

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS
SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA
TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR***



MUHAMMAD CHRISSANDY FAHZY

03051181722008

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

MUHAMMAD CHRISSANDY FAHZY

03051181722008

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS
SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA
TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR***

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD CHRISSANDY FAHZY
03051181722008



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin,

Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Palembang, Desember 2021

Pembimbing Skripsi,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA
NIP. 195701181985031004

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD CHRISSANDY FAHZY
NIM : 03051181722008
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS
SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA
TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR*
DIBUAT TANGGAL : SEPTEMBER 2020
SELESAI TANGGAL : DESEMBER 2021



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Palembang, Desember 2021
Diperiksa dan disetujui oleh:
Pembimbing Skripsi,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA
NIP. 195701181985031004

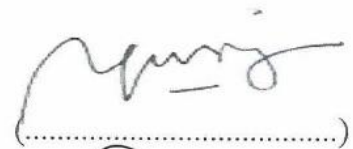
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “**STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR***” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 November 2021.

Palembang, Desember 2021
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

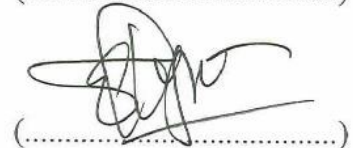
1. Ir. Hj. Marwani, M.T.
NIP. 196503221991022001



(.....)

Sekretaris:

2. Ellyanie, S.T., M.T.
NIP. 196905011994122001



(.....)

Penguji:

3. Astuti, S.T., M.T.
NIP. 197210081998022001



(.....)



Ketua Jurusan Teknik Mesin,
Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Pembimbing Skripsi,



Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA
NIP. 195701181985031004

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Chrissandy Fahzy

NIM : 03051181722008

Judul : Studi Eksperimental Perpindahan Panas secara Konveksi Paksa pada
Pipa Tembaga Berbentuk *Circular*

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2021



Muhammad Chrissandy Fahzy
NIM. 03051181722008

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Chrissandy Fahzy

NIM : 03051181722008

Judul : Studi Eksperimental Perpindahan Panas secara Konveksi Paksa pada
Pipa Tembaga Berbentuk *Circular*

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2021



Muhammad Chrissandy Fahzy
NIM. 03051181722008

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Eksperimental Perpindahan Panas secara Konveksi Paksa pada Pipa Tembaga Berbentuk *Circular*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada banyak pihak yang telah memberi bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dalam segala hal dan kesempatan untuk dapat menyelesaikan skripsi.
2. Papa Alm. dan Mama tercinta yang selalu mendoakan serta memberikan perhatian, dukungan, dan materi sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana.
3. Kakak tersayang Mbak Widya dan Mbak Putri yang selalu memberikan semangat dan perhatian.
4. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya beserta jajaran.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan arahan, motivasi, masukan yang bersifat membangun, meluangkan waktu, serta selalu sabar kepada penulis agar semangat dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Gunawan, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, saran, dan masukan selama penulis melaksanakan studi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, dan Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
8. Teman seperjuangan saya Kamilah Widelia yang selalu memberikan semangat, mendengarkan keluh kesah, membersamai di saat suka maupun duka, dan menjadi teman diskusi dalam hal apapun.

9. Sahabat satu SMP (Dududu Squad), sahabat satu SMA (AADC), dan Boi (Dody dan Daru) yang selalu memberikan semangat, mendengarkan cerita, dan mengingatkan dalam kebaikan.
10. Teman-teman satu perjuangan BEM KM FT Unsri, HMM FT Unsri, dan Duta GenRe Sumsel yang telah memberikan warna selama masa perkuliahan dan selalu memberikan dukungan untuk tetap semangat menebar kebermanfaat.
11. Teman-teman, kakak-kakak, adik-adik, dan Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Mesin FT Unsri yang banyak membantu selama masa perkuliahan dan memberikan masukan yang membangun untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi.
12. Staf Jurusan Teknik Mesin FT Unsri yang telah membantu dalam kelengkapan berkas-berkas selama perkuliahan hingga skripsi.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan dan kelengkapan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Palembang, Desember 2021

