

PEMBANGUNAN PEMBAKAR BAHAN API CECAIR BEREMISI RENDAH DI UTM

MOHAMAD ISNIZAM MAT ALIT¹ & MOHAMMAD NAZRI MOHD. JAAFAR²

Abstrak. Sebuah unit pembakar bahan api cecair yang beremisi rendah telah dibangunkan. Pembakar ini terdiri daripada beberapa komponen utama seperti kebuk pembakar, pemusar udara, pemancit bahan api, sistem bekalan udara dan bahan api. Pembakar ini telah diuji dengan melakukan ujikaji ke atas dua jenis pemusar udara, iaitu pemusar udara aliran jejarian jenis ram rata dan ram lengkung. Hasil ujikaji menunjukkan bahawa pembakar yang dibangunkan berjaya dipraktikkan dan pemusar udara ram lengkung adalah lebih baik daripada ram rata dari segi emisinya.

Abstract. A low emission liquid fuel combustor has been developed. The combustor consists of several main components such as combustion chamber, air swirler, fuel atomiser, air and fuel supply system. The combustor was tested using two different types of air swirler, ie. curved and straight blades radial flow air swirler. The experimental results have shown that the developed combustor can be used for combustion and that the curved blades air swirler showed lower emissions than the straight blades air swirler.

1.0 PENGENALAN

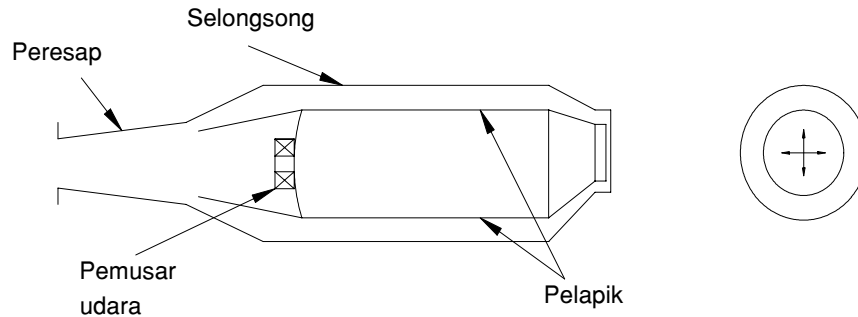
Unit pembakar yang dibangunkan adalah merujuk kepada pembakar jenis kaleng yang digunakan untuk pesawat udara. Reka bentuk unit pembakar yang diperolehi adalah berdasarkan kajian literatur [1]. Reka bentuk pembakar ini terdiri daripada komponen-komponen lain iaitu pemancit bahan api dan pemusar udara.

Ujikaji pembakaran telah dijalankan untuk mendapatkan perbandingan pengaruh pemusar udara terhadap emisi yang berlaku di dalam kebuk pembakar pada keadaan yang tertentu. Pemusar udara yang digunakan terdiri daripada pemusar udara jenis ram lengkung dan ram rata dengan sudut pusaran 45°.

2.0 REKA BENTUK KEBUK PEMBAKAR JENIS KALENG

Kebuk pembakar jenis kaleng atau dikenali juga sebagai kebuk pembakar jenis tiub, terdiri daripada beberapa unit yang bergaris pusat kecil dengan pelapik dan selongsong yang dicagakkan secara sepusat. Setiap kebuk pembakar jenis ini mempunyai tiub nyalaan dan selongsongnya sendiri seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.

^{1 & 2} Jabatan Aeronautik dan Automatif, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia. 81310 Skudai, Johor Darul Ta'zim



Rajah 1 Kebuk Pembakar jenis Kaleng

Pemilihan kebuk jenis ini adalah disebabkan pengujian rig hanya memerlukan sedikit pecahan dari keseluruhan aliran jisim udara enjin. Reka bentuk kebuk ini juga mempunyai masalah aerodinamik dan pembakaran yang minimum [2]. Kelebihan lain reka bentuk pembakar jenis ini ialah simptom ini mempunyai kekuatan struktur yang baik tanpa berat yang berlebihan, corak aliran bahan api yang mudah dipadankan dan mudah untuk kerja penyelenggaraan.

