

HALAMAN PERNYATAAN

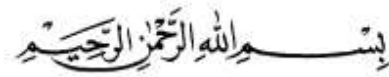
Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam skripsi ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang sengaja tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan sumbernya dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 18 Agustus 2018



Rizal Nazarrudin

MOTTO



“Mensyukuri apa-apa yang telah dimiliki. Man Yazra’ Yahshud.”

“Jagalah Ibu Bapakmu, Niscaya Anak-Anakmu Akan Menjagamu.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Wahai orang-orang yang beriman! Bertakwalah kepada Allah dan hendaklah setiap orang memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat), dan bertakwalah kepada Allah. Sungguh, Allah Mahateliti terhadap apa yang kamu kerjakan.” (Q.S. Al-Hasyr : 18)

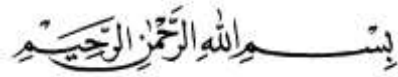
“Ketahuilah, bahwa anda bukan satu-satunya orang yang mendapat ujian. Tidak seorang pun yang lepas dari kesedihan dan tidak seorang pun yang luput dari kesulitan.”(Dr. Aidh al-Qarni)

“Jika Allah bersamamu maka jangan takut kepada siapapun, akan tetapi jika Allah sudah tidak lagi bersamamu, maka siapa lagi yang bisa diharapkan olehmu?”

(Hasan al-Banna)

“Optimislah, sekali-kali jangan pernah berputus asa dan menyerah tanpa usaha. Berbaik sangkalah kepada *Rabb*, dan bersabarlah atas segala kebaikan dan keindahan dari-Nya.”

HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang.

Skripsi ini khusus dipersembahkan untuk
kedua orang tua penulis, **Ibu Katemi dan Bapak Suwandi**
Atas segala Doa dan dukungan baik secara moral maupun moril.

Semua elemen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMY

Atas segala kontribusi dalam pengembangan diri penulis, selama menempuh ilmu
di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabil'alamin atas segala karunia nikmat, rahmat serta petunjuk-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “STUDI PROSES PELELEHAN *PARAFFIN WAX* DI DALAM PIPA GANDA KONSENTRIK DENGAN VARIASI TEMPERATUR AIR MASUK MENGGUNAKAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*” berupa penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana S-1 di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis telah banyak mendapat arahan, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Thoharudin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak mengarahkan dan memberikan masukan, membimbing dengan sabar, serta memotivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Tito Hadji Agung S., S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir ini.
4. Kedua Orang Tua tercinta dan tersayang Bapak dan Ibu, mba Nita dan Luthfi, mas Yoki, serta Tari yang selalu memberikan bantuan baik doa maupun moril dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak-Ibu Dosen, staf dan seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan banyak pengalaman, dan bantuan kepada penulis selama berada di lingkungan Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Tim TES, Fajar serta semua angkatan 2014 khususnya Kelas TM “D” yang selalu memberikan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
INTISARI	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	6
2.2.1. Definisi <i>Thermal Energy Storage</i> (TES)	6
2.2.2. <i>Latent Heat Thermal Energy Storage</i> (LHTES).....	7
2.2.3. <i>Phase Change Material</i> (PCM)	8
2.2.4. <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	8
2.2.5. Proses Simulasi CFD	12
2.2.6. Persamaan Atur Pelelehan	14
2.2.7. <i>Finite Volume Method</i>	15
2.2.8. Konduksi.....	15

