

**RANCANG BANGUN SISTEM PLTS BERBEBAN DINAMIS
DENGAN *MONITORING* DAN PROTEKSI BERBASIS ESP32**



LAPORAN AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Diploma III
Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika**

OLEH:

MUHAMMAD RAFA RAMADHAN

062330320654

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

PALEMBANG

2026

LEMBAR PENGESAHAN

**RANCANG BANGUN SISTEM PLTS BERBEBAN DINAMIS
DENGAN MONITORING DAN PROTEKSI BERBASIS ESP32**



**Disusun Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Pendidikan Diploma III
Jurusan Teknik Elektro Program Studi DIII Teknik Elektronika**

OLEH:

MUHAMMAD RAFA RAMADHAN

062330320654

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Amperawan, S.T., M.T.
NIP. 196705231993031002

Dosen Pembimbing II

Ir. Evelina, S.T., M.Kom.
NIP. 196411131989032001

Mengetahui,

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro,**



Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom. IPM.
NIP. 197907222008011007

**Koordinator Program Studi
DIII Teknik Elektronika**

Ir. Niksen Alfarizal, S.T., M.Kom.
NIP. 197508162001121001

LEMBAR ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Rafa Ramadhan
NIM : 062330320654
Judul Laporan Akhir : RANCANG BANGUN SISTEM PLTS BERBEBAN
DINAMIS DENGAN MONITORING DAN PROTEKSI
BERBASIS ESP32

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

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



Palembang, Agustus 2026



Muhammad Rafa Ramadhan

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Tidak ada orang yang betul-betul free secara ekonomi. Tetap harus kerja.

Begitu kamu bisa kerja kamu harus sekolah”

“Dr. Muhammad Faisal”

*“I won't let that person down! I will live every day to the fullest! This is my
declaration”*

“Theresa Apocalypse”

PERSEMBAHAN

- Kedua Orang Tua Ku, Ibu dan Ayah yang tak henti-hentinya mendo'akan, memberi nasihat serta dukungan kepadaku.
- Dosen Pembimbingku, bapak Amperawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Ir. Evelina, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II
- Staf Dosen Politeknik Negeri Sriwijaya Khususnya Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika.
- Teman-Teman Seperjuangan Kelas EC 2023
- Teman-Teman Seangkatan Teknik Elektro 2023

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PLTS BERBEBAN DINAMIS DENGAN MONITORING DAN PROTEKSI BERBASIS ESP32

**(2026: XV + 120 Halaman + 58 Gambar + 17 Tabel + Daftar Pustaka +
Lampiran)**

MUHAMMAD RAFA RAMADHAN

062330320654

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRONIKA

POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid merupakan sistem pembangkit mandiri dengan baterai sebagai penyimpan energi. Penelitian ini merancang dan merealisasikan sistem PLTS off-grid skala mikro dengan beban dinamis, monitoring energi, proteksi baterai, dan estimasi *State of Charge* (SOC) berbasis energi menggunakan ESP32. Tegangan, arus, dan daya diukur dengan sensor INA226, lalu diproses untuk menghitung energi (Wh) dan SOC selama pengisian dan pengosongan. Sistem juga dilengkapi XH-M604, proteksi *Low Voltage Disconnect* (LVD), dan pencatatan data real-time. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan INA226 sebesar 0,30% dan 0,72% pada sisi panel surya, serta 0,28% dan 0,27% pada sisi baterai. Selama tiga hari pengujian, energi maksimum baterai mencapai 54,00 Wh atau 100,00% SOC pada setiap siklus pengisian. Energi pengosongan berturut-turut sebesar 29,20 Wh, 38,80 Wh, dan 34,70 Wh. XH-M604 menghentikan pengisian pada 14,40 V, sedangkan LVD bekerja pada 10,40 V. Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi energi berbasis Watt-hour mampu merepresentasikan perubahan kapasitas baterai dan menghasilkan estimasi SOC yang konsisten.

Kata Kunci: PLTS off-grid, estimasi energi, State of Charge (SOC), INA226, ESP32, LVD Low Voltage Disconnect.

