



© 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



**PERANCANGAN KONTROL CLOSED-LOOP DAN
MONITORING LOCAL WEB PADA SISTEM SOLAR
TRACKING DUAL AXIS BERBASIS ESP32**

SKRIPSI

MUHAMMAD RAFI FARIZAN

2203411047

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI
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



**PERANCANGAN KONTROL CLOSED-LOOP DAN
MONITORING LOCAL WEB PADA SISTEM SOLAR
TRACKING DUAL AXIS BERBASIS ESP32**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Diploma Empat**

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

MUHAMMAD RAFI FARIZAN

2203411047

**PROGRAM STUDI TEKNIK OTOMASI LISTRIK INDUSTRI
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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Rafi Farizan

NIM : 2203411047

Tanda Tangan :

Tanggal : 3 Juli 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh :

Nama : Muhammad Rafi Farizan
 NIM : 2203411047
 Program Studi : Teknik Otomasi Listrik Industri
 Judul Tugas Akhir : Perancangan Kontrol Closed-Loop dan Monitoring Local Web pada Sistem Solar Tracking Dual Axis Berbasis ESP32

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 29 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Ir.Danang Widjajanto, M.T., M.Kom ()
 196609012000121001

Pembimbing II : Arum Kusuma Wardhany, S.T., M.T. ()
 199107132020122013

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 16 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro





Dr., Murie Dwiyaniti, 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatnya, hingga dapat menyelesaikan Skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma IV pada Politeknik Negeri Jakarta. Skripsi yang berjudul “Perancangan Kontrol Closed-Loop dan Monitoring Local Web Pada Sistem Solar Tracking Dual Axis Berbasis ESP32”, yang mana penulis menyadari bahwa tanpa bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak selama masa perkuliahan hingga penyusunan laporan ini, akan sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya dengan baik, sehingga penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Ibu Dr. Murie Dwiyanti, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dezetty Monika, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri.
3. Bapak Ir. Danang Widjajanto, S.T., M.T dan Ibu Arum Kusuma Wardhany, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dan membimbing penulisan skripsi ini.
4. Orang tua yang senantiasa memberikan dukungan moral, doa, dan kasih sayang yang tiada henti dalam setiap langkah penulis.
5. Rekan satu tim, Faisal Kurnia Habibi dan Rama Pramesia P, atas kerja sama, semangat, dan diskusinya selama proses pengerjaan skripsi.
6. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyusunan laporan skripsi.

Akhir kata, penulis berharap kepada Allah SWT, berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 1 Juni 2026

Muhammad Rafi Farizan



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

ABSTRAK

Pada penerapan energi terbarukan, efektivitas panel surya dalam menyerap sinar matahari masih belum maksimal. Salah satu penyebab utamanya adalah pemasangan panel yang bersifat statis, sehingga tidak selalu berada pada posisi optimal terhadap arah datangnya sinar matahari. Untuk mengatasi permasalahan ini, dikembangkan teknologi *solar tracking dual-axis* yang memungkinkan panel surya bergerak mengikuti arah cahaya tertinggi. Pada penelitian sebelumnya oleh Richard Calvin, telah mencoba mengembangkan sistem *dual-axis solar tracking* namun masih menggunakan kontrol konvensional. Pada penelitian ini, digunakan sensor sudut dan azimuth sebagai penentu arah dan sudut elevasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat yang masih konvensional ini, dengan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor ICM 20948. Berdasarkan hasil pengujian, sistem *solar tracking* mampu menghasilkan daya keluaran rata-rata sebesar 39,08 Watt dibandingkan statis yang hanya 18,97 Watt dengan beban 45 Watt. Grafik menunjukkan intensitas cahaya yang diterima dengan rata-rata 65.222 lux untuk mode *tracking* dan 58.297 lux untuk mode statis. Selain mengoptimalkan daya keluaran, alat ini terdapat sensor sudut dan arah untuk mengetahui arah panel surya menghadap. Diperoleh dari hasil pengujian, sensor ICM 20948 beroperasi dengan baik sebagai *feedback* sudut elevasi dengan rata-rata *error* 1,67%. Namun, pada sumbu azimuth ditemukan *error* yang meningkat seiring bertambahnya sudut elevasi panel, dari rata-rata 2,14% pada elevasi 0° hingga rata-rata 6,45% pada elevasi 40°, dengan titik *error* tertinggi mencapai 9,92%. Hal ini disebabkan sensor kurang mampu mendeteksi medan magnet bumi yang sangat kecil, disarankan untuk dikalibrasi lebih lanjut. Agar dapat dipantau secara nirkabel, alat ini difasilitasi oleh *monitoring* web lokal ESP32 yang menunjukkan keakuratan data. *Response time* rata-rata pengiriman data ke web yaitu 291 ms dan maksimal berada di 1368 ms, ini terjadi karena adanya urutan program dan interferensi frekuensi wifi.

