

ANALISIS PEMINDAHAN HABA BAGI
PENUKAR HABA DALAM ALIRAN YANG BERAYUN

MOHAMAD ADHA BIN MOHD PEKEH

UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA

PENGESAHAN PENYELIA

“Saya akui bahawa telah membaca laporan ini dan pada pandangan saya laporan ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Automotif).”

Tandatangan:

Penyelia: Dr. Fatimah Al-Zahrah Binti Mohd Sa'at

Tarikh:

**ANALISIS PEMINDAHAN HABA BAGI
PENUKAR HABA DALAM ALIRAN YANG BERAYUN**

MOHAMAD ADHA BIN MOHD PEKEH

**Laporan ini dikemukakan sebagai
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Automotif)**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

JUN 2015

PENGAKUAN

“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.”

Tandatangan:

Nama penulis: Mohamad Adha Bin Mohd Pech

Tarikh:

**Khas buat
Ayah dan Ibu tersayang**

PENGHARGAAN

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan syukur kepada Allah S.W.T kerana telah memberi kekuatan kepada saya bagi menjalankan kajian ini. Saya juga merakamkan penghargaan ikhlas kepada penyelia, Dr. Fatimah AL-Zahrah binti Mohd Sa'at atas segala bimbingan dan dorongan yang telah diberi sepanjang menjalani Projek Sarjana Muda ini.

Penghargaan ikhlas juga saya tujukan kepada rakan yang turut terlibat di dalam kajian ini iaitu Syahrulnizam, Zulkhairi, Faisal dan Cho Wei Yang dalam menghadapi kesukaran ketika menjalani kajian ini. Juga tidak dilupakan kepada rakan-rakan lain yang banyak memberikan kata-kata semangat dan pandangan. Malangnya, mustahil untuk saya menyebut nama-nama mereka di dalam ruangan yang kecil ini. Sekali lagi saya ingin mengucapkan terima kasih kepada ahli keluarga dan pihak-pihak yang terbabit terutamanya UTeM bagi menyiapkan kajian ini.

ABSTRAK

Memahami sifat aliran adalah satu kunci untuk memperbaiki prestasi suatu sistem. Kajian ini mengkaji aliran ayunan yang bergerak di dalam sistem penukar haba dengan kaedah simulasi. Di dalam termoakustik, terdapat dua fenomena penting. Fenomena ini adalah gelombang perjalan dan gelombang berdiri. Secara praktis, kebanyakan sistem tidak sepenuhnya perjalan dan juga tidak sepenuhnya gelombang berdiri. Dalam projek ini, kesan perbezaan sudut antara tekanan dan halaju terhadap pemindahan haba di kawasan penukar haba telah dikaji. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan perisian CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Dua model penukar haba telah dikaji. Perbezaan di antara dua model ini adalah jarak di antara plat. Model pertama mempunyai jarak di antara plat sebesar 6 mm dan pada model kedua jaraknya adalah 2 mm. Medium gas yang digunakan pada model pertama adalah nitrogen dan model kedua menggunakan helium. Model telah disahkan melalui perbandingan nilai simulasi dengan teori. Hasil perbandingan adalah hampir sama. Perbezaan kecil nilai simulasi daripada teori adalah disebabkan oleh perbezaan suhu. Bagi kajian perbezaan fasa di antara tekanan dan halaju, nilai fasa yang terhasil di ruangan antara plat didapati tidak sama seperti yang telah ditetapkan pada keadaan sempadan model. Pada keadaan sempadan, nilai sudut fasa di antara tekanan dan halaju yang telah ditetapkan adalah 0° , 45° dan 90° . Tetapi, hasil kajian pada aliran di antara plat menghasilkan sudut fasa di antara tekanan dan halaju yang berbeza iaitu 137° , 68° dan 51° . Ini menunjukkan bahawa syarat prinsip gelombang perjalan dan berdiri masih lagi tidak dapat dicapai dengan penggunaan model kedua, walaupun jarak saluran telah dikecilkan. Tenaga yang dihasilkan juga didapati tidak beberapa bagus oleh kerana halaju aliran adalah rendah berkemungkinan disebabkan oleh geseran yang tinggi apabila jarak antara plat dikecilkan.

