung OACB. Titik B dinamai 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 [2]. Semua komponen halaju susut dalam arah muara. Selepas titik genangan halaju paksi balikan akan menghilang dan jauh ke muara puncak susuk halaju paksi berubah ke arah garisan tengah sebagai kesan susutan pusaran.

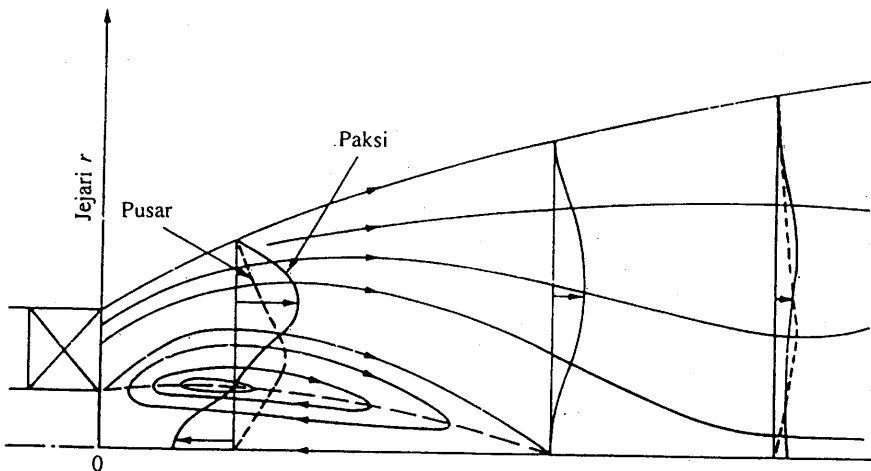


Rajah1 Kawasan Edaran Semula Dalam Medan Aliran Pusar [2]

Percampuran udara dengan bahan api yang baik boleh diperolehi dengan mewujudkan aliran berpusing. Kelebihan diperolehi dengan adanya aliran berpusing ialah:

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

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



Rajah 2 Susuk Biasa Komponen Halaju Paksi dan Pusing Dalam Medan Aliran Pusingan yang Kuat [2]

2.4 Kestabilan Nyalaan Pesar

Pesar digunakan di dalam sistem pembakaran untuk membantu percampuran udara bahan api dan dipercayai juga adalah faktor kestabilan nyalaan kerana:

- i) Pesar meningkatkan penghasilan gelora yang menjana aliran tak berpesar kerana kehadiran komponen halaju tangen yang melengkapkan kecerunan halaju. Pesar juga meningkatkan halaju pembakaran gelora yang pada dasarnya semakin membesar. Kawasan dasar nyalaan yang tidak bercampur berubah kepada sebahagiannya bercampur kerana tindakan penjana pesar di zon edaran semula di mana bahan api dimasukkan ke dalam kawasan itu.
- ii) Edaran semula bertindak sebagai sumber panas yang membantu produk pembakaran bergerak ke hulu di dalam kebuk pembakaran dan bercampur dengan sebahagian komposisi pracampur iaitu bahan api dan udara. Ini meningkatkan jumlah sentuhan antara bahan api, udara dan produk pembakaran panas yang boleh menjadi faktor kestabilan penting berdekatan dengan tahap pepadaman.
- iii) Nyalaan pesaran tidak distabilkan oleh edaran semula produk pembakaran panas dalam hanya satu edaran semula yang besar tetapi keadaan ini boleh dicapai di dalam lapisan ricihan bilamana produk pembakaran panas dan bahan baru bercampur secara berkala.
- iv) Kesan ketidakstabilan pesar pada nyalaan yang stabil adalah peningkatan pesar desakan yang kuat pada nyalaan. Ini bermaksud untuk aliran bahan api dan kadar aliran udara yang sepaksi, peningkatan halaju tangen akan meningkatkan kecerunan jejarian halaju tangen yang terjadi di dalam zon nyalaan utama. Ini juga meningkatkan sendiri kecuraman halaju aliran oleh peningkatan daya pemindahan haba daripada udara sejuk ke dalam zon tindakan yang memulakan kekuatan atau menamatkan semburan.

