

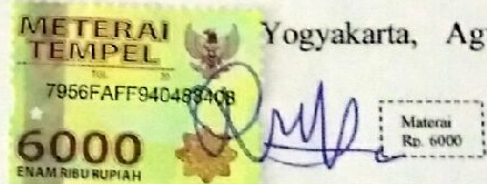
PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riecky Yudha Dhiemas I. N.
NIM : 20150130179
Jurusan : Teknik Mesin
Universitas : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini yang berjudul “Simulasi *Computational Fluid Dynamics* Pelelehan dan Pembekuan pada Tangki *Thermal Energy Storage* dengan Kapsul berisi Campuran *Paraffin Wax* dan Serbuk Tembaga Fraksi Massa 10 % dengan Variasi Fluks Kalor pada *Charging* dan Variasi Debit Air pada *Discharging* secara Bertahap” 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.

Yogyakarta, Agustus 2019



Riecky Yudha Dhiemas I. N

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini yang berjudul “Simulasi *Computational Fluid Dynamics* Pelelehan dan Pembekuan pada Tangki *Thermal Energy Storage* dengan Kapsul berisi Campuran *Paraffin Wax* dan Serbuk Tembaga Fraksi Massa 10 % dengan Variasi Fluks Kalor pada *Charging* dan Variasi Debit Air pada *Discharging* secara Bertahap” selesai pada waktunya dan 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. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada :

1. Bapak Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.M., M.Eng.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
2. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa membantu secara moril maupun materil.
3. Bapak Tito Hadji Agung S., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Teddy Nurcahyadi, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak mengarahkan dan memberikan masukan, membimbing dengan sabar, serta memotivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Novi Caroko, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 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.

Yogyakarta, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
INTISARI.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
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.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori.....	11
2.2.1. <i>Solar Water Heater (SWH)</i>	11
2.2.2. <i>Thermal Energy Storage (TES)</i>	12
2.2.3. <i>Phase Change Material</i>	15
2.2.4. <i>Charging dan Discharging</i>	15
2.2.5. <i>Computational Fluid Dynamics</i>	15
2.2.6. Proses Simulasi CFD	19
2.2.7. Perpindahan Kalor.....	28
2.2.8. Asumsi <i>Boussinesq</i>	29
2.2.9. <i>User Define Function</i>	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1. Alat Penelitian	31

3.2.	Skema Penelitian Eksperimen	32
3.3.	Prosedur Penelitian	33
3.3.2.	Diagram Alir Penelitian	33
3.3.3.	Langkah Penelitian	36
BAB IV PEMBAHASAN		52
4.1.	Perbandingan Hasil Simulasi dan Ekperimen	52
4.2.	Evolusi Temperatur HTF	52
4.3.	Evolusi Temperatur Campuran PCM	60
4.4.	Pelelehan dan Pembekuan Campuran PCM	70
BAB V PENUTUP		77
5.1.	Kesimpulan	77
5.2.	Saran	78
DAFTAR PUSTAKA		79
LAMPIRAN		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tiga Konfigurasi Geometri pada TES.....	5
Gambar 2.2. SWH Sistem (a) <i>Aktif-direct/Open Loop</i> (b) <i>Aktif-indirect/Close Loop</i>	11
Gambar 2.3. SWH Sistem Pasif	12
Gambar 2.4. Volume dari <i>Storage untuk Penyimpanan (1800kWh)</i>	13
Gambar 2.5. Tampilan GUI pada <i>ANSYS Fluent</i>	17
Gambar 2.6. Macam-macam Bentuk <i>Mesh</i>	20
Gambar 2.7. <i>Periodic Boundary Condition</i>	23
Gambar 2.8. <i>Periodic Repeats</i>	24
Gambar 2.9. <i>Coupled Wall</i>	24
Gambar 2.10. <i>Matching</i>	25
Gambar 2.12. <i>Mapped</i>	25
Gambar 3.1. Logo <i>ANSYS 18.0</i>	31
Gambar 3.2. Skema Penelitian Eksperimen.....	32
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.4. Geometri Tangki berisi 32 Pipa Tembaga	37
Gambar 3.5. Posisi Termokopel pada Tangki	38
Gambar 3.6. Hasil Pembuatan <i>Mesh</i>	39
Gambar 3.7. Rentang Kualitas <i>Mesh</i>	40
Gambar 3.8. Panel Tampilan <i>Models</i>	41
Gambar 3.9. Memasukkan Konstanta Porositas	41
Gambar 3.10. Panel Pemilihan Material	42
Gambar 3.11. Panel Input Parameter Material	42
Gambar 3.12. Panel <i>Cell Zone</i>	46
Gambar 3.13. Panel <i>Boundary Condition</i> pada <i>Inlet</i>	47
Gambar 3.14. Panel <i>Mesh Interface</i>	47
Gambar 3.15. Panel Tampilan <i>Report</i>	48

