

# **SKRIPSI**

## **PENGARUH NANOFLUIDA SiO<sub>2</sub>/AIR FRAKSI VOLUME 0,1%, 0,3%, DAN 0,5% SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN KONVEKSI PENUKAR KALOR PIPA GANDA**



**RAKKA ALBERT PRAYOGA**

**03051282025051**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**



**SKRIPSI**

**PENGARUH NANOFLUIDA  $\text{SiO}_2$ /AIR FRAKSI VOLUME 0,1%, 0,3%,  
DAN 0,5% SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN  
KONVEKSI PENUKAR KALOR PIPA GANDA**

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



**OLEH**

**RAKKA ALBERT PRAYOGA**

**03051282025051**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2023**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**PENGARUH NANOFLUIDA SiO<sub>2</sub>/AIR FRAKSI VOLUME 0,1%, 0,3%,  
DAN 0,5% SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN  
KONVEKSI PENUKAR KALOR PIPA GANDA**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**RAKKA ALBERT PRAYOGA**

**03051282025051**



Jurusan Teknik Mesin


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

Palembang, Mei 2024  
Diperiksa dan disetujui oleh  
**Pembimbing Skripsi**

**Dr. Astuti, S.T., M.T.**  
**NIP. 197210081998022001**



JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. : 101/TM/AK/2024  
Diterima Tanggal : 21 Juni 2024  
Paraf : 

## SKRIPSI


NAMA : RAKKA ALBERT PRAYOGA  
NIM : 03051282025051  
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH NANOFLUIDA  $\text{SiO}_2$ /AIR FRAKSI  
VOLUME 0,1%, 0,3%, DAN 0,5% SEBAGAI FLUIDA  
PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN KONVEKSI  
PENUKAR KALOR PIPA GANDA  
DIBUAT TANGGAL : 26 JULI 2023  
SELESAI TANGGAL : 29 APRIL 2024

Palembang, Mei 2024

Diperiksa dan disetujui oleh  
**Pembimbing Skripsi**



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



**Dr. Astuti, S.T., M.T.**  
NIP. 19721008199802200





## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Pengaruh Nanofluida SiO<sub>2</sub>/Air Fraksi Volume 0,1%, 0,3%, dan 0,5% Sebagai Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Konveksi Penukar Kalor Pipa Ganda” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal Mei 2024.

Palembang, Mei 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

**1. Ketua Penguji :**

Prof. Ir. H. Hasan Basri, Ph.D.

NIP. 195802011984031002



**2. Sekretaris :**

Prof. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T.

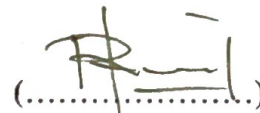
NIP . 196005281989031002



**3. Penguji :**

Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc, Ph.D.

NIP . 195606041986021001



Palembang, Mei 2024

Diperiksa dan disetujui oleh

**Pembimbing Skripsi**



**Irsyadi Yahi, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.**

**NIP. 197112251997021001**

**Dr. Astuti, S.T., M.T.**

**NIP. 197210081998022001**



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rakka Albert Prayoga

NIM : 03051282025051

Judul : Pengaruh Nanofluida SiO<sub>2</sub>/Air Fraksi Volume 0,1%, 0,3%, dan 0,5%  
Sebagai Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Konveksi Penukar Kalor  
Pipa Ganda

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasi 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 surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Mei 2024

Rakka Albert Prayoga

NIM: 03051282025051



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rakka Albert Prayoga

NIM : 03051282025051

Judul : Pengaruh Nanofluida  $\text{SiO}_2$ /Air Fraksi Volume 0,1%, 0,3%, dan 0,5%  
Sebagai Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Konveksi Penukar Kalor  
Pipa Ganda

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 sesua aturan yang berlaku.

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



Palembang, Mei 2024



Rakka Albert Prayoga

NIM: 03051282025051



## KATA PENGANTAR

Puji syukur terhaturkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Nanofluida SiO<sub>2</sub>/Air Fraksi Volume 0,1%, 0,3%, dan 0,5% Sebagai Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Konveksi Penukar Kalor Pipa Ganda” dengan baik.

Skripsi ini adalah langkah awal untuk melakukan penelitian dan penyusunan tugas akhir yang merupakan syarat untuk memperoleh gelas sarjana teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang terlibat, antara lain:

1. Terima kasih kepada kedua orang tua penulis, Wayan Hartini dan Abdi Sucipto yang telah memberikan banyak dukungan baik moril maupun materiil.
2. Dr. Astuti, S.T., M.T. selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya sekaligus dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
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 Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya
5. Ellyanie, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing akademik penulis di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Rekan-rekan seperjuangan jurusan teknik mesin angkatan 2020 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

7. Rekan-rekan PMKRI Cabang Palembang yang banyak memberikan dukungan secara mental.

Besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi dunia pendidikan dan industri di masa yang akan datang.

