

**SKRIPSI**

**ANALISIS STRATIFIKASI TERMAL PADA PEMANAS AIR TENAGA SURYA  
SISTEM AKTIF YANG BERISI *PHASE CHANGE MATERIAL* DENGAN VARIASI  
DEBIT ALIRAN**

**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 :**

**YUNI NUR FATWAENI**

**20160130142**

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

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**YOGYAKARTA**


**2021**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi / tugas akhir berjudul **“Analisis Stratifikasi Termal pada Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif yang Berisi *Phase Change Material* dengan Variasi Debit Aliran”** 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, 26 Juli 2021



  
Yuni Nur Fatwaeni

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.  
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*

*(QS. Al-Insyirah ayat 5-6)*

*Skripsi ini saya persembahkan kepada Ayah, Alm. Ibu, ketiga kakak, adik saya  
serta seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
yang telah membimbing saya selama kuliah.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alaamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Analisis Stratifikasi Termal pada Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif yang Berisi *Phase Change Material* dengan Variasi Debit Aliran”.

Tugas akhir ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata kesempurnaan. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penyusunan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembacanya.

Yogyakarta, Juli 2021

Penulis



Yuni Nur Fatwaeni

20160130142

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari bahwa tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, saran, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan 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 Reli Adi Himarosa, S.T., M. Eng., selaku pembimbing II yang telah membimbing dan membantu selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Berli Paripurna Kamiel, S.T., M. Eng. Sc., Ph.D, 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. Alm. Ibu, Bapak, ketiga kakak saya, adik saya serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa dan dukungan moral, maupun materiil selama penulis menempuh kuliah di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
7. Kakak tingkat tim riset “Mbak Alen, Mas Yuda, Mas Ryan, Mas Elfath, Mas Wahyu dan Mas Aji”, yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
8. Teman seperjuangan “Ahmad Silahuddin, Darmawan Mukhlisin, Dani Novryadi dan Angga Dwi Sentosa” yang telah membantu penulis dalam penelitian tugas akhir.
9. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2016 dan 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, Juli 2021



