

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Proses Pembekuan *Paraffin Wax* di dalam Pipa Ganda Konsentrik dengan Variasi Temperatur Kondisi Awal *PCM* Menggunakan Simulasi CFD” adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya di bagian naskah dan daftar pustaka tugas akhir ini.

Yogjakarta, 18 Agustus 2018



MOTTO

Al Khair Khairutullah
“*Pilihan Allah Adalah Yang
Terbaik*”

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إِنَّ الْحَمْدَ لِلَّهِ نَحْمَدُهُ وَنَسْتَعِينُهُ مَنْ يَهْدِي اللَّهَ فَلَا مُضِلٌّ لَهُ وَمَنْ يُضْلِلُ اللَّهُ
فَلَا هَادِيٌ لَهُ وَأَشْهُدُ أَنْ لَا إِلَهَ إِلَّا اللَّهُ وَحْدَهُ لَا شَرِيكَ لَهُ وَأَشْهُدُ أَنَّ مُحَمَّداً
عَبْدُهُ وَرَسُولُهُ، اللَّهُمَّ صَلِّ وَسِلِّمْ عَلَى نَبِيِّنَا مُحَمَّدٍ وَعَلَى أَهْلِهِ وَأَصْحَابِهِ
وَالثَّابِعِينَ لَهُمْ بِإِحْسَانٍ إِلَى يَوْمِ الدِّينِ، أَمَّا بَعْدُ

Artinya :

“Segala puji bagi Allah, kita memujinya dan meminta pertolongan kepada-Nya. Barang siapa diberikan petunjuk oleh Allah, maka tak seorang pun yang bisa menyesatkannya dan barang siapa yang disesatkan oleh-Nya maka tak seoarang pun yang mempu memberikan petunjuk kepadanya. Saya bersaksi bahwa tiada Tuhan selain Allah semata dan saya bersaksi bahwa Nabi Muhammad adalah Rasul dan hamba-Nya. Ya Allah lipahkanlah shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad saw., beserta kepada para keluarganya, sahabatnya, dan para pengikutnya hingga hari akhir nanti.” Amma ba’du

Dengan menyebut nama Allah SWT. Yang maha pengasih lagi maha penyanyang skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya Bapak Khamid dan Ibu Siti Suliyah yang sangat saya cintai, sebagai ungkapan rasa syukur dan terima kasih atas kasih sayang perhatian serta doa yang selalu Bapak dan Ibu berikan kepada saya semenjak lahir sampai dewasa ini.
2. Kakak saya Wiwit Nur Khayatun yang saya cintai dan saya banggakan, tidak lupa terimakaih atas dukungan serta dorongan motivasi yang kaka berikan selama masa kuliah.
3. Seseorang yang namanya tertulis dengan baik bersanding dengan nama saya di lauhul mahfudz yang masih di rahasiakan oleh Allah SWT. sampai karya ini dapat terselesaikan.
4. Sahabat saya di kampung, sebagai ungkapan terima kasih telah membantu dari segi moril dan dukungan selama masa kuliah.
5. Teman-teman seperjuangan di Yogyakarta, sebagai ungkapan terima kasih atas bantuan dan perjuangannya selama kurang lebih 4 tahun bersama di Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., Atas berkat, rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk Tugas Akhir Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mehammadiyah Yogyakarta dengan judul “Studi Proses Pembekuan *Paraffin Wax* di dalam Pipa Ganda Konsentrik dengan Variasi Temperatur Kondisi Awal *PCM* Menggunakan Simulasi CFD”.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bimbingan Bapak Muhammad Nadjib S.T., M. Eng. selaku pembimbing 1 (satu) dan Bapak Thoharudin S.T., M.T. selaku pembimbing 2 (dua) yang selalu menyediakan waktu untuk berdiskusi dan banyak memberikan inspirasi serta motivasi dalam penggerjaan penelitian ini. Atas hal tersebut penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Muhammad Nadjib S.T., M. Eng. dan Bapak Thoharudin S.T., M.T. Semoga Allah SWT. menetapkannya sebagai kebaikan yang tiada putus.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan , bantuan, saran dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Berli Paripurna Kamiel S.T.,M.Eng.Sc.,Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas segala perhatiannya.
2. Bapak Muhammad Nadjib S.T., M. Eng., selaku dosen pembimbing 1 (satu) dan Bapak Thoharudin S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 (dua) yang banyak memberikan arahan dan masukan serta ilmu-ilmu yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini.
3. Bapak Tito Hadji Agung S., S.T., M.T. sebagai dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan dukungan dan masukan yang bersifat membangun.
4. Ayah dan Ibu tercinta yang tiada hentinya mencerahkan kasih sayang, perhatian serta diiringi dengan do'a yang selalu diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ini dengan ridho-Nya.

