

**EVALUASI UNJUK KERJA TERMAL PROSES  
DISCHARGING PADA PEMANAS AIR TENAGA SURYA  
THERMOSYPHON KAPASITAS 60 LITER YANG BERISI  
PHASE CHANGE MATERIAL**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



**Disusun oleh :**

**IQBAL MUHAMMAD**

**20120130055**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2018**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi / tugas akhir berjudul “Evaluasi Unjuk Kerja Termal Proses *Discharging* pada Pemanas Air Tenaga Surya *Thermosyphon* Kapasitas 60 Liter yang Berisi PCM” ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka:

Yogyakarta, 21 Desember 2017



Iqbal Muhammad

## HALAMAN PERSEMBAHAN

***“Harta yang tak pernah habis adalah ilmu pengetahuan  
dan ilmu yang tak ternilai adalah pendidikan”***

***Skripsi ini saya persembahkan kepada seluruh dosen teknik  
mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah  
membimbing saya selama kuliah.***

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis haturkan kepada Allah S.W.T. karena limpahan rahmat serta anugerah darinya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan judul “Evaluasi Unjuk Kerja Termal Proses *Discharging* pada Pemanas Air Tenaga Surya *Thermosyphon* Kapasitas 60 Liter yang Berisi *Phase Change Material*”.

Adapun penyusunan Tugas Akhir ini dengan maksud untuk mengembangkan teknologi pemanas air tenaga surya dalam aspek penyimpanan energi termal dengan menggunakan metode yang tepat. Besar harapan penulis bahwa penelitian ini dapat berkelanjutan sehingga suatu saat menjadi produk yang bermanfaat.

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

1. Muhammad Nadjib, S.T., M. Eng., selaku pembimbing utama yang telah memberikan waktu luangnya untuk memberi masukan dan inspirasi terkait penulisan Tugas Akhir ini.
2. Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang telah membimbing dan membantu selama proses pengerjaan Tugas akhir.
3. Berli Paripurna Kamiel, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Seluruh pegawai dan staff TU Prodi, Jurusan, dan Fakultas di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
5. Ayah, Ibu, beserta seluruh Keluarga yang telah memberikan banyak doa dan dukungan moral, maupun materil selama penulis menempuh kuliah di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Teman seperjuangan ”Bangkit, Rasyid, Imam D.S., Mantep, Arwan, Abdi, Imam R” yang telah banyak membantu penulis dalam penelitian tugas akhir.
7. Sahabat-sahabat “Diana, Ari, Kharisma, Lana, Aldi, Memel” yang selalu setia

menemani selama di Kota Yogyakarta ini.

8. Pihak-pihak yang telah membantu pembuatan tugas akhir yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Terakhir, semoga Allah SWT membalas kebaikan dan jasa-jasa mereka semua dengan rahmat dan kebaikan yang terbaik dari-Nya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi, khususnya teknologi pemanas air tenaga surya.

Yogyakarta, 21 Desember 2017

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>INTISARI</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xix</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah .....	3
1.3.1. Asumsi .....	3
1.3.2. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

2.1. Tinjauan Pustaka	
2.1.1. Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) .....	5
2.1.2. Penggunaan PCM sebagai <i>Thermal Energy Storage</i> (TES) .....	6
2.1.3. Karakteristik PCM .....	7
2.2. Landasan Teori	
2.2.1. Energi Matahari .....	8

2.2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya (PATS).....	9
2.2.2.1. Sistem Aktif.....	10
2.2.2.2. Sistem Pasif .....	11
2.2.3. <i>Thermal Energy Storage</i> (TES) .....	13
2.2.3.1. <i>Sensible Heat storage</i> .....	13
2.2.3.2. <i>Latent Heat Storage</i> .....	14
2.2.3.3. <i>Thermo-Chemical Storage</i> .....	15
2.2.4. <i>Phase Change Material</i> (PCM) .....	16
2.2.5. <i>Charging dan discharging</i> .....	17
2.2.6. Kalor Tersimpan Sesaat .....	18
2.2.7. Kapasitas Energi Tersimpan .....	19
2.2.8. Efisiensi Pengumpulan Kolektif .....	19
2.2.9. Efisiensi tangki TES .....	20
2.2.10. Kebutuhan Air Panas .....	20
2.2.11. Pencampuran Air Panas dan Air Dingin .....	21