3.0 MEREKA BENTUK KEBUK PEMBAKAR

3.1 Objektif Reka Bentuk Kebuk Pembakar

Objektif reka bentuk kebuk pembakar secara keseluruhannya adalah untuk mendapatkan reka bentuk terperinci sebuah kebuk pembakar yang praktikal dan boleh dilakukan pengujian seperti ujian pembakaran, kestabilan nyalaan dan emisi; memastikan kebuk pembakar yang direka bentuk dan dibina boleh menggunakan pemancit bahan api dan pemusar udara yang sedia ada; memastikan spesifikasi kebuk pembakar yang direka bentuk adalah praktikal dan menghadkan kehilangan tekanan kepada nilai yang minimum; dan mendapatkan corak aliran dan pembakaran yang stabil.

3.2 Penentuan Spesifikasi Kebuk Pembakar

Penentuan spesifikasi kebuk pembakar adalah proses pertama dalam mereka bentuk kebuk pembakar. Proses ini penting untuk memastikan kebuk yang hendak dibangunkan memenuhi syarat-syarat kebuk pembakar dan berkeupayaan untuk beroperasi dalam jidar pretasi yang tinggi. Antara spesifikasi asas yang dipertimbangkan ialah saiz dan panjang kebuk, suhu kemasukan dan suhu kebuk, serta tekanan kemasukan kebuk.

Jadual 1 Ringkasan Nisbah L/D untuk Kebuk Pembakar

Rujukan	Nisbah L/D
<i>Kebuk anulus</i>	
1. Mellor, A. M. [1]	
Asal	>3
Sekarang	≈ 2
<i>Kebuk jenis kaleng</i>	
2. Hawthorne, H. R. dan Olson, W. T. [2]	1.5
3. Lefebvre, A. H. dan Norster, E. R. [3]	1.5
4. Boyce, M. P. [4]	
Pelapik	3–6
Selongsong	2.5
Praktikal	
Kebuk pembakar kecil	2
Kebuk pembakar jenis besar	3–4

3.2.1 Saiz dan Panjang Kebuk

Penentuan saiz dan panjang kebuk berdasarkan nisbah panjang per diameter, L/D yang diperolehi daripada kajian literatur. Jadual 1 menunjukkan ringkasan nisbah L/D yang diperolehi daripada kajian literatur.

Penentuan saiz dan panjang kebuk pembakar melalui pengiraan boleh dilakukan melalui dua kaedah iaitu kaedah halaju dan kehilangan tekanan.

Bagaimanapun penentuan nisbah panjang/diameter, L/D kebuk boleh dilakukan berdasarkan persamaan di bawah [2]:

$$PF = 1 - \exp(-20 / [(L_c / D_d)(\Delta P_{liner} / q_{ref})]) \quad (1)$$

$$\Delta P_{liner} = (1 - \lambda)\Delta P \quad (2)$$

dengan,

PF = faktor bentuk, 0.25 (lazim)

L_c/D_d = nisbah panjang kebuk/diameter kubah

$\Delta P_{liner}/q_{ref}$ = nisbah kejatuhan tekanan di pelapik kepada tekanan dinamik rujukan

λ = pekali kehilangan peresap, 0.4 (lazim)

Bagaimanapun beberapa parameter perlu diubah mengikut kesesuaian dengan reka bentuk kebuk pembakar yang hendak dibangunkan. Reka bentuk kebuk yang hendak dibina tidak mempunyai kubah dan pelapik. Oleh itu nisbah L/D dan

nisbah kejatuhan tekanan, merujuk terus kepada kebuk pembakar. Persamaan (1) di atas menjadi:

$$PF = 1 - \exp(-20 / [(L_c / D_c)(\Delta P / q_{ref})]) \quad (3)$$

dengan,

$$\begin{aligned} L_c/D_c &= \text{nisbah panjang/diameter keseluruhan kebuk} \\ \Delta P/q_{ref} &= \text{nisbah kehilangan tekanan keseluruhan kebuk, } 20 \end{aligned}$$

Maka dengan memasukkan nilai-nilai yang telah diberikan ke dalam persamaan (3), nisbah L/D kebuk yang diperoleh ialah $3.48 \approx 3.5$.

Merujuk kepada Jadual 1 didapati nilai yang diperoleh daripada pengiraan berada dalam julat untuk pembakar yang sedia ada. Nilai L/D untuk bahagian kebuk pembakar ditetapkan kepada 2 dan 1.5 lagi adalah bahagian lanjutan. Bahagian lanjutan ini bertujuan untuk mengelakkan nyalaan yang terhasil memanjang keluar daripada kebuk pembakar semasa ujikaji dilakukan.

