

“ Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini dan pada pandangan saya karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Termal –Bendalir) ”

Tandatangan : 

Nama Penyelia I : **EN. SHAMSUL BAHARI BIN AZRAAI**

Tarikh : 8-5-2007

PEMINDAHAN HABA DALAM TIUB BANK

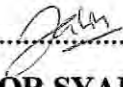
NOR SYAKINAR BINTI YAACOB

**Laporan ini diserahkan kepada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal sebagai
memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda
Kejuruteraan Mekanikal
Termal Bendalir**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

[MAY 2007]

Saya akui bahawa karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

Tandatangan : 

Nama Penulis : **NOR SYAKINAR BINTI YAACOB**

Tarikh : 5 MAY 2027

DEDIKASI

Ayahanda dan bonda tersayang,
Yang selalu memberi dorongan dan semangat kepada saya,

Abang dan adik -adik tersayang,

Kawan-kawan,
Yang selalu memberi bantuan dan tunjuk ajar.

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang maha pengasih dan penyayang. Selawat dan salam ke atas Nabi Muhammad s.a.w, seluruh keluarga dan para sahabat baginda.

Alhamdulillah syukur kehadiran Ilahi kerana dengan limpah kurnianya dapat saya menyiapkan laporan tesis yang bertajuk Pemindahan Haba Dalam Tiub Bank. Jutaan terima kasih saya ucapkan untuk penyelia projek saya iaitu Encik Shamsul Bahari bin Azraai di atas bimbingan, nasihat, pandangan dan tunjuk ajar yang diberikan sepanjang tempoh penyelidikan ini dijalankan.

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada keluarga tersayang, rakan-rakan dan sesiapa yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak langsung dalam membantu menjayakan tesis ini. Semoga Allah S.W.T memberkati segala usaha dan bukti yang telah dicurahkan, InsyaAllah.

Wasallam

ABSTRAK

Pemindahan haba di dalam tiub bank adalah pemindahan haba secara olakan paksa. Tiub bank dapat ditemui dalam kebanyakan reka bentuk penukar haba seperti dandang dan penyaman udara. Terdapat berbagai cara yang boleh digunakan untuk mengkaji aliran haba dalam tiub bank. Di antara kaedah-kaedah yang boleh digunakan untuk mengkaji aliran haba dalam tiub bank adalah dengan menggunakan eksperimen dan kaedah simulasi. Kaedah yang digunakan adalah CFD iaitu menggunakan perisian ANSYS CFX. Dua jenis tiub yang dikaji dalam menghasilkan simulasi aliran haba dalam tiub bank ini adalah tiub selari dan berperingkat. Manakala bendalir yang digunakan adalah udara dan air. Hasil daripada kajian simulasi 2-D terhadap pemindahan haba dalam tiub bank untuk kedua-dua susunan tiub bank pada jarak ratio 2.0, mendapati bahawa susunan tiub bank secara berperingkat memberi nilai pemindahan haba yang tinggi untuk aliran udara. Manakala susunan tiub bank secara selari memberi nilai pemindahan haba yang tinggi untuk aliran air. Pemindahan haba dalam tiub bank lebih tinggi dalam aliran air berbanding dalam aliran udara dalam kedua-dua susunan.

ABSTRACT

Heat transfer in a tube bank is a forced convection heat transfer. Heat transfer in flow across tube bank is important in designing of heat exchanger. Heat exchangers are found in numerous industrial applications such as steam generation in a boiler or cooling in the coil of an air conditioner. There are many types of methods that can be used to study heat flow in a tube bank such as an experiment and simulation. For the case of this study, CFD simulation codes ANSYS CFX are used to investigate the heat flow across tube bank. There are two types of arrangement of tube banks, such as in-line and staggered manner and are characterized by the dimensionless transverse and longitudinal pitches. The working fluids used in this study are air and water. Results from the study of 2-D simulation of heat transfer in a tube bank for both arrangements in a pitch ratio 2.0, state that the staggered arrangement gives higher heat transfer rates than in-line arrangement for the air flow while in-line arrangement gives higher heat transfer rates than staggered arrangements when the fluid is water. Heat transfer gives higher rates for water flow in both arrangements.

