

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA SISTEM *THERMAL ENERGY STORAGE*
WATER HEATER MENGGUNAKAN MEDIA PASIR LOKAL
DAN SERPIHAN LOGAM DENGAN METODE SUSUNAN
BERLAPIS**



Intelligentia - Dignitas

CORNELIUS PRATHAMA

1520622029

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

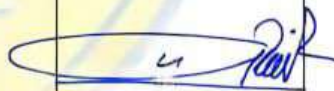
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
BENTUK : SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Cornelius Prathama
NIM : 1520622029
Program Studi/Fakultas : Teknik Mesin / Fakultas Teknik
Judul Penelitian : ANALISIS KINERJA SISTEM *THERMAL ENERGY STORAGE WATER HEATER* MENGGUNAKAN MEDIA PASIR LOKAL DAN SERPIHAN LOGAM DENGAN METODE SUSUNAN BERLAPIS

ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan **Lulus** (~~Tidak Lulus~~)*
Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 3 Agustus 2026
Tim Penguji,

Ketua Penguji	Dr. Eng. Ir. I Wayan Sugita, M.T. NIDN. 0014117906	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Dr. Ir. Dyah Arum Wulandari, M.T. NIDN. 0001087704	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Nugroho Gama Yoga, M.T. NIDN. 0005027603	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Dr. Ragil Sukarno, S.T., M.T. NIDN. 0402117902	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T. NIDN. 0022047608	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Aneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Teknik Mesin



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM.
NIDN. 0402117902

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 12 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Cornelius Prathama

NIM.1520622029



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN
Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Cornelius Prathama
NIM : 1502622029
Fakultas/Prodi : Teknik/ S1- Teknik Mesin
Alamat Email : onelprathama@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul: "ANALISIS KINERJA SISTEM *THERMAL ENERGY STORAGE WATER HEATER* MENGGUNAKAN MEDIA PASIR LOKAL DAN SERPIHAN LOGAM DENGAN METODE SUSUNAN BERLAPIS"

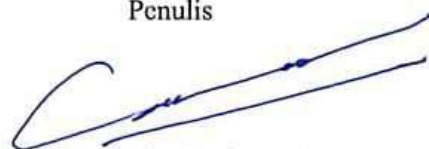
Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 19 Agustus 2026

Penulis



(Cornelius Prathama)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan YME yang telah memberikan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Kinerja Sistem *Thermal Energy Storage Water Heater* Menggunakan Media Pasir Lokal Dan Serpihan Logam Dengan Metode Susunan Berlapis” ini dengan baik tepat waktu.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik (S.T) pada Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta (UNJ). Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ragil Sukarno, M.T. selaku Dosen Pembimbing Pertama dan KoorProdi atas kesediaannya memberikan arahan, bimbingan, memberi saran, dan motivasi bagi penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Darwin Budi Syaka, M.T. selaku dosen pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan arahan, bimbingan, memberi saran, dan motivasi bagi penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. Para Dosen S1 Teknik Mesin yang tidak bisa disebutkan satu per-satu dalam memberikan arahan, bimbingan, saran dan motivasi bagi penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini
4. Alm. Pak Pipin selaku *staff* lab yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian saya
5. Bapak Danar selaku kepala *staff* lab yang sudah membantu saya dalam menyelesaikan penelitian saya
6. Para *Staff* Lab yang tidak bisa disebutkan satu per-satu dalam memberikan arahan, bimbingan, saran dan motivasi bagi penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
7. Kedua orang tua dan keluarga saya yang telah membantu saya dalam segala hal.

8. Teman-teman seperjuangan mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Mesin yang telah bekerja sama dan memberikan semangat kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari naskah skripsi ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunannya karena keterbatasan ilmu dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan saya nantikan demi kesempurnaan naskah skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang *energy storage*.

