

SKRIPSI

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR
DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN
BULAT DENGAN DIAMETER 2 MM DENGAN
HEAT FLUX KONSTAN**



DIAZ MUAZZIN

03051181823019

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

SKRIPSI

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR
DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN
BULAT DENGAN DIAMETER 2 MM DENGAN
HEAT FLUX KONSTAN**

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



**OLEH
DIAZ MUAZZIN
03051181823019**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR DALAM
PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN BULAT DENGAN
DIAMETER 2 MM DENGAN *HEAT FLUX* KONSTAN**

SKRIPSI

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

Oleh:
DIAZ MUAZZIN
03051181823019

Palembang, Agustus 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized name followed by a horizontal line.

Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA
NIP. 1957001181985031004

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

Agenda No. : 046/TM /AK /2023
Diterima Tanggal : 12-09-2023
Paraf : 

SKRIPSI

NAMA : DIAZ MUAZZIN
NIM : 03051181823019
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : **PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI
ALIRAN AIR DALAM PIPA YANG
MEMPUNYAI LUKUKAN BULAT
DENGAN DIAMETER 2 MM
DENGAN *HEAT FLUX* KONSTAN**
DIBUAT TANGGAL : Desember 2022
SELESAI TANGGAL : Juli 2023

Palembang, Agustus 2023

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi



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

HALAMAN PERSETUJUAN


Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 2 mm dengan *Heat Flux* Konstan” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 31 Juli 2023.

Inderalaya, Agustus 2023

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Skripsi

Ketua :

1. Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.
NIP. 19700115199412001


(.....)

Sekretaris :

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


(.....)

Anggota :

3. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001


(.....)

Palembang, Agustus 2023

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi



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

Mengetahui,


Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dalam rangka Tugas Akhir (Skripsi) yang dibuat untuk memenuhi syarat mengikuti Seminar dan Sidang Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 2 mm dengan *Heat Flux* Konstan”. Shalawat serta salam tak lupa dihaturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam kesempatan ini dengan setulus hati penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala macam bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Orang tua dari penulis, saudara, serta keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik itu moral maupun materi serta doa yang tulus untuk penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
2. Prof.Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mendidik, memotivasi, serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga proposal skripsi ini selesai.
3. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Gunawan, S.T., M.T. Ph.D selaku Dosen Pembina Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Dr. Muhammad Yanis, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

8. Seluruh teman seperjuangan dari Jurusan Teknik Mesin Angkatan 2018.

Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, karena keterbatasan kemampuan yang ada. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan pada masa yang akan datang dikemudian hari.

Indralaya, Agustus 2023



Diaz Muazzin
03051181823019

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Diaz Muazzin

NIM : 03051181823019

Judul : Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang
Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 2 mm dengan
Heat Flux Konstan

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.

Indralaya, Agustus 2023



Diaz Muazzin

NIM. 03051181823019

HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Diaz Muazzin

NIM : 03051181823019

Judul : Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang
Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 2 mm dengan
Heat Flux Konstan

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

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



Indralaya, Agustus 2023



Diaz Muazzin

NIM. 03051181823019

RINGKASAN

PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN BULAT DENGAN DIAMETER 2 MM DENGAN *HEAT FLUX* KONSTAN

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, Agustus 2023

Diaz Muazzin ; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA

xxix + 53 halaman, 3 tabel, 28 gambar

Panas adalah energi yang ditransfer berdasarkan perbedaan suhu. Perpindahan panas terjadi ketika energi termal bergerak dari daerah yang lebih panas ke daerah yang lebih dingin melalui tiga mekanisme: konduksi, radiasi, dan konveksi. Heat exchanger digunakan secara luas dalam industri dan teknik, namun desainnya kompleks karena melibatkan analisis laju perpindahan panas dan aspek ekonomi peralatan. Eksperimen dilakukan menggunakan pipa tembaga berlekukan dengan coil listrik untuk memahami perpindahan panas konveksi. Faktor-faktor seperti sifat-sifat fluida dan geometri permukaan mempengaruhi perpindahan panas. Pengujian bertujuan untuk mengoptimalkan perpindahan panas konveksi internal dalam pipa berlekukan tersebut. Penelitian ini menunjukkan bahwa pipa dengan lekukan memiliki perbedaan temperatur air yang lebih besar daripada pipa tanpa lekukan. Namun, semakin tinggi *Reynolds number*, perbedaan temperatur air pada kedua jenis pipa cenderung berkurang. Kenaikan beda temperatur maksimum pada pipa dengan lekukan mencapai 13,75%, dan kenaikan beda temperatur minimum sebesar 7,14%. Selanjutnya, hasil eksperimen menunjukkan bahwa pipa dengan lekukan memiliki suhu permukaan luar yang lebih tinggi dibandingkan pipa tanpa lekukan. Debit aliran yang lebih tinggi menyebabkan penurunan suhu permukaan luar pada kedua jenis pipa. Kenaikan pada titik maksimum adalah sebesar 2,02%, sementara pada titik minimum terdapat kenaikan sebesar 1,5%. Selain itu, pipa dengan lekukan memiliki laju perpindahan panas yang lebih tinggi, terutama pada debit aliran yang tinggi. Kenaikan nilai maksimum laju