Palembang, Mei 2024

Rakka Albert Prayoga  
NIM. 03051282025051



## RINGKASAN

PENGARUH NANOFLUIDA  $\text{SiO}_2$ /AIR FRAKSI VOLUME 0,1%, 0,3%, DAN 0,5% SEBAGAI FLUIDA PENDINGIN TERHADAP KOEFISIEN KONVEKSI PENUKAR KALOR PIPA GANDA

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 2 Mei 2024

Rakka Albert Prayoga, dibimbing oleh Dr. Astuti, S.T., M.T.

XXVIII+ 84 halaman, 21 tabel, 33 gambar, 8 lampiran

## RINGKASAN

Penukar kalor adalah alat yang dirancang untuk keperluan perpindahan kalor dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dan tetap memperhatikan agar kedua fluida tidak tercampur saat proses perpindahan kalor dilakukan. Fluida konvensional seperti air, etilen glikol (EG), serta minyak mineral yang biasa digunakan pada penukar kalor memiliki konduktivitas termal yang buruk. Penelitian kali ini menggunakan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  yang didispersikan pada fluida dasar air sebagai fluida pendingin pada penukar kalor pipa ganda. Penggunaan nanofluida  $\text{SiO}_2$  diharapkan memperoleh koefisien konveksi perpindahan kalor yang lebih baik pada penukar kalor pipa ganda sehingga nanofluida  $\text{SiO}_2$  bisa dijadikan alternatif fluida kerja yang lebih terjangkau. Penelitian kali ini menggunakan variasi fraksi volume nanopartikel yang digunakan pada nanofluida, yakni 0,1%, 0,3% dan 0,5%. Nanofluida dibuat dengan mendispersikan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  pada fluida dasar air biasa sesuai fraksi volume yang digunakan sehingga menghasilkan nanofluida sebanyak 10 liter untuk tiap fraksi volume. Pendispersian dilakukan dengan hand mixer selama 15 menit. Setelahnya nanofluida didinginkan hingga temperatur  $\pm 20^\circ\text{C}$  sedangkan fluida panas dipanaskan sampai temperatur  $\pm 85^\circ\text{C}$ . Nanofluida yang dihasilkan akan dialirkan pada penukar kalor pipa ganda dan diamati perubahan temperatur yang terjadi. Hasil dari pengujian akan dibandingkan nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi keseluruhan pada penukar kalor pipa ganda untuk setiap variasi fraksi volume yang digunakan. Koefisien perpindahan

kalor konveksi rata-rata tertinggi didapat dengan nanofluida fraksi volume 0,5% sebagai aliran fluida pendingin. Nilai yang didapat yakni  $478,5859 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Dan yang paling rendah yakni penukar kalor dengan fluida pendingin air biasa yakni sebesar  $289.0187 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Koefisien perpindahan kalor konveksi keseluruhan paling besar yakni  $481,1794 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  yang didapatkan pada penggunaan fluida pendingin nanofluida 0,5% dengan temperatur rata-rata alirannya  $69,45^\circ\text{C}$  untuk fluida panas dan  $27,55^\circ\text{C}$  untuk fluida pendingin. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penambahan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  pada fluida dasar air biasa meningkatkan laju perpindahan kalor pada penukar kalor pipa ganda.

**Kata Kunci:** nanopartikel, perpindahan kalor, fluida panas, fluida pendingin, aliran berlawanan.

## SUMMARY

### EFFECT OF NANOFLUID SiO<sub>2</sub>/WATER VOLUME FRACTIONS 0.1%, 0.3%, AND 0.5% AS COOLING FLUID ON THE COEFFICIENT CONVECTION OF DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGER

Scientific papers in the form of Undergraduate Thesis, 2 May 2024

Rakka Albert Prayoga, Supervised Dr. Astuti, S.T., M.T.