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1. Bahan Penelitian .....	23
3.2. Alat Penelitian.....	24
3.3. Prosedur Penelitian .....	32
3.3.1. Diagram Alir Penelitian .....	32
3.3.2. Langkah Pelaksanaan .....	33
3.3.3. Pengumpulan Data .....	34
3.3.4. Olah Data dan Analisis Data .....	34
3.4. Kesulitan Penelitian .....	35

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Kalibrasi Termokopel .....	36
4.2. Eksperimen <i>Discharging</i> Kontinyu .....	37
4.2.1. Kondisi Lingkungan.....	37
4.2.2. Proses <i>Charging</i> .....	39

4.2.3. Proses <i>Discharging</i> .....	42
4.2.4. Kapasitas Penyimpanan Energi Termal .....	45
4.2.5. Energi Tersimpan .....	49
4.2.6. Energi Ekstraksi .....	54
4.2.7. Efisiensi Sistem PATS .....	56
4.2.8. Hasil Pengujian Dengan Kondisi Terbaik.....	57
4.3. Eksperimen <i>Discharging</i> Bertahap .....	59
4.3.1. Kondisi Lingkungan.....	59
4.3.2. Proses <i>Charging</i> .....	61
4.3.3. Proses <i>Discharging</i> .....	64
4.3.4. Pencampuran Air Panas dan Air Dingin .....	67
4.3.5. Hasil Pengujian Dengan Kondisi Terbaik.....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	73
5.2. Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	75
<b>LAMPIRAN</b>	78



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema struktur matahari .....	9
Gambar 2.2. Sistem PATS .....	10
Gambar 2.3. PATS sistem aktif .....	11
Gambar 2.4. Sistem <i>thermosyphon</i> dengan pemanas tambahan .....	12
Gambar 2.5. Volume dari <i>storage</i> yang dibutuhkan untuk menyimpan energi (1800 kWh) .....	14
Gambar 2.6. Diagram temperatur-waktu pada pemanasan suatu zat.....	15
Gambar 2.7. Klarifikasi PCM .....	17
Gambar 2.8. Skema variasi temperatur pada sistem LHS.....	18
Gambar 2.9. Skema kesetimbangan energi pada campuran air panas dan air dingin .....	22
Gambar 3.1. <i>Paraffin wax RT52</i> .....	23
Gambar 3.2. Skema PATS .....	24
Gambar 3.3. Kolektor surya.....	25
Gambar 3.4. Sensor temperatur udara.....	25
Gambar 3.5. Piranometer .....	26
Gambar 3.6. Tangki PATS.....	26
Gambar 3.7. Kapsul PCM.....	27
Gambar 3.8. Katup pengaman .....	27
Gambar 3.9. Rotameter .....	28
Gambar 3.10. Akuisisi data.....	28
Gambar 3.11. PC.....	29
Gambar 3.12. Kalibrasi termokopel.....	30

Gambar 3.13. Anemometer .....	30
Gambar 3.14. Bak penampung .....	31
Gambar 3.15. <i>Multimeter</i> .....	31
Gambar 3.16. Diagram alir penelitian.....	32
Gambar 4.1. Sketsa letak termokopel di dalam tangki TES .....	37
Gambar 4.2. Intensitas radiasi dan temperatur udara luar proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu.....	38
Gambar 4.3. Evolusi temperatur HTF selama proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu .....	40
Gambar 4.4. Evolusi temperatur PCM selama proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu .....	41
Gambar 4.5. Evolusi temperatur selama proses <i>discharging</i> kontinyu pada HTF .....	43
Gambar 4.6. Evolusi temperatur selama proses <i>discharging</i> kontinyu pada PCM.....	44
Gambar 4.7. Kapasitas penyimpanan energi teoritis pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu .....	48
Gambar 4.8. Energi tersimpan sesaat dan intensitas radiasi proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu.....	52
Gambar 4.9. Akumulasi energi tersimpan selama proses <i>charging</i> .....	53
Gambar 4.10. Energi ekstraksi sesaat dan akumulasi energi ekstraksi selama proses <i>discharging</i> kontinyu.....	55
Gambar 4.11. Hasil pengujian tanggal 17 Desember 2016 .....	58
Gambar 4.12. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> bertahap.....	60
Gambar 4.13. Evolusi temperatur HTF selama proses <i>charging</i> pada tanggal 6 Desember 2016 untuk eksperimen <i>discharging</i> bertahap .....	61
Gambar 4.14. Evolusi temperatur HTF selama proses <i>charging</i> pada tanggal 8 Desember 2016 untuk eksperimen <i>discharging</i> bertahap .....	62
Gambar 4.15. Evolusi temperatur HTF selama proses <i>charging</i> pada tanggal 16 Desember 2016 untuk eksperimen <i>discharging</i> bertahap .....	62