Kata kunci : *ESP32, ICM 20948, Local Web, Microcontroller, Response Time.*



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

ABSTRACT

In the application of renewable energy, the effectiveness of solar panels in absorbing sunlight is still not optimal. One of the main reasons is the static installation of the panels, which prevents them from always being in the optimal position relative to the direction of incoming sunlight. To overcome this problem, a dual-axis solar tracking technology was developed, allowing the solar panels to move following the direction of the highest light intensity. Previous research by Richard Calvin attempted to develop a dual-axis solar tracking system but still utilized conventional control. In this research, angle and azimuth sensors are used to determine the direction and elevation angle. This research aims to develop this conventional device by utilizing the ESP32 microcontroller and the ICM 20948 sensor. Based on the test results, the solar tracking system produced an average output power of 39.08 Watts compared to the static system's 18.97 Watts with a 45-Watt load. The graph shows an average received light intensity of 65,222 lux for the tracking mode and 58,297 lux for the static mode. In addition to optimizing output power, this device includes angle and direction sensors to identify the orientation of the solar panel. From the test results, the ICM 20948 sensor operates well as elevation angle feedback with an average error of 1.67%. However, on the azimuth axis, the error was found to increase as the panel's elevation angle increased, from an average of 2.14% at 0° elevation to an average of 6.45% at 40° elevation, with the highest single error point reaching 9.92%. This is due to the sensor's limited ability to detect the earth's very weak magnetic field, and further calibration is recommended. To enable wireless monitoring, this device is facilitated by an ESP32 local web monitoring system that demonstrates data accuracy. The average response time for data transmission to the web is 291 ms, with a maximum of 1,368 ms; this occurs due to the programming sequence and Wi-Fi frequency interference.

Keywords : ESP32, ICM 20948, Local Web, Microcontroller, Response Time.



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

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Luaran.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Panel Surya	6
2.2.2 Sistem Solar Tracking.....	8
2.2.3 Mikrokontroler ESP-32	9
2.2.4 Local Web Monitoring.....	10
2.2.5 Sensor Gyroscope dan Magnetometer (ICM 20948)	11
BAB III PERANCANGAN DAN REALISASI	13
3.1 Perancangan Alat	13
3.1.1 Deskripsi Kerja Alat.....	13
3.1.2 Cara Kerja Alat	14
3.1.3 Spesifikasi Alat	19
3.1.4 Diagram Blok.....	22
3.1.5 Desain sistem	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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.1.6 Desain Alat.....	25
3.1.7 Diagram Pengawatan	29
3.2 Realisasi Alat	30
3.2.1 Perhitungan Daya Panel Surya	30
3.2.2 Realisasi Panel Kontrol.....	30
3.2.3 Realisasi Panel Utama	31
3.2.4 Realisasi Komponen	33
3.2.5 Realisasi Pemrograman Arduino IDE.....	34
3.2.6 Realisasi Dashboard Monitoring Local Web	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Pengujian Sistem Kontrol Closed-Loop.....	41
4.1.1 Deskripsi Pengujian	41
4.1.2 Prosedur Pengujian	41
4.1.3 Data Hasil Pengujian	41
4.1.4 Analisa Data Pengujian.....	42
4.2 Pengujian Stabilitas PLTS Solar Tracking.....	42
4.2.1 Deskripsi Pengujian	42
4.2.2 Prosedur Pengujian	43
4.2.3 Data Hasil Pengujian	43
4.2.4 Analisa Data Pengujian.....	46
4.3 Pengujian Sistem Monitoring Local Web.....	47
4.3.1 Deskripsi Pengujian	47
4.3.2 Prosedur Pengujian	47
4.3.3 Data Hasil Pengujian	48
4.3.4 Analisa Data Pengujian.....	50
4.4 Pengujian Akurasi Sensor Sudut dan Arah terhadap Kondisi Aktual.....	52
4.4.1 Deskripsi Pengujian	52
4.4.2 Prosedur Pengujian	52
4.4.3 Data Hasil Pengujian	53
4.4.4 Analisa Data Pengujian.....	55
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