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF PLTS SYSTEM DYNAMIC LOAD WITH ESP32-BASED MONITORING AND PROTECTION

(2026 : XV + 120 Pages + 58 Figures + 17 Tables + References + Appendices)

MUHAMMAD RAFA RAMADHAN

062330320654

ELECTRICAL ENGINEERING

STUDY PROGRAM OF ELECTRONICS ENGINEERING

STATE POLYTECHNIC OF SRIWIJAYA

An off-grid photovoltaic (PV) system is a stand-alone power system with batteries as the energy storage medium. This study designs and implements a micro-scale off-grid PV system with dynamic load, energy monitoring, battery protection, and energy-based State of Charge (SOC) estimation using an ESP32. Voltage, current, and power are measured using an INA226 sensor and processed to calculate energy (Wh) and SOC during charging and discharging. The system also includes an XH-M604 controller, Low Voltage Disconnect (LVD) protection, and real-time data logging. Experimental results show average INA226 errors of 0.30% and 0.72% on the PV side, and 0.28% and 0.27% on the battery side. Over three days of testing, the battery reached a maximum stored energy of 54.00 Wh or 100.00% SOC in each charging cycle. The discharged energy values were 29.20 Wh, 38.80 Wh, and 34.70 Wh. The XH-M604 terminated charging at 14.40 V, while the LVD operated at 10.40 V. The results show that Watt-hour-based energy estimation can represent battery capacity changes and provide consistent SOC estimation.

Keywords: *off-grid photovoltaic system, energy estimation, State of Charge (SOC), INA226, ESP32, Low Voltage Disconnect.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Akhir dapat dilaksanakan dengan baik dan Laporan Akhir ini berhasil disusun sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Judul yang diangkat dalam Laporan Akhir ini adalah **"RANCANG BANGUN SISTEM PLTS BERBEBAN DINAMIS DENGAN MONITORING DAN PROTEKSI BERBASIS ESP32 "**

Kelancaran proses pembuatan alat serta penulisan Laporan Akhir ini tak luput berkat bimbingan, arahan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik pada tahap persiapan, penyusunan, hingga terselesaikannya alat dan Laporan Akhir ini. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Bapak Amperawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I**
2. **Ibu Ir. Evelina, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II**

Juga ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama pelaksanaan dan pembuatan Laporan Akhir ini. Secara khusus, apresiasi dan terima kasih ditujukan kepada:

1. Bapak Ir. Irawan Rusnadi, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Ibu Ir. Hj. Lindawati, S.T., M.T.I. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Bapak Ir. Niksen Alfarizal, S.T., M.Kom. selaku Kepala Program Studi DIII Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.

5. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Program Studi Diploma III Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Seluruh staf teknisi laboratorium dan bengkel Jurusan Teknik Elektro Program Studi Diploma III Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Kepada Orang tua dan Keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan kepada saya selama pembuatan alat dan penulisan Laporan Akhir.
8. Teman-teman kelas 6EC Teknik Elektronika yang telah memberikan semangat, hiburan, dan motivasi kepada penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga Laporan Akhir ini dapat terselesaikan

Kesadaran sepenuhnya dimiliki bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, masukan dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan agar dapat menjadi bahan evaluasi dan pembelajaran untuk perbaikan di masa yang akan datang. Permohonan maaf juga disampaikan apabila terdapat kekeliruan maupun kekurangan dalam penyusunan Laporan Akhir ini.

Palembang, Agustus 2026

Muhammad Rafa Ramadhan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR ORISINALITAS.....	ii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Metode	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	8
2.2 Sistem Pemantauan Hibrida (<i>Hybrid Monitoring</i>).....	10
2.3 Komponen Utama Sistem PLTS	12
2.3.1 Panel Surya	12
2.3.2 Modul Regulasi Pengisian Daya (DC-to-DC <i>Buck Converter</i> XL4016).....	14

2.3.3 Modul Kontrol Proteksi Tegangan (XH-M604)	16
2.3.4 Baterai Sebagai Penyimpanan Sumber Energi Listrik	18
2.3.5 Inverter Pengubah tegangan DC ke AC (UPS Eyota 650VA).....	21
2.4 Komponen Pembantu Monitoring Sistem.....	23
2.4.1 Mikrokontroler ESP32	23
2.4.2 Sensor Tegangan dan Arus DC INA226 Ganda	25
2.4.3 Komponen Output Penampilan Informasi Data.....	28
2.4.5 Pembaca Intensitas Cahaya BH1750 dan Karakteristik Bayangan Parsial.....	33
2.5 Komponen Pengaman Rangkaian Listrik	34
2.5.1 Miniature Circuit Breaker MCB AC-DC.....	34
2.5.2 <i>Solid State Relay (SSR)</i>	35
2.6 Laporan akhir Terdahulu.....	36
BAB III RANCANG BANGUN SISTEM.....	38
3.1 Rancang Bangun Sistem	38
3.2 Tujuan Perancangan Sistem	40
3.3 Metode Perancangan Sistem	41
3.4 Diagram Blok	42
3.5 Flowchart Sistem	45
3.6 Perancangan Elektronik	48
3.6.1 Jalur Daya (<i>Power Line</i>)	49
3.6.2 Jalur Monitoring (<i>Data Bus Line</i>).....	50
3.6.3 Jalur Proteksi dan Kendali (<i>Driver and Actuator Line</i>).....	51
3.6.4 Perancangan Sistem Monitoring dan Data Logging	52
3.6.5 Perancangan Sistem Distribusi Tegangan Rendah	53