5. Kakak tersayang yang selalu memberikan dorongan semangat, keyakinan, bantuan serta motivasi kepada penulis sehingga penulis lebih semangat untuk menyelesaikan karya ini.
6. Seseorang yang namanya tertulis di lauhul mahfudz dan masih di rahasiakan oleh Allah SWT. sampai karya ini dapat terselesaikan. Terima kasih karena sudah menunggu dengan sabar sampai pada waktu yang ditentukan oleh Allah SWT.
7. Seluruh Dosen Pengajar dan staff di Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta atas semua ilmu pengetahuan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Sahabat serta teman se-perjuangan Rizal Nazarrudin serta Teman-teman semua baik satu kelas maupun beda kelas, baik satu angkatan ataupun beda angkatan karena kita semua tetap *Solidarity M Forever*.
9. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis menyelesaikan karya ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan karya ini yang disebabkan karena keterbatasan yang ada baik dari diri penulis, peralatan ataupun metode yang digunakan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun supaya penulisan karya ini lebih baik lagi di masa yang akan datang. Semoga bermanfaat!!!

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 18 Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
INTISARI	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Thermal Energy Storage	6
2.2.1.1. Sensible Heat Storage	6
2.2.1.2. Latent Heat Storage	7
2.2.1.3. Thermo-Chemical Storage	8
2.2.2. Phase Change Material	8
2.2.3. Charging dan Discharging	10
2.2.4. Computational Fluid Dynamic (CFD)	10
2.2.5. Software CFD	12

2.2.6. Proses CFD	15
2.2.6.1. Pre-Processing	16
2.2.6.2. Processing	17
2.2.6.3. Post Processing	22
2.2.7. Fluent	23
2.2.8. Konduksi	25
2.2.9. Konveksi Alami.....	26
2.2.10. Asumsi Pendekatan	26

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Alat Penelitian	27
3.2. Prosedur Penelitian	28
3.2.1. Diagram Alir Penelitian	28
3.2.2. Langkah penelitian	30
3.2.2.1. Pre-Processing	31
3.2.2.2. Prosesing	34
3.2.2.3. Post Processing	41

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.Temperatur <i>Inlet</i> Dan <i>Outlet</i>	44
4.2. Evolusi Temperatur HTF	46
4.3. Evolusi Temperatur PCM Arah Aksial	49
4.4. Evolusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu (Z)	54
4.5. Evolusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu (Y)	58

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	62
5.2. Saran	63

DAFTAR PUSTAKA	64
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	67
-----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Volume dari <i>storage</i> untuk penyimpanan (1800kWh)	7
Gambar 2.2. Diagram tempeatur-waktu pemanasan suatu zat	7
Gambar 2.3. Klasifikasi PCM	9
Gambar 2.4. Skema temperatur pada LHS (<i>a</i>) <i>charging</i> (<i>b</i>) <i>discharging</i>	10
Gambar 2.5. Logo Ansys FLUENT®	12
Gambar 2.6. <i>Preview</i> Ansys FLUENT®	13
Gambar 2.7. Logo OpenFOAM®	14
Gambar 2.8. Logo XFlow®	15
Gambar 2.9. Preview tampilan XFlow®	15
Gambar 2.10. <i>Flowchart</i> proses pada <i>Fluent</i>	15
Gambar 2.11. Bentuk sel dua dimensi	16
Gambar 2.12. Bentuk sel tiga dimensi	16
Gambar 2.13. Volume kontrol 1 dimensi	17
Gambar 2.14. Contoh <i>Displaying Mesh</i>	22
Gambar 2.15. Contoh <i>Displaying Countour Temperatur</i>	23
Gambar 3.1. Sketsa Penempatan Posisi Termokopel	27
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	29
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	30
Gambar 3.5. Bentuk <i>Geometry</i>	31
Gambar 3.6. Bentuk <i>Geometry</i> tampilan <i>Isometric</i>	31
Gambar 3.7. Penggolongan material	32
Gambar 3.8. <i>Sizing mesh</i>	32
Gambar 3.9. Bentuk <i>mesh</i> tampilan tampak depan (x,y)	33

Gambar 3.10. Statistik <i>mesh</i> dengan jumlah <i>element</i>	33
Gambar 3.11. Pemberian nama pada setiap bagian	33
Gambar 3.12. Kualitas <i>mesh</i>	34
Gambar 3.13. Kategori kualitas <i>mesh</i>	34
Gambar 3.14. Menu <i>General</i>	35
Gambar 3.15. Menu model dengan pemilihan <i>Solidification/Melting</i>	36
Gambar 3.16. Menu <i>Materials</i>	36
Gambar 3.17. Menu <i>input</i> parameter material	37
Gambar 3.18. Menu <i>Cell Zone Conditions</i>	37
Gambar 3.19. Menu <i>Mesh interface</i>	38
Gambar 3.20. Menu <i>Inlet</i> pada <i>boundary conditions</i>	39
Gambar 3.21. <i>Wall thickness/ketebalan</i> pada <i>interface</i>	39
Gambar 3.22. Menu <i>Solution Initialization</i>	40
Gambar 3.23. Menu <i>Run Calculation</i>	41
Gambar 3.24. Menu <i>plane surface</i>	42
Gambar 3.25. Tampilan <i>plane</i> temperatur arah <i>aksial</i>	42
Gambar 3.26. Tampilan <i>plane</i> arah radial (a) <i>density</i> , (b) <i>liquid fraction</i>	42
Gambar 3.27. Menu <i>Solution animations playback</i>	43
Gambar 4.1. Evolusi Temperatur <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> di dalam Selongsong Pada Temperatur Awal PCM a) 55°C, b) 60°C dan c) 65°C.....	45
Gambar 4.2. Pengaruh Variasi Temperatur Kondisi awal pada T2 untuk mencapai Temperatur 26,5°C	46
Gambar 4.3. Evolusi Temperatur HTF di dalam Selongsong pada Temperatur Awal PCM a) 55°C, b) 60°C, c) 65°C.	47
Gambar 4.4. Kontur Temperatur Arah Aliran HTF pada menit ke-1 Temperatur awal PCM 60°C	48