ISI KANDUNGAN

NO	TAJUK	M/S
BAB SATU : PENGENALAN		1
1.1	PENGENALAN	1
1.2	PEMINDAHAN HABA SECARA OLAKAN	1
1.3	PEMINDAHAN HABA DALAM TIUB BANK	3
1.4	OBJEKTIF PROJEK	5
1.5	SKOP PROJEK	5
1.6	PENYATAAN MASALAH	5
 BAB DUA : KAJIAN ILMIAH		 7
2.1	PENGENALAN	7
2.2	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC	8
	2.2.1 Kelebihan dan kekurangan menggunakan CFD	9
	2.2.2 Keadaan sempadan dalam CFD	10
	2.2.3 Keadaan awal dalam CFD	12
	2.2.4 Ujian Penghalusan Grid	12
2.3	PEMINDAHAN HABA DALAM TIUB BANK	13
2.4	CIRI-CIRI MEDAN TEKANAN DALAM TIUB BANK	14
2.5	PEMBENTUKAN PERSAMAAN	15
2.6	ISIPADU KAWALAN DALAM TIUB BANK	20
	2.6.1 Isipadu kawalan pada keadaan sempadan	20

2.6.2	Isipadu kawalan pada halaju rujukan	21
2.6.3	Isipadu kawalan pada pemindahan haba	22
2.7	PEMBENTUKAN BERANGKA PADA ALIRAN TIDAK TETAP	23
2.7.1	Tiub bank selari	23
2.7.2	Tiub bank berperingkat	25
 BAB TIGA : METODOLOGI		26
3.1	PENGENALAN	26
3.2	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC	26
3.3	LANGKAH-LANGKAH MENGHASILKAN SIMULASI	28
3.3.1	Langkah-Langkah Simulasi Pemindahan Haba dalam Tiub Bank	29
3.3.2	Langkah-Langkah Dalam ANSYS CFX	30
3.4	WORKBENCH	30
3.4.1	Geometri	30
3.4.2	Jejaring	31
3.4.3	Ujian penghalusan grid	32
3.5	PRE-PROCESSOR	33
3.5.1	Jenis simulasi	33
3.5.2	Domain (Bahan yang digunakan)	33
3.5.3	Keadaan sempadan	34
3.6	SOLVER	36
3.7	PRE - POST	37
 BAB EMPAT: KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN		38
4.1	PENGENALAN	38
4.2	HALAJU DAN SUHU PADA TIUB BANK SELARI	38
4.2.1	Aliran Udara	39
4.2.2	Aliran Air	43
4.3	HALAJU DAN SUHU PADA TIUB BANK BERPERINGKAT	47

4.3.1	Aliran Udara	47
4.3.2	Aliran Air	51
4.4	PERBANDINGAN DI ANTARA TIUB BANK SELARI DAN BERPERINGKAT	55
4.4.1	Aliran Udara	55
4.4.1.1	Pemindahan haba untuk aliran udara	56
4.4.1.2	Nombor Nusselt untuk aliran udara	57
4.4.2	Aliran Air	58
4.4.2.1	Pemindahan haba untuk aliran air	59
4.4.2.2	Nombor Nusselt untuk aliran air	60
4.4.3	Aliran Udara Dan Air	61
4.4.3.1	Pemindahan haba untuk aliran udara dan air	61
4.4.3.2	Nombor Nusselt untuk aliran udara dan air	62
4.5	HALAJU VEKTOR DAN GARIS ARUS	63
4.5.1	Tiub Bank Selari	63
4.5.2	Tiub Bank Berperingkat	68
	BAB LIMA: KESIMPULAN DAN CADANGAN	73
5.1	PENGENALAN	73
5.2	KESIMPULAN	73
5.3	CADANGAN	74
	RUJUKAN	76
	LAMPIRAN	81

SENARAI JADUAL

NO	TAJUK	M/S
Jadual 3.1	Model domain	34
Jadual 3.2	Data untuk keadaan sempadan pada sempadan masukan	35
Jadual 3.3	Data untuk keadaan sempadan pada sempadan keluar	35
Jadual 3.4	Data untuk keadaan sempadan pada tiub	35