ABSTRACT

Understanding of flow behavior is a key to improvise the performance of a system. This study was conducted to understand the oscillatory flow movemet in the heat exchangers system. In thermoacoustic, there were two important phenomena; a travelling wave and a standing wave phenomena. In practical, most of the systems does not fully complied to the travelling wave or standing wave behaviors. Hence, this study is carried out to understand the effect of different phase between pressure and velocity on the heat transfer behavior of a heat exchanger. This study was conducted by using CFD software (Computational Fluid Dynamics). Two models of heat exchangers were created. The different between these models is the gap between the heat exchnager's plate. In the first model, the gap was set to 6 mm. Mean while the second model has a gap size of 2 mm. The gas medium used in the first model is nitrogen and for the second model the gas is helium. The model was validated by comparing the results with available theoretical formula. A good match was found. The small differences between the results of the simulation and theoretical predictions may be cause by the temperature difference which was not accounted in the theory. The results showed that the resulting phase different between pressure and velocity were not the same as the values set at the boundaries. At the boundaries, the phase was set at 0^0 , 45^0 and 90^0 . However the results showed that the resulting phase different between pressure and velocity for flow between the plates were 137^0 , 68^0 and 51^0 . This indicates that the condition for travelling wave and standing wave were not fully achieved even when a smaller size of gap (model 2) between plates were used. An even smaller size may need to be used in the future. Heat transfer at the plates also reduces as the channel size reduces. This is probably related to the small value of velocity at the channel due to friction losses.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	ix
	SENARAI RAJAH	x
	SENARAI SIMBOL	xiii
	SENARAI SINGKATAN	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xvi
BAB 1	Pengenalan	1
	1.1 Latar belakang kajian	1
	1.2 Pernyataan masalah	2
	1.3 Motivasi	3
	1.4 Objektif	4
	1.5 Skop	4
BAB 2	Kajian Ilmiah	5
	2.1 Aplikasi penukar haba	5
	2.2 Jenis-jenis penukar haba	8
	2.3 Aliran ayunan (<i>Oscillatory flow</i>)	12
	2.4 Termodinamik	17
	2.5 Fasa tekanan dan halaju pada aliran gelombang	22

BAB 3	KAEDAH KAJIAN	26
3.1	Pengenalan	26
3.2	Pemilihan domain komputer	28
3.3.	Pra-proses	29
3.3.1	Lukisan domain komputer	29
3.3.2	Proses tautan (<i>meshing</i>)	30
3.3.3	Pemilihan dinding medium	31
3.4	Penyelesai (<i>solver</i>)	32
3.4.1	Pemilihan penyelesai (<i>solver</i>)	33
3.4.2	Model	34
3.4.3	Bahan (<i>Material</i>)	34
3.4.4	Monitor permukaan (<i>surface monitor</i>)	35
3.4.5	Pengiraan (<i>run calculation</i>)	35
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBICANGAN	36
4.1	Definisi kes	36
4.2	Kes pertama	37
4.3	Kes kedua	42
4.4	Kes ketiga	46
4.5	Kes keempat	49
4.6	Kes kelima	52
4.7	Fluks haba	55
4.8	Ralat	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Cadangan	59
	RUJUKAN	60
	LAMPIRAN	64

SENARAI JADUAL

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
4.1	Penetapan bagi setiap kes	36
4.2	Dimensi bagi setiap model	36
4.3	Keadaan sempadan bagi teori nitrogen	37
4.4	Halaju mendatar bagi simulasi dan teori (Nitrogen)	39
4.5	Keadaan sempadan bagi teori helium	42
4.6	Halaju mendatar bagi simulasi dan teori	43

