

**SKRIPSI**

**PENGARUH DEBIT ALIRAN TERHADAP PENYIMPANAN ENERGI TERMAL  
DI DALAM TANGKI PEMANAS AIR TENAGA SURYA SISTEM AKTIF YANG  
MELIBATKAN *PHASE CHANGE MATERIAL***

**Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



**UMY**

**UNIVERSITAS  
MUHAMMADIYAH  
YOGYAKARTA**

**Unggul & Islami**

**Disusun oleh:**

**ANGGA DWI SENTOSA**

**20160130150**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH**

**YOGYAKARTA**

**2021**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan :

1. Tulisan saya, tugas akhir yang berjudul “**Pengaruh Debit Aliran Terhadap Penyimpanan Energi Termal Di Dalam Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif Yang Melibatkan *Phase Change Material***” adalah karya saya, dan belum ada karya yang pernah diajukan untuk gelar sarjana, baik di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan di universitas lainnya.
2. Dalam tulisan ini, tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dilaporkan sebagai referensi dalam naskah dengan nama penulis disebutkan dan tercantum dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan yang saya buat ini adalah sah, dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena makalah ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di universitas ini.

Yogyakarta, 22 Juli 2021



Angga Dwi Sentosa

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

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

Sekaligus, sebagai ungkapan terima kasih kepada Bapak Budi Santoso dan Ibu Wiwik Suryana, yang terus memotivasi saya dalam hidup saya, dan kakak saya Anggun Budi Lestari atas semua dukungan dan bantuannya.

Almamater saya, terima kasih telah mengizinkan saya untuk belajar tanpa henti sampai akhir hayat saya.

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh.*

Segala puji bagi Allah SWT tidak ada Tuhan selain Dia yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar sebagaimana mestinya. Sholawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi kita Muhammad SAW untuk keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga hari kiamat.

*Alhamdulillahirobbil'alamin* penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **"Pengaruh Debit Aliran Terhadap Penyimpanan Energi Termal Di Dalam Tangki Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif Yang Melibatkan *Phase Change Material*"**. Penulis sangat bersyukur dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dan sebagai bukti bahwa penulis telah menyelesaikan pendidikan sarjananya di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Selain itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga dibalas oleh Allah SWT.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk membangun Tugas Akhir ini lebih baik lagi kedepannya. Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Atas perhatiannya saya ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta,... Juli 2021



**Angga Dwi Sentosa**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>INTISARI</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
2.1. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1. Pemanas Air Tenaga Surya.....	5
2.1.2. PCM sebagai Material Penyimpan Energi Termal .....	5
2.1.3. <i>Solar simulator</i> .....	9
2.2. Landasan Teori .....	10
2.2.1. Energi Matahari .....	10
2.2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya.....	11
2.2.3. <i>Thermal Energy Storage</i> .....	14
2.2.4. <i>Phase Change Material</i> .....	16
2.2.5. <i>Charging dan Discharging</i> .....	17

