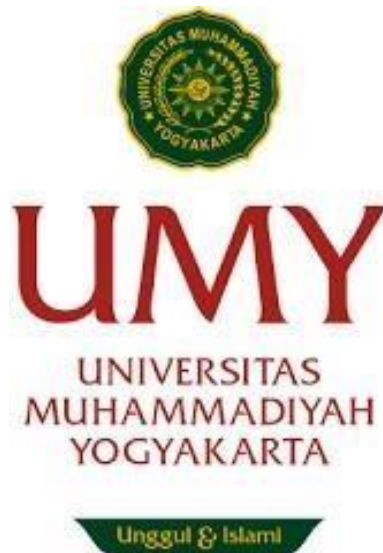


**SKRIPSI**  
**STUDI EKSPERIMENTAL KAPASITAS PENGUMPULAN ENERGI**  
**TERMAL DI DALAM TANGKI PEMANAS AIR TENAGA SURYA**  
**BERISI *PARAFFIN WAX* DENGAN VARIASI POROSITAS TANGKI**

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



**Disusun oleh :**

**ACHMAD FARUQ MAULANA**

**20180130152**

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

**2022**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa skripsi / tugas akhir berjudul **“Studi Eksperimental Kapasitas Pengumpulan Energi Termal Di Dalam Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Berisi *Paraffin Wax* Dengan Variasi Porositas Tangki”** ini adalah 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 dituliskan atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka

Yogyakarta, 21 Desember 2022



Achmad Faruq Maulana

## **MOTTO**

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

**(Q.S. Ar-Ra'd: 11)**

“Dan carilah (pahala) negeri akhirat dengan apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu, tetapi janganlah kamu melupakan bagianmu di dunia dan berbuat baiklah (kepada orang lain)”

**(Q.S. Al-Qashas: 77)**

“Hidup yang tak dipertaruhkan, tak akan pernah dimenangkan”

**(Sutan Sjahrir)**

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini adalah bagian dari ibadah saya kepada Allah SWT karena kepada-Nya kami menyembah, dan kepada-Nya kami memohon pertolongan.

Sekaligus, sebagai ungkapan rasa terima kasih kepada Bapak Ramlan dan Ibu Suripah, yang terus memotivasi dalam hidup saya, dan kakak saya Farid Maulana serta adik saya Fachry Maulana atas semua dukungan dan bantuannya.

Seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah memberikan ilmu kepada saya selama kuliah.

Almamater saya, terima kasih telah mengizinkan saya untuk belajar demi mewujudkan cita-cita saya.

## INTISARI

Pemanas air tenaga surya (PATS) pada umumnya menggunakan air sebagai material penyimpan kalor karena murah dan memiliki sifat perpindahan kalor yang baik. Namun, air memiliki kekurangan yaitu densitas energi yang rendah. *Phase change material* PCM memiliki densitas energi yang tinggi dibandingkan dengan air, sehingga PCM menjadi pilihan yang baik untuk diterapkan pada PATS. Penelitian penggunaan PCM pada PATS telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Namun demikian, penelitian yang dilakukan belum ada yang membahas kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki PATS-PCM sistem aktif dengan variasi porositas tangki menggunakan susunan kapsul tipe tumbuk. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik pengaruh perubahan porositas tangki terhadap kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki PATS-PCM sistem aktif.

Penelitian PATS sistem aktif ini dilakukan secara *indoor* dengan susunan kapsul tipe tumbuk yang berisi *paraffin wax* sebagai PCM. Komponen pokok dari PATS adalah *solar simulator*, kolektor surya, kapsul PCM, dan pompa. Sumber energi berasal dari *solar simulator* untuk menyuplai *heat flux*  $1000 \text{ W/m}^2$ . Debit aliran pompa diatur untuk menghasilkan debit 2 LPM. Jumlah kapsul yang dipakai adalah 13, 17, dan 21 buah. Termokopel yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 24 buah. Data temperatur direkam setiap 1 menit selama 160 menit menggunakan akuisisi data untuk menganalisis kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki TES.

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi porositas tangki sebesar 82,23%, 85,62%, dan 89%, menghasilkan kapasitas pengumpulan energi termal berturut-turut 10,54 MJ, 10,52 MJ, dan 10,01 MJ. Semakin besar porositas tangki maka semakin rendah kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki.

