

**IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC SEBAGAI SISTEM
KENDALI PROTOTIPE SMART SOLAR PANEL
TERINTEGRASI IOT DENGAN
PROTOKOL MQTT**

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S. Kom.)
Pada Program Studi Teknik Informatika



Disusun Oleh :

M. Rizal Umami

NPM : 2213020164

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER (FTIK)
UNIVERSITAS NUSANTARA PERSATUAN GURU REPUBLIK
INDONESIA KEDIRI**

2026

Skripsi Oleh :

M. Rizal Umami
NPM : 2213020164

Judul :

**IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC SEBAGAI SISTEM
KENDALI PROTOTYPE SMART SOLAR PANEL
TERINTEGRASI IOT DENGAN
PROTOKOL MQTT**

Telah Disetujui Untuk Diajukan Kepada Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri
Tanggal: 25 Juni 2026

Pembimbing I



Julian Sahertian, S.Pd., M.T
NIDN. 0707079001

Pembimbing II



Ratih Kumalasari N, S.ST., M.Kom.
NIDN. 0710018501

Skripsi oleh:

M. Rizal Umami
NPM : 2213020164

Judul :

**IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC SEBAGAI SISTEM
KENDALI PROTOTYPE SMART SOLAR PANEL
TERINTEGRASI IOT DENGAN
PROTOKOL MQTT**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian/Sidang Skripsi
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Nusantara PGRI Kediri
Pada tanggal : 14 Juli 2026

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Syarat

Panitia Penguji :

1. Ketua : Julian Sahertian, S.Pd., M.T.
2. Penguji I : Rony Heri Irawan, S.Kom., M.Kom.
3. Penguji II : Ratih Kumalasari N, S.ST., M.Kom.



Mengetahui.
Dekan FTIK


Dr. Sulistiono, M.Si
NIDN. 0007076801

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : M. Rizal Umami

Jenis Kelamin : Laki-laki

Tempat/Tgl Lahir : Nganjuk, 30 Juni 2026

NPM : 2213020164

Fakultas/Prodi : Teknik dan Ilmu Komputer/ Teknik Informatika

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak dapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 19 Juni 2026

Yang Menyatakan



M. Rizal Umami

NPM : 2213020164

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulisan skripsi ini dengan tulus saya dedikasikan kepada:

1. Kedua orang tua saya, yang dengan penuh kesabaran senantiasa mendoakan, memberikan dukungan terbaik, serta menjadi sumber motivasi tak henti-hentinya dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini.
2. Saudara saya, yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral, sehingga saya dapat menyelesaikan proses ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan pelajaran berharga, baik dalam ranah akademik maupun kehidupan sehari-hari.
4. Teman-teman seperjuangan di kampus, yang menjadi tempat berbagi suka dan duka, serta saling menyemangati selama menjalani masa perkuliahan hingga tahap akhir ini.
5. Almamater tercinta, Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang telah menjadi tempat saya tumbuh, belajar, dan mengembangkan diri selama masa perkuliahan.
6. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.

Semoga dedikasi ini dapat menjadi penghormatan atas semua dukungan, doa, dan kebersamaan yang telah diberikan.

HALAMAN MOTTO

“Seperti bunga matahari yang tetap mencari cahaya di balik langit yang mendung,
aku percaya bahwa setiap langkah yang dijalani dengan kesabaran, ketekunan, dan
doa akan mekar menjadi harapan pada waktunya” — **Angka 21**

“jika kamu merasa orang lain tidak baik maka jadilah orang baik itu”

— **Angka 2**

RINGKASAN

M. Rizal Umami Implementasi Fuzzy Logic Sebagai Sistem Kendali Prototipe Smart Solar Panel Terintegrasi IoT Dengan Protokol MQTT

Kata Kunci : *Internet of Things*, MQTT, *Quality of Service*, ESP32, Panel Surya

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kendali otomatis loop tertutup (*closed-loop system*) pada prototipe *Smart Solar Panel* menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* (Mamdani) dan diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis protokol MQTT. Sistem ini dirancang untuk mengatasi masalah penurunan efisiensi panel surya akibat tumpukan debu di lapangan. Hasil pengujian terhadap 527 paket data aktual menunjukkan bahwa algoritma *fuzzy logic* secara mandiri mampu mengidentifikasi status kondisi permukaan panel berdasarkan input tiga sensor (suhu, cahaya, dan tegangan).