XXVIII+ 84 Pages, 21 Tables, 33 Figures, 8 Attachements

## SUMMARY

Heat exchanger is a device designed for the purpose of transferring heat between two fluids that have a temperature difference while ensuring that the two fluids do not mix during the heat transfer process. Conventional fluids such as water, ethylene glycol (EG), and mineral oil commonly used in heat exchangers have poor thermal conductivity. This study employs SiO<sub>2</sub> nanoparticles dispersed in water as the coolant fluid in a double-pipe heat exchanger. The use of SiO<sub>2</sub> nanofluid is expected to achieve better heat transfer convection coefficients in the double-pipe heat exchanger, making SiO<sub>2</sub> nanofluid a more affordable working fluid alternative. This research utilizes variations in the volume fraction of nanoparticles used in the nanofluid, namely 0.1%, 0.3%, and 0.5%. Nanofluids are prepared by dispersing SiO<sub>2</sub> nanoparticles in ordinary water-based fluid according to the volume fraction used, resulting in 10 liters of nanofluid for each volume fraction. Dispersion is carried out using a hand mixer for 15 minutes. Subsequently, the nanofluid is cooled to a temperature of approximately  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ , while the hot fluid is heated to approximately  $\pm 85^{\circ}\text{C}$ . The produced nanofluid is then circulated in the double-pipe heat exchanger, and temperature changes are observed. The results of the tests will be compared to the overall convection heat transfer coefficient values in the double-pipe heat exchanger for each volume fraction variation used. The highest average convection heat transfer coefficient is obtained with a 0.5% volume fraction nanofluid as the coolant flow, with a value of 478,5859

$W/m^2 \cdot K$ . The lowest is with the heat exchanger using ordinary water coolant, which is  $289,0187W/(m^2 \cdot K)$ . The largest overall convection heat transfer coefficient is  $481,1794 W/(m^2 \cdot K)$ , obtained when using a 0.5% nanofluid coolant with an average flow temperature of  $69.45^\circ\text{C}$  for the hot fluid and  $27.55^\circ\text{C}$  for the coolant fluid. Thus, it can be concluded that the addition of  $\text{SiO}_2$  nanoparticles to ordinary water-based fluid enhances the rate of heat transfer in the double-pipe heat exchanger.

**Keyword:** nanoparticles, heat transfer, hot fluids, cooling fluids, counter flow.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ix
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	xi
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
RINGKASAN .....	xvii
SUMMARY .....	xix
DAFTAR ISI .....	xxi
DAFTAR GAMBAR .....	xxv
DAFTAR TABEL .....	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	4
1.3    Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.4    Tujuan Penelitian .....	5
1.5    Manfaat Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2. 1    Perpindahan kalor.....	7
2.1.1    Perpindahan kalor Secara Konduksi.....	8
2.1.2    Perpindahan kalor Secara Radiasi .....	9
2.1.3    Perpindahan kalor Secara Konveksi.....	10
2. 2    Penukar Kalor.....	11
2.2.1    Klasifikasi Penukar Kalor Berdasarkan Arah Alirannya .....	12
2.2.2    Klasifikasi Penukar Kalor Berdasarkan Konstruksinya .....	13
2. 3    Nanopartikel dan Nanofluida .....	17
2.3.1    Nanopartikel Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> ).....	18
2.3.2    Nanofluida .....	19
2.3.3    Perhitungan Massa Nanopartikel.....	20
2. 4    Faktor Yang Mempengaruhi Aliran .....	20

2.4.1	Kecepatan Aliran Fluida.....	20
2.4.2	Debit Aliran Fluida.....	21
2.4.3	Laju Aliran Massa Fluida.....	21
2.4.4	Massa Jenis.....	22
2.4.5	Viskositas Dinamik.....	22
2.4.6	Bilangan <i>Reynolds</i> .....	23
2.5	Sifat-Sifat Termal Nanofluida.....	23
2.6	Perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi.....	26
2.7	Perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi keseluruhan	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2	Waktu Penelitian.....	30
3.3	Metode Penelitian.....	30
3.4	Persiapan Pengujian.....	30
3.3.1	Rangkaian Alat Pengujian.....	30
3.3.2	Peralatan Tambahan.....	34
3.3.3	Persiapan Nanofluida.....	37
3.5	Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data.....	38
3.6	Data Yang Diambil.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Data Hasil Pengujian.....	41
4.2	Pengolahan Data.....	43
4.2.1	Debit Aliran Fluida.....	43
4.2.2	Kecepatan Aliran Fluida.....	44
4.2.3	Massa Jenis/Densitas Fluida.....	45
4.2.4	Laju Aliran Massa.....	47
4.2.5	Bilangan <i>Reynold</i> .....	47
4.2.6	Bilangan <i>Prandtl</i> .....	49
4.2.7	Bilangan <i>Nusselt</i> .....	51
4.2.8	Koefisien Konveksi Penukar Kalor Pipa Ganda.....	52
4.2.9	Koefisien Konveksi Keseluruhan Penukar Kalor Pipa Ganda ...	52
4.3	Pembahasan.....	61
4.3.1	Bilangan Reynold.....	61
4.3.2	Bilangan Prandtl.....	62

4.3.3	Bilangan Nusselt.....	64
4.3.4	Koefisien perpindahan kalor konveksi .....	65
4.3.5	Koefisien perpindahan kalor konveksi .....	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		69
DAFTAR PUSTAKA.....		73
LAMPIRAN .....		77