LAMPIRAN	62
----------------	----



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori latensi pengiriman data.....	11
Tabel 3. 1 Spesifikasi alat.....	19
Tabel 4. 1 Pengujian sistem kontrol.	41
Tabel 4. 2 Pengujian Solar Tracking mode otomatis interval 10 menit.	43
Tabel 4. 3 Pengujian Solar Tracking mode statis interval 10 menit.....	44
Tabel 4. 4 Pengujian data logging tracking.....	48
Tabel 4. 5 Pengujian response time monitoring.	49
Tabel 4. 6 Pengujian jarak local wifi.....	50
Tabel 4. 7 Nilai error sudut elevasi.	53
Tabel 4. 8 Nilai error sudut azimuth pada elevasi 0°.....	53
Tabel 4. 9 Nilai error sudut azimuth pada elevasi 10°.....	53
Tabel 4. 10 Nilai error sudut azimuth pada elevasi 20°.....	54
Tabel 4. 11 Nilai error sudut azimuth pada elevasi 30°.....	54
Tabel 4. 12 Nilai error sudut azimuth pada elevasi 40°.....	54

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Panel Surya.....	6
Gambar 2. 2 Ilustrasi Solar Tracking.	8
Gambar 2. 3 Mikrokontroler ESP32.	10
Gambar 2. 4 Modul 9 DoF ICM 20948.	12
Gambar 3. 1 Flowchart sistem mode otomatis.....	15
Gambar 3. 2 Flowchart sistem mode manual.....	17
Gambar 3. 3 Flowchart sistem monitoring local web.	18
Gambar 3. 4 Diagram blok alat.....	23
Gambar 3. 5 Desain sistem alat.....	24
Gambar 3. 6 Desain keseluruhan alat.....	25
Gambar 3. 7 Desain panel kontrol.....	26
Gambar 3. 8 Tampak depan panel kontrol.	26
Gambar 3. 9 Desain panel utama.	27
Gambar 3. 10 Tampak depan panel utama.	27
Gambar 3. 11 Desain penempatan LDR tampak atas.....	28
Gambar 3. 12 Diagram pengawatan daya.	29
Gambar 3. 13 Diagram pengawatan mikrokontroler ESP32.....	29
Gambar 3. 14 Diagram pengawatan catu daya sensor.....	30
Gambar 3. 15 Realisasi panel kontrol.	31
Gambar 3. 16 Realisasi panel utama.	32
Gambar 3. 17 Realisasi panel utama tampak depan.....	32
Gambar 3. 18 Realisasi penempatan LDR.	33
Gambar 3. 19 Realisasi penempatan sensor suhu.	34
Gambar 3. 20 Konfigurasi Arduino IDE.	34
Gambar 3. 21 Fundamental program Arduino IDE.....	35
Gambar 3. 22 Penambahan library.....	35
Gambar 3. 23 Menentukan pin input/output.....	36
Gambar 3. 24 Penggunaan komunikasi I2C.....	36
Gambar 3. 25 Pembuatan variabel parameter.	37
Gambar 3. 26 Penggunaan delay fluktuasi pada motor.....	37
Gambar 3. 27 Program konfigurasi wifi dan server.	38
Gambar 3. 28 Dashboard monitoring local web.	38
Gambar 3. 29 Tampilan datalogging local web.....	39
Gambar 3. 30 Program pengaturan maksimal datalogging.....	39
Gambar 3. 31 Tampilan kinerja jaringan.....	40
Gambar 4. 1 Grafik stabilitas intensitas cahaya interval 10 menit.....	46
Gambar 4. 2 Grafik stabilitas daya keluaran PV interval 10 menit.	46
Gambar 4. 3 Response time pengiriman data monitoring.....	50
Gambar 4. 4 Error sensor sudut elevasi.	55
Gambar 4. 5 Rata-rata error sudut azimuth terhadap elevasi.	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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada penerapan energi terbarukan, efektivitas panel surya dalam menyerap sinar matahari masih belum maksimal. Salah satu penyebab utamanya adalah pemasangan panel yang bersifat statis atau diam, sehingga tidak selalu berada pada posisi optimal terhadap arah datangnya sinar matahari (Mafendro et al., 2024). Secara teori panel surya akan bekerja lebih optimal apabila posisinya selalu tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya matahari, sehingga radiasi yang diterima dapat dimaksimalkan (Prayoga et al., 2025).

