

PENGARUH GEOMETRI MEKANISME JET DENYUT TERHADAP KADAR  
PEMINDAHAN HABA

NOR ADRIAN BIN NOR SALIM

DISERTASI YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN  
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEH IJAZAH  
SARJANA KEJURUTERAAN



FAKULTI KEJURUTERAAN DAN ALAM BINA  
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA  
BANGI

2012

## PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat Ilahi di atas rahmat dan izin-Nya kerana telah diberi kesempatan untuk menyempurnakan kajian ini dengan pelbagai dugaan dan cabaran yang telah dihadapi sepanjang proses kajian dijalankan. Di kesempatan ini saya ingin merakamkan ucapan penghargaan dan jutaan terima kasih kepada penyelia saya, Dr. Rozli Bin Zulkifli di atas bimbingan dan tunjuk ajar beliau sepanjang proses kajian ini dijalankan.

Selain itu, saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan di atas peluang yang telah diberikan oleh pihak Kementerian Pengajian Tinggi dan Universiti Tun Hussein Onn Malaysia di atas pembiayaan pengajian sepanjang saya menuntut di Universiti Kebangsaan Malaysia. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada juruteknik-juruteknik makmal JKMB terutamanya makmal pemindahan haba yang telah banyak meluangkan masa dan membantu saya dalam menyediakan peralatan kajian. Tidak dilupakan, saya juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih yang tak terhingga kepada sahabat-sahabat yang turut berkongsi ilmu, memberikan idea dan pengalaman semasa saya menyempurnakan kajian ini.

Akhir sekali, terima kasih yang tak terhingga kepada ibu bapa saya, Siti Zaharah binti Abd. Ghafar dan Nor Salim bin Muin, isteri tercinta, Norwahdah binti Rahmat, dan anak yang disayangi An-nuha Nur Amani binti Nor Adrian yang banyak bersabar, berdoa, membantu, memberi dorongan dan sokongan di sepanjang saya menjalankan kajian dan pengajian di Universiti Kebangsaan Malaysia.

Sekian, terima kasih.

## KANDUNGAN

		<b>Halaman</b>
<b>PENGAKUAN</b>		ii
<b>PENGHARGAAN</b>		iii
<b>ABSTRAK</b>		iv
<b>ABSTRACT</b>		v
<b>KANDUNGAN</b>		vi
<b>SENARAI JADUAL</b>		ix
<b>SENARAI RAJAH</b>		x
<b>SENARAI SIMBOL</b>		xii
<b>BAB I</b>	<b>PENGENALAN</b>	
1.1	Pendahuluan	1
1.2	Permasalahan Kajian	3
1.3	Objektif Kajian	5
1.4	Skop Kajian	5
1.5	Susunatur Bab	6
1.6	Rumusan	7
<b>BAB II</b>	<b>KAJIAN KEPUSTAKAAN</b>	
2.1	Pengenalan	8
2.2	Prinsip Asas Jet Santakan	8
	2.2.1 Tatarajah Jet Santakan	9
	2.2.2 Zon Ciri Dalam Jet Santakan	11
2.3	Prinsip Asas Dalam Rekabentuk Mekanisme Jet Denyut	13
2.4	Parameter Kajian Terdahulu	15
2.5	Kesan Saiz Muncung Jet	17
2.6	Kesan Frekuensi Jet Denyut dan Kitar Tugas	18
2.7	Kesan Jarak Jet ke Plat	19
2.8	Pengukuran Profil Halaju	21
2.9	Pengukuran Pemindahan Haba	23
2.10	Rumusan	25

<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN</b>	
3.1	Pengenalan	26
3.2	Rekabentuk Muncung Jet dan Injap Silinder Berputar	26
	3.2.1 Rekabentuk Injap Silinder Berputar	28
	3.2.2 Rekabentuk Muncung Jet	30
3.3	Penyediaan Alat dan Bahan Ujikaji	31
3.4	Pengukuran Aliran Mantap dan Aliran Denyut	33
	3.4.1 Sistem MiniCTA	34
	3.4.2 Peralatan Pengukuran Aliran Mantap dan Denyut	35
	3.4.3 Pengukuran Aliran Gelora	37
3.5	Pengukuran Pemindahan Haba	38
3.6	Rumusan	42
<b>BAB V</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	
4.1	Pengenalan	43
4.2	Parameter Kajian	43
4.3	Pengukuran Profil Halaju Aliran Mantap dan Denyut	44
	4.3.1 Profil Halaju Jet	45
	4.3.2 Kesan $z/d$ Terhadap Profil Halaju Jet	49
	4.3.3 Kesan Frekuensi Aliran Denyut Terhadap Profil Halaju Jet	51
	4.3.4 Kesan Geometri Injap Silinder Berputar dan Diameter Muncung Terhadap Profil Halaju Jet	53
4.4	Pengukuran Pemindahan Haba	55
	4.4.1 Kesan $z/d$ Terhadap Pemindahan Haba	55
	4.4.2 Kesan Frekuensi Aliran Denyut, Diameter Muncung dan Geometri Injap Silinder Berputar Terhadap Peningkatan Pemindahan Haba	58
	4.4.3 Kontur Pada Permukaan Santakan Dengan Menggunakan <i>Thermal Imager</i> Ti 270	62
4.5	Perbandingan Keputusan Ujikaji Dengan Kajian Terdahulu	63
4.6	Rumusan	65

**BAB IV KESIMPULAN DAN CADANGAN**

5.1	Kesimpulan Kajian	66
5.2	Cadangan Kajian Masa Hadapan	67

<b>RUJUKAN</b>		69
----------------	--	----

**LAMPIRAN**

A	Data Terturun Keputusan Halaju Udara Pada $d = 20$ mm	71
B	Data Terturun Keputusan Halaju Udara Pada $d = 15$ mm	90
C	Data Taburan Nombor Nusselt Tempatan Pada $d = 20$ mm	109
D	Data Taburan Nombor Nusselt Tempatan Pada $d = 15$ mm	127
E	Gambar Peralatan dan Bahan Ujikaji	145



## INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF PULSATING JET MECHANISM ON HEAT TRANSFER RATE

### ABSTRACT

An experimental investigation is performed to determine the effects of the nozzle diameter, geometry of pulse rotating cylinder valve (duty cycle), jet-to-plate spacing, and the pulsating frequencies exiting from the nozzle on the local heat transfer distribution of a smooth and flat impingement copper plate. Two different nozzle diameters 15 mm and 20 mm each with circular shape are used during this study. Reynolds number based on hydraulic diameter ( $d$ ) is 16000 and jet-to-plate spacing from 2 to 6 nozzle diameters. The first part of the study is to determine the velocity profil of a circular pulsating air jet at different pulse frequencies, nozzle diameters, duty cycle, and jet-to-plate spacing. Pulsation of the air jet was produced by a rotating cylinder valve mechanism with duty cycle 0.29, 0.45, 0.55, and 0.67 at frequencies between 10 to 60 Hz. Flow structure of steady and pulse single circular axisymmetric air jet velocity are measured using calibrated hot-wire anemometer. The local Nusselt number of an air jet impingement on a target plate was calculated from the value of the temperature and heat flux recorded. The temperature and heat flux of an air jet impingement on the target plate was measure using a T-type thermocouple and heat flux sensor at different radial position. Results obtained show that at 20 mm nozzle diameter, the stagnation point heat transfer of the pulsed jet was 14 % higher than the steady jet at higher duty cycle of 0.67, jet-to-plate spacing 4 nozzle diameter, and 30 Hz of pulsating frequency. At 15 mm nozzle diameter, the stagnation point heat transfer of the pulsed jet was 6 % higher than the steady jet at lower duty cycle of 0.29, jet-to-plate spacing 2 nozzle diameter, and 20 Hz of pulsating frequency. The stagnation point heat transfer of the pulsed jet was higher due to high turbulent intensity at this position. In each case, the duty cycle producing the heat transfer enhancement depend upon each of the controlled flow parameters.



## ABSTRAK

Suatu kajian melalui eksperimen dijalankan untuk menentukan kesan diameter muncung, geometri injap silinder berputar denyut (kitar tugas), jarak jet-ke-plat, dan frekuensi denyut yang keluar dari muncung terhadap pengagihan pemindahan haba tempatan pada plat tembaga pensantakan yang rata dan licin. Dua diameter muncung yang berbeza iaitu 15 mm dan 20 mm yang mana setiap satunya berbentuk bulat telah digunakan dalam kajian ini. Nombor Reynolds yang digunakan dalam kajian ini adalah berdasarkan diameter hidraulik ( $d$ ) iaitu 16000 dan nisbah jarak jet-ke-plat terhadap diameter muncung yang digunakan dari 2 hingga 4. Bahagian pertama kajian ini ialah menentukan profil halaju jet udara denyut bulat pada frekuensi denyut, diameter muncung, kitar tugas, dan jarak jet-ke-plat yang berbeza. Denyutan jet udara dihasilkan oleh mekanisme injap silinder berputar dengan kitar tugas 0.29, 0.45, 0.55, dan 0.67 pada frekuensi antara 10 hingga 60 Hz. Struktur aliran mantap dan denyut tunggal bulat simetri sepaksi halaju jet udara diukur dengan menggunakan anemometer dawai-panas yang ditentukan. Nombor Nusselt tempatan jet udara santakan pada plat sasaran dikira dari nilai suhu dan fluks haba yang dicatatkan. Fluks haba dan suhu jet udara santakan pada plat sasaran diukur dengan menggunakan pengganding suhu jenis-T dan pengesan fluks haba pada kedudukan jejari yang berbeza. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa pada diameter muncung 20 mm, pemindahan haba di titik genangan jet denyutan adalah 14% lebih tinggi daripada jet mantap pada kitar tugas yang lebih tinggi iaitu 0.67, jarak jet-ke-plat 4 diameter muncung, dan frekuensi denyut 30 Hz. Pada diameter muncung 15 mm, pemindahan haba di titik genangan jet denyut adalah 6% lebih tinggi daripada jet mantap pada kitar tugas yang lebih rendah iaitu 0.29, jarak jet-ke-plat 2 diameter muncung, dan frekuensi denyut 20 Hz. Dalam setiap kes, kitar tugas yang menghasilkan peningkatan pemindahan haba adalah bergantung kepada setiap parameter aliran yang dikawal.

**SENARAI JADUAL**

No. Jadual		Halaman
2.1	Perincian spesifikasi muncung jet	17
3.1	Saiz lubang injap silinder berputar	29
3.2	Perincian spesifikasi muncung jet	31
3.3	Alat pengukuran yang digunakan dalam ujikaji	33
4.1	Nilai parameter yang digunakan dalam ujikaji	44





## SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
2.1	Jet santakan	9
2.2	Jet tenggelam dan jet bebas	9
2.3	Jet santakan tak terkurung dan jet santakan terkurung	10
2.4	Zon ciri dalam jet santakan	11
2.5	Rekabentuk mekanisme injap berdenyut	13
2.6	Rekabentuk sistem jet berdenyut	14
2.7	Keputusan pemindahan haba aliran denyut dan aliran mantap $z/d = 4$	18
2.8	Keputusan pemindahan haba aliran denyut dan aliran mantap $z/d = 4, 6, \text{ dan } 8$	19
2.9	Pengaruh $z/d$ terhadap nombor Nusselt di titik genangan pada nombor Reynolds dan bentuk muncung yang berbeza	20
2.10	Profil halaju tipikal untuk frekuensi denyutan 10 dan 20 Hz	21
2.11	Perbandingan halaju jejarian antara aliran mantap dan aliran denyut pada frekuensi 30 Hz dan DC = 0.33	22
2.12	Halaju pada garis pusat pada $z/d = 0.5$ sebagai rangkap kitar masa untuk kitar tugas 0.33 pada frekuensi 25 Hz	23
2.13	Perbandingan nombor Nusselt tempatan antara aliran jet mantap dan aliran jet denyut 10 Hz bagi nombor Reynolds = 16000	24
2.14	Pengaruh bentuk muncung ke atas pengagihan nombor Nusselt tempatan sepanjang paksi mendatar pada nombor Reynolds = 15000 pada $z/d = 1$	25
3.1	Carta alir penyelidikan	27
3.2	Rekabentuk injap silinder berputar denyut	28
3.3	Rekabentuk muncung jet	30
3.4	Gambar rajah skema susun atur ujikaji	32
3.5	Gambar rajah skema susun atur miniCTA dan kedudukan penderia dawai panas untuk pengukuran halaju sisi pada kedudukan 2 mm dari muncung jet	35
3.6	Peralatan rantaian mengukur CTA	36
3.7	Penentukur kuar	36