Edaran semula skala besar yang dihasilkan di dalam zon utama pembakar mempunyai pengaruh ke atas kecekapan pembakaran. Kewujudan sifat ini di dalam pembakar akan memberi kesan kepada [3]:

- i) Kawasan aliran
- ii) Pembesaran jet
- iii) Saiz nyalaan pembakaran
- iv) Bentuk dan kestabilan pembakaran
- v) Kekuatan pembakaran

Semua kesan di atas amat dipengaruhi oleh sudut pesongan bilah yang memesonkan aliran udara yang masuk. Pembakar lazim selalunya mempunyai nombor pusar, S_N dalam lingkungan 0.6 – 2.5. Nombor pusar ini untuk aliran di dalam pembakar dapat dikategorikan kepada :

$S_N < 0.6$	Keadaan pusaran yang tidak mencukupi untuk mewujudkan aliran pusar. Tiada aliran edaran semula diperolehi. Dikenali sebagai pusar lemah. Nyalaan mempunyai tahap tertentu kerana kekuatannya yang tidak mencukupi.
$0.4 < S_N < 0.6$	Garis arus agak tertumpu tetapi masih tiada edaran semula. Dikenali sebagai pusar sederhana.
$S_N > 0.6$	Keadaan pusaran yang mencukupi untuk menjalankan proses pembakaran. Dikenali sebagai pusar kuat.

2.5 Kesan Sudut Pemusar Udara

Nombor pusar yang meningkat bersepadanan dengan sudut bilah yang meningkat. Pertambahan sebaran jet disebabkan pertambahan sudut ini menyebabkan riakan meningkat kerana kemerosotan halaju dan aliran nozel pada jarak orifis [4].

3.0 PEMUSAR UDARA

3.1 Fungsi Pemusar Udara

Di dalam sistem pembakaran yang berterusan seperti pembakar turbin gas selalunya bantuan nyalaan mengarahkan nyalaan yang pendek 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 emisi selagi mana masa mastautin makin meningkat [5]. Tambahan pula nyalaan kuning adalah kawasan yang mempunyai suhu yang kurang searagam semasa melintasi nyalaan dan keadaan suhu yang berubah-ubah ini boleh menyebabkan kesan peningkatan terhadap emisi NO_x .

Di dalam pembakar turbin gas juga, pemusar udara diperlukan supaya nyalaan terang wujud bagi menghalang kesan radiasi yang memberi kesan terhadap dinding pembakar disebabkan edaran terma. Sebenarnya semua keadaan ini dihasilkan oleh satu sifat aliran di dalam kebulut pembakaran yang dihasilkan apabila pemusar udara wujud.

3.1.1 Kepentingan Pemusar Udara Di Dalam Zon Utama

Corak aliran zon utama adalah penting kepada kestabilan nyalaan [2] maka untuk kestabilan nyalaan ini kawasan lindungan mesti diwujudkan bagi menghasilkan edaran semula produk pembakaran panas dan penyebaran gelora kepada produk ini dalam kawasan terbabit di mana akan bercampur dengan campuran udara bahan api yang belum terbakar. Ini kemudiannya akan terus menghasilkan sumber pencucuhan berterusan untuk bahan api dan udara yang mendatang [6].

Corak aliran zon utama ini penting supaya api tetap menyala pada sebarang keadaan operasi yang mana merupakan juga keperluan asas bagi semua pembakar turbin gas. Keadaan ini sukar terjadi terutamanya untuk pembakar pesawat terbang, kerana pembakaran perlu mengambilkira keadaan tekanan dan suhu rendah mudarat terutamanya apabila hujan dan ais wujud.

Pelbagai jenis corak aliran udara yang berbeza digunakan, tetapi perlakuan umum yang ada pada semua corak ini adalah terjadinya aliran berbalik gegelang yang memasuki dan sebahagian daripada produk pembakaran panas untuk bercampur dengan udara dan bahan api yang mendatang.

Satu cara berkesan untuk mengaruh aliran edaran semula dalam zon utama adalah dengan memasang pemusar dalam kubah di sekeliling penyuntik bahan api. Pemusar akan menghasilkan satu fenomena yang dinamakan kerosakan vorteks hasil dari alirannya iaitu edaran semula dalam kawasan teras apabila jumlah putaran yang diberikan kepada aliran adalah tinggi. Komponen pemusar akan menghasilkan kawasan riakan yang kuat, gelora tinggi dan kadar percampuran yang cepat [2].

