



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KINERJA DAN MONITORING PARAMETER
KELISTRIKAN PADA SISTEM PLTS *OFF-GRID*
TERHADAP BEBAN**

TUGAS AKHIR

**Nayla Assarifah Safrudin
(2303311007)**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS KINERJA DAN AKURASI MONITORING
PARAMETER KELISTRIKAN PADA SISTEM PLTS OFF-
GRID TERHADAP BEBAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Diploma Tiga

**Nayla Assarifah Safrudin
(2303311007)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Nayla Assarifah Safrudin

NIM : 2303311007

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Nayla Assarifah Safrudin
NIM : 2303311007
Program Studi : Teknik Listrik
Judul Tugas Akhir : Analisis Kinerja Dan Akurasi Monitoring Parameter
Kelistrikan Pada Sistem PLTS *Off-grid* Terhadap Beban

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada Selasa 7 Juli 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Arum Kusuma Wardhany.
NIP. 199107132020122013

Pembimbing II : Hatib Setiana , S.T., M.T.
NIP. 199204212022031007

Depok, 17 Juli 2026

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Murie Dwiyani, S.T., M.T.
NIP. 197803312003122002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma Tiga . Tugas akhir penulis berisi tentang Analisis Kinerja Dan Akurasi Monitoring Parameter Kelistrikan Pada Sistem PLTS *Off-grid* Terhadap Beban

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Ibu Arum Kusuma Wardhany, S.T., M.T, dan Bapak Hatib Setiana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini;
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
3. Fadel dan Bagas selaku teman kelompok Tugas Akhir yang telah berkomitmen dalam pembuatan Tugas Akhir ini, juga rekan- rekan yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih telah men-support penulis sampai saat ini; dan

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 24 Mei 2026

Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Analisis Kinerja dan Akurasi Monitoring Parameter Kelistrikan pada Sistem PLTS Off-grid terhadap Beban

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kinerja operasional dan keandalan sistem monitoring Penelitian ini menganalisis kinerja operasional dan keandalan sistem monitoring parameter kelistrikan pada PLTS off-grid 120 Wp terhadap pembebanan dinamis. Pengujian dilakukan dengan membandingkan parameter tegangan dan arus sisi DC (sisi baterai) serta sisi AC dari alat ukur konvensional terhadap sistem monitoring digital berbasis IoT (ESP32 dan Firebase). Pengaruh sudut penempatan panel diuji pada dua kondisi kemiringan (0° dan 25°), sementara variasi beban diuji menggunakan beban resistif (lampu LED), induktif (kipas angin), dan gabungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya keluaran DC berbanding lurus dengan intensitas iradiasi matahari, terlihat dari penurunan arus DC hingga $\approx 3,3$ A saat iradiasi turun ke ≈ 320 W/m². Perbandingan langsung antar-sudut tidak dapat disimpulkan secara valid karena kedua sudut diuji pada rentang waktu dengan iradiasi berbeda (sudut 0° diuji siang hari, sudut 25° diuji sore hari), sehingga perbedaan daya lebih ditentukan oleh iradiasi daripada sudut. Karakteristik beban terbukti berpengaruh signifikan: beban resistif menghasilkan penyaluran daya paling stabil dengan faktor daya mendekati 1, sedangkan beban induktif menurunkan efisiensi akibat pergeseran fasa (lagging). Pengujian baterai lithium 12 V 42 Ah menunjukkan resistansi internal ± 50 m Ω dengan penurunan tegangan 0,19 V pada beban penuh dan laju pengosongan SOC yang berbanding lurus dengan besar beban. Pengujian validasi menunjukkan sistem monitoring memiliki akurasi tinggi pada pembacaan tegangan (98,7–99,4%) dan arus AC (100%), sedangkan akurasi arus DC sebesar 95,1% pada sudut 0° akibat deviasi pada arus rendah yang lebih dipengaruhi keterbatasan resolusi alat pembanding. Kesimpulannya, sistem PLTS off-grid yang dirancang mampu menyuplai beban AC secara stabil dengan pemantauan real-time yang andal.

