

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengukuran Laju Pelepasan Kalor Secara Bertahap pada Tangki Solar Water Heater dengan Pipa Berisi Paraffin Wax pada Variasi Debit Air 1; 1,5; 2 & 2,5 LPM” 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 dibagian naskah dan daftar pustaka tugas akhir ini.

Yogyakarta, 27 Agustus 2019



Eriq Nur Baitulatif

## MOTTO

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dan (ingatlah juga), tatkala Tuhanmu memaklumkan; "Sesungguhnya jika kamu bersyukur, pasti Kami akan menambah (nikmat) kepadamu, dan jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih".

(Q.S Ibrahim ayat 7)

## HALAMAN PERSEMBAHAN



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

1. Kedua orang tua saya Bapak Mohson dan Ibu Mujiyati 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. Keluarga Besar Trah Murjani dan Trah Djamjuri yang saya cintai dan saya banggakan, tidak lupa terimakasih atas dukungan serta dorongan motivasi yang kalian 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. Teman-teman seperjuangan di Yogyakarta, sebagai ungkapan terima kasih atas bantuan dan perjuangannya selama kurang lebih 4 tahun bersama di Yogyakarta.

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillahirrabil'alamin atas segala karunia nikmat, rahmat serta petunjuk-Nya sehingga tugas akhir dengan judul "PENGUKURUAN LAJU PELEPASAN KALOR SECARA BERTAHAP PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER DENGAN KAPSUL BERISI PARAFFIN WAX DENGAN VARIASI DEBIT AIR (1; 1,5; 2; 2,5 LPM)" 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 Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Bapak 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.
3. Bapak Krisdiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji tugas akhir ini.
4. Kedua Orang Tua tercinta dan tersayang Bapak Mohson dan Ibu Mujiyati, Ulma Ulil Azmi adik tercinta yang selalu memberikan banyak doa dan dukungan moril maupun materil selama penulis kuliah di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan 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. Keluarga besar Trah Murjadi dan Trah Djamjuri yang selalu memberi suport selama penulis menempuh kuliah.
7. Trian Ramandhani, Luthfy Rakhmat Yunanto, Bastian Luthfi P, teman satu kos yang selalu mensupport dan memberi semangat dalam suka maupun duka.
8. Mas Faiz dan Mba Iga selaku pemilik kos yang sudah membimbing dan menerima saya selama 4 tahun saya tinggal di Yogyakarta.
9. Teman teman satu angkatan 2015 khususnya kelas A “Doa Ibu” yang tidak bisa saya sebutkan 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.

Penulis berharap skripsi yang telah disusun ini bisa memberikan sumbangsih untuk menambah pengetahuan para pembaca, dan akhir kata, dalam rangka perbaikan selanjutnya, penulis akan terbuka terhadap saran dan masukan dari semua pihak karena penulis menyadari skripsi yang telah disusun ini memiliki banyak kekurangan.

Yogyakarta, 27 Agustus 2019

**Penulis**

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR GAMBAR.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	Error! Bookmark not defined.
INTISARI.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAC.....	Error! Bookmark not defined.
BAB I.....	Error! Bookmark not defined.
PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
1.2. Rumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.4. Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II.....	Error! Bookmark not defined.
TINJAUAN PUTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tinjauan Pustaka.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Dasar Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Definisi <i>Solar Water Heater (SWH)</i> / Pemanas Air Tenaga Surya.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.2 <i>Solar Water Heater (SWH)</i> / Pemanas Air Tenaga Surya Aktif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.3 <i>Solar Water Heater (SWH)</i> / Pemanas Air TENaga Surya Pasif (Termosifon)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.4 Definisi Tangki TES.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.5 Latent Heat Storage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.6 Sensible Heat Storage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.2.7	Thermo-Chemical Storage.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.8	Phase Change Material .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2.9	Charging dan Discharging .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB III</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>METODE PENELITIAN</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1.	Bahan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.	Hasil Uji DSC.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.	Alat Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.	<i>Applent Temperature Data Logger</i> AT 4532 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	<i>Tangki Solar Water Heater</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	Laptop.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.	Dudukan penopang pipa tembaga ( <i>Tube Sheet</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	Kapsul PCM ( <i>phase change material</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.	Rotameter Air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.	Termokopel.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.	<i>Valve</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.	Bak Penampung.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.	Selang air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.	Prosedur Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.1.	Variasi Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2.	Diagram Alir Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.	Rencana Analisi Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.1.	<i>Pre-Processing</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.2.	<i>Processing</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.3.	<i>Post-Processing</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB IV</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4.1.</b>	<b>Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 1 LPM .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.1.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Aksial.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.2.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.3.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Horisontal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.4.	Grafik Energi Kumulatif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