Penulis

RINGKASAN

STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA TEMBAGA BERBENTUK *CIRCULAR*

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi, 30 November 2021

Muhammad Chrissandy Fahzy; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA

EXPERIMENTAL STUDY OF FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER ON COPPER PIPE WITH CIRCULAR CHANNEL

xxx + 58 Halaman, 7 Tabel, 28 Gambar, 6 Lampiran

RINGKASAN

Dalam aktivitas industri, perpindahan energi panas dari satu daerah ke daerah lainnya sering terjadi. Alat yang biasa digunakan untuk memindahkan panas ini adalah alat penukar kalor, seperti *double pipe heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger* dan sebagainya. Alat penukar kalor dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas yang terjadi berlangsung secara efektif. Hingga kini perpindahan panas dengan alat penukar kalor menggunakan pipa atau *tube* berbahan tembaga dengan penampang berbentuk *circular* (bulat) masih digunakan dalam industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju perpindahan panas, koefisien konveksi, dan *Nusselt Number* terhadap perubahan debit aliran untuk tiap jenis diameter dalam pipa pada *heat flux* konstan dan aliran dalam *entry length region*. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental terhadap pipa tembaga horizontal sepanjang 1 m yang dialirkan air biasa dengan variasi debit aliran 20-160 l/h untuk tiap jenis diameter dalam pipa, yaitu 9,5 mm; 12,7 mm; dan 15,88 mm. Permukaan pipa dipanaskan listrik dengan tegangan AC 110 V. Hasil penelitian menunjukkan perubahan debit aliran dan diameter memberikan pengaruh terhadap peningkatan laju perpindahan panas, koefisien konveksi, dan *Nusselt number*. Laju perpindahan panas mengalami peningkatan di setiap jenis diameter pipa. Pada tiap jenis diameter pipa ini terjadi perbedaan nilai laju perpindahan panas yang sangat kecil sehingga secara keseluruhan perbandingan laju perpindahan panas dari masing-masing jenis diameter pipa memiliki tren peningkatan dan nilai yang relatif hampir sama karena nilai ini dipengaruhi oleh besarnya laju aliran massa. Nilai laju perpindahan panas maksimum yang diperoleh pipa diameter 9,5 mm adalah 451,694 J/s. Sedangkan nilai maksimum yang diperoleh pipa diameter 12,7 mm adalah 424,160 J/s, serta nilai maksimum pada pipa diameter 15,88 mm adalah 449,419 J/s. Laju perpindahan panas akan semakin meningkat seiring bertambahnya debit aliran di setiap jenis diameter pipa. Peningkatan debit aliran ini disebabkan oleh perubahan kecepatan aliran karena semakin besar kecepatan aliran

maka laju perpindahan panas juga semakin besar. Koefisien konveksi meningkat seiring bertambahnya diameter pipa. Pada saat *Reynolds number* 1000 hingga 5000, nilai koefisien konveksi maksimum yang diperoleh pipa diameter 15,88 mm adalah 708,113 W/m².K. Sedangkan nilai maksimum yang diperoleh pipa diameter 12,7 mm adalah 588,712 W/m².K, serta nilai maksimum pada pipa diameter 9,5 mm adalah 497,563 W/m².K. *Nusselt number* meningkat seiring bertambahnya diameter pipa. *Nusselt number* memiliki tren peningkatan yang relatif sama dengan koefisien konveksi karena besarnya nilai ini dipengaruhi oleh nilai koefisien konveksi. Pada saat *Reynolds number* 1000 hingga 5000, nilai *Nusselt number* maksimum yang diperoleh pipa diameter 15,88 mm adalah 18,010. Sedangkan nilai maksimum yang diperoleh pipa diameter 12,7 mm adalah 11,884, serta nilai maksimum pada pipa diameter 9,5 mm adalah 7,475. Koefisien konveksi dan *Nusselt number* akan semakin meningkat seiring bertambahnya *Reynolds number* di setiap jenis diameter pipa. Peningkatan koefisien konveksi dan *Nusselt number* rendah pada kondisi aliran laminar dan akan semakin jelas dan signifikan memasuki kondisi aliran turbulen. Berdasarkan perbandingan nilai koefisien konveksi dan *Nusselt number* terhadap kondisi aliran, pipa diameter 15,88 mm memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan jenis diameter pipa lainnya sehingga semakin besar debit aliran dan diameter dalam pipa, maka semakin efektif perpindahan panas yang terjadi.