3.2.2 Suhu Kemasukan dan Suhu Kebuk Pembakar

Suhu kemasukan kebuk bergantung pada nisbah tekanan pemampat, beban dan jenis enjin yang digunakan. Suhu kemasukan ini boleh mempengaruhi suhu nyalaan adiabatik iaitu suhu nyalaan yang diperoleh jika tenaga bersih yang dilepaskan oleh tindak balas kimia boleh digunakan sepenuhnya dalam pemanasan hasil tersebut [1].

Suhu pembakaran yang berlaku di dalam kebuk bergantung pada tahap percampuran bahan api. Percampuran ini terdiri daripada tiga tahap, iaitu percampuran stoikiometri yang menghasilkan kadar pembebasan haba yang tinggi, percampuran kaya bahan api yang menghasilkan kadar pembebasan isi padu haba yang rendah dan percampuran cair bahan api.

3.2.3 Tekanan Kemasukan Kebuk

Tekanan kemasukan kebuk berubah mengikut keadaan operasi enjin. Tekanan lazim bagi kebuk untuk enjin kecil adalah sekitar 3 atm manakala untuk enjin yang lebih kompleks tekanannya boleh mencecah 25 atm.

Jadual 2 menunjukkan parameter suhu, tekanan dan nisbah bahan api/udara kemasukan untuk keadaan lazim operasi kebuk pembakar kegunaan pesawat [2].

Jadual 2 Keadaan Operasi Kebuk Pembakar Pesawat

Keadaan lazim kemasukan kebuk pembakar			
Keadaan operasi	Suhu, T (K)	Tekanan, P (atm)	Bahan api/udara, f/a
Permulaan	220–320	0.8–1.4	0.020
Melahu	400–475	2–3	0.010–0.015
Menjajap	700	10	0.015–0.025
Berlepas	800	30	0.020–0.030
Pencucuhan	220–340	0.3–1	0.010–0.030

3.3 Spesifikasi Asas Kebuk Pembakar

Hasil daripada kajian yang telah dilakukan mengenai reka bentuk kebuk pembakar yang hendak dibina, beberapa spesifikasi asas telah ditetapkan iaitu:

- (i) Tiada pelapik
- (ii) Terbahagi kepada tiga bahagian utama iaitu bahagian plenum, bahagian pembakaran dan bahagian lanjutan
- (iii) Suhu masukan, diambil pada suhu bilik iaitu 30°C
- (iv) Tekanan masukan untuk kebuk adalah dalam julat 0 hingga 3 atm.
- (v) Bahan yang digunakan untuk membina kebuk pembakar adalah keluli tahan karat dengan diameter, $D = 168$ mm.

Penetapan ini dilakukan disebabkan beberapa faktor, antaranya ialah mereka bentuk dan membina bahagian pelapik adalah sukar dan memerlukan analisis yang lebih terperinci. Sementara kebuk pembakar dibahagikan kepada bahagian-bahagian tertentu untuk membolehkan kerja-kerja pembangunan dan pengujian dilakukan dengan lebih mudah.

Suhu masukan kebuk diambil berdasarkan suhu keluaran pemampat yang akan digunakan. Manakala tekanan masukan untuk kebuk diambil pada julat 0 hingga 45 psi dengan mengambil bahawa kebuk pembakar yang direka bentuk adalah untuk kegunaan enjin kecil.

Bahan yang digunakan untuk pembinaan kebuk dipilih berdasarkan beberapa faktor iaitu:

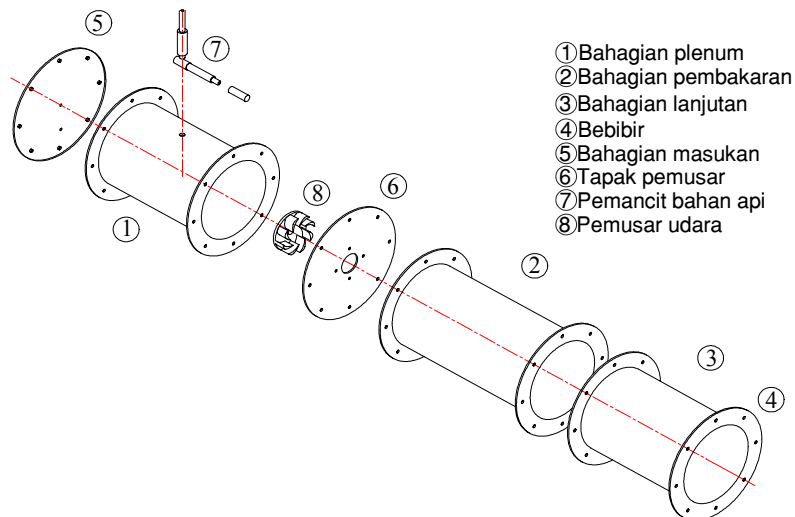
- (i) Bahan mentah yang sedia ada
- (ii) Tahan karat
- (iii) Ketahanan pada suhu tinggi
- (iv) Kekuatan

Analisis dan penetapan spesifikasi yang telah dilakukan dan reka bentuk terperinci kebuk pembakar telah diperoleh. Jadual 3 menunjukkan spesifikasi kebuk pembakar jenis kaleng dan komponennya.