perpindahan panas mencapai 9,36%, dan pada nilai minimumnya mencapai 13,71%. Peningkatan *Reynolds number* pada kondisi heat flux konstan juga mengakibatkan peningkatan koefisien konveksi dan *Nusselt number*. Kenaikan pada titik maksimum adalah sebesar 7,68%, dan pada titik minimum terdapat kenaikan sebesar 12,12%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pipa dengan lekukan memiliki *Nusselt number* yang lebih besar daripada pipa tanpa lekukan. Kenaikan pada titik maksimum mencapai 7,6%, dan pada titik minimum terdapat kenaikan sebesar 11,86%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan lekukan pada pipa dapat efektif meningkatkan efisiensi perpindahan panas dalam berbagai kondisi aliran.

Kata Kunci : Perpindahan Panas, Perpindahan Panas Konveksi, *Heat Flux*

Konstan, Lekukan pada Permukaan Pipa

Kepustakaan : 12 (2002-2021)

SUMMARY

CONVECTION HEAT TRANSFER WATER FLOW IN A PIPE THAT HAS A ROUND INDENTATION OF 2 MM IN DIAMETER WITH CONSTANT HEAT FLUX

Scientific Writing in the form of a Thesis, August 2023

Diaz Muazzin; Supervised of Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA

xxix + 53 pages, 3 tables, 28 figures

Heat is energy transferred based on temperature differences. Heat transfer occurs when thermal energy moves from a hotter region to a colder region through three mechanisms: conduction, radiation, and convection. Heat exchangers are widely used in industry and engineering, but the design is complex because it involves analyzing the rate of heat transfer and economic aspects of equipment. The experiment was conducted using a grooved copper pipe with an electric coil to understand the heat transfer of convection. Factors such as fluid properties and surface geometry affect heat transfer. The test aims to optimize the internal convection heat transfer in the grooved pipe. This research shows that pipes with indentations have a greater difference in water temperature than pipes without indentation. However, the higher the Reynolds number, the difference in water temperature in both types of pipes tends to decrease. The increase in maximum temperature difference in the pipe with indentation reached 13.75%, and the minimum temperature difference increase was 7.14%. Furthermore, the experimental results showed that pipes with indentations have a higher outer surface temperature than pipes without indentation. Higher flow discharge causes a decrease in the outer surface temperature in both types of pipes. The increase at the maximum point is 2.02%, while at the minimum point there is an increase of 1.5%. In addition, pipes with indentations have a higher heat transfer rate, especially at high flow discharge. The increase in the maximum value of the heat transfer rate reached 9.36%, and at the minimum value reached 13.71%. An increase in Reynolds

number in constant heat flux conditions also results in an increase in convection coefficient and Nusselt number. The increase at the maximum point is 7.68%, and at the minimum point there is an increase of 12.12%. The results also show that pipes with indentations have a larger number of Nusselt than pipes without indentations. The increase at the maximum point reached 7.6%, and at the minimum point there was an increase of 11.86%. Thus, it can be concluded that the use of indentations in pipes can effectively improve heat transfer efficiency in various flow conditions.