Gambar 4.5. Evolusi Temperatur PCM Arah Aksial pada Temperatur Awal PCM a) 55°C, b) 60°C, c) 65°C.....	50
Gambar 4.6. Kontur <i>Liquid Fraction</i> Arah Aksial Temperatur awal PCM 60°C.	53
Gambar 4.7. Pengaruh Variasi Temperatur Kondisi Awal PCM Rata-Rata pada Arah Aksial.....	54
Gambar 4.8. Evolusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu (Z) pada Temperatur Awal PCM a) 55°C, b) 60°C dan c) 65°C.....	56
Gambar 4.9. Pengaruh Variasi Temperatur Kondisi Awal PCM Rata-Rata pada Arah Radial Sumbu (Z)	57
Gambar 4.10. Evolusi temperatur PCM Arah Radial Sumbu (Y) pada Temperatur Awal PCM a) 55°C, b) 60°C dan c) 65°C.....	59
Gambar 4.11. Posisi potongan A-A untuk kontur arah radial	60
Gambar 4.12. Kontur <i>Liquid Fraction</i> Arah Radial Temperatur 60°C.....	60
Gambar 4.13. Pengaruh Variasi Temperatur Kondisi Awal PCM Rata-Rata pada Arah Radial Sumbu (Z)	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik PCM	9
Tabel 3.1. Sifat termal <i>paraffin wax</i> RT52	27
Tabel 3.2. Spesifikasi Perangkat Komputer	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Soal dan Posisi Titik Termokopel 65

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$c_{p,ad}$: Kalor Jenis Air Dingin (kJ/kg.°C)
$c_{p,ap}$: Kalor Jenis Air Panas (kJ/kg.°C)
$c_{p,c}$: Kalor Jenis Kapsul (kJ/kg.°C)
$c_{p,d}$: Kalor Jenis Air Proses <i>Discharging</i> (kJ/kg.°C)
$c_{p,g}$: Kalor Jenis Air Fase Gas (kJ/kg.°C)
$c_{p,l}$: Kalor Jenis Air Fase Cair (kJ/kg.°C)
$c_{p,s}$: Kalor Jenis Air Fase Padat (kJ/kg.°C)
$c_{p,w}$: Kalor Jenis Air (kJ/kg.°C)
D_k	: Diameter Luar Kapsul (m)
h	: Koefisien Konveksi (W/m ² .°C)
k	: Konduktivitas Termal (W/m.°C)
k_{PCM}	: Konduktivitas Termal PCM (W/m.°C)
K	: Kapsul
L	: Kalor Laten (kJ/kg)
L_g	: Kalor Laten Fase Gas (kJ/kg)
L_s	: Kalor Laten Fase Padat (kJ/kg)
L_{PCM}	: Panjang Kapsul PCM (m)
Q_{kond}	: Perpindahan Kalor Konduksi (W)
Q_{konv}	: Perpindahan Kalor Konveksi (W)
m	: Massa (kg)
m_{pcm}	: Massa PCM (kg)
\dot{m}_d	: Laju Aliran Massa Air Proses <i>Discharging</i> (kg/detik)
μ	: Viskositas Dinamik (kg/m.detik)
q	: Massa Jenis (kg/m ³)
Re	: Bilangan Reynolds
t	: Waktu (detik)
T	: Titik Termokopel

v	: kecepatan aliran air (m/detik)
V	: volume (m^3)
β	: <i>Thermal ekspansion</i> ($1/\text{ }^\circ\text{C}$)
TES	: <i>Thermal Energi Storage</i>
PCM	: <i>Phase Change Material</i>
HTF	: <i>Heat Transfer Fluid</i>
CFD	: <i>Computational Fluid Dynamic</i>
LHS	: <i>Laten Heat Storage</i>
SHS	: <i>Sensible Heat Storage</i>
TCS	: <i>Thermo Chemical Storage</i>
FVM	: <i>Finite Volume Method</i>
Lf	: <i>Liquid Fraction</i>