3.2 Susunan Pemusar Udara

Terdapat dua susunan yang biasanya digunakan dalam pembakar kaleng dan anulus iaitu pemusar udara tunggal dan pemusar udara berkembar. Pemusar tunggal digunakan bersama dengan pemancit bahan api yang dipasangkan di tengah bagi menghasilkan edaran berputar. Pemusar kembar pula digunakan bersama pemancit bahan api bertekanan yang juga dipasangkan di tengah bagi menghasilkan edaran kontra berputar.

3.3 Jenis Pemusar Udara

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

- i) Pemusar aliran paksi
- ii) Pemusar aliran jejarian
- iii) Pemusar aliran gabungan
- iv) Pemusar jenis 'jet discrete'

Proses merekabentuk pemusar udara dapat dimulakan dengan menentukan aliran udara yang diperlukan, menentukan suhu masuk, juga menentukan tekanan

dan kejatuhan tekanan merentasi pembakar. Keperluan rekabentuk tambahan termasuklah jejari dalaman bagi pemusar aliran paksi (jejari hub dalam) atau jejari sebelum memasuki orifis bagi pemusar aliran jejarian. Rekabentuk ini perlu kerana ia menyediakan ruang untuk pemancit bahan api.

Keperluan lain ialah tebal bilah yang sesuai berdasarkan pertimbangan rekabentuk dan sudut bilah berdasarkan kepada rekabentuk yang berjaya sebelumnya dan daripada kajian asas pemusar udara [6].

4.0 PEMILIHAN REKABENTUK PEMUSAR UDARA

4.1 Faktor Pemilihan Rekabentuk Pemusar Udara

Rekabentuk pilihan ialah pemusar udara aliran jejarian. Kriteria cadangan pemilihan rekabentuk pemusar udara aliran jejarian ini adalah berdasarkan kajian ilmiah yang dijalankan dan kajian terhadap kejayaan beberapa rekabentuk pemusar yang dikaji sebelum ini. Berikut disenaraikan faktor pemilihan pemusar udara aliran jejarian sebagai rekabentuk pilihan :

i) Konsep Rekabentuk

Konsep rekabentuk pemusar udara aliran jejarian lebih cekap bagi menghasilkan edaran aliran udara yang berpusar di dalam kebuk pembakaran kerana kemasukan udara secara tangen menghasilkan satu kejutan pada aliran masukan yang sesuai bagi aliran untuk berubah bentuk daripada aliran laminar kepada aliran gelora. Pemusar udara aliran jejarian juga mempunyai sifat aerodinamik yang lebih baik untuk keadaan gelora berbanding pemusar udara aliran paksi kerana aliran udara termampat dapat dipesongkan dengan baik bagi menghasilkan gelora disebabkan perubahan arah aliran.

ii) Kesesuaian dengan Pemancit Bahan Api

Rekabentuk pemusar udara aliran jejarian sesuai dipadankan dengan pemancit bahan api yang diperlukan bagi menjalankan ujian pembakaran.

iii) Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan adalah sesuai dengan keadaan suhu dan operasi dalam kebuk pembakaran. Keluli tahan karat dan keluli lembut adalah bahan yang mudah diperolehi berbanding bahan lain seperti logam 'Superalloy'. Pertimbangan lain melibatkan ketahanan keluli terhadap masa pembakaran, kepanasan dan suhu kebuk pembakaran, kesesuaian terhadap sifat-sifat mekanikal seperti rayapan, rekahan, tegasan serta terikan berbanding logam lain.

iv) Peningkatan Kualiti Terhadap Rekabentuk Terdahulu.

Rekabentuk pilihan akhir pemusar udara aliran jejarian ini juga menekankan peningkatan kualiti terhadap rekabentuk terdahulu [7]. Pengubahsuaian dilakukan ke atas rekabentuk bilah yang lebih melengkung supaya jenis aliran yang dihasilkan mewujudkan kawasan edaran semula yang lebih besar. Kaedah pemasangan ke atas pembakar juga diubahsuai dan diperkemaskan supaya kehilangan tekanan mahupun kelemahan kecekapan dapat dikurangkan.

