



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE*
INSERT DAN KONSENTRASI NANOFUIDA
 Al_2O_3 /AIR PADA *TUBE HEAT EXCHANGER*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL*
*FLUID DYNAMICS***

ROFIFAH HILYATUL JANNAH
NRP. 0231154000073

Dosen Pembimbing:
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE*
INSERT DAN KONSENTRASI NANOFUIDA
 Al_2O_3 /AIR PADA *TUBE HEAT EXCHANGER*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL*
*FLUID DYNAMICS***

ROFIFAH HILYATUL JANNAH
NRP. 02311540000073

Dosen Pembimbing:
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 181801

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF TWISTED TAPE
INSERT GEOMETRY AND Al_2O_3 /WATER NANOFLUID
CONCENTRATION ON TUBE HEAT EXCHANGER
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
METHOD***

ROFIFAH HILYATUL JANNAH
NRP. 0231154000073

Supervisor :
Gunawan Nugroho, S.T, M.T, Ph.D

Engineering Physics Department
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Rofifah Hiyatul Jannah
NRP : 0231154000073
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Pengaruh Geometri *Twisted tape Insert* Dan Konsentrasi Nanofluida Al_2O_3 /Air Pada *Tube Heat Exchanger* Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar benarnya.

Surabaya, 17 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Rofifah Hilyatul Jannah

NRP. 0231154000073

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE*
INSERT DAN KONSENTRASI NANOFLUIDA Al_2O_3 /AIR
PADA *TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN
METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

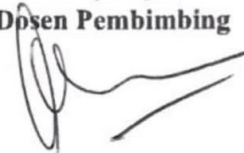
Oleh:

Rofifah Hilyatul Jannah

NRP. 0231154000073

Surabaya, 18 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

NIPN. 19771127 200212 1 002



Mengetahui,
Kepala Departemen
Fisika FTI ITS

Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.

NIPN. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE*
INSERT DAN KONSENTRASI NANOFLUIDA Al_2O_3 /AIR
PADA *TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN
METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ROFIFAH HILYATUL JANNAH

NRP. 0231154000073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD (Pembimbing)
2. Ir. Rockmono, MT (Penguji I)
3. Iwan Cony Setiadi, ST, MT (Penguji II)

**SURABAYA
JULI, 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE*
INSERT DAN KONSENTRASI NANOFLUIDA Al_2O_3 /AIR
PADA *TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN
METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Nama : Rofifah Hilyatul Jannah
NRP : 0231154000073
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Gunawan Nugroho, S.T, M.T, Ph.D

Abstrak

Penukar panas adalah alat yang umum digunakan sebagai media perpindahan panas antara dua fluida yang banyak digunakan di industri. Selama ini telah banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan perpindahan panas pada *heat exchanger* guna meningkatkan performansinya serta mengurangi ukurannya. Pengurangan ukuran merupakan hal yang penting karena dapat mengurangi biaya pembuatan serta mengurangi ruang. Salah satu upaya untuk meningkatkan laju perpindahan panas adalah dengan metode pasif yakni dengan menambahkan promotor turbulensi seperti *twisted tape insert*. Adanya *twisted tape insert* pada *tube* dapat meningkatkan percampuran fluida pada *tube heat exchanger* sehingga mengurangi ketebalan *boundary layer* yang menghasilkan perpindahan panas yang lebih tinggi. Selain itu untuk meningkatkan perpindahan panas juga dapat dicapai dengan meningkatkan sifat-sifat termal fluida kerja dengan cara mensuspensikan partikel padat berukuran nanometer ke dalam fluida kerja dasarnya. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh geometri *twisted tape* dan konsentrasi nanofluida Al_2O_3 /air sebagai fluida kerja terhadap perpindahan panas. Terdapat tiga variasi geometri yakni *single tape*, *co-dual twisted tape*, dan *counter-dual twisted tape*. Sedangkan variasi konsentrasi nanofluida Al_2O_3 /air yakni 0.5%, 1%, dan 1.5%. Dari hasil simulasi diketahui bahwa geometri *counter-dual twisted tape*

dengan fluida kerja nanofluida Al_2O_3 /air pada konsentrasi 1,5% merupakan geometri dan konsentrasi yang paling optimal dalam menaikkan perpindahan panas dengan kenaikan bilangan nusselt sebesar 50,73% dibandingkan dengan *tube* tanpa *twisted tape*, serta kenaikan faktor gesekan yang hanya sebesar 1.22 kali dibandingkan dengan *tube* dengan susunan *single twisted tape*.

Kata kunci: twisted tape insert, nanofluida, bilangan nusselt, faktor gesekan.

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TWISTED TAPE INSERT
GEOMETRY AND Al_2O_3 / WATER NANOFLUID
CONCENTRATION ON TUBE HEAT EXCHANGER USING
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS METHOD**

Name : Rofifah Hilyatul Jannah
NRP : 0231154000073
Department : Engineering Physics
Supervisor : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D

Abstract

Heat exchangers are devices commonly used as heat transfer media between two fluids that are widely used in the industry. So far, many efforts have been made to increase heat transfer in the heat exchanger to improve its performance and reduce its size. Size reduction is important because it can reduce manufacturing costs and reduce space. One of the methods to increase the heat transfer rate is the passive method by adding a turbulence promoter such as a twisted tape insert. The presence of twisted tape inserts on the tube can increase fluid mixing in the tube of a heat exchanger, thereby reducing the thickness of the boundary layer which results in higher heat transfer. In addition, to enhance heat transfer can also be achieved by increasing the thermal properties of the working fluid by suspending nanometer-sized solid particles into the basic working fluid. In this study, a simulation was conducted to determine the effect of twisted tape geometry and the concentration of Al_2O_3 /water nanofluid as working fluid against heat transfer. There are three variations of geometry, namely single twisted tape, co-dual twisted tape, and counter-dual twisted tape. While variations in concentration of nanofluids are 0.5%, 1%, and 1.5%. From the simulation results, it is known that the geometry of counter-dual twisted tape with working fluid nanofluid Al_2O_3 /water at concentration of 1.5% is the most optimal geometry and concentration in increasing heat transfer with an increase of nusselt number by 50.73% compared to a tube without

twisted tape , and an increase in friction factor which is only 1.22 times compared to a tube with a single twisted tape arrangement.

Keywords: *twisted tape insert, nanofluid, Nusselt number, friction factor.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul “**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI *TWISTED TAPE INSERT* DAN KONSENTRASI NANOFLUIDA Al_2O_3 /AIR PADA *TUBE HEAT EXCHANGER* MENGGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*”.**

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini penulis telah dibantu dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, PhD selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS, atas segala dukungan dan fasilitas yang telah diberikan.
2. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala dukungan, bimbingan, dan segenap pembelajaran selama ini.
3. Ibu Dyah Sawitri, ST, MT selaku dosen wali atas perhatian dan nasihat selama kuliah.
4. Kedua orang tua atas segala kasih sayang, dukungan, dan doa yang selalu diberikan kepada penulis.
5. Teman-teman KSE Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan atas pembelajaran dan dukungan kepada penulis.
6. Teman-teman Teknik Fisika angkatan 2015, yang telah menemani penulis selama menuntut ilmu dan berkembang di kampus.
7. Seluruh dosen, karyawan, dan civitas akademika Departemen Teknik Fisika ITS, atas ilmu dan kerjasamanya selama ini.
8. Semua pihak yang tidak sapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala doa dan bantuannya.

Penulis menyadari laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, namun diharapkan laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya.

Surabaya, 17 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak.....	xi
<i>Abstract</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Heat Exchanger.....	5
2.2 Aliran Didalam <i>Tube</i>	7
2.3 <i>Twisted tape Insert</i>	8
2.4 Nanofluida Al_2O_3	10
2.5 Perhitungan Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan.....	12
2.5.1 Perpindahan Panas.....	12
2.5.2 Faktor Gesekan.....	14
2.6 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur.....	18
3.3 Penentuan Geometri dan Penentuan Sifat Termofisik Nanofluida.....	18
3.4 Simulasi CFD.....	19
3.4.1 Pre-Processing.....	19
3.4.2 Processing.....	22

3.4.3	Post Processing	24
3.5	Pengambilan Data.....	25
3.6	Analisis Data	25
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Verifikasi dan Validasi Hasil Simulasi	27
4.2.	Analisis Fenomena Aliran Fluida Dalam <i>Tube</i> dengan <i>Twisted tape</i>	30
4.3	Analisis Pengaruh Geometri dan Nanofluida Al_2O_3 /air Sebagai Fluida Kerja Terhadap Perpindahan Panas.....	36
4.5	Analisis Pengaruh Geometri dan Nanofluida Al_2O_3 /air Sebagai Fluida Kerja Terhadap Faktor Gesekan.....	40
BAB V	PENUTUP.....	43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR	PUSTAKA	45
LAMPIRAN	49
BIODATA	PENULIS	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Finned tube heat exchanger (b) Unfinned tube heat exchanger (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011) ...	5
Gambar 2. 2 Shell and Tube Heat Exchanger (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011).....	6
Gambar 2. 3 <i>Twisted tape</i> insert pada radiator mobil (Hasanpour, Farhadi, & Sedighi, 2014)	6
Gambar 2. 4 Tube Silinder (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)	7
Gambar 2. 5 Lapisan Batas Termal Dalam Tube (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)	8
Gambar 2. 6 <i>Twisted tape</i> Insert (Johar, 2010)	9
Gambar 2. 7 <i>Twisted tape</i> Insert Didalam Tube (Sundar & Sharma, 2010)	9
Gambar 2. 8 Nanopartikel Al_2O_3 (Chandrasekar, Suresh, & Bose, 2010)	11
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3. 2 Geometri Tube Dengan Single <i>Twisted tape</i>	20
Gambar 3. 3 Geometri Tube dengan Co-Dual <i>Twisted tape</i>	20
Gambar 3. 4 Geometri Tube dengan Co-Dual <i>Twisted tape</i>	20
Gambar 3. 5 Mesh Metric Spectrum	21
Gambar 3. 6 Hasil Meshing	22
Gambar 4. 1 Hasil Grid Independence Pada Single Tape.....	28
Gambar 4. 2 Hasil Grid Independence Pada Dual Tape	28
Gambar 4. 3 Validasi hasil simulasi (a) Kontur Temperatur Pada Penelitian Eimsa-ard (2014) (b) Kontur Temperatur Pada Tugas Akhir	29
Gambar 4. 4 Stream line pada tube dengan <i>twisted tape</i> (a) single tape.....	30
Gambar 4. 5 Plot Vektor Kecepatan (a) Single Tape	31
Gambar 4. 6 Kontur Turbulen Kinetik Energi (a) Single Tape	33

Gambar 4. 7	Kontur Suhu (a) Single Tape (b) Co-Dual Tape .	34
Gambar 4. 8	Grafik Pengaruh Konsentrasi Nanofluida pada Berbagai Susunan Geometri Terhadap Bilangan Nusselt	38
Gambar 4. 9	Grafik Pengaruh Konsentrasi Nanofluida pada Berbagai Susunan Geometri Terhadap Faktor Gesekan	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Termofisik nanopartikel Al ₂ O ₃ dan Air	11
Tabel 3. 1 Detail Ukuran <i>Twisted tape</i>	18
Tabel 3. 2 Detail Ukuran Tube	18
Tabel 3. 3 Sifat Termofisik Nanofluida	19
Tabel 3. 4 Hasil Meshing	21
Tabel 3. 5 Kondisi Batas.....	22
Tabel 3. 6 Sifat Termofisik Material yang Digunakan	23
Tabel 3. 7 Metode Solusi Numerik	24
Tabel 4. 1 Hasil Grid Independence.....	27
Tabel 4. 2 Pengaruh Variasi Geometri dan Fluida Kerja Terhadap Bilangan Nusselt	37
Tabel 4. 3 Pengaruh Variasi Geometri dan Fluida Kerja Terhadap Faktor Gesekan	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penukar panas atau *heat exchanger* adalah alat yang umum digunakan sebagai media perpindahan panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dan dipisahkan oleh sebuah dinding padat. Alat ini berguna untuk sistem pemanasan maupun pendinginan sehingga banyak digunakan pada industri seperti perminyakan, petrokimia, otomotif, pembangkit listrik, dan sistem pendinginan udara. Selama ini telah banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan perpindahan panas pada *heat exchanger* guna meningkatkan performansi keseluruhan heat exchanger. Selain itu kenaikan perpindahan panas dapat mengurangi ukuran *heat exchanger*. Pengurangan ukuran merupakan hal yang penting karena dapat mengurangi biaya pembuatan serta mengurangi ruang (Tijing, Pak, Lee, & Baek, 2006).

