

SKRIPSI

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR
DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN
BULAT DENGAN DIAMETER 6 MM DENGAN
HEAT FLUX KONSTAN**



JATMIKOJATI FAHREZY HARTONO

03051281924048

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

SKRIPSI

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR
DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LUKUKAN
BULAT DENGAN DIAMETER 6 MM DENGAN
HEAT FLUX KONSTAN**

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



**Oleh :
JATMIKOJATI FAHREZY HARTONO
03051281924048**

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

HALAMAN PENGESAHAN

**PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR DALAM
PIPA YANG MEMPUNYAI LEKUKAN BULAT DENGAN
DIAMETER 6 MM DENGAN HEAT FLUX KONSTAN**

SKRIPSI

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

Oleh:

JATMIKOJATI FAHREZY HARTONO

03051281924048

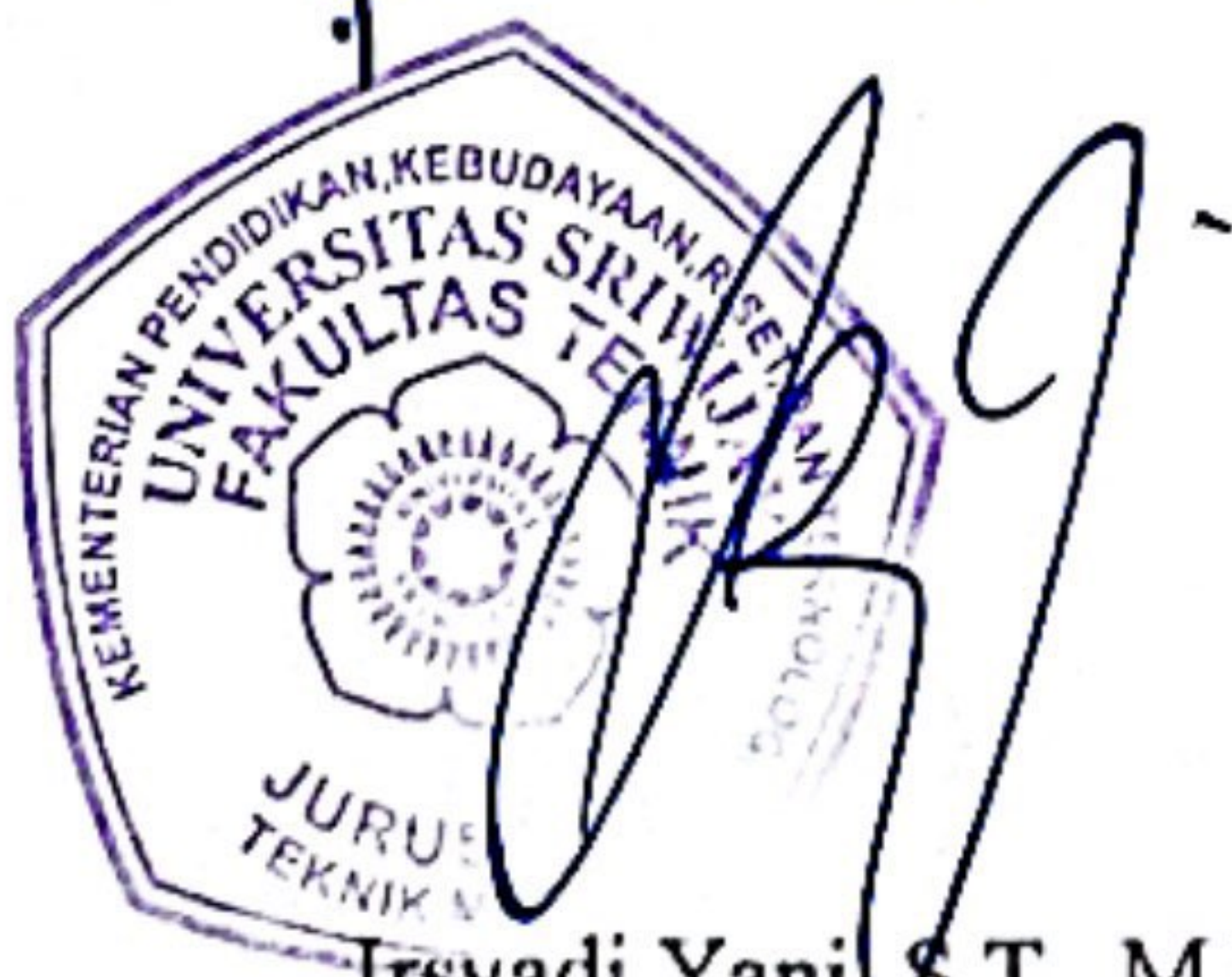
Palembang, Juli 2023

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

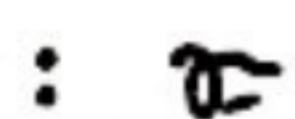


Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
NIP. 197112251997021001

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'K' followed by a horizontal line and a small flourish.