Kata Kunci: Debit Aliran, Diameter Pipa, *Heat Flux* Konstan, *Entry Length Region*, Koefisien Konveksi, *Nusselt Number*

SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY OF FORCED CONVECTION HEAT TRANSFER ON COPPER PIPE WITH CIRCULAR CHANNEL

Scientific Writing of Thesis, November 30th, 2021

Muhammad Chrissandy Fahzy; Guided by Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi Sahim, DEA

STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS SECARA KONVEKSI PAKSA PADA PIPA TEMBAGA BERBENTUK CIRCULAR

xxx + 58 Pages, 7 Tables, 28 Pictures , 6 Appendices

SUMMARY

In industrial activities, thermal energy is frequently transferred from one place to another. The tools commonly used to transfer this heat are heat exchangers, such as double pipe heat exchangers, shell and tube heat exchangers and so on. The heat exchanger is designed as much as possible so that the heat transfer that occurs takes place effectively. Until now, heat transfer with heat exchangers using copper pipes or tubes with a circular cross section is still used in industry. This study aims to analyze the heat transfer rate, convection coefficient, and Nusselt number to changes in flow rate for each type of pipe diameter at constant heat flux and flow in the entry length region. The research was conducted using an experimental method on a 1 m long horizontal copper pipe that was fed with ordinary water with a flow rate variation of 20-160 l/h for each type of pipe inner diameter, namely 9,5 mm; 12,7 mm; and 15,88 mm. The surface of the pipe is electrically heated with an AC voltage of 110 V. The results showed that changes in flow rate and diameter had an effect on increasing the heat transfer rate, convection coefficient, and Nusselt number. The rate of heat transfer rises with pipe diameter. There is a very small difference in the value of the heat transfer rate for each type of pipe diameter, so the overall ratio of the heat transfer rates for each type of pipe diameter has an increasing trend and the value is almost the same because the magnitude of the mass flow rate influences this value. The maximum heat transfer rate obtained by a 9,5 mm diameter pipe is 451,694 J/s. While the maximum value obtained for a pipe with a diameter of 12,7 mm is 424,160 J/s, and the maximum value for a pipe with a diameter of 15,88 mm is 449,419 J/s. The heat transfer rate will increase as the flow rate increases in each type of pipe diameter. This increase in flow rate is caused by changes in flow velocity because the greater the flow velocity, the greater the heat transfer rate. The convection coefficient increases as the pipe diameter increases. When the Reynolds number is 1000 to 5000, the maximum convection coefficient obtained by a 15,88 mm diameter pipe is 708,113 W/m².K. While the maximum value obtained for a pipe with a diameter of 12,7 mm is 588,712 W/m².K, and the maximum value for a pipe with a diameter of 9,5 mm is 497,563 W/m².K. The Nusselt number increases as the pipe diameter increases. The Nusselt number has an increasing trend which is relatively the same as the convection coefficient

because the magnitude of this value is influenced by the convection coefficient value. When the Reynolds number is 1000 to 5000, the maximum Nusselt number value obtained for a 15,88 mm diameter pipe is 18,010. While the maximum value obtained for a pipe with a diameter of 12,7 mm is 11,884, and the maximum value for a pipe with a diameter of 9,5 mm is 7,475. The convection coefficient and Nusselt number will increase as the Reynolds number increases for each type of pipe diameter. The increase in convection coefficient and Nusselt number is low in laminar flow conditions and will be more obvious and significant when entering turbulent flow conditions. Based on the comparison of the value of the convection coefficient and Nusselt number to the flow conditions, the 15,88 mm diameter pipe has a greater value than other types of pipe diameter, so that the greater the flow rate and the inner diameter of the pipe, the more effective heat transfer occurs.

