



**RANCANG BANGUN THERMAL ENERGY STORAGE SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI BERBASIS SOLAR PANEL**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Disusun oleh:
Gilar Wirayudha
40040622650035

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

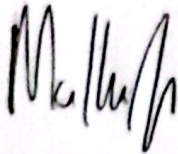
**RANCANG BANGUN THERMAL ENERGY STORAGE SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI BERBASIS SOLAR PANEL**

Diajukan oleh : Gilar Wirayudha

NIM : 40040622650035

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA BAIK OLEH

Dosen Pembimbing,



Fakhrudin Mangkusasmito, S.T., M.T
NIP. 198908202019031012

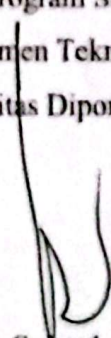
Tanggal: 28 September 2026

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri

Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi

Universitas Diponegoro



Arkhan Suhari, S.T., M.Kom
NIP. 197710012001121002

Tanggal: 28 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN THERMAL ENERGY STORAGE SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI BERBASIS SOLAR PANEL

Diajukan oleh : Gilar Wirayudha
NIM : 40040622650035

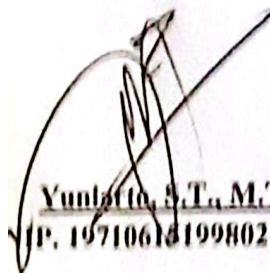
Telah dipertahankan di depan dewan penguji pada:

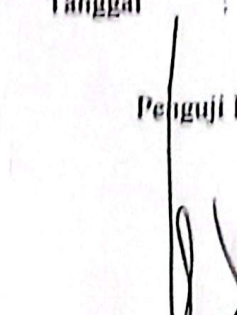
Hari : Senin
Tanggal : 28 September 2016

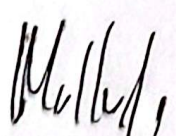
Ketua Penguji

Penguji I

Penguji II


Yuniarto, S.T., M.T.
NIP. 197106131998021001


Arkhan Subari, S.T., M.Kom
NIP. 197710012001121002


Fakhrudin Mangkusasmito, S.T., M.T.
NIP. 198908202019031012

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro


Arkhan Subari, S.T., M.Kom
NIP. 197710012001121002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gilar Wirayudha
NIM : 40040622650035
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Departemen
Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun *Thermal Energy Storage* Sebagai
Penyimpanan Energi Berbasis *Solar Panel*

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul tugas akhir ini belum pernah diajukan sebelumnya untuk mendapatkan gelar keahlian di sebuah perguruan tinggi. Se jauh pengetahuan saya, tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang saya rujuk secara tertulis dalam naskah ini dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia mendapat sanksi sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI Nomor 17 Tahun 2010 dan Undang-Undang yang berlaku.

Semarang, 28 September 2026
Yang membuat pernyataan



Gilar Wirayudha
NIM. 40040622650035

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan tugas akhir ini dengan penuh rasa syukur dan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, kesehatan, kekuatan, dan kemudahan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Mamah, selaku orang tua penulis, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, dan kerja keras demi memberikan pendidikan dan masa depan terbaik bagi penulis. Hal ini menjadi inspirasi terkuat penulis untuk tumbuh menjadi pribadi yang sukses, bermanfaat, serta mampu membanggakan keluarga.
3. Kakak-kakak dan Keponakan tersayang, Timorora Sandha Perdana, Veryawan Nanda Perkasa, Nixiona Kemilau Ganandra terima kasih sudah selalu menjadi kakak dan Keponakan sekaligus tempat belajar dan meminta semangat. Terima kasih untuk doa, perhatian, dan dukungan yang selalu diberikan.
4. Teman seperjuangan Kontrakan Koncet, terima kasih sudah menemani penulis menjadi tempat bertukar cerita dan pikiran hingga mengeluh selama pengerjaan tugas akhir.
5. Serta kepada diri sendiri, terima kasih karena telah berusaha, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi setiap tantangan selama menempuh pendidikan hingga akhirnya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah memilih untuk terus melangkah meskipun tidak selalu mudah. Mungkin karya ini bukanlah hasil yang sempurna, tetapi semoga menjadi awal dari perjalanan baru yang penuh harapan. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan, keberkahan, dan keberuntungan dalam setiap langkah, serta membuka jalan secepatnya untuk meraih karier yang bermanfaat, membanggakan kedua orang tua, dan membawa kebaikan di masa depan.