3.8	Penentukuran dua-titik	37
3.9	Pemasangan plat sasaran untuk ujikaji pemindahan haba	39
4.1	Ujikaji pengukuran profil halaju jet dengan menggunakan sistem CTA	44
4.2	Halaju jet di pusat diameter muncung (a) diameter muncung 15 mm (b) diameter muncung 20 mm pada $z/d = 2$ sebagai rangkap kitar masa pada keadaan mantap	45
4.3	Profil halaju jet denyut di pusat diameter muncung jet pada $z/d = 2$ dan $f = 10$ Hz sebagai rangkap kitar tugas 0.29, 0.45, 0.55, dan 0.67.	47
4.4	Pengaruh $z/d$ ke atas profil halaju di posisi sisi untuk diameter muncung dan kitar tugas yang berbeza pada $f = 10$ Hz	51
4.5	Pengaruh frekuensi jet denyut ke atas profil halaju jet di posisi sisi untuk diameter muncung dan kitar tugas yang berbeza pada $z/d = 2$	52
4.6	Profil halaju purata udara pada kitar tugas 0.29 (EJ1), 0.45 (EJ3), 0.55 (EJ4), dan 0.67 (EJ5) di posisi sisi 2 mm dari muncung pada keadaan aliran mantap bagi diameter muncung 20 mm dan 15 mm	53
4.7	Pengaruh saiz injap silinder pemutar ke atas profil halaju jet di posisi sisi untuk diameter muncung dan frekuensi jet yang berbeza pada $z/d = 2$	54
4.8	Ujikaji pengukuran pemindahan haba	55
4.9	Pengaruh $z/d$ ke atas agihan nombor Nusselt tempatan disepanjang paksi mendatar untuk diameter muncung dan kitar tugas yang berbeza pada $f = 10$ Hz	56
4.10	Pengaruh frekuensi jet denyut ke atas agihan nombor Nusselt tempatan di sepanjang paksi mendatar untuk diameter muncung dan kitar tugas yang berbeza pada $z/d = 2$	59
4.11	Pengaruh frekuensi jet denyut ke atas pemindahan haba di titik genangan bagi aliran jet denyut dan jet mantap untuk diameter muncung dan kitar tugas yang berbeza.	60
4.12	Kontur pada permukaan santakan ( $d = 15$ mm, $DC = 0.29$ , $z/d = 6$ )	62
4.13	Perbandingan keputusan ujikaji dengan kajian terdahulu bagi agihan nombor Nusselt pada $Re = 16\ 000$ , $d = 20$ mm, dan $z/d = 4$	64

## SENARAI SIMBOL

Re	Nombor Reynolds
Nu	Nombor Nusselt
DC	Kitar Tugas
JN1	Muncung jet ( $D = 20$ mm)
JN2	Muncung jet ( $D = 15$ mm)
EJ1	Injap silinder berputar 1 ( $DC = 0.29$ )
EJ3	Injap silinder berputar 3 ( $DC = 0.45$ )
EJ4	Injap silinder berputar 4 ( $DC = 0.55$ )
EJ5	Injap silinder berputar 5 ( $DC = 0.67$ )
$A_c$	Luas bukaan
$\rho$	Ketumpatan udara pada suhu udara yang dibekalkan pada 1 atm
$D$	Diameter muncung jet
$d$	Diameter muncung jet
$\mu$	Kelikatan dinamik udara pada suhu udara yang dibekalkan
$\omega$	Kadar alir jisim udara purata
$V_{purata}$	Halaju purata udara keluar dari muncung jet
$\nu$	Kelikatan kinematik udara pada suhu udara yang dibekalkan
$q''$	Fluks haba
$h$	Pekali pemindahan haba
$T_p$	Suhu plat sasaran
$T_j$	Suhu jet udara
$z$	Jarak plat ke muncung
$r$	Jarak jejarian dari titik genangan
$k$	Keberaliran haba

## **BAB I**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 PENGENALAN**

Jet santakan boleh digambarkan sebagai fenomena di mana bendalir yang keluar dari muncung atau orifis menghentam dinding atau permukaan pepejal yang biasanya berlaku pada sudut biasa. Jet santakan telah diasaskan sebagai teknik yang berkesan dan telah digunakan secara meluas dalam pelbagai aplikasi kejuruteraan dalam usaha untuk mencapai pekali yang dipertingkat bagi pemanasan perolakan, penyejukan, atau pengeringan permukaan sasaran. Pelbagai aplikasi kejuruteraan bagi jet santakan boleh digunakan untuk pendingin peralatan elektronik, pengeringan tekstil, penyepuhlindungan logam dan pembajaan kaca. Penyelidikan meluas telah dijalankan ke atas sistem jet santakan mantap untuk memahami ciri-ciri pemindahan haba dan jisim. Banyak kajian dan ulasan yang telah dihasilkan oleh Martin (1977), Jambunathan et al. (1992), Anderson dan Bremhorst (2002), dan Kondjoyan et al. (2002) berkaitan dengan pemindahan haba jet udara mantap telah disiarkan sejak beberapa dekad yang lalu untuk meningkatkan lagi kadar pemindahan haba.

Pada masa kini, pelbagai penyelesaian alternatif terhadap jet udara mantap sedang dikaji untuk meningkatkan lagi kadar pemindahan haba. Jet denyut santakan adalah satu penyelesaian alternatif yang mendapat tempat sejak kebelakangan ini kerana ia mungkin berpotensi untuk memberi peningkatan dalam pemindahan haba telah dilaporkan oleh beberapa kajian. Pemindahan haba dalam aliran denyut telah tertakluk kepentingan baru pada tahun-tahun kebelakangan ini sejak masa kini

denyutan aliran yang mampu meningkatkan pekali pemindahan haba jika parameter aliran tertentu dikawal (Sailor et al., 1999). Kadar pemindahan haba di dalam kes jet santakan adalah kesan daripada pelbagai parameter seperti nombor Reynolds, jarak di antara jet ke plat sasaran, jarak jejarian daripada titik genangan, nombor Prandtl, sasaran kecenderungan plat, pengurangan jet, geometri muncung jet, kelengkungan sasaran, kekasaran plat, plat sasaran dan keamatan pergolakan di bahagian keluar muncung jet (Gulati et al., 2009).