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

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**


**Agenda No. : 044/TH /AK/2023
Diterima Tanggal : 06-09-2023
Paraf : **

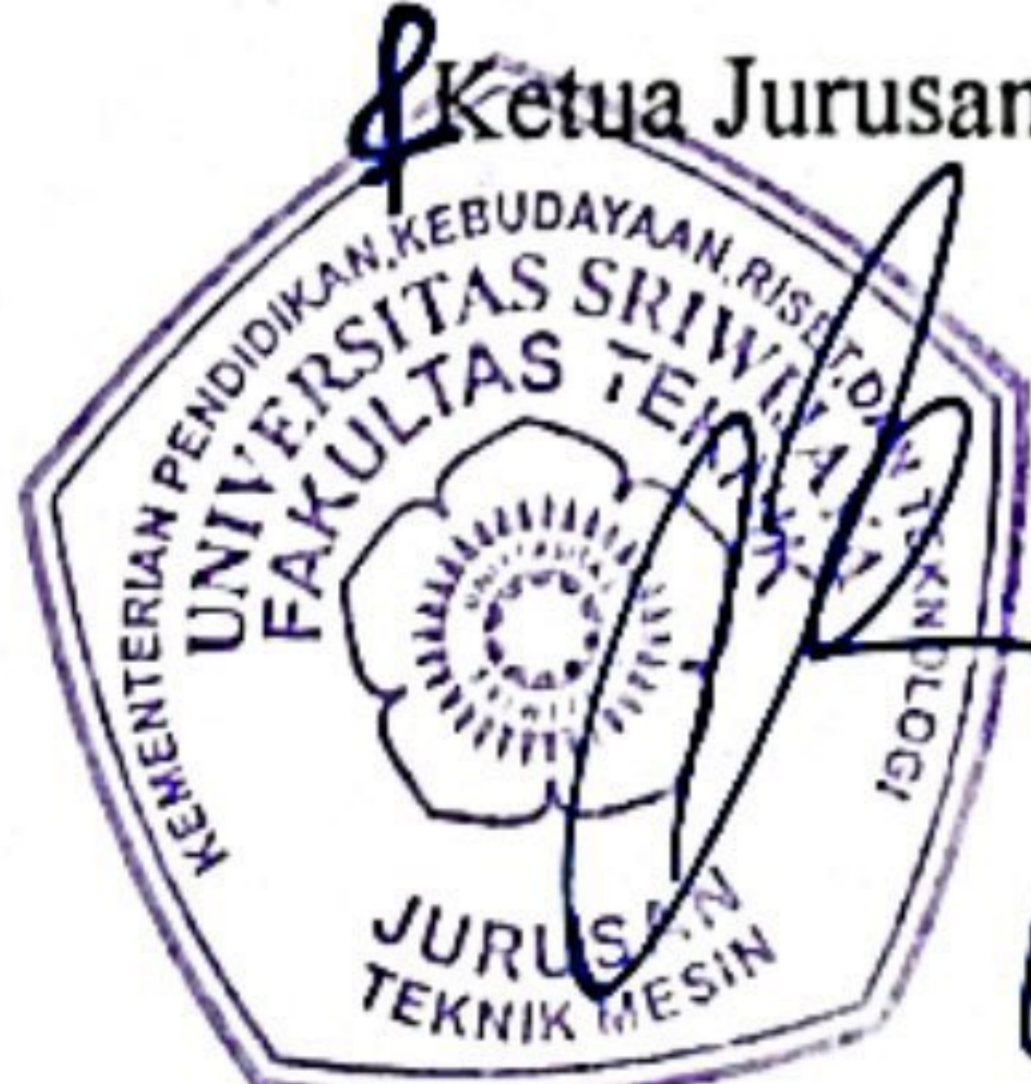
SKRIPSI

**NAMA : JATMIKOJATI FAHREZY H
NIM : 03051281924048
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI
ALIRAN AIR DALAM PIPA YANG
MEMPUNYAI LUKUKAN BULAT
DENGAN DIAMETER 6 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. 1957001181985031004