Kata Kunci: PLTS Off-grid, Iradiasi Matahari, Karakteristik Beban, Sistem Monitoring, Akurasi Sensor.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PERFORMANCE ANALYSIS AND ELECTRICAL PARAMETER MONITORING OF AN OFF-GRID SOLAR POWER SYSTEM AGAINST LOAD VARIATIONS

ABSTRAC

This study analyzes the operational performance and reliability of an electrical parameter monitoring system in a 120 Wp off-grid PV system under dynamic load conditions. The evaluation compared DC (battery-side) and AC voltage and current parameters from conventional meters against an IoT-based digital monitoring system (ESP32 and Firebase). The effect of panel tilt was tested at two angles (0° and 25°), while load variation was tested using resistive (LED lamps), inductive (fan), and combined loads. The results show that DC output power is proportional to solar irradiance, evident from the drop in DC current to about 3.3 A when irradiance fell to around 320 W/m². A direct comparison between the two angles could not be validly concluded because they were tested during periods of differing irradiance (0° in the midday, 25° in the afternoon), so the power difference was driven more by irradiance than by tilt. Load characteristics proved significant: resistive loads produced the most stable power delivery with a power factor near unity, whereas inductive loads reduced efficiency due to phase lag. Testing of the 12 V 42 Ah lithium battery revealed an internal resistance of about 50 mΩ, a 0.19 V voltage drop at full load, and an SOC discharge rate proportional to load. Validation testing showed the monitoring system achieved high accuracy for voltage readings (98.7–99.4%) and AC current (100%), while DC current accuracy was 95.1% at 0° due to deviations at low current driven mainly by the resolution limits of the reference instrument. In conclusion, the designed off-grid PV system reliably supplies AC loads with dependable real-time monitoring.

Keywords: Off-grid PV System, Solar Irradiance, Load Characteristics, Monitoring System, Sensor Accuracy.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	v
ABSTRAC	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR RUMUS	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Luaran	3
BAB II TINJAUAN PUTSAKA	4
2.1 Penelitian Terkait	4
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	5
2.2.1 Panel Surya.....	7
2.2.2 Solar charger controller (SCC).....	10
2.2.3 Inverter Off-grid.....	11
2.2.4 Baterai	12
2.2.5 Miniatur Circuit Breaker (MCB).....	13
2.2.6 Kabel NYM.....	14
2.2.7 Kabel NYAF	15
2.2.8 Kabel AWG.....	15
2.2.9 Beban Listrik.....	16
2.3 Sistem Monitoring.....	17
2.3.1 ESP-WROOM-32 Dikit V1.....	18
2.4 Fire Base	19
2.5 Single-axis Tracking.....	20
2.6 Iradiasi Matahari	21
2.7 Pengaruh Perubahan Sudut Kemiringan.....	21
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT	24
3.1 Rancang Alat.....	24



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.1 Deskripsi Alat.....	24
3.1.2 Cara Kerja Alat.....	24
3.1.3 Spesifikasi Alat	26
3.1.4 Diagram Blok	28
3.1.5 Single Line Diagram	30
3.1.6 Wiring IOT	31
3.2 Realisasi Alat.....	31
3.3 Prosedur Pengambilan Data	32
3.3.1 Langkah- Langkah Pengambilan Data Secara otomatis.....	33
3.3.2 Langkah- Langkah Pengambilan Data Secara Manual	33
BAB IV PEMBAHASAN	36
4.1 Pengujian Sistem Dan Efisiensi Daya PV	36
4.1.1 Variasi Beban	36
4.1.2 Pengujian dengan Sudut Berbeda.....	37
4.1.3 Data Hasil Pengujian.....	37
4.1.4. Analisis Data	40
4.2 Pengujian Baterai	41
4.2.1 Data Hasil Pengujian.....	41
4.2.2 Analisis Data	42
4.3 Analisis Akurasi Sistem Monitoring	44
4.4 Efisiensi Daya PV Dan Baterai	46
4.4.1 Efisiensi Konversi Daya Panel Surya (PV).....	46
4.4.2. Efisiensi Baterai	49
BAB V PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	55
LAMPIRAN.....	56



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem PLTS <i>Off-grid</i>	6
Gambar 2. 2 Sistem PLTS <i>On-grid</i>	6
Gambar 2. 3 Panel Surya.....	8
Gambar 2. 4 <i>Solar Charger Controller</i>	10
Gambar 2. 5 <i>Off-grid Solar Inverter</i>	11
Gambar 2. 6 Baterai Lithium	12
Gambar 2. 7 Sensor PZEM-017	18
Gambar 2. 8 Sensor PZEM-004T.....	18
Gambar 2. 9 ESP 32.....	19
Gambar 2. 10 <i>Firebase</i>	19
Gambar 2. 11 <i>Single-axis Tracking</i>	20
Gambar 2. 12 Iradiasi Matahari	21
Gambar 2. 13 Pengaruh Sudut Kemiringan	22
Gambar 3. 1 Desain Alat.....	24
Gambar 3. 2 Diagram Blok	29
Gambar 3. 3 Single Line Diagram	30
Gambar 3. 4 Wiring IOT	31
Gambar 3. 5 Tampak Atas Alat.....	32
Gambar 3. 6 Tampak Depan Alat	32
Gambar 3. 7 Arus DC.....	33
Gambar 3. 8 Tegangan DC	34
Gambar 3. 9 Short Circuit.....	34
Gambar 3. 10 Solar Power Meter.....	35