Tidak seperti artikel kajian semula oleh Martin (1977) dan Jambunathan et al. (1992) yang telah membincangkan hentaman mantap dengan terperinci, pada masa kini tiada kertas kajian yang sama terperinci yang telah diterbitkan untuk hentaman jet berdenyut. Sebab-sebab mengapa tiada kajian bersamaan dengan Martin (1977) dan Jambunathan et al. (1992) kertas kerja yang berkaitan dengan pemindahan haba santakan berdenyut boleh diberikan kepada penemuan awal mengenai kesan denyutan di atas pemindahan haba telah bercanggah disebabkan faktor yang berlainan. Mendenyutkan aliran secara meluas dipercayai untuk meningkatkan kadar pemindahan haba, tetapi dalam sesetengah kes literatur menunjukkan bahawa pemindahan haba berkurangan.

Antara karya yang lebih awal dan dirujuk secara meluas untuk pemindahan haba jet santakan berdenyut ditulis oleh Nevins dan Ball (1961). Mereka menjalankan ujian pada pemindahan haba antara plat rata dan jet denyut. Hasil yang diperolehi menunjukkan bahawa tiada perubahan yang ketara ke atas peningkatan pemindahan haba telah diperolehi dengan menggunakan jet udara berdenyut. Ujian telah dijalankan pada  $1200 < Re < 120\,000$ ,  $10^{-4} < St < 10^{-2}$ , dan untuk jarak muncung ke plat antara 8 hingga 32 diameter muncung. Nevins dan Ball (1961) tidak mendokumentasikan setakat mana struktur aliran sekunder tersebut dalam ujikaji mereka dan mereka telah mengkaji di nombor Strouhal yang sangat rendah. Akibatnya, ini mungkin telah menjejaskan keupayaan mereka untuk menunjukkan peningkatan pemindahan aliran haba berdenyut. Penggunaan jet udara berdenyut telah dipandang sepi selama bertahun-tahun lamanya kerana penemuan awal yang bercanggah dan kesukaran untuk mengawal banyak parameter denyutan jet udara dengan lebih tepat.

Terdapat ramai penyelidik kini telah mengkaji kesan geometri muncung ke atas aliran mantap terhadap peningkatan pemindahan haba. Antaranya, Gulati et al. (2009) telah menggunakan tiga jenis muncung iaitu segiempat sama, segi empat tepat, dan bulatan di mana ketiga-tiganya mempunyai diameter yang padan iaitu 20 mm. Hasilnya, ciri-ciri pemindahan haba bagi muncung jenis segi empat sama dengan bulatan adalah lebih kurang sama. Bagi muncung jenis segiempat tepat pula menunjukkan pengagihan nombor Nusselt sepanjang paksi mendatar adalah tinggi di dalam kawasan genangan berbanding dengan muncung jenis segi empat sama dan bulatan. Uji kaji telah dijalankan  $5000 < Re < 15\,000$ ,  $10^{-4} < St < 10^{-2}$ , dan untuk jarak muncung ke plat antara 0.5 hingga 12 diameter muncung.

Kajian yang mendalam terhadap peningkatan pemindahan haba yang diperolehi dengan menggunakan kaedah hentaman jet denyut adalah melalui kaedah uji kaji. Sementara itu, beberapa kajian jet santakan berdenyut telah berjalan bertahun-tahun lamanya namun wujud hubung kait yang sangat sedikit untuk mengaitkan pemindahan haba jet denyut melalui geometri dan keadaan aliran. Keputusan yang diperolehi daripada uji kaji yang telah dijalankan akan digunakan untuk membangunkan hubungan antara pemindahan haba dengan pengawalan parameter yang digunakan. Satu hubungan yang tepat seperti ini akan memberi sumbangan penting kerana ia akan membenarkan jet santakan berdenyut sama ada bagi pendekatan pemanasan atau penyejukan lebih berkesan digunakan untuk pelbagai masalah perindustrian yang lebih luas. Pihak industri dan komuniti akademik akan menerima manfaat dari segi meningkatkan kecekapan dan mengurangkan kos serta pengetahuan baru dalam bidang pemindahan haba. Oleh kerana kajian ini merupakan penyelesaian berpotensi yang berkesan untuk menyelesaikan masalah peningkatan pemindahan haba, pemindahan haba jet santakan denyut sedang dikaji dalam penyelidikan ini.

## 1.2 PERMASALAHAN KAJIAN

Masalah utama dengan sistem jet udara kini untuk aplikasi pemanasan atau penyejukan ialah terhadap isu-isu peningkatan pemindahan haba. Baru-baru ini,

terdapat penyelidik yang telah membuktikan bahawa mekanisma pemindahan jet udara denyut adalah lebih baik daripada mekanisma jet udara mantap.

Terdapat ramai penyelidik yang mengkaji kesan ke atas saiz dan bentuk muncung jet pada masa kini seperti Lee (2000), Gulati et al. (2009), Koseoglu dan Baskaya (2010), dan Martin dan Buchlin (2011). Mereka telah menggunakan pelbagai kaedah penggunaan geometri muncung jet seperti nisbah aspek muncung, berbentuk cuping, dan pelbagai bentuk muncung dengan diameter yang sama terhadap peningkatan pemindahan haba. Namun kajian mereka hanya tertumpu pada aliran jenis mantap sahaja.