2.2.5.	Kalor Tersimpan Sesaat.....	18
2.2.6.	Kapasitas Energi Tersimpan.....	19
2.2.7.	<i>Stefan Number</i> .....	20
2.2.8.	<i>Solar Simulator</i> .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>22</b>
3.1.	Bahan Penelitian .....	22
3.2.	Alat Penelitian.....	23
3.3.	Prosedur penelitian .....	33
3.3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.3.2.	Langkah Pelaksanaan .....	35
3.3.3.	Pengumpulan Data.....	35
3.3.4.	Olah Data dan Analisis Data .....	35
3.4.	Kesulitan Penelitian .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>36</b>
4.1.	Hasil Uji <i>Solar Simulator</i> .....	36
4.2.	Kalibrasi Rotameter .....	37
4.3.	Kalibrasi Termokopel .....	38
4.4.	Evolusi Temperatur <i>Input</i> dan <i>Output</i> Tangki TES.....	39
4.5.	Evolusi Temperatur Rata-Rata HTF .....	41
4.6.	Evolusi Temperatur Rata-Rata PCM .....	41
4.7.	Perbandingan evolusi temperatur HTF dan PCM.....	42
4.8.	Penyimpanan kalor sesaat.....	43
4.9.	Akumulasi penyimpanan energi termal .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>46</b>
5.1.	Kesimpulan .....	46
5.2.	Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>47</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>51</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema struktur matahari .....	11
Gambar 2.2. Sistem PATS .....	12
Gambar 2.3. PATS sistem aktif.....	12
Gambar 2.4. Sistem <i>thermosyphon</i> dengan pemanas tambahan.....	13
Gambar 2.5. <i>Integrated Collector Storage</i> .....	14
Gambar 2.6. Klasifikasi <i>thermal energy storage</i> .....	14
Gambar 2.7. Volume dari <i>storage</i> yang dibutuhkan untuk menyimpan energi .....	15
Gambar 2.8. Diagram temperatur-waktu pada pemanasan suatu zat .....	16
Gambar 2.9. Skema variasi temperatur pada sistem LHS .....	18
Gambar 2.10. <i>Solar simulator</i> .....	21
Gambar 3.1. <i>Paraffin wax</i> jenis RT55.....	23
Gambar 3.2. Skema alat penelitian.....	23
Gambar 3.3. <i>Solar Simulator</i> .....	24
Gambar 3.4. Kolektor Surya.....	24
Gambar 3.5. Piranometer.....	25
Gambar 3.6. Tangki PATS .....	26
Gambar 3.7. Rotameter air .....	26
Gambar 3.8. Akuisisi data .....	28
Gambar 3.9. Laptop.....	28
Gambar 3.10. Kalibrasi termokopel tipe K.....	29
Gambar 3.11. Pompa .....	29
Gambar 3.12. Kapsul PCM .....	30
Gambar 3.13. Dimmer pompa.....	31
Gambar 3.14. Termometer .....	31
Gambar 3.15. Rucika JIS.....	32
Gambar 3.16. <i>Voltage regulator</i> .....	32
Gambar 3.17. Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 4.1. Posisi penempatan piranometer pada <i>solar simulator</i> .....	36
Gambar 4.2. Sketsa letak termokopel di dalam tangki TES dari.....	39
Gambar 4.3. Evolusi temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> selama proses <i>charging</i> .....	40
Gambar 4.4. Beda temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> selama proses <i>charging</i> .....	40

Gambar 4.5. Evolusi temperatur rata-rata HTF selama proses <i>charging</i> .....	41
Gambar 4.6. Evolusi temperatur rata-rata PCM selama proses <i>charging</i> .....	42
Gambar 4.7. Perbandingan evolusi temperatur HTF dan PCM selama proses <i>charging</i> ....	42
Gambar 4.8. Kalor tersimpan sesaat selama proses <i>charging</i> . .....	44
Gambar 4.9. Akumulasi penyimpanan energi termal selama proses <i>charging</i> .....	45



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik PCM yang diinginkan pada sistem PATS .....	17
Tabel 3.1. Sifat fisis Air .....	22
Tabel 3.2. Sifat termofisik PCM RT55 .....	22
Tabel 3.3. Spesifikasi Kolektor Surya.....	25
Tabel 3.4. Detail spesifikasi tangki TES .....	26
Tabel 3.5. Detail spesifikasi rotameter air .....	27
Tabel 3.6. Detail spesifikasi akuisisi data.....	27
Tabel 3.7. Spesifikasi Laptop .....	28
Tabel 3.8. Spesifikasi pompa.....	30
Tabel 3.9. Spesifikasi Dimmer pompa .....	31
Tabel 4.1. Hasil uji <i>solar simulator</i> .....	36
Tabel 4.2. Hasil pengujian PATS- <i>solar simulator</i> .....	36
Tabel 4.3. Kalibrasi Rotameter.....	37
Tabel 4.4. Hasil Kalibrasi Rotameter .....	37
Tabel 4.5. Kalibrasi Termokopel.....	38