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Panel Surya	9
Tabel 2.2 KHA Kabel NYM Sesuai Luas Penampang	14
Tabel 2.3 KHA Kabel NYAF Sesuai Luas Penampang.....	15
Tabel 2.4 KHA Kabel AWG Sesuai Luas Penampang.....	16
Tabel 2.5 Sensor PZEM	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Alat	26
Tabel 4.1 Pengujian Tegangan Dan Arus DC PLTS Sudut Kemiringan 0°	38
Tabel 4.2 Pengujian Tegangan Dan Arus DC PLTS Sudut Kemiringan 25°	38
Tabel 4.3 Pengujian Tegangan Dan Arus AC PLTS Sudut Kemiringan 0°	39
Tabel 4.4 Pengujian Tegangan Dan Arus AC PLTS Sudut Kemiringan 25°	39
Tabel 4.5 Data Hasil Pengosongan Baterai.....	42
Tabel 4.6 Data Hasil Pengisian Baterai	42
Tabel 4.7 Rekapitulasi Akurasi Sistem Monitoring per Parameter.....	45
Tabel 4.8 Efisiensi Konversi Daya Pv Sudut kemiringan 25°	47
Tabel 4.9 Efisiensi Konversi Daya Pv Sudut kemiringan 0°	47
Tabel 4.10 Efisiensi Internal Baterai Pada Proses Pengosongan	49

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Menentukan Energi Harian	9
Rumus 2.2 Menentukan Kapasitas PV	10
Rumus 2.3 Mengukur Kapasitas <i>Solar Charger Controller</i>	11
Rumus 2.4 Menentukan Kapasitas Inverter	11
Rumus 2.5 Menentukan Kapasitas Baterai	13
Rumus 2.6 Mengukur Arus Yang Mengalir Melalui MCB	13
Rumus 2.7 Perhitungan Spesifikasi MCB.....	14
Rumus 2.8 Perhitungan Penghantar Kabel Kuat Hantar Arus (NYM)	14
Rumus 2.9 Perhitungan Penghantar Kabel Kuat Hantar Arus (NYAF).....	15
Rumus 2.10 Perhitungan Penghantar Kabel Kuat Hantar Arus (AWG).....	16
Rumus 4.1 Analisis Akurasi Sistem Monitoting	40
Rumus 4.2 Pengujian Baterai	41
Rumus 4.3 Iradiasi Aktual.....	46
Rumus 4.4 Efisiensi Internal Baterai	49

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Kerangka.....	50
Lampiran 2 Proses Pengelasan Kerangka	50
Lampiran 3 Proses Pengecekan SCC	50
Lampiran 4 Proses Pemasukan Data	50
Lampiran 5 Proses Pengukuran <i>Irradiant</i>	50
Lampiran 6 Tampak Depan Alat.....	50



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Perkembangan energi terbarukan di Indonesia semakin signifikan seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya transisi energi dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* menjadi salah satu solusi strategis untuk penyediaan energi listrik di daerah terpencil, pulau-pulau kecil, dan wilayah yang belum terjangkau jaringan PLN. Sistem PLTS *off-grid*

Beroperasi secara mandiri dengan mengubah energi matahari menjadi listrik arus searah (DC) melalui panel surya, kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan saat intensitas iradiasi rendah atau pada malam hari. Meskipun potensi energi surya di Indonesia sangat besar, kinerja sistem PLTS *off-grid* sangat dipengaruhi oleh variasi intensitas iradiasi matahari, suhu modul, serta karakteristik beban yang terhubung (Hidayat & Prasetyo, 2021).