Penerapan teknologi IoT dengan protokol MQTT menunjukkan hasil performansi *Quality of Service* (QoS) yang bervariasi namun tetap mendukung fungsionalitas alat secara penuh. Pengujian parameter *latency* (waktu tunda pengiriman paket) mencatatkan nilai rata-rata keseluruhan sebesar 89,80 ms, yang secara mutlak masuk ke dalam kategori Sangat Bagus (Indeks 4) berdasarkan standar internasional TIPHON karena berada jauh di bawah ambang batas maksimal 150 ms, sehingga menjamin pertukaran data monitoring berjalan secara *real-time*. Di sisi lain, parameter *throughput* menghasilkan rata-rata laju data konvergen yang rendah sebesar 133,89 bps, sehingga masuk dalam kategori Jelek (Indeks 1) menurut ukuran telekomunikasi umum. Pengujian fungsionalitas menggunakan *Blackbox Testing* serta validasi fitur keamanan (*fail-safe system*) menunjukkan bahwa seluruh sistem telah berfungsi dengan baik dan siap diterapkan secara praktis di lapangan.

PRAKATA

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, karena hanya atas perkenaan-Nya tugas penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* SEBAGAI SISTEM KENDALI PROTOTIPE *SMART SOLAR PANEL* TERINTEGRASI IOT DENGAN PROTOKOL MQTT” ini ditulis guna memenuhi sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer, pada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Nusantara PGRI Kediri.

Pada Kesempatan ini diucapkan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada :

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri, yang selalu memberikan dorongan motivasi kepada mahasiswa.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer yang selalu memberikan dukungan moral kepada mahasiswa.
3. Risa Helilintar, M.Kom. Ketua Program Studi Teknik Informatika yang selalu memberikan arahan kepada mahasiswa.
4. Julian Sahertian, S.Pd., M.T. Selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingannya.
5. Kedua Orang Tua saya dan Keluarga atas doa dan dukungannya.
6. Ucapan Terima Kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak menyelesaikan proposal skripsi ini.

Disadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan tegur, kritik, dan saran-saran dari berbagai pihak sangat diharapkan. Disertai harapan semoga proposal skripsi ini ada manfaat bagi kita semua, khususnya bagi dunia pendidikan .