SENARAI RAJAH

NO	TAJUK	M/S
Rajah 1.1	Bendalir mengalir di dalam tiub pada aliran laminar	3
Rajah 1.2	Bendalir mengalir di dalam tiub pada aliran gelora	3
Rajah 1.3	Kes pertama pada tiub bank selari	6
Rajah1.4	Kes kedua pada tiub bank berperingkat	6
Rajah 2.1	Simulasi 2-D pada tiub tunggal pada $Re = 100$	8
Rajah 2.2	Simulasi 2-D pada tiub bank pada $Re = 665$	9
Rajah 2.3	Preskripsi keadaan sempadan untuk tiub bank secara selari dan berperingkat	10
Rajah 2.4	Pemerhatian mengenai lapisan sempadan pada $\lambda = 1.5$	11
Rajah 2.5	Pemerhatian mengenai lapisan sempadan pada $\lambda = 2.0$	11
Rajah 2.6	Domain dan jejaring pada tiub bank secara berperingkat	12
Rajah 2.7	Susunan tiub bank	13
Rajah 2.8	Aliran di dalam tiub bank; paksi, melintang dan condong	13
Rajah 2.9	Isipadu kawalan untuk ramalan pemindahan haba dari tiub bank	21
Rajah 2.10	Halaju vektor pada $Re = 300$, tiub bank selari	24
Rajah 2.11	Garis arus untuk $Re = 300$, tiub bank selari	24
Rajah 2.12	Halaju vektor pada $Re = 300$, tiub bank berperingkat	25
Rajah 2.13	Garis arus untuk $Re = 300$, tiub bank berperingkat	25
Rajah 3.1	Carta alir mengenai langkah-langkah dalam menghasilkan simulasi CFD	28
Rajah 3.2	Carta alir dalam menghasilkan simulasi pemindahan haba dalam tiub bank	29

Rajah 3.3	Tiub Bank Selari	31
Rajah 3.4	Tiub Bank Berperingkat	31
Rajah 3.5	Jejaring Pada Tiub Bank Berperingkat	31
Rajah 3.6	Jejaring Pada Tiub Bank Selari	32
Rajah 3.7	Keadaan Sempadan tiub bank selari	35
Rajah 3.8	Keadaan Sempadan tiub bank berperingkat	35
Rajah 4.1	Kontur halaju untuk tiub bank selari pada aliran udara	41
Rajah 4.2	Kontur suhu untuk tiub bank selari pada aliran udara	42
Rajah 4.3	Kontur halaju untuk tiub bank selari pada aliran air	45
Rajah 4.4	Kontur suhu untuk tiub bank selari pada aliran air	46
Rajah 4.5	Kontur halaju untuk tiub bank berperingkat pada aliran udara	49
Rajah 4.6	Kontur suhu untuk tiub bank berperingkat pada aliran udara	50
Rajah 4.7	Kontur halaju untuk tiub bank berperingkat pada aliran air	53
Rajah 4.8	Kontur suhu untuk tiub bank berperingkat pada aliran air	54
Rajah 4.9	Jumlah pemindahan haba untuk aliran udara	56
Rajah 4.10	Nombor Nusselt pada aliran udara	57
Rajah 4.11	Jumlah pemindahan haba untuk aliran air	59
Rajah 4.12	Nombor Nusselt untuk aliran air	60
Rajah 4.13	Pemindahan haba untuk aliran udara dan air	61
Rajah 4.14	Perbandingan nombor Nusselt untuk kedua-dua aliran dan susunan	62
Rajah 4.15	Halaju vektor untuk tiub bank selari pada aliran udara	64
Rajah 4.16	Garis Arus untuk tiub bank selari pada aliran udara	65
Rajah 4.17	Halaju vektor untuk tiub bank selari pada aliran air	66
Rajah 4.18	Garis Arus untuk tiub bank selari pada aliran air	67
Rajah 4.19	Halaju vektor untuk tiub bank berperingkat pada aliran udara	69
Rajah 4.20	Garis Arus untuk tiub bank berperingkat pada aliran udara	70
Rajah 4.21	Halaju vektor untuk tiub bank berperingkat pada aliran air	71
Rajah 4.22	Garis Arus untuk tiub bank berperingkat pada aliran air	72