Sistem monitoring parameter kelistrikan memegang peranan vital dalam operasional PLTS *off-grid* untuk memastikan efisiensi dan keandalan sistem. Parameter kelistrikan yang perlu dipantau mencakup tegangan, arus, daya aktif, energi, dan kondisi beban secara *real-time*. Tanpa sistem monitoring yang efektif, sulit untuk mendeteksi apakah sistem berfungsi optimal atau terdapat masalah yang memerlukan intervensi segera. Sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan performa keseluruhan sistem dari lokasi mana pun, memberikan kemudahan dalam mengawasi kondisi PLTS dan mendukung proses evaluasi kinerja secara menyeluruh (Rahman et al., 2022).

Berbagai permasalahan sering terjadi pada sistem monitoring PLTS, terutama terkait akurasi pembacaan data dan pengaruh variasi beban terhadap performa sistem. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi modul aktual PLTS *off-grid* sering kali jauh lebih rendah dibandingkan efisiensi nominal akibat pengaruh suhu dan rugi-rugi sistem, dengan rentang efisiensi aktual 2,04%–15,66% sedangkan

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

efisiensi nominal mencapai 17%. Selain itu, efisiensi kinerja sistem belum dapat diukur secara menyeluruh dan akurat akibat keterbatasan pemantauan pada sistem PLTS. Variasi beban yang terhubung terhadap sistem PLTS *off-grid* secara signifikan mempengaruhi daya keluaran panel surya, efisiensi inverter yang relatif stabil pada kisaran 72%–85%, serta efisiensi sistem keseluruhan yang berada pada rentang 1,60%–11,98% (Saputra et al., 2021).

Ketidakakuratan monitoring berdampak serius terhadap efisiensi, keandalan, dan evaluasi kinerja PLTS *off-grid*. Rasio kinerja sistem (*Performance Ratio*) dapat mencapai 82,3%, namun kerugian utama disebabkan oleh faktor radiasi/suhu, inefisiensi inverter/baterai, dan kejenuhan sistem yang tidak terdeteksi tanpa monitoring akurat. Dampak ini mengakibatkan efisiensi sistem secara keseluruhan sulit dioptimalkan, umur baterai berkurang akibat pengisian berlebih atau pengosongan berlebihan, serta kemampuan evaluasi kinerja sistem menjadi terbatas. Oleh karena itu, diperlukan analisis kinerja dan pengujian akurasi monitoring parameter kelistrikan sebagai upaya meningkatkan efektivitas sistem PLTS *off-grid*.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem monitoring, instalasi sensor tegangan, arus, daya, dan iradiasi, serta integrasi mikrokontroler dengan platform cloud untuk pengambilan data *real-time*. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi beban untuk menganalisis pengaruh karakteristik beban terhadap akurasi pembacaan parameter kelistrikan dan performa sistem secara keseluruhan. Penelitian ini penting dilakukan karena masih terbatasnya studi yang secara spesifik menganalisis hubungan antara variasi beban dengan akurasi monitoring parameter kelistrikan pada sistem PLTS *off-grid*, padahal kedua faktor ini sangat menentukan efisiensi dan keandalan operasional system (Putra et al., 2023).

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dan menguji akurasi monitoring parameter kelistrikan pada sistem PLTS *off-grid* terhadap beban guna meningkatkan efektivitas operasional, keandalan sistem, dan ketepatan evaluasi performa PLTS *off-grid* di Indonesia

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas, maka didapatkan perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efisiensi daya panel surya (*Photovoltaic*) 120 Wp pada sistem PLTS *off-grid* saat dioperasikan pada berbagai kondisi intensitas iradiasi matahari?
2. Bagaimana pengaruh perubahan sudut kemiringan pada daya luaran PLTS *Off-grid*?
3. Bagaimana pengaruh variasi beban (beban resistif, induktif dan campuran) terhadap parameter kelistrikan tegangan, arus, daya, dan energi yang terbaca pada sistem monitoring?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin diraih dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik kinerja sistem PLTS *off-grid* meliputi tegangan keluaran, arus beban, daya aktif, dan energi terakumulasi pada berbagai kondisi beban
2. Menganalisis pengaruh variasi beban (beban resistif tunggal dan beban campuran) terhadap karakteristik parameter kelistrikan sistem PLTS *off-grid* secara *real-time*.
3. Menganalisis efisiensi daya panel surya (*Photovoltaic*) 120 W