Kediri, 5 Januari 2026


M. Rizal Umami
NPM. 2213020164

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN RINGKASAN.....	viii
PRAKATA.....	vviii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	2
C. Rumusan Masalah.....	2
D. Batasan masalah	2
E. Tujuan Penelitian.....	3
F. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
A. Teori dan Penelitian Terdahulu	5
1. Landasan Teori	5
2. Kajian Pustaka.....	20
B. Kerangka Berpikir	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
A. Desain Penelitian	25
B. Instrumen Penelitian.....	26
C. Tempat dan Jadwal Penelitian	32
D. Objek Penelitian	33
E. Prosedur Penelitian.....	33
F. Teknik Pengumpulan Data	x35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
A. Implementasi Lembar Kerja	48
B. Keterkaitan Lembar Kerja	49
C. Implementasi Desain Sistem	50
D. Pengujian Sistem	54
E. Uji Coba Keseluruhan	57
F. Evaluasi Hasil Pengujian	59
BAB V PENUTUP.....	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Perangkat Keras.....	26
Tabel 3. 2 Spesifikasi Perangkat Lunak.....	27
Tabel 3. 3 Basis Aturan (<i>Rule Base</i>).....	28
Tabel 3. 4 Pengujian Fungsional.....	29
Tabel 3. 5 Kategori Indeks <i>Throughput</i>	31
Tabel 3. 6 Kategori Indeks <i>Latency</i>	31
Tabel 3. 7 Jadwal Penelitian.....	32
Tabel 3. 8 Konfigurasi Pin.....	36
Tabel 3. 9 Himpunan Keanggotaan Input Suhu.....	40
Tabel 3. 10 Himpunan Keanggotaan Input Cahaya.....	41
Tabel 3. 11 Himpunan Keanggotaan Input Tegangan.....	42
Tabel 3. 12 Himpunan Keanggotaan Output Motor.....	43
Tabel 3. 13 Simulasi <i>Fuzzy Output</i>	47
Tabel 3. 14 Simulasi <i>Qos Output</i>	47
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Fungsional Komponen Perangkat Keras.....	54
Tabel 4. 2 Matriks Kesesuaian Eksekusi Keputusan Sistem Kontrol.....	55
Tabel 4. 3 Hasil Evaluasi Parameter Kinerja Sistem Kontrol.....	55
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Nilai <i>Throughput</i> Jaringan.....	56
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Nilai <i>Throughput</i> Jaringan.....	56
Tabel 4. 6 Hasil Log Data Respon Pembacaan Blok Sensor Masukan.....	47
Tabel 4. 7 Parameter Nilai PWM Terhadap Kelajuan Putar Motor.....	47
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Fungsi Kontrol Manual (<i>Open Loop</i>).....	47
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Fungsi Kontrol Otomatis (<i>Open Loop</i>).....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prototipe <i>Smart Solar Panel</i>	5
Gambar 2. 2 Arsitektur Sistem <i>Smart Solar Panel</i>	7
Gambar 2. 3 Karakteristik <i>Internet of Things</i>	8
Gambar 2. 4 Arsitektur <i>Internet of Things</i>	10
Gambar 2. 5 Alur Proses <i>Fuzzy Inference System</i>	12
Gambar 2. 6 Alur <i>Open-Loop Control</i>	13
Gambar 2. 7 Alur <i>Closed-Loop Control</i>	13
Gambar 2. 8 ESP32.....	14
Gambar 2. 9 Arsitektur MQTT	17
Gambar 2. 10 Sensor BH-1750	18
Gambar 2. 11 Sensor DHT-11	19
Gambar 2. 12 Voltage Sensor	20
Gambar 2. 13 Kerangka Berpikir Penelitian	24
Gambar 3. 1 Konsep Prosedur Penelitian	33
Gambar 3. 2 Arsitektur Perangkat Keras	35
Gambar 3. 3 Skematik Rangkaian Perangkat Keras	36
Gambar 3. 4 Diagram Alir Perangkat Keras	37
Gambar 3. 5 Desain Perangkat Keras	38
Gambar 3. 6 Diagram Alir Perangkat Lunak	38
Gambar 3. 7 Rancang Tampilan Desktop	39
Gambar 3. 8 Grafik Keanggotaan Suhu	40
Gambar 3. 9 Grafik Keanggotaan Cahaya	41
Gambar 3. 10 Grafik Keanggotaan Tegangan.....	42
Gambar 3. 11 Grafik Keanggotaan Motor	43
Gambar 4. 1 GUI Desktop	50
Gambar 4. 2 GUI Desktop Menu <i>Fuzzy Logic</i>	50
Gambar 4. 3 <i>WebClient</i> HiveMQ.....	51
Gambar 4. 4 Spesifikasi Alat 1	52
Gambar 4. 5 Spesifikasi Alat 2	53

Gambar 4. 6 Grafik Rata-Rata <i>Throughput</i>	60
Gambar 4. 7 Grafik Rata-Rata <i>Latency</i>	61

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Panel surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan memegang peranan penting dalam upaya transformasi energi menuju energi bersih dan berkelanjutan di Indonesia. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah menjadi solusi energi utama untuk daerah terpencil maupun sebagai penunjang sistem energi yang sudah ada (Afif & Martin, 2022). Namun, kinerja panel surya dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kerusakan fisik, penumpukan debu, kotoran hewan, dan faktor lingkungan lainnya yang dapat menurunkan efisiensi konversi energi secara signifikan (Meilany *et al.*, 2024).