Gambar 4.16. Evolusi temperatur PCM selama proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> bertahap .....	63
Gambar 4.17. Evolusi temperatur HTF selama proses <i>discharging</i> bertahap .....	65
Gambar 4.18. Evolusi temperatur PCM selama proses <i>discharging</i> bertahap .....	66
Gambar 4.19. Evolusi temperatur HTF rata-rata selama proses <i>discharging</i> ...	70
Gambar 4.20. Hasil pengujian tanggal 16 Desember 2016 .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik PCM yang diinginkan pada sistem PATS.....	16
Tabel 2.2. Standar temperatur air panas sesuai jenis pemakaiannya .....	21
Tabel 3.1. Spesifikasi dari <i>paraffin wax RT52</i> .....	23
Tabel 3.2. Spesifikasi PC .....	29
Tabel 4.1. Kalibrasi Termokopel .....	36
Tabel 4.2. Durasi waktu proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu .....	39
Tabel 4.3. Durasi waktu proses <i>discharging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> kontinyu .....	42
Tabel 4.4. Perhitungan kumulatif harga $Q_{collect}$ dan $Q_{incident}$ .....	50
Tabel 4.5. Efisiensi energi termal di dalam tangki TES .....	56
Tabel 4.6. Efisiensi tangki TES pada pengujian tanggal 17 Desember 2016 ....	59
Tabel 4.7. Durasi waktu proses <i>charging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> bertahap.....	61
Tabel 4.8. Durasi waktu proses <i>discharging</i> pada eksperimen <i>discharging</i> bertahap.....	64
Tabel 4.9. Hasil pencampuran air panas dan air dingin.....	68
Tabel 4.10. Hasil pencampuran air dingin dan air panas pada tanggal 16 Desember 2016.....	71

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\dot{m}$	= laju aliran massa air panas (kg/dt)
$m_w$	= massa air (kg)
$m_p$	= massa PCM (kg)
$m_c$	= massa kapsul (kg)
$m_d$	= massa air dingin (kg)
$m_p$	= massa air panas (kg)
$L_p$	= kalor laten perubahan padat-padat (kJ/kg)
$L$	= kalor laten perubahan padat-cair (kJ/kg)
$L_g$	= kalor laten perubahan cair-gas (kJ/kg)
$c_{p,s}$	= kalor jenis material fase padat (kJ/kg.°C)
$c_{p,l}$	= kalor jenis material fase cair (kJ/kg.°C)
$c_{p,g}$	= kalor jenis material fase gas (kJ/kg.°C)
$c_{p,w}$	= kalor jenis air panas (kJ/kg.°C)
$c_{p,ps}$	= kalor jenis PCM padat (kJ/kg.°C)
$c_{p,pl}$	= kalor jenis PCM cair (kJ/kg.°C)
$c_{p,c}$	= kalor jenis kapsul (kJ/kg.°C)
$c_{p,ad}$	= kalor jenis air dingin (kJ/kg.°C)
$c_{p,ap}$	= kalor jenis air panas (kJ/kg.°C)
$T_w$	= temperatur air panas (°C)
$T_{w,i}$	= temperatur awal air (°C)
$T_m$	= temperatur leleh PCM (°C)
$T_{p,am}$	= temperatur PCM di atas titik leleh (°C)
$T_{p,i}$	= temperatur awal PCM (°C)
$T_c$	= temperatur kapsul (°C)

- $T_{c,i}$  = temperatur awal kapsul ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{w,in}$  = temperatur HTF masuk sesaat ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{w,out}$  = temperatur HTF keluar sesaat ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{w,1}$  = temperatur akhir air ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{w,2}$  = temperatur air sebelumnya ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{c,i}$  = temperatur awal HTF saat *charging*  
 $T_{p,i}$  = temperatur awal PCM saat *charging*  
 $T_{p,m}$  = temperatur leleh PCM  
 $T_{p,f}$  = temperatur akhir PCM saat *charging*  
 $T_{c,o}$  = temperatur akhir HTF saat *charging*  
 $T_{d,i}$  = temperatur awal HTF saat *discharging*  
 $T_{p,i}$  = temperatur awal PCM saat *discharging*  
 $T_{p,s}$  = temperatur beku PCM saat *discharging*  
 $T_{p,f}$  = temperatur akhir PCM saat *discharging*  
 $T_{d,o}$  = temperatur akhir HTF saat *discharging*  
 $T_c$  = temperatur air campuran ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_d$  = temperatur air dingin ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_p$  = temperatur air panas ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $I_c$  = intensitas radiasi ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $A_c$  = luas permukaan kolektor surya ( $\text{m}^2$ )  
 $Q_{collect}$  = energi termal yang diterima (kJ)  
 $Q_{incident}$  = energi termal yang terjadi (kJ)  
 $Q_c$  = Jumlah kalor yang dilepas HTF selama proses *charging* (kW)  
 $Q_d$  = Jumlah kalor yang diterima HTF selama proses *discharging* (kW)  
 $\eta$  = efisiensi pengumpulan energi kolektif (%)