SENARAI RAJAH

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Sistem Penukaran Haba	5
2.2	Penukar haba aliran berlawanan paip berganda	8
2.3	Penukar haba aliran selari paip berganda	8
2.4	(a) Kecekapan penukar haba serentak melawan nisbah refluks	10
	(b) Kecekapan penukar haba berlawanan melawan nisbah refluks	10
2.5	(a) Aliran normal	11
	(b) Aliran berayun	
2.6	Persediaan eksperimen dan pemilihan domain komputer (atas); domain komputer untuk kawasan tautan(tengah); kawasan pembesaran gambarajah untuk menanda profil halaju dan pusaran countour(bawah).	13
2.7	Profil halaju yang telah ditanda pada 10mm daripada sambungan atas penukar haba sejuk pada nisbah panduan (a) 0.3% (b) 0.45% (c) 0.65% (d) 0.83%	15
2.8	Pusaran contour (a) Eksperimen (b) Model laminar	16
2.9	Skala panjang di gelombang berdiri bagi peranti termoakustik	18
2.10	Kehilangan tekanan untuk alirn ayunan bersama Amplitud isipadu	22
2.11	Pengiraan untuk kemasukan aliran semasa ayunan ialah $dV = 0.01\mu l$ melalui hujung kapilari yang berdiameter $450\mu m$	23
2.12	Amplitud tekanan ketika aliran ayunan ialah $dV = 0.01\mu l$	23

	melalui kapilari yang berdiameter $450\mu\text{m}$	
2.13	(Biru) Perubahan fasa diantara kemasukan aliran dan (Merah) Jumlah perubahan tekanan	24
2.14	Gambar simulasi pergerakan garisan dan kawasan countor halaju(m/s) pada jarak 0.6mm daripada hujung kapilari, melalui kapilari yang berdiameter $450\mu\text{m}$ dan $f = 80 \text{ Hz}$	25
3.1	Carta aliran kaedah ujikaji	27
3.2	Domain komputer	28
3.3	Lukisan plat domain komputer	29
3.4	Tautan plat	30
3.5	Pemilihan nama dinding pada medium plat	31
3.6	Pemilihan ketepatan berganda(<i>Double Precision</i>)	32
3.7	Pemilihan penyelesaian (<i>solver</i>)	33
3.8	Penetapan monitor permukaan	35
4.1	Perbandingan halaju mendatar di antara simulasi dan teori (<i>nitrogen</i>)	39
4.2	Jumlah perubahan halaju mendatar dan tekanan pada 20 fasa	40
4.3	Jumlah fluks haba pada penukar haba panas	40
4.4	Kepusaran kontur pada fasa 5	41
4.5	Kontur jumlah haba pada fasa 5	41
4.6	Perbandingan halaju mendatar di antara simulasi dan teori (<i>helium</i>)	43
4.7	Perubahan halaju mendatar dan tekanan pada 20 fasa	44
4.8	Jumlah fluks haba pada penukar haba panas	44
4.9	Kepusaran kontur pada fasa 5	45
4.10	Kontur jumlah haba pada fasa 5	45
4.11	Perubahan halaju mendatar dan tekanan pada setiap 20 fasa	46
4.12	Jumlah haba pada penukar haba panas	47
4.13	Kepusaran kontur pada fasa 5	48
4.14	Kontur jumlah haba pada fasa 5	48
4.15	Perubahan halaju mendatar dan tekanan pada 20 fasa	49
4.16	Jumlah fluks haba pada penukar haba panas	50
4.17	Kepusaran kontur pada fasa 5	51
4.18	Kontur jumlah haba pada fasa 5	51
4.19	Perubahan halaju mendatar dan tekanan pada 20 fasa	52
4.20	Jumlah fluks haba pada penukar haba panas	53