Keywords : Heat Transfer, Convection Heat Transfer, Constant Heat Flux,
Indentation on Pipe Surface

Literatures : 12 (2002-2021)

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS.....	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY.....	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR TABEL.....	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Aliran Laminar dan Turbulen dalam Pipa.....	5
2.1.1 <i>Entry Lengths Hydrodynamic</i>	7
2.2 Perpindahan Panas Konduksi.....	8
2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi dalam Slinder.....	8
2.3 Perpindahan Panas Konveksi.....	10
2.3.1 Konveksi Paksa Internal.....	11
2.3.2 <i>Entry Lengths Thermal</i>	12
2.3.3 Temperatur Rata-Rata.....	12
2.3.4 Analisis Termal Umum.....	13
2.3.5 <i>Nusselt Number</i>	14
2.3.6 <i>Reynolds Number</i>	16

2.3.7 Prandlt Number	17
2.3.8 Perpindahan Panas dengan <i>Heat Flux</i> Konstan	17
2.3.9 Temperatur Permukaan Konstan (T_s =konstan)	19
2.4 Perkembangan Peningkatan Perpindahan Panas pada Pipa.....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Skema Perangkat Uji	24
3.3 Deskripsi Alat	25
3.3.1 Pompa	25
3.3.2 Selang Karet.....	25
3.3.3 <i>Flowrate Rotameter</i>	26
3.3.4 Pipa Tembaga	26
3.3.5 <i>Nichrome Coil Electric Heater</i>	27
3.3.6 <i>Cooling Tower</i>	28
3.3.7 Isolasi Panas.....	28
3.3.8 Termokopel.....	29
3.3.9 <i>Tang Ampere</i>	29
3.4 Geometri Pipa	30
3.5 Prosedur Pengujian	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data Hasil Pengujian	33
4.2 Analisis Perhitungan Data Uji	34
4.2.1 Luas Penampang Pipa.....	34
4.2.2 Debit Aliran	35
4.2.3 Temperatur Air Rata-Rata	35
4.2.4 Beda Temperatur Air	35
4.2.5 Massa Jenis Air.....	35
4.2.6 Kalor Spesifik Air.....	36
4.2.7 Viskositas Kinematik.....	36
4.2.8 Temperatur Permukaan Luar Pipa Rata-Rata	37
4.2.9 Kecepatan Aliran	37
4.2.10 <i>Reynolds Number</i>	38
4.2.11 Konduktivitas Termal	38
4.2.12 Daya Pemanas Listrik	39

4.2.13	Laju Perpindahan Panas.....	39
4.2.14	Temperatur Permukaan Dalam Pipa Rata-Rata.....	39
4.2.15	Koefisien Konveksi	40
4.2.16	<i>Nusselt Number</i>	40
4.3	Grafik Hasil Pengolahan Data	41
4.3.1	Grafik Beda Temperatur Air terhadap <i>Reynolds Number</i>	41
4.3.2	Grafik <i>Reynolds Number</i> terhadap Debit Aliran	42
4.3.3	Grafik Temperatur Permukaan Luar Pipa Rata-Rata terhadap Debit Aliran.....	43
4.3.4	Grafik Laju Perpindahan Panas terhadap Debit Aliran	44
4.3.5	Grafik Koefisien Konveksi terhadap <i>Reynold Number</i>	45
4.3.6	Grafik <i>Nusselt Number</i> terhadap <i>Reynold Number</i>	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		49
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN.....		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Profil kecepatan actual dan ideal (Cengel, 2004).....	6
Gambar 2. 2 Pipa silinder (Cengel, 2004).....	7
Gambar 2. 3 <i>Entry lengths</i> hidrodinamika (Cengel dan Cimbala, 2006).....	7
Gambar 2. 4 Perpindahan panas dalam silinder (Cengel, 2004).....	9
Gambar 2. 5 Perpindahan panas konveksi (Desain Sendiri).....	11
Gambar 2. 6 <i>Entry Lengths Thermal</i> (Cengel, 2004).....	12
Gambar 2. 7 Profil temperatur aktual dan ideal (Cengel, 2004).....	13
Gambar 2. 8 Perpindahan panas fluida mengalir dalam pipa (Cengel, 2004)..	14
Gambar 2. 9 Perpindahan panas melalui lapisan fluida dengan tebal dan perbedaan temperatur (Cengel, 2004).....	15
Gambar 2. 10 <i>Heat flux</i> permukaan konstan (Cengel, 2004).....	18
Gambar 2. 11 Temperatur fluida rata-rata sepanjang pipa untuk temperatur konstan (Cengel, 2004).....	19
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	23
Gambar 3. 2 Skema perangkat uji.....	24
Gambar 3. 3 Pompa.....	25
Gambar 3. 4 Selang karet.....	26
Gambar 3. 5 <i>Flowrate Rotameter</i>	26
Gambar 3. 6 Pipa tembaga.....	27
Gambar 3. 7 <i>Nichrome coil electric heater</i>	27
Gambar 3. 8 <i>Cooling tower</i>	28
Gambar 3. 9 Isolasi panas.....	28
Gambar 3. 10 Temokopel.....	29
Gambar 3. 11 <i>Tang ampere</i>	30
Gambar 3. 12 Geometri lekukan.....	30
Gambar 3. 13 Geometri pipa.....	31
Gambar 4. 1 Beda temperatur air terhadap <i>Reynolds number</i>	41
Gambar 4. 2 Debit aliran terhadap <i>Reynolds number</i>	42
Gambar 4. 3 Temperatur rata-rata permukaan luar pipa terhadap debit aliran	43

