

TESIS

THERMAL ENERGY STORAGE (TES) BERBASIS PADATAN BATERAI PASIR SEBAGAI ALTERNATIF ENERGY STORAGE SYSTEM (ESS)



**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan
Politeknik Negeri Sriwijaya**

OLEH :

**Siswanto
062350443244**

**PROGRAM MAGISTER TERAPAN
POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

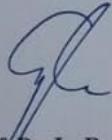
TESIS

***THERMAL ENERGY STORAGE (TES) BERBASIS PADATAN
BATERAI PASIR SEBAGAI ALTERNATIF
ENERGY STORAGE SYSTEM (ESS)***

OLEH :

**SISWANTO
062350443244**

Pembimbing I,



**Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP 196711191993032003**

**Palembang, 8 Juli 2025
Menyetujui,
Pembimbing II,**



**Dr. Indrayani, ST., M.T.
NIP 197402101997022001**

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Program Magister Terapan**

**Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP 196711191993032003**

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul "*Thermal Energy Storage (TES) Berbasis Padatan Baterai Pasir Sebagai Alternatif Energy Storage System (ESS)*" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya pada tanggal 8 Juli 2025.

Palembang, 8 Juli 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Tesis

Ketua :

1. Prof. Dr. Yohandri Bow, S.T., M.S.
NIP 197110231994031002

()

Anggota :

1. Dr. Eng. Tresna Dewi, S.T., M. Eng.
NIP 197711252000032001

()

2. Dr. Ir. Phil. Fatahul Arifin, S.T., Dipl.,
Eng., EPD., M.EngSc.
NIP 197201011998021004

()

3. Dr. RD. Kusumanto, S.T., M.M.
NIP 196603111992031004

()

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan
Program Magister Terapan

Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.
NIP 196711191993032003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Siswanto

Nim : 062350443244

Judul Tesis : Thermal Energy Storage (TES) Berbasis Padatan Baterai Pasir Sebagai Alternatif Energy Storage System (ESS)

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri di dampingi pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari PolkitekNIK Negeri Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 8 Juli 2025



Siswanto

NPM 062350443244

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Siswanto

Nim : 062350443244

Judul Tesis : Thermal Energy Storage (TES) Berbasis Padatan Baterai Pasir Sebagai Alternatif Energy Storage System (ESS)

Memberikan izin kepada pembimbing dari Politeknik Negeri Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 8 Juli 2025



Siswanto

NPM 062350443244

RIWAYAT HIDUP



Siswanto adalah anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Sugiarto dan Sartinah, lahir di Palembang pada tanggal 01 Agustus 1983. Penulis memulai pendidikan dasar di Sekolah Dasar No. 7 Sukamoro – Banyuasin, kemudian dilanjutkan dengan pendidikan menengah di SMP N 1 Talang Kelapa dan SMK N 2 Palembang. Untuk pendidikan tinggi dimulai dengan menyelesaikan Sarjana Teknik pada tahun 2010 dari jurusan Teknik Mesin di Universitas Sriwijaya, mengikuti pendidikan di Sekolah Tinggi Energi & Mineral (STEM) Akademi Minyak & Gas selama 1 tahun di Cepu – Jawa tengah dan lulus tahun 2007, penulis memulai karier di PT. Lautan Berlian Utama Motor – Mitsubishi Motor tahun 2003, kemudian melanjutkan ke PT. Pertamina (Persero) pada tahun 2004 dengan pengalaman kerja sebagai Analyst Laboratorium Kilang dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2020, direntang waktu tersebut mengikuti berbagai macam penugasan, training dan sertifikasi, salah penugasan selama 3 minggu di Shanghai – China pada tahun 2015 terkait dengan pengembangan metode analisa baru untuk bahan bakar minyak, tahun 2020 sampai dengan saat ini penulis ditugaskan di divisi *Engineering & Development – Project Engineering* sebagai Senior Supervisor *Construction Project* yang bertugas memimpin pekerjaan konstruksi di kilang untuk proyek – proyek investasi Pertamina dari tahap *kick off meeting* sampai dengan *commisioning*, beberapa proyek yang telah dikerjakan antara lain sebagai berikut, Proyek Pembangunan Installasi piping system untuk *fire hydrant system* dan Pengadaan pompa *booster & High Capacity Foam Monitor (HCFM)* untuk menunjang kebutuhan pemadaman api di kilang RU III sepanjang 9.500 meter, Proyek Pompa untuk meningkatkan kapasitas alir operasional dari *81m3/h* menjadi *700m3/h* Fabrikasi dan Installasi *piping system* untuk jalur solar yang terintegrasi dengan pompa *existing* ke area OM Sungai Gerong dan meningkatkan efektifitas *blending* biosolar di area OM Sungai Gerong serta beberapa proyek lain. Selain sebagai pekerja PT. Pertamina (Persero) yang saat ini berubah nama menjadi PT. Kilang Pertamina Internasional (PT. KPI), penulis juga mendapatkan kepercayaan sebagai dosen praktisi di Politeknik Akademi Minyak & Gas Palembang dari tahun 2021 sampai dengan saat ini dengan bidang ilmu pipanisasi dan *rotating equipment*. Pada Bulan Januari tahun 2011 penulis menikah dengan seorang dara cantik palembang bernama Siska Liana dan dikaruniai 3 (tiga) orang anak yaitu 1 (satu) orang putri yaitu Filzah Ayu Puteri (13 tahun) dan 2 (dua) orang putra yaitu Ahmad Al-Habsyi Isnaini (11 tahun) dan Ahmad Syukri Al-Ghazali (9 tahun), penulis melanjutkan pendidikan profesi insinyur pada bulan juli 2024 dan selesai bulan februari 2025 melalui jalur RPL di Institut Teknologi Bandung – ITB dan tahun 2023 sampai dengan tahun 2025 melanjutkan pendidikan Strata 2 di Program magister Terapan Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Sriwijaya.