ABSTRAK

Sifat intermiten energi surya menyebabkan daya keluaran panel fotovoltaik berubah mengikuti kondisi penyinaran sehingga diperlukan sistem penyimpanan energi. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan mengevaluasi prototipe *Thermal Energy Storage* berbasis pasir silika dengan panel surya sebagai sumber energi. Prototipe menggunakan 57 kg pasir silika berukuran 30 sampai 50 mesh sebagai media penyimpanan panas sensibel. Konfigurasi akhir terdiri atas dua panel surya berkapasitas masing-masing 545 Wp yang dihubungkan secara seri, dua elemen pemanas resistif masing-masing 42 V dan 500 W yang dihubungkan secara seri, dua thermocouple tipe K, serta isolasi rockwool dan aluminium foil. Sistem monitoring berbasis ESP32 dan Arduino Nano digunakan untuk membaca temperatur pasir, tegangan, arus, daya, dan indeks estimasi penyinaran. Data ditampilkan melalui LCD dan Blynk serta dicatat ke *Google Spreadsheet*. Pengujian dilakukan menggunakan tiga konfigurasi dengan jumlah panel, elemen pemanas, dan susunan isolasi yang berbeda. Temperatur tertinggi meningkat dari 103,63°C pada konfigurasi pertama menjadi 195,13°C pada konfigurasi kedua dan 230,13°C pada konfigurasi ketiga. Konfigurasi ketiga mempertahankan temperatur pagi rata-rata sebesar 100,09°C. Berdasarkan asumsi temperatur lingkungan 28°C, konstanta pendinginan konfigurasi kedua dan ketiga masing-masing sebesar 0,072 jam⁻¹ dan 0,052 jam⁻¹. Penyempurnaan isolasi menurunkan konstanta pendinginan sebesar 27,78%. Daya maksimum pada periode operasi yang relatif stabil mencapai 683,31 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan panel surya dan elemen pemanas meningkatkan temperatur pasir, sedangkan pemasangan isolasi pada seluruh sisi memperlambat pelepasan panas.

Kata kunci: energi surya, pasir silika, penyimpanan panas sensibel, *sand battery*, *Thermal Energy Storage*.

ABSTRACT

The intermittent nature of solar energy causes photovoltaic power output to fluctuate with solar exposure conditions, thereby requiring an energy storage system. This study aimed to design, construct, and evaluate a silica-sand-based Thermal Energy Storage prototype powered by photovoltaic panels. The prototype used 57 kg of silica sand with a particle size of 30 to 50 mesh as a sensible heat storage medium. The final configuration consisted of two series-connected 545 Wp photovoltaic panels, two series-connected resistive heating elements rated at 42 V and 500 W each, two K-type thermocouples, and thermal insulation comprising rockwool and aluminium foil. An ESP32 and Arduino Nano-based monitoring system was employed to measure sand temperature, voltage, current, power, and the estimated solar exposure index. The measurement data were displayed through an LCD and Blynk and recorded in Google Sheets. The experiments were conducted using three configurations with different numbers of photovoltaic panels and heating elements, as well as different insulation arrangements. The highest temperature increased from 103.63°C in the first configuration to 195.13°C in the second configuration and 230.13°C in the third configuration. The third configuration maintained an average morning temperature of 100.09°C. Assuming an ambient temperature of 28°C, the cooling constants of the second and third configurations were 0.072 h⁻¹ and 0.052 h⁻¹, respectively. The improved insulation reduced the cooling constant by 27.78%. The maximum power recorded under relatively stable operating conditions was 683.31 W. The results demonstrate that increasing the number of photovoltaic panels and heating elements increased the sand temperature, while applying insulation to all sides of the storage unit reduced the heat-release rate.