Gambar 4. 4 Laju perpindahan panas terhadap debit aliran	44
Gambar 4. 5 <i>Nusselt number</i> terhadap Koefisien konveksi.....	45
Gambar 4. 6 <i>Nusselt number</i> terhadap <i>Reynold number</i>	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Prandtl number pada fluida	17
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian pada pipa tanpa lekukan	33
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian pada pipa dengan lekukan	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Properties of Saturated Water</i>	53
Lampiran 2. <i>Properties of Solid Metals</i>	54
Lampiran 3. Tabel Hasil Perhitungan Pipa Tanpa Lekukan (Daya Pemanas = 421,8 W).....	55
Lampiran 4. Tabel Hasil Perhitungan Pipa Dengan Lekukan (Daya Pemanas = 425,1 W).....	56
Lampiran 5. Proses Pengambilan Data.....	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panas didefinisikan sebagai energi yang ditransfer berdasarkan perbedaan suhu. Perpindahan panas adalah proses di mana energi termal (panas) bergerak dari daerah dengan suhu lebih tinggi ke daerah dengan suhu lebih rendah. Dan ada beberapa perbedaan terjadinya perpindahan panas yaitu, konduksi, radiasi dan konveksi (Vollmer dan Möllmann, 2010).

Heat exchanger populer digunakan dalam aplikasi industri dan teknik. Prosedur desain *heat exchanger* cukup rumit, karena membutuhkan analisis yang tepat tentang laju perpindahan panas dari masalah kinerja jangka panjang dan aspek ekonomi peralatan (Liu dan Sakr, 2013).

Perpindahan panas konveksi melibatkan dua mekanisme. Selain perpindahan energi akibat gerakan molekuler acak, juga terjadi perpindahan energi melalui massa atau gerakan fluida dalam skala makroskopik. Gerakan fluida ini terkait dengan fakta bahwa sejumlah besar molekul bergerak bersama secara kolektif. Gerakan ini, yang terjadi karena adanya gradien suhu, berkontribusi pada perpindahan panas. (Bergman dkk., 2011).

Eksperimen ini dilakukan untuk memahami perpindahan panas konveksi paksa menggunakan aliran internal dengan menggunakan pipa tembaga berbentuk lingkaran (*circular*). Pipa tersebut memiliki lekukan bulat dengan diameter 2 mm pada permukaannya. Eksperimen ini menggunakan saluran pipa berbahan tembaga (Cu) dengan panjang 75 cm, dan dalam pipa tersebut dililitkan *coil* listrik berbahan nichrome ukuran 26 AWG (0.405 mm) untuk melakukan pemanasan. Perpindahan panas konveksi sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat fluida seperti densitas, viskositas, konduktivitas termal, dan kalor spesifik, serta oleh geometri permukaan dan kondisi aliran. Selain itu, besarnya perpindahan panas juga ditentukan oleh bilangan tak berdimensi *Nusselt*

number, yang menunjukkan perbandingan atau rasio gradien temperatur pada permukaan. Semakin besar nilai *Nusselt number*, maka semakin efektif konveksi yang terjadi, yang berarti perpindahan panas akan menjadi lebih efisien dan cepat. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengoptimalkan proses perpindahan panas konveksi internal pada aliran fluida dalam pipa dengan lekukan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Pipa yang ada dalam *heat exchanger* telah dirancang untuk mentransfer jumlah panas tertentu dalam jangka waktu yang telah ditentukan. Permasalahan dalam penelitian ini mencakup pertanyaan mengenai pengaruh faktor terhadap koefisien konveksi, *Nusselt number*, serta perbedaan temperatur air dalam pipa. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menemukan hubungan antara *Reynold number*, debit aliran dan karakteristik termal pipa. Dengan demikian ini akan membahas perpindahan panas dalam pipa, serta memberikan wawasan yang berguna dalam inovasi dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