Keywords: Flow Rate, Diameter of Pipe, Constant Heat Flux, Entry Length Region, Convection Coefficient, Nusselt Number

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN AGENDA.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
RINGKASAN	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxv
DAFTAR GAMBAR	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perpindahan Panas Konveksi	5
2.1.1 <i>Nusselt Number</i>	6
2.1.2 <i>Prandtl Number</i>	7
2.1.3 <i>Reynolds Number</i>	8
2.2 Konveksi Paksa Internal Saluran	8
2.2.1 Kecepatan dan Temperatur Rata-Rata	8
2.2.2 Aliran di dalam Pipa <i>Circular</i>	11

	Halaman
2.2.3 Analisis Termal Umum	11
2.2.4 Perpindahan Panas dengan <i>Heat Flux</i> Konstan.....	12
2.2.5 Aliran Laminar di dalam Pipa	13
2.2.6 Aliran Turbulen di dalam Pipa	14
2.2.7 <i>Nusselt Number</i> Lokal dan Rata-Rata	15
2.3 Konveksi Paksa Internal pada Pipa <i>Circular</i>	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian.....	19
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.3 Deskripsi Alat dan Bahan.....	20
3.3.1 Pompa Sentrifugal	20
3.3.2 Selang Karet	21
3.3.3 <i>Flowrate Rotameter</i>	21
3.3.4 Pipa Uji.....	22
3.3.5 <i>Nichrome Coil Electric Heater</i>	22
3.3.6 Transformator.....	23
3.3.7 <i>Cooling Tower</i>	23
3.3.8 Isolasi Panas	24
3.3.9 Termokopel.....	25
3.3.10 Multimeter	25
3.4 Geometri Pipa.....	26
3.5 Skema Perangkat Uji	26
3.6 Prosedur Pengujian.....	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Data Hasil Pengujian	29
4.2 Analisis Perhitungan Data Uji	31
4.2.1 Luas Penampang Pipa.....	31
4.2.2 Debit Aliran	32
4.2.3 Temperatur Air Rata-Rata	32

	Halaman
4.2.4 Beda Temperatur Air	32
4.2.5 Massa Jenis Air	32
4.2.6 Kalor Spesifik Air	33
4.2.7 Viskositas Kinematik	33
4.2.8 Temperatur Permukaan Luar Pipa Rata-Rata	34
4.2.9 Kecepatan Aliran.....	34
4.2.10 <i>Reynolds Number</i>	35
4.2.11 Konduktivitas Termal	35
4.2.12 Daya Pemanas Listrik	35
4.2.13 Laju Perpindahan Panas	36
4.2.14 Temperatur Permukaan Dalam Pipa Rata-Rata	36
4.2.15 Koefisien Konveksi.....	37
4.2.16 <i>Nusselt Number</i>	37
4.3 Grafik Hasil Pengolahan Data.....	41
4.3.1 Grafik Beda Temperatur Air terhadap <i>Reynolds Number</i>	41
4.3.2 Grafik Temperatur Permukaan Luar Pipa Rata-Rata terhadap <i>Reynolds Number</i>	42
4.3.3 Grafik Laju Perpindahan Panas terhadap Debit Aliran.....	43
4.3.4 Grafik Koefisien Konveksi terhadap <i>Reynolds Number</i>	44
4.3.5 Grafik <i>Nusselt Number</i> terhadap <i>Reynolds Number</i>	45
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	 47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
 DAFTAR PUSTAKA	 49
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Nusselt Number</i> dan Faktor Gesekan untuk Aliran Laminar Berkembang Penuh dalam Pipa dengan Penampang <i>Circular</i>	14
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian pada Pipa Diameter 9,5 mm	29
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian pada Pipa Diameter 12,7 mm	30
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian pada Pipa Diameter 15,88 mm	31
Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan pada Pipa Diameter 9,5 mm	38
Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan pada Pipa Diameter 12,7 mm	39
Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan pada Pipa Diameter 15,88 mm	40

