

**PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING IOT
PADA *HYBRID PHOTOVOLTAIC-THERMOELECTRIC*
GENERATOR (PV-TEG) DENGAN PENDINGIN
HEATSINK DI LINGKUNGAN *OUTDOOR***

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana sains**



**Sahat Maruli Siahaan
1306622050**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

2026

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING IOT PADA HYBRID PHOTOVOLTAIC-THERMOELECTRIC GENERATOR (PV-TEG) DENGAN PENDINGIN HEATSINK DI LINGKUNGAN OUTDOOR

Nama : Sahat Maruli Siahaan

No. Registrasi : 1306622050

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Penanggung Jawab:			
Dekan	: Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		12-Agustus-2026
Wakil Penanggung Jawab			
Wakil Dekan I	: Dr. Meiliasari, S.Pd., M.Sc. NIP. 197905042009122002		12-Agustus-2026
Ketua Sidang	: Prof. Dr. Umiatin, M.Si NIP. 197901042006042001		3-Agustus-2026
Sekretaris	: Fachriza Fathan, S.Si., M.Si. NIP. 199203102014061002		31-Juli-2026
Anggota:			
Pembimbing I	: Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M.Si. NIP. 197909162005011004		31-Juli-2026
Pembimbing II	: Syafrima Wahyu, S.Si., M.Si NIP. 199110132023211021		31-Juli-2026
Penguji	: Ahmad Zalnika Purwalaksana S.Si., M.Si NIP. 199402032023211015		31-Juli-2026

Dinyatakan lulus pada tanggal 21 Juli 2026.

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang berjudul **“Pengembangan Sistem Monitoring IoT pada Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Generator (PV-TEG) Dengan Pendingin Heatsink di Lingkungan Outdoor.”** merupakan hasil karya ilmiah yang saya susun secara mandiri di bawah bimbingan dosen pembimbing sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta.

Seluruh informasi yang berasal dari karya atau penulis lain yang dipublikasikan yang digunakan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam “Daftar Pustaka” sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Jika dikemudian hari terbukti bahwa sebagian skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 21 Juli 2026



Sahat Maruli Siahaan

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI



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 : Salwa Maruli Siahaan
NIM : 1306622050
Fakultas/Prodi : FISIKA / FISIKA
Alamat email : SalwaSiahaan0709@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 :

Pengembangan Sistem Monitoring IoT pada Hybrid Photovoltaic - Thermoelectric
Generator (PV-TEG) Dengan Pendingin HeatSink di Lingkungan Outdoor

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, 10 Agustus 2026

Penulis


(Salwa Maruli Siahaan)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, pertolongan, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan hasil skripsi ini yang berjudul “*PENGEMBANGAN SISTEM MONITORING IOT PADA HYBRID PHOTOVOLTAIC-THERMOELECTRIC GENERATOR (PV-TEG) DENGAN PENDINGIN HEATSINK DI LINGKUNGAN OUTDOOR.*” Hasil skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya hasil skripsi ini berkat dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam bentuk dukungan moral, bimbingan, dan masukan selama proses penyusunan hingga penyelesaian hasil skripsi ini.

Secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Hadi Nasbey, S.Pd., M. Si, selaku dosen pembimbing I, atas segala bimbingan yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan hasil skripsi ini.
2. Syafrima Wahyu, M.Si, selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan banyak masukan dan arahan demi penyempurnaan karya ini.
3. Dr. Teguh budi prayitno, M. Si, selaku Koordinator Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta.
4. Ibu Rohani dan Bapak Longser selaku orang tua penulis yang selalu mendoakan, mendukung, membantu, menjadi pendengar terbaik, memotivasi serta mencurahkan segala kasih sayangnya kepada penulis.
5. Raja Bonggal, Indo Prasetyo dan Indah Ayu Ros selaku saudara kandung penulis yang selalu mendoakan, mendukung, dan menghibur penulis.
6. Rekan Tim fisika dan Kekasih Penulis yang telah berbagi pengetahuan, cerita, dan dukungan kepada penulis. Semua pihak yang tidak dapat penulis

sebutkan satu persatu yang telah membantu hingga terselesaikannya hasil skripsi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan dukungan, kontribusi, serta bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, hingga laporan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga laporan penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Fisika instrumentasi.