Jadual 3 Spesifikasi Kebuk Pembakar jenis Kaleng dan Komponen

Spesifikasi bahan	Komponen	Ukuran (mm)	Bil.
Keluli tahan karat Bentuk – silinder kosong Diameter luar, $D_o = 168$ mm Diameter dalam, $D_i = 161$ mm Tebal, $t = 3.5$ mm	Plenum	$168 \times 225 \times 3.5$	1
	Pembakar	$168 \times 342 \times 3.5$	1
	Lanjutan	$168 \times 258 \times 3.5$	1
Keluli lembut Bentuk - kepingan nipis Tebal, $t = 3$ mm	Bebibir	228×3	6
	Tapak pemusar	228×3	1
	Bahagian masukan	228×3	1
Bolt dan nut	-	$M6 \times 10$	16
		$M6 \times 25$	8
		$M5 \times 25$	4

Rajah 2 menunjukkan reka bentuk kebuk pembakar jenis kaleng yang dibangunkan.



Rajah 2 Reka bentuk Kebuk Pembakar jenis Kaleng

4.0 PROSES PEMBUATAN

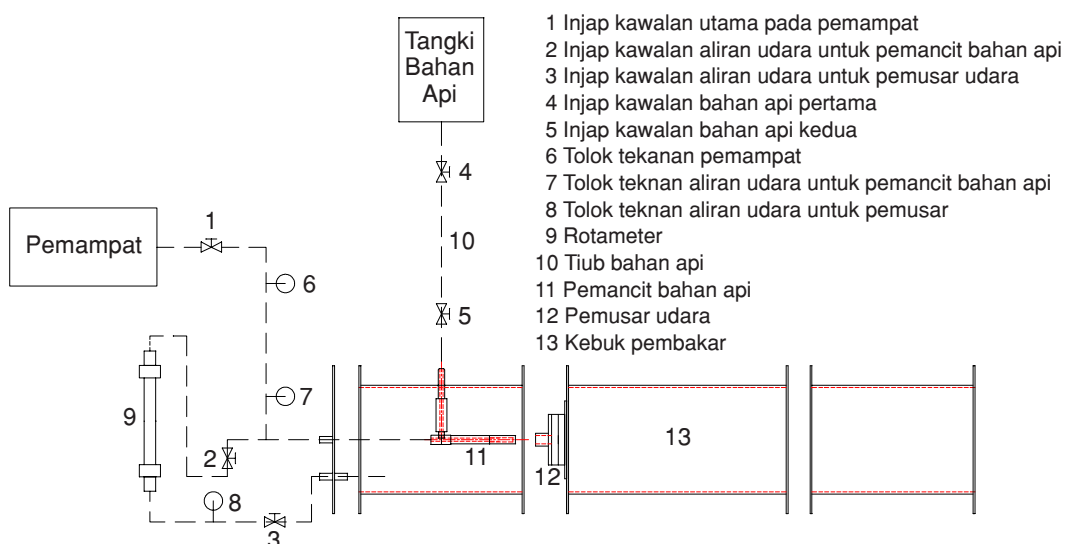
Bahan mentah yang telah dipilih untuk setiap komponen kebuk diukur dan dipotong dan seterusnya melalui beberapa peringkat pembuatan untuk mendapatkan reka bentuk dan spesifikasi yang dikehendaki. Komponen-komponen yang terlibat adalah bebibir, plenum, bahagian pembakaran dan bahagian lanjutan.

Komponen bebibir berfungsi untuk menyambungkan bahagian-bahagian kebuk pembakar. Komponen ini melalui beberapa peringkat pembuatan seperti pemotongan, melarik, canai dan penebukan lubang untuk mendapatkan reka bentuk yang dikehendaki.

Proses yang terlibat bagi komponen plenum, pembakaran dan lanjutan ialah pemotongan dan kimpalan. Proses kimpalan dilakukan dengan mengimpal bahagian bebibir dengan bahagian hujung komponen yang telah dipotong dengan menggunakan silinder keluli tahan karat.