Keywords: *sensible heat storage, silica sand, solar energy, sand battery, Thermal Energy Storage.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun *Thermal Energy Storage* Sebagai Penyimpanan Energi Berbasis *Solar Panel*” dengan baik. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, arahan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, kesehatan, kekuatan, serta kemudahan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, pengorbanan, dukungan, serta semangat yang tiada henti diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan bimbingan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, serta pelayanan akademik kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri angkatan 2022 yang telah menjadi rekan belajar, berdiskusi, dan saling memberikan semangat selama menjalani perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir.

8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga proses penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi salah satu referensi bagi pembaca.

Semarang, 28 September 2026

Gilar Wirayudha
NIM 40040622650035

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Tugas Akhir	9
1.4 Manfaat Tugas Akhir	10
1.4.1 Manfaat Teoritis.....	10
1.4.2 Manfaat Praktis	10
1.5 Batasan Masalah.....	11
1.6 Sistematika Tugas Akhir	12
BAB II LANDASAN TEORI	15
2.1 Tinjauan Pustaka	15
2.2 Dasar Teori.....	19
2.2.1 Energi Surya.....	19
2.2.2 Thermal Energy Storage (TES).....	20
2.2.3 Pasir Silika sebagai Media Penyimpan Panas.....	20
2.2.4 Power Supply	23
2.2.5 Mikrokontroler ESP32	24
2.2.6 Mikrokontroler Arduino Nano	26

2.2.7 Voltage Sensor	28
2.2.8 ACS712	29
2.2.9 INA219	30
2.2.10 Resistor Kapur	32
2.2.11 Panel Surya Monokristal 545 WP	33
2.2.12 Elemen <i>heater</i> 500 wat	35
2.2.13 Modul Thermocouple dan MAX6675	36
2.2.14 Step Down.....	38
2.2.15 LCD 20x4.....	39
2.2.16 Keypad 4X4	41
2.2.17 Sistem Monitoring Dan Pencacatan Data	42
2.2.17.1 Google Spreadsheet.....	42
2.2.17.2 Platform Blynk	43
BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR	45
3.1 Metode Penyusunan	45
3.2 Perancangan <i>Hardware</i>	47
3.2.1 Perancangan Tabung dalam Baterai Pasir.....	48
3.2.2 Perancangan Tabung Luar Baterai Pasir	51
3.2.3 Perancangan Penempatan Elemen Pemanas	53
3.2.4 Perancangan Penempatan Thermocouple Tipe K	57
3.2.5 Perancangan Penutup Tabung.....	61
3.2.6 Perancangan Isoalasi Thermal	63
3.2.7 Hasil Akhir Perancangan Mekanik	65
3.2.8 Perancangan Skematik PCB	68
3.2.8.1 Power In And Buck Converter	68
3.2.8.2 Microcontroller Unit.....	68
3.2.8.3 Voltage And Current Sensor.....	69
3.2.8.4 MAX6675	69
3.2.8.5 JST Connector	69
3.2.9 Interface	69
3.2.9.1 Battery	70

3.2.9.2 Panel Utama.....	70
3.2.9.3 Radiasi	70
3.3 Perancangan Software.....	71
3.3.1 Data Logging	73
3.3.2 Perancangan Monitoring Menggunakan Blynk	74
BAB IV PEMBUATAN ALAT	76
4.1 Pembuatan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	76
4.1.1 Alat dan Bahan.....	76
4.1.2 Pembuatan Perangkat Mekanik.....	79
4.1.2.1 Fabrikasi Komponen Mekanikal oleh Vendor.....	81
4.1.2.2 Pemasangan Elemen Pemanas	82
4.1.2.3 Pemasangan Thermocouple Tipe K.....	83
4.1.2.4 pemasangan rockwool dan alumuium foil.....	84
4.1.2.5 Hasil Akhir Perakitan Mekanikal	85
4.1.3 Pembuatan Elektrikal	86
4.1.3.1 Pembuatan wiring diagram	87
4.1.3.2 Pembuatan Rangkaian PCB.....	91
4.2 Pembuatan Perangkat Lunak (Software).....	93
4.2.1 Inisiasi dan Deklarasi	93
4.2.1.1 Library	93
4.2.1.2 Wifi.....	94
4.2.1.3 Deklarasi Data Lain	97
4.2.1.4 Spreadsheet.....	99
4.2.1.5 Prototype.....	101
4.2.1.6 Interface	102
4.2.1.6.1 Home.....	105
4.2.1.6.2 Changing	105
4.2.1.6.3 Suhu_Battery	105
4.2.1.6.4 Panel Utama.....	106
4.2.1.6.5 Radiasi	106
4.2.1.6.6 Restart	106