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Perpindahan Panas dari Permukaan Panas ke Fluida Sekitarnya melalui Konveksi dan Konduksi	5
Gambar 2.2	Fluida yang Mengalir di atas Permukaan Stasioner Berhenti Total di Permukaan karena Kondisi Tanpa Slip	6
Gambar 2.3	Perpindahan Panas Melalui Lapisan Fluida dengan Ketebalan L dan Perbedaan Temperatur ΔT	7
Gambar 2.4	Kecepatan Rata-Rata adalah Setengah dari Kecepatan Maksimum pada Pipa Aliran Laminar Berkembang Penuh	9
Gambar 2.5	Kondisi Aliran di Dinding Pipa Akibat Gesekan	9
Gambar 2.6	Profil Temperatur Aktual dan Ideal untuk Aliran di dalam Pipa	10
Gambar 2.7	Pipa <i>Circular</i>	11
Gambar 2.8	Perpindahan Panas pada Fluida yang Mengalir dalam Pipa sama dengan Peningkatan Energi Fluida.....	12
Gambar 2.9	Variasi Permukaan Pipa dan Temperatur Fluida Rata-Rata Sepanjang Pipa pada Kondisi <i>Heat Flux</i> Konstan	13
Gambar 2.10	Contoh Grafik Perbandingan Koefisien Perpindahan Panas dan <i>Nusselt Number</i> Terhadap <i>Reynolds Number</i> pada Pipa <i>Circular</i>	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2	Pompa Sentrifugal dan <i>Voltage Regulator</i>	20
Gambar 3.3	Selang Karet	21
Gambar 3.4	<i>Flowrate Rotameter</i>	22
Gambar 3.5	Pipa Uji.....	22
Gambar 3.6	<i>Nichrome Coil Electric Heater</i>	23
Gambar 3.7	Transformator	23
Gambar 3.8	<i>Cooling Tower</i>	24
Gambar 3.9	Isolasi Panas	24
Gambar 3.10	Termokopel.....	25
Gambar 3.11	Multimeter	25
Gambar 3.12	Geometri Pipa.....	26
Gambar 3.13	Skema Perangkat Uji	26

	Halaman
Gambar 4.1 Grafik Beda Temperatur Air Rata-Rata terhadap <i>Reynolds Number</i>	41
Gambar 4.2 Grafik Temperatur Permukaan Luar Pipa Rata-Rata terhadap <i>Reynolds Number</i>	42
Gambar 4.3 Grafik Laju Perpindahan Panas terhadap Debit Aliran.....	43
Gambar 4.4 Grafik Koefisien Konveksi terhadap <i>Reynolds Number</i>	44
Gambar 4.4 Grafik <i>Nusselt Number</i> terhadap <i>Reynolds Number</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel <i>Properties of Saturated Water</i>	51
Lampiran 2 Tabel <i>Properties of Solid Metals</i>	52
Lampiran 3 Data Hasil Perhitungan Keseluruhan pada Pipa Diameter 9,5 mm	53
Lampiran 4 Data Hasil Perhitungan Keseluruhan pada Pipa Diameter 12,7 mm	54
Lampiran 5 Data Hasil Perhitungan Keseluruhan pada Pipa Diameter 15,88 mm	55
Lampiran 6 Proses Pengambilan Data.....	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam aktivitas industri, perpindahan energi panas dari satu daerah ke daerah lainnya sering terjadi. Untuk menghitung biaya, kelayakan dan besarnya alat yang diperlukan untuk memindahkan panas dalam jumlah dan waktu tertentu, perlu dilakukan analisis perpindahan panas. Analisis ini tidak hanya bergantung pada jumlah panas yang dipindahkan, tetapi juga terkait dengan laju perpindahan panas pada kondisi-kondisi yang ditentukan. Alat yang biasa digunakan untuk memindahkan panas ini adalah alat penukar kalor, seperti *double pipe heat exchanger*, *shell and tube heat exchanger* dan sebagainya. Alat penukar kalor dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas yang terjadi berlangsung secara efektif.