Salah satu upaya untuk meningkatkan laju perpindahan panas adalah dengan metode pasif yakni dengan menambahkan promotor turbulensi seperti sisipan atau *insert*, modifikasi permukaan, atau memberi tambahan pada fluida kerja seperti nanofluida. Metode pasif lebih banyak digunakan karena lebih mudah diterapkan dalam sistem yang sudah ada serta harganya yang relatif lebih murah. (Webb, 1981) Salah satu perangkat yang digunakan dalam metode pasif adalah dengan memasang perangkat *swirl generator* berupa *insert* pada bagian *tube*. Dari berbagai macam jenis perangkat *insert* pada *tube heat exchanger*, *twisted tape* adalah perangkat yang paling banyak digunakan karena harganya yang murah, performansi termal yang baik, mudah dibuat, dan mudah diinstalasi pada sistem yang sudah ada. Adanya *twisted tape insert* pada *tube* dapat meningkatkan pencampuran fluida pada *tube heat exchanger* sehingga mengurangi ketebalan *boundary layer* yang menghasilkan perpindahan panas yang lebih tinggi (Eiamsa-ard & Kiatkittipong, 2014). Penelitian yang dilakukan oleh Eiamsaard, 2013 dengan menggabungkan dua *twisted tape* menunjukkan

perpindahan panas yang lebih baik daripada satu *twisted tape* (Eiamsa-ard, Nanan, & Thianpong, 2013). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah *twisted tape* dapat meningkatkan perpindahan panas pada *tube heat exchanger*. Selain itu arah putaran pada double *twisted tape* yakni searah (co) dan tidak searah (counter) diketahui dapat mempengaruhi kenaikan perpindahan panas yang berbeda (Eiamsa-ard, Thianpong, & Eiamsa-ard, 2010). Namun menambahkan *twisted tape* pada *tube heat exchanger* juga membutuhkan tambahan biaya sehingga dari segi ekonomi hal ini harus diperhatikan dengan cara menggunakan susunan geometri *twisted tape* yang efektif.

Selain itu, upaya peningkatan laju perpindahan panas pada heat exchanger juga terbatas oleh konduktivitas termal fluida kerja konvensional seperti air, minyak dan etilena glikol. Sifat perpindahan panas yang buruk pada fluida kerja adalah hambatan untuk menggunakan berbagai jenis penukar panas. Salah satu cara peningkatan efektivitas suatu sistem heat exchanger dapat dicapai dengan meningkatkan sifat-sifat termal fluida kerja dengan cara mensuspensikan partikel padat berukuran mikrometer atau nanometer ke dalam fluida kerja dasarnya (Vasheghani, 2011). Dari banyak jenis nanopartikel, nanopartikel Al_2O_3 memiliki sifat termal yang paling baik ditunjukkan dengan konduktivitas termal yang tinggi dan viskositas yang rendah serta harga yang tergolong murah sehingga paling mungkin untuk diaplikasikan pada *heat exchanger* (Sharma, Tiwarib, & Dixit, 2016). Partikel nano Al_2O_3 ketika didispersikan dalam air dapat secara signifikan meningkatkan perpindahan panas konveksi dengan adanya peningkatan bilangan reynolds serta seiring dengan kenaikan konsentrasi nanopartikel (Wen & Ding, 2004). Variabel paling signifikan dalam upaya efisiensi *heat exchanger* adalah koefisien perpindahan panas dan penurunan tekanan (*pressure drop*). Teknologi peningkatan perpindahan panas hampir selalu meningkatkan penurunan tekanan atau faktor gesekan yang mempengaruhi biaya pemompaan lebih tinggi.

Oleh karena itu metode peningkatan perpindahan panas yang digunakan dalam *heat exchanger* harus optimal antara keuntungan

dari kenaikan perpindahan panas dan kerugian akibat kenaikan faktor gesekan karena dapat menyebabkan biaya pemompaan yang lebih tinggi (Yaningsih, Istanto, & Juwana, 2015). Berdasarkan penelitian sebelumnya tersebut dapat diketahui bahwa diperlukan penelitian berbasis simulasi numerik mengenai penggunaan *twisted tape* bersama dengan nanofluida Al_2O_3 /air sebagai fluida kerja untuk mendapatkan susunan geometri *twisted tape* dan konsentrasi nanofluida yang optimal dalam upaya meningkatkan perpindahan panas pada *heat exchanger*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas maka perumusan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana pengaruh geometri *twisted tape insert* dan konsentrasi nanofluida Al_2O_3 /air sebagai fluida kerja terhadap perpindahan panas dan faktor gesekan pada *tube heat exchanger* ?

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah menganalisis pengaruh geometri *twisted tape insert* dan konsentrasi nanofluida Al_2O_3 /air sebagai fluida kerja terhadap perpindahan panas dan faktor gesekan pada *tube heat exchanger*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan geometri *tube heat exchanger* dilakukan dalam domain 3 dimensi.
2. Aliran pada *tube heat exchanger* adalah *steady* dan *incompressible* pada sisi *inlet*.
3. Aliran yang melalui *twisted tape* adalah turbulen pada bilangan reynolds 10.000.
4. Perpindahan panas konduksi pada *twisted tape* dengan dinding *tube* diabaikan.
5. Konveksi natural dan radiasi panas diabaikan.
6. Fluks panas pada dinding *tube* konstan.

4

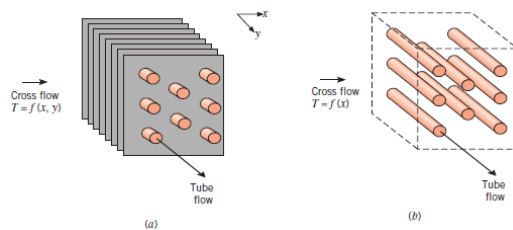
7. Persamaan model turbulensi yang digunakan adalah K-epsilon

BAB II DASAR TEORI

2.1 Heat Exchanger

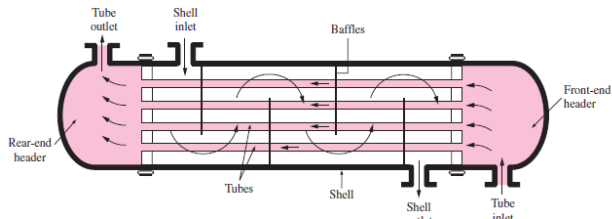
Heat exchanger adalah sebuah peralatan yang dapat memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur dengan menjaga dua fluida agar tidak bercampur. Alat ini umumnya digunakan pada berbagai aplikasinya mulai dari pemanasan dan pendinginan ruangan, proses kimia, hingga pembangkit listrik. Pertukaran panas pada *heat exchanger* umumnya melibatkan perpindahan panas secara konveksi pada fluida dan konduksi pada dinding yang memisahkan dua fluida.

Heat exchanger biasanya dikategorikan berdasarkan pada arah aliran fluida serta bentuk konstruksinya. Berdasarkan arah alirannya, jenis paling sederhana dari *heat exchanger* adalah dua buah pipa sejajar yang berisi fluida panas pada satu pipa dan fluida dingin pada pipa yang lainnya. Kedua fluida ini bergerak searah atau berlawanan arah. Pada aliran yang berlawanan arah disebut *counterflow* sedangkan yang searah disebut *parallel flow*. Selain kedua tipe tersebut, *heat exchanger* juga mempunyai tipe lain yaitu *crossflow* yang alirannya tegak lurus. Berdasarkan tipe konstruksinya, *heat exchanger* dibedakan menjadi 2 yaitu *finned and unfinned tube* dan *shell and tube heat exchanger*.



Gambar 2. 1 (a) Finned *tube* heat exchanger (b) Unfinned *tube* heat exchanger (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)

Pada *shell and tube heat exchanger* yang paling sederhana, terdapat satu *tube* didalam *shell*. Fluida masuk melalui *shell inlet* dan keluar melewati *shell outlet*. Tipe heat exchanger ini merupakan yang paling sering digunakan dalam aplikasi di industri. *Shell and tube* heat exchanger terdiri dari sejumlah *tube* yang dikemas didalam sebuah *shell* dengan arah yang sesuai dengan *shell*. Perpindahan panas terjadi saat terdapat suatu aliran fluida didalam *tube* dan ada aliran fluida lain diluar *tube* yang melalui *shell*.



Gambar 2. 2 Shell and Tube Heat Exchanger (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)

Para peneliti dan insinyur terus mencari penggunaan instrumen untuk meningkatkan intensitas pencampuran dan turbulensi pada aliran fluida agar mendapatkan nilai perpindahan panas yang lebih tinggi. *Twisted tape* memiliki kemampuan untuk meningkatkan parameter tersebut sehingga sekarang banyak digunakan pada perangkat perpindahan panas seperti boiler, penukar panas *shell and tube*, dan bahkan radiator mobil.



(a)

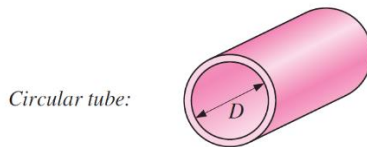


(b)

Gambar 2. 3 Aplikasi *Twisted tape insert* (a) radiator mobil (Hasanpour, Farhadi, & Sedighi, 2014) (b) *shell and tube* heat exchanger (Koch Heat Transfer, 2018)

2.2 Aliran Didalam Tube

Aliran didalam *tube* dapat berupa aliran laminar atau turbulen, bergantung pada kondisi aliran. Aliran fluida terarah dan laminar pada kecepatan rendah tetapi berubah turbulen saat kecepatan meningkat melebihi nilai kritis. Transisi dari laminar ke aliran turbulen tidak terjadi secara tiba-tiba melainkan terjadi pada beberapa rentang kecepatan di mana aliran berfluktuasi antara laminar dan turbulen sebelum menjadi sepenuhnya turbulen. Sebagian besar aliran didalam pipa adalah turbulen. Aliran laminar akan ditemui ketika cairan sangat kental seperti minyak mengalir dalam tabung berdiameter kecil atau saluran sempit.