DAFTAR GLOSARIUM

- Analisa XRD (*X-Ray Diffraction*)
- Analisa LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectrometry*)
- Baterai Pasir
- Bahan Penyimpanan Panas (*Thermal Storage Material*)
- *Charging*
- CO₂ (Karbon Dioksida)
- CSP (*Concentrated Solar Power*)
- *Discharging*
- *Energy Storage System* (ESS)
- *Energy Transition* (Transisi Energi)
- Fluks Panas (*Heat Flux*)
- GHG (*Greenhouse Gas*)
- *Gradien Temperatur* (∇T)
- *Heating Rate* (HR)
- *Heat Exchanger*
- Konduktivitas Termal (k)
- Krisis Energi
- Limbah Besi Bubut
- Moisture Meter
- Panas Sensibel (*Sensible Heat*)
- Panel Surya
- *Power Supply*
- Suhu Keluaran (*Output Temperature*)
- Suhu Pengeringan Kopra
- TES (*Thermal Energy Storage*)
- Termokopel (*Thermocouple*)
- *Tubullar Heater*

MOTTO

“Ilmu tanpa amal adalah sia-sia, amal tanpa ilmu adalah buta.”

“Kesuksesan adalah hasil dari kerja keras, doa, dan ketekunan.”

“Jangan pernah menyerah, karena setiap perjuangan menciptakan kesempatan.”

«العلم بلا عمل لا فائدة منه، والعمل بلا علم أعمى»

«النجاح هو نتيجة العمل الجاد والدعاء والمثابرة»

«لا تستسلم أبدًا، فكل نضال يخلق فرصة»

“Knowledge without action is useless, and action without knowledge is blind.”

“Success is the result of hard work, prayer, and perseverance.”

“Never give up, because every struggle creates an opportunity.”

“没有行动的知识是无用的，没有知识的行动是盲目的。”

“成功是努力工作、祈祷和坚持不懈的结果。”

“永不放弃，因为每一次奋斗都会创造机会。”

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “*Thermal Energy Storage (TES)* Berbasis Padatan Baterai Pasir Sebagai Alternatif *Energy Storage System (ESS)*”.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya. Dalam penyusunan Tesis ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Irawan Rusnadi, MT., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan kesempatan menggunakan segala fasilitas selama masa Pendidikan,
2. Dr. Yusri, M.Pd., selaku Pembantu Direktur I Politeknik Negeri Sriwijaya,
3. Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya, dan selaku Dosen Pembimbing I di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya,
4. Dr. Indrayani, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II di Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya,
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya,
6. Kedua Orang Tua (Bapak dan Mamak), Istri tercinta (Siska Liana) dan Anak – anak papa tersayang (Ayu, Al, Ari) yang selalu mendoakan dan mendukung.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Energi Terbarukan Program Magister Terapan Politeknik Negeri Sriwijaya angkatan 2023.

Dengan adanya Tesis ini penulis mengharapkan semoga penelitian ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan dan menunjang perkembangan ilmu pengetahuan secara umum.