Penulis

Sahat Maruli Siahaan

ABSTRAK

SAHAT MARULI SIAHAAN. Pengembangan Sistem Monitoring IoT pada *Hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Generator* (PV-TEG) Dengan Pendingin *Heatsink* di Lingkungan *Outdoor*. Dibawah Bimbingan HADI NASBEY dan SYAFRIMA WAHYU.

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar namun belum dimanfaatkan secara luas. Salah satu cara meningkatkan efisiensi panel surya dengan memanfaatkan panas berlebih yang dihasilkan selama proses konversi energi dan dengan teknologi yang semakin maju, diperlukan pemantauan secara real-time pada pengaplikasian digital. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem *hybrid Photovoltaic-Thermoelectric Generator* (PV-TEG) berpendingin *heatsink* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengatasi penurunan efisiensi panel surya akibat degradasi termal di iklim tropis. Metode penelitian diawali dengan karakterisasi komponen di laboratorium untuk memastikan linearitas sensor (DS18B20, INA219, GY-39) dengan akurasi di atas 97%, serta pemetaan karakteristik elektrik awal *device* PV dan TEG.

Pengujian performa dinamis sistem dilakukan secara komparatif di lingkungan luar ruangan (*outdoor*) rooftop lantai 10 selama 24 jam dengan interval perekaman data setiap 5 menit. Data ditransmisikan secara nirkabel oleh mikrokontroler ESP32 menuju dasbor pemantauan kustom *cloud* IoT via Google Apps Script dan Spreadsheet Excel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi mekanis aluminium pin-fin *heatsink* pasif efektif menjaga kestabilan termal dengan mempertahankan gradien suhu (ΔT) optimal sebesar 3°C hingga 4°C pada intensitas puncak harian. Efek Seebeck yang dihasilkan sukses membangkitkan daya tambahan TEG maksimum sebesar 5,8 mW, yang berkontribusi pada pencapaian daya total puncak sistem *hybrid* hingga 5,25 Watt, mengungguli PV konvensional yang terdegradasi pada 4,5 Watt. Secara akumulatif, rata-rata efisiensi total harian sistem *hybrid* (η_{hybrid}) mencapai 3,857%, secara signifikan lebih superior dibandingkan rata-rata efisiensi PV konvensional polos yang hanya memperoleh 3,035%. Penelitian ini secara empiris menyimpulkan bahwa hibridisasi PV-TEG dengan manajemen termal *heatsink* pasif berhasil meningkatkan efisiensi total pemanenan energi surya sekaligus memberikan proteksi termal yang berkelanjutan.

Kata Kunci: *Hybrid* PV-TEG, Aluminium *Heatsink*, Efek Seebeck, *Internet of Things* (IoT), Efisiensi Energi.

ABSTRACT

SAHAT MARULI SIAHAAN. Development of an IoT-Based Monitoring System for a Hybrid Photovoltaic–Thermoelectric Generator (PV–TEG) with Heatsink Cooling in an Outdoor Environment. Supervised by HADI NASBEY and SYAFRIMA WAHYU.

Indonesia possesses enormous solar energy potential; however, it has not yet been widely utilized. One approach to improving the efficiency of photovoltaic (PV) panels is by utilizing the excess heat generated during the energy conversion process. Furthermore, with the advancement of digital technology, real-time monitoring has become increasingly essential for practical applications. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based hybrid Photovoltaic–Thermoelectric Generator (PV–TEG) system equipped with a heatsink cooling mechanism to mitigate the efficiency degradation of photovoltaic panels caused by thermal effects under tropical climate conditions. The research methodology began with laboratory characterization of the system components to verify the linearity of the DS18B20, INA219, and GY-39 sensors, achieving an accuracy of over 97%, followed by the initial electrical characterization of the PV module and TEG device.