4.21	Kepusaran kontur pada fasa 5	54
4.22	Kontur jumlah haba pada fasa 5	54
4.23	Purata fluks haba bagi setiap kes	55

SENARAI SIMBOL

$^{\circ}$	=	Darjah sudut
η	=	Kecekapan
\dot{m}	=	Perkadaran aliran jisim
U	=	Pekali pemindah haba
v	=	Halaju
t	=	Masa
D	=	Diameter
P_a	=	Tekanan ayunan
m^2	=	Berat fluks
k_a	=	Nombor gelombang
f	=	Frekuensi
c	=	Kelajuan bunyi
θ	=	Fasa
Re	=	Nombor Reynolds
ρ	=	Ketumpatan
u_m	=	Magnitud halaju pada tengah paip
u'	=	Tekanan Reynolds
u	=	Halaju
μ	=	Kelikatan
I	=	Intensiti
Φ	=	Fasa
δ_k	=	Kedalam penyerapan haba
m	=	meter
δ_v	=	Kedalaman penyerapan kelikatan
λ	=	Gelombang bunyi
a	=	Kelajuan cahaya

$ \xi_1 $	=	Amplitud sesaran gas
$ u_1 $	=	Amplitud halaju
ω	=	Sudut frekuensi
π	=	pai
k	=	Konduktiviti termal
κ	=	Ketembusan termal
c_p	=	Spesifik haba
σ	=	Nombor Prandtl
dV	=	Amplitud isipadu air
W	=	Watt
K	=	Kelvin
Kg	=	Kilogram
J	=	Joule

SENARAI SINGKATAN

UTeM = Universiti Teknikal Malaysia Melaka

CFD = Computational Fluid Dynamics

SENARAI LAMPIRAN

BIL.	TAJUK	MUKA SURAT
A	Carta gantt PSM I	64
B	Carta gantt PSM III	65
C	Carta gantt cuti semester	66

BAB 1

PENGENALAN

1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Proses penukaran haba adalah proses yang sangat penting di dalam kehidupan seharian mahupun aplikasi di industri. Kita boleh melihat proses ini di dalam kehidupan seharian kita. Contoh yang paling mudah ialah peti sejuk. Peti sejuk mengaplikasikan prinsip penukaran haba ketika menyejukan makanan. Selain itu penukaran haba ini juga berlaku di dalam kenderaan yang kita naiki setiap hari. Jika tiada proses ini, maka akan rosaklah kenderaan kita disebabkan kepanasan yang berlaku di dalam enjin.

Proses penukaran haba ini juga merupakan antara komponen penting di dalam aplikasi thermoakustik. Apa itu thermoakustik? Thermoakustik adalah interaksi diantara bunyi dan juga haba. Menurut Swift (2004) gelombang bunyi pada kebiasaannya boleh diwakili oleh ayunan pergerakan dan juga perbezaan tekanan. Apabila gelombang bunyi ini melalui saluran yang kecil, ayunan haba juga akan wujud di dinding saluran. Gabungan kepelbagaian sifat ayunan ini akan menghasilkan variasi kesan thermoakustik.

Kajian terhadap thermoakustik ini bermula dengan mengaitkan ayunan pemindahan haba terhadap daya sempadan pepejal serta gas gelombang bunyi. Tahukah anda bahawa prinsip thermoakustik ini juga berlaku di dalam perbualan kita seharian? Kebanyakan orang tidak menyedarinya kerana ianya tidak dapat didengari dan dikesan oleh deria. Tetapi apabila kedua elemen ini, iaitu daya sempadan pepejal

dan gas gelombang bunyi dimampatkan dengan gas, ia akan menghasilkan bunyi yang kuat serta menghasilkan kesan termoakustik yang amat bagus. Enjin termoakustik, peti sejuk, pam haba adalah diantara produk-produk yang terhasil daripada prinsip termoakustik ini. Pelbagai ciptaan boleh di hasilkan daripada prinsip termoakustik ini di dalam industri. Antaranya adalah dapur memasak. Menurut Goodier (2011) dapur memasak ini menggunakan lebih haba daripada dapur dan menghasilkan gelombang bunyi di dalam pembesar suara yang beroperasi secara proses pembalikan dan menukar bunyi ini kepada elektrik.