Proses terakhir adalah proses pemasangan komponen kebuk pembakar dengan komponen kebuk yang lain iaitu pemusar udara dan pemancit bahan api. Kebuk pembakar yang telah siap dipasang diletakkan di atas rig ujikaji yang dibina menggunakan kepingan besi teralur. Unit pembakar ini seterusnya dipasangkan dengan peralatan lain untuk ujikaji. Peralatan untuk ujikaji adalah:

- (i) Tangki bahan api.
- (ii) Pemampat udara.
- (iii) Injap kawalan udara dan bahan api.
- (iv) Tolok tekanan aliran udara.



Rajah 3 Rajah Skematik Kebuk Pembakar jenis Kaleng

- (v) Rotameter.
- (vi) Tiub bahan api dan udara.

Pemasangan komponen ujikaji ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.

Tangki bahan api diletakkan pada kedudukan yang tinggi pada rig ujikaji untuk membolehkan bahan api mengalir masuk ke dalam kebuk pembakar semasa ujikaji dijalankan. Bahan api yang mengalir masuk ke dalam pemancit bahan api dialirkan bersama-sama dengan udara bertekanan untuk membolehkan bahan api tercabut dan bercampur dengan udara di dalam kebuk pembakar.

Sementara udara untuk kemasukan kebuk dialirkan melalui rotameter untuk mendapatkan bacaan kadar alirnya. Udara termampat dan bahan api ini dialirkan menggunakan paip bertekanan tinggi dengan dikawal oleh injap kawalan masing-masing. Tekanan udara yang dialirkan diukur menggunakan tolok tekanan yang dipasang bersama-sama dengan tiub aliran.

5.0 UJIKAJI KEBUK PEMBAKAR

5.1 Objektif Ujian

Objektif utama pengujian dilakukan adalah untuk menguji dan membuktikan kebuk pembakar yang telah direka bentuk dan dibina adalah praktikal dan boleh dilakukan ujikaji; mendapatkan julat operasi kebuk pembakar yang telah direka bentuk pada keadaan yang tertentu; membuktikan pemusar udara dan pemancit bahan api yang telah direka bentuk dan dibina boleh digunakan dalam kebuk pembakar untuk pengujian; dan membandingkan keputusan dan hasil ujikaji yang diperolehi daripada pemusar yang berlainan jenis.

5.2 Teori

Pembakaran di dalam kebuk pembakar dipengaruhi oleh campuran bahan api dan udara. Percampuran bahan api dan udara ini pula dipengaruhi oleh penggabusan bahan api dari pemancit dan pusan yang terhasil dari penjana pusan iaitu pemusar udara. Gabungan percampuran bahan api dan udara berlaku dalam nisbah yang tertentu dan dikenali sebagai nisbah bahan api/udara, f/a . Hubungan ini boleh ditulis sebagai;

$$f/a = \frac{\text{kadar alir bahan api}}{\text{kadar alir udara masukan untuk pembakaran}} = \frac{m_f}{m_a} \quad (4)$$

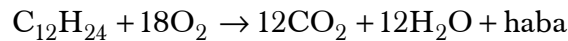
Nisbah kesetaraan pula merupakan nisbah sebenar bahan api/udara dibahagi dengan nisbah stoikiometri bahan api/udara dan boleh ditunjukkan oleh persamaan di bawah:

$$\phi = \frac{\text{nisbah bahan api/udara}}{\text{nisbah stoikiometri}} = \frac{f/a}{(f/a)_{\text{stoi}}} \quad (5)$$

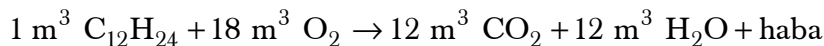
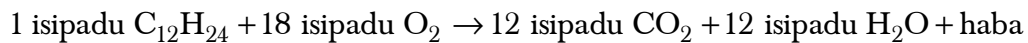
Nisbah isipadu bahan api/udara, f/a stoikiometri boleh dikira berdasarkan bilangan molekul bahan yang terlibat di dalam proses pembakaran. Analisis ini menggunakan Hipotesis Avogadro yang menyatakan bahawa isipadu gas yang berlainan dan berada pada suhu dan tekanan yang sama mempunyai bilangan molekul yang sama.

Berdasarkan tindak balas kimia untuk pembakaran bahan api kerosin, isipadu bahan api, udara dan bahan lain hasil daripada pembakaran yang berlaku boleh diperolehi. Dalam analisis ini, anggapan yang dilakukan adalah udara mempunyai komposisi 79% nitrogen dan 21% oksigen secara isipadu.