Jakarta, 12 Agustus 2026

Penyusun,



Cornelius Prathama

NIM.1520622029

ABSTRAK

Kebutuhan energi terus meningkat, sementara energi yang digunakan selama ini didominasi oleh sumber energi *non-renewable* yang jumlahnya terbatas. Desakan pencapaian *Net-Zero Emission* Indonesia pada tahun 2060 mendorong pemanfaatan energi terbarukan secara lebih luas. Akan tetapi, sifat energi terbarukan yang intermiten menuntut adanya sistem penyimpanan energi yang andal. Penelitian ini bertujuan untuk menyimpan energi termal menggunakan *Thermal Energy Storage* (TES) berbasis pasir, mengingat pasir mudah diperoleh, aman, memiliki ketahanan termal yang baik, serta berbiaya rendah. Meskipun demikian, rendahnya konduktivitas termal efektif pasir menjadi tantangan utama dalam penerapannya sebagai media TES. Oleh karena itu, penelitian eksperimental ini membandingkan kinerja TES pasir murni dengan TES pasir yang ditambahkan serpihan logam hasil permesinan untuk meningkatkan konduktivitas termal efektif sistem. Logam ditata dalam dua konfigurasi, yaitu horizontal dan vertikal, dengan proporsi 10 wt% untuk menentukan penataan yang paling optimal. Energi yang tersimpan dalam sistem selanjutnya dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pemanas air (*water heater*). Hasil pengujian pada debit 1 LPM menunjukkan pasir murni memiliki efisiensi *charging* sebesar 89,3% dan efisiensi *discharging* sebesar 42,2%, serpihan logam horizontal memiliki efisiensi *charging* 88,1% dan efisiensi *discharging* 79,6%, sedangkan serpihan logam vertikal memiliki efisiensi *charging* 92,3% dan efisiensi *discharging* 74,8%. Pada debit 1,5 LPM, efisiensi *discharging* pasir murni dan serpihan logam horizontal masing-masing menurun menjadi 41,3% dan 51,1%. Dari sisi pemanasan air, konfigurasi serpihan logam horizontal menghasilkan lonjakan suhu T tertinggi sebesar 71,43°C, diikuti serpihan logam vertikal sebesar 70,52°C dan pasir murni sebesar 52,3°C. Hasil ini menunjukkan bahwa serpihan logam vertikal unggul pada fase *charging*, sedangkan serpihan logam horizontal unggul pada fase *discharging* dan pemanasan air. Selain itu, peningkatan debit aliran air secara konsisten menurunkan efisiensi *discharging* pada seluruh konfigurasi yang diuji.

Kata kunci: efisiensi *charging-discharging*, pasir, penataan horizontal-vertikal, serpihan logam, *water heater*.

ABSTRACT

Energy demand continues to rise, while energy consumption has long been dominated by limited non-renewable sources. The push toward Indonesia's 2060 Net-Zero Emission target encourages wider use of renewable energy; however, its intermittent nature requires a reliable energy storage system. This study aims to store thermal energy using sand-based Thermal Energy Storage (TES), given that sand is easily obtained, safe, thermally durable, and low cost, although its low effective thermal conductivity remains the main challenge. This experimental study compares the performance of pure-sand TES with sand TES enhanced by machining metal shavings (low-carbon steel and aluminum, 10 wt%) arranged in two configurations, horizontal and vertical, to determine the optimal arrangement. The stored energy is subsequently used as a heat source for a water heater. Testing at a flow rate of 1 LPM showed that pure sand achieved a charging efficiency of 89.3% and a discharging efficiency of 42.2%; horizontal metal shavings achieved 88.1% charging and 79.6% discharging efficiency; while vertical metal shavings achieved 92.3% charging and 74.8% discharging efficiency. At 1.5 LPM, the discharging efficiency of pure sand and horizontal metal shavings decreased to 41.3% and 51.1%, respectively. In terms of water heating, the horizontal configuration produced the highest temperature rise (71.43°C), followed by the vertical configuration (70.52°C) and pure sand (52.3°C). These results indicate that the vertical arrangement excels during charging, while the horizontal arrangement excels during discharging and water heating, and that increasing the flow rate consistently reduces discharging efficiency across all configurations.