Berbagai inovasi telah dikembangkan untuk mengatasi penurunan efisiensi panel surya akibat kotoran dan debu, seperti sistem pembersih mekanis berbasis *rolling brush* dan *wiper* (Sari *et al.*, 2022). Namun, sistem tersebut masih bergantung pada *timer*, sehingga pembersihan dilakukan tanpa mempertimbangkan tingkat kekotoran aktual. Penelitian (Cahyanti *et al.*, 2025) sudah mampu mendeteksi kekotoran menggunakan sensor warna, tetapi masih terbatas pada fungsi pembersihan tanpa didukung monitoring performa panel dan penyesuaian pembersihan terhadap kondisi lingkungan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, telah dikembangkan sebuah prototipe yang dipresentasikan dalam berbagai kompetisi, di nasional maupun internasional pada tahun 2025. Prototipe tersebut berjudul “Deteksi dan Monitoring Kebersihan Panel Surya Menggunakan YOLOv8 Berbasis IoT untuk Optimasi Efisiensi” yang dirancang oleh Dosen Julian Sahertian, S.Pd., M.T. bersama tim mahasiswa M. Rizal Umami, Ilham Khefi Ramadhanu, dan M. Choirul Anwar.

Prototipe (*Smart Solar Panel*) berhasil meningkatkan efisiensi penyerapan energi melalui deteksi dan monitoring kebersihan panel secara *real-time* menggunakan YOLOv8 berbasis IoT. Sistem ini mengidentifikasi kotoran dan menampilkan performa panel kepada pengguna. Namun, prototipe masih

terbatas karena pembersihan hanya dapat diaktifkan pada tombol *cleaning* pada aplikasi *desktop*, sehingga tidak bekerja otomatis meskipun terjadi penurunan daya. Firebase berfungsi sebagai pelaporan data tanpa komunikasi dua arah untuk kendali perangkat secara langsung (Padmaja *et al.*, 2021).

Maka dari itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pembersihan otomatis pada *Smart Solar Panel* melalui penerapan *fuzzy logic* untuk menentukan kebutuhan pembersihan berdasarkan data pembacaan sensor BH-1750, DHT-11, dan *Voltage Sensor*. Output sistem berupa aktivasi motor pembersih yang bekerja secara otomatis sesuai kondisi aktual panel. Selain itu, protokol (MQTT) diterapkan sebagai pengganti firebase karena (MQTT) mendukung komunikasi dua arah yang lebih andal dan berlatensi rendah untuk pengendalian perangkat IoT secara *real-time*.

B. Identifikasi Masalah

Merujuk pada latar belakang, prototipe *Smart Solar Panel* belum dapat menentukan pembersihan secara otomatis, pengguna masih menyimpulkan sendiri data sensor (*intensitas cahaya, suhu, dan tegangan*) dan menekan tombol *cleaning* secara manual meskipun performansi panel sudah menurun.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang diidentifikasi, muncul sejumlah pertanyaan yang menjadi fokus utama penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana menerapkan *Fuzzy Logic* pada prototipe *Smart Solar Panel*?
2. Bagaimana menerapkan *Internet of Things* dengan protokol MQTT pada prototype *Smart Solar Panel*?

D. Batasan masalah

Guna memastikan fokus yang jelas dalam penelitian yang akan dilakukan, diperlukan batasan-batasan masalah yang jelas. Adapun batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian merupakan prototipe “*Smart Solar Panel*” yang telah dikembangkan dan dilombakan pada kompetisi tingkat nasional tahun 2025.

2. Fokus penelitian ini adalah implementasi *fuzzy logic* untuk menentukan kebutuhan pembersihan panel surya berdasarkan pembacaan sensor.
3. Mikrokontroler yang digunakan dalam penelitian ini adalah ESP-32.
4. Protokol komunikasi IoT yang digunakan adalah MQTT (Message Queue Telemetry Transport).
5. Sensor yang digunakan meliputi BH-1750 (intensitas cahaya), Voltage Sensor (tegangan), dan DHT-11 (suhu).
6. Sistem kendali yang dikembangkan bertujuan untuk mengaktifkan motor pembersih secara otomatis berdasarkan hasil keputusan *fuzzy logic*.
7. Penelitian ini tidak membahas analisis desain mekanik sistem pembersih maupun perhitungan efisiensi daya panel surya secara keseluruhan.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menerapkan *fuzzy logic* pada prototipe *Smart Solar Panel* untuk menentukan kebutuhan pembersihan berdasarkan data sensor.
2. Menerapkan sistem *Internet of Things* dengan protokol MQTT sebagai komunikasi dua arah pada prototipe *Smart Solar Panel* untuk mendukung pembersihan otomatis *real-time*.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dan kegunaan penelitian dapat dirasakan oleh beberapa pihak terkait dalam penelitian sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini menjadi sarana penerapan ilmu pada bidang *Internet of Things* dan *Artificial Intelligence*, khususnya pada penerapan *fuzzy logic*.
2. Prototipe “*Smart Solar Panel*” memiliki fitur pembersihan otomatis yang dapat membantu pengguna tanpa perlu melakukan analisis manual terhadap data sensor.
3. Mengurangi penurunan efisiensi panel surya akibat penumpukan kotoran melalui pembersihan yang tepat waktu sesuai kondisi lingkungan.