Tindak balas kimia untuk pembakaran bahan api kerosin boleh ditulis sebagai;



Persamaan di atas boleh ditulis;



Oleh itu;

18 isipadu oksigen terkandung di dalam;

$$\frac{18}{0.21} = 85.71 \text{ m}^3 \text{ udara}$$

Kandungan nitrogen di dalam udara tersebut boleh dikira dengan menolak isipadu udara keseluruhan dengan isipadu oksigen;

$$85.71 - 18 = 67.71 \text{ m}^3 \text{ N}_2$$

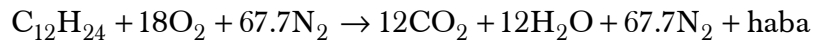
Oleh itu,



Persamaan di atas memberi maksud bahawa untuk pembakaran 1 m³ bahan api, isipadu udara yang diperlukan adalah 85.71 m³. Isipadu yang diperolehi ini juga disebut sebagai isipadu stoikiometri bagi pembakaran bahan api kerosin. Maka nisbah bahan api/udara yang diperolehi daripada kaedah ini adalah:

$$f/a = 1/85.71 = 0.01167$$

Manakala nisbah jisim bahan api/udara stoikiometri boleh diperoleh berdasarkan tindak balas kimia untuk pembakaran bahan api kerosin yang diberikan seperti berikut;



Pengiraan untuk campuran stoikiometri;

$$\text{Udara: } (18 \times 32) + (67.7 \times 28) = 2471.6$$

$$\text{Bahan api: } (12 \times 12) + (24 \times 1) = 168$$

Maka;

$$\begin{aligned} \text{Nisbah bahan api/udara, } f_{\text{stoi}} &= 168/2471.6 \\ &= 0.06795 \end{aligned}$$

Untuk campuran bahan api dan udara stoikiometri nisbah kesetaraannya adalah 1. Bagi nisbah kesetaraan kurang daripada 1 menandakan campuran cair bahan api/udara manakala nisbah kesetaraan lebih daripada 1 menandakan campuran kaya bahan api.

5.3 Ujikaji yang Dijalankan

Ujikaji pertama yang dijalankan adalah ujikaji berkenaan dengan nyalaan kebuk pembakar. Ujikaji ini dijalan bertujuan untuk mendapatkan julat operasi kebuk yang stabil dan berterusan pada nilai tekanan masukan dan kadar alir bahan api yang tertentu.

Ujikaji kedua dijalankan untuk melihat perbandingan pengaruh pusaran yang terjana untuk dua jenis pemusar iaitu lengkung dan rata dengan sudut pesongan 45°.

Ujikaji dijalankan dengan menetapkan tekanan udara masukan dari pemampat pada nilai yang tertentu. Kemudian udara yang bertekanan ini dialirkan ke pemancit bahan api dan ke bahagian plenum.

6.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN UJIKAJI

Hasil keputusan ujikaji yang pertama adalah seperti dicatatkan dalam Jadual 4. Daripada keputusan yang diperoleh didapati untuk mendapatkan nyalaan yang berterusan dan stabil julat tekanan masukan untuk pemancit berada dalam lingkungan 20 hingga 25 psi. Pada tekanan melebihi 30 psi nyalaan yang diperoleh hampir biru bagaimanapun nyalaan tersebut tidak berterusan dan tidak stabil.

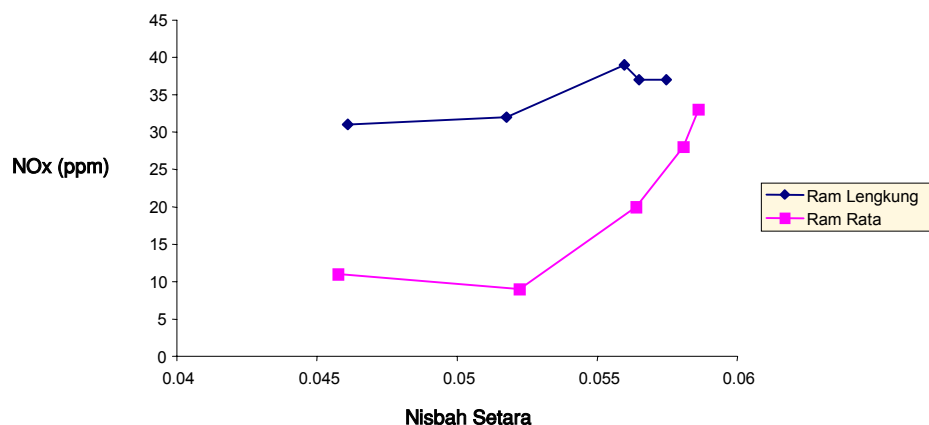
Ujikaji ini kemudiannya dilakukan untuk kali kedua dengan beberapa pengubahsuaian dari segi keadaan ujikaji telah dilakukan. Hasil keputusan yang diperoleh pada tekanan masukan 0.51 bar (7.5 psi) nyalaan yang diperoleh lebih stabil dan