Penggunaan alat penukar kalor biasanya memanfaatkan fluida yang mengalir di dalam pipa atau *tube*. Adanya mekanisme perpindahan energi antara permukaan pipa dan fluida serta aliran yang terjadi disebabkan oleh pompa pada alat penukar kalor menyebabkan proses ini termasuk dalam perpindahan panas konveksi paksa internal. Hingga kini perpindahan panas dengan alat penukar kalor menggunakan pipa berbahan tembaga dengan penampang berbentuk *circular* (bulat) masih digunakan dalam industri. Penggunaan pipa tembaga dikarenakan material ini termasuk konduktor atau media penghantar panas yang baik. Tembaga juga merupakan unsur yang relatif tidak reaktif sehingga tahan terhadap korosi.

Banyak penelitian atau studi melakukan eksperimen untuk mengetahui performansi dari penampang yang digunakan karena laju dan koefisien perpindahan panas konveksi salah satunya didasarkan pada geometri penampang. Pada konveksi paksa yang terjadi di dalam pipa tembaga horizontal dengan aliran berkembang penuh, variasi diameter pipa memiliki pengaruh terhadap peningkatan perpindahan panas. *Nusselt number* semakin meningkat dengan bertambahnya diameter pipa, tetapi *Nusselt number* menurun semakin bertambahnya panjang pipa (Aldoori dan Ahmed, 2020). Salah satu parameter besar kecilnya perpindahan panas adalah

bilangan tak berdimensi *Nusselt number*. Semakin besar nilai *Nusselt number*, maka semakin efektif perpindahan panas konveksi yang terjadi.

Kecepatan aliran fluida dan aliran dalam kondisi laminar atau turbulen juga sangat memengaruhi performansi dari perpindahan panas konveksi paksa. Aliran dalam kondisi laminar, atau turbulen dapat dinyatakan dengan bilangan tak berdimensi *Reynolds number*. Pada aliran berkembang penuh, perpindahan panas pada pipa berbentuk *circular* akan meningkat secara linier terhadap *Reynolds number* (Ting dan Hou, 2015).

Dalam banyak studi eksperimental yang dilakukan, perpindahan panas konveksi terjadi dalam kondisi aliran berkembang penuh atau *region fully developed*. Dalam studi literatur juga didapatkan bahwa untuk aliran laminar berkembang penuh dalam kondisi temperatur permukaan dan *heat flux* konstan, nilai *Nusselt number* adalah konstanta atau telah ditetapkan nilainya secara teoritis. Sedangkan perpindahan panas konveksi dalam kondisi aliran *entry length region* terutama pada pipa berdiameter kecil belum banyak dipelajari.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk mempelajari lebih lanjut mengenai studi eksperimental perpindahan panas secara konveksi paksa internal pada pipa tembaga *circular* berdiameter kecil dimana *heat flux* konstan dan kondisi aliran dalam *entry length region*.

1.2 Rumusan Masalah

Sebuah pipa atau *tube* yang terdapat di alat penukar kalor (*heat exchanger*) dirancang untuk memindahkan sejumlah panas tertentu dalam waktu yang ditentukan. Analisis perpindahan panas terkait dengan laju perpindahan panas, koefisien konveksi dan *Nusselt number* dilakukan agar perpindahan panas dapat dikondisikan berlangsung secara efektif. Nilai-nilai ini didasarkan pada sifat fluida, geometri penampang pipa dan kondisi aliran. Untuk mengetahui pengaruh perubahan debit aliran dan diameter pipa terhadap nilai perpindahan panas perlu dilakukan penelitian atau pengujian.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air biasa.
2. Pengujian dilakukan terhadap pipa horizontal dengan penampang saluran *circular* (bulat) sepanjang 1 m dengan jenis diameter dalam 9,5 mm; 12,7 mm; dan 15,88 mm berbahan material tembaga (Cu).
3. Perpindahan panas terjadi dalam kondisi *heat flux* konstan.
4. Pengambilan data pengujian dilakukan pada kondisi aliran *steady*.