HALAMAN PERSETUJUAN

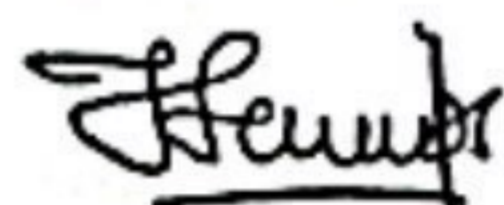
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 6 mm dengan Heat Flux Konstan” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya 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

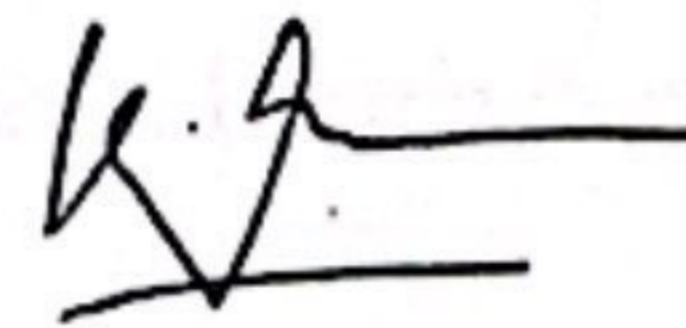
Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Mesin

Diperiksa dan disetujui oleh,
Pembimbing Skripsi



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



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi yang dibuat untuk memenuhi syarat Seminar Proposal pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan judul “PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LEKUKAN BULAT DENGAN DIAMETER 6 MM DENGAN HEAT FLUX KONSTAN”.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala macam bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penyusunan proposal skripsi ini kepada :

1. Bapak Rocky Hartono dan Ibu Iana Liberty selaku 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. Bapak Irsyadi Yani, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Amir Arifin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Gunawan, S.T., M.T. Ph.D selaku Dosen Pembina Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Kaprawi Sahim, DEA selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing, mendidik, memotivasi, serta banyak memberikan saran kepada penulis dari awal hingga proposal skripsi ini selesai.
6. Bapak Barlin, S.T., M.Eng. Ph.D selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
8. Mahasiswi dengan NIM 03011281924026 selaku Teman yang selalu memberikan dukungan kepada penulis serta doa yang tulus untuk penulis dalam Menyusun tugas akhir ini.

Penulis sangat menyadari bahwa proposal skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun untuk kelanjutan skripsi ini kedepannya akan sangat membantu. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan pada masa yang akan datang dikemudian hari.

Palembang, 16 Februari 2023



Jatmikojati Fahrezy H

03051281924048

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jatmikojati Fahrezy Hartono

NIM : 03051281924048

Judul : Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang
Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 6 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



Jatmikojati Fahrezy Hartono
NIM. 03051281924048

HALAMAN PERNYATAAN INTERGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Jatmikojati Fahrezy Hartono

NIM : 03051281924048

Judul : Perpindahan Panas Konveksi Aliran Air Dalam Pipa yang
Mempunyai Lekukan Bulat dengan Diameter 6 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



Jatmikojati Fahrezy Hartono
NIM. 03051281924048

RINGKASAN

PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI ALIRAN AIR DALAM PIPA YANG MEMPUNYAI LEKUKAN BULAT DENGAN DIAMETER 6 MM DENGAN HEAT FLUX KONSTAN

Karya Tulis Ilmiah berupa skripsi, Agustus 2023

Jatmikojati Fahrezy Hartono ; Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA

xxix + 67 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 : 16 (1992-2022)

SUMMARY

CONVECTION HEAT TRANSFER WATER FLOW IN A PIPE THAT HAS A ROUND INDENTATION OF 6 MM IN DIAMETER WITH CONSTANT HEAT FLUX

Scientific Writing in the form of a Thesis, August 2023

Jatmikojati Fahrezy Hartono; Supervised of Prof. Dr. Ir. Kaprawi, DEA

xxix + 67 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 : 16 (1992-2022)

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 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 dengan bentuk lekukan 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 berbentuk lekukan berdiameter kecil dimana heat flux konstan dan kondisi aliran dalam entry length region.