4.2 Rekabentuk Pilihan

Rekabentuk pilihan mempunyai 2 sudut pesongan bilah yang berbeza. Rekabentuk ini dapat dilihat di dalam Rajah 3 berserta lakaran 3 dimensi (Rajah 4). Seperti juga kriteria pemilihan sebelum ini, rekabentuk pilihan ini berdasarkan kriteria yang dijelaskan dan peningkatan kualiti ke atas rekabentuk terdahulu iaitu:

- i) Pemusar Udara Aliran Jejarian Romales Ramli [8]; Rajah 4(a)
- ii) Pemusar Udara Aliran Jejarian Mohammad Nazri [3]; Rajah 4(b)

Pemilihan 2 sudut bilah yang berlainan dapat memperlihatkan perbezaan yang terhasil dari segi keupayaan menghasilkan pusing, kecekapan terhadap pembakaran dan kriteria lain yang berkaitan.

4.3 Spesifikasi Rekabentuk Pilihan Akhir

Sudut Pesongan Bilah = 30° dan 45°

Bilangan Bilah = 8

Tinggi Bilah = 20 mm

Diameter Dalam, D_i = 40 mm

Diameter Luar, D_o = 78 mm

Bahan = Keluli lembut

Diameter Lubang Pemancit Bahan Api = 13 mm

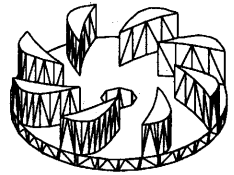
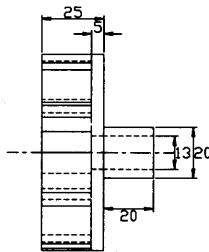
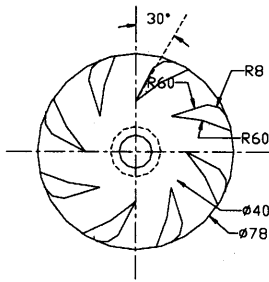
Kaedah Pembuatan = Kawalan Berangka Komputer (CNC; *Computer Numerical Control*) dan pemesinan lazim.

Komponen tambahan = i) Tapak Pemusar
Diameter = 120 mm
Tebal = 3 mm
Bahan = Keluli lembut

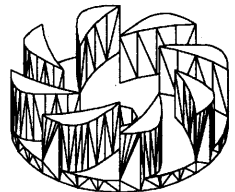
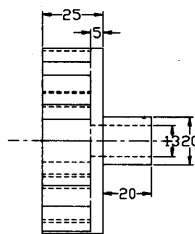
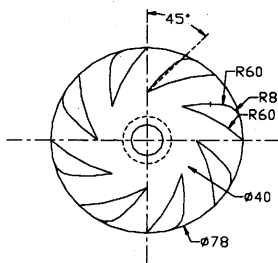
ii) Bolt
Jenis = Kepala heksagon dengan batang berulir
Saiz = M4 X 40

4.4 Konsep Rekabentuk

- Rekabentuk yang lebih berbentuk lengkung pada kemasukan bilah dan keseluruhan bilah bagi menghasilkan aliran udara yang lebih seragam tanpa berlaku sebarang kehilangan.
- Kemasukan yang licin pada bilah pemusar yang melengkung akan mengurangkan kawasan halangan pemusar dan mengurangkan kehilangan tekanan.
- Pada aliran yang dihasilkan oleh rekabentuk ini, aliran jisim balikan lebih tinggi pada kehilangan tekanan bertahap rendah.