Yuni Nur Fatwaeni

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>HALAMAN SAMPUL</b> .....                             | i    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                          | ii   |
| <b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....                  | iii  |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                        | iv   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                             | v    |
| <b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....                         | vi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                 | vii  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                              | ix   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                               | xi   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                            | xii  |
| <b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....                | xiii |
| <b>INTISARI</b> .....                                   | xiv  |
| <b>ABSTRACT</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.....                             | 3    |
| 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> .....              | 10   |
| 2.2.4. <i>Phase Change Material</i> .....               | 12   |
| 2.2.5. Stratifikasi Termal .....                        | 13   |
| 2.2.6. <i>Solar Simulator</i> .....                     | 14   |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....                  | 16   |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1. Bahan Penelitian .....                                     | 16        |
| 3.2. Alat Penelitian .....                                      | 17        |
| 3.3. Prosedur Penelitian .....                                  | 25        |
| 3.3.1. Pengujian <i>Solar Simulator</i> .....                   | 25        |
| 3.3.2. Diagram Alir Penelitian .....                            | 26        |
| 3.3.3. Langkah Pelaksanaan.....                                 | 28        |
| 3.3.4. Pengumpulan Data.....                                    | 28        |
| 3.3.5. Olah Data dan Analisis Data .....                        | 28        |
| 3.4. Kesulitan Penelitian .....                                 | 28        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                         | <b>30</b> |
| 4.1. Kalibrasi Rotameter .....                                  | 30        |
| 4.2. Kalibrasi Termokopel .....                                 | 31        |
| 4.3. Hasil Uji <i>Solar Simulator</i> .....                     | 32        |
| 4.4. Evolusi Temperatur <i>Input</i> dan <i>Output</i> .....    | 33        |
| 4.5. Evolusi Temperatur Rata-rata HTF .....                     | 34        |
| 4.6. Evolusi Temperatur Rata-rata PCM .....                     | 35        |
| 4.7. Perbandingan Evolusi Temperatur Rata-rata HTF dan PCM..... | 35        |
| 4.8. Evolusi Temperatur Rata-rata HTF tiap Lapisan .....        | 36        |
| 4.9. Evolusi Bilangan Richardson .....                          | 38        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                         | <b>40</b> |
| 5.1. Kesimpulan.....  | 40        |
| 5.2. Saran .....  | 40        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                      | <b>41</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>   | <b>44</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1. Skema struktur matahari .....   | 7  |
| Gambar 2.2. Sistem PATS .....   | 8  |
| Gambar 2.3. PATS sistem aktif (a) sistem aktif terbuka, (b) sistem aktif tertutup ..... | 9  |
| Gambar 2.4. Sistem <i>thermosyphon</i> dengan pemanas tambahan.....                     | 10 |
| Gambar 2.5. Sistem <i>integrated collector storage</i> .....                            | 10 |
| Gambar 2.6. Volume dari <i>storage</i> yang dibutuhkan sebagai penyimpan energi.....    | 11 |
| Gambar 2.7. <i>Solar simulator</i> skala besar untuk pengujian kolektor surya .....     | 15 |
| Gambar 3.1. <i>Paraffin wax</i> RT55.....   | 16 |
| Gambar 3.2. Skema alat penelitian PATS.....   | 17 |
| Gambar 3.3. <i>Solar simulator</i> .....  | 18 |
| Gambar 3.4. Kolektor.....   | 18 |
| Gambar 3.5. Piranometer .....   | 19 |
| Gambar 3.6. Tangki PATS .....   | 20 |
| Gambar 3.7. Rotameter air .....   | 20 |
| Gambar 3.8. Akuisisi data .....   | 21 |
| Gambar 3.9. Laptop .....  | 21 |
| Gambar 3.10. Termokopel tipe K .....  | 22 |
| Gambar 3.11. Pompa.....   | 23 |
| Gambar 3.12. Kapsul PCM .....   | 23 |
| Gambar 3.13. Rangkaian pipa rucika JIS.....   | 24 |
| Gambar 3.14. Dimmer pompa .....   | 24 |
| Gambar 3.15. <i>Volatage regulator</i> .....  | 25 |
| Gambar 3.16. Titik penempatan <i>pyranometer</i> .....                                  | 25 |
| Gambar 3.17. Diagram alir penelitian.....   | 26 |
| Gambar 4.1. Sketsa letak termokopel di dalam tangki TES.....                            | 31 |
| Gambar 4.2. Evolusi temperatur rata-rata <i>input</i> dan <i>output</i> .....           | 33 |
| Gambar 4.3. Evolusi temperatur rata-rata HTF .....                                      | 34 |
| Gambar 4.4. Evolusi temperatur rata-rata PCM.....                                       | 35 |
| Gambar 4.5. Perbandingan evolusi temperatur rata-rata HTF dan PCM.....                  | 36 |
| Gambar 4.6. Evolusi temperatur rata-rata HTF 1 LPM tiap lapisan.....                    | 37 |
| Gambar 4.7. Evolusi temperatur rata-rata HTF 2 LPM tiap lapisan.....                    | 37 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.8. Evolusi temperatur rata-rata HTF 3 LPM tiap lapisan..... | 37 |
| Gambar 4.9. Evolusi bilangan Richardson.....                         | 39 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1. Karakteristik PCM yang digunakan pada sistem PATS .....         | 13 |
| Tabel 3.1. Spesifikasi <i>paraffin wax</i> jenis RT55.....                 | 16 |
| Tabel 3.2. Spesifikasi lampu <i>tungsten halogen</i> .....                 | 18 |
| Tabel 3.3. Spesifikasi AT4532 <i>multi-channel temperature meter</i> ..... | 21 |
| Tabel 3.4. Spesifikasi laptop .....  | 22 |
| Tabel 3.5. Spesifikasi pompa.....  | 22 |
| Tabel 3.6. Spesifikasi dimmer pompa.....                                   | 24 |
| Tabel 4.1. Hasil percobaan rotameter .....                                 | 30 |
| Tabel 4.2. Kalibrasi rotameter .....                                       | 30 |
| Tabel 4.3. Hasil kalibrasi termokopel .....                                | 32 |
| Tabel 4.4. Hasil uji <i>solar simulator</i> .....                          | 33 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |    |
|---|----|
| Lampiran 1. <i>Datasheet</i> PCM RT55 .....   | 44 |
| Lampiran 2. <i>Saturated water</i> .....  | 45 |
| Lampiran 3. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 1 LPM ..... | 46 |
| Lampiran 4. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 2 LPM ..... | 50 |
| Lampiran 5. Data riil temperatur <i>input</i> dan <i>output</i> variasi debit 3 LPM ..... | 54 |
| Lampiran 6. Data riil temperatur HTF variasi 1 LPM .....                                  | 58 |
| Lampiran 7. Data riil temperatur HTF variasi 2 LPM .....                                  | 62 |
| Lampiran 8. Data riil temperatur HTF variasi 3 LPM .....                                  | 66 |
| Lampiran 9. Data riil temperatur PCM variasi 1 LPM .....                                  | 70 |
| Lampiran 10. Data riil temperatur PCM variasi 2 LPM .....                                 | 74 |
| Lampiran 11. Data riil temperatur PCM variasi 3 LPM .....                                 | 78 |