SENARAI SIMBOL

Q	Pemindahan haba, W
h	Pekali pemindahan haba, $W/m^2.K$
A	Luas tiub, m
D	Diameter tiub, m
T_{∞}	Suhu bendalir, $^{\circ}C$
T_w	Suhu permukaan, $^{\circ}C$
ΔT	Perubahan suhu, $^{\circ}C$
ρ	Ketumpatan, kg/m^3
p	Tekanan
Nu_D	Nombor Nusselt berdasarkan diameter tiub
Pr	Nombor Prandtl
Re_D	Nombor Reynolds berdasarkan diameter tiub
S_D	Jarak pepenjuru, m
S_L	Jarak membujur, m
S_T	Jarak melintang, m
S_L	Jarak membujur yang tidak mempunyai unit $\cong S_L/D$
S_T	Jarak melintang yang tidak mempunyai unit $\cong S_T/D$
N	Jumlah tiub
k	Keberaliran haba, $W/m.K$
CV	Isipadu kawalan
C_p	Haba tentu bendalir, $J/kg.K$
F_a	Faktor susunan
F	Parameter
C	Pekali
ΔT_m	Perbezaan suhu min log, $^{\circ}C$

T_a	Suhu Ambient
U_{app}	Halaju penghampiran, m/s
U_{max}	Halaju maksimum, m/s
T_o	Suhu keluar, °C
ν	Kelikatan kinematik, m^2/s
μ	Kelikatan dinamik, kg/m.s
N_L	Jumlah tiub pada arah membujur
N_T	Jumlah tiub pada arah melintang

SENARAI SINGKATAN

CFD	Computational Fluid Dynamic
2-D	Dua dimensi
Re	Nombor Reynolds

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	M/S
A	Jadual Untuk $N_1 \leq 10$ Untuk Tiub Bank Selari dan Berperingkat	81
B	Data Untuk Tiub Bank Selari Dan Berperingkat	82
C	Kontur Tekanan Untuk Tiub Bank Selari Dan Berperingkat	84

BAB 1

PENGENALAN

1.1 PENGENALAN

Pemindahan haba boleh mengalir melalui tiga proses, iaitu pengaliran, sinaran, dan olakan. Pada asasnya mekanisma pemindahan haba secara pengaliran dan sinaran terjadi di dalam pepejal dan bendalir. Pemindahan haba oleh pengaliran dan juga sinaran dan permukaan pepejal ke bendalir dinamakan proses pemindahan haba olakan. Contoh setiap proses pemindahan haba di atas dapat diperhatikan di sekeliling kita. Proses pemindahan haba secara olakan merupakan satu proses pemindahan haba yang rumit.

1.2 PEMINDAHAN HABA SECARA OLAKAN

Proses pemindahan haba olakan pada asasnya merupakan satu fenomena permukaan. Permukaan boleh merupakan permukaan dalam, seperti dinding bahagian dalam paip atau saluran, atau permukaan luar suatu jasad tertentu. Dalam pada itu, keadaan permukaan juga penting. Malah, hasil kajian menunjukkan bahawa kedudukan permukaan itu juga turut mempengaruhi proses pemindahan haba secara olakan. Sebagai contoh, jumlah haba yang disasarkan dan sekeping plat yang diletakkan secara menegak berbeza dengan jumlah haba yang disasarkan seandainya

plat tadi diletakkan condong pada suatu sudut β tertentu atau sekiranya plat tadi diletakkan secara mengufuk.

Akan tetapi, jika diteliti dengan lebih mendalam lagi, akan didapati bahawa proses olakan itu tidak ubah seperti proses pengaliran juga. Yang berbeza, dalam kes olakan itu molekul dan atom lebih bebas gerakannya. Dalam proses olakan, pemindahan jisim dan momentum serta pemindahan haba terjadi serentak, sementara dalam proses pengaliran jisim bahan langsung tidak bergerak. Di sebabkan dalam proses olakan bendalir di persekitaran menjadi agen pengangkut haba, maka magnitud halaju bendalir yang meliputi permukaan amat mempengaruhi jumlah haba yang disesarkan.

Pemindahan haba secara olakan berlaku apabila satu plat besi atau objek panas disejukkan dengan cepat apabila diletakkan di hadapan kipas daripada didedahkan kepada udara. Proses ini dinamakan pemindahan haba secara olakan. Di antara contoh-contoh pemindahan haba secara olakan adalah pemindahan haba pada sfera dan silinder, pemindahan haba pada tiub bank, pemindahan haba dalam paip dan banyak lagi.