Gambar 3.16. Panel Tampilan URF	49
Gambar 3.17. Panel Tampilan <i>Solution Methods</i>	49
Gambar 3.18. Panel Tampilan <i>Solution Initialization</i>	49
Gambar 3.19. Panel Tampilan <i>Calculation</i>	50
Gambar 3.20. Hasil <i>Contour</i> Pelelehan pada PCM	51
Gambar 4.1. Posisi Termokopel	53
Gambar 4.2. Grafik Evolusi Temperatur HTF pada Proses <i>Charging</i> (a) Variasi 900 W (b) Variasi 1100 W	55
Gambar 4.3. <i>Contour</i> HTF pada Proses <i>Charging</i> Variasi 1100 W dan 900 W (a) Arah Aksial (b) Arah Radial	57
Gambar 4.4. Grafik Evolusi Temperatur HTF pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap (a) Variasi 1,5 LPM (b) Variasi 2,5 LPM	59
Gambar 4.5. Grafik Evolusi Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Charging</i> (a) 900 W (b) 1100 W	62
Gambar 4.6. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Charging</i>	64
Gambar 4.7. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM No. 27 Arah Aksial pada Proses <i>Charging</i> (a) 1100 W (b) 900 W	65
Gambar 4.8. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM No. 27 Arah Radial No. 27 pada Proses <i>Charging</i>	65
Gambar 4.9. Grafik Evolusi Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Discharging</i> secara bertahap (a) 2,5 LPM (b) 1,5 LPM	67
Gambar 4.10. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap	68
Gambar 4.11. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM No. 27 Arah Aksial pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap (a) 2,5 LPM (b) 1,5 LPM ..	69
Gambar 4.12. <i>Contour</i> Evolusi Temperatur Campuran PCM No. 27 Arah Radial pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap	69
Gambar 4.13. <i>Contour Liquid Fraction</i> pada proses <i>Charging</i>	71
Gambar 4.14. <i>Contour Liquid Fraction</i> Campuran PCM No. 27 Arah Radial pada Proses <i>Charging</i>	72

Gambar 4.15. Contour Liquid Fraction Campuran PCM No. 27 Arah Aksial pada Proses <i>Charging</i> (a) 1100 W (b) 900 W	73
Gambar 4.16. <i>Contour Liquid Fraction</i> pada Proses <i>Dicharging</i> secara Bertahap	74
Gambar 4.17. <i>Contour Liquid Fraction</i> Campuran PCM No, 27 Arah Radial pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap	75
Gambar 4.18. <i>Contour Liquid Fraction</i> Campuran PCM No, 27 Arah Aksial pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap (a) 2,5 LPM (b) 1,5 LPM	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka	8
Tabel 3.1. Spesifikasi Perangkat Komputasi	31
Tabel 3.2. Kualitas <i>Mesh</i> pada Simulasi Ini	40
Tabel 3.3. Klasifikasi Jenis Zona	42
Tabel 3.4 Nilai Properti Campuran PCM	46
Tabel 4.1. Pembagian Kelompok pada Termokopel di HTF	52
Tabel 4.2. Hasil Perbandingan Pengujian <i>Charging</i>	55
Tabel 4.3. Perbandingan Laju Kenaikan Temperatur Air pada Proses <i>Charging</i>	56
Tabel 4.4. Hasil Perbandingan Pengujian <i>Discharging</i> Secara Bertahap	58
Tabel 4.5. Perbandingan Laju Penurunan Temperatur Air pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap	59
Tabel 4.6. Pembagian kelompok pada Termokopel di PCM	61
Tabel 4.7. Perbandingan Laju Kenaikan Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Charging</i>	63
Tabel 4.8. Perbandingan Laju Penurunan Temperatur Campuran PCM pada Proses <i>Discharging</i> secara Bertahap	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Hasil DSC campuran <i>paraffin wax</i> dengan serbuk tembaga fraksi massa 10%	82
Lampiran II UDF Densitas campuran <i>paraffin wax</i> dengan serbuk tembaga fraksi massa 10%	83
Lampiran III <i>Profile</i> debit aliran <i>dishcharging</i> secara bertahap variasi 1,5 LPM	84
Lampiran IV <i>Profile</i> debit aliran <i>dishcharging</i> secara bertahap variasi 2,5 LPM	85
Lampiran V <i>Profile</i> Temperatur <i>inlet charging</i> variasi 900 W	86
Lampiran VI <i>Profile</i> Temperatur <i>inlet charging</i> variasi 1100 W	88