<b>4.2.</b>	<b>Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 1,5 LPM .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.1.	Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Aksial	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.2.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.3.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Horisontal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.4.	Grafik Energi Kumulatif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4.3.</b>	<b>Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 2 LPM .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.1.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Aksial	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.2.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.3.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Horisontal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3.4.	Grafik Energi Kumulatif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4.4.</b>	<b>Laju Pelepasan Kalor pada Variasi 2,5 LPM .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.1.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Aksial	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.2.	Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.3.	Evolusi Suhu Arah Horisontal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4.4.	Grafik Energi Kumulatif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>4.5.</b>	<b>Grafik Laju Pelepasan Kalor dan Laju Penurunan Suhu</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.1.	Laju Pelepasan Kalor Air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.2.	Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.3.	Laju Penurunan Suhu Air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5.4.	Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB V</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>PENUTUP</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1.	Kesimpulan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2.	Saran.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>DAFTAR PUSAKA</b>	.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. (a) sistem energi penyimpanan laten.....	6
Gambar 2. 2. Lapisan isolasi.....	8
Gambar 2. 3. Sistem Sirkulasi Langsung.....	14
Gambar 2. 4. Gambar Sirkulasi Tidak Langsung.....	14
Gambar 2. 5. Sistem Thermosiphon.....	15
Gambar 2. 6. Grafik temperature-waktu pada pemanasan suatu zat.....	18
Gambar 2. 7. Klasifikasi <i>phase change material</i> (PCM).....	21
Gambar 2. 8. Skema temperatur pada sistem LHS.....	22
Gambar 3. 1. <i>Paraffin Wax</i> Lokal.....	21
Gambar 3. 2. Hasil Uji DSC <i>Paraffin Wax</i> .....	22
Gambar 3. 3. Skema Alat SWH proses Discharging.....	24
Gambar 3. 4. Alat Penelitian Solar Water Heater.....	25
Gambar 3. 5. Applent Temperature Data Logger AT 4532.....	26
Gambar 3. 6. Tangki <i>solar water heater</i> belum terpasang.....	27
Gambar 3. 7. Tangki <i>solar water heater</i> sudah terpasang.....	27
Gambar 3. 8. Laptop .....	28
Gambar 3. 9. Dudukan penopang pipa tembaga.....	29
Gambar 3. 10. Dudukan penopang pipa tembaga.....	29
Gambar 3. 11. Kapsul PCM.....	30
Gambar 3. 12. Desain numbering pemasangan termokopel.....	31
Gambar 3. 13. Rotameter 3 LPM. ....	32
Gambar 3. 14. Termokopel.....	33
Gambar 3. 15. Valve .....	33
Gambar 3. 16. Bak penampung.....	34
Gambar 3. 17. Selang .....	35
Gambar 3. 18. Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 4. 1. Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Aksial.....	44
Gambar 4. 2. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial.....	45
Gambar 4. 3. Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	46
Gambar 4. 4. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal.....	47
Gambar 4. 5. Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Horisontal.....	48
Gambar 4. 6. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horisontal.....	49
Gambar 4. 7. Grafik Energi Kumulatif.....	50
Gambar 4. 8. Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Aksial.....	52
Gambar 4. 9. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial.....	53
Gambar 4. 10. Evolusi Suhu <i>Paraffin Wax</i> dalam Arah Vertikal.....	54