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perpindahan kalor Konduksi (Cengel, 2002) .....	8
Gambar 2. 2 Perpindahan kalor radiasi (Cengel, 2002) .....	9
Gambar 2. 3 Pendinginan telur rebus dengan konveksi paksa dan alami (Cengel, 2002).....	11
Gambar 2. 4 Klasifikasi penukar kalor berdasarkan arah aliran fluida: (a) aliran paralel; (b) aliran berlawanan; (c) aliran silang (Kakaç dan Liu, 2002) .....	13
Gambar 2. 5 Penukar kalor pipa ganda (Cengel, 2002) .....	13
Gambar 2. 6 Penukar kalor Shell and tube (Cengel, 2002).....	14
Gambar 2. 7 Penukar kalor pelat (Kakaç dan Liu, 2002).....	15
Gambar 2. 8 Penukar kalor pelat spiral (Kakaç dan Liu, 2002).....	15
Gambar 2. 9 Penukar kalor lamella (Kakaç dan Liu, 2002).....	16
Gambar 2. 10 Penukar kalor sirip pelat (Kakaç dan Liu, 2002).....	16
Gambar 2. 11 Penukar kalor sirip tubular (Kakaç dan Liu, 2002) .....	17
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	29
Gambar 3. 2 Rangkaian penukar kalor pipa ganda .....	31
Gambar 3. 3 Tabung penukar kalor pipa ganda .....	31
Gambar 3. 4 Pompa sentrifugal .....	32
Gambar 3. 5 Pipa penyalur .....	32
Gambar 3. 6 Tangki penampung fluida panas dan fluida pendingin.....	33
Gambar 3. 7 Flow meter.....	33
Gambar 3. 8 Skema alat uji penukar kalor pipa ganda.....	34
Gambar 3. 9 Jangka sorong .....	34
Gambar 3. 10 Neraca analitis .....	35
Gambar 3. 11 Termometer air raksa.....	35
Gambar 3. 12 Stopwatch digital .....	36
Gambar 3. 13 Termokopel.....	36
Gambar 3. 14 Temperature display .....	36
Gambar 4. 1 Temperatur rata-rata - bilangan Reynold aliran fluida panas.....	61
Gambar 4. 2 Temperatur rata-rata - bilangan Reynold aliran fluida pendingin	62
Gambar 4. 3 Temperatur rata-rata - bilangan Prandtl aliran fluida panas.....	63
Gambar 4. 4 Temperatur rata-rata - bilangan Prandtl aliran fluida Pendingin.	63
Gambar 4. 5 Temperatur rata-rata - bilangan Nusselt aliran fluida panas .....	64
Gambar 4. 6 Temperatur rata-rata - bilangan Nusselt aliran fluida pendingin.	64
Gambar 4. 7 Temperatur rata-rata - koefisien perpindahan kalor konveksi aliran fluida panas .....	65

Gambar 4. 8 Temperatur rata-rata - koefisien perpindahan kalor konveksi aliran  
fluida pendingin..... 66

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data temperatur fluida panas dan fluida pendingin .....	40
Tabel 4. 1 Debit aliran fluida kerja.....	41
Tabel 4. 2 Data temperatur fluida panas dan fluida pendingin air biasa .....	41
Tabel 4. 3 Data temperatur fluida panas dan fluida pendingin nanofluida 0,1% .....	42
Tabel 4. 4 Data temperatur fluida panas dan fluida pendingin nanofluida 0,3% .....	42
Tabel 4. 5 Data temperatur fluida panas dan fluida pendingin nanofluida 0,5% .....	43
Tabel 4. 6 Hasil pengolahan data fluida panas dengan fluida pendingin air biasa .....	53
Tabel 4. 7 Hasil pengolahan data fluida panas dengan fluida nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,1% .....	54
Tabel 4. 8 Hasil pengolahan data fluida panas dengan fluida pendingin nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,3% .....	54
Tabel 4. 9 Hasil pengolahan data fluida panas dengan fluida pendingin nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,5% .....	55
Tabel 4. 10 Hasil pengolahan data fluida pendingin air biasa.....	55
Tabel 4. 11 <i>Properties</i> fluida dasar nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,1%.....	56
Tabel 4. 12 Hasil pengolahan data fluida pendingin nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,1% ...	56
Tabel 4. 13 <i>Properties</i> fluida dasar nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,3%.....	57
Tabel 4. 14 Hasil pengolahan data fluida pendingin nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,3% ...	57
Tabel 4. 15 <i>Properties</i> fluida dasar nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,5%.....	58
Tabel 4. 16 Hasil pengolahan data fluida pendingin nanofluida SiO <sub>2</sub> 0,5% ...	58
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi penukar kalor pipa ganda dengan pendingin air biasa .....	59
Tabel 4. 18 Hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi penukar kalor pipa ganda dengan pendingin nanofluida 0,1%.....	59
Tabel 4. 19 Hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi penukar kalor pipa ganda dengan pendingin nanofluida 0,3%.....	60
Tabel 4. 20 Hasil perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi penukar kalor pipa ganda dengan pendingin nanofluida 0,5%.....	60