Untuk mengatasi permasalahan ini, dikembangkan teknologi *solar tracking dual-axis* yang memungkinkan panel surya bergerak mengikuti arah cahaya tertinggi. Dengan sistem ini, energi yang diserap dapat lebih maksimal dibandingkan dengan panel statis (Mustafa & Shakir, 2018).

Penelitian sebelumnya oleh (Kalvin, 2023) telah mencoba mengembangkan sistem *dual-axis solar tracking* menggunakan sensor cahaya berupa Light Dependent Resistor (LDR) digital dan belum menggunakan sensor sudut dan sensor arah. Sistem tersebut masih menggunakan logika kontrol digital berupa 1 dan 0 melalui modul relay LDR. Hal ini menyebabkan pembacaan intensitas cahaya menjadi kurang presisi, serta tidak adanya pembacaan sensor sudut sehingga pergerakan panel cenderung kaku dan kurang responsif terhadap perubahan posisi matahari. Selain itu, pada sistem ini juga belum terdapat pengoperasian secara manual sehingga tidak dapat digunakan sebagai modul pembelajaran efektif (Rohim et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan sistem yang mampu memberikan kontrol pergerakan yang lebih halus, stabil, dan responsif. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah sistem kontrol *closed-loop* berbasis mikrokontroler, yang mampu mengolah data sensor secara kontinu dan memberikan respon yang lebih presisi terhadap perubahan kondisi (Al-hilli & Muhammed, 2022). Konsep ini menggunakan beberapa sensor LDR analog yang dibandingkan nilainya agar berada dalam rentang toleransi tertentu, sehingga motor DC akan aktif menyesuaikan dengan rentang tersebut dan tidak mudah berosilasi akibat perubahan



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

cahaya yang kecil (Huynh et al., 2013). Dalam pengoperasian manual, sudut dan arah PV dapat ditentukan melalui keypad dan layar serta integrasi sensor sudut dan arah agar dapat memberikan *feedback*. Pada penelitian ini juga dilengkapi dengan fitur monitoring berbasis *local web* yang menampilkan nilai tegangan, arus, daya, suhu, intensitas cahaya, sudut, dan arah yang dapat diakses tanpa koneksi internet (Quinn et al., 2026).

Dengan dikembangkannya sistem ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi pada panel surya sekaligus mempermudah proses pembelajaran praktikum Energi Baru Terbarukan agar menjadi lebih interaktif, efisien, dan berbasis teknologi yang lebih modern.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam perancangan ini adalah :

1. Bagaimana kinerja kontrol closed-loop berdasarkan alur kerja sistem?
2. Bagaimana stabilitas sistem untuk meningkatkan penyerapan energi solar tracking?
3. Bagaimana kinerja sistem monitoring berbasis local web dalam menampilkan parameter secara real-time?
4. Bagaimana akurasi sensor sudut dan sensor arah terhadap kondisi aktual?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, adapun tujuan yang dicapai yaitu:

1. Mengevaluasi kinerja kontrol closed-loop sesuai dengan alur kerja sistem.
2. Meningkatkan stabilitas penyerapan energi pada solar tracking berbasis ESP32.
3. Mengetahui kinerja dashboard monitoring local web ESP32 yang menampilkan parameter dan datalogger sistem yang telah ditentukan.
4. Menganalisis tingkat akurasi dan error pada sensor sudut dan sensor arah.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah fokus pada tujuan utama, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Penulis berfokus bagaimana mengontrol panel surya sesuai banyaknya cahaya yang diserap.



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Pada sistem ini, datalogging hanya dapat tersimpan di web pada saat ESP32 aktif.

1.5 Luaran

Luaran yang dihasilkan dari skripsi ini meliputi:

1. Modul pembelajaran PLTS Solar Tracking yang telah dikembangkan.
2. Laporan penelitian Pengembangan *Solar Tracking Dual Axis* berbasis mikrokontroler ESP32.
3. Publikasi artikel ilmiah yang berasal dari hasil penelitian.