Gambar 4. 11. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal.....	55
Gambar 4. 12. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Horizontal.....	56
Gambar 4. 13. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal.....	57
Gambar 4. 14. Grafik Energi Kumulatif.....	58
Gambar 4. 15. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Aksial.....	60
Gambar 4. 16. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial.....	61
Gambar 4. 17. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Vertikal.....	62
Gambar 4. 18. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vettikal.....	63
Gambar 4. 19. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Horizontal.....	64
Gambar 4. 20. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal.....	65
Gambar 4. 21. Grafik Energi Kumulatif.....	66
Gambar 4. 22. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Aksial.....	68
Gambar 4. 23. Evolusi Suhu Air dalam Arah Aksial .....	69
Gambar 4. 24. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Vertikal.....	70
Gambar 4. 25. Evolusi Suhu Air dalam Arah Vertikal.....	71
Gambar 4. 26. Evolusi Suhu Paraffin Wax dalam Arah Horizontal.....	72
Gambar 4. 27. Evolusi Suhu Air dalam Arah Horizontal.....	73
Gambar 4. 28. Grafik Energi Kumulatif.....	74
Gambar 4. 29. Laju Pelepasan Kalor Air.....	76
Gambar 4. 30. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax.....	77
Gambar 4. 31. Laju Penurunan Suhu Air.....	79
Gambar 4. 32. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax.....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Ringkasan Tinjauan Pustaka.....	9
Tabel 2. 2. Karakteristik material phase change material (PCM) yang digunakan pada sistem SWH menurut Regin, dkk (2008).....	20
Tabel 3. 1. Properties Air (Cengel, 2003).....	20
Tabel 3. 2. Hasil Uji DSC Paraffin Wax Lokal.....	22
Tabel 3. 3. Spesifikasi dari paraffin wax RT 60 (Rubitterm Phase Change Material).....	23
Tabel 3. 4. Spesifikasi Data Logger .....	26
Tabel 3. 5. Spesifikasi Perangkat Laptop.....	28
Tabel 3. 6. Spesifikasi Rotameter.....	32
Tabel 3. 7. Spesifikasi Selang .....	34
Tabel 3. 8. Kalibrasi Thermocouple .....	39
Tabel 3. 9. Hasil kalibrasi rotameter 3 LPM .....	40
Tabel 4. 1. Energi Kumulatif 1 LPM .....	50
Tabel 4. 2. Energi Kumulatif 1,5 LPM.....	58
Tabel 4. 3. Energi Kumulatif 2 LPM .....	66
Tabel 4. 4. Energi Kumulatif 2,5 LPM.....	74
Tabel 4. 5 Laju Pelepasan Kalor Air .....	75
Tabel 4. 6. Laju Pelepasan Kalor Paraffin Wax.....	77
Tabel 4. 7. Laju Penurunan Suhu Air .....	78
Tabel 4. 8. Laju Penurunan Suhu Paraffin Wax.....	80

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Data 1 LPM .....	91
Lampiran 1. 2 Data 1 LPM .....	92
Lampiran 1. 3 Data 1,5 LPM .....	93
Lampiran 1. 4 Data 1,5 LPM .....	94
Lampiran 1. 5 Data 2 LPM .....	95
Lampiran 1. 6 Data 2 LPM .....	96
Lampiran 1. 7 Data 2,5 LPM .....	97
Lampiran 1. 8 Data 2,5 LPM .....	98
Lampiran 1. 9 Data Kalibrasi 1 LPM .....	99
Lampiran 1. 10 Data Kalibrasi 1 LPM .....	100
Lampiran 1. 11 Data Kalibrasi 1,5 LPM.....	101
Lampiran 1. 12 Data Kalibrasi 1,5 LPM.....	102
Lampiran 1. 13 Data Kalibrasi 2 LPM .....	103
Lampiran 1. 14 Data Kalibrasi 2 LPM .....	104
Lampiran 1. 15 Data Kalibrasi 2,5 LPM.....	105
Lampiran 1. 16 Data Kalibrasi 2,5 LPM.....	106

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$m$	= massa material (kg)
$L$	= kalor laten perubahan padat-cair (kJ/kg)
$L_g$	= kalor laten perubahan cair-gas (kJ/kg)
$cp,s$	= kalor jenis material fase padat (kJ/kg.°C)
$cp,l$	= kalor jenis material fase cair (kJ/kg.°C)
$cp,g$	= kalor jenis material fase gas (kJ/kg.°C)
$Q$	= energi yang diterima (J)
$\dot{Q}$	= laju penyerapan kalor (J/s)
$Q_{kum}$	= energi total yang diterima selama proses charging (J)
$V$	= volume material (m <sup>3</sup> )
$\rho$	= densitas material (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_l$	= densitas material fase cair (kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_s$	= densitas material padat (kg/m <sup>3</sup> )
$\Delta v$	= Perubahan kecepatan (Sebuah ukuran dari jumlah usaha)