4.2.1.6.7 LCD Restart	106
4.2.1.6.8 LCD Sleep	106
4.2.2 Pembacaan Sensor	107
4.2.2.1 Thermocouple & Max6675	107
4.2.2.2 INA219	109
4.2.2.3 ACS712	110
4.2.2.4 Voltage Sensor.....	112
4.2.3 Program.....	114
4.2.3.1 Komunikasi Mikrokontroller.....	114
4.2.3.2 Program Arduino Nano	114
4.2.3.4 Program ESP32	115
4.2.4 Perhitungan	116
4.2.4.1 Delta Suhu	116
4.2.4.2 Radiasi Matahari.....	117
4.2.5 Data Logging	119
4.2.5.1 SpreadSheet Boot	120
4.2.5.2 SpreadSheet Baterai Pasir.....	121
4.2.6 Monitoring Menggunakan Blynk.....	122
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT.....	124
5.1 Prosedur dan Metode Pengujian.....	124
5.2 Pengujian Panel Surya.....	125
5.2.1 Pengujian Daya Panel Surya	125
5.2.2 Pengujian Daya Panel Surya Periode 15 sampai 18 Juli 2026.....	126
5.2.3 Pengujian Daya Panel Surya Periode 31 Juli sampai 3 Agustus 2026	129
5.2.4 Perhitungan dan Analisis Daya Maksimum Panel Surya	134
5.2.5 Daya Maksimum Periode 15 sampai 18 Juli 2026.....	135
5.2.6 Daya Maksimum Periode 31 Juli sampai 3 Agustus 2026	135
5.2.7 Analisis Hubungan Radiasi Matahari dan Daya Panel Surya	137
5.3 Pengujian Kenaikan Suhu Pasir	139
5.3.1 Pengujian Periode 6 sampai 8 Juli 2026	140
5.3.2 Pengujian Periode 15 sampai 18 Juli 2026	142

5.3.3 Pengujian Periode 31 Juli sampai 3 Agustus 2026	147
5.3.4 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian	151
5.4 Pengujian Penyimpanan Panas	153
5.4.1 Pengujian Penyimpanan Panas Periode 6 sampai 8 Juli 2026	154
5.4.1.1 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama	154
5.4.1.2 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua	156
5.4.2 Pengujian Penyimpanan Panas Periode 15 sampai 18 Juli 2026	157
5.4.2.1 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama	157
5.4.2.2 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua	159
5.4.2.3 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Ketiga	160
5.4.3 Pengujian Penyimpanan Panas Periode 31 Juli sampai 3 Agustus 2026 161	
5.4.3.1 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama	162
5.4.3.2 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua	163
5.4.3.3 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Ketiga	163
5.4.3.4 Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Keempat	164
5.4.4 Analisis Hasil Pengujian Penyimpanan Panas	166
5.5 Perhitungan Efisiensi Sistem.....	172
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	176
6.1 Kesimpulan.....	176
6.2 Saran.....	178
DAFTAR PUSTAKA	181
LAMPIRAN.....	184