1.4 Tujuan Penelitian

Sehubungan dengan permasalahan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis laju perpindahan panas, koefisien konveksi dan *Nusselt Number* terhadap perubahan debit aliran untuk tiap jenis diameter pipa, sehingga dapat diketahui kondisi dimana perpindahan panas yang berlangsung menjadi efektif dalam *heat flux* konstan.
2. Mendapatkan grafik perbandingan laju perpindahan panas terhadap debit aliran, serta koefisien konveksi dan *Nusselt number* terhadap *Reynolds number* untuk tiap jenis diameter pipa.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data hasil penelitian dapat dijadikan pedoman dalam menentukan fluida, geometri penampang pipa, dan kondisi aliran agar suatu proses penerapan perpindahan panas yang dibutuhkan menjadi optimal dan efektif.
2. Grafik yang didapat dari penelitian dapat digunakan sebagai rujukan dalam memilih, mengaplikasikan, dan mengembangkan proses perpindahan panas dengan berbagai penampang khususnya aliran dalam *entry length region*.
3. Menjadi bahan pertimbangan dan kepustakaan bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldoori, Wadhah Hussein dan Ahmed Hasan Ahmed. 2020. *The Effect of Varying Tube Diameters on Enhancement Heat Transfer by Forced Convection Through a Horizontal Tube. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 66(2), 158-167.
- Baragh, Shahram, Hossein Shokouhmand, Seyed Soheil Mousavi Ajarostaghi, dan Mohammad Nikian. 2018. *An Experimental Investigation on Forced Convection Heat Transfer of Single-Phase Flow in a Channel with Different Arrangements of Porous Media. International Journal of Thermal Sciences*, 134(04), 370-379.
- Çengel, Yunus A. dan Afshin J. Ghajar. 2015. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications. McGraw-Hill Education. New York.*
- Qi, Cong, Maoni Liu, Tao Luo, Yuhang Pan, dan Rao Zhonghao. 2018. *Effects of Twisted Tape Structures on Thermo-Hydraulic Performances of Nanofluids in a Triangular Tube. International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol.127, 146-159.
- Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi. 2002. *Fundamentals of Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, Inc. New York.*
- Sahim, Kaprawi, Dewi Puspitasari, dan Nukman. 2021. *Experimental Study of Convective Heat Transfer of Alumina Oxide Nanofluids in Triangle Channel with Uniform Heat Flux. Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 16(22), 1-6.
- Saleh, Ahmed, Suhad Rasheed, dan Rafel Smasem. 2018. *Convection Heat Transfer in a Channel of Different Cross Section Filled With Porous Media. Kufa Journal of Engineering*, 09(02), 57-73.
- Shahane, Ashish, Lakhani Ghodake, Digambar T. Kashid, dan D.S. Ghodake. 2019. *Enhancement of Heat Transfer Coefficient through Forced Convection Apparatus by Using Circular and Elliptical Pipe. International Journal of New Technology and Research*, 5(4), 38-43.
- Ting, Hsien Hung dan Shuhn Shyrng Hou. 2015. *Numerical Study of Laminar Flow Forced Convection of Water-Al₂O₃ Nanofluids under Constant Wall Temperature Condition. Mathematical Problems in Engineering*, Vol.2015, 1-8.
- Wen, Dongsheng dan Yulong Ding. 2004. *Experimental Investigation into Convective Heat Transfer of Nanofluids at The Entrance Region under Laminar Flow Conditions. International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(24), 5181-5188.