3.6.6 Perancangan Sistem Kendali ESP32	54
3.7 Perancangan Mekanik	59
3.7.1 Perancangan Struktur Penopang Panel Surya dan <i>Bracket</i>	59
3.7.2 Perancangan Dudukan Komponen Utama (<i>Base Plate</i>)	60
3.7.3 Tata Letak Komponen Internal (<i>Internal Component Layout</i>)	61
3.7.4 Perancangan Wadah Utama (<i>Enclosure Box</i>) dan Antarmuka Luar	63
3.8 Hasil Perancangan Desain dan Implementasi	64
3.9 Perancangan Embedded Web Server dan Logging Data	65
3.9.1 Perancangan Database Firebase Cloud	66
3.9.2 Perancangan Embedded Web Server Lokal	66
3.9.3 Perancangan Struktur Datastream Parameter	67
3.9.4 Perancangan Sistem Pencatatan Data (<i>Data Logging</i>) MicroSD ..	67
3.9.5 Integrasi Perangkat Lunak IoT pada ESP32	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	70
4.1 Implementasi Purwarupa Sistem	70
4.2 Tujuan Pengujian	71
4.3 Alat dan Bahan Pengujian	72
4.4 Langkah-Langkah Pengambilan Data	72
4.5 Prosedur Pengoperasian Alat	74
4.6 Pengujian Sistem Monitoring dan Data Logging	75
4.7 Pengujian Ke-Akuratan Sensor dan Modul	76
4.7.1 Pengujian Akurasi Sensor INA226	77
4.7.2 Pengujian Modul XH-M604 sebagai Proteksi Overcharge	79
4.7.3 Pengujian <i>Low Voltage Disconnect</i> (LVD)	81

4.8 Pengujian Kinerja Pengisian dan Pengosongan Baterai	82
4.8.1 Pengujian Pengisian dan Pengosongan Hari Pertama.....	86
4.8.2 Pengujian Pengisian dan Pengosongan Baterai Hari Kedua	94
4.8.3 Pengujian Pengisian dan Pengosongan Hari Ketiga	102
4.8.4 Analisis Perbandingan Hasil Pengujian Pengisian dan Pengosongan Baterai	111
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN.....	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Solar Panel tipe polikristalin dan monokristalin	13
Gambar 2. 2 Stepdown Module DC to DC (XH-M604).....	16
Gambar 2. 3 Auto Cut Off Charger Battery (XH-M604).....	18
Gambar 2. 4 SLA Battery 12V 4.5Ah.....	21
Gambar 2. 5 UPS Eyota 650VA (Inverter)	23
Gambar 2. 6 ESP32 Devkit V1	25
Gambar 2. 7 Sensor INA226 – Pembaca Arus dan Tegangan	28
Gambar 2. 9 LCD I2C 20x4.....	29
Gambar 2. 10 Sensor BH1750.....	34
Gambar 2. 11 MCB DC Pengaman Baterai ke Beban	35
Gambar 2. 12 Solid State Relay Fotek SSR-40DD.....	35
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem PL TS Skala Mikro	43
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem PL TS Skala Mikro.....	46
Gambar 3. 3 Skematik Rangkaian PL TS	56
Gambar 3. 4 Layout PCB PLTS.....	57
Gambar 3. 5 Layout Komponen PLTS.....	58
Gambar 3. 6 Desain 3D Struktur Penopang Tampak Samping.....	59
Gambar 3. 7 Desain 3D Struktur Penopang Tampak Depan.....	59
Gambar 3. 8 Tampak Depan dan Belakang akrilik dan Spacer	61
Gambar 3. 9 Tata letak komponen sebelum masuk dalam box panel	62
Gambar 3. 10 Gambaran singkat isi komponen dalam box panel.....	62
Gambar 3. 11 Cover tampak depan dan atas dari box panel	64
Gambar 3. 12 Box Panel Sistem Charging dan Monitoring.....	65
Gambar 3. 13 Komponen yang ada dalam Box Panel.....	65
Gambar 3. 14 Purwarupa Sistem PLTS	65
Gambar 4. 1 Foto Hasil Implementasi Purwarupa PL TS Skala Mikro	71
Gambar 4. 2 Tampilan Dashboard Local Web Server	75
Gambar 4. 3 Tampilan Halaman Data Logging dan Fitur Unduh Berkas.....	76
Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Sensor INA226 pada Sisi Panel Surya	78

Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Sensor INA226 pada Sisi Baterai.....	78
Gambar 4. 6 Tegangan Baterai di bawah setpoint modul – LED indikator Hidup.	80
Gambar 4. 7 Tegangan Baterai menyentuh setpoint modul – LED indikator mati.	80
Gambar 4. 8 Dokumentasi Kondisi LVD Sebelum Cut-off.....	81
Gambar 4. 9 Dokumentasi Kondisi LVD Setelah Cut-off.....	82
Gambar 4. 10 Kondisi Awal Baterai Sebelum Pengisian Hari Pertama	87
Gambar 4. 11 Proses Pengisian Baterai Hari Pertama	87
Gambar 4. 12 Kurva Pengisian Hari-1	90
Gambar 4. 13 Kondisi Baterai Sebelum Pengosongan	91
Gambar 4. 14 Proses Pengosongan Baterai.....	91
Gambar 4. 15 Kondisi Sistem Setelah Pengosongan	92
Gambar 4. 16 Kurva Pengosongan Hari-1	93
Gambar 4. 17 Kondisi Awal Baterai Sebelum Pengisian Hari ke-2	94
Gambar 4. 18 Proses Pengisian Baterai Hari ke-2	95
Gambar 4. 19 Kurva Pengisian Hari-2	98
Gambar 4. 20 Kondisi Baterai Sebelum Pengosongan Hari Kedua.....	99
Gambar 4. 21 Proses Pengosongan Baterai Hari Kedua	99
Gambar 4. 22 Kondisi Sistem Setelah Pengosongan Hari Kedua.....	99
Gambar 4. 23 Kurva Pengosongan Hari-2	102
Gambar 4. 24 Kondisi Awal Baterai Sebelum Pengisian Hari Ketiga	103
Gambar 4. 25 Proses Pengisian Baterai Hari Ketiga.....	103
Gambar 4. 26 Kurva Pengisian Hari-3.....	106
Gambar 4. 27 Kondisi Baterai Sebelum Pengosongan Hari Ketiga.....	107
Gambar 4. 28 Proses Pengosongan Baterai Hari Ketiga	107
Gambar 4. 29 Kondisi Sistem Setelah Pengosongan Hari Ketiga.....	108
Gambar 4. 30 Kurva Pengosongan Hari-3	110
Gambar 4. 31 Perbandingan perubahan energi pada Hari-1 s.d Hari-3	113
Gambar 4. 32 Kurva Perbandingan Pengosongan Hari-1 s.d Hari-3	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Operasional Komponen XL4016[13]	15
Tabel 2. 2 Prinsip Kerja Kontrol Histeresis Tegangan.....	17
Tabel 2. 3 Interkoneksi INA226 Pada Sistem PLTS.....	26
Tabel 3.1 List Output Power Pada hasil perancangan BOX	64
Tabel 3.2 Pemetaan Variabel Datastream Parameter IoT	67
Tabel 4. 1 Hasil Komparasi Pembacaan Tegangan Sensor INA226 (Sisi Panel Surya)	77
Tabel 4. 2 Hasil Komparasi Pembacaan Tegangan Sensor INA226 (Sisi Baterai)	78
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Modul XH-M604.....	79
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sistem <i>Low Voltage Disconnect</i> (LVD)	81
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Pertama	88
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Pengosongan Baterai	92
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Kedua.....	95
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Pengosongan Baterai Hari Kedua	99
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Pengisian Baterai Hari Ketiga	104
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Pengosongan Baterai Hari Ketiga	108
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian	111
Tabel 4. 12 Estimasi Irradiance	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Kesepakatan Bimbingan Laporan Akhir	121
Lampiran. 2 Pengajuan Judul Laporan Akhir	122
Lampiran. 3 Lembar Pengesahan Judul Laporan Akhir	123
Lampiran. 4 Lembar Konsultasi Laporan Akhir	124
Lampiran. 5 Lembar Konsultasi Laporan Akhir	125
Lampiran. 6 Rekomendasi Ujian Laporan Akhir	126
Lampiran. 7 Isi dari Box Panel dan Case Box Panel	127
Lampiran. 8 Proses Kalibrasi Sensor dan Tampilan Webbase dengan Multimeter	128
Lampiran. 9 Beberapa Beban untuk mengukur Energi Baterai	129
Lampiran. 10 Pelaksanaan Revisi Laporan Akhir	130