Geometri injap silinder berputar bagi sistem aliran berdenyut mampu memberi kesan terhadap peningkatan pemindahan haba. Sailor et al. (1999) antara penyelidik yang telah mengkaji kesan kitar tugas aliran berdenyut terhadap peningkatan pemindahan haba. Namun begitu, tiada reka bentuk dan dimensi mekanisme injap denyut yang telah ditunjukkan dalam kajian beliau. Dalam kajian yang telah dilakukan oleh Sailor et al. (1999), kesan kitar tugas terhadap peningkatan pemindahan haba adalah bergantung pada parameter yang dikawal. Peningkatan pemindahan haba sama ada bagi injap silinder berputar yang mempunyai luas bukaan yang besar atau yang mempunyai luas bukaan yang kecil sebenarnya bergantung pada geometri muncung yang digunakan, frekuensi denyutan jet, jarak jet-ke-plat sasaran, dan nombor Reynolds yang digunakan. Oleh yang demikian, penggunaan injap silinder berputar yang berbeza geometri akan memberikan kesan kadar pemindahan haba yang berbeza.

Di samping itu, bagi mengetahui sejauh manakah tahap kadar pemindahan haba bagi kajian jet persantakan yang telah dijalankan oleh beberapa penyelidik perbandingan telah dibuat untuk menentukan kajian yang manakah menghasilkan kadar pemindahan haba yang tinggi. Perbandingan antara kajian hanya dibuat berdasarkan kepada persamaan nombor Reynolds, jarak jet-ke-plat, dan diameter muncung yang digunakan. Namun begitu teknik yang digunakan oleh penyelidik terdahulu adalah berbeza antara satu sama lain seperti contoh penggunaan plat santakan yang berbeza, dan kaedah penentuan nombor Reynolds.

Kajian ini adalah satu kajian mendalam bagi mengetahui kadar pemindahan haba iaitu secara penyejukan yang menggunakan hentaman jet udara dengan menggunakan geometri mekanisme jet denyut yang berbeza. Satu kajian secara uji kaji akan dilakukan sepanjang kursus penyelidikan untuk merekabentuk, membina, dan menguji empat buah injap silinder berputar denyut dengan geometri yang berbeza dan dua buah muncung yang berbeza diameter dengan pengawalan beberapa parameter seperti frekuensi aliran denyut dan jarak di antara muncung jet-ke-plat yang telah dipanaskan.

### 1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif penyelidikan ini adalah untuk melihat perbezaan peningkatan pemindahan haba terhadap perbezaan geometri injap silinder berputar denyut dan diameter muncung jet udara denyut. Sistem hentaman jet udara tunggal akan digunakan dalam penyelidikan ini. Sebanyak 4 buah injap silinder berputar denyut dengan geometri injap yang berbeza dan 2 buah muncung jet yang berbeza diameter akan digunakan dalam penyelidikan ini. Perincian objektif kajian adalah seperti berikut:

1. Mengkaji kesan perbezaan diameter muncung jet udara terhadap peningkatan pemindahan haba.
2. Mengkaji kesan perbezaan geometri injap silinder berputar (kitar tugas) terhadap peningkatan pemindahan haba.
3. Mengkaji kesan jarak jet-ke-plat terhadap peningkatan pemindahan haba.
4. Perbandingan di antara jet udara denyut dengan jet udara mantap.

### 1.4 SKOP KAJIAN

Dalam penyelidikan ini beberapa perkara telah ditentukan berpandukan kepada skop kajian bagi membantu penyelidik dan pembaca mengetahui had-had yang telah ditetapkan dalam penyelidikan ini. Di antara skop kajian yang telah ditetapkan adalah seperti berikut:



1. Ujikaji ini telah dilakukan di dalam makmal pemindahan haba di dalam keadaan suhu yang terkawal iaitu 25°C.
2. Motor elektrik yang digunakan untuk memutarakan injap jet denyut ialah 1.0 kuasa kuda, 50 Hz, 2850 PPM.
3. Bahan yang digunakan untuk menghasilkan 4 injap jet denyut dan 2 muncung jet adalah dari aluminium yang mempunyai permukaan yang rata.
4. Kajian hanya dilakukan ke atas sistem jet udara tunggal.
5. Kajian hanya dilakukan terhadap kesan penyejukan terhadap plat santakan dari bahan kuprum yang dipanaskan dan bersuhu 100°C.
6. Kedudukan muncung jet dan plat adalah dalam keadaan paksi selari.
7. Nombor Reynolds yang akan digunakan dalam kajian ini ialah 16 000 dan diukur pada jet udara aliran mantap.
8. Nisbah Jarak di antara muncung jet dan plat  $z/d$  adalah di antara 2 ke 6 diameter muncung jet.
9. Frekuensi jet denyut ditetapkan dari 10 Hz hingga 60 Hz.
10. Nisbah jarak jejarian dari titik genangan terhadap diameter muncung  $r/d$  ialah di antara 0 hingga 6.

## 1.5 SUSUNATUR BAB

Bab I merupakan pengenalan terhadap sejarah kajian jet santakan udara mantap dan jet santakan udara denyut. Pada bab ini juga menyatakan parameter-parameter yang telah digunakan oleh penyelidik-penyelidik yang terdahulu di dalam kajian mereka. Di dalam bab ini juga merangkumi pernyataan masalah, objektif dan skop kajian bertujuan untuk memberi gambaran yang lebih jelas kepada pembaca terhadap kajian yang telah dijalankan.

Bab II yang terkandung di dalam tesis ini adalah merupakan ulasan kajian kepustakaan yang telah dijalankan oleh penyelidik-penyelidik yang terdahulu. Pengetahuan teori asas dan kaedah yang digunakan dalam penyelidikan ini diperolehi daripada sumber-sumber seperti jurnal, tesis, buku, paten, dan sumber dari internet. Kesemua sumber-sumber yang telah digunakan sebagai rujukan untuk penyelidikan ini telah dinyatakan di dalam bahagian rujukan pada bahagian lampiran tesis ini.

Bab III yang terkandung di dalam tesis ini menerangkan berkenaan metodologi yang digunakan dalam penyelidikan ini secara terperinci. Bab ini menerangkan bagaimana ujikaji dijalankan di dalam makmal pemindahan haba UKM dengan lebih terperinci. Kelengkapan, perisian dan kaedah yang telah digunakan di dalam penyelidikan ini diterangkan dengan terperinci di dalam bab ini.