Pemindahan haba secara olakan mengambil kira akan perubahan tenaga thermal di antara permukaan pepejal atau cecair dan bendalir samada ia tersejat dengan cepat ke permukaan atau tidak. Jika suhu sesuatu permukaan T_s dan suhu bendalir T_∞ lebih rendah daripada suhu permukaan maka;

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1.1)$$

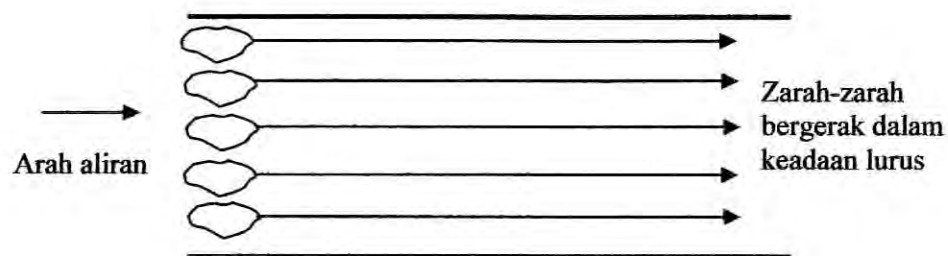
Persamaan ini dinamakan Hukum Newton penyejukan kerana permukaan ini disejukkan dengan menggunakan bendalir. Jika bendalir itu dalam keadaan panas dan memanaskan permukaan yang sejuk, maka;

$$Q = hA(T_\infty - T_s) \quad (1.2)$$

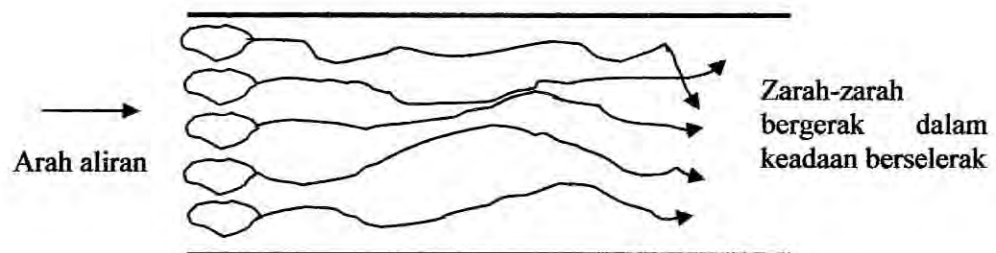
Maka, persamaan ini dinamakan Hukum Newton pemanasan. Secara umumnya, Hukum Newton ditulis seperti;

$$Q = hA(\Delta T) \quad (1.3)$$

Terdapat dua jenis pergerakan zarah-zarah yang berlaku dalam pemindahan haba secara olakan iaitu aliran laminar dan aliran gelora.



Rajah 1.1: Bendalir mengalir di dalam tiub pada aliran laminar



Rajah 1.2: Bendalir mengalir di dalam tiub pada aliran gelora

1.3 PEMINDAHAN HABA DI DALAM TIUB BANK

Pemindahan haba di dalam aliran merentasi tiub bank merupakan salah satu daripada keperluan yang penting terutamanya dalam mereka bentuk penukar haba. Penukar haba banyak digunakan di dalam industri seperti stim di dalam dandang atau penyejukan udara melalui koil di dalam penyaman udara. Tiub bank selalunya

direka secara selari atau berperingkat. Ciri-ciri yang biasa terdapat pada tiub bank adalah seperti melintang, membujur, dan pepenjuru. Kebiasaannya, satu bendalir melalui satu tiub, sementara satu bendalir yang lain pada suhu yang berbeza, dipindahkan menerusi tiub.

Untuk itu, maklumat baru mengenai hidrodinamik di dalam tiub bank adalah perlu untuk mereka bentuk dan memperbaharui kelengkapan yang baru. Umumnya, jumlah yang besar bagi keputusan eksperimen yang telah dikaji melalui kajian-kajian peningkatan terhadap teknik eksperimen dapat meningkatkan thermal dan hidrodinamik dalam tiub bank. Ia juga menerangkan mengenai ciri-ciri aliran dan kesannya kepada dinding dalam tiub bank, di mana apabila simulasi pusaran diaplikasikan ia akan menunjukkan satu teknik yang meyakinkan dan keputusan eksperimen akan menunjukkan ianya perlu untuk pembaharuan dan pengesahan daripada kaedah atau model berangka yang baru.