**Kata kunci:** PATS sistem aktif, PCM, porositas tangki, *solar simulator*.

## ABSTRACT

*Solar water heaters (SWH) generally use water as a heat storage material because it is cheap and has good heat transfer properties. However, water has the disadvantage of having a low energy density. Phase change material PCM has a high energy density compared to water, so PCM is a good choice to be applied to SWH. Research on the use of PCM in SWH has been carried out by previous researchers. However, no research has yet been conducted that discusses the capacity to collect thermal energy in active system SWH-PCM tanks with variations in tank porosity using a mash-type capsule arrangement. The purpose of this study was to obtain the characteristics of the effect of changing the porosity of the tank on the capacity to collect thermal energy in the active system SWH-PCM tank.*

*This active system SWH study was carried out indoors with a mash-type capsule arrangement containing paraffin wax as PCM. The main components of the SWH are solar simulators, solar collectors, PCM capsules, and pumps. The energy source comes from a solar simulator to supply a heat flux of 1000 W/m<sup>2</sup>. The pump flow rate is set to produce a 2 LPM discharge. The number of capsules used were 13, 17, and 21. There are 24 thermocouples used in this study. Temperature data was recorded every 1 minute for 160 minutes using data acquisition to analyze the thermal energy collection capacity in the tank.*

*This research shows that the variations in the porosity of the tanks are 82.23%, 85.62% and 89%, resulting in a capacity of collecting thermal energy of 10.54 MJ, 10.52 MJ and 10.01 MJ respectively. The greater the porosity of the tank, the lower the capacity to collect thermal energy in the tank.*

**Keywords:** *PCM, porosity of the tank, solar simulator, SWH active system.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar. *Alhamdulillah* *robbil'aalamiin*, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Eksperimental Kapasitas Pengumpulan Energi Termal Di Dalam Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Berisi *Paraffin Wax* Dengan Variasi Porositas Tangki”**.

Pemanas air tenaga surya merupakan teknologi yang menggunakan energi matahari untuk memanaskan air. Sistem PATS umumnya memakai air sebagai penunpanan kalor sensibel (*sensibel heat storage*, SHS) karena memiliki sifat perpindahan kalor yang baik juga harga yang murah. SHS memiliki kelemahan densitas penyimpanan energi yang lemah dan dapat menimbulkan korosi juga kebocoran. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menangani terjadinya akumulasi dengan metode penambahan kapsul di dalam tangki.

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kapsul di dalam tangki dengan jumlah 13, 17, dan 21 kapsul. Pengujian ini untuk mendapatkan data perekaman temperatur HTF dan PCM selama proses *charging*. Data eksperimen diperoleh dari *software* HOBO dan AT4532 *Multi-Channel Temperature Meter* mengetahui pengaruh perubahan porositas tangki terhadap kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan, bantuan, dan dukungan yang sangat berarti dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

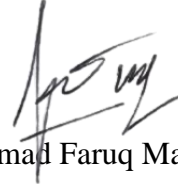
1. Bapak Ir. Berli Paripurna Kamiel, S.T., M.Eng., Sc., Ph.D, selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng, selaku pembimbing I yang telah memberikan banyak ilmu dan waktu luang untuk memberikan masukan dan arahan terkait penulisan Tugas Akhir ini.

3. Bapak Dr. Ir. Novi Caroko, S.T., M.Eng., IPP, selaku pembimbing II yang telah membimbing dan membantu selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Sudarja, M.T., IPM, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran pada ujian pendadaran Tugas Akhir.
5. Seluruh pegawai dan staff TU Prodi dan Fakultas di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Kakak tingkat tim riset “Tim Sibela III”, yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.
7. Teman seperjuangan “Fandimas Gagah Pratama, Irfan Arfiyanto, Dresta Priatna, Dede Candra Priadi, Abdul Hamid Irman, dan Tim Sibela IV” yang telah membantu penulis dalam penelitian Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2018 dan pihak-pihak yang telah membantu dalam pembuatan Tugas Akhir yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaannya di masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan menambah pustaka pengetahuan keteknikan pada khususnya.

Yogyakarta, 21 Desember 2022

Penulis



Achmad Faruq Maulana



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>INTISARI</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Landasan Teori .....	7
2.2.1. Energi Matahari .....	7
2.2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya .....	8
2.2.3. <i>Thermal Energy Storage</i> (TES) .....	10
2.2.4. <i>Phase Change Material</i> (PCM) .....	13
2.2.5. <i>Solar Simulator</i> .....	14
2.2.6. Kapasitas pengumpulan energi termal di dalam tangki TES .....	14
2.2.7. Porositas Tangki .....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	16
3.1. Bahan Penelitian .....	16
3.2. Alat Penelitian.....	17

