

**KAJIAN EKSPERIMENTAL STRATIFIKASI TERMAL PADA  
PEMANAS AIR TENAGA SURYA *THERMOSYPHON*  
BERISI *PHASE CHANGE MATERIAL***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat  
Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun oleh :**

**Arwan Wawang Kismawan  
20120130125**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**KAJIAN EKSPERIMENTAL STRATIFIKASI TERMAL PADA  
PEMANAS AIR TENAGA SURYA *THERMOSYPHON*  
BERISI *PHASE CHANGE MATERIAL***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat  
Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun oleh :**

**Arwan Wawaang Kismawan  
20120130125**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2017**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir ini 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, ... Juni 2017



Arwan Wawang Kismawan

## MOTTO

Hargai diri sendiri dengan benar, walaupun tak ada yang tahu tentang hari esok, semua yang indah tak akan tercapai hanya dengan diam.

Lina bianasari

Jika yakin sesuatu itu akan membuatmu bahagia, maka lakukanlah sebaik mungkin. Jangan pernah mengecewakan diri sendiri.

Kyele Maynard

Ketika seseorang menghina kamu, itu adalah sebuah pujian bahwa selama ini mereka menghabiskan banyak waktu untuk memikirkan kamu, bahkan ketika kamu tidak memikirkan mereka.

Bj Habibie

Ketika hatimu terlalu berharap kepada seseorang maka Allah timpakan keatas kamu pedihnya sebuah pengharapan, supaya kamu mengetahui bahwa Allah sangat mencemburui hati yang berharap selain Dia. Maka Allah menghalangimu dari perkara tersebut agar kamu kembali berharap kepada-Nya.

Imam Syafi'i

Jalani hidup seperti menikmati secangkir kopi, telan dulu pahitnya untuk menikmati manis. Kita tinggal memilih cara menikmatinya disruput dengan cepat untuk mendapatkan hangatnya tetapi akan cepat habis atau disruput perlahan agar bertahan lama tetapi kehilangan hangatnya.

Lina Bianasari

## PERSEMBAHAN

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT. yang dengan semua kemurahan-Nya serta kasih sayang-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Bapak dan Ibu tersayang, Bapak Suwahna dan bapak Sutrimo serta Ibu Rongiatun Mungidah dan ibu Sudarmi yang selalu memberi dukunga, kasih sayang semangat dan yang selalu mencukupi semua yang penulis butuhkan. Terimakasih untuk semuanya, untuk do'a, air mata, senyum, pelukan hangat dan semua yang diberikan untuk penulis.
2. Untuk ketiga adik ku Gitaka Priya Kusuma, Fahromi Trimar Danu dan Yohan Nurfahri Nugroho, terimakasih sudah menjadi adik yang baik, selalu memberiku motivasi dan semangat.
3. Penyabarku Lina Bianasari, terimakasih telah memberiku keluarga baru yang selalu memberi semangat, dukungan serta kasih sayang, terimakasih telah menjadi tempatku pulang saat semua keluh kesah tak bisa ku sampaikan dan ku bagi dengan orang tuaku.
4. Keluarga kontraan pak Pangat Sidik, Dias dan Nunu, terimakasih telah memberiku kenangan indah, pengalaman yang berharga, belajar yang menyenangkan dan semua tak tergantikan oleh apapun.
5. Foto copy Nurita ms Tohar, Arip, Nurhadi dan mbah Rony, terimakasih telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Muhammad Nadjib, S.T.,M.Eng selaku dosen pembimbing utama yang selalu membimbing penulis dengan sabar, memberikan semua saran dan masukan terbaik dan meluankan banyak waktunya untuk

7. Tito Hadji Santoso, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing pendamping yang juga memberika saran dan masukan serta meluangkan waktunya untuk penulis.