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ilmu perpindahan kalor adalah salah satu ilmu yang banyak dipelajari oleh berbagai ilmuwan dunia. Perpindahan kalor mempelajari tentang laju perpindahan energi panas dari sistem satu ke sistem lainnya sebagai akibat dari adanya perbedaan temperatur antara kedua sistem. Berbeda dengan analisis termodinamika yang digunakan untuk mencari tahu banyaknya transfer panas yang diperlukan agar mencapai keadaan tertentu pada suatu sistem. Ilmu perpindahan kalor memberikan analisa lamanya waktu suatu proses perpindahan kalor terjadi pada sistem. Ilmu perpindahan kalor ini banyak diaplikasikan di berbagai bidang. Perangkat rumah tangga seperti kulkas dan penyejuk udara dirancang dengan menerapkan ilmu perpindahan kalor. Beberapa perangkat lain seperti radiator mobil, perangkat komputer, serta berbagai bagian di sistem pembangkit listrik dan industri lainnya memanfaatkan peranan penting dari perpindahan kalor (Cengel, 2002).

Pengaplikasian perpindahan kalor salah satunya digunakan untuk menaikkan ataupun menurunkan temperatur suatu fluida yang akan dimanfaatkan pada suatu proses tertentu. Penurunan dan peningkatan temperatur fluida ini banyak diperlukan dalam dunia industri seperti industri otomotif sampai pembangkit listrik. Alat yang digunakan sebagai alat transfer panas ini disebut penukar kalor (*Heat Exchanger*).

Penukar kalor adalah alat yang dirancang untuk keperluan perpindahan kalor dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dan tetap memperhatikan agar kedua fluida tidak tercampur saat proses perpindahan kalor dilakukan. Perpindahan kalor dalam suatu sistem dapat terjadi melalui tiga metode yakni konduksi, konveksi, dan radiasi (Cengel, 2002). Penukar kalor biasanya melibatkan konveksi dan konduksi dalam proses perpindahan kalornya.

Konveksi terjadi pada setiap fluida yang bergerak dan konduksi terjadi melalui dinding penukar kalor yang memisahkan kedua fluida. Terdapat berbagai macam tipe penukar kalor, dan pada penelitian ini akan menggunakan penukar kalor pipa ganda (*double pipe heat exchanger*).

Penukar kalor pipa ganda adalah penukar kalor yang menurut peneliti dapat bekerja pada aplikasi tekanan tinggi (Omidi dkk., 2017). Penukar kalor ini mempunyai konstruksi paling sederhana. Terbangun dari dua pipa dengan diameter berbeda yang disusun secara konsentris. Pipa dengan diameter tabung lebih kecil mengalir fluida kerja dan fluida kerja lainnya mengalir pada ruang annular diantara kedua pipa (Holman, 1986). Aliran fluida dalam penukar kalor pipa ganda diatur dengan dua jenis aliran (Cengel, 2002). Pada pengaturan *parallel-flow*, fluida panas dan pendingin masuk ke pipa dari arah yang sama dan mengalir di dalam pipa dengan arah yang sama juga. Pada aliran *counter-flow*, aliran fluida panas masuk dari satu sisi pipa dan di sisi lainnya masuk fluida pendingin dan arah aliran kedua fluida pada pipa berlawanan.

Pemanfaatan penukar kalor masih terus dikembangkan sejak beberapa dekade terakhir. Penelitian masih terus dilakukan untuk memperoleh perpindahan kalor yang optimal pada pengaplikasian penukar kalor. Salah satu yang tengah dikembangkan adalah inovasi nanofluida sebagai fluida kerja pada penukar kalor. Fluida kerja seperti air, etilen glikol (EG), serta minyak mineral merupakan fluida konvensional yang biasa digunakan pada penukar kalor dan memiliki konduktivitas termal yang buruk (Kai dkk., 2019).

Selama dua dekade terakhir, penggunaan nanofluida pada penukar kalor telah menarik perhatian. Kemunculannya pertama kali berkat inovasi dan penelitian yang dilakukan oleh Choi dan Eastman (1995). Penelitian tersebut menyatakan bahwa partikel logam berukuran nanometer (10-100 nm) dengan fluida konvensional penukar kalor dapat tercampur secara heterogen dan menghasilkan fluida baru yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi yang dinamakan nanofluida (Choi dan Eastman, 1995). Sejak saat itu penelitian tentang nanofluida sebagai fluida kerja pada penukar kalor terus berkembang.