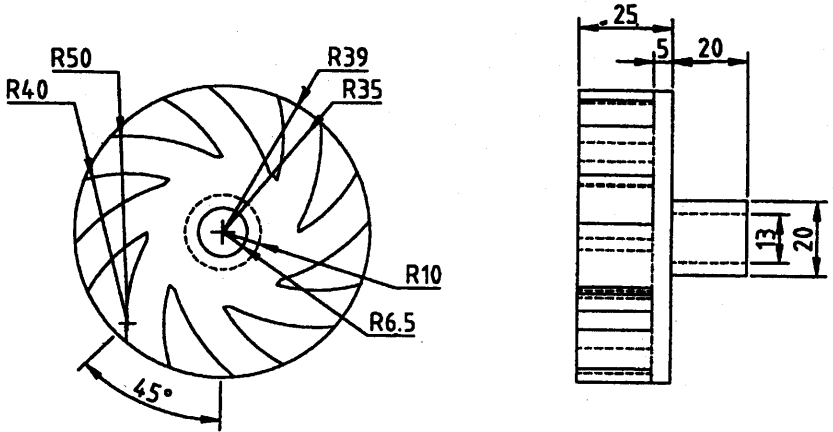
Pemusar Udara 30°



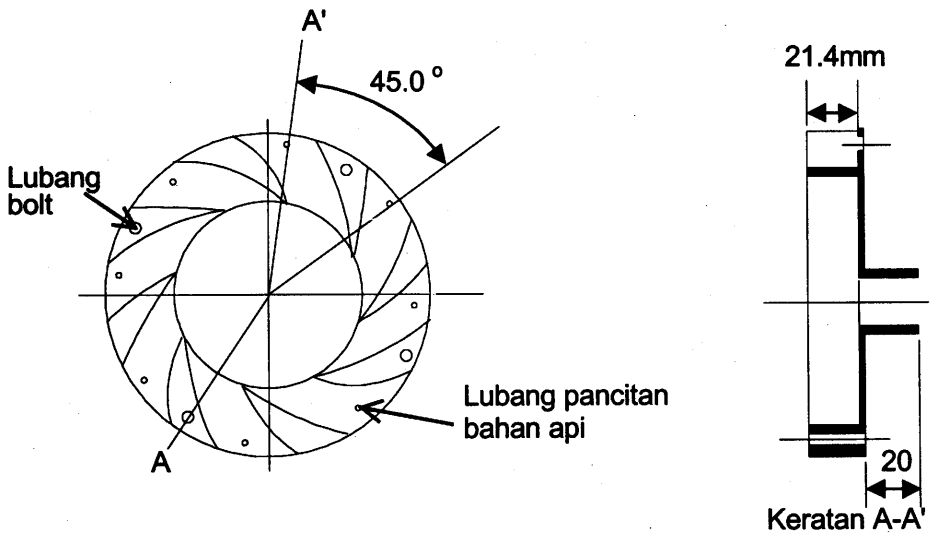
Pemusar Udara 45°

Rajah 3 Rekabentuk Pemusar Udara Pilihan (30° dan 45°)

- Zon ricihan yang kuat dan keamatan gelora yang lebih tinggi boleh dihasilkan.
- Aliran jejarian rekabentuk ini juga membenarkan aliran paksi mendatang untuk membelok secara beransur-ansur yang menghalang pemisahan aliran pada bahagian sedutan bilah. Keadaan ini menghasilkan belokan yang lebih lengkap dan pusat/komponen halaju jejarian yang lebih tinggi boleh dijana pada keluaran pemusar ditambah pula dengan kehilangan tekanan yang lebih rendah.
- Bahan yang digunakan untuk membuat pembakar adalah keluli lembut. Ini adalah kerana proses pemesinan samada lazim atau moden adalah lebih sukar jika menggunakan keluli tahan karat.



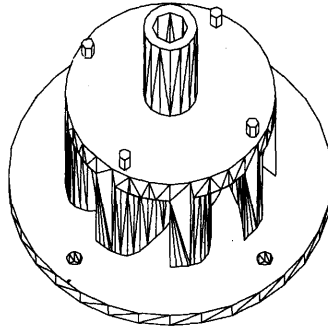
Pemusar Udara Aliran Jejarian Romales [8]



Pemusar Udara Aliran Jejarian Mohammad Nazri [3]

Rajah 4 Rekabentuk Pemusar Udara Aliran Jejarian Terdahulu

- Saiz dan dimensi pemusar adalah berdasarkan rekabentuk pemusar udara aliran jejarian Romales Ramli [8]. Kesesuaian saiz ini perlu kerana ujikaji akan melibatkan pembakar yang sama digunakan oleh Romales Ramli.