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

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem solar tracking dual-axis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Secara menyeluruh, sistem ini bekerja dengan baik mengacu pada alur kerja yang ditentukan.
2. Penerapan *solar tracking* terbukti meningkatkan penyerapan energi matahari dibandingkan sistem statis. Berdasarkan data pengujian Tabel 4.2 dan 4.3, sistem tracking menghasilkan rata-rata intensitas cahaya sebesar 65.222 lux, lebih tinggi dibandingkan mode statis yang hanya menyerap rata-rata 58.297 lux. Peningkatan intensitas ini berdampak signifikan pada daya keluaran, di mana sistem tracking mampu menghasilkan rata-rata daya sebesar 39,08 Watt, atau sekitar dua kali lipat dibandingkan panel statis yang hanya menghasilkan rata-rata 18,97 Watt.
3. Implementasi monitoring berbasis local web server menggunakan ESP32 berjalan dengan sangat efisien tanpa membebani komputasi aktuator. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata waktu respons pembaruan data ke peramban klien berada pada angka 291 ms. Meskipun tercatat adanya lonjakan latensi maksimum hingga 1368 ms yang bersumber dari urutan eksekusi program dan interferensi frekuensi wifi, keterlambatan pengiriman data visual ini terbukti tidak menginterupsi maupun mendegradasi akurasi eksekusi putaran motor tracking sama sekali. Data yang tersimpan pada datalogging mencapai 100%, tidak terdapat packet loss selama alat berada dalam jangkauan efektif. Packet loss terindikasi 100% apabila pengujian terhalang oleh dinding atau berada pada jarak 30 meter atau lebih.
4. Sensor ICM-20948 menunjukkan akurasi yang baik sebagai feedback sudut elevasi, dengan rata-rata error hanya sebesar 1,67% (error minimum 0,5% dan maksimum 5,75% pada sudut 40°). Sementara itu, pada pembacaan sudut azimuth ditemukan error yang meningkat seiring bertambahnya sudut elevasi panel, dari rata-rata 2,14% pada elevasi 0° hingga rata-rata 6,45% pada elevasi



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

40°, dengan error tertinggi pada satu titik pengujian mencapai 9,92% (elevasi 40°, azimuth 150°) dan rata-rata keseluruhan sebesar 3,96%. Peningkatan error ini disebabkan oleh keterbatasan magnetometer dalam mendeteksi medan magnet bumi yang sangat lemah, ditambah pengaruh distorsi magnetik (Hard-Iron Bias) dari struktur feromagnetik alat yang semakin signifikan seiring bertambahnya sudut kemiringan panel. Meskipun demikian, keterbatasan pembacaan sudut azimuth ini tidak menggagalkan fungsi tracking secara keseluruhan, karena mikrokontroler tetap memprioritaskan selisih pembacaan LDR sebagai acuan kontrol presisi utamanya..

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Pengujian sistem dapat dilakukan dalam periode waktu yang lebih panjang untuk mengetahui performa, keandalan, dan stabilitas sistem solar tracking dalam penggunaan jangka panjang.
2. Sistem monitoring yang telah dikembangkan dapat ditingkatkan menjadi sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dengan akses jarak jauh melalui jaringan internet.
3. Penggunaan sensor dapat ditingkatkan ke sensor yang lebih baik dan masih perlu banyak kalibrasi mendalam mengenai sensor ICM 20948.



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

DAFTAR PUSTAKA

- Al-hilli, B. A. M., & Muhammed, H. A. (2022). *A Performance Study of the Prototype Fixed , Open-Loop and Closed-Loop Solar Cell Tracking Systems*. 63(7), 2935–2944. <https://doi.org/10.24996/ijs.2022.63.7.17>
- Allafi, I., & Iqbal, T. (2017). Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring. *2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*. <https://doi.org/10.1109/EPEC.2017.8286184>
- Folkesson, J., Chang, H., & Bore, N. (2020). *Lambert ' s Cosine Law and Sidescan Sonar Modeling*.
- Gusti, A. C. W. P., Krismanto, A. U., & Labib, R. P. M. D. (2024). Desain Sistem Kendali Dual Axis Solar Tracker Berbasis Fuzzy Type 2. *Magnetika*, 8(2), 183–193. <https://ejournal.itn.ac.id/magnetika/article/view/10295>
- Hadiatna, F., Nataliana, D., & Ardiatama, R. (2024). *Rancang Bangun Sistem Pemantauan Pergerakan Photovoltaic sebagai Media Pembelajaran*. 12(3), 772–783. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i3.772>
- Huynh, D. C., Nguyen, T. M., Dunnigan, M. W., & Mueller, M. A. (2013). *Comparison between Open- and Closed-Loop Trackers of a Solar Photovoltaic System*. 128–133. <https://doi.org/10.1109/CEAT.2013.6775613>
- Kalvin, R. (2023). *Kontrol Dual Axis Solar Tracking System Bebas LDR*. 4–67.
- Mafendro, Y., Eka, D., Tendi, M., Ramadhan, N., & Maulida, A. (2024). *Design a Smart Solar Tracker to Increase Energy Output Power Generated in Solar Home System Rancang Bangun Smart Solar Tracker untuk Meningkatkan Daya Output Energi yang Dihasilkan pada Solar Home System*. 53–62.
- Michael, P. R., Johnston, D. E., & Moreno, W. (2020). A conversion guide: Solar irradiance and lux illuminance. *Journal of Measurements in Engineering*, 8(4), 153–166. <https://doi.org/10.21595/jme.2020.21667>
- Mustafa, F. I., & Shakir, S. (2018). *Simple Design and Implementation of Solar tracking System Two Axis with Four Sensors for Baghdad city. Irec*.