2.2.9. Konveksi Alami	16
2.2.10. Aliran Fluida HTF	16
2.2.11. Asumsi <i>Boussinesq</i>	17
2.2.12. <i>Software</i> CFD	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Alat Penelitian	22
3.2. Prosedur Penelitian	23
3.2.1. Variasi Penelitian	23
3.2.2. Diagram Alir Penelitian	23
3.2.3. Langkah Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Distribusi Temperatur HTF	42
4.2. Pengaruh Temperatur HTF Masuk Terhadap Temperatur HTF Di Dalam <i>Shell</i>	43
4.3. Pengaruh Variasi Temperatur HTF <i>Inlet</i> Terhadap Pelelehan PCM Arah Aksial.....	46
4.4. Pengaruh Variasi Temperatur HTF <i>Inlet</i> Terhadap Pelelehan PCM Arah Radial pada Sumbu Y	50
4.5. Pengaruh Variasi Temperatur HTF <i>Inlet</i> Terhadap Pelelehan PCM Arah Radial pada Sumbu Z	53
BAB V PENUTUP	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
Lampiran I	62
Lampiran II	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Perbandingan Kontur Pelelehan Simulasi dengan Eksperimen	5
Gambar 2.2. Kontur (a) pelelehan dan (b) pembekuan (Longeon dkk.2013)	6
Gambar 2.3. Tampilan GUI pada ANSYS Fluent	10
Gambar 2.4. Macam-macam bentuk <i>Mesh</i> (ANSYS <i>Tutorial Guide</i>).....	13
Gambar 2.5. Perbandingan <i>Volume</i> Kontrol Satu Dimensi (ANSYS <i>Tutorial guide</i>).....	15
Gambar 2.6. Logo <i>OpenFOAM</i> "®"	18
Gambar 2.7. <i>Preview OpenFOAM</i> "®"	18
Gambar 2.8. Logo <i>Quickersim CFD</i> "®"	19
Gambar 2.9. <i>Preview Quickersim CFD</i> "®"	19
Gambar 2.10. Logo ANSYS Fluent"®"	20
Gambar 2.11. <i>Preview ANSYS Fluent</i> "®"	20
Gambar 2.12. <i>Preview Post-processing ANSYS Fluent</i> "®"	21
Gambar 3.1. Logo <i>Software ANSYS Fluent 18.0</i>	22
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.3. Bentuk Geometri TES	26
Gambar 3.4. Letak Titik Termokopel pada Geometri TES.....	26
Gambar 3.5. Panel Penentuan <i>Sizing Mesh</i>	27
Gambar 3.6. Hasil Pembuatan <i>Mesh</i>	28
Gambar 3.7. <i>Fluent Launcher 18.0</i>	30
Gambar 3.8. Panel <i>General</i>	30
Gambar 3.9. Panel Model Pelelehan	31
Gambar 3.10. Memasukkan Konstanta Porositas	32
Gambar 3.11. Panel Pembuatan Properti Material.....	32
Gambar 3.12. Panel <i>Input Parameter Materials</i>	33
Gambar 3.13. Panel <i>Input Material Water Liquid</i>	33
Gambar 3.14. Panel Properti PCM.....	34
Gambar 3.15. Panel Pembuatan <i>Custom Functions Fields</i>	34

Gambar 3.16. Penentuan <i>Cell Zone</i>	35
Gambar 3.17. Panel <i>Mass Flow Inlet</i>	35
Gambar 3.18. Panel Temperatur HTF <i>Inlet</i>	36
Gambar 3.19. Panel <i>Solution Methods</i>	36
Gambar 3.20. Panel <i>Solution Controls</i>	37
Gambar 3.21. Panel <i>Saving Data</i> Temperatur Termokopel	37
Gambar 3.22. Panel <i>Solution Initialization</i>	38
Gambar 3.23. Panel Penentuan <i>Calculation</i>	38
Gambar 3.24. Panel Pembuatan <i>Plane</i> Arah Aksial	39
Gambar 3.25. Panel Pembuatan <i>Plane</i> Arah Radial	39
Gambar 3.26. Panel Pembuatan <i>Contour</i>	40
Gambar 3.27. Hasil <i>Contour</i> Arah Aksial	40
Gambar 3.28. Hasil <i>Contour</i> Arah Radial	41
Gambar 3.29. Panel <i>Solution Animations</i>	41
Gambar 4.1. Posisi penempatan titik termokopel pada desain geometri TES	42
Gambar 4.2. Perubahan temperatur <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> di dalam alat penukar kalor .	42
Gambar 4.3. Evolusi Temperatur HTF pada $T_{HTF Inlet} 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	44
Gambar 4.4. Evolusi Temperatur HTF pada $T_{HTF Inlet} 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	44
Gambar 4.5. Evolusi Temperatur HTF pada $T_{HTF Inlet} 65\text{ }^{\circ}\text{C}$	45
Gambar 4.6. Pengaruh $T_{HTF inlet}$ Terhadap Distribusi Temperatur HTF Di Dalam <i>Shell</i>	45
Gambar 4.7. Distribusi Temperatur PCM Arah Aksial pada $T_{HTF Inlet}$	46
Gambar 4.8. Distribusi Temperatur PCM Arah Aksial pada $T_{HTF Inlet}$	47
Gambar 4.9. Distribusi Temperatur PCM Arah Aksial pada $T_{HTF Inlet}$	47
Gambar 4.10. Distribusi Temperatur PCM Rata-Rata Arah Aksial Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	48
Gambar 4.11. Perbandingan Kontur <i>Liquid Fraction</i> PCM Arah Aksial	49
Gambar 4.12. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Y Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	50