1.4 Luaran

Luaran yang diharapkan dari hasil tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Prototipe sistem PLTS *off-grid* 120 Wp yang mampu menyuplai beban arus *alternating current* secara optimal dan stabil.
2. Artikel SNTE yang mencakup proses perencanaan, perancangan sistem PLTS *off-grid*, meliputi panel surya, *solar charger controller*, baterai, dan inverter, agar sesuai dengan kebutuhan beban.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Tegangan dan Arus Sisi DC: Tegangan baterai berada pada rentang *discharge plateau* yang stabil (12,57 V – 12,96 V) saat menyuplai beban, sebelum akhirnya mengalami penurunan tajam (*drop*) hingga 11,10 V saat kapasitas energi kumulatif baterai terkuras mendekati titik *cut-off* nominalnya (504 Wh). Arus pengosongan baterai stabil pada rata-rata 6,02 A untuk beban penuh nominal $\approx$ 75–80 W.
2. Tegangan dan Arus Sisi AC: Tegangan keluaran AC setelah melewati inverter stabil pada rentang 218,1 V – 230,8 V, yang memenuhi standar suplai peralatan rumah tangga. Arus beban AC mengalir konstan pada kisaran sempit 0,27 A – 0,28 A.
3. Akurasi Sistem Monitoring IoT: Sistem monitoring berbasis ESP32 dan Firebase terbukti sangat andal dalam mengawasi karakteristik tersebut secara *real-time* dengan rata-rata akurasi keseluruhan mencapai 99,06%. Akurasi sempurna 100% dicapai pada parameter arus AC, disusul tegangan AC (99,30%–99,66%), tegangan DC (98,81%–99,69%), dan arus DC (97,15%–98,11%). Deviasi kecil pada arus DC hanya terjadi pada kondisi arus rendah akibat keterbatasan sensitivitas sensor *resistive shunt*.
4. Karakteristik Beban Resistif (Lampu LED): Menghasilkan penyaluran daya yang paling stabil dengan faktor daya ($\cos \phi$) mendekati 1, sehingga seluruh daya tersalurkan secara optimal tanpa menimbulkan kerugian daya reaktif pada sistem.
5. Karakteristik Beban Induktif & Campuran (Kipas Angin + LED): Penambahan beban induktif motor kipas angin memicu terjadinya pergeseran fasa arus terhadap tegangan (*lagging*), yang menurunkan efisiensi sistem akibat timbulnya daya reaktif, sehingga menarik arus DC yang lebih besar dari baterai untuk mempertahankan daya aktif AC yang sama.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Efisiensi Terhadap Iradiasi dan Siklus SCC: Efisiensi konversi daya PV bekerja optimal pada kisaran 90% hingga 96% pada pagi hingga siang hari saat iradiasi matahari tinggi. Namun, efisiensi sistemis turun tajam menjadi 18% hingga 45% pada sore hari karena Solar Charge Controller (SCC) membatasi laju arus pengisian guna melindungi baterai dari *overcharging* karena kapasitas baterai sudah hampir penuh ($\approx 497,4 \text{ Wh}$).
7. Pengaruh Sudut Kemiringan: Pengujian sudut kemiringan 25° menghasilkan rentang variasi arus DC aktual yang lebih tinggi (maksimal 8,36 A) dibandingkan sudut 0° (maksimal 8,09 A). Perubahan sudut datang matahari memengaruhi daya serap optimal, namun perbedaan daya keluaran pada pengujian ini masih didominasi oleh fluktuasi iradiasi cuaca eksternal harian.

5.2 Saran

1. Untuk Mengoptimalkan Karakteristik Kinerja & Akurasi Monitoring Perlu diimplementasikan algoritma filter digital seperti *Kalman Filter* atau *Moving Average Filter* pada pemrograman ESP32 untuk menekan noise ADC pembacaan sensor arus DC (PZEM-017) pada kondisi sinyal rendah (di bawah 2 A), sehingga deviasi minor pembacaan arus DC pada pagi/sore hari dapat diminimalkan.
2. Untuk Memitigasi Dampak Karakteristik Beban & Melindungi Sistem Baterai Disarankan untuk menambahkan sistem proteksi otomatis berbasis perangkat lunak (*logic code control*) yang terintegrasi dengan sakelar digital/relay. Sistem harus dikonfigurasi untuk memutus aliran dari baterai ke inverter secara otomatis jika tegangan baterai menyentuh batas kritis pengosongan (*cut-off* $\approx 11,10 \text{ V}$) untuk menghindari kerusakan sel akibat *over-discharge* saat menyuplai beban campuran dalam waktu lama.
3. Untuk Memvalidasi Pengaruh Sudut dan Efisiensi PV secara Objektif Untuk penelitian selanjutnya, pengujian variasi sudut kemiringan panel (0° dan 25°) sebaiknya dilakukan secara bersamaan (*simultaneous/parallel testing*) menggunakan dua prototipe PLTS dengan spesifikasi komponen yang sama persis pada hari, jam, dan kondisi cuaca yang identik. Hal ini penting agar data efisiensi daya yang dihasilkan murni mencerminkan pengaruh variasi sudut penempatan panel tanpa terdistorsi bias variabilitas cuaca antar-hari

DAFTAR PUSTAKA

Adrian Pramuditya, et al. (2023). Aplikasi Peripheral Board Test Tool untuk Pengujian Modul Mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1. *Jurnal Rekayasa Elektronika*, 11(2), 85-92.