The dynamic performance of the proposed system was evaluated through a comparative outdoor experiment conducted on a 10th-floor rooftop over a continuous 24-hour period, with data acquisition performed at 5-minute intervals. Measurement data were transmitted wirelessly by an ESP32 microcontroller to a custom cloud-based IoT monitoring dashboard using Google Apps Script and Microsoft Excel Spreadsheet. The experimental results demonstrate that the passive aluminum pin-fin heatsink effectively maintained thermal stability by sustaining an optimal temperature gradient (ΔT) of 3°C to 4°C during peak solar irradiance. The resulting Seebeck effect successfully generated a maximum additional TEG output power of 5.8 mW, contributing to a peak total output power of 5.25 W for the hybrid system, outperforming the conventional PV system, which experienced thermal degradation and produced only 4.5 W. On a cumulative basis, the average daily total efficiency of the hybrid system (η_{hybrid}) reached 3.857%, which was significantly higher than the average efficiency of the conventional PV system, measured at only 3.035%. These findings empirically demonstrate that integrating a PV–TEG system with passive heatsink-based thermal management effectively enhances overall solar energy harvesting efficiency while simultaneously providing sustainable thermal protection.

Keywords: Hybrid PV–TEG, Aluminum Heatsink, Seebeck Effect, Internet of Things (IoT), Energy Efficiency.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Sel Surya.....	7
B. Thermoelectric Generator (TEG).....	10
C. Sistem <i>Hybrid</i> Photovoltaic–Thermoelectric Generator (PV-TEG)	13
D. Sistem Pendingin <i>Heatsink</i>	18
E. Sistem <i>Internet of Things (IoT)</i>	21
F. ESP 32	24
G. Arduino IDE.....	25
H. Sensor Suhu DS18B20	27
I. Sensor INA219	29
J. Sensor GY-39 (Intensitas Cahaya, Suhu, Kelembapan dan Tekanan Udara)	32
K. Real Time Clock.....	34
L. Dashboard Monitoring <i>IoT</i>	36
M. Pengujian Outdoor dan Faktor Lingkungan	37
N. Penelitian Terdahulu	39
O. Kerangka Pemikiran	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	44

A. Waktu dan Tempat Penelitian	44
B. Metode Penelitian	45
1. Alat dan Bahan	45
2. Variabel Penelitian dan Parameter Pengukuran	47
3. Diagram Alir Penelitian	47
4. Prosedur Penelitian	48
5. Desain Sistem dan Diagram Blok Sistem	50
C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	51
1. Teknik Pengumpulan Data	51
2. Teknik Analisis Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
A. Deskripsi Hasil Penelitian	54
B. Karakterisasi Sensor	54
1. Sensor Suhu DS18B20	55
2. Sensor Arus dan Tegangan INA219	57
3. Sensor Intensitas Cahaya dan Kelembapan GY-39	62
C. Karakterisasi Panel Surya	65
D. Karakterisasi Thermoelectric Generator (TEG)	70
E. Konfigurasi dan implementasi sistem PV-TEG dengan <i>heatsink</i> berbasis IoT	73
1. Konfigurasi sistem perancangan dan pengintegrasian mekanis PV-TEG dengan <i>Heatsink</i>	74
2. Implementasi sistem monitoring IoT dan penempatan instrumen di lingkungan <i>outdoor</i>	76
F. Analisis Efisiensi Total Sistem <i>Hybrid</i> PV-TEG Berpendingin <i>Heatsink</i>	78
1. Analisis pengaruh parameter lingkungan terhadap distribusi termal sistem	78
2. Analisis komparatif karakteristik kelistrikan <i>real-time</i> (PV <i>Hybrid</i> vs PV konvensional)	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	90
A. Kesimpulan	90
B. Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	100
RIWAYAT HIDUP	108