Gambar 2. 4 Tube Silinder (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)

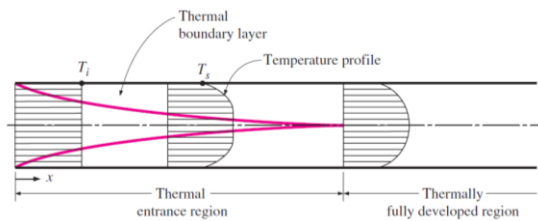
Untuk aliran didalam sebuah *tube* silinder, bilangan Reynolds didefinisikan sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis fluida, V adalah kecepatan rata-rata fluida, D adalah diameter *tube*, dan μ adalah viskositas dinamis fluida. Jika diasumsikan fluida yang memasuki *tube* silinder dengan kecepatan yang seragam. Seperti pada aliran eksternal, partikel fluida dalam lapisan yang bersentuhan dengan permukaan *tube* akan berhenti total. Lapisan ini juga akan menyebabkan partikel fluida di dalam lapisan yang berdekatan akan melambat secara bertahap sebagai akibat dari gesekan. Untuk mengatasi reduksi kecepatan ini, kecepatan fluida di bagian tengah tabung harus meningkat untuk menjaga laju aliran massa melalui tabung tetap konstan. Akibatnya lapisan batas kecepatan atau velocity

boundary layer berkembang di sepanjang tabung. Ketebalan lapisan batas ini bertambah aliran sampai lapisan batas mencapai pusat *tube* dan mengisi seluruh *tube*.

Jika fluida pada suhu yang seragam memasuki *tube* silinder yang permukaannya dipertahankan pada suhu yang berbeda, maka partikel fluida dalam lapisan yang kontak dengan permukaan *tube* akan diasumsikan sebagai suhu permukaan. Hal ini akan memicu perpindahan panas konveksi dalam *tube* dan terbentuknya lapisan batas termal atau thermal boundary layer di sepanjang *tube*. Ketebalan lapisan batas ini juga meningkat sepanjang arah aliran sampai batas lapisan mencapai pusat *tube* dan dengan mengisi seluruh *tube*.



Gambar 2.5 Lapisan Batas Termal Dalam *Tube* (Incropera, Dewitt, Bergman, & Lavine, 2011)

2.3 *Twisted tape Insert*

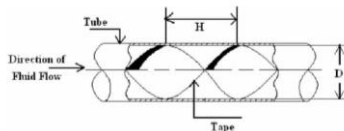
Di antara perangkat *swirl generator* yang digunakan untuk membuat aliran *swirl* atau aliran sekunder, *twisted tape insert* adalah yang paling populer karena harganya yang murah dan mudah diaplikasikan pada sistem yang sudah ada. Gambar. 5 menunjukkan konfigurasi umum *Twisted tape* yang sering digunakan. *Twisted tape insert* meningkatkan koefisien perpindahan panas sekaligus meningkatkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Karena kemudahan desain dan aplikasi, *twisted tape* banyak digunakan selama beberapa dekade untuk meningkatkan perpindahan panas pada *heat exchanger*.



Gambar 2. 6 *Twisted tape* Insert (Johar, 2010)

Twisted tape pada umumnya diletakkan sepanjang pusat *tube* untuk menghasilkan *swirl* atau pusaran yang menyebabkan perpindahan fluida antara pusat *tube* dan dinding *tube*. Hal ini menyebabkan beberapa mekanisme untuk peningkatan perpindahan panas dengan meningkatkan kecepatan aliran akibat sumbatan pada sebagian aliran pada *tube*, yang akan mengurangi ketebalan lapisan batas hidrodinamik atau termal. Pengurangan diameter hidraulik menghasilkan koefisien perpindahan panas yang lebih besar, jalur aliran yang lebih panjang sebagai konsekuensi dari gerakan putaran heliks fluida, sehingga meningkatkan pencampuran fluida dan menipiskan lapisan batas termal.

Efek yang dihasilkan oleh *twisted tape* adalah aliran pusaran yang dapat meningkatkan pencampuran fluida, gerakan fluida yang berputar secara heliks menyebabkan aliran yang lebih lama dan dan memisahkan hambatan aliran pada *tube* yang mengakibatkan kecepatan aliran lebih tinggi. Aliran sekunder yang dihasilkan oleh *twisted tape* meningkatkan pencampuran aliran dikarenakan aliran yang berputar.



Gambar 2. 7 *Twisted tape* Insert Didalam *Tube* (Sundar & Sharma, 2010)

Twisted tape pada umumnya terbuat dari bahan seperti baja karbon, aluminium, stainless steel, atau tembaga. Namun yang paling sering digunakan adalah aluminium karena sifatnya yang ringan,

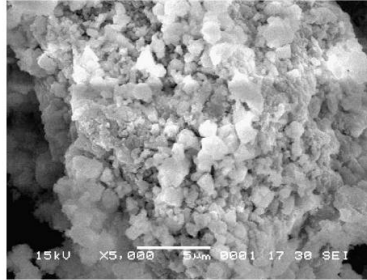
mudah didapat, laju korosi rendah, dapat dibentuk, dan murah. Beberapa istilah yang digunakan dalam *twisted tape* adalah:

- *Pitch* (H) adalah jarak antara dua titik ditepi *twisted tape* yang menempel pada bidang.
- *Twist ratio* (Y) adalah rasio pitch dengan lebar tape ($Y = H/D$).
- Revolusi adalah jumlah revolusi 360^0 pada *twisted tape*.

2.4 Nanofluida Al_2O_3

Nanofluida merupakan campuran dua fase yang terdiri dari fluida dasar sebagai medium pendispersi dan nanopartikel sebagai material terdispersi. Nanofluida dapat didefinisikan sebagai dispersi partikel nano yang memiliki ukuran dibawah 100 nm di dalam fluida dasar seperti air, minyak, dan etilena glikol (B A Wong, 2008). Partikel nano yang terdispersi secara permanen dalam fluida dasar dapat menjadi suspensi yang stabil karena efek gerak Brownian. Stabilitas fluida terdispersi ini juga sangat dipengaruhi oleh sifat termofisik yang mempengaruhi proses perpindahan panas dalam suatu sistem penukar panas. Selain itu, dispersi partikel nano dalam fluida dasar dapat meningkatkan konduktivitas termal, massa jenis, viskositas dan menurunkan panas spesifik tanpa memberikan sedimentasi yang signifikan (Budi Kristiawan, 2015).

Pada penelitian ini nanopartikel yang akan digunakan adalah Al_2O_3 karena bahan baku pembuatannya mudah didapatkan, ekonomis, dan merupakan logam yang secara kimia lebih stabil dibandingkan dengan logam lainnya (Singh, Gangacharyulu, & Sharma, 2013). Aluminium oksida (Al_2O_3 atau alumina) adalah jenis keramik oksida atau keramik teknik yang aplikasinya cukup luas, seperti di bidang elektronik, termal, kimia katalis dan mekanik.



Gambar 2. 8 Nanopartikel Al_2O_3 (Chandrasekar, Suresh, & Bose, 2010)

Sifat termofisik nanopartikel Al_2O_3 dan air adalah sebagai berikut (Pathipakka & Sivashanmugam, 2010) :

Tabel 2. 1 Sifat Termofisik nanopartikel Al_2O_3 dan Air

Fluida	Massa jenis (kg/m^3)	Konduktivitas panas (W/mK)	Panas spesifik (J/kgK)	Viskositas Dinamik (Pa.s)
Al_2O_3	3970	40	765	-
Air	997.13	0.605	4179	0,00089

Diasumsikan nanopartikel terdispersi kedalam fluida dasar (air) menjadi satu fase. Sifat termofisik nanofluida bergantung pada konsentrasi (ϕ) nanopartikel dalam fluida dasar. Massa jenis dan panas spesifik nanofluida dapat dihitung menggunakan persamaan korelasi Pak dan Cho sebagai berikut:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_w + \phi\rho_{np} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$C_{p,nf} = \frac{\phi\rho_{np}C_{p,np} + (1-\phi)\rho_w C_{p,w}}{\rho_{nf}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

ρ_{nf} = massa jenis nanofluida (kg/m^3)

ρ_w = massa jenis air (kg/m^3)

ρ_{np} = massa jenis nanopartikel (kg/m^3)

$C_{p,nf}$ = panas spesifik nanofluida (J/kgK)

$C_{p,np}$ = panas spesifik nanopartikel (J/kgK)

$C_{p,w}$ = panas spesifik air (J/kgK)

Konduktivitas panas dihitung dari model Maxwell seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.4 yang mana sesuai untuk suspensi cairan dan padatan dengan dispersi random, ukurannya seragam, dan tidak ada interaksi antar partikel

$$\frac{k_{nf}}{k_w} = \frac{k_{np} + 2k_w + 2\phi(k_{np} - k_w)}{k_{np} + 2k_w - \phi(k_{np} - k_w)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

k_{nf} = konduktivitas panas nanofluida (W/mK)

k_w = konduktivitas panas air (W/mK)

k_{np} = konduktivitas nanopartikel (W/mK)

Viskositas nanofluida dihitung dengan persamaan umum Einstein dengan asumsi bentuk partikel bulat dan dalam suatu volume dengan konsentrasi kurang dari 5%. Persamaan Einstein diformulasikan sebagai berikut:

$$\mu_{nf} = \mu_w(1 + 2,5\phi) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

μ_{nf} = viskositas nanofluida (Pa.s)

μ_w = viskositas air (Pa.s)

2.5 Perhitungan Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan

2.5.1 Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas konveksi dalam keadaan *steady state* diasumsikan sama dengan perpindahan panas pada fluida kerja didalam *tube* sebagai berikut:

$$Q_f = Q_{conv} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Q_f = \dot{m}c_{pf}(T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2.7)$$

Laju perpindahan panas yang diserap oleh fluida didapatkan dari perpindahan panas konveksi internal dari dinding *tube* sebagai berikut:

$$Q_f = hA(T_w - T_b) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$T_b = \left(\frac{T_{out} + T_{in}}{2} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$A = \pi DL \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana T_{out} adalah suhu fluida pada outlet, T_{in} adalah suhu fluida pada inlet, T_w adalah suhu dinding *tube*, dan T_b adalah suhu rata-rata fluida bergerak. Laju perpindahan panas konveksi (h) didapatkan dari kombinasi persamaan diatas sebagai berikut:

$$h = \frac{\dot{m}c_{pf}(T_{out} - T_{in})}{A(T_w - T_b)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Jika diketahui besar nilai heat flux, maka nilai laju perpindahan panas konveksi (h) juga dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$h = \frac{q/A}{T_w - T_b} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana q/A adalah *heat flux* (Watt/m).

Bilangan nusselt merepresentasikan peningkatan perpindahan panas yang dihasilkan oleh lapisan fluida konveksi dibandingkan dengan perpindahan panas lapisan konduksi. Bilangan Nusselt didapatkan dari persamaan berikut:

$$Nu = \frac{hD}{k} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana k adalah konduktivitas panas fluida yang didapatkan dari sifat fluida.

2.5.2 Faktor Gesekan

Salah satu bagian dalam analisis aliran didalam *tube* adalah penurunan tekanan atau *pressure drop* (ΔP) dikarenakan hal ini berhubungan langsung dengan kebutuhan daya pompa untuk mempertahankan aliran. Faktor gesekan pada *tube* dapat dihitung dari *pressure loss* sepanjang *tube* (L) melalui persamaan berikut:

$$f = \frac{1}{2} \frac{\Delta P}{L} \frac{D}{\rho V^2} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana ρ adalah massa jenis dan V adalah kecepatan rata-rata fluida.

2.6 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan proses fisik lain secara numerik. Aliran fluida pada daerah yang terbatas akan dimodelkan dengan persamaan-persamaan tertentu sesuai dengan kondisi batas pada daerah tersebut. Terdapat 3 tahapan dalam penggunaan *CFD* yaitu:

a. Pre-Processing

Tahap pre-processing merupakan tahap awal penyelesaian dari permasalahan dengan melakukan beberapa kegiatan seperti berikut.