Penelitian selanjutnya dilakukan dengan nanofluida oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{CuO}$ ) yang tersuspensi ke dalam fluida konvensional air dan etilen glikol dengan

fraksi volume 0,04. Hasilnya, sedikit kandungan partikel nano pada fluida menghasilkan konduktivitas termal yang jauh lebih tinggi dari fluida yang sama tanpa nanopartikel (Lee dkk., 1999). Perbandingan pengukuran yang akurat dari koefisien perpindahan kalor nanofluida dengan fluida konvensional pada kondisi operasi yang sama perlu dilakukan untuk menilai pengaruh sebenarnya dari nanofluida (Lee dan Mudawar, 2007).

Penggunaan nanofluida  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diteliti dan dibandingkan dengan fluida dasar air. Hasilnya, penggunaan nanofluida menunjukkan peningkatan koefisien perpindahan kalor lebih tinggi dari fluida dasar air pada kondisi bilangan Reynold yang sama dan yang tertinggi pada penggunaan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mencapai 60% lebih tinggi dari fluida dasar air (Bubbicoa dkk., 2015). Penelitian lainnya membandingkan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , dan  $\text{ZrO}_2$  di setiap variasi fraksi volume 0,5%, 1%, 1,5%, 2% pada penukar kalor shell and tube. Hasilnya, koefisien perpindahan kalor meningkat seiring peningkatan fraksi volume untuk seluruh nanofluida (Perumal dkk., 2022).

Penelitian nanofluida ini menggunakan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  dengan fluida dasar air sebagai fluida pendingin pada penukar kalor pipa ganda. Penggunaan nanopartikel  $\text{SiO}_2$  didasarkan atas alasan bahwa  $\text{SiO}_2$  mempunyai konduktivitas termal yang lebih tinggi dari fluida konvensional (Pordanjani dkk., 2019). Harga nanopartikel  $\text{SiO}_2$  yang jauh lebih murah dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  dan nanopartikel populer lainnya menarik perhatian peneliti untuk meneliti nanopartikel ini.

Peneliti sebelumnya menunjukkan penambahan nanofluida  $\text{SiO}_2$  dengan fraksi volume/konsentrasi partikel 1%, 3%, dan 5% pada *plate heat exchanger* meningkatkan koefisien perpindahan kalor secara konsisten di setiap penambahan konsentrasi partikel. Selain itu, juga diamati terjadi penurunan tekanan yang semakin meningkat seiring peningkatan konsentrasi nanopartikel. Hal ini dapat membatasi penggunaan nanopartikel dikarenakan dapat mempengaruhi daya pemompaan yang diperlukan (Kanjirakat dan Sadr, 2012). Peneliti selanjutnya meneliti kinerja perpindahan kalor nanofluida  $\text{SiO}_2$ /air suling dengan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  sebesar 0,1%-0,5% pada *mini tube heat*

*exchanger*. Peningkatan perpindahan kalor yang paling tinggi ditunjukkan oleh nanofluida dengan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  0,5% (Kai dkk., 2019).

Penelitian lainnya terhadap penggunaan nanofluida  $\text{SiO}_2$ /air dilakukan pada penukar kalor pipa ganda dengan fraksi berat 0,2% - 2% (kelipatan 0,2%) serta variasi ukuran nanopartikel yang digunakan yakni 25 nm dan 50 nm. Hasilnya, penggunaan nanofluida sebagai fluida pendingin mampu meningkatkan koefisien perpindahan kalor seiring dengan peningkatan fraksi berat yang digunakan. Namun, viskositas dan faktor gesekan juga meningkat dengan semakin meningkatnya fraksi berat (Mjeed dkk., 2020).

Fraksi volume  $\text{SiO}_2$  yang digunakan pada penelitian nanofluida ini yakni 0,1%, 0,3%, dan 0,5%. Peneliti sebelumnya juga dilakukan pada alat uji yang sama dengan nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  yang dilakukan pada konsentrasi nanopartikel 0,1%, 0,3%, dan 0,5% (Muhardana, 2020, Thufail, 2020). Sejauh ini, belum ada penelitian terkait nanofluida  $\text{SiO}_2$ /air dengan fraksi volume tersebut pada penukar kalor pipa ganda. Penggunaan fraksi volume tersebut juga dimaksudkan untuk meminimalisir penurunan tekanan. Dengan demikian diharapkan diperoleh koefisien konveksi perpindahan kalor yang lebih baik pada penukar kalor pipa ganda sehingga nanofluida  $\text{SiO}_2$  bisa dijadikan alternatif fluida kerja yang lebih terjangkau.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, penulis akan menganalisis nilai koefisien konveksi penukar kalor pipa ganda yang menggunakan nanofluida  $\text{SiO}_2$ /air dan konsentrasi nanopartikel seperti yang telah ditentukan sebagai penerapan ilmu perpindahan kalor.



### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada masalah-masalah berikut:

1. Menggunakan penukar kalor dengan jenis penukar kalor pipa ganda.
2. Penukar kalor pipa ganda dengan aliran *counterflow*
3. Menentukan nilai koefisien konveksi pada penggunaan nanofluida SiO<sub>2</sub> dengan fraksi volume nanopartikel 0,1%, 0,3%, dan 0,5% sebagai fluida pendingin penukar kalor.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis nilai bilangan Reynold, bilangan Prandtl, dan bilangan Nusselt untuk aliran nanofluida fraksi volume 0,1%, 0,3%, dan 0,5%.
2. Menganalisis sifat nanofluida SiO<sub>2</sub>/air untuk mendapatkan nilai densitas, panas spesifik, konduktivitas termal, dan viskositas dinamik pada setiap konsentrasi fraksi volume yang digunakan.
3. Menganalisis nilai koefisien perpindahan kalor konveksi nanofluida SiO<sub>2</sub> dan membandingkan untuk setiap fraksi volume nanopartikel yang digunakan (0,1%, 0,3%, 0,5%).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh nanofluida SiO<sub>2</sub>/air sebagai fluida pendingin pada penukar kalor terhadap nilai koefisien perpindahan kalor konveksi.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi nanopartikel yang digunakan pada nanofluida terhadap nilai koefisien konveksi.

3. Sebagai referensi orang lain untuk penelitian selanjutnya di kemudian hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Yudistira Virgus, N. N. dan Khairurrijal, K. 2008. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1, 33-57.
- Aghayari, R., Maddah, H., Zarei, M., Dehghani, M. dan Kaskari Mahalle, S. G. 2014. Heat transfer of nanofluid in a double pipe heat exchanger. *International Scholarly Research Notices*, 2014.
- Balaji, C., Srinivasan, B. dan Gedupudi, S. 2020. Heat transfer engineering: fundamentals and techniques, Academic Press.
- Bergman, T. L. dan Lavine, A. S. 2017. Fundamentals of Heat and Mass Transfer 8th Edition, United States of America, John Wiley & Sons, Inc.
- Bubbicoa, R., Celatab, G. P., D'annibaleb, F., Mazzarotta, B. dan Menalea, C. 2015. Comparison of the heat transfer efficiency of nanofluids. *Chem. Eng.*, 43, 703-708.
- Cengel, Y. A. 2002. Heat Transfer A Practical Approach 2nd. Mc Graw Hill.
- Choi, S. U. dan Eastman, J. A. 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition.
- Devendiran, D. K. dan Amirtham, V. A. 2016. A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 21-40.
- Duangthongsuk, W. dan Wongwises, S. 2010. An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO<sub>2</sub>-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime. *International journal of heat and mass transfer*, 53, 334-344.
- Dyana, R. G. L. dan Triwikantoro, T. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Komposit PANi-SiO<sub>2</sub> dengan Pengisi Gel SiO<sub>2</sub> dari Pasir Bancar Tuban. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 6, B14-B19.
- Holman, J. P. 1986. Heat transfer, McGraw Hill.
- Kai, L. C., Abdullah, M. Z., Ismail, M. A. dan Mamat, H. 2019. Enhancement of nanofluid heat transfer in a mini-tube using SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 5, 607-616.