Rajah 5 Lakaran 3 Dimensi Pemusar Udara Bersama Tapak dan Bolt

5.0 RIG UJIKAJI

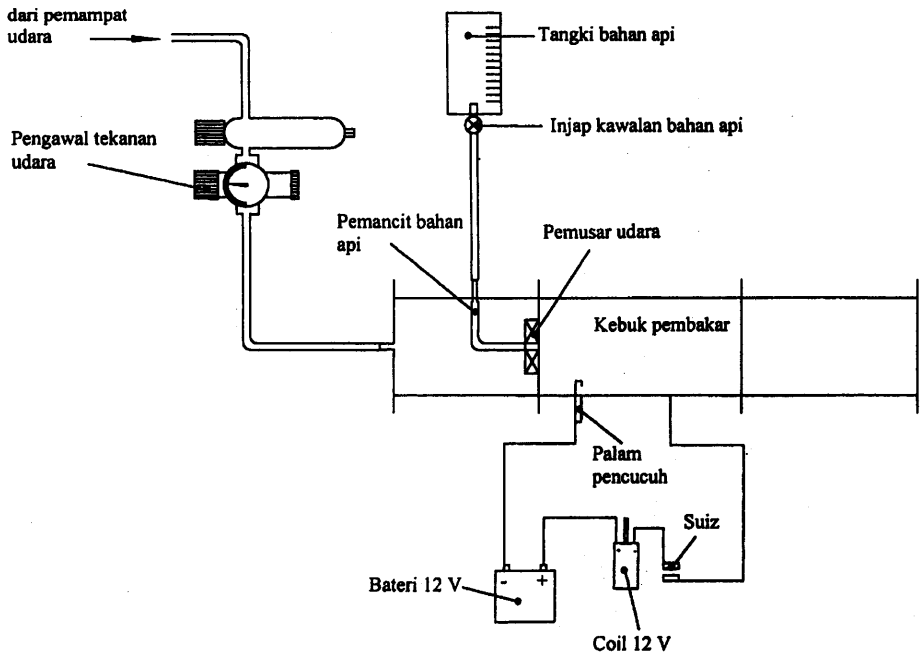
Rajah rig ujian pembakar jenis kaleng untuk ujian pembakaran yang dijalankan ditunjukkan di dalam Rajah 6. Rig ujian tersebut dipasangkan ke atas troli boleh gerak pada kedudukan mendatar. Udara dimasukkan ke dalam kebuk melalui paip masukan dan mengalir secara memaksi sebelum masuk ke dalam kebuk pembakaran melalui pemusar udara aliran jejarian dengan garis pusat keluaran sebanyak 40 mm.

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 dipasangkan dengan pemusar udara di satah keluarannya dan pemancit bahan api di mana bahan api cecair dipancitkan.

Kuar pensampelan gas ekzos dipasangkan di bahagian hujung kebuk pembakaran. Penganalisis gas yang digunakan di dalam ujian ini adalah jenis penganalisis gas Rosemount 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 6 Rig Ujikaji Pembakar Jenis Kaleng

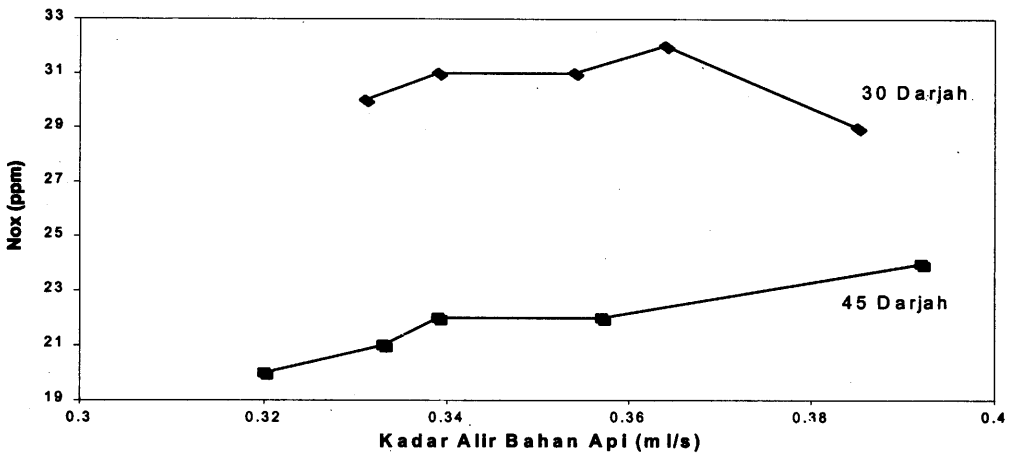
6.0 KEADAAN UJIKAJI

Ujian dijalankan pada suhu ambien untuk suhu udara masukan memandangkan tiada alat prapemanas yang digunakan semasa ujian-ujian ini dijalankan. Udara dibekalkan dari bekalan utama udara termampat di makmal pembakaran. Tekanan udara bekalan dimeterkan menggunakan pengatur tekanan udara. Udara bekalan ini dibahagikan kepada dua bahagian; satu untuk membekalkan udara kepada kebuk pembakaran dan yang satu lagi ialah 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 dan kadar aliran isipadu bahan api untuk melihat kesan keadaan pembakaran kaya dan cair ke atas pembentukan bahan cemar.