- Pendefinisian geometri dan domain komputasi.
- *Grid generation* yaitu membagi domain komputasi menjadi lebih kecil (*cell*).
- Pendefinisian karakteristik fluida.
- Pendefinisian kondisi batas yang sesuai pada *cell* yang bersinggungan dengan batas domain.

b. Solver

Solusi numerik bisa didapatkan melalui beberapa metode seperti *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*.

Metode numerik yang menjadi dasar dari *solver* dalam menyelesaikan masalah adalah sebagai berikut:

- Pendekatan terhadap variabel aliran yang tidak diketahui, dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Substitusi dari pendekatan yang telah dilakukan ke dalam persamaan aliran.
- Menyelesaikan persamaan dengan metode iterasi.

c. *Post Processing*

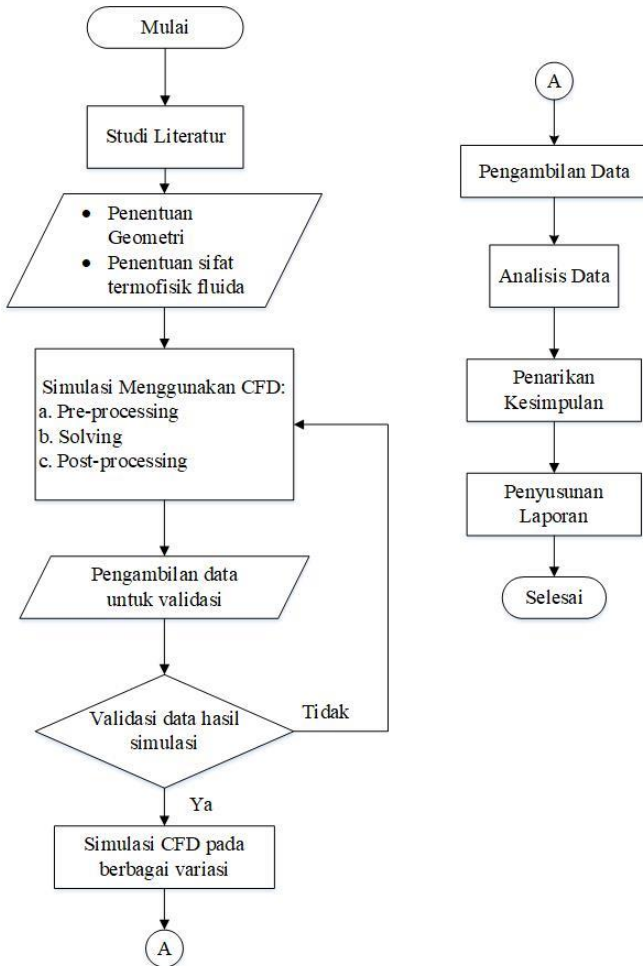
Post processing merupakan tahap akhir dalam CFD. Hasil pengerjaan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur maupun animasi. Beberapa hasil yang dapat ditampilkan diantaranya adalah *display grid*, plot vector, plot kontur, *particle tracking* dan lain sebagai.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir Tugas Akhir ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Tahap awal penelitian ini diperlukan pemahaman mendalam terhadap konsep perpindahan panas, metode peningkatan perpindahan panas, *heat exchanger*, dan nanofluida. Selain itu, adanya perubahan fluida kerja menggunakan partikel nano membutuhkan pemahaman terkait karakteristik, kelebihan, dan kekurangan partikel nano tersebut. Sumber pembelajaran dapat diperoleh dari buku dan artikel ilmiah.

3.3 Penentuan Geometri dan Penentuan Sifat Termofisik Nanofluida

Susunan geometri didasarkan pada penelitian berbasis eksperimen yang dilakukan oleh C. Eimsa-ard, dkk (2010). Tipe *twisted tape* yang digunakan ada dua yakni single dan double. Untuk double *twisted tape*, arah putaran tape dibagi menjadi dua yakni co dan counter. Untuk co-dual *twisted tape*, kedua tape dan diputar searah. Sebaliknya pada counter-dual *twisted tape*, dua tape diputar dengan arah yang berlawanan. Detail *twisted tape* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Detail Ukuran *Twisted tape*

<i>Twisted tape</i>	Single <i>twisted tape</i>	Co-Dual <i>Twisted tape</i>	Conter-Dual <i>Twisted tape</i>
Jumlah Tape	1	2	2
Lebar Tape (mm)	19	8	8
Panjang Pitch (mm)	57	22,5	22,5
Twist Ratio	3	3	3
Ketebalan (mm)	0,8	0,8	0,8
Material	Aluminium	Aluminium	Aluminium

Sedangkan detail *tube* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Detail Ukuran *Tube*

Diameter	20 mm	
Panjang	Plain dan Single Tape	171 mm
	Dual Tape	68 mm
Material	Tembaga	

Kemudian konsentrasi nanofluida yang digunakan sebagai fluida kerja dengan tiga variasi yakni 0,5%, 1%, dan 1,5%. Nanopartikel pada fluida dasar mudah dicairkan akibatnya campuran berperilaku seperti fluida fase tunggal. Diasumsikan juga bahwa fase fluida dan nanopartikel dalam kesetimbangan termal. Asumsi ini juga mencerminkan perilaku nanofluida dalam permasalahan *engineering*. Sifat termal nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Air}$ untuk tiga konsentrasi tersebut dihitung berdasarkan sifat air dan nanopartikel pada sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Sifat Termofisik Nanofluida

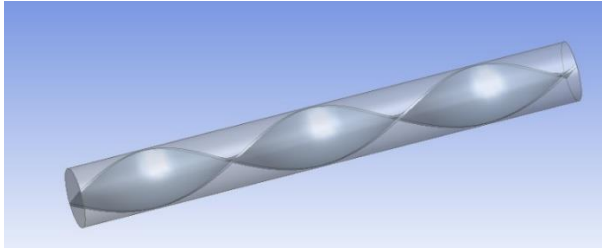
Konsentrasi	Massa Jenis (kg/m^3)	Panas Spesifik (J/kg K)	Konduktivitas Termal (W/m-K)	Viskositas Dinamik (Ns/m^2)
0,5%	1011,99	4112,03	0,6137	0,00090
1%	1026,85	4047,01	0,6225	0,00091
1,5%	1041,72	3983,84	0,6314	0,00092

3.4 Simulasi CFD

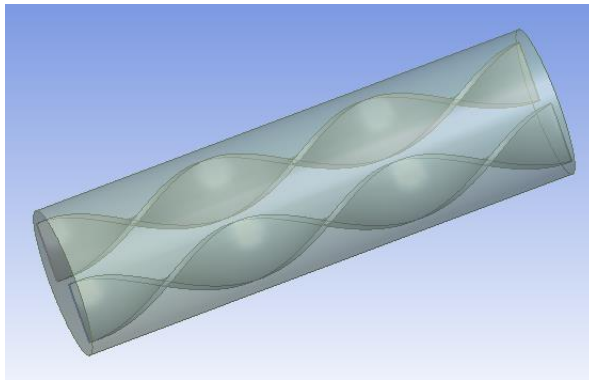
Proses simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* terdiri dari tiga langkah yakni *pre-processing*, *processing*, dan *post processing*.

3.4.1 Pre-Processing

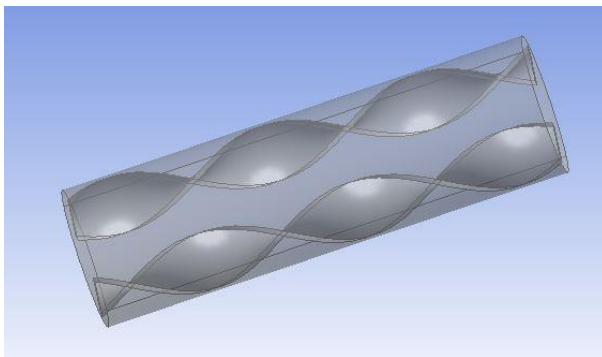
Pembuatan geometri dilakukan sesuai dengan referensi yang telah ditentukan seperti yang telah dijabarkan pada tabel 3.2 untuk ukuran *tube* dan tabel 3.1 untuk ukuran *twisted tape* insert. Terdapat empat geometri yang dibuat yakni *tube* tanpa *twisted tape*, *tube* dengan *single twisted tape*, *tube* dengan *co-dual twisted tape*, dan *tube* dengan *counter-dual twisted tape*.



Gambar 3. 2 Geometri Tube Dengan Single *Twisted tape*



Gambar 3. 3 Geometri Tube dengan Co-Dual *Twisted tape*



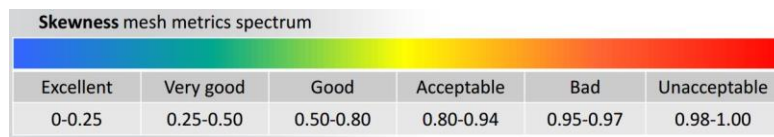
Gambar 3. 4 Geometri Tube dengan Co-Dual *Twisted tape*

Proses selanjutnya adalah melakukan *meshing* pada geometri yang telah dibuat. *Meshing* merupakan proses pembagian geometri yang telah dibuat menjadi elemen-elemen kecil. Pada setiap elemen tersebut akan dilakukan komputasi dengan memasukkan persamaan matematis konservasi massa, momentum, dan energi sehingga dihasilkan sebuah nilai. Semakin kecil ukuran elemen pada geometri yang digunakan maka semakin banyak jumlah elemen yang terbentuk dan mempengaruhi lamanya proses komputasi. Hasil *meshing* pada tiap geometri dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Hasil Meshing

Geometri	Nodes	Elements	Maximum Skewness
Single <i>Twisted tape</i>	364.337	1.891.326	0.84932
Co-Dual <i>Twisted tape</i>	202.884	1.077.412	0.83293
Counter-Dual <i>Twisted tape</i>	203.821	1.082.948	0.83099

Untuk mengetahui kualitas *meshing* dapat diukur dengan nilai *skewness* yang memiliki range dari 0 sampai 1. Semakin mendekati 0 nilai *skewness* maka menunjukkan bahwa *mesh* yang telah dibuat memiliki kualitas yang semakin baik.

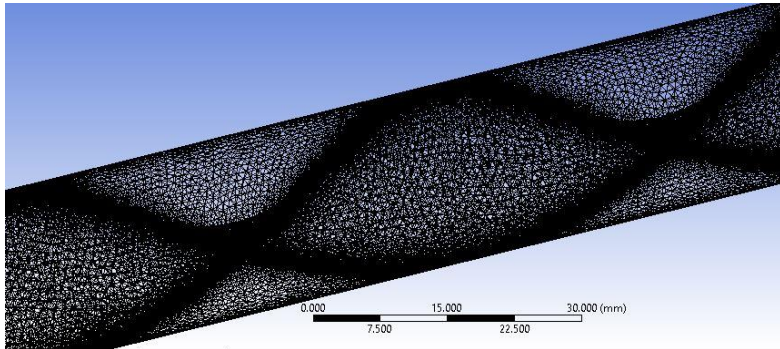


Gambar 3. 5 Mesh Metric Spectrum

Berdasarkan Tabel 3.4 Nilai maksimum *skewness* hasil *meshing* geometri pada Tugas Akhir ini berada pada range 0,83 hingga 0,84. Dari *mesh metric spectrum* pada gambar 3.5 diatas maka hasil

meshing untuk semua variasi geometri berada pada kategori *acceptable*.

Salah satu contoh hasil meshing dapat dilihat pada gambar 3.6. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pola mesh yang digunakan adalah *triangular*.