- Kakaç, S. dan Liu, H. 2002. Heat Exchangers Selection, Rating, And Thermal Design Second Edition, CRC press.
- Kanjirakat, A. dan Sadr, R. Heat transfer performance of SiO<sub>2</sub>-water nanofluid in a plate heat exchanger. Heat Transfer Summer Conference, 2012. American Society of Mechanical Engineers, 267-272.
- Lazim, M. 2013. Pengaruh Kecepatan Dan Sifat Fluida Pendingin Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Pada Penukar Kalor Shell And Tube. Jurnal Desiminasi Teknologi, 1.
- Lee, J. dan Mudawar, I. 2007. Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels. International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 452-463.
- Lee, S., Choi, S.-S., Li, S., And dan Eastman, J. 1999. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 121, 280-289.
- Mjeed, N., Salih, S. M., Al Ani, H., Abdulmajeed, B. A., Albu, P. C. dan Nechhifor, G. 2020. Study the effect of SiO<sub>2</sub> nanofluids on heat transfer in double pipe heat exchanger. Rev Chim, 71, 117-124.
- Monalisa, Y., Djamas, D. dan Ratnawulan 2013. Pengaruh variasi suhu annealing terhadap struktur dan ukuran butir silika dari abu tongkol jagung menggunakan X-Ray Diffractometer (The effect of annealing temperature variations on the structure and grain size of silica from corn cobs ash using X-Ray Diffractometer). Pillar Of Physics, 1.
- Mufarida, N. A. 2019. Perpindahan Panas 1 “Konsep dan Penerapannya”, Jawa Timur, CV. Pustaka Abadi.
- Muhardana, M. R. 2020. Pengaruh Konsentrasi 0,1%, 0,3%, Dan 0,5% Partikel Tio<sub>2</sub> Terhadap Koefisien Konveksi Pada Penukar Kalor Pipa Ganda Dengan Diameter 0,5 Inch Dan 4 Inch. Universitas Sriwijaya.
- Niwalkar, A. F., Kshirsagar, J. M. dan Kulkarni, K. 2019. Experimental investigation of heat transfer enhancement in shell and helically coiled tube heat exchanger using SiO<sub>2</sub>/water nanofluids. Materials Today: Proceedings, 18, 947-962.
- Nurmalasari, N. P. Y., Rahardja, I. B., Wibowo, R., Lillahulhaq, Z., Bakrie, M. dan Pasanda, O. S. 2023. Perpindahan Panas Dan Massa, Global Eksekutif Teknologi.

- O'hanley, H., Buongiorno, J., Mckrell, T. dan Hu, L.-W. Measurement and model correlation of specific heat capacity of water-based nanofluids with silica, alumina and copper oxide nanoparticles. ASME international mechanical engineering congress and exposition, 2011. 1209-1214.
- Oflaz, F., Keklikcioglu, O. dan Ozceyhan, V. 2022. Investigating thermal performance of combined use of SiO<sub>2</sub>-water nanofluid and newly designed conical wire inserts. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38, 102378.
- Omidi, M., Farhadi, M. dan Jafari, M. 2017. A comprehensive review on double pipe heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 110, 1075-1090.
- Perumal, S., Venkatraman, V., Sivanraju, R., Mekonnen, A., Thanikodi, S. dan Chinnappan, R. 2022. Effects of nanofluids on heat transfer characteristics in shell and tube heat exchanger. *Thermal Science*, 26, 835-841.
- Pordanjani, A. H., Aghakhani, S., Afrand, M., Mahmoudi, B., Mahian, O. dan Wongwises, S. 2019. An updated review on application of nanofluids in heat exchangers for saving energy. *Energy Conversion and Management*, 198, 111886.
- Rismaningsih, L. F., Noor, S. I., Indrawati, F., Putranti, A. B., Fitriani, A., Saka, B. G. M., Indrayana, I. P. T., Purwanti, P., Malik, J. S. Y. dan Anggraeni, E. F. 2022. Perpindahan Kalor, Jawa Barat, Media Sains Indonesia.
- Robiyanyusra, R., Gani, U. A. dan Taufiqurrahman, M. 2021. Analisis efektivitas laju perpindahan panas alat penukar kalor tipe double pipe. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2, 97-104.
- Sari, S. P. Analisis Pengaruh Konsentrasi Partikel TiO<sub>2</sub> Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Konveksi pada Penukar Kalor Pipa Ganda. *Seminar Nasional XVII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*, 2018. 41-48.
- Siswanto, Hamzah, M., A, M. dan Fausiah 2012. Perekayasa Nanosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Air Bag Peluncur Kapal Dari Galangan. *Prosiding InSiNas*, 56-59.
- Smallman, R. dan Bishop, R. 2000. *Metalurgi fisik modern dan rekayasa material*. Jakarta: Erlangga.
- Surdia, T. dan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan Kelima*. Jakarta: Pradnya Paramita.

- Thufail, M. I. M. 2020. Pengaruh Partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Konsentrasi 0, 1%, 0, 3% 0, 5% Terhadap Koefisien Perpindahan Kalor Pada Double Pipe Heat Exchanger Dengan Pipa Circular 4 Inch Dan 0, 5 Inch., Universitas Sriwijaya.
- Walujodjati, A. 2006. Perpindahan panas konveksi paksa. Majalah Ilmiah Momentum, 2.
- Yusim, A. K., Utomo, B., Suharto, S. dan Hartono, H. 2021. Proses Perbaikan Plate Heat Exchanger Tipe M15 di PT. Janata Marina Indah (JMI) Semarang. Zona Laut: Journal of Ocean Science and Technology Innovation, 6-10.