Pemilihan diameter 6 mm adalah karena melihat ukuran diameter dalam pipa sebesar 7,6 mm yang memiliki keliling sepanjang 23,81 cm dapat membuat lekukan yang melingkari pipa dapat teraplikasikan tanpa membuat radius lingkaran pipa menyempit dan bertabraknya antar lekukan.

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

Batasan masalah pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut :

1. Fluida kerja yang digunakan adalah air.
2. Pipa berbahan material tembaga (Cu) yang mempunyai lekukan bulat dengan diameter 6 mm pada permukaan pipa.
3. Diameter pipa 1 cm dan panjang pipa 75 cm
4. Memiliki lekukan berjumlah 42 lekukan
5. Setiap lekukan memiliki jarak 5 cm.
6. Perpindahan panas terjadi dalam kondisi heat flux konstan.
7. Pengolahan data dilakukan pada kondisi stedi dengan bervariasi debit aliran melalui pipa

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis laju perpindahan panas terhadap perubahan debit aliran untuk pipa dengan lekukan dan pipa tanpa lekukan, sehingga dapat diketahui kondisi dimana perpindahan panas yang berlangsung menjadi efektif dalam heat flux konstan.
2. Menganalisis Koefisien Konveksi terhadap perubahan debit aliran untuk pipa dengan lekukan dan pipa tanpa lekukan.

3. Menganalisis Nusselt number terhadap diameter lekukan pada setiap variasi debit aliran yang diberikan pada masing-masing jenis pipa yaitu pipa dengan lekukan dan pipa tanpa lekukan.

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

- Al-Obaidi, Ahmed Ramadhan. 2019. "investigation of fluid field analysis, characteristics of pressure drop and improvement of heat transfer in three-dimensional circular corrugated pipes." *journal of energy storage* 26: 101012.
- 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.
- Beetham, s., a. Lattanzi, and j. Capecelatro. 2022. "on the thermal entrance length of moderately dense gas-particle flows." *international journal of heat and mass transfer* 182: 121985.
- Bejan, a., m. Alalaimi, a. S. Sabau, and s. Lorente. 2017. "entrance-length dendritic plate heat exchangers." *international journal of heat and mass transfer* 114: 1350–56.
- Cengel, Yunus a. steady versus transient heat transfer 63 multidimensional heat transfer 64 heat generation 66.
- Chen, Baiman dkk. 2018. "the effects of swirling decaying flow towards pipe entry length and heat transfer in an annular pipe." *international journal of heat and mass transfer* 123: 668–77.
- Everts, marilize, and josua p. Meyer. 2020. "laminar hydrodynamic and thermal entrance lengths for simultaneously hydrodynamically and thermally developing forced and mixed convective flows in horizontal tubes." *experimental thermal and fluid science* 118: 110153.
- Malapur, harsh v., sanjay n. Havaladar, and utkarsha v. Kharade. 2022. "heat transfer enhancement of an internally and externally dimpled pipe heat exchanger – numerical study." *materials today: proceedings* 63: 587–94.
- Mohammed, a. A., abdalrazzaq k. Abbas, and j. M. Sheriff. 2013. "influence of geometrical parameters and forced convective heat transfer in transversely corrugated circular tubes." *international communications in heat and mass transfer* 44: 116–26.

- Munson, bruce r., donald f. Young, theodore h. Okiishi. 2002. fundamentals of fluid mechanics. john wiley & sons, inc. new york.
- 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_ref.pdf.
- Piao, Yinghu. 1992. "natural, forced and mixed convection in a vertical cross-corrugated channel."
- Rainieri, s., f. Bozzoli, l. Cattani, and g. Pagliarini. 2013. "compound convective heat transfer enhancement in helically coiled wall corrugated tubes." international journal of heat and mass transfer 59(1): 353–62.
- Sabir, Rizwan, Muhammad Mahabat Khan, Nadeem Ahmed Sheikh, And Inam Ui Ahad. 2022. "effect of dimple pitch on thermal-hydraulic performance of tubes enhanced with ellipsoidal and teardrop dimples." case studies in thermal engineering 31: 101835.
- 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.
- Supu, Idawati, Baso Usman, And Selviani Basri. 2016. pengaruh suhu terhadap perpindahan panas pada material yang berbeda.