Keywords: *charging-discharging efficiency, sand, horizontal-vertical arrangement, metal shavings, water heater*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II KERANGKA TEORITIK.....	7
2.1 <i>Thermal Energy Storage</i> (TES)	7
2.1.1 <i>Sensible Heat Storage</i>	9
2.1.2 <i>Latent-Heat or Phase-Change Storage</i>	9
2.1.3 <i>Chemical Energy Storage</i>	10
2.2 Pasir Sebagai Media Penyimpan Panas.....	11
2.2.1 Penyimpanan Energi Termal Kalor Sensible (SHES).....	11
2.2.2 Potensi dan Karakteristik Pasir sebagai Material Penyimpanan Panas	13
2.3 Material dan Teknik Peningkatan Konduktivitas Termal Pasir Pada TES .	15

2.3.1 Penambahan Material Aditif (Pembuatan Komposit).....	15
2.3.2 Pelapisan Permukaan (<i>Surface Coating</i>).....	19
2.4 Sistem Pemanas Air (<i>Water Heater</i>) Berbasis <i>Thermal Energy Storage</i> (TES)	20
2.4.1 Konfigurasi Penukar Panas (<i>Heat Exchanger</i>)	20
2.4.2 Debit dan Dimensi Pipa <i>Water Heater</i>	24
2.5 Parameter Yang Bekerja Pada Sistem TES Pasir Ke <i>Water Heater</i>	25
2.5.1 Penyimpanan Energi Termal.....	25
2.5.2 <i>Charging, Storing, dan Discharging</i>	26
2.6 Penelitian Terdahulu	29
2.7 Kerangka Berpikir.....	36
2.8 Hipotesis Penelitian.....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	36
3.3 Diagram Alir Penelitian	37
3.4 Gambar Desain Sistem TES.....	39
3.4.1 Alat Penukar Kalor.....	40
3.5 Matriks Penelitian	42
3.6 Skematik Pengujian.....	42
3.6.1 Horizontal Terhadap Lekukan <i>Water Pipe</i>	45
3.6.2 Vertikal Terhadap <i>Water Pipe</i>	45
3.7 Persiapan Material.....	45
3.7.1 Pengukuran Massa Jenis	46
3.7.2 Persiapan Serpihan logam	47
3.7.3 Pengaturan Alat Uji.....	48

3.7.4 Instrumentasi	48
3.7.5 Prosedur Pengujian	50
3.8 Analisis Data Hasil Penelitian.....	50
3.8.1 Kalor (Energi termal)	51
3.8.2 Efisiensi Pengisian Energi Pada Sistem.....	53
3.8.3 Efisiensi Pengisian Energi Pada Air	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Karakterisasi Fisik dan Termal Material Penyimpan Panas	56
4.1.1 Pengujian Kapasitas Kalor Spesifik (Uji DSC)	56
4.1.2 Pengukuran Massa Jenis (Densitas) Material	58
4.2 Profil Distribusi Temperatur <i>Charging</i>	60
4.2.1 <i>Charging</i> 1 lpm pasir	60
4.2.2 <i>Charging</i> Pasir 1,5 lpm	62
4.2.3 <i>Charging</i> serpihan logam <i>horizontal</i> 1 lpm	64
4.2.4 <i>Charging</i> serpihan logam <i>horizontal</i> 1,5 lpm	66
4.2.5 <i>Charging</i> serpihan logam <i>vertikal</i> 1 lpm	68
4.2.6 Analisis Energi dan Efisiensi Fase <i>Charging</i>	70
4.3 Profil Distribusi Temperatur <i>Storing</i>	72
4.3.1 Analisis Energi dan <i>E loss</i> Fase <i>Storing</i>	76
4.4 Profil Distribusi Temperatur <i>Discharging</i> Sistem	78
4.4.1 <i>Discharging</i> 1 lpm pasir.....	78
4.4.2 <i>Discharging</i> 1,5 lpm pasir.....	80
4.4.3 <i>Discharging</i> 1 lpm <i>horizontal</i> serpihan logam.....	82
4.4.4 <i>Discharging</i> 1,5 lpm <i>horizontal</i> serpihan logam.....	84
4.4.5 <i>Discharging</i> 1 lpm <i>vertikal</i> serpihan logam.....	86
4.5 Profil Distribusi Temperatur <i>Discharging</i> pada air	88

4.6 Analisis Energi dan Efisiensi Fase Discharging	92
4.7 Evaluasi Kinerja Pemanasan Air Pada <i>Thermal Energi Storage</i>	96
BAB V.....	99
5.1 Kesimpulan	99
5.2 Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN.....	104