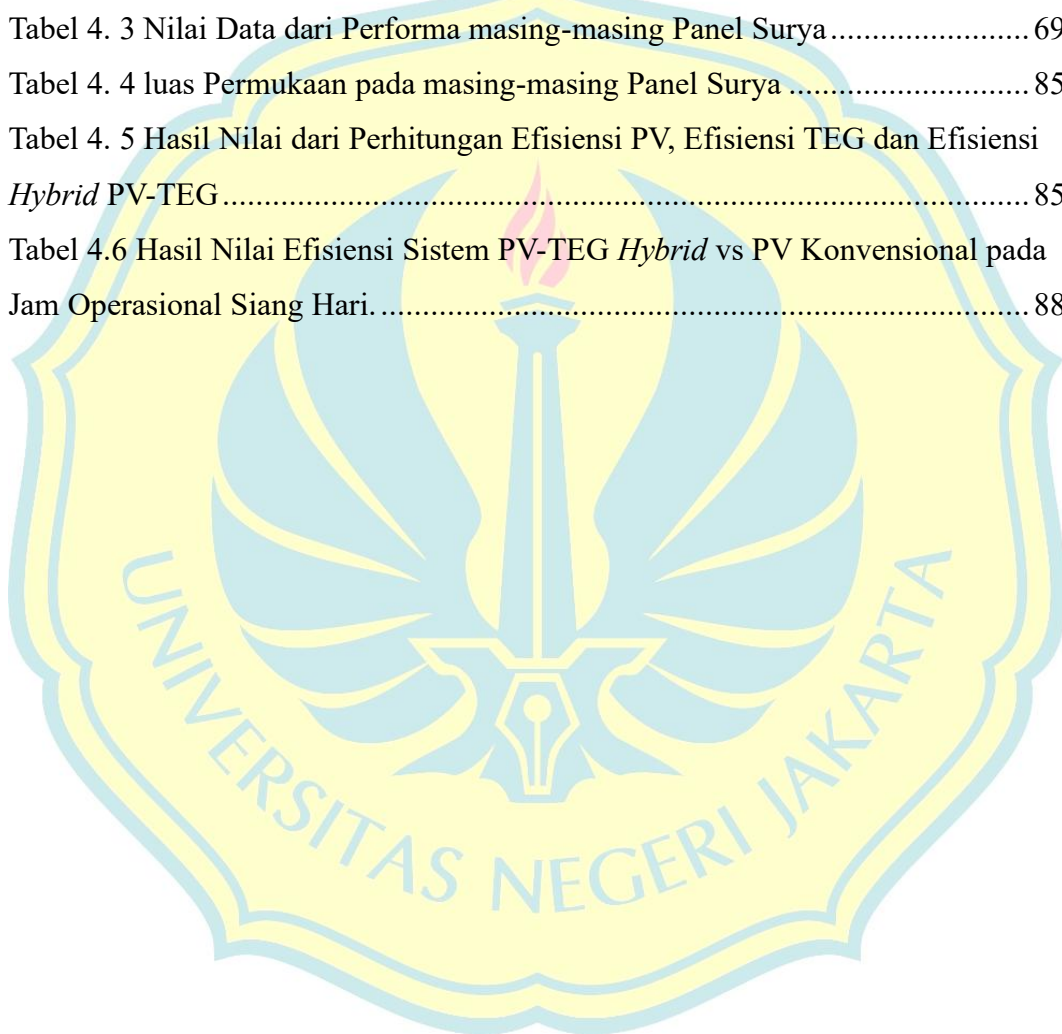
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 P-N <i>Junction</i>	8
Gambar 2. 2 Panel surya monokristalin.....	9
Gambar 2. 3 Susunan semikonduktor termoelektrik	11
Gambar 2. 4 Prinsip kerja <i>Thermoelectric Generator</i>	12
Gambar 2. 5 Integrasi sistem <i>hybrid PV-TEG</i>	14
Gambar 2. 6 Skema sistem kerja hibrida PV-TEG	17
Gambar 2. 7 Ilustrasi aliran energi dan panas pada sistem <i>hybrid PV-TEG</i>	18
Gambar 2. 8 Ilustrasi <i>Heatsink</i> Menyerap Panas.....	19
Gambar 2. 9 Ilustrasi <i>finned heatsink</i> pada PV-TEG	20
Gambar 2. 10 Diagram rangkaian sistem <i>IoT</i> berbasis ESP32 untuk monitoring daya keluaran panel surya.	22
Gambar 2. 11 Arsitektur sistem <i>Internet of Things (IoT)</i> pada sistem monitoring energi terbarukan	23
Gambar 2. 12 Arduino ESP32	25
Gambar 2. 13 Antarmuka pengguna Arduino IDE 2.0 yang menampilkan editor kode, toolbar, dan serial monitor.	26
Gambar 2. 14 Sensor DS18B20.....	28
Gambar 2. 15 Skematik diagram DS18B20	30
Gambar 2. 16 Skematik INA219	32
Gambar 2. 17 Sensor INA219	33
Gambar 2. 18 Sensor Intensitas Cahaya GY-39	34
Gambar 2. 19 <i>Real Time Clock</i>	35
Gambar 2. 20 Contoh Tampilan Dashboard Monitoring <i>IoT</i> Berbasis Web (<i>BYIoT</i>).....	37
Gambar 2. 21 Skema Pengujian Outdoor Sistem PV-TEG di Lapangan.....	39
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	48
Gambar 3. 2 Diagram blok sistem dan Desain sistem dari PV-TEG dengan berbasis <i>IoT</i>	52
Gambar 4. 1 Karakterisasi Sensor DS18B20	55