7.0 KEPUTUSAN UJIKAJI

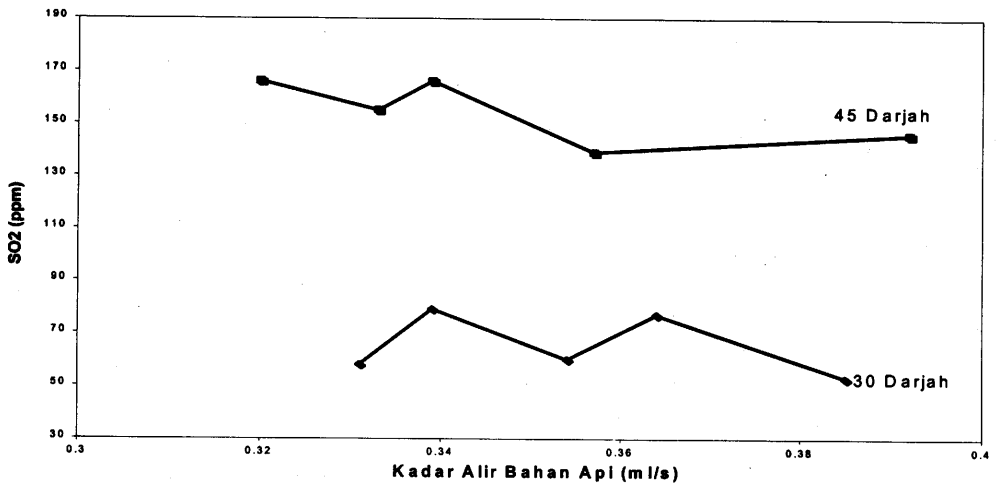
Keputusan ujikaji pembakaran ke atas pembakar dengan menggunakan dua pemusar aliran jejarian yang berlainan sudut bilah telah diplotkan dalam Rajah 7-9. Rajah-rajah ini merupakan parameter utama emisi yang akan dibincangkan.



Rajah 7 NO_x (ppm) melawan Kadar Alir Isipadu Bahan Api (ml/s)

Berdasarkan pemerhatian semasa ujikaji, didapati secara keseluruhannya rekabentuk pemusar udara yang dibangunkan boleh digunakan ke atas pembakar yang menggunakan bahan api cecair. Keputusan ujikaji pembakaran menunjukkan bahawa perbezaan sudut pesongan bilah pemusar udara mempengaruhi nilai emisi pembakaran adalah benar dan dicapai.

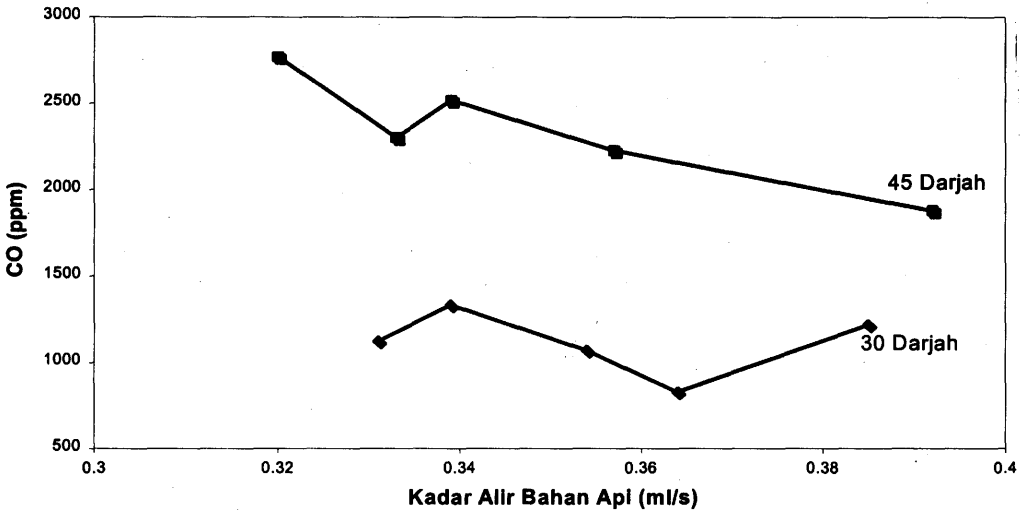
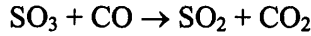
Dapat dilihat, daripada Rajah 7 bahawa pemusar udara dengan sudut pesongan bilah 45° menunjukkan penghasilan NO_x yang lebih rendah. Keputusan ini dapat dihubungkan dengan penjelasan berkenaan saiz zon edaran semula yang dihasilkan dalam pembakaran yang mana mempengaruhi keputusan pembakaran. Saiz zon edaran semula dipengaruhi oleh berbagai parameter geometri ke atas pemusar udara seperti sudut pesongan bilah, bilangan bilah dan tebal bilah [2] dan sepertimana yang dijelaskan sebelum ini, pemusar udara yang mempunyai sudut pesongan bilah yang lebih tinggi mempunyai prestasi yang lebih baik berbanding pemusar udara dengan sudut pesongan bilah yang rendah.