Gambar 4.13. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Y Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	51
Gambar 4.14. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Y Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	51
Gambar 4.15. Distribusi Temperatur PCM Rata-Rata Arah Radial Sumbu Y Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	52
Gambar 4.16. Perbedaan waktu pelelehan PCM.....	53
Gambar 4.17. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Z Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	54
Gambar 4.18. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Z Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	54
Gambar 4.19. Distribusi Temperatur PCM Arah Radial Sumbu Z Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	55
Gambar 4.20. Distribusi Temperatur PCM Rata-Rata Arah Radial Sumbu Z Pada Variasi $T_{HTF Inlet}$	55
Gambar 4.21. Perbandingan Kontur <i>Liquid Fraction</i> PCM Arah Radial	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi Perangkat Komputasi	22
Tabel 3.2. Kualitas <i>Mesh</i> pada ANSYS Fluent.....	28
Tabel 3.3. Kualitas <i>Mesh</i> Pada <i>Console</i> Fluent	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Geometri TES.....	62
Lampiran II Tabel <i>Properties Water</i> A-9.....	63

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

T	:	Temperatur	(°C)
T_s	:	Temperatur beku	(°C)
T_l	:	Temperatur leleh	(°C)
V	:	Vektor kecepatan	(m/s)
v	:	Vektor komponen kecepatan	(m/s)
β	:	<i>Thermal expansion</i>	(1/°C)
g	:	Gaya gravitasi	(m/s ²)
C_p	:	Kapasitas Kalor	(J/KgK)
k	:	Konduktivitas termal	(W/mK)
P	:	Tekanan	(Pa)
γ	:	Fraksi massa pelelehan	
ρ	:	Massa jenis	(Kg/m ³)
H	:	Total <i>enthalpy</i>	(J)
h	:	<i>Enthalpy sensible</i>	(J)
t	:	Waktu	(s)
L	:	Kalor laten	(J/Kg)
μ	:	Viskositas dinamis	(Pa. s)
x	:	Tebal	(m)
Q_{kond}	:	Kalor konduksi	(W)
D	:	Diameter dalam pipa	(m)
$\bar{\tau}$:	<i>Stress tensor</i>	
\vec{F}	:	Gaya eksternal	
l	:	<i>Unit tensor</i>	
∇	:	<i>Nabla</i>	
Re	:	<i>Reynolds number</i>	
TES	:	<i>Thermal energy storage</i>	
PCM	:	<i>Phase change material</i>	
PATS	:	Pemanas air tenaga surya	

HTF	:	<i>Heat transfer fluid</i>
CFD	:	<i>Computational fluid dynamics</i>
LHTES	:	<i>Latent heat thermal energy storage</i>
SHTES	:	<i>Sensible heat thermal energy storage</i>
FDM	:	<i>Finite different method</i>
FVM	:	<i>Finite volume method</i>
FEM	:	<i>Finite element method</i>
LF	:	<i>Liquid fraction</i>