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CFD	: <i>Computational Fluid Dynamics</i>
GUI	: <i>Graphic User Interface</i>
HTF	: <i>Heat Transfer Fluid</i>
LES	: <i>Large Eddy Simulation</i>
LHS	: <i>Latent Heat Storage</i>
LPM	: <i>Liter Per Menit</i>
PCM	: <i>Phase Change Material</i>
PISO	: <i>Pressure Implicit with Splitting of Operators</i>
QUICK	: <i>Quadratic Upwind Interpolation</i>
RSM	: <i>Reynolds Stress</i>
SHS	: <i>Sensible Heat Storage</i>
SIMPLE	: <i>Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation</i>
SIMPLEC	: <i>Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation Consistent</i>
SWH	: <i>Solar Water Heater</i>
TES	: <i>Thermal Energy Storage</i>
UDF	: <i>User Define Function</i>
URF	: <i>Under Relaxation Factor</i>
C_p	: Kalor jenis (J/kg.K)
C_{ap}	: Kalor jenis rata-rata material penyimpanan (J/kg.°C)
$C_{p,g}$: Kalor jenis material fase gas (J/kg°C)
$C_{p,l}$: Kalor jenis material fase cair (J/kg°C)
$C_{p,pw}$: Kalor jenis <i>paraffin wax</i> (J/kg.K)
$C_{p,Cu}$: Kalor jenis tembaga (J/kg.K)
k	: Konduktivitas termal (W/m.K)
k_{pw}	: Konduktivitas termal <i>paraffin wax</i> (W/m.K)
k_{Cu}	: Konduktivitas termal tembaga (W/m.K)

T	: Temperatur (K)
ΔT	: Perubahan temperatur (K)
T_w	: Temperatur dinding (K)
T_{ref}	: <i>Reference</i> temperatur (K)
T_i	: Temperatur akhir ($^{\circ}\text{C}$)
T_f	: Temperatur awal ($^{\circ}\text{C}$)
ρ	: Densitas (kg/m^3)
ρ_l	: Densitas <i>liquid</i> (kg/m^3)
ρ_s	: Densitas <i>solid</i> (kg/m^3)
ρ_s	: Densitas bola (kg/m^3)
q	: Laju perpindahan kalor (W)
p	: <i>Static pressure</i> (Pa)
$\bar{\tau}$: <i>Stress tensor</i> (Pa)
t	: Waktu (s)
\vec{v}	: Kecepatan (m/s)
l	: Unit tensor
\vec{F}	: Gaya eksternal (N)
\vec{g}	: Gaya gravitasi (N)
∇	: <i>Nabla</i>
μ	: Viskositas (Pa.s)
H	: <i>Enthalpy</i> (J/kg)
h	: Koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$)
h_{ref}	: <i>Reference enthalpy</i> (J/kg)
Δh_r	: Kalor endotermik (kJ/mol)
ΔH	: <i>Latent heat</i> (J/kg)
Δx	: Tebal (m)
α_r	: Fraksi yang bereaksi (mol)
S	: <i>Source term</i> (W/m^3)
A	: Luas penampang (m^2)

V	: Volumne benda (m^3)
γ	: <i>Liquid fraction</i>
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
r	: Jari-jari bola (m)
v	: Kecepatan bola (m/s)
%Pw	: Fraksi massa <i>paraffin wax</i>
%Cu	: Fraksi massa serbuk tembaga
σ	: Konstanta Stefan-Boltzmann ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
e	: Emisivitas permukaan benda
m	: Massa (kg)
L	: Kalor laten perubahan padat-cair (J/kg)
L_g	: Kalor laten cair-gas (J/kg)