Gambar 3. 6 Hasil Meshing

3.4.2 Processing

Pada tahap processing dilakukan penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dan asumsi dengan memasukkan variabel-variabel yang diketahui. Adapun kondisi batas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 5 Kondisi Batas

Kondisi Batas	Keterangan	
Inlet	Type	<i>Velocity Inlet</i>
	Kecepatan (m/s)	0,441577-0,446281
	Temperatur (K)	299
	Turbulence Intensity	10%
Wall	Wall Motion	<i>Stationary Wall</i>
	Shear Condition	No Slip
	Heat flux (Watt/m ²)	1000
Outlet	Type	<i>Pressure Outlet</i>

Pada tugas akhir ini material yang digunakan untuk simulasi pada *tube* adalah tembaga sedangkan material *twisted tape* adalah aluminium. Sifat termofisik material yang digunakan pada tersebut disajikan dalam tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Sifat Termofisik Material yang Digunakan

Material	Tembaga	Aluminium
Densitas (kg/m^3)	8978	2719
Panas Spesifik (J/kg.K)	381	871
Konduktivitas Panas (W/m.K)	387,6	202,4

Dalam simulasi pada tugas akhir ini terdapat beberapa asumsi yakni *twisted tape* terletak didalam *tube* dengan *heat flux* yang konstan pada bagian dindingnya sebesar 1000 W/m^2 , pada bagian inlet *tube* kecepatan diasumsikan seragam besarnya dihitung dari persamaan 2.1 bergantung pada sifat fluida kerja yang digunakan, suhu aliran pada inlet adalah 26°C atau 299K , dalam kondisi tiga dimensi, aliran yang melalui *twisted tape* adalah turbulen, efek gravitasi diabaikan, konduksi antara *twisted tape* dengan dinding diabaikan, serta fluida diasumsikan dalam kondisi terdispersi sempurna menjadi satu fase, *steady*, dan *incompressible*.

Model viskositas yang dipilih adalah RNG K-Epsilon dengan *enhanced wall treatment*. Model ini digunakan karena pada model ini efek *swirl* pada turbulensi dimasukkan dalam model sehingga meningkatkan akurasi untuk *swirling flow* (Tuakia, 2008). Persamaan model RNG K-epsilon adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + G_k - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial}{\partial x_j} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - Re$$

Pada persamaan tersebut G_k menunjukkan membangkitkan energi kinetik turbulensi karena gradien kecepatan rata-rata. α_k dan α_ε adalah efektif invers bilangan Prandtl untuk k dan ε . Viskositas efektif μ_{eff} dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_f = \mu + \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Selanjutnya konstanta yang digunakan dalam persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$C_\mu = 0,0845$$

$$C_{1\varepsilon} = 1,42$$

$$C_{2\varepsilon} = 1,68$$

Pada solusi numerik ini, metode solusi yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 7 Metode Solusi Numerik

<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	SIMPLE
<i>Gradient</i>	Least Squares Cell Based
<i>Pressure</i>	Second Order
<i>Momentum</i>	QUICK
<i>Turbulent Kinetic Energy</i>	QUICK
<i>Turbulent Dissipation Rate</i>	QUICK
<i>Energy</i>	QUICK

Komputasi numerik dilakukan dengan menyelesaikan persamaan konservasi dasar dengan kondisi batas yang ada menggunakan formulasi finite volume. Selanjutnya dilakukan proses iterasi sampai mencapai kriteria konvergen.

3.4.3 Post Processing

Selanjutnya pada proses *post processing* dilakukan pengambilan data berupa kontur dan data numerik. Hasil *post-processing* yang diambil adalah kontur temperatur, vektor kecepatan, dan streamline.

3.5 Pengambilan Data

Setelah simulasi dilakukan, maka akan didapatkan data-data hasil simulasi meliputi temperatur inlet, temperatur outlet, temperatur dinding, tekanan inlet dan tekanan outlet. Data yang telah diperoleh dan lolos tahap verifikasi kemudian diolah dan dianalisis lebih lanjut

3.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah semua data dari hasil simulasi telah didapatkan. Proses ini dilaksanakan dengan berdasarkan pada teori-teori yang telah didapatkan pada tahap studi literatur. Analisis data meliputi pengaruh susunan geometri, serta pengaruh konsentrasi nanofluida terhadap perpindahan panas dan faktor gesekan pada bilangan reynolds 10.000. Besarnya perpindahan panas direpresentasikan oleh bilangan nusselt yang dihitung menggunakan persamaan 2.13 sedangkan faktor gesekan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14. Setelah analisis data dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan dari tugas akhir ini dan penyusunan laporan tugas akhir dapat dimulai

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

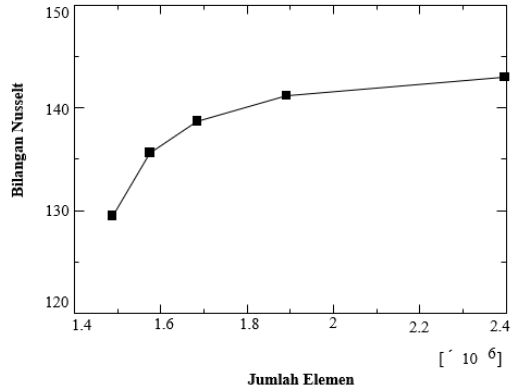
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Verifikasi dan Validasi Hasil Simulasi

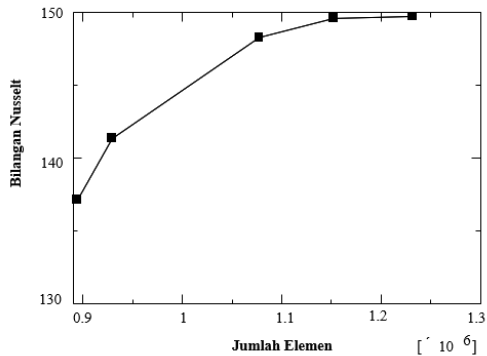
Verifikasi simulasi dilakukan dengan metode *grid independence*. Tujuan utama dari *grid independence* adalah untuk membuktikan bahwa pola *mesh* yang digunakan sudah tepat. Pola *mesh* yang tepat tersebut didapatkan dengan cara memperkecil skala *mesh* hingga perubahan hasil simulasi yang didapatkan mencapai nilai konstan. Pada tugas akhir ini *grid independence* dilakukan dengan melakukan simulasi untuk dua jenis geometri yakni *tube* dengan *single tape* dan *double tape* dengan fluida kerja air. Simulasi dilakukan pada lima macam *mesh* dengan jumlah element berbeda seperti pada tabel 4.1. Selanjutnya dari kelima *mesh* tersebut didapatkan perubahan nilai bilangan nusselt yang dapat dilihat pada gambar 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Grid Independence

Single Tape				
Element	Node	Skewness	Nu	Error
1.488.626	291.483	0.83561	129.4862	-
1.575.039	207.546	0.84304	135.6219	4.524
1.684.296	327.348	0.84993	138.6945	2.215
1.891.326	364.337	0.84972	141.1823	1.76
2.396.843	453.483	0.84525	142.9837	1.26
Dual Tape				
Element	Node	Skewness	Nu	Error (%)
894.019	167.368	0.8385	137.1410	-
929.021	174.352	0.8406	141.3634	3.078
1.077.412	202.884	0.8329	148.3079	4.682
1.152.336	215.560	0.8348	149.6168	0.882
1.231.370	232.535	0.8496	149.7524	0.090



Gambar 4. 1 Hasil Grid Independence Pada Single Tape

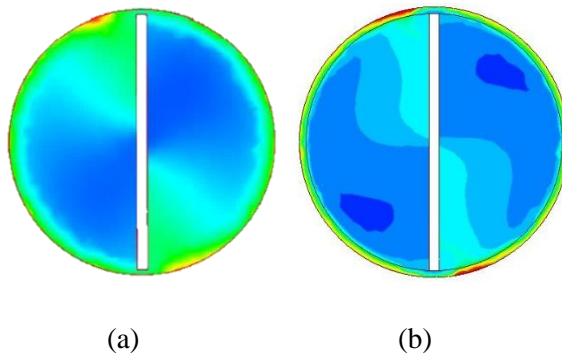


Gambar 4. 2 Hasil Grid Independence Pada Dual Tape

Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa semua pola mesh memiliki nilai *skewness* yang berada pada kategori *acceptable* sehingga kelima pola mesh dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik. Dari tiap pola mesh, dapat disimpulkan bahwa nilai error berada dibawah 10%. Dari gambar 4.1 dan 4.2 terlihat bahwa nilai bilangan nusselt mulai konstan ketika jumlah element 1.891.326 untuk geometri *tube* dengan *single tape*. Sedangkan pada geometri

tube dengan *dual tape*, bilangan nusselt mulai konstan pada jumlah element 1.077.412. Pola mesh dengan minimal jumlah element tersebut yang digunakan untuk simulasi pada variasi selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa pola mesh dengan jumlah tersebut telah tervalidasi secara *grid independence*.

Kemudian validasi dilakukan dengan membandingkan pola distribusi temperatur antara penelitian yang dilakukan oleh Eimsa-ard,dkk (2014) dengan tugas akhir ini. Pada penelitian Eimsa-ard,dkk (2014) dilakukan simulasi pada *tube* dengan *single twisted tape* pada bilangan reynolds 10.000, twist ratio 3, air sebagai fluida kerja, dan suhu inlet 26⁰C. Kondisi yang sama diberikan pada simulasi dalam tugas akhir ini. Perbandingan kontur temperatur keduanya ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 3 Validasi hasil simulasi (a) Kontur Temperatur Pada Penelitian Eimsa-ard (2014) (b) Kontur Temperatur Pada Tugas Akhir

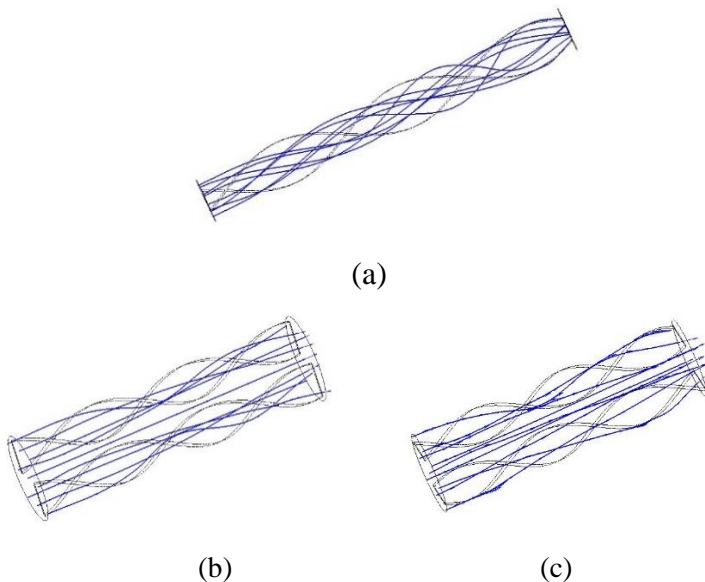
Pada kedua kontur temperatur terlihat persamaan dalam distribusi temperatur fluida disekitar *twisted tape* didalam *tube*. Terlihat bahwa kedua kontur menunjukkan munculnya sebuah aliran pusaran yang keluar dari permukaan *twisted tape*. Selain itu suhu pada bagian kanan atas dan kiri bawah terlihat lebih rendah dibandingkan dengan wilayah lainnya akibat posisi fluida yang lebih condong dengan dinding *tube*. Sehingga secara keseluruhan,

kedua geometri ini memiliki kesamaan dalam fenomena fluida yang terjadi didalam *tube* dengan *twisted tape*. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi penelitian tugas akhir ini telah tervalidasi.