## KATA PENGANTAR

Setinggi puji dan sedalam syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T., Tuhan seluruh alam. Atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan perancangan untuk Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan judul “Kajian Eksperimental Stratifikasi Termal Pada Tangki Pemanas Air Tenaga Surya *Thermosyphon* yang Berisi *Phase Change Material*”.

Pada Tugas Akhir ini, penulis mencoba mengembangkan teknologi Pemanas Air Tenaga Surya dalam aspek stratifikasi energi termal. Besar harapan penulis bahwa penelitian ini dapat berkelanjutan sehingga suatu saat menjadi produk yang bermanfaat.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bimbingan Bapak Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. selaku pembimbing utama pada Tugas Akhir ini yang selalu menyediakan waktu untuk berdiskusi dan banyak memberikan inspirasi serta motivasi dalam pengerjaan penelitian ini. Atas hal tersebut penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng.. Semoga Allah S.W.T. menetapkannya sebagai kebaikan yang tiada putus.

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. Novi Caroko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang telah membimbing dan membantu selama proses pengerjaan Tugas akhir.
3. Seluruh pegawai dan staff TU Prodi, Jurusan, dan Fakultas di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Ayahanda Suwahna, Spd., beserta Ibunda Rongiatun Mungidah serta seluruh keluarga atas segala do'a, dukungan, kasih sayang dan motivasi dan kehidupan terbaik bagi penulis.
5. Seluruh teman-teman seperjuangan jurusan "Teknik Mesin 2012" yang telah berjuang bersama-sama menempuh pendidikan Teknik Mesin Universitas

Muhammadiyah Yogyakarta serta semua yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

6. Teman seperjuangan "Teknik Mesin Kelas C 2012" yang telah berjuang bersama-sama menempuh pendidikan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, KALIAN ISTIMEWA.
7. Teman seperjuangan "Bangkit, Iqbal, Imam D.S., Mantep, Rasyid, Abdi, Imam R." yang telah banyak membantu penulis dan semua pihak yang membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir serta dalam menempuh studi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan barakah atas kebaikan dan jasa-jasa mereka semua dengan rahmat dan kebaikan yang terbaik dari-Nya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membaca dan mempelajarinya. Aamiin.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iii
MOTTO .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
INTISARI .....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka	
2.1.1. Penggunaan PCM pada PATS .....	4
2.1.2. <i>Paraffin wax</i> sebagai PCM.....	6
2.1.3. <i>Macroencapsulation</i> PCM.....	7
2.1.4. Stratifikasi termal pada tangki PATS .....	8
2.2. Landasan Teori	
2.2.1. Radiasi Matahari .....	10

2.2.2. Sistem PATS.....	11
2.2.3. <i>Phase Change Material</i> (PCM).....	15
2.2.4. Proses <i>charging</i> .....	18
2.2.5. Stratifikasi termal.....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Bahan Penelitian .....	24
3.2. Alat Penelitian.....	24
3.3. Prosedur Penelitian	
3.3.1. <i>Flow chart</i> / Diagram Alir Penelitian .....	28
3.3.2. Langkah pelaksanaan.....	30
3.3.3. Pengumpulan Data.....	30
3.3.4. Olah Data dan Analisis Data .....	30
3.4. Kesulitan Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Kalibrasi Termokopel .....	32
4.2. Eksperimen Proses <i>Charging</i>	
4.2.1. Kondisi Lingkungan.....	33
4.2.2. Distribusi Temperatur HTF.....	36
4.2.3. Distribusi Temperatur PCM.....	38
4.3. Stratifikasi Termal .....	41
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1. Kesimpulan .....	45
5.2. Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Radiasi matahari ke bumi.....	11
Gambar 2.2. Kolektor matahari tipe plat datar .....	11
Gambar 2.3. PATS.....	12
Gambar 2.4. Operasional PATS sistem aktif (a) <i>open loop</i> (b) <i>close loop</i> .....	13
Gambar 2.5. Sistem PATS <i>termosyphon</i> .....	14
Gambar 2.6. Skema proses melting dan solidifikasi PCM .....	15
Gambar 2.7. Klasifikasi PCM.....	16
Gambar 2.8. PCM <i>mikrokapsul</i> .....	18
Gambar 2.9. Skema proses <i>charging</i> dan <i>discharging</i> .....	18
Gambar 2.10. Skema ketebalan termoklin.....	21
Gambar 3.1. Skema alat penelitian .....	24
Gambar 3.2. Kolektor matahari .....	25
Gambar 3.3. Piranometer .....	25
Gambar 3.4. Sensor temperatur udara .....	25
Gambar 3.5. Anemometer.....	26
Gambar 3.6. Katup air.....	26
Gambar 3.7. <i>Safety valve</i> .....	26
Gambar 3.8. Tangki TES .....	27
Gambar 3.9. Kapsul PCM.....	27
Gambar 3.10. Rotameter air.....	27
Gambar 3.11. Termokopel.....	28
Gambar 3.12. Akuisisi Data.....	28
Gambar 3.13. Komputer .....	28
Gambar 3.14. Diagram alir penelitian .....	29
Gambar 4.1. Posisi pemasangan termokopel HTF di dalam tangki.....	32
Gambar 4.2. Posisi pemasangan termokopel PCM pada kapsul di dalam tangki.....	33