Aliran bendalir yang melalui tiub bank mempunyai pengaruh yang kuat terhadap tiub yang bersebelahan dengannya. Pada jarak yang sempit di antara dua tiub dalam satu baris, tekanan yang kuat akan mengakibatkan kesan dan pengaruh tidak hanya tertumpu kepada aliran di dalam satu kawasan yang sama sahaja, tetapi ia juga akan mempengaruhi tiub-tiub yang bersebelahan dengannya. Penukar haba juga dipengaruhi oleh lapisan kelikatan yang bersebelahan dengan dinding di mana haba dipindahkan melalui pengaliran. Perubahan halaju dalam lapisan kelikatan akan terjadi dalam aliran di bawah kesan daripada pusaran yang besar. Oleh itu, untuk meningkatkan nisbah penukar haba, lapisan kelikatan mestilah dikurangkan manakala aliran bergelora mesti ditingkatkan.

Akhir sekali, pemerhatian mengenai pemindahan haba mestilah berkait rapat di antara aliran cecair di seluruh permukaan pepejal atau bahan struktur dan getaran yang dirangsang oleh aliran di dalam struktur. Perbezaan daripada aspek nisbah dalam tiub bank, di mana beban dinamik adalah berkaitan dengan proses *vortex shedding*, aliran gelombang di dalam tiub bank dengan aspek nisbah yang kecil adalah dicirikan sebagai aliran gelora yang luas tanpa dikenali sebagai frekuensi *shedding*.

1.4 OBJEKTIF PROJEK

Objektif utama projek ini adalah untuk menentukan secara berangka aliran haba dan bendalir dalam keadaan tiub yang direka secara selari atau berperingkat dengan menggunakan kaedah simulasi CFD.

Untuk kaedah simulasi CFD ini, perisian Ansys CFX digunakan untuk menentukan simulasi aliran haba menerusi silinder panas, aliran angin atau air melalui tata susunan tiub panas secara selari dan berperingkat dan juga menganalisa halaju, tekanan dan suhu di sekitar tiub.

1.5 SKOP PROJEK

Kajian terhadap pemindahan haba dalam tiub bank ini merangkumi simulasi aliran haba melalui silinder panas, mereka bentuk geometri tiub bank selari dan berperingkat, simulasi aliran udara yang melalui tiub bank selari dan berperingkat yang panas serta analisis halaju, tekanan dan profil suhu di sekeliling tiub.

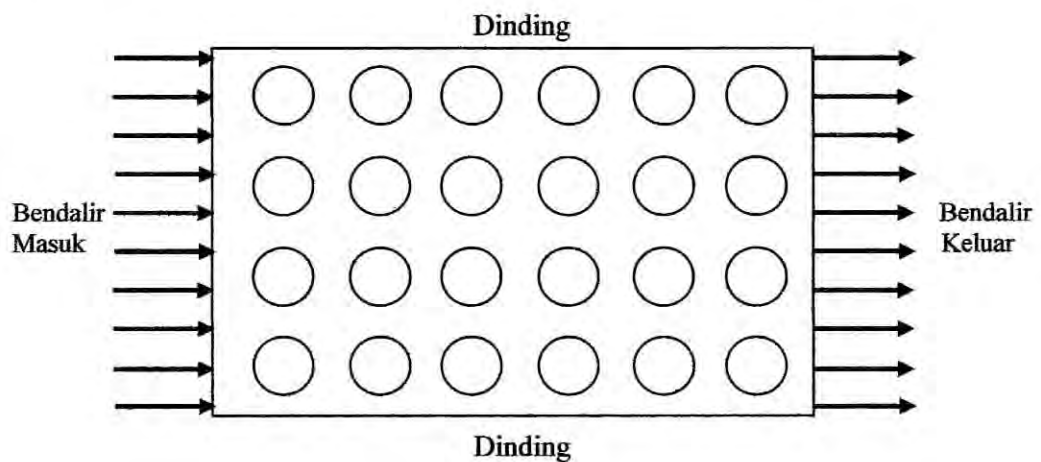
1.6 PENYATAAN MASALAH

Terdapat dua kes dalam kajian pemindahan haba dalam tiub bank ini, iaitu tiub bank selari dan berperingkat. Kedua-dua kes ini menggunakan aliran laminar dan aliran gelora manakala bendalir yang digunakan untuk proses pemindahan haba dalam tiub bank ini adalah udara dan air.