Bab IV merupakan bahagian yang akan membincangkan data dan keputusan yang diperolehi hasil daripada ujikaji yang telah dijalankan dalam penyelidikan ini. Keputusan dan data yang diperolehi ditunjukkan dalam bentuk jadual dan graf berserta penerangan yang terperinci

Bab V merupakan bahagian terakhir yang terkandung dalam tesis ini. Bahagian ini merangkumi rumusan dan kesimpulan bagi keseluruhan proses penyelidikan yang telah dijalankan. Berdasarkan kepada hasil keputusan uji kaji yang diperolehi melalui penyelidikan ini, beberapa cadangan untuk penambahbaikan terhadap kajian ini telah dikemukakan supaya dapat memberi panduan kepada penyelidik dan dapat digunakan untuk kajian yang seterusnya pada masa akan datang.

## 1.6 RUMUSAN

Secara keseluruhannya, kajian terhadap jet santakan udara denyut boleh digunakan sebagai teknik yang berkesan dalam aplikasi kejuruteraan seperti penyejukan, pemanasan, dan pengeringan terhadap permukaan sasaran. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa faktor yang mampu mempengaruhi kesan peningkatan pemindahan haba di dalam jet santakan udara denyut. Jika parameter ini dikawal, ia mampu memberi kesan terhadap peningkatan pemindahan haba. Sehubungan dengan itu, uji kaji seperti pengukuran udara denyut dan pengukuran pemindahan haba akan dilakukan untuk mengenal pasti parameter yang optimum terhadap peningkatan pemindahan haba di dalam jet santakan udara denyut.

## **BAB II**

### **KAJIAN KEPUSTAKAAN**

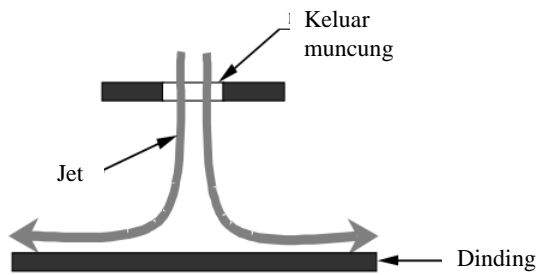
#### **2.1 PENGENALAN**

Dalam bab ini, kajian kepustakaan yang dibuat telah dijadikan sebagai panduan dan bahan rujukan di dalam penyelidikan ini. Kajian kepustakaan ini sangat penting kerana ia memberi ilmu pengetahuan asas, informasi, dan panduan yang berguna sepanjang penyelidikan ini dijalankan. Sumber-sumber kajian kepustakaan adalah hasil daripada teori-teori dan ilmu asas yang telah diterbitkan melalui jurnal penyelidikan yang telah dijalankan oleh penyelidik terdahulu, dan melalui sumber buku-buku rujukan yang akan diterangkan di dalam bahagian ini. Di dalam bab ini, di antara topik yang akan diterangkan adalah prinsip asas jet santakan, prinsip asas dalam rekabentuk mekanisme jet denyut, parameter kajian terdahulu, kesan saiz muncung jet dan saiz injap pemutar denyut, dan profil halaju dan analisis pemindahan haba.

#### **2.2 PRINSIP ASAS JET SANTAKAN.**

Jet santakan boleh didefinisikan sebagai jisim penyejuk berhalaju tinggi yang dikeluarkan melalui sebuah lubang atau slot yang menghentam pada permukaan pemindahan haba. Ciri sifat susunan aliran ini ialah intensif kadar pemindahan haba di antara dinding an juga bendalir. Ia adalah pratentu kepada jet bendalir untuk digunakan secara meluas di dalam aplikasi di industri di mana pemindahan haba

intensif diperlukan, sebagai contoh untuk penyejukan bilah turbin, cermin laser dan komponen elektrik, pengeringan kertas, dan lain-lain.

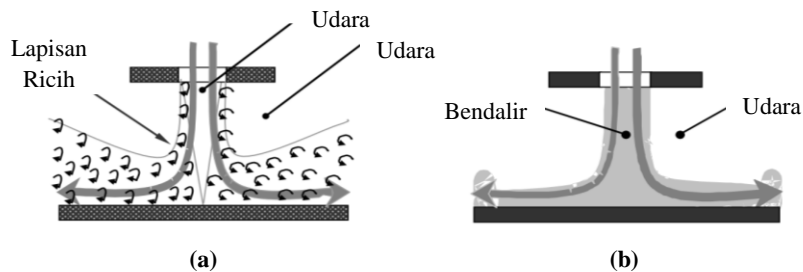


RAJAH 2.1 Jet santakan.

Sumber: Osama 2003.

### 2.2.1 TATARAJAH JET SANTAKAN

Melalui tatarajah jet santakan, kita boleh membezakan di antara dua ciri aliran yang berbeza secara kualitatif iaitu jet santakan tenggelam dan jet santakan bebas (Rajah 2.2). Dalam kes terdahulu, bendalir yang keluar melalui dari muncung jet adalah sifat yang sama seperti sekitarnya. dalam mana-mana yang kemudian, bendalir adalah sifat yang berbeza (contohnya, mengeluarkan jet bendalir ke udara).

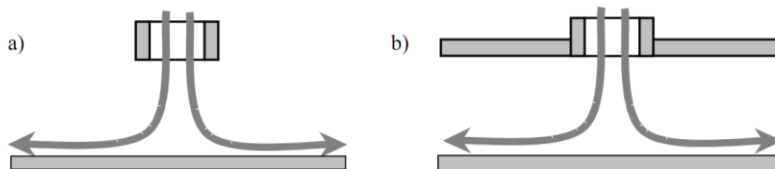


RAJAH 2.2 (a) Jet tenggelam (b) Jet bebas.

Sumber: Osama 2003.

Dalam keadaan dinamik kedua-dua ciri aliran tersebut adalah berbeza. Dalam jet tenggelam, lapisan ricih terbentuk pada permukaan di antara jet dan bendalir di sekitarnya. Lapisan ricih ini tidak stabil dan ia menghasilkan gelora. Dalam jet bebas, jenis ketidakstabilan ini biasanya tidak penting, dan pergerakan gelora dalam lapisan ricih tidak mempunyai kesan besar ke atas aliran.