Di dalam termoakustik, terdapat satu fenomena penting iaitu gelombang perjalanan (*travelling wave*). Prinsip gelombang perjalanan ini bukan hanya digunakan pada bidang kejuruteraan elektrik, malahan juga digunakan pada bidang-bidang lain seperti akustik, mekanik, pengaliran haba, resapan dan juga gelombang mekanik. Jenis aliran ayunan dapat dikenal pasti daripada tindakbalas termoakustik dimana gelombang akustik dan sempadan pepejal berinteraksi antara satu sama lain, dan menghasilkan pemindahan haba apabila tekanan dan halaju yang sesuai dikenakan. Gelombang perjalanan berlaku apabila amplitud tekanan dan halaju berada pada fasa yang sama. Sekiranya amplitud tekanan berbeza pada sudut 90° berbanding amplitud halaju, maka gelombang berdiri (*standing wave*) terhasil. Kedua-dua jenis gelombang ini berguna dalam pembinaan sistem berasaskan prinsip termoakustik.

1.2 PERNYATAAN MASALAH

Walaupun kedua-dua gelombang perjalanan dan gelombang berdiri boleh menghasilkan kesan termoakustik, namun kecekapan pemindahan haba dan penghasilan tenaga sistem termoakustik sangat dipengaruhi oleh kedua-dua keadaan gelombang ini. Umumnya, penghasilan tenaga dikatakan maksimum apabila sistem dibina berasaskan prinsip gelombang perjalanan. Ini kerana amplitud tekanan dan halaju berada pada fasa yang sama. Namun demikian, sistem berasaskan prinsip gelombang perjalanan adalah rumit dan mahal. Jesteru sistem berasaskan gelombang berdiri masih menjadi pilihan kerana prinsip kerjanya lebih ringkas dan peralatannya mudah dibina. Secara praktis, kebanyakan sistem melibatkan aliran gelombang yang tidak sepenuhnya perjalanan dan tidak juga sepenuhnya gelombang berdiri. Ini kerana

amplitud tekanan dan halaju berada pada sudut tertentu selain dari sudut 0^0 (gelombang perjalanan) dan sudut 90^0 (gelombang berdiri). Persoalannya, bagaimanakah kesan sudut antara halaju dan tekanan ini akan mempengaruhi proses pemindahan haba yang merupakan prinsip penting dalam sistem berasaskan termoakustik? Kajian dalam aspek ini penting bagi memahami kesan gelombang ini terhadap kecekapan sistem termoakustik.

1.3 MOTIVASI

Prinsip termoakustik menawarkan kaedah alternatif yang menarik bagi aplikasi sistem penyejuk dan enjin. Alternatif yang ditawarkan mempunyai ciri yang menarik di mana sistem yang dibina tidak melibatkan penggunaan bahan api, sistem yang mudah, mesra alam dan selamat. Namun demikian kecekapan sistem sedia ada masih rendah. Pembinaan sistem yang efisien merupakan satu cabaran kerana prinsip dan sains termoakustik kurang difahami, terutamanya apabila melibatkan aliran kompleks. Terdapat anggapan yang mengatakan bahawa apabila tekanan dan halaju tidak berada pada fasa yang sama, maka tenaga yang dihasilkan terjejas. Berdasarkan daripada anggapan ini, kajian lebih mendalam berkenaan perubahan fasa terhadap aliran di dalam proses penukar haba akan dilakukan. Kajian pemahaman terhadap sains aliran ayunan yang dipraktikkan dalam sistem termoakustik, seperti yang dilakukan dalam projek ini, mampu menyumbang kepada pemahaman yang jelas khususnya untuk pembinaan sistem yang lebih cekap pada masa yang akan datang.

1.4 OBJEKTIF

Tujuan kajian ini dilakukan adalah seperti berikut:-

1. Memahami prinsip penukar haba didalam aplikasi termoakustik.
2. Menghasilkan model menggunakan perisian Dinamik Bendalir Berkomputer (CFD).
3. Tentu sahkan model bendalir menggunakan teori termoakustik atau ujikaji yang sedia ada.
4. Mengkaji sifat-sifat aliran akibat perbezaan fasa antara tekanan dan halaju serta kesannya terhadap proses penukaran haba.