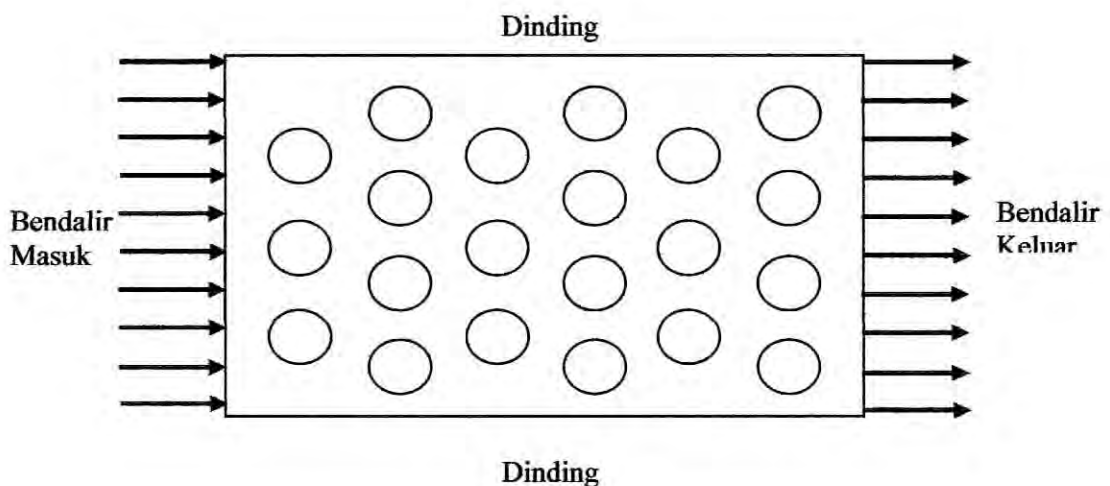
Kes pertama dan kedua seperti dalam Rajah 1.3 dan 1.4 menunjukkan penyusunan tiub bank selari yang biasa dapat dijumpai dalam mereka bentuk penukar haba. Dengan menggunakan halaju-halaju yang tertentu, nilai Reynolds dapat ditentukan dan ini sekaligus dapat menentukan samada aliran yang terhasil daripada

pemindahan haba dalam tiub bank adalah dalam keadaan laminar atau bergelora. Nombor Reynolds dan pemindahan haba untuk kes kajian ini adalah bergantung kepada diameter tiub, halaju bendalir serta suhu bendalir masuk dan suhu permukaan tiub.

Halaju yang berbeza digunakan untuk proses pemindahan melalui udara dan air. Maka, daripada kes ini, kita boleh mendapati perbezaan proses pemindahan haba dalam tiub bank di antara air dan udara. Selain daripada itu, julat halaju untuk kedua-dua kes ini adalah 6m/s hingga 18 m/s.



Rajah 1.3 : Kes pertama pada tiub bank selari



Rajah 1.4 : Kes kedua pada tiub bank berperingkat

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 PENGENALAN

Banyak penyelidikan dalam bidang pemindahan haba pada masa kini ditumpukan kepada pemindahan haba secara olakan. Menurut White 1984, hampir 70% kajian dalam bidang pemindahan haba melibatkan masalah olakan. Malah, berbagai-bagai aspek pemindahan haba secara olakan kini sedang dikaji dengan teliti, sama ada secara uji kaji, analitik, mahupun secara berangka.

Hasil kaji selidik kajian tentang jumlah buku yang membahaskan proses pemindahan haba secara olakan menunjukkan bahawa kebanyakan buku pemindahan haba secara olakan hanya ditulis dalam tahun lapan puluhan. Buku paling tua yang membahaskan proses olakan secara menyeluruh telah ditulis oleh Kays dan Crowford, 1980. Setelah itu, barulah muncul buku yang ditulis oleh Kakac dan Yener 1980, Burmeister 1983, Bejan 1984, dan Arpaci dan Larsen 1984. Yang jelas, proses pemindahan haba secara olakan merupakan satu bidang kajian yang amat rumit sehingga banyak masalah tentang olakan sukar ditanggapi secara analitik.

Kebanyakan hasil pekali pemindahan haba olakan yang digunakan dalam kerja reka bentuk itu diraih secara langsung daripada kajian secara uji kaji. Namun demikian, dengan adanya mesin komputer berkelajuan tinggi banyak kemajuan telah dicapai sehingga masalah olakan yang dahulu tidak dapat diselesaikan kini telah dapat diselesaikan secara biasa. Walau bagaimanapun penyelesaian berangka