3.3. Komponen dan Alat Penelitian.....	18
3.4. Prosedur Pengujian.....	26
3.4.1. Pengujian Porositas Tangki.....	26
3.4.2. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.4.3. Langkah Pelaksanaan.....	29
3.4.4. Pengumpulan data.....	29
3.4.5. Olah Data dan Analisis.....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	30
4.1. Kalibrasi Rotameter.....	30
4.2. Kalibrasi Termokopel.....	31
4.3. Evolusi Temperatur Rata-rata HTF.....	33
4.4. Evolusi Temperatur Rata-rata PCM.....	34
4.5. Kapasitas Pengumpulan Energi Termal.....	34
4.6. Kapasitas Pengumpulan Energi Termal Dengan Variasi Porositas Tangki	36
4.6.1. Perhitungan kapasitas pengumpulan energi termal porositas tangki 82,23%.....	36
4.6.2. Perhitungan kapasitas pengumpulan energi termal porositas tangki 85,62%.....	37
4.6.3. Pengujian kapasitas pengumpulan energi termal porositas tangki 89% .....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	44
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran.....	44
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xvi
<b>LAMPIRAN</b> .....	xix

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema struktur matahari.....	7
Gambar 2.2. Sistem PATS .....	8
Gambar 2.3. Sistem aktif terbuka.....	9
Gambar 2.4. Sistem aktif tertutup .....	9
Gambar 2.5. Sistem <i>thermosyphon</i> dengan pemanas tambahan .....	10
Gambar 2.6. Sistem <i>integrated collector storage</i> .....	10
Gambar 2.7. Volume dari <i>storage</i> yang dibutuhkan untuk menyimpan energi(1800 kWh).....	11
Gambar 2.8. Diagram temperatur-waktu pemanasan suatu zat.....	12
Gambar 2.9. <i>Solar simulator</i> .....	14
Gambar 3.1. <i>Parrafin wax RT55</i> .....	16
Gambar 3.2. Skema alat penelitian PATS.....	17
Gambar 3.3. <i>Solar simulator</i> .....	18
Gambar 3.4. Kolektor surya .....	19
Gambar 3.5. Piranometer .....	19
Gambar 3.6. Tangki PATS.....	20
Gambar 3.7. Rotameter air .....	20
Gambar 3.8. AT4532 <i>multi-channel temperature meter</i> .....	21
Gambar 3.9. Laptop.....	22
Gambar 3.10. Termokopel tipe K .....	22
Gambar 3.11. Pompa.....	23
Gambar 3.12. Kapsul PCM .....	24
Gambar 3.13. Rangkaian pipa.....	24
Gambar 3.14. Dimmer pompa.....	25
Gambar 3.15. <i>Voltage regulator</i> .....	25
Gambar 3.16. Susunan kapsul PCM (a) 21 kapsul (b) 17 kapsul (c) 13 kapsul.....	26
Gambar 3.17. Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.18. Diagram alir (lanjutan) .....	28
Gambar 4.1. Kalibrasi rotameter.....	31

Gambar 4.2. Sketsa letak termokopel di dalam tangki TES .....	32
Gambar 4.3. Evolusi temperatur HTF porositas tangki 82,23% .....	33
Gambar 4.4. Evolusi temperatur PCM porositas tangki 82,23% .....	34
Gambar 4.5. Perolehan energi termal tiap komponen variasi porositas tangki 82,23% .....	35
Gambar 4.6. Kapasitas pengumpulan energi termal .....	41
Gambar 4.7. Presentase kapasitas pengumpulan energi termal .....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik PCM yang digunakan pada sistem PATS .....	13
Tabel 3.1. Sifat fisis air .....	16
Tabel 3.2. Spesifikasi <i>paraffin wax</i> jenis RT55 .....	17
Tabel 3.3. Spesifikasi lampu <i>tungsten halogen</i> .....	18
Tabel 3.4. Spesifikasi AT4532 <i>multi-channel temperature meter</i> .....	21
Tabel 3.5. Spesifikasi laptop .....	22
Tabel 3.6. Spesifikasi pompa .....	23
Tabel 3.7. Spesifikasi dimmer pompa.....	25
Tabel 4.1. Pengujian kalibrasi rotameter .....	30
Tabel 4.2. Hasil kalibrasi termokopel .....	31
Tabel 4.3. Data pengujian porositas tangki 82,23%.....	36
Tabel 4.4. Data pengujian porositas tangki 85,62%.....	37
Tabel 4.5. Data pengujian porositas tangki 89%.....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Datasheet</i> PCM RT55 .....	xix
Lampiran 2. Data <i>riil</i> temperatur HTF variasi 21 kapsul.....	xx
Lampiran 3. Data <i>riil</i> temperatur HTF variasi 17 kapsul.....	xxvii
Lampiran 4. Data <i>riil</i> temperatur HTF variasi 13 kapsul.....	xxxiv
Lampiran 5. Data <i>riil</i> temperatur PCM variasi 21 kapsul.....	xli
Lampiran 6. Data <i>riil</i> temperatur PCM variasi 17 kapsul.....	xlviii
Lampiran 7. Data <i>riil</i> temperatur PCM variasi 13 kapsul.....	lv