4.2. Analisis Fenomena Aliran Fluida Dalam *Tube* dengan *Twisted tape*

Untuk memperjelas alasan dari pengaruh geometri terhadap perpindahan panas dan faktor gesekan maka pada sub bab ini akan disajikan fenomena aliran fluida didalam *tube* dengan *twisted tape* insert.

4.2.1 *Streamline*

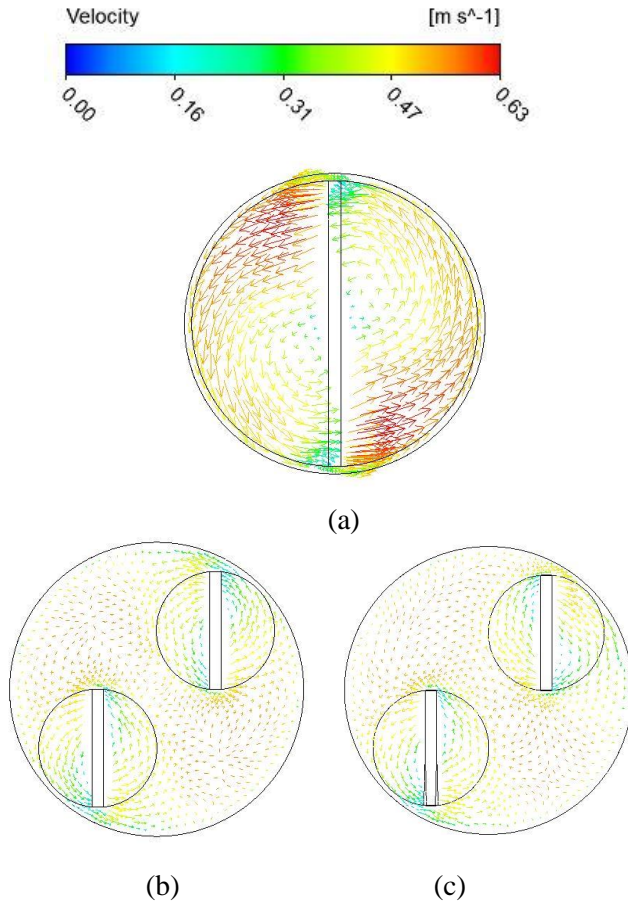


Gambar 4. 4 Streamline pada *tube* dengan *twisted tape* (a) single tape (b) co-dual tape (c) counter-dual tape

Pada gambar 4.4 terlihat arah aliran fluida didalam *tube* dengan *twisted tape* dari inlet hingga outlet. Pada *tube* dengan *dual twisted tape* menghasilkan dua tipe aliran yakni aliran pusaran (*swirling*

flow) dan aliran lurus (*axial flow*) didekat dinding *tube*. Setiap *twisted tape* menimbulkan aliran pusaran keluar dari permukaannya. Sehingga jumlah aliran pusaran dalam setiap *tube* sama dengan jumlah *twisted tape*.

4.2.1 Vektor Kecepatan



Gambar 4. 5 Plot Vektor Kecepatan (a) Single Tape
(b) Co-Dual Tape (c) Counter-dual tape

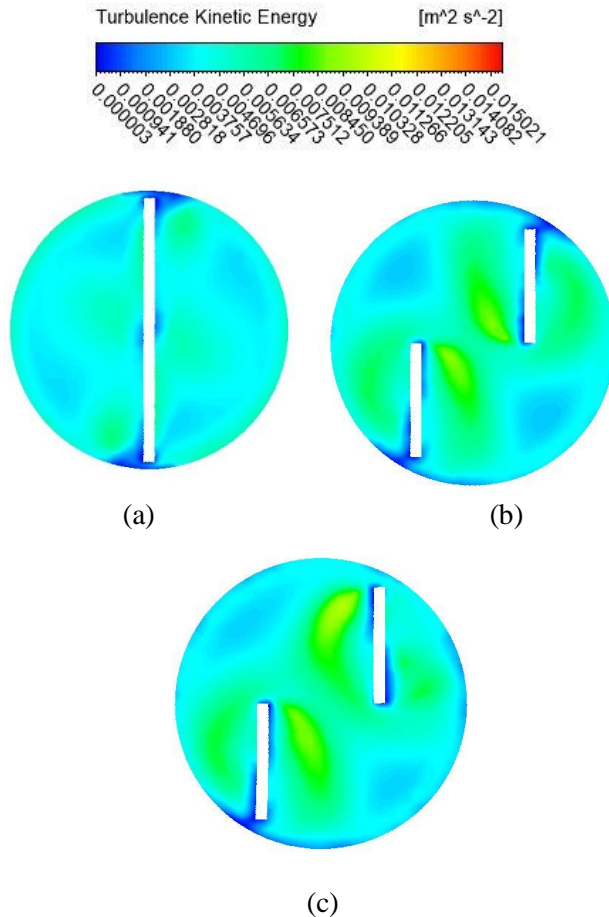
Pada gambar 4.5 menunjukkan plot vektor kecepatan aliran fluida pada *tube* dengan *twisted tape insert*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa adanya *twisted tape* menghasilkan aliran pusaran yang keluar dari permukaan *twisted tape*. Jumlah aliran pusaran yang dihasilkan sesuai dengan jumlah *twisted tape*. Pada *tube* dengan *single tape* terlihat bahwa kecepatan aliran lebih tinggi daripada *dual tape* dikarenakan ruang gerak fluida yang lebih leluasa didalam *tube*. Pada *tube* dengan *co-dual tape* terbentuk dua aliran resirkulasi pada bagian kiri atas dan kanan bawah. Aliran ini terbentuk karena adanya dua aliran yang searah saling bertemu. Sedangkan pada *tube* dengan *counter-dual tape* terbentuk sebuah aliran resirkulasi pada bagian kanan bawah dan sebuah aliran tabrakan pada kiri atas. Aliran tabrakan ini terbentuk karena bertemunya aliran yang arahnya saling berlawanan. Aliran pusaran ini yang berperan mengganggu lapisan batas menjadi terpisah, sehingga dapat menyeragamkan suhu pada aliran di pusat *tube*.

4.2.3 Distribusi Energi Kinetik Turbulen

Gambar 4.5 menunjukkan kontur turbulen kinetik energi pada *tube* dengan *twisted tape*. Pada *tube* dengan *single tape*, energi kinetik turbulen disekitar permukaan *twisted tape* lebih rendah dari wilayah lain, terutama pada wilayah kanan atas dan kiri bawah yang sesuai posisi yang condong ke dinding *tube* sehingga menyebabkan fluida langsung menyentuh dinding *tube*, dan menyebabkan shear stress tinggi pada dinding.

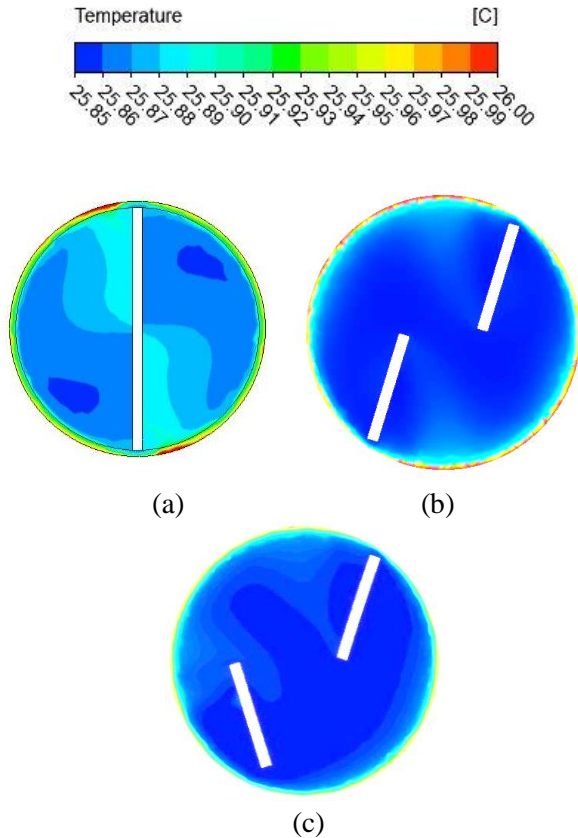
Pada *tube* dengan *co-dual tape*, energi kinetik turbulen yang dihasilkan oleh aliran pusaran mengalami peningkatan dibandingkan dengan *single tape*. Pada zona resirkulasi nilai turbulen kinetik energi lebih rendah dibandingkan dengan area sekitar *twisted tape* Pada *tube* dengan *counter-dual twisted tape* juga terbentuk zona resirkulasi namun hanya satu zona dan sebuah zona tabrakan. Adanya zona tabrakan ini menghasilkan energi kinetik turbulen yang tinggi pada dinding yang ditabrak karena shear stress dan temperatur yang rendah disekitar zona tabrakan. Sehingga lapisan batas pada *tube* dengan *dual twisted tape* baik

susunan co maupun counter lebih tipis daripada single tape. Dual *twisted tape* lebih efisien dalam mengganggu boundary layer dan meningkatkan perpindahan panas.



Gambar 4. 6 Kontur Turbulen Kinetik Energi (a) Single Tape (b) Co-Dual Tape (c) Counter-dual Tape

4.3.4 Distribusi Suhu

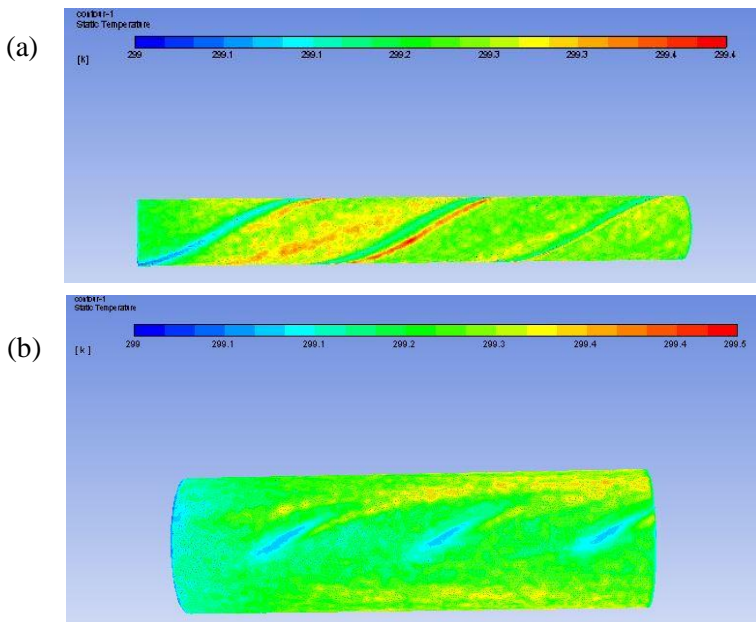


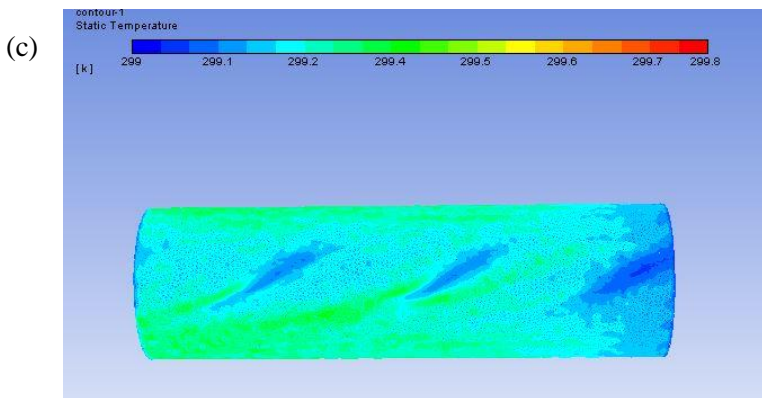
Gambar 4. 7 Kontur Suhu (a) Single Tape (b) Co-Dual Tape
(c) Counter-dual Tape