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Power Supply	23
Gambar 2. 2 ESP 32	24
Gambar 2. 3 Arduino Nano	26
Gambar 2. 4 Voltage Sensor	28
Gambar 2. 5 Rangkaian Voltage Sensor	29
Gambar 2. 6 Sensor ACS712	29
Gambar 2. 7 Resistor Kapur	32
Gambar 2. 8 Panel Surya 545 wp	33
Gambar 2. 9 Heater 500 Watt	35
Gambar 2. 10 Thermocouple type K dan MAX6675	36
Gambar 2. 11 modul Step Down	38
Gambar 2. 12 LCD (liquid Crystal Display)	39
Gambar 2. 13 Keypad 4x4	41
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	47
Gambar 3. 2 Tabung Dalam Baterai Pasir	49
Gambar 3. 3 Tabung Luar Baterai Pasir	51
Gambar 3. 4 Penempatan Heater	54
Gambar 3. 5 Penempatan Heater dari tampak 3D	55
Gambar 3. 6 Penempatan Sensor Thermocouple	58
Gambar 3. 7 Tampak Atas Penempatan Thermocouple Tipe K	59
Gambar 3. 8 Tampak Atas Penutup Tabung	62
Gambar 3. 9 Tampak Keseluruhan Penutup Tabung	63
Gambar 3. 10 Hasil Akhir Perancangan Mekanikal Sistem Sand Battery	65
Gambar 3. 11 Diagram Skematik	68
Gambar 3. 12 Tampilan Menu Battery	70
Gambar 3. 13 Tampilan Menu Panel Utama	70
Gambar 3. 14 Tampilan Menu Radiasi	70
Gambar 3. 15 Flowchart Sistem	71
Gambar 3. 16 Tampilan Data Logging di Google Spreadsheet	73

Gambar 4. 1 Proses Pengerjaan Mekanikal Prototipe Sand Battery	80
Gambar 4. 2 Pembuatan Tabung dan Tutup.....	81
Gambar 4. 3 Pemasangan Dua Elemen Pemanas pada Penutup Tabung.....	83
Gambar 4. 4 Proses Pemasangan Rockwool dan Aluminium Foil	85
Gambar 4. 5 Hasil Akhir Perakitan Mekanikal Prototipe Sand Battery	85
Gambar 4. 6 Wiring Diagram.....	87
Gambar 4. 7 Wiring Power In dan Buck Converter.....	88
Gambar 4. 8 Wiring ESP32 dan Arduino Nano.....	88
Gambar 4. 9 Wiring Voltage and Current Sensor	89
Gambar 4. 10 Wiring JST Connector.....	90
Gambar 4. 11 Wiring MAC6675	90
Gambar 4. 12 Layout PCB.....	91
Gambar 4. 13 Jalur Power PCB	92
Gambar 4. 14 Jalur Sinyal PCB	93
Gambar 4. 15 Deklarasi Library ESP32.....	93
Gambar 4. 16 Deklarasi Library Arduino Nano.....	94
Gambar 4. 17 Deklarasi Wifi ESP32	94
Gambar 4. 18 Eksekusi Wifi ESP32	95
Gambar 4. 19 Pemantauan Kondisi Wifi	96
Gambar 4. 20 Deklarasi Library dan Data Lain ESP32	97
Gambar 4. 21 Deklarasi Library dan Data Lain Arduino Nano	98
Gambar 4. 22 Deklarasi Spreadsheet	99
Gambar 4. 23 Program pengiriman data menuju spreadsheet	100
Gambar 4. 24 Deklarasi fungsi software.....	101
Gambar 4. 25 Program Interface	104
Gambar 4. 26 Tampilan LCD pada Menu Suhu Battery.....	105
Gambar 4. 27 Tampilan LCD pada Menu Panel Utama	106
Gambar 4. 28 Tampilan LCD pada Menu Radiasi.....	106
Gambar 4. 29 Library MAX6675.....	107
Gambar 4. 30 Kode Pembacaan Hasil Data Sensor	108
Gambar 4. 31 Kode Perhitungan Rata-Rata Suhu Thermocouple	108