- $\eta_c$  = efisiensi charging (%)
- $\eta_d$  = efisiensi discharging (%)
- $\eta_p$  = efisiensi penyimpanan (%)
- $V_p$  = volume air panas (lt)
- $V_c$  = volume air campuran (lt)
- $\rho_d$  = densitas air dingin ( $\text{kg/m}^3$ )
- $\rho_p$  = densitas air panas ( $\text{kg/m}^3$ )

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data spesifikasi alat penelitian .....	78
Lampiran 2. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	79
Lampiran 3. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	81
Lampiran 4. . Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	83
Lampiran 5. Hasil perhitungan energi tersimpan selama proses <i>charging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	85
Lampiran 6. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	87
Lampiran 7. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	88
Lampiran 8. Hasil perhitungan energi ekstraksi selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 24 November 2016.....	89
Lampiran 9. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 12 Desember 2016.....	90
Lampiran 10. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 12 Desember 2016 .....	92
Lampiran 11. Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 12 Desember 2016.....	94
Lampiran 12. Hasil perhitungan energi tersimpan selama proses <i>charging</i> pada tanggal 12 Desember 2016.....	96
Lampiran 13. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 12 Desember 2016 .....	97
Lampiran 14. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 12 Desember 2016 .....	98



Lampiran 15. Hasil perhitungan energi ekstraksi selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 12 Desember 2016.....	99
Lampiran 16. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 17 Desember 2016.....	100
Lampiran 17. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 17 Desember 2016 .....	102
Lampiran 18. Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 17 Desember 2016.....	104
Lampiran 19. Hasil perhitungan energi tersimpan selama proses <i>charging</i> pada tanggal 17 Desember 2016.....	106
Lampiran 20. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 17 Desember 2016 .....	107
Lampiran 21. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 17 Desember 2016 .....	109
Lampiran 22. Hasil perhitungan energi ekstraksi selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 17 Desember 2016.....	111
Lampiran 23. Hasil perhitungan kapasitas penyimpanan .....	113
Lampiran 24. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 6 Desember 2016.....	114
Lampiran 25. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 6 Desember 2016 .....	116
Lampiran 26. Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 6 Desember 2016.....	118
Lampiran 27. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 6 Desember 2016 .....	120
Lampiran 28. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 6 Desember 2016 .....	121
Lampiran 29. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 8 Desember 2016.....	122

Lampiran 30. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 8 Desember 2016 .....	124
Lampiran 31. Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 8 Desember 2016.....	126
Lampiran 32. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 8 Desember 2016 .....	128
Lampiran 33. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 8 Desember 2016 .....	129
Lampiran 34. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 16 Desember 2016.....	130
Lampiran 35. Temperatur riil PCM selama proses <i>charging</i> pada tanggal 16 Desember 2016 .....	132
Lampiran 36. Intensitas radiasi, temperatur lingkungan, temperatur air masuk tangki dan temperatur keluar tangki selama proses <i>charging</i> pada tanggal 16 Desember 2016.....	134
Lampiran 37. Temperatur riil HTF di dalam tangki selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 16 Desember 2016 .....	136
Lampiran 38. Temperatur riil PCM selama proses <i>discharging</i> pada tanggal 16 Desember 2016 .....	138
Lampiran 39. Hasil perekaman data dari Hobo data logger pada tanggal 24 November 2016.....	140
Lampiran 41. Hasil perekaman data dari Hobo data logger pada tanggal 17 Desember 2016 .....	142
Lampiran 42. Hasil perekaman data dari Hobo data logger pada tanggal 6 Desember 2016 .....	143
Lampiran 43. Hasil perekaman data dari Hobo data logger pada tanggal 8 Desember 2016 .....	144
Lampiran 44. Hasil perekaman data dari Hobo data logger pada tanggal 16 Desember 2016 .....	145