Pada *tube* dengan *single tape*, suhu disekitar permukaan *twisted* pada wilayah kanan atas dan kiri bawah terlihat lebih rendah dari wilayah yang lain. Hal ini karena posisi yang miring ke dinding *tube* sehingga *tape* bagian ini menyebabkan fluida kerja langsung menyentuh dinding *tube* dan menghasilkan energi kinetik turbulen yang lebih rendah. Peristiwa ini menyebabkan perpindahan panas dari dinding *tube* ke daerah pusat *tube* seperti

yang terlihat pada gambar 4.7 (a). Pada *tube* dengan *co-dual twisted tape*, interaksi antara dua aliran pusaran yang searah yang menghasilkan dua aliran resirkulasi. Aliran resirkulasi meningkatkan perpindahan panas dari dinding *tube* terlihat dari adanya wilayah dengan suhu yang lebih tinggi disekitar area resirkulasi seperti yang terlihat pada gambar 4.7 (b). Pada *tube* dengan *counter-dual twisted tape*, terdapat sebuah zona resirkulasi dan zona tabrakan. Adanya zona tabrakan ini menghasilkan energi kinetik turbulen yang tinggi pada dinding yang ditabrak dan menghasilkan temperatur yang rendah disekitar zona tabrakan seperti yang terlihat pada gambar 4.7 (c). Terlihat pula bahwa lapisan batas termal pada *co-dual tape* maupun *counter-dual tape* lebih tipis daripada *single tape*.

Distribusi suhu sepanjang *tube* dengan *twisted tape* insert ditampilkan pada gambar 4.8. Terlihat bahwa semakin banyak jumlah *twisted tape* maka semakin seragam pula distribusi suhu disepanjang *tube*.





Gambar 4. 8 Distribusi Suhu Sepanjang Tube (a) Single Tape (b) Co-Dual Tape (c) Counter-Dual tape

4.3 Analisis Pengaruh Geometri dan Nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{air}$ Sebagai Fluida Kerja Terhadap Perpindahan Panas

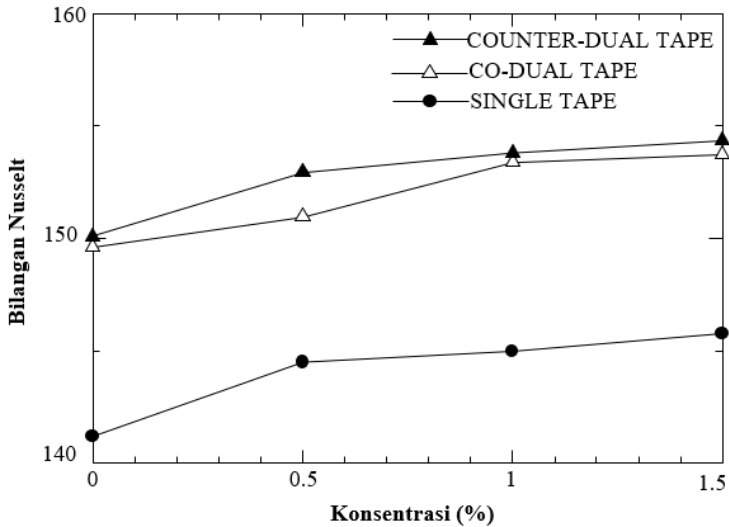
Pengaruh variasi geometri dan konsentrasi nanofluida terhadap perpindahan panas direpresentasikan dalam bilangan nusselt. Bilangan Nusselt merupakan rasio dari nilai koefisien konveksi dengan konduksi. Semakin besar nilai dari bilangan Nusselt maka pengaruh dari konveksi lebih besar dibandingkan dengan konduksi. Perpindahan kalor yang terjadi pada suatu lapisan fluida terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Bilangan Nusselt menyatakan perbandingan antara perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut. Semakin besar nilai bilangan Nusselt maka konveksi yang terjadi semakin efektif.

Hasil dari simulasi pada berbagai variasi geometri dan variasi fluida kerja terhadap bilangan nusselt ditunjukkan pada tabel 4.2. Sedangkan hubungan antara variasi susunan geometri, konsentrasi nanofluida, dan bilangan nusselt ditunjukkan pada gambar 4.7.

Tabel 4. 2 Pengaruh Variasi Geometri dan Fluida Kerja Terhadap Bilangan Nusselt

Geometri	Fluida Kerja			
	Air	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 0,5%	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 1%	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 1,5%
Tanpa <i>Twisted tape</i>	102,4065	-	-	-
Single <i>Twisted tape</i>	141,1823	144,4813	144,9689	145,7571
Co-Dual <i>Twisted tape</i>	149,6169	150,955	153,3947	153,7466
Counter- Dual <i>Twisted tape</i>	150,0924	152,9256	153,8096	154,3574

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa bilangan nusselt lebih tinggi pada *tube* dengan *single* maupun *dual twisted tape* dibandingkan dengan *tube* tanpa *twisted tape*. Kenaikan yang terjadi sebesar 37.8% pada *single tape*, 46,1% pada *co-dual twisted tape*, dan 46,5% pada *counter-dual twisted tape* dengan fluida kerja yang sama yakni air. Hal ini dikarenakan terbentuknya aliran pusaran yang menyebabkan lapisan batas semakin tipis. Semakin banyak jumlah *twisted tape insert* didalam *tube* terlihat semakin menaikkan bilangan nusselt. Hal ini dapat terjadi karena semakin banyak *twisted tape* akan menyebabkan aliran pusaran yang lebih banyak dibandingkan aliran lurus sehingga menghasilkan pencampuran fluida yang lebih seragam antara wilayah pusat dan dinding *tube* disepanjang *tube*.



Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Konsentrasi Nanofluida pada Berbagai Susunan Geometri Terhadap Bilangan Nusselt

Pengaruh susunan co dan counter tape terhadap perpindahan panas juga dapat diamati dari tabel 4.2. Susunan *counter-dual twisted tape* menunjukkan bilangan nusselt yang lebih tinggi dibandingkan susunan *co-dual twisted tape*. Bilangan nusselt pada susunan *counter-dual twisted tape* lebih tinggi hingga 1,3% dibandingkan dengan susunan *co-dual twisted tape*. Hal ini dikarenakan adanya fenomena tubrukan aliran yang keluar dari dua *twisted tape* sehingga menyebabkan aliran pusaran yang lebih kuat dan pencampuran fluida yang lebih baik, sehingga menghasilkan suhu fluida yang lebih merata didalam *tube* dan perpindahan panas yang lebih efisien dibandingkan dengan fenomena aliran resirkulasi pada susunan *co-dual twisted tape*.

Pada gambar 4.8 menyajikan pengaruh konsentrasi nanopartikel Al_2O_3 pada nanofluida sebesar 0.5%, 1%, 1.5% sebagai fluida kerja pada berbagai susunan geometri terhadap bilangan nusselt. Diketahui bahwa perpindahan panas yang direpresentasikan dalam bilangan nusselt, naik ketika konsentrasi

nanopartikel naik. Untuk mengetahui besar kenaikannya, maka nilainya dibandingkan dengan kondisi *tube* tanpa *twisted tape* dengan fluida dasar air. Dengan susunan *single twisted tape*, pada konsentrasi 0.5% terjadi kenaikan sebesar 41.08%, pada konsentrasi 1% sebesar 41.56%, dan kenaikan tertinggi pada konsentrasi 1.5% dengan kenaikan sebesar 42,3%. Dengan susunan *co-dual twisted tape*, pada konsentrasi 0.5% terjadi kenaikan sebesar 47.40%, pada konsentrasi 1% sebesar 49,79%, dan kenaikan tertinggi pada konsentrasi 1.5% sebesar 50,13%. Dengan susunan *counter-dual twisted tape*, pada konsentrasi 0.5% terjadi kenaikan sebesar 49.33%, pada konsentrasi 1% sebesar 50.19%, dan kenaikan tertinggi pada konsentrasi 1.5% sebesar 50.73%. Dengan kata lain nanofluida dengan Al_2O_3 pada konsentrasi 1.5% memberikan peningkatan perpindahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi 0.5% dan 1%.

Semakin banyak partikel yang mampu menghantarkan panas dalam suatu fluida kerja, maka semakin banyak penghantar panas yang dapat bekerja. Bertambahnya fraksi massa partikel nano pada fluida dasar mengakibatkan peningkatan bilangan Nusselt yang berpengaruh pada koefisien perpindahan panas. Selain itu kenaikan jumlah nanopartikel dalam nanofluida juga memberikan area kontak atau tumbukan yang lebih banyak antara nanopartikel dengan partikel fluida dasarnya. Sehingga dapat dikatakan peningkatan perpindahan panas nanofluida dikarenakan konduktivitas termal yang tinggi dan adanya tumbukan nanopartikel. Digabungkan dengan susunan geometri *counter-dual twisted tape*, menghasilkan aliran pusaran yang efektif dalam meningkatkan pertukaran nanopartikel antara bagian tengah dan bagian dinding dalam *tube* sehingga dapat meningkatkan perpindahan panas konveksi. Namun terlalu banyak nanopartikel yang ada didalam nanofluida dapat melebihi konsentrasi optimalnya. Bila ini terjadi dapat mengurangi pergerakan fluida dan juga laju perpindahan panas karena adanya kenaikan viskositas

fluida. Pada penelitian ini, tidak terjadi penurunan bilangan nusselt dalam penambahan konsentrasi. Hal ini menunjukan bahwa konsentrasi nanofluida pada rentang konsentrasi yang digunakan tidak melebihi level optimal.