Gambar 4. 32 Library INA219.....	109
Gambar 4. 33 Library ACS712	111
Gambar 4. 34 Define Pin ACS712.....	111
Gambar 4. 35 Kode Pembacaan Sensor ACS712	112
Gambar 4. 36 Define Pin A0.....	112
Gambar 4. 37 Inisiasi Pin pada Void Loop	112
Gambar 4. 38 Kode Pembacaan Sensor	113
Gambar 4. 39 Kode konversi tegangan pada pin ke tegangan real	114
Gambar 4. 40 Kode Penerimaan Data Arduino Nano.....	115
Gambar 4. 41 Kode Penerimaan Data ESP32.....	116
Gambar 4. 42 Kode Perhitungan Delta Suhu	117
Gambar 4. 43 Pengukuran Luas Panel	119
Gambar 4. 44 Kode Perhitungan Radiasi Sinar Matahari	119
Gambar 4. 45 Kode SpreadSheet Boot	121
Gambar 4. 46 Kode SpreadSheet Baterai Pasir.....	122
Gambar 4. 47 Tampilan Blynk.....	123
Gambar 5. 1 Grafik Tegangan, Arus, dan Daya 15-18 Juli.....	127
Gambar 5. 2 Grafik Tegangan, Arus, dan Daya 31 Juli - 3 Agustus	131
Gambar 5. 3 Grafik Radiasi	137
Gambar 5. 4 Grafik Kenaikan Suhu Pasir 6-8 Juli.....	141
Gambar 5. 5 Grafik Kenaikan Suhu Pasir 15-18 Juli.....	142
Gambar 5. 6 Grafik Kenaikan Suhu Pasir 31 Juli - 3 Agustus.....	148
Gambar 5. 7 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama..	155
Gambar 5. 8 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua	156
Gambar 5. 9 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama..	158
Gambar 5. 10 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua ..	159
Gambar 5. 11 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Ketiga ..	160
Gambar 5. 12 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Pertama	162
Gambar 5. 13 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Kedua ..	163
Gambar 5. 14 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Ketiga ..	164

Gambar 5. 15 Grafik Penurunan Temperatur Setelah Pemanasan Hari Keempat	165
---	-----

DAFTAR TABEL

Tabel 2 - 1 Perbandingan Baterai Elektrokimia dan TES Berbasis Pasir Silika...	18
Tabel 2 - 2 Karakteristik Termofisika Pasir Silika.....	21
Tabel 2 - 3 Spesifikasi Power Supply	24
Tabel 2 - 4 Spesifikasi ESP32.....	25
Tabel 2 - 5 Spesifikasi Arduino Nano.....	27
Tabel 2 - 6 Sensor ACS712.....	30
Tabel 2 - 7 Spesifikasi INA219.....	31
Tabel 2 - 8 Spesifikasi Panel Surya.....	34
Tabel 2 - 9 Spesifikasi Thermocouple	37
Tabel 2 - 10 Spesifikasi Modul Step Down	38
Tabel 2 - 11 Spesifikasi LCD.....	40
Tabel 2 - 12 Spesifikasi Keypad	41
Tabel 2 - 13 Parameter Monitoring Blynk	43
Tabel 3 - 1 Spesifikasi Tabung Dalam Baterai Pasir	50
Tabel 3 - 2 Spesifikasi Tabung Luar Baterai Pasir	53
Tabel 3 - 3 Spesifikasi Elemen Pemanas	56
Tabel 3 - 4 Penempatan Thermocouple Tipe K	60
Tabel 3 - 5 Spesifikasi Keseluruhan Alat.....	66
Tabel 3 - 6 Perancangan Datastream Blynk.....	75
Tabel 4 - 1 Daftar Alat Pembuatan Perangkat Keras (Hardware).....	77
Tabel 4 - 2 Bahan dan Komponen Prototipe.....	78
Tabel 4 - 3 Spesifikasi Pengerjaan Mekanikal.....	81
Tabel 4 - 4 Spesifikasi Tabung.....	82
Tabel 4 - 5 Spesifikasi Keseluruhan Alat.....	86
Tabel 5 - 1 Perbandingan Hasil Pengujian Penyimpanan Panas.....	169

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program ESP32	184
Lampiran 2. Program Arduino nano	207
Lampiran 3. Skematik PCB.....	216
Lampiran 4. Desain Layout PCB	217
Lampiran 5 Data 6-8 Juli 2026.....	218
Lampiran 6 Data 15-18 Juli 2026	219
Lampiran 7 Data 31 Juli - 3 Agustus 2026	220
Lampiran 8. Datasheet Arduino Nano	221
Lampiran 9. Datasheet ESP32.....	228
Lampiran 10. Datasheet ACS712.....	229
Lampiran 11. Datasheet INA210	230
Lampiran 12. Datasheet MAX6675	231
Lampiran 13. Datasheet Buck Converter MP1584EN.....	232
Lampiran 14. Datasheet LCD 20s4.....	233
Lampiran 15. Datasheet KEYPAD 4x4	235