Gambar 4. 2 Grafik karakterisasi sensor DS18B20.....	56
Gambar 4. 3 Karakterisasi Sensor INA219.....	58
Gambar 4. 4 Grafik Karakterisasi Nilai Tegangan	59
Gambar 4. 5 Grafik karakterisasi nilai Arus.....	61
Gambar 4. 6 Kondisi karakterisasi Sensor GY-39 pada nilai intensitas cahaya dan kelembapan.....	63
Gambar 4. 7 Grafik karakterisasi Sensor GY-39	64
Gambar 4. 8 (a) Panel Surya 1 Monocrystalline 10 WP. (b) panel surya 2 Monocrystalline 10 WP.....	65
Gambar 4. 9 Proses karakterisasi Panel Surya 1 (a). Panel surya 2 (b).	67
Gambar 4. 10 Grafik Kurva dari nilai arus-tegangan (V-I) dan daya-tegangan (P-V) (a) karakterisasi panel surya 1. (b) karakterisasi panel surya 2.....	68
Gambar 4. 11 Karakterisasi Modul TEG.....	71
Gambar 4. 12 Grafik Karakterisasi Performa keluaran TEG terhadap Selisih suhu ΔT : (a) pengujian 1, (b) pengujian 2, (c) pengujian 3	72
Gambar 4. 13 konfigurasi rangkaian modul TEG dengan panel surya.....	74
Gambar 4. 14 bentuk dan dimensi aluminium heatsink sirip kaki (a), dan posisi pemasangan aluminium heatsink pada sistem PV-TEG.....	75
Gambar 4. 15 Pemasangan komponen alat IoT ke sistem PV-TEG (a), penyambungan wiring kabel ke seluruh sistem PV-TEG (b), penampakan bagian dalam pada sistem PV-TEG (c), penampakan bagian luar pada sistem PV-TEG (d), tampilan nyata dan aktif pada sistem PV-TEG dengan heatsink (e).....	77
Gambar 4. 16 Grafik karakterisasi lingkungan terhadap sistem PV-TEG dengan heatsink	79
Gambar 4. 17 Grafik nilai kestabilan termal terhadap waktu	80
Gambar 4. 18 Grafik nilai daya keluaran modul TEG pada sistem PV-TEG terhadap waktu.....	82
Gambar 4. 19 Grafik nilai perbandingan daya keluaran listrik antara panel surya 1 dengan panel surya 2.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Sensor DS18B20.....	28
Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor INA219	31
Tabel 3.1 Jadwal Rancangan Penelitian	44
Tabel 4. 1 Nilai Persentase Akurasi Performa pada Sensor DS18B20	56
Tabel 4. 2 Spesifikasi dari masing-masing Panel Surya <i>Monocrystalline</i> 10 WP..	66
Tabel 4. 3 Nilai Data dari Performa masing-masing Panel Surya	69
Tabel 4. 4 luas Permukaan pada masing-masing Panel Surya	85
Tabel 4. 5 Hasil Nilai dari Perhitungan Efisiensi PV, Efisiensi TEG dan Efisiensi <i>Hybrid</i> PV-TEG	85
Tabel 4.6 Hasil Nilai Efisiensi Sistem PV-TEG <i>Hybrid</i> vs PV Konvensional pada Jam Operasional Siang Hari.	88



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Database Hasil Beberapa Nilai Pengamatan dari Penelitian (Seluruh Datanya di masukkan ke dalam Google Drive dan bisa diakses melalui QR Code).	
.....	100
Lampiran 2. Dokumentasi	101