Arifin. (2019). Analisis Konfigurasi DC-Coupling dan AC-Coupling pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Teknik Energi*, 15(2), 45-52.

Desai, M., Mukhopadhyay, S., & Ray, S. (2021). Optimization of Tilt Angle for Solar Photovoltaic Systems: A Review. *International Journal of Sustainable Energy*, 40(5), 412-425.

Diniardi, E., et al. (2022). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Penggunaan Listrik Rumah Tangga. *Jurnal Energi Terbarukan*, 10(1), 12-20.

Gupta, A., et al. (2023). Performance Evaluation of Single-Axis Solar Tracking Systems in Tropical Regions. *Solar Energy Research and Applications*, 14(3), 188-195.

Haryanto, T. (2019). Sistem Kontrol Pengisian Baterai Menggunakan Solar Charge Controller (SCC) pada PLTS. *Jurnal Otomasi dan Instrumentasi*, 8(3), 112-119.

Hidayat, A., & Prasetyo, B. (2021). Analisis Pengaruh Karakteristik Beban Dinamis dan Iradiasi Matahari terhadap Kinerja Modul Aktual PLTS Off-grid. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(2), 88-95.

Kurniawan, R., & Setiawan, A. (2023). Pengaruh Variasi Beban terhadap Kinerja Parameter Keluaran Sistem Tenaga Surya. *Jurnal Ketenagalistrikan Modern*, 11(2), 74-81.

Kurniawan, R., et al. (2021). Penerapan Cloud Storage sebagai Media Penyimpanan Objek Multimedia pada Aplikasi Berbasis Web. *Jurnal Teknologi Informasi*, 9(3), 120-128.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Maulana, I., et al. (2023). Monitoring PLTS Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32 dan Firebase. *Jurnal Teknologi Informasi dan Rekayasa Komputer*, 5(1), 34-42.

Nuryanto. (2021). Perancangan Kapasitas dan Analisis Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 14(1), 22-29.

Putra, D., et al. (2023). Studi Akurasi Monitoring Parameter Kelistrikan Berbasis Sensor Digital pada Sistem PLTS Off-grid Terhadap Variasi Beban. *Jurnal Riset Teknologi Elektro*, 7(4), 201-209.

Rahman, F., et al. (2022). Sistem Monitoring Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Pengawasan Efisiensi Operasional PLTS Secara Real-time. *Jurnal Informatika dan Sistem Komputer*, 12(3), 145-153.

Ramadhana, R., et al. (2022). Analisis Kinerja dan Pemilihan Komponen Optimal pada Sistem PLTS Off-grid dan On-grid. *Jurnal Teknik Energi Baru*, 11(3), 102-110.

Saputra, E., et al. (2021). Evaluasi Efisiensi Inverter dan Rugi-Rugi Daya Aktual pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Tenaga Kelistrikan*, 9(2), 67-75.

Setiana, H. (2024). *Buku Ajar Desain Sistem Energi Terbarukan: Perhitungan Kapasitas Komponen PLTS Off-Grid*. Depok: PNJ Press.

Sukatno. (2024). Pengaruh Lingkungan Terhadap Nilai Kerapatan Fluks Radiasi Gelombang Pendek Matahari Wilayah Depok. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 10-18.

Tambunan, B. (2020). Potensi Energi Matahari dan Perkembangan Regulasi Kebijakan Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia. *Jurnal Kebijakan Energi Nasional*, 4(2), 55-63.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nayla Assarifah Safrudin

Lulusan dari SD Negeri 11 Depok pada tahun 2017, MTS Negeri 33 Jakarta pada tahun 2020, dilanjutkan menempuh pendidikan di SMK Negeri 4 Depok Jurusan Kelistrikan Pesawat Udara dan lulus pada tahun 2023. Gelar Diploma Tiga (D3) diperoleh pada tahun 2026 dari Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Jakarta.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

