

**ANALISIS KINERJA *THERMAL ENERGY STORAGE*
BERBASIS MEDIA PASIR DENGAN VARIASI KOMPOSISI
PHASE CHANGE MATERIAL NaNO_3 DAN KNO_3 DALAM
BATANG TABUNG VERTIKAL**



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Program Studi Teknik Mesin

Oleh:
MUHAMMAD QOTRUNNADA MURSIDAN
NIM: 1520622033

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
TAHUN 2026**

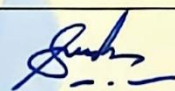
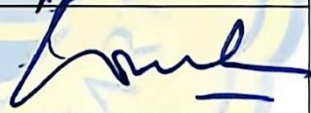
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

BENTUK : SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Muhammad Qotrunnada Mursidan
NIM : 1520622033
Program Studi/Fakultas : Teknik Mesin/Fakultas Teknik
Judul Penelitian : Analisis Kinerja *Thermal Energy Storage* Berbasis Media Pasir Dengan Variasi Komposisi *Phase Change Material* NaNO_3 dan KNO_3 dalam Batang Tabung Vertikal

ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan **Lulus** ~~Lulus~~ ~~Lulus~~ * Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 6 Agustus 2026

Tim Penguji,

	Nama	Tanda Tangan
Ketua Penguji	Dr. Eng. Ir. I Wayan Sugita, M.T. NIDN : 0014117906	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Prof. Dr. Ir. Imam Basori, M.T. NIDN : 0007067903	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T. NIDN : 0001087704	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. NIDN : 0402117902	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Nugroho Gama Yoga, M.T. NIDN : 0005027603	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik


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

Koordinator Program Studi
Teknik Mesin


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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : Muhammad Qotrunnada Mursidan
NIM : 1520622033
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Judul TA : Analisis Kinerja *Thermal Energy Storage* Berbasis Media Pasir Dengan Variasi Komposisi *Phase Change Material* NaNO_3 dan KNO_3 dalam Batang Tabung Vertikal

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, 7 Agustus 2026

Yang menyatakan,



Muhammad Qotrunnada M.

NIM. 1520622033



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 : Muhammad Qotrunnada Mursidan
NIM : 1520622033
Fakultas/Prodi : Teknik/ S1-Teknik Mesin
Alamat Email : muhammadqotrunnada15504@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 *THERMAL ENERGY STORAGE* BERBASIS MEDIA PASIR DENGAN VARIASI KOMPOSISI *PHASE CHANGE MATERIAL* NaNO_3 DAN KNO_3 DALAM BATANG TABUNG VERTIKAL"

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 ijin 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

Muhammad Qotrunnada Mursidan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah, Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul "*Analisis Kinerja Thermal Energy Storage Berbasis Media Pasir Dengan Variasi Komposisi Phase Change Material NaNO₃ dan KNO₃ dalam Batang Tabung Vertikal*" tepat pada waktunya. Adapun tujuan dari penulisan ini adalah sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi dan mengimplementasikan ilmu yang sudah didapat selama perkuliahan. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T. selaku dosen pembimbing pertama dan Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNJ yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini sehingga dapat berjalan dengan baik.
2. Bapak Nugroho Gama Yoga, M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
3. Para Dosen S1 Teknik Mesin yang tidak dapat disebutkan satu per satu tanpa mengurangi rasa hormat yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan motivasi selama penyusunan skripsi ini.
4. Alm. Pak Pipin selaku *staff* lab yang sudah membantu terhadap penelitian yang saya lakukan.
5. Bapak Danar selaku kepala *staff* lab yang sudah membantu dan memfasilitasi saya dalam perancangan alat.
6. Para Staff Laboratorium di lingkungan Teknik Mesin UNJ yang telah membantu dalam mendukung fasilitas proses penyelesaian skripsi.
7. Ibu dan keluarga saya yang mendukung dan memotivasi saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman di lingkungan Program Studi Teknik Mesin UNJ yang berjuang bersama dan saling menyemangati agar skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Meskipun telah berusaha menyelesaikan karya tulis ini sebaik mungkin, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih ada kekurangan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi global.

Jakarta, 29 April 2026

Penyusun



Muhammad Qotrunnada M.