Bagi keadaan geometri, terdapat dua kes: kes satah dengan jet yang keluar dari slot, dan kes simetri sepaksi dengan muncung yang bulat. Dinamik bagi kedua-dua kes adalah berbeza: jet bulat menunjukkan pembentukan gelungan vorteks simetri sepaksi, yang diregangkan ketika perolakan di sepanjang dinding. Dalam jet rata, vorteks terbentuk sebagai filamen yang selari dengan slot dan terhasil pada kedua-dua bahagian jet, sama ada dalam keadaan sepaksi atau tidak sepaksi. Filamen vorteks ini tidak diregangkan. Terdapat pelbagai geometri jet yang keluar dari muncung yang berkemungkinan seperti segi empat sama, segi empat tepat, atau elliptical; jet serong; dan lain-lain.



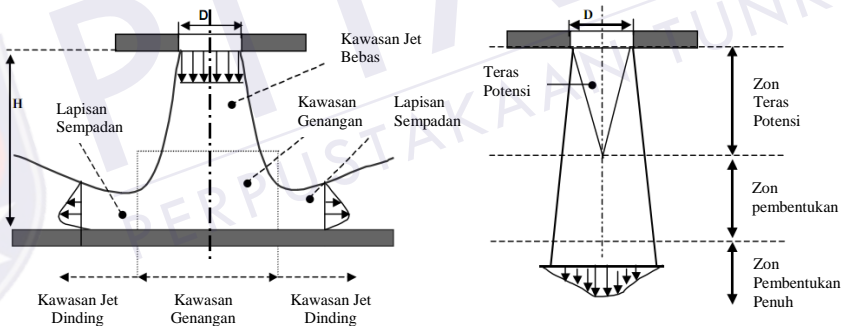
RAJAH 2.3 (a) Jet santakan tak terkurung (b) Jet santakan terkurung.

Sumber: Osama 2003.

Terdapat perbezaan di antara jet tak terkurung dan jet terkurung. Teknik kurungan merupakan kaedah yang biasa digunakan dalam aplikasi di industri. Teknik ini menyebabkan pengiraan semula aliran di sekitar jet. Dalam aplikasi perindustrian, luas permukaan yang disejukkan biasanya besar, dan jet tunggal biasanya tidak mencukupi untuk menyejukkan. Dalam kes ini, tatasusunan jet digunakan. Aliran dalam keadaan tatasusunan sememangnya agak kompleks.

## 2.2.2 ZON CIRI DALAM JET SANTAKAN

Medan aliran di dalam jet santakan boleh dibahagikan kepada tiga kawasan ciri: zon jet, zon genangan, dan zon jet dinding (Rajah 2.4).



RAJAH 2.4 Zon ciri dalam jet santakan.

Sumber: Osama 2003.

Zon jet terletak betul-betul di bawah muncung jet. Bendalir yang keluar dari muncung bercampur dengan bendalir sekitar yang tenang dan mewujudkan satu medan aliran, yang sehingga pada jarak tertentu dari dinding serbasama dengan medan aliran jet taksantak tenggelam. Aliran jet tidak akan terbentuk jika jarak di antaranya melebihi dari enam atau tujuh diameter muncung dari muncung bibir. Akibatnya, pada kebanyakan aplikasi secara lazimnya jarak di antara muncung ke plat adalah kecil bagi membenarkan keadaan aliran jet terbentuk. Lapisan ricih terbentuk pada sekitar jet dan sifat-sifatnya bergantung pada jenis muncung yang digunakan. Pada kebanyakan situasi, kecuali aliran laminar daripada muncung tiub, lapisan ricih pada awalnya agak nipis jika dibandingkan dengan garis pusat muncung. Oleh yang demikian, kelakuan dinamik adalah serupa dengan lapisan ricih satah. ketebalan lapisan ricih menjadi setanding dengan hiliran garis pusat jet, dan tingkah laku lapisan berubah dengan ketara.

Aliran laminar atau gelora yang keluar melalui muncung adalah bergantung pada jenis muncung dan juga nombor Reynolds. Aliran laminar pada awalnya mengalami peralihan gelora. Fasa peralihan ini bermula di lapisan ricih, di mana ia tidak stabil. Gulungan-vorteks merupakan peringkat pertama peralihan jika nombor Reynolds jet adalah sederhana. Vorteks adalah terolak hilir oleh aliran dan berkembang, berpasangan, kehilangan simetri, dan akhirnya berpecah dalam pusaran. Akhirnya, aliran gelora terbentuk. Pada kebanyakan situasi yang praktikal, jarak di antara muncung ke plat adalah kecil dan jet masih berada dalam fasa peralihan apabila ia menghentam dinding.

Apabila profil halaju di bahagian keluar muncung cukup rata, terdapat teras yang mungkin berlaku di tengah-tengah jet. Teras potensi merupakan bahagian aliran, di mana halaju purata masih sama seperti di bahagian keluar muncung. Pada titik tersebut, momentum bendalir di dalam teras tidak dipindahkan lagi kepada persekitaran. Walau bagaimanapun, halaju menjadi serta-merta tidak malar di dalam teras. Aliran menjadi denyut akibat daripada aruhan halaju dai vorteks yang melepasi di dalam lapisan ricih. Aliran teras yang berpotensi mempunyai ciri-ciri yang tidak likat.

Terdapat zon genangan berhampiran dengan titik genangan. Ia dicirikan oleh kecerunan tekanan di mana ia menghentikan aliran dalam arah paksi bertukar ke luar jejarian. Kecerunan tekanan juga melaminakan semula aliran tersebut yang tiba ke kawasan genangan. Lapisan sempadan di sekitar titik genangan adalah laminar kerana kecerunan tekanan yang menggalakkan. Peningkatan halaju di sepanjang dinding menyebabkan lapisan sepadan kekal nipis dan seterusnya mengakibatkan kadar pemindahan haba adalah tinggi.

Zon jet dinding bebas kecerunan tekanan purata. Aliran ketika ini menyahpecut dan merebak di sini. Lapisan sempadan lamina pada mulanya mengalami peralihan gelora yang disebabkan oleh hentaman pusaran besar yang terhasil dalam lapisan ricih jet. Peralihan gelora ini dipercayai untuk meningkatkan secara setempat, dan kadar pemindahan haba akan berkurangan secara beransur-ansur.