Gambar 4.3. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar tanggal 8 November 2016.....	34
Gambar 4.4. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar tanggal 25 November 2016.....	34
Gambar 4.5. Intensitas radiasi matahari dan temperatur udara luar tanggal 28 November 2016.....	35
Gambar 4.6. Temperatur HTF selama proses <i>charging</i> tanggal 8 November 2016.....	36
Gambar 4.7. Temperatur HTF selama proses <i>charging</i> tanggal 25 November 2016.....	37
Gambar 4.8. Temperatur HTF selama proses <i>charging</i> tanggal 28 November 2016.....	37
Gambar 4.9. Temperatur PCM selama proses <i>charging</i> tanggal 8 November 2016.....	39
Gambar 4.10. Temperatur PCM selama proses <i>charging</i> tanggal 25 November 2016..	39
Gambar 4.11. Temperatur PCM selama proses <i>charging</i> tanggal 28 November 2016..	40
Gambar 4.12. Bilangan Richardson (Ri) tanggal 8 November 2016.....	43
Gambar 4.13. Bilangan Richardson (Ri) tanggal 25 November 2016.....	43
Gambar 4.14. Bilangan Richardson (Ri) tanggal 28 November 2016.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Keuntungan dan kerugian PCM.....	16
Tabel 4.1. Kalibrasi termokopel HTF .....	32
Tabel 4.2. Kalibrasi termokopel PCM.....	33

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$E_i$	: energi masuk (W)
$I_o$	: intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )
$A$	: luas permukaan kolektor ( $m^2$ )
$\mu$	: efisiensi energi
$E_o$	: energi berguna (W)
$Q_c$	: energi masuk yang tersimpan (kJ)
$\dot{m}_c$	: laju aliran massa fluida proses <i>charging</i> (kg)
$C_{pc}$	: kalor jenis rata-rata air panas (J/kg.C)
$T_{ai}$	: temperatur air masuk ( $^{\circ}C$ )
$T_{ao}$	: temperatur air yang keluar ( $^{\circ}C$ )
$Q_s$	: proses pemanasan dan pendinginan kalor sensibel (kJ)
$\Delta H_m$	: temperatur pemanasan ( $^{\circ}C$ )
$T_i$	: temperatur leleh terendah ( $^{\circ}C$ )
$T_h$	: temperatur leleh tertinggi ( $^{\circ}C$ )
$C_{ps}$	: temperatur panas spesifik padat ( $^{\circ}C$ )
$C_{pL}$	: temperatur panas spesifik cair ( $^{\circ}C$ )
$T_{sc}$	: temperatur pendinginan ( $^{\circ}C$ )
$T_{sh}$	: temperatur pemanasan ( $^{\circ}C$ )
$H$	: laju kalor persatuan waktu (Q/t, J/s)
$h$	: koefisien konveksi ( $W/m^2K$ )
$\Delta T$	: temperatur T2-T1 ( $^{\circ}C$ )
$FOM_{1/2}$	: <i>Half Figure of Merit</i>
$C_{lost}$	: energi termal keluar
$C_{max}$	: energi termal tersimpan
$C_{int}$	: energi termal masuk
$Q_{cum}$	: energi tersimpan kumulatif