1.5 SKOP

Di dalam kajian ini, perisian CFD akan digunakan bagi melakukan simulasi terhadap aliran ayunan. Aliran adalah dianggap sebagai dua-dimensi. Pemboleh ubah yang dititik beratkan dalam kajian ini ialah fasa antara tekanan dan halaju. Keadaan aliran adalah berasaskan prinsip termoakustik.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 APLIKASI PENUKAR HABA

Kebanyakan mesin mengeluarkan tenaga dan juga haba apabila beroperasi. Peranti yang diberi nama penukar haba dapat memulihkan haba daripada sisa gas dan menggunakannya semula pada operasi yang lain. Kebanyakan penukar haba digunakan di enjin kereta, kapal laut, kapal terbang, peti sejuk dan banyak lagi peralatan yang mengaplikasikan peranti ini.

Pada asasnya, penukar haba ini ialah peranti yang membenarkan haba daripada bendalir(cecair ataupun gas) melalui bendalir yang kedua(cecair ataupun gas yang lain) tanpa kedua-dua bendalir ini bercampur ataupun bersentuhan secara terus (Chris, 2009). Prinsip penting bagi penukar haba ini ialah ianya menghantar haba tanpa kehadiran bendalir yang membawa haba itu sendiri. **Rajah 2.1** adalah asas bagaimana penukar haba berfungsi.



Rajah 2.1: Sistem Penukaran Haba (*Chris, 2009*)

Kita boleh melihat peranti penukar haba ini dimana-mana sahaja termasuk di rumah kita. Kebiasaannya, ia digunakan untuk memanaskan atau menyejukkan bangunan ataupun sebagai alat yang membantu jurutera dalam menghasilkan kerja yang bermutu. Sebagai contoh, peti sejuk ataupun penghawa dingin, ianya menggunakan penukar haba dengan cara yang berlawanan dengan sistem pemanasan. Peti sejuk dan penghawa dingin membuang haba yang tidak diperlukan daripada ruangan atau bilik dan mengepamnya bersama bendalir ke satu tempat yang lain. Kebanyakan peralatan penukar haba beroperasi dalam keadaan aliran tenang (*steady flow*).

Di loji kuasa atau enjin, gas yang dihasilkan oleh ekzos mempunyai haba yang dibiarkan begitu sahaja. Ia manghasilkan pembaziran di mana haba itu dilepaskan begitu sahaja dan penukar haba boleh mengurangkan pembaziran itu. Tetapi tidak semua haba itu dapat digunakan semula kerana haba sentiasa akan hilang. Cara untuk menyelesaikan masalah ini ialah dengan meletakkan penukar haba di dalam ekzos atau cerobong asap. Apabila gas panas ekzos keluar, ianya melalui sirip (*fins*) penukar haba bersama air yang mengalir di dalamnya. Air tersebut akan membawa haba pergi dan kembali semula ke loji. Haba yang di bawa itu tadi boleh digunakan sebagai kegunaan lain. Sebagai contoh, haba ini akan di bawa ke pejabat bersebelahan dengan cerobong asap.

Kenderaan seperti bas juga mengaplikasikan penukar haba, dimana bendalir digunakan untuk menyejukkan enjin diesel. Bendalir ini melalui penukar haba dan haba digunakan untuk memanaskan air sejuk daripada luar yang dipam daripada lantai tempat duduk penumpang. Ianya dapat menjimatkan kos pemanas elektrik yang diperlukan di dalam bas yang berada di dalam iklim sejuk. Selain daripada itu, radiator kereta juga adalah sejenis penukar haba. Air menyejukkan aliran enjin melalui radiator yang mempunyai banyak sirip selari yang terdedah kepada udara. Apabila kereta dipandu, udara sejuk daripada hadapan akan melalui radiator dan akan menyingkirkan haba, menyejukkan air dan radiator itu akan memanaskan semula udara serta menghasilkan kecekapan kerja enjin yang bagus. Haba lebih daripada radiator akan digunakan sebagai pemanas di tempat duduk penumpang seperti juga bas tadi.