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

CPV	: <i>Concentrated Photovoltaic</i>
CSP	: <i>Concentrated Solar Power</i>
HTF	: <i>Heat Transfer Fluid</i>
ICS	: <i>Integrated Collector Storage</i>
JIS	: <i>Japanese Industrial Standard</i>
LHS	: <i>Latent Heat Storage</i>
LPM	: Liter Per Menit
PATS	: Pemanas Air Tenaga Surya
PCM	: <i>Phase Change Material</i>
PV	: <i>Photovoltaic</i>
SDHW	: <i>Solar Domestic Water Heater</i>
SHS	: <i>Sensible Heat Storage</i>
TES	: <i>Thermal Energy Storage</i>
uPVC	: <i>Unplasticized Polyvinyl Chloride</i>
UV	: <i>Ultra Violet</i>
$\dot{m}$	: laju aliran massa air panas (kg/dt)
$\dot{m}_{ch}$	: laju aliran massa air panas proses <i>charging</i> (kg/dt)
$\dot{m}_d$	: laju aliran massa air panas proses <i>discharging</i> (kg/dt)
$C_{ap}$	: kalor jenis rata-rata material penyimpan saat proses (J/kg°C)
$C_{p,c}$	: kalor jenis dinding kapsul (J/kg°C)
$C_{p,ch}$	: kalor jenis air panas prose <i>charging</i> (J/kg°C)
$C_{p,d}$	: kalor jenis air panas proses <i>discharging</i> (J/kg°C)
$C_{p,pl}$	: kalor jenis PCM cair (J/kg°C)
$C_{p,ps}$	: kalor jenis PCM padat (J/kg°C)
$C_{p,w}$	: kalor jenis air panas (J/kg°C)
$C_{pl}$	: panas spesifik (kJ/kg-°C)
$C_p(T)$	: harga kalor jenis air (J/kg°C)
$E(t)$	: kapasitas energi tersimpan
$L$	: kalor laten pelelehan (J/kg)
$m$	: massa material penyimpan (kg)
$m_c$	: massa kapsul (kg)

$m_p$	: massa PCM (kg)
$m_w$	: massa air (kg)
$\rho$	: massa jenis (kg/m <sup>3</sup> )
$Q_c$	: kalor proses <i>charging</i> (J)
$Q_d$	: kalor proses <i>discharging</i> (J)
$Q(t)$	: kalor tersimpan sesaat (Watt)
Ste	: <i>stefan number</i>
$T$	: temperatur fluida (°C)
$T_c$	: temperatur kapsul (°C)
$T_{c,i}$	: temperatur awal proses <i>charging</i> (°C)
$T_{c,o}$	: temperatur akhir proses <i>charging</i> (°C)
$T_{d,i}$	: temperatur awal proses <i>discharging</i> (°C)
$T_{d,o}$	: temperatur akhir proses <i>discharging</i> (°C)
$T_f$	: temperatur akhir (°C)
$T_i$	: temperatur awal (°C)
$T_m$	: temperatur leleh PCM (°C)
$T_{p,am}$	: temperatur PCM di atas titik leleh (°C)
$T_{p,f}$	: temperatur cair PCM (°C)
$T_{p,i}$	: temperatur awal PCM (°C)
$T_{p,m}$	: temperatur leleh PCM (°C)
$T_{p,s}$	: temperatur padat PCM (°C)
$T_w$	: temperatur air panas (°C)
$T_{w,i}$	: temperatur awal air (°C)
$T_{w,in}(t)$	: temperatur masuk sesaat (°C)
$T_{w,out}(t)$	: temperatur keluar sesaat (°C)
$V$	: volume material (m <sup>3</sup> )

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Datasheet</i> PCM RT55 .....	51
Lampiran 2. <i>Saturated Water</i> .....	52
Lampiran 3. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 2 LPM.....	53
Lampiran 4. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 3 LPM.....	57
Lampiran 5. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 4 LPM.....	61
Lampiran 6. Data riil temperatur HTF variasi 2 LPM.....	65
Lampiran 7. Data riil temperatur HTF variasi 3 LPM.....	69
Lampiran 8. Data riil temperatur HTF variasi 4 LPM.....	73
Lampiran 9. Data riil temperatur PCM variasi 2 LPM.....	77
Lampiran 10. Data riil temperatur PCM variasi 3 LPM.....	81
Lampiran 11. Data riil temperatur PCM variasi 4 LPM.....	85