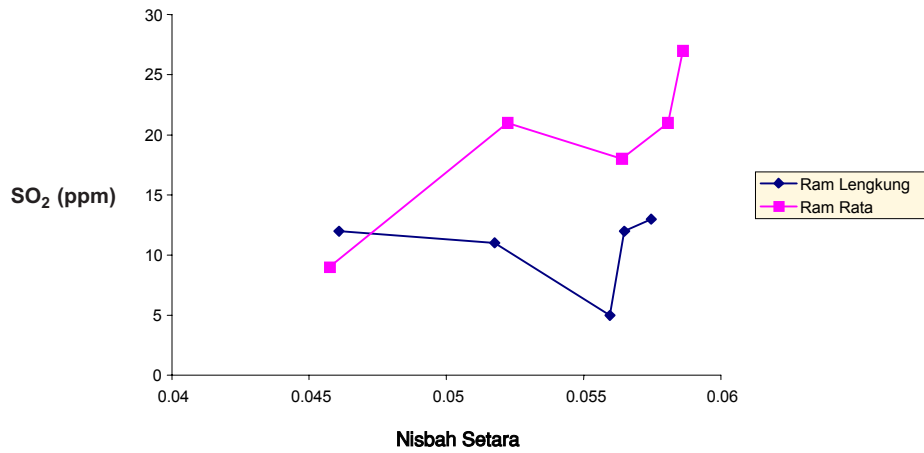
Jadual 4 Keputusan Ujikaji Nyalaan Kebuk Pembakar

P_1 Pemampat	P_2 Pemancit	Catatan	Masa Nyalaan (min)	Bahan Api (ml)
4 bar	5–15 psi (0.35–1.03 bar)	1. Pengabusan tercapai-terdapat titisan kecil bahan api. 2. Nyalaan kecil dan kilau. 3. Nyalaan tidak stabil dan tidak berterusan.	Tiada rekod	40
4 bar	20–25 psi (1.38–1.72 bar)	1. Pengabusan tercapai dan semburan adalah lebih baik. 2. Nyalaan sederhana dan kilau. 3. Nyalaan berterusan dan stabil.	1:25	40
4 bar	30 psi (2.07 bar)	1. Pengabusan tercapai. 2. Nyalaan sederhana dan kilau. 3. Nyalaan tidak stabil dan tidak berterusan.	Tiada rekod	40
4 bar	35 psi (2.41 bar)	1. Pengabusan tercapai. 2. Nyalaan lebih besar dan hampir biru. 3. Nyalaan tidak stabil dan tidak berterusan.	Tiada rekod	40

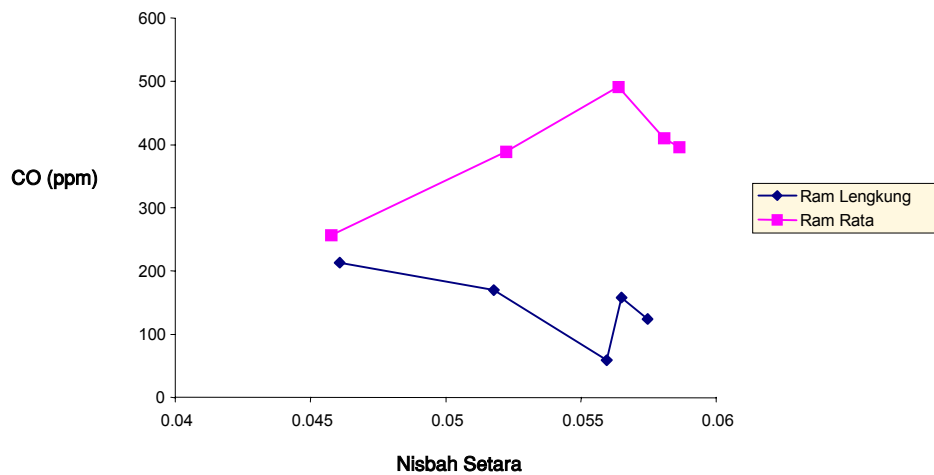
berterusan dan keadaan ini seterusnya digunakan untuk ujikaji yang berikutnya iaitu ujikaji pengaruh pusaran udara yang terjana terhadap emisi yang terhasil.