**ANALISIS KINERJA *THERMAL ENERGY STORAGE* BERBASIS MEDIA
PASIR DENGAN VARIASI KOMPOSISI *PHASE CHANGE MATERIAL*
NaNO₃ DAN KNO₃ DALAM BATANG TABUNG VERTIKAL**

Muhammad Qotrunnada Mursidan

**Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Nugroho Gama
Yoga, M.T.**

ABSTRAK

Kebutuhan energi yang terus meningkat dan upaya mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil mendorong pengembangan energi surya, tetapi sifatnya yang berkala memerlukan sistem penyimpanan energi. *Thermal energy storage* (TES) dapat menyimpan energi termal saat tersedia dan melepaskannya kembali ketika dibutuhkan. Pasir berpotensi menjadi media penyimpan kalor sensibel karena stabil pada temperatur tinggi, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan, tetapi memiliki konduktivitas termal yang rendah. Penambahan geram *mixed metal* dan *phase change material* (PCM) dapat meningkatkan konduktivitas termal serta kapasitas penyimpanan energi pada TES berbasis pasir. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh geram *mixed metal* dan PCM campuran NaNO₃–KNO₃ terhadap kinerja TES berbasis pasir dan menentukan komposisi PCM terbaik. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan konfigurasi pasir dan geram vertikal tanpa PCM serta penambahan PCM 70% NaNO₃–30% KNO₃, 60% NaNO₃–40% KNO₃, dan 50% NaNO₃–50% KNO₃. Pengujian meliputi charging, storing, dan discharging menggunakan air berdebit 1 LPM. Daya 600 W diterapkan pada seluruh konfigurasi, sedangkan daya 1.000 W diterapkan pada PCM 60% NaNO₃–40% KNO₃. Konfigurasi tanpa PCM menghasilkan efisiensi charging dan discharging tertinggi, masing-masing 92,3% dan 74,8%, serta menyalurkan energi 1.534,92 kJ kepada air. Pada daya 600 W, PCM 70% NaNO₃–30% KNO₃ menghasilkan efisiensi charging tertinggi sebesar 82,4%, PCM 50% NaNO₃–50% KNO₃ menghasilkan efisiensi storing tertinggi sebesar 47,7%, sedangkan PCM 60% NaNO₃–40% KNO₃ memberikan kinerja pemanasan air terbaik dengan energi 1.033,53 kJ dan efisiensi discharging 53,6%. Peningkatan daya menjadi 1.000 W meningkatkan energi air menjadi 1.296,90 kJ, tetapi menurunkan efisiensi discharging menjadi 51,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan daya memperbesar energi yang tersedia, tetapi tidak menjamin peningkatan efisiensi pemanfaatan energi secara keseluruhan. Penambahan PCM belum melampaui kinerja konfigurasi tanpa PCM karena kehilangan panas selama fase storing dan temperatur TES tidak terjaga pada titik leleh PCM.

Kata kunci: *Geram mixed metal, Phase change material, Stainless steel 304, Thermal energy storage, dan Water heater*

**PERFORMANCE ANALYSIS OF SAND-BASED THERMAL ENERGY
STORAGE WITH VARYING COMPOSITIONS OF NaNO_3 AND KNO_3
PHASE CHANGE MATERIALS IN VERTICAL TUBULAR RODS**

Muhammad Qotrunnada Mursidan

**Supervisors : Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. dan Nugroho Gama Yoga,
M.T.**

ABSTRACT

Rising energy demands and the drive to reduce reliance on fossil fuels have spurred the development of solar energy; however, its intermittent nature necessitates energy storage systems. Thermal energy storage (TES) allows for the storage of thermal energy when available and its subsequent release when needed. Sand is a promising medium for sensible heat storage due to its high-temperature stability, availability, and environmental friendliness, though it suffers from low thermal conductivity. Incorporating mixed metal chips and phase change materials (PCMs) can enhance both the thermal conductivity and energy storage capacity of sand-based TES systems. This study aims to analyze the effects of mixed metal chips and NaNO_3 – KNO_3 mixture PCMs on the performance of sand-based TES and to determine the optimal PCM composition. An experimental approach was employed, testing configurations involving sand and metal chips in a vertical arrangement—both without PCM and with the addition of PCMs in ratios of 70% NaNO_3 –30% KNO_3 , 60% NaNO_3 –40% KNO_3 , and 50% NaNO_3 –50% KNO_3 . Testing phases included charging, storing, and discharging, utilizing a water flow rate of 1 LPM. A power input of 600 W was applied to all configurations, while 1,000 W was applied to the 60% NaNO_3 –40% KNO_3 PCM configuration. The configuration without PCM yielded the highest charging and discharging efficiencies—92.3% and 74.8%, respectively—and delivered 1,534.92 kJ of energy to the water. At 600 W, the 70% NaNO_3 –30% KNO_3 PCM achieved the highest charging efficiency (82.4%), the 50% NaNO_3 –50% KNO_3 PCM achieved the highest storage efficiency (47.7%), and the 60% NaNO_3 –40% KNO_3 PCM delivered the best water-heating performance, transferring 1,033.53 kJ of energy with a discharging efficiency of 53.6%. Increasing the power to 1,000 W raised the water energy to 1,296.90 kJ but reduced the discharging efficiency to 51.7%. These results indicate that increasing power boosts available energy but does not guarantee an improvement in overall energy utilization efficiency. The addition of PCM did not surpass the performance of the configuration without PCM, due to heat loss during the storage phase and the failure to maintain the TES temperature at the PCM's melting point.