Palembang, 8 Juli 2025

Siswanto

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul	i
Halaman Pengesahan	ii
Halaman Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Tabel.....	vi
Daftar Gambar	vii
Ringkasan.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Hipotesa	6
1.6 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	7
1.7 Kerangka Pikir Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Energi Baru Terbarukan	9
2.2 <i>Energy Storage System (ESS)</i>	10
2.3 <i>Thermal Energy Storage (TES)</i>	11
2.4 Baterai Pasir	12
2.4.1 Proses <i>Charging</i> Baterai Pasir	16
2.4.2 Proses <i>Discharging</i> Baterai Pasir.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat Ukur dan <i>Tools</i>	22
3.2.2 Bahan dan Pendukung Penelitian.....	24
3.3 Prosedur Penelitian dan Pengambilan Data	26
3.3.1 Prosedur Penelitian	26
3.3.1.1 Persiapan Desain Konstruksi Penelitian	26
3.3.1.2 Persiapan Bahan	27
3.3.1.3 Prosedur <i>Charging</i> Baterai Pasir Tanpa Campuran (P-0).....	27
3.3.1.4 Prosedur <i>Charging</i> Baterai Pasir 10 % Besi (P-10)	28
3.3.1.5 Prosedur <i>Charging</i> Baterai Pasir 20 % Besi (P-20)	28
3.3.1.6 Prosedur <i>Charging</i> Baterai Pasir 30 % Besi (P-30)	29
3.3.1.7 Prosedur Percobaan <i>Discharging</i> Baterai Pasir	30
3.4 Rancangan Penelitian	30
3.4.1 Pengukuran Komposisi Material Baterai Pasir	30
3.4.2 Pengukuran Volume dan Berat Baterai Pasir.....	30
3.4.3 Pengukuran Temperatur <i>Charging</i> Baterai Pasir	30
3.4.4 Pengukuran Karakteristik Temperatur <i>Charging</i> Baterai Pasir.....	31
3.4.5 Pengukuran Pengosongan <i>Discharging</i> Baterai Pasir	31

3.5 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Karakteristik Baterai Pasir	33
4.1.1 Komposisi Material Baterai Pasir	33
4.1.2 Perbandingan Volume dan Berat Campuran Pasir Laut – Limbah Mesin Bubut	35
4.1.3 Karakteristik <i>Power Supply</i> 48 vdc 4.000 watt.....	36
4.1.4 Karakteristik Panel Surya 4.000 wp.....	37
4.2 Nilai Optimum Penyimpanan (<i>Charging</i>) Baterai Pasir	39
4.2.1 <i>Charging</i> Baterai Pasir Tanpa Campuran Besi (P-0).....	40
4.2.2 <i>Charging</i> Baterai Pasir Tanpa Campuran Besi (P-10).....	41
4.2.3 <i>Charging</i> Baterai Pasir Tanpa Campuran Besi (P-20).....	43
4.2.4 <i>Charging</i> Baterai Pasir Tanpa Campuran Besi (P-30).....	44
4.2.5 <i>Charging</i> Baterai Pasir (P-30) Dengan Panel Surya.....	46
4.3 Pengosongan (<i>Discharging</i>) Baterai Pasir	48
4.3.1 Pengosongan (<i>Discharging</i>) Baterai Pasir Percobaan ke-1	48
4.3.2 Pengosongan (<i>Discharging</i>) Baterai Pasir Percobaan ke-2	49
4.3.3 Pengosongan (<i>Discharging</i>) Baterai Pasir Percobaan ke-3	50
4.3.4 Analisa Kandungan Air Kopra Setelah Proses Pemanasan Dengan Baterai Pasir.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Konduktivitas termal beberapa material	14
2. Perbandingan Campuran logam ke dalam pasir	15
3. Perbandingan laju panas berbagai campuran pasir - logam.....	18
4. Alat Ukur dan <i>Tools</i> yang digunakan dalam penelitian.....	22
5. Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian	24
6. Komposisi pasir laut	33
7. Komposisi campuran besi dari limbah mesin bubut.....	34
8. Perbandingan volume berat campuran pasir dan besi.....	36
9. Performa <i>power supply</i> 48 vdc 4.000 watt	36
10. Performa panel surya 4.000 wp	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pikir Penelitian.....	8
2. Ilustrasi siklus karbon-netral	10
3. Tampilan penempatan heater dan termokopel.....	13
4. Bahan yang digunakan dalam percobaan lapisan pasir	16
5. Tiga profil suhu termokopel	18
6. Korelasi konduktivitas termal.....	19
7. Pengaruh media penyimpanan <i>fluks</i>	19
8. Gambar bentuk desain baterai pasir.....	26
9. Diagram Alir Penelitian.....	32
10. <i>Power supply</i> 48 vdc 4.000 watt.....	37
11. Panel surya 4.000 wp 16 panel @250 watt	38
12. Baterai pasir dan oven pemanas kopra	39
13. Temperatur <i>charging</i> pasir tanpa campuran besi (P-0)	40
14. Temperatur <i>charging</i> pasir tanpa campuran besi (P-10)	42
15. Temperatur <i>charging</i> pasir tanpa campuran besi (P-20)	43
16. Temperatur <i>charging</i> pasir tanpa campuran besi (P-30)	45
17. <i>Charging</i> pasir campuran besi 30 % (P-30) dengan panel surya 4.000 wp	46
18. Proses pengosongan (<i>discharging</i>) baterai pasir dengan oven pemanas kopra	48
19. <i>Discharging</i> baterai pasir percobaan ke-1	49
20. <i>Discharging</i> baterai pasir percobaan ke-2	50
21. <i>Discharging</i> baterai pasir percobaan ke-3	51
22. Analisa <i>moisture content</i> kopra setelah dipanaskan dengan baterai pasir	52