### 2.3 PRINSIP ASAS DALAM REKA BENTUK MEKANISME JET DENYUT

Ujikaji hentaman pemindahan haba melalui jet udara denyut yang dijalankan pada awalnya adalah dengan menggunakan injap solenoid kelajuan tinggi yang dikawal oleh litar pemasa kitaran berulang Sailor dan Patil (1996). Dalam ujikaji tersebut, kitaran tugas telah diselaraskan dengan mengubah electronic kawalan isyarat yang disuap kepada solenoid. Oleh kerana keterbatasan fizikal litar pemasa, frekuensi tertinggi yang boleh dicapai adalah kira-kira 10 Hz.

Dalam generasi kedua percubaan ini, litar pemasa telah digantikan dengan komputer ganti keadaan pepejal terkawal, terhad hanya oleh solenoid pengecasan masa. Dengan penyusunan ini had frekuensi yang praktikal untuk eksperimen telah ditingkatkan kepada 25 atau 30 Hz. Oleh kerana keinginan untuk menggabungkan parameter kitar tugas kepada frekuensi yang lebih tinggi kajian hentaman berdenyut dan penggunaan injap solenoid yang dikawal komputer dalam aplikasi perindustrian yang terhad, injap yang dipacu secara mekanikal telah direka bentuk dan dibina. Injap yang dipandu secara mekanikal ini mampu menjana profil dengan kitaran tugas yang terdiri daripada kira-kira  $0.2 \pm 0.6$  pada frekuensi melebihi 100 Hz.



## RUJUKAN

- Anderson, S.M., & Bremhorst, K.,. 2002. Investigation of the flow field of a highly heated jet of air. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 23: 205-219.
- Azevedo, L.F.A., Webb, B.W., & Queiroz, M.,. 1994. Pulsed air jet impingement heat transfer. *Experimental Thermal and Fluid Science* 8(3):206-213.
- Brown, J.M.,. (1999). Investigation of heat transfer between a staggered array of hot air jets and a jet engine nacelle lipskin surface. PhD Thesis. Queen's University of Belfast.
- Cengel, Y.A.,. 2003. *Heat transfer: a practical approach*. 2<sup>nd</sup> edition. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Cooper, D., Jackson, D.C., Launder, B.E., & Liao, G.X.,. 1993. Impingement jet studies for turbulence model assessment-I. Flow-field experiments. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 36: 2675-2684.
- Eiback, P.A., Keller, J.O., Bramlette, T.T., & Sailor D.J.,. 1993. Pulse combustion: Impinging jet heat transfer enhancement. *Combustion Science Technology* 94: 147-165.
- Gulati, P., Katti, V., & Prabhu, S.V.,. 2009. Influence of the shape of the nozzle on local heat transfer distribution between smooth flat surface and impinging air jet. *International Journal of Thermal Sciences* 48(3):602-617.
- Herwig, H., Mocikat, H., Gürtler, T., & Göppert, S.,. 2004. Heat transfer due to unsteadily impinging jets. *International Journal of Thermal Sciences* 43(8): 733-741.
- Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M.A., & Button, B.L.,. 1992. A review of heat transfer data for single circular jet impingement. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 13(2): 106-115.
- Jorgensen, F.E.,. 2002. *How to measure turbulence with hot wire anemometers: a practical approach*. Denmark: Dantec Dynamics.
- Kondjoyan, A., Peneu, F., & Boisson, H.C.,. 2002. Effect of high free stream turbulence on heat transfer between plates and air flows: a review of existing experimental results. *International Journal of Thermal Sciences* 41:1-16.
- Koseoglu, M.F., & Baskaya, S.,. 2010. The role of jet inlet geometry in impinging jet heat transfer, modeling and experiments. *International Journal of Thermal Sciences* 49(8):1417-1426.

- Lee, J., & Lee, S.J., 2000. The effect of nozzle aspect ratio on stagnation region heat transfer characteristics of elliptic impinging jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 43(4): 555-575.
- Martin, H., 1977. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces. In: *Advance in heat transfer*. New York, Academic Press, Inc., 13: 1-60.
- Martin, R.H., & Buchlin, J.M., 2011. Jet impingement heat transfer from lobed nozzles. *International Journal of Thermal Sciences* 50(7): 1199-1206.
- Mladin, E.C., & Zumbrennen, D.A., 1996. Dependence of heat transfer to a pulsating stagnation flow on pulse characteristics. *J. Thermophys. Heat Transfer*. 9: 181-192.
- Nevin, R.G., & Ball, H.D., 1961. Heat transfer between a flat plate and a pulsating impinging jet. National Heat Transfer Conference, Boulder. Co. ASME.
- Osama, M.A., 2003. Heat transfer distributions on the walls of a narrow channel with jet impingement an cross flow. Ph.D Thesis. University of Pittsburgh.
- Poh, H.J., Kumar, K., & Mujumdar, A.S., 2010. Heat transfer from a pulsed laminar impinging jet. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 32 (10):1317-1324.
- Sailor, D.J., Daniel, J.R., & Qianli, F., 1999. Effect of Variable Duty Cycle Flow Pulsations on Heat Transfer Enhancement for an Impinging Air Jet. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 20: 574-580.
- Sailor, D.J., & Patil, B.K., 1996. Variable duty cycle experiments in pulsed-impingement heat transfer. In: *Proceeding of the National Heat Transfer Conference*, HTD 330: 37-42.
- Sheriff, H.S., & Zumbrennen, D.A., 1994. Effect of flow pulsations on the cooling effectiveness of an impinging jet. *International of Heat Transfer* 116(4): 886-895.
- Xu, P., Yu, B., Qiu, S., Poh, H.J., & Mujumdar, A.S., 2010. Turbulent impinging jet heat transfer enhancement due to intermittent pulsation. *International Journal of Thermal Sciences* 49(7): 1247-1252.
- Zulkifli, R., & Sopian, K., 2007. Studies on pulse jet impingement heat transfer: flow profile and effect of pulse frequencies on heat transfer. *International Journal of Engineering and Technology* 4(1): 86-94.
- Zulkifli, R., Sopian, K., Abdullah, S., & Takriff, M. S., 2009. Comparison of local nusselt number between steady and pulsating jet at different jet reynolds number. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Issue 5, Vol. 5.