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
- Neil Cameron. (2023). *ESP32 Microcontroller*. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9376-8_1
- Prayoga, M. R., Sunawar, A., & Djaohar, M. (2025). *Design of Prototype Solar Tracking System Dual Axis Based on Positioning System (GPS) for Energy Optimization on 100WP Solar Panel*. 8(1), 19–26.
- Purwoto, B. H., Huda, I. F., Teknik, F., Surakarta, U. M., & Surya, P. (2000). *EFISIENSI PENGGUNAAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER*. 10–14.
- Putawa, R. A. (2022). Makna Filosofis Ketidadaan dan Relevansinya dengan Tipe Data Undefined pada Javascript. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 5(1), 80–86. <https://doi.org/10.23887/jfi.v5i1.41775>
- Quinn, T. N., Triana, L., Singarimbun, B., Auliya, A., Siburian, N., & Nurul, A. (2026). *Design and Implementation of an ESP32-Based Smart Cooling System with Real-Time Web Monitoring*. 1(1), 12–19. <https://doi.org/10.65358/2jgfp42>
- Rahmatullah, R., Kadarina, T. M., Irawan, B. B., Septiawan, R., Rufiyanto, A., Sulistya, B., Santiko, A. B., Adi, P. D. P., Plamonia, N., Shabajee, R. K., Atmoko, S., Mahabrur, D., & Prastiyono, Y. (2023). Design and Implementation of IoT-Based Monitoring Battery and Solar Panel Temperature in Hydroponic System. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 9(3), 810–820. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v9i3.26729>
- Rohim, F. F. N., Wijayanto, D. S., & Saputra, T. W. (2024). *Pengembangan e-Modul Panel Surya dengan Solar Tracker Single Axis pada Mata Kuliah Energi Baru dan Terbarukan Universitas Sebelas Maret*. 17(1), 49–56. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v17i1.79284>
- Rudiyanto, B., Rachmanita, R. E., & Budiprasojo, A. (2023). *DASAR-DASAR PEMASANGAN PANEL SURYA*. UNISMA PRESS, 2023.
- Sadeghi, R., Parenti, M., Memme, S., Fossa, M., & Morchio, S. (2025). *A Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems*. <https://doi.org/10.3390/en18102553>



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Septiawan, Y. H., Alia, D., & Purnomo, H. (2022). *DESAIN SOLAR TRACKER PADA SOLAR CELL BERBASIS ARDUINO*.

<https://doi.org/10.54992/7samudra.v7i2.121>

Shang, H., & Shen, W. (2023). *Design and Implementation of a Dual-Axis Solar Tracking System*. <https://doi.org/10.3390/en16176330>

Sinovoltaics. (2025). *Single Axis Trackers*. <https://sinovoltaics.com/learning-center/csp/single-axis-trackers>

Sparkfun. (2025). *SparkFun 9DoF IMU (ICM-20948) Breakout Hookup Guide*. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sparkfun-9dof-imu-icm-20948-breakout-hookup-guide/all>

Suryanesia. (2024). *Panel Surya Indonesia: Perkembangan, Manfaat, dan Biaya Pemasangannya*. <https://suryanesia.com/articles/panel-surya-indonesia>

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Riwayat Hidup Penulis



Muhammad Rafi Farizan, lahir di Jakarta pada tanggal 11 Juni 2004. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Kalibaru 3 pada tahun 2016, SMPN 6 Depok pada tahun 2019, dan SMAN 3 Depok pada tahun 2022. Gelar Diploma Empat (D4) diperoleh pada tahun 2026 dari Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Otomasi Listrik Industri, Politeknik Negeri Jakarta.





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2. Dokumentasi

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





© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**