$M_n$	: massa air setiap slab di dalam tangki (kg)
$C_p$	: panas jenis air (kJ/kg. °C)
$T_f$	: temperatur acuan (°C)
$T_n$	: temperatur di setiap slab (°C)
$N$	: jumlah slab
$\lambda$	: konduktifitas termal (W/mK)
$\Delta T/\Delta X$	: temperatur suhu (°C)
$\alpha$	: koefisien perpindahan panas (W/m <sup>2</sup> K)
$T$	: parameter
$T_c$	: temperatur air dingin
$T_h$	: temperatur air panas
$SI$	: gradien kelengkungan termoklin
$X$	: elevasi air
$C$	: titik tengah termoklin
$x$	: elevasi titik tengah (m)
$H$	: kedalaman air efektif (m)
$Ri$	: bilangan Richardson
$g$	: percepatan gravitasi bumi (9,79423 m s <sup>-2</sup> )
$\beta$	: koefisien ekspansi termal (1/°C)
$H$	: tinggi tangki (m)
$v$	: kecepatan rata-rata air di dalam tangki (m/s)
$Q$	: kecepatan aliran pengisian (m <sup>3</sup> /s)
$r_{tangki}$	: radius tangki (m)
$E$	: kesetabilan massa air
$\rho$	: densitas (kg m <sup>-3</sup> )
$Z$	: kedalaman (m)

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Temperatur riil PCM di kapsul tanggal 8 November 2016.....	51
Lampiran 2. Temperatur riil air di dalam tangki tanggal 8 November 2016.....	53
Lampiran 3. Olah data riil tanggal 8 November 2016 .....	55
Lampiran 4. Input data radiasi tanggal 8 November 2016 .....	57
Lampiran 5. Akumulasi radiasi tanggal 8 November 2016 .....	59
Lampiran 6. Grafik intensitas radiasi matahari tanggal 8 November 2016.....	61
Lampiran 7. Temperatur riil PCM di kapsul tanggal 25 November 2016.....	61
Lampiran 8. Temperatur riil air di dalam tangki tanggal 25 November 2016.....	63
Lampiran 9. Olah data riil tanggal 25 November 2016 .....	65
Lampiran 10. Input data radiasi tanggal 25 November 2016 .....	67
Lampiran 11. Akumulasi radiasi tanggal 25 November 2016.....	69
Lampiran 12. Grafik intensitas radiasi matahari tanggal 25 November 2016.....	71
Lampiran 13. Temperatur riil PCM di kapsul tanggal 28 November 2016.....	71
Lampiran 14. Temperatur riil air di dalam tangki tanggal 28 November 2016.....	73
Lampiran 15. Olah data riil tanggal 28 November 2016 .....	75
Lampiran 16. Input data radiasi tanggal 28 November 2016 .....	77
Lampiran 17. Akumulasi radiasi tanggal 28 November 2016.....	79
Lampiran 18. Grafik intensitas radiasi matahari tanggal 28 November 2016.....	81
Lampiran 19. Hasil perhitungan bilangan Richardson (Ri) tanggal 8 November 2016.....	81
Lampiran 20. Hasil perhitungan bilangan Richardson (Ri) tanggal 25 November 2016.....	83
Lampiran 21. Hasil perhitungan bilangan Richardson (Ri) tanggal 28 November 2016.....	84