Ujikaji kedua melihat kesan pengaruh pusaran terhadap emisi. Pengukuran emisi diukur menggunakan Rosemount Portable Gas Analyser Serie 500 termasuklah nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO_2) dan karbon monoksida (CO).

**Rajah 4** Emisi Nitrogen Oksida Melawan Nisbah Setara



Rajah 5 Emisi Sulfur Dioksida Melawan Nisbah Setara



Rajah 6 Emisi Karbon Monoksida Melawan Nisbah Setara

Daripada data-data yang diperolehi, graf pembentukan emisi dilakarkan melawan nisbah setara. Hasil keputusan yang diperolehi membuktikan pemusar udara jenis lengkung adalah lebih baik daripada jenis rata dan ini menepati ramalan teori [1].

Walaupun pembentukan NO_x lebih tinggi untuk pemusar udara jenis lengkung namun pembentukan emisi lain iaitu SO_2 dan CO lebih rendah berbanding pemusar jenis rata. Ini disebabkan bentuk geometri yang berbentuk lengkung menyebabkan aliran udara memasuki kebuk pembakar dipesongkan secara perlahan lahan untuk mewujudkan aliran pusaran yang seragam dan lebih baik di dalam kebuk seterusnya membantu mengurangkan pembentukan emisi-emisi ini.

7.0 KESIMPULAN

Hasil kajian membuktikan bahawa unit pembakar yang telah dibangunkan adalah praktikal dan boleh dilakukan pengujian. Selain itu, keputusan uji kaji membuktikan bentuk bilah pemusar udara sama ada melengkung atau rata, tekanan udara masukan dan kadar alir bahan api mempengaruhi pembentukan emisi dan bentuk nyalaan yang terhasil. Secara umumnya reka bentuk unit pembakar ini telah berjaya mencapai objektifnya.

RUJUKAN

- [1] Lefebvre, A. H. 1997. *Pembakaran Turbin Gas*. Skudai Johor: Penerbit Universiti Teknologi Malaysia. Diterjemahkan oleh Ani Idris, Farid Nasir Ani, Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Rosli Abu Bakar, Zulkarnain Abd. Latiff.
- [2] Mellor, A. M. 1990. *Design of Modern Turbine Combustors*. San Diago: Academic Press Inc.

APENDIKS

Kaedah Halaju

Kaedah halaju digunakan dengan mengambil kira halaju rujukan. Halaju rujukan ini dikira pada titik reka bentuk bagi kemasukan suhu dan tekanan kebek. Variasi pemilihan halaju bergantung kepada penentapan dan keperluan julat operasi.

Halaju yang tinggi dipilih untuk mengurangkan diameter dan isipadu kebek untuk reka bentuk yang memerlukan dimensi enjin yang kecil dan ringan, manakala halaju rendah dipilih untuk kebek yang mementingkan kestabilan dan kecekapan untuk beroperasi dalam kuasa yang rendah.

Terdapat beberapa halaju rujukan yang diberikan oleh beberapa bahan rujukan bagaimanapun halaju rujukan yang dicadangkan adalah berada dalam julat 18 hingga 30 ms^{-1} [1].

Keluasan kebek boleh diperolehi menggunakan persamaan di bawah:

(A1)

dengan,

$$\begin{aligned}
 A_{ref} &= \text{keluasan maksima kebek pembakar, m}^2 \\
 W_i &= \text{kadar alir jisim udara per saat, kg/s} \\
 \rho_i &= \text{ketumpatan udara masuk kebek pembakar, kg/m}^3 \\
 V_{ref} &= \text{halaju rujukan udara dalam kebek pembakar, m/s}
 \end{aligned}$$

KAEDAH TEKANAN

Kaedah tekanan adalah berdasarkan pemilihan keluasan kebuk pembakar untuk mendapatkan tekanan dinamik, q_{ref} dengan merujuk kepada reka bentuk yang sedia ada. Nilai lazim bagi kejatuhan tekanan keseluruhan berhubung dengan tekanan dan halaju rujukan masukan diberikan oleh:

$$\Delta P / P_3 = 0.06 \quad (A2)$$

$$\Delta P / q_{ref} = 20 \quad (A3)$$