Keywords: *Mixed metal chips, Phase change material, Thermal energy storage, 304 stainless steel, and Water heater*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.1 Latar Belakang.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.2 Identifikasi Masalah	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.3 Pembatasan Masalah.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.4 Perumusan Masalah	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.5 Tujuan Penelitan	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.6 Manfaat Penelitian.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.6.1 Bagi Penulis	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
1.6.2 Bagi Pembaca.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1 Deskripsi Teori.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.1 Thermal Energy Storage (TES).....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.2 Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Sistem TES.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.3 Parameter Kinerja TES ...	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.4 Pasir Silika	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.5 Phase Change Material (PCM).....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
2.1.6 PCM Campuran Natrium Nitrat (NaNO_3) dan Kalium Nitrat (KNO_3).	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

2.1.7	Silinder <i>Stainless Steel</i> (SS) 304	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.1.8	Efisiensi <i>Charging</i>	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.1.9	Efisiensi <i>Storing</i>	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.1.10	Efisiensi <i>Discharging</i>	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.1.11	Isolasi Termal	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.1.12	Perpindahan Panas	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.2	Penelitian Relevan	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
2.3	Kerangka Berpikir	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.3	Diagram Alir Penelitian	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.4	Rancangan Desain Sistem TES .	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.4.1.	<i>Heater</i> Elektrik.....	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.4.2.	<i>Tube</i> Tembaga Spiral.....	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.4.3.	Tabung SS 304	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.5	Persiapan Material	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.5.1.	Persiapan Geram <i>Mixed Metal</i>	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.5.2.	Persiapan Enkapsulasi PCM NaNO ₃ – KNO ₃	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.6	Matriks Penelitian.....	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.7	Skematik Alat	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.8	Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.8.1	Tahap 1: Persiapan Material	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.8.2	Tahap 2: Pengaturan Alat Uji	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.
3.8.3	Tahap 3: Commissioning.	Kesalahan!	Bookmark	tidak ditentukan.

- 3.8.4 Tahap 4: *Charging*..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.8.5 Tahap 5: *Storing* **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.8.6 Tahap 6: *Discharging* **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.8.7 Tahap 7: Analisis Data **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.9 Teknik Analisis Data..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.9.1 Kapasitas Penyimpanan Energi**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.9.2 Efisiensi *Charging*..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 3.9.3 Efisiensi *Discharging* **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN****Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.1 Karakteristik Material Penyusun TES**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.1.1 Hasil Pengujian DSC & TGA**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.1.2 Massa Jenis Material **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.2 Hasil dan Pembahasan Pengujian *Charging***Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.2.1 TES Pasir dengan Geram *Mixed Metal* Vertikal **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.2.2 TES Pasir dengan Geram dan PCM 70% NaNO₃ – 30% KNO₃
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.2.3 TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO₃ – 40% KNO₃ 600 W
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.2.4 TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO₃ – 40% KNO₃ 1000 W
..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.2.5 TES Pasir dengan Geram dan PCM 50% NaNO₃ – 50% KNO₃
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
- 4.2.6 Perbandingan Kinerja dan Efisiensi *Charging***Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- 4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian *Storing***Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

4.3.1	TES Pasir dengan Geram <i>Mixed Metal</i> Vertikal	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.3.2	TES Pasir dengan Geram dan PCM 70% NaNO_3 – 30% KNO_3 Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
4.3.3	TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO_3 – 40% KNO_3 600 W	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.3.4	TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO_3 – 40% KNO_3 1000 W	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.3.5	TES Pasir dengan Geram dan PCM 50% NaNO_3 – 50% KNO_3 Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
4.3.6	Perbandingan Kinerja dan Efisiensi <i>Storing</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.4	Hasil dan Pembahasan Pengujian <i>Discharging</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.4.1	TES Pasir dengan Geram <i>Mixed Metal</i> Vertikal	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.4.2	TES Pasir dengan Geram dan PCM 70% NaNO_3 – 30% KNO_3 Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
4.4.3	TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO_3 – 40% KNO_3 600 W	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.4.4	TES Pasir dengan Geram dan PCM 60% NaNO_3 – 40% KNO_3 1000 W	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.4.5	TES Pasir dengan Geram dan PCM 50% NaNO_3 – 50% KNO_3 Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
4.4.6	Perbandingan Kinerja dan Efisiensi <i>Discharging</i>	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
4.5	Evaluasi Kinerja Pemanasan Air pada Sistem <i>Thermal Energy Storage</i> Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
BAB V PENUTUP.....		Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
5.1.	Kesimpulan.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
5.2.	Saran	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
DAFTAR PUSTAKA		Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