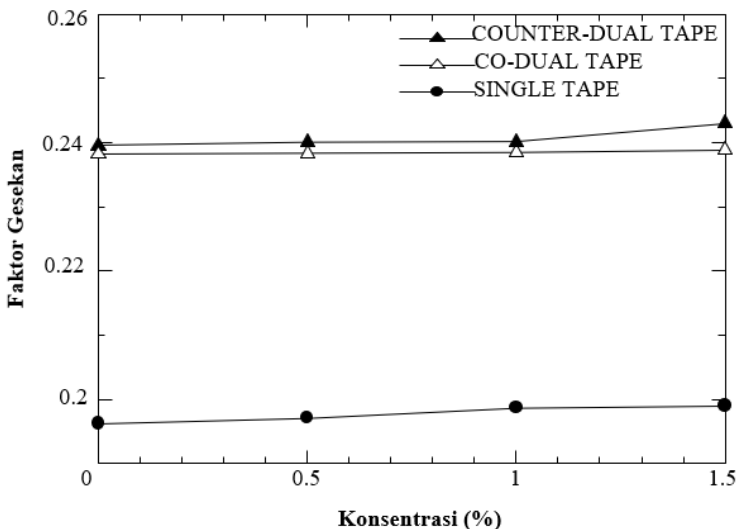
4.5 Analisis Pengaruh Geometri dan Nanofluida Al₂O₃/air Sebagai Fluida Kerja Terhadap Faktor Gesekan

Pada sub bab ini dilakukan analisis pengaruh geometri dan nanofluida terhadap faktor gesekan. Nilai faktor gesekan merupakan representasi adanya penurunan tekanan atau *pressure drop*. *Pressure drop* merupakan penurunan tekanan yang terjadi dikarenakan adanya penghalang dalam aliran suatu fluida. Nilai *pressure drop* diambil dari simulasi numerik dengan membandingkan antara tekanan pada daerah *inlet* dengan tekanan pada daerah *outlet*. Nilai faktor gesekan pada berbagai variasi diperoleh dari persamaan 2.14. ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Pengaruh Variasi Geometri dan Fluida Kerja Terhadap Faktor Gesekan

Geometri <i>Tube</i>	Fluida Kerja			
	Air	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 0,5%	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 1%	Nanofluida Al ₂ O ₃ /air 1,5%
Tanpa <i>Twisted tape</i>	0,045146	-	-	-
Single <i>Twisted tape</i>	0,196266	0,197112	0,198703	0,199029
Co-Dual <i>Twisted tape</i>	0,238239	0,238369	0,238494	0,238854
Counter- Dual <i>Twisted tape</i>	0,239552	0,240034	0,24015	0,243065

Dari tabel 4.3 faktor gesekan yang disebabkan adanya *twisted tape* menunjukkan bahwa semakin tinggi dibandingkan dengan *tube* tanpa *twisted tape*. Semakin bertambahnya jumlah *twisted tape* juga menyebabkan faktor gesekan yang lebih tinggi. Hal ini akibat dari luas permukaan *twisted tape* yang lebih besar sehingga akan mengganggu aliran didalam *tube*. Selain itu, kenaikan jumlah aliran pusaran dapat meningkatkan shear stress pada lapisan batas. Sehingga kenaikan faktor gesekan tertinggi terjadi pada dual *twisted tape*. Faktor gesekan susunan *co-dual tape* berkisar 1,20 kali lebih tinggi daripada *single tape*, sedangkan *counter-dual tape* sebesar 1,22 kali lebih tinggi daripada *single tape*. Hubungan antara susunan geometri, konsentrasi nanofluida, dan faktor gesekan ditunjukkan pada gambar 4.8 berikut



Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Konsentasi Nanofluida pada Berbagai Susunan Geometri Terhadap Faktor Gesekan

Efek susunan co dan counter pada kerugian gesekan juga ditunjukkan pada tabel 4.3. Geometri *counter-dual tape*

menunjukkan faktor gesekan yang lebih tinggi dibandingkan *co-dual tape*. Hal ini dikarenakan bilangan nusselt yang lebih tinggi menunjukkan gaya tekanan yang tinggi sebagai konsekuensi intensitas pusaran yang kuat berulang-ulang didalam *tube*. Namun kenaikan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Kenaikan tertinggi pada fluida konsentrasi nanopartikel 1.5% hanya sebesar 1,7% dibandingkan susunan *co-dual tape*.

Pada gambar 4.9 menyajikan pengaruh konsentrasi nanopartikel Al_2O_3 pada nanofluida sebesar 0.5%, 1%, 1.5% sebagai fluida kerja pada berbagai susunan geometri terhadap faktor gesekan. Dengan konsentrasi 0.5% dapat menaikkan faktor gesekan antara 0.05% hingga 0.43%, dengan konsentrasi 1% dapat menaikkan faktor gesekan antara 0.10% hingga 1.24%, dengan konsentrasi 1.5% dapat menaikkan faktor gesekan antara 0.25% hingga 1.46%, dibandingkan dengan fluida dasarnya yakni air. Sehingga dapat dikatakan kenaikan tertinggi pada konsentrasi 1.5%. kenaikan faktor gesekan disebabkan oleh meningkatnya viskositas dan gaya geser pada dinding *tube* akibat adanya nanopartikel. Namun hasil simulasi ini mengindikasikan bahwa menggunakan nanofluida pada rentang konsentrasi tersebut memberikan kerugian gesekan yang tidak signifikan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis data yang dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Geometri *counter-dual twisted tape* dengan fluida kerja nanofluida Al_2O_3 /air pada konsentrasi 1,5% merupakan geometri dan konsentrasi yang paling optimal dalam menaikkan perpindahan panas dengan kenaikan bilangan nusselt sebesar 50,73% dibandingkan dengan *tube* tanpa *twisted tape*, serta kenaikan faktor gesekan yang hanya sebesar 1.22 kali dibandingkan dengan *tube* dengan susunan *single twisted tape*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian berikutnya adalah:

- a. Sebaiknya dilakukan penelitian untuk berbagai variasi bilangan reynolds untuk mengetahui pengaruhnya terhadap peningkatan perpindahan panas dan faktor gesekan.
- b. Sebaiknya dilakukan penelitian untuk berbagai variasi geometri lain untuk mendapatkan susunan yang lebih optimal.
- c. Sebaiknya dilakukan penelitian dengan variasi jenis nanopartikel lain yang digunakan dalam nanofluida sebagai fluida kerja untuk mengetahui jenis nanopartikel yang paling sesuai dan optimal untuk diterapkan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- B A Wong, D. G. (2008). Generation of Nanoparticle Agglomerates and their Dispersion in Lung Serum Simulant or Water. *Journal of Physics : Conference Series*, 1-7.
- Budi Kristiawan, S. K. (2015). *Karakterisasi Reologi dan Transfer Kalor Konveksi Fluida Nano Berbasis Anatase Titanium (IV) Dioxide*. Diambil kembali dari Elektronik Theses & Dissertations: Gajah Mada University: etd.repository.ugm.ac.id
- Chandrasekar, M., Suresh, S., & Bose, A. C. (2010). Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 210-216.
- Eiamsa-ard , S., Thianpong, C., & Eiamsa-ard, P. (2010). Turbulent heat transfer enhancement by counter/co-swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 53-62.
- Eiamsa-ard, S., & Kiatkittipong, K. (2014). Heat Transfer Enhancement by multiple twisted tape insert and TiO₂/water nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 70, 896-924.
- Eiamsa-ard, S., Nanan, K., & Thianpong, c. (2013). Thermal performance evaluation of heat exchanger tubes equipped with coupling twisted-tapes. *Experimental Heat Transfer: A Journal of Thermal Energy Generation, Transport, Storage, and Conversion*, 413-430.
- Hasanpour, A., Farhadi, M., & Sedighi, K. (2014). A review study on twisted tape inserts on turbulent flow heat exchangers:

The overall enhancement ratio criteria. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 53-62.

- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. Canada: John Wiley and Sons.
- Johar, G. (2010). *Experimental studies on heat transfer augmentation using modified reduced width twisted tapes as inserts for tube side flow of liquid*. Rourkela, India: National Institute of Technology (BSc Thesis).
- Koch Heat Transfer*. (2018). Diambil kembali dari Koch Heat Transfer web site: <https://www.kochheattransfer.com/>
- Pathipakka, G., & Sivashanmugam, P. (2010). Heat transfer behaviour of nanofluids in a uniformly heated circular tube fitted with helical inserts in laminar flow. *Superlattices and Microstructures*, 47, 349-360.
- Sharma, A. K., Tiwarib, A. K., & Dixit, A. R. (2016). Characterization of TiO₂, Al₂O₃ and SiO₂ Nanoparticle based Cutting Fluids. *Recent Advances In Nano Science And Technology 2015* (hal. 1890–1898). Elsevier.
- Singh, K., Gangacharyulu, D., & Sharma, S. (2013). Experimental Study of Thermophysical Properties of Al₂O₃/Water Nanofluid. *International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology*, 229-233.
- Sundar, L. S., & Sharma, K. V. (2010). Turbulent heat transfer and friction factor of Al₂O₃ Nanofluid in circular tube with twisted tape inserts. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 1409-1416.
- Tijing, L. D., Pak, B. C., Lee, D. H., & Baek, B. J. (2006). A study on heat transfer enhancement using straight and twisted

internal fin inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 719-726.

- Tuakia, F. (2008). *Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.
- Vasheghani, M. (2011). Effect of Al₂O₃ Phase on The Enhancement of Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids in Engine Oil. *Heat Mass Transfer*, 1401-1405.
- Webb, R. L. (1981). Performance evaluation criteria for use of enhanced heat transfer surfaces in heat exchanger design. *International Heat and Mass Transfer*, 24, 715-726.
- Wen, D., & Ding, Y. (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluid at the entrance region under laminar flow conditions. *International Journal Heat and Mass Transfer*, 5181-5188.
- Yaningsih, I., Istanto, T., & Juwana, W. E. (2015). Studi Eksperimental Peningkatan Perpindahan Panas Aliran Turbulen Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Dengan Perforated Twisted Tape Insert With Parallel Wings. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 17, No. 3: 120–129.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

1. Perhitungan Bilangan Nusselt

- Geometri *Single Twisted tape*

Konsentrasi	Twall	Tinlet	Toutlet	h	Nu
0%	299,242	299	299,021	4320,5876	141,1823
0,5%	299,2362	299	299,0213	4433,41	144,4813
1%	299,2292	299	299,0107	4576,659	144,9686
1,5%	299,2317	299	299,0106	4536,69	145,7571

- Geometri *Co-Dual Twisted tape*

Konsentrasi	Twall	Tinlet	Toutlet	h	Nu
0%	299,2265	299	299,0111	4525,91	149,6168
0,5%	299,215	299	299,0108	4765,65	150,955
1%	299,005	299	299,0093	4774,41	153,3947
1,5%	299,212	299	299,0113	4853,78	153,7466

- Geometri *Counter-Dual Twisted tape*

Konsentrasi	Twall	Tinlet	Toutlet	h	Nu
0%	299,2267	299	299,0129	4540,295	150,0924
0,5%	299,2183	299	299,0104	4692,522	152,9256
1%	299,2147	299	299,0116	4787,323	153,8096
1,5%	299,214	299	299,0171	4873,062	154,3574

2. Perhitungan Faktor Gesekan

- Geometri *Single Twisted tape*

Konsentrasi	ρ	v	Pinlet	Poutlet	f
0%	997,13	0,4462	166,6287	0	0,196266
0,5%	1011,99	0,4446	168,615	0	0,197112
1%	1026,85	0,4431	171,2603	0	0,198703
1,5%	1041,72	0,4415	172,8289	0	0,199029

- Geometri *Co-Dual Twisted tape*

Konsentrasi	ρ	v	Pinlet	Poutlet	f
0%	997,13	0,4462	79,8406	-2,44e-4	0,238239
0,5%	1011,99	0,4446	80,4896	-2,46e-4	0,238369
1%	1026,85	0,4431	81,1405	-1,57e-5	0,238494
1,5%	1041,72	0,4415	81,8726	-1,85e-4	0,238853

- Geometri *Counter-Dual Twisted tape*

Konsentrasi	ρ	v	Pinlet	Poutlet	f
0%	997,13	0,4462	80	-9,18e-4	0,239552
0,5%	1011,99	0,4446	81,0513	-9,42e-4	0,240034
1%	1026,85	0,4431	81,7029	-9,51e-4	0,24015
1,5%	1041,72	0,4415	82,3567	-9,59e-1	0,243065

BIODATA PENULIS



Rofifah Hilyatul Jannah merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Bondowoso pada 29 Mei 1997. Riwayat pendidikan penulis adalah SD Al-Islam Gresik (2003-2009), SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik (2009-2012), SMA Negeri 1 Gresik (2012-2015). Penulis kemudian melanjutkan studi S1 Teknik Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2015. Semasa perkuliahan penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF), serta menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Penulis mengambil bidang minat rekayasa energi untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Penulis dapat dihubungi melalui email: rofifahilya@gmail.com.