Rajah 8 SO_2 (ppm) melawan Kadar Alir Isipadu Bahan Api (ml/s)

Walau bagaimanapun, pemusar udara dengan sudut bilah 45° menghasilkan bahan cemar lain yang agak tinggi jika dibandingkan dengan pemusar udara dengan sudut bilah 30° , sepertimana yang ditunjukkan dalam Rajah 8 dan Rajah 9. Kedua-dua rajah ini memperlihatkan pembentukan emisi SO_2 dan CO yang lebih tinggi dengan meningkatnya sudut bilah. Nilai CO yang lebih tinggi adalah diramalkan memandangkan apa-apa kaedah untuk mengurangkan NO_x akan meningkatkan nilai CO.

Nilai SO₂ yang tinggi adalah disebabkan oleh terdapatnya kandungan sulfur di dalam bahan api kerosin dan sebahagian daripada bahan api ini terlepas dari pembakar dengan tidak terbakar. Pembentukan SO₂ yang banyak juga mungkin disebabkan oleh laluan pembentukan yang mengandungi CO memandangkan penghasilan bahan tersebut yang agak tinggi. Tindak balas ini boleh ditunjukkan oleh persamaan berikut:



Rajah 9 CO (ppm) melawan Kadar Alir Isipadu Bahan Api (ml/s)

8.0 KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, penggunaan pemusar udara menghasilkan partikel emisi yang agak rendah. Ini membuktikan bahawa pemusar udara yang dibangunkan berjaya menghasilkan pusaran dan zon edaran semula. Walau bagaimanapun, rekabentuk pemusar udara dengan sudut bilah 45° menghasilkan emisi NO_x yang lebih rendah walau pun terdapat peningkatan di dalam bahan cemar yang lain seperti SO₂ dan CO. Namun nilai-nilai ini adalah agak rendah daripada nilai

yang dibenarkan oleh Jabatan Alam Sekitar, Malaysia. Rekabentuk pemusar udara yang dihasilkan menunjukkan prestasi ujikaji pembakaran memuaskan dan boleh digunakan ke atas pembakar yang menggunakan bahan api cecair iaitu kerosin.

RUJUKAN

- [1] Bathie, W. W. (1992), "*Asas Turbin Gas (terjemahan)*," Johor Bahru, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- [2] Lefebvre, A. H.(1997), "*Pembakaran Turbin Gas (terjemahan)*," Johor Bahru, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- [3] Mohammad Nazri Mohd Jaafar (1998), "*Cold Flow Performance of Gas Burner Systems Using Radial Swirler*", Jurnal Teknologi (A), Bil. 30, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru.
- [4] Beer, J .M. dan Chigier, N. A. (1972), "*Combustion Aerodynamics*," London, Applied Science.
- [5] Escott, N. H. (1993), "*Ultra Low NO_x Gas Turbine Combustion Chamber Design*," The University of Leeds, Tesis PhD.
- [6] Mellor, A. M. (1990), "*Design of Modern Turbine Combustors*," London: Academics Press Limited.
- [7] Romales Ramli dan Mohammad Nazri Mohd Jaafar (1998), "*Membangunkan Sebuah Unit Pembakar Jenis Kaleng*," Jurnal Mekanikal. Jilid II, Bil. 6, ms 55-73.
- [8] Romales Ramli (1998), "*Merekabentuk, Membina dan Menguji Sebuah Unit Pembakar*," Universiti Teknologi Malaysia, Tesis Sarjana Muda.