LAMPIRAN..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Properti SS 304.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 2.2. Panduan Klasifikasi Laju Kehilangan Massa Akibat Korosi	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 2.3. Penelitian Relevan.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3.1. Massa Jenis Setiap Variasi...	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3.2. Matriks Pengujian	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 3.3. Titik Penempatan Termokopel	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.1. Pengukuran Massa Jenis Pasir Putih Gunung Banten	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.2. Pengukuran Massa Jenis Geram Mixed Metal	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.3. Pengukuran Massa Jenis PCM 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 ...	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.4. Pengukuran Massa Jenis PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 ...	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.5. Pengukuran Massa Jenis PCM 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 ...	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.6. Efisiensi Charging Setiap Variasi	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.7. Perbandingan Kinerja dan Efisiensi Storing	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.8. Perbandingan Kinerja dan Efisiensi Discharging.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
Tabel 4.9. Kinerja dan Efisiensi Discharging dengan Charging	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Jenis-jenis TES (Nair et al., 2022)**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.2. Hubungan linier antara jumlah panas yang tersimpan dan temperatur sistem SHS (Scipioni et al., 2026)**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.3. Grafik Profil Temperatur pada LHS (Scipioni et al., 2026) **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.4. Diagram Skematik Sistem TES dengan Sumber Energi Terbarukan (Scipioni et al., 2026) **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.5. Diagram fase sistem NaNO_3 - KNO_3 (Sergeev et al., 2025) **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 2.6. Kerangka Berpikir **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.2. Gambar Teknik Sistem TES**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.3. Sistem TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.4. Tabung TES Half Section **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.5. *Heater* Elektrik..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.6. *Tube* Tembaga Spiral **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.7. *Tube* SS 304..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.8. Proses Pemotongan dan Pencucian Geram *Mixed Metal* .. **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.9. Proses Pencampuran NaNO_3 dan KNO_3 **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.10. Proses Memasukkan PCM ke dalam Tabung SS 304 **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.11. Proses Penyegelan dan Penyusunan Tabung PCM..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.12. Skematik Alat TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Gambar 3.13. Skematik Alat TES Tampak Atas**Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 3.14. Fase Pengujian TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.1. Grafik Uji (a) DSC & (b) TGA Pasir Putih Gunung Banten **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.2. Grafik Uji (a) DSC & (b) TGA Geram *Mixed Metal* **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.3. Grafik Uji (a) DSC & (b) TGA 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.4. Grafik Uji (a) DSC & (b) TGA 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.5. Grafik Uji (a) DSC & (b) TGA 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.6. Pengujian *Charging* TES Pasir dan Vertikal Geram 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.7. Pengujian *Charging* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.8. Pengujian *Charging* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.9. Pengujian *Charging* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 1000 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4. 10. Pengujian *Charging* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 1 LPM **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.11. *Storing* TES Pasir dengan Geram Vertikal 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.12. *Storing* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.13. *Storing* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.14. *Storing* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 1000 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.15. *Storing* TES Pasir dengan Konfigurasi Geram Vertikal dan PCM 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 600 W **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.16. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal 1 LPM pada Semua Titik **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.17. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal 600 W di Inlet dan Outlet pada (a) 0 – 50 sekon dan (b) 50 – 14400 sekon..... **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.18. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 600 W di Semua Titik TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.19. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 70% NaNO_3 - 30% KNO_3 600 W di *Inlet* dan *Outlet* pada (a) 0 – 180 sekon dan (b) 180 – 14400 sekon **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.20. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 600 W di Semua Titik TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.21. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 600 W di *Inlet* dan *Outlet* pada (a) 0 – 180 sekon dan (b) 180 – 14400 sekon **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.22. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 1000 W di Semua Titik TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.23. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 60% NaNO_3 - 40% KNO_3 600 W di *Inlet* dan *Outlet* pada (a) 0 – 180 sekon dan (b) 180 – 14400 sekon **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**

Gambar 4.24. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 600 W di Semua Titik TES
Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.

Gambar 4.25. *Discharging* Geram *Mixed Metal* Vertikal dan PCM 50% NaNO_3 - 50% KNO_3 600 W di *Inlet* dan *Outlet* pada (a) 0 – 180 sekon dan (b) 180 – 14400 sekon **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Simbol Perhitungan **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 2. Pengukuran Massa Jenis Sampel **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 3. Proses Memasukkan Material TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 4. Daya yang Diterima Oleh Heater **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 5. Commissioning Sistem TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 6. Sistem TES **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 7. Contoh Perhitungan Charging **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 8. Contoh Perhitungan Storing **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 9. Contoh Perhitungan Discharging **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**
- Lampiran 10. Contoh Perhitungan Volume PCM pada Tabung **Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.**