1.3 Batasan Masalah

Batasan eksperimen ini mencakup hal-hal berikut :

1. Fluida yang digunakan adalah air.
2. Pipa yang digunakan terbuat dari material tembaga (Cu) yang mempunyai lekukan bulat dengan diameter 2 mm pada permukaan pipa.
3. Diameter luar pipa 9,5 mm dan diameter dalam pipa 7,6 mm
4. Panjang pipa 75 cm dan tebal pipa 0,095 cm
5. Memiliki lekukan berjumlah 78 lekukan
6. Setiap lekukan memiliki jarak 2,5 cm.
7. Perpindahan panas berlangsung pada kondisi *heat flux* yang tetap.

8. Data diolah pada situasi *steady* dengan bervariasi debit aliran melalui pipa.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh lekukan pada pipa dan perubahan debit aliran terhadap beda temperatur air, temperatur permukaan luar pipa, dan laju perpindahan panas.
2. Menganalisis koefisien konveksi terhadap pipa dengan lekukan dan pipa tanpa lekukan, dan perubahan debit aliran pada setiap masing-masing pipa.
3. Menganalisis *Nusselt number* akibat perubahan debit aliran pada kondisi *heat flux* konstan, dengan fokus pada perubahan aliran dari laminar ke turbulen.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan akan memberikan manfaat berikut :

1. Mengetahui koefisien perpindahan panas pada pipa tembaga yang mempunyai lekukan bulat dengan diameter 2 mm pada sisi permukaan pipa.
2. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam pemahaman ilmiah mengenai karakteristik termal pada pipa dan perpindahan panas berbagai kondisi aliran.

DAFTAR PUSTAKA

- Albanesi, A.W. et al. (2018) 'Investigation of heat transfer enhancement in dimpled pipe flows', Proceedings of the 21st Australasian Fluid Mechanics Conference, AFMC 2018, (December), pp. 1–4.
- Bergman, T.L. et al. (2011) 'Ebook Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition'.
- Cengel, Y.A. (2004) Steady versus Transient Heat Transfer 63
Multidimensional Heat Transfer 64 Heat Generation 66.
- Cengel, Y.A. and Cimbala, J.M. (2006) 'Fluid Mechanics'. Available at: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.
- Hu, X. and Zhang, Y. (2002) 'Novel insight and numerical analysis of convective heat transfer enhancement with microencapsulated phase change material slurries : laminar flow in a circular tube with constant heat flux', 45, pp. 3163–3172.
- Kreith (2012) 'Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas Edisi Ketiga (terjemahan P. Arko). Erlangga, Jakarta.', Erlangga, Jakarta, pp. 1–71.
- Liu, J., Gao, J. and Gao, T. (2012) 'Forced convection heat transfer of steam in a square ribbed channel', Journal of Mechanical Science and Technology, 26(4), pp. 1291–1298. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12206-012-0201-5>.
- Liu, S. and Sakr, M. (2013) 'A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, pp. 64–81. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.021>.
- Pardede, Y.P. and Sahim, K. (2021) 'Studi Eksperimental Perpindahan Panas Secara Konveksi Paksa Pada Pipa Tembaga Berbentuk Elliptical'. Available at: https://repository.unsri.ac.id/63965/%0Ahttps://repository.unsri.ac.id/63965/3/RAMA_21201_03051181722017_0018015703_01_FRONT_RE F.pdf.
- Qi, C. et al. (2018) 'Effects of twisted tape structures on thermo-hydraulic performances of nanofluids in a triangular tube', International Journal of Heat and Mass Transfer, 127, pp. 146–159. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.017>.

Rainieri, S. et al. (2013) 'Compound convective heat transfer enhancement in helically coiled wall corrugated tubes', *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 59(1), pp. 353–362. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.12.037>.

Vollmer, M. and Möllmann, K.-P. (2010) *Some Basic Concepts of Heat Transfer, Infrared Thermal Imaging*. Available at: <https://doi.org/10.1002/9783527630868.ch4>.