4. Menghadirkan pengembangan sistem panel surya berbasis IoT yang lebih adaptif dan dapat melakukan monitoring sekaligus pengendalian secara mandiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Achlison, U., Santoso, J. T., Rozikin, K., & Diapoldo, F. (2023). Analisis Hasil Ukur Sensor Arus dan Tegangan untuk Memantau Daya Listrik berbasis Microcontroller. *Jurnal Ilmiah Elektronika & Komputer*, 16(1), 225–229. <https://doi.org/10.51903/elkom.v16i1.1193>
- Afif, M. T., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Spark: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 13(2), 64–70. <https://doi.org/10.47080/spark.v13i2.2356>
- Cahyanti, V., Muflih Rahman, M., Sulistyo, E., & Dwisaputra, I. (2025). Rancang Bangun Robot Pembersih Panel Surya Menggunakan Metode Dry Cleaning Berbasis Fuzzy Logic Controller. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 3(1), 181–190. <https://doi.org/10.33504/jitt.v3i1.295>
- Dauda, A., Flauzac, O., & Nolot, F. (2024). A Survey on IoT Application Architectures. *Sensors*, 24(16), 5320. <https://doi.org/10.3390/s24165320>
- Duta, A. R. (2025). RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN KUALITAS AIR PADA AKUARIUM IKAN HIAS MAS KOKI MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC BERBASIS IoT (Internet of Things). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1), 501–513. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5667>
- Hayati, N. J., Singasatia, D., & Muttaqin, M. R. (2023). *KOMPUTA : Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika OBJECT TRACKING MENGGUNAKAN ALGORITMA YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO) v8 UNTUK MENGHITUNG KENDARAAN KOMPUTA : Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*. 12(2), 91–99.
- Helilintar, R., Farida, I. N., Sahertian, J., Ramadhanu, I. K., Anwar, M. C., & Umami, M. R. (2025). Pemanfaatan Sistem Panel Surya Berbasis Iot Sebagai Solusi Alternatif Penghematan Listrik Di Green House Kokonat Plant. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara*, 5(1), 277–289. <https://doi.org/10.29407/dimastara.v5i1.27673>

- Hidayati, R. (2024). SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA SECARA REAL-TIME MENGGUNAKAN ESP32 DAN TEKNOLOGI IOT. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 5(2), 232–245. <https://doi.org/10.46576/djtechno.v5i2.4619>
- Ilham, M., Avorizano, A., Kom, S., & Kom, M. (n.d.). *Real-Time Computer Performance Monitoring and Computer Information Systems Through Python-Based Gui*.
- Khairunnisah, A., Tarigan, A. D., & Rahmaniari. (2024). Analisis Pelaksanaan Penertiban Pemakaian Tenaga Listrik (P2TL) Sebagai Upaya Penekanan Susut Non Teknis Di PT PLN (Persero) ULP Koba. *Elkom: Jurnal Elektronika Dan Komputer*, 17(2), 426–430. <https://doi.org/10.51903/elkom.v17i2.1971>
- Meilany, M., Dika Satria, Pusparina A, R., Dhia Saputro, A., Fasial Tanjung, B., & Hidayat, R. (2024). Analisis Output Daya pada Sistem Pembersih Debu berbasis ESP32 terhadap Panel Surya. *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 2(2), 16–21. <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.169>
- Mishra, B., & Kertesz, A. (2020). The Use of MQTT in M2M and IoT Systems: A Survey. *IEEE Access*, 8, 201071–201086. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3035849>
- Muttaqi, B., Nurchim, N., & Ningsih, P. W. (2024). Penerapan Logika Fuzzy Mamdani dalam Sistem Penyiraman Cerdas untuk Pertanian. *Generation Journal*, 8(2), 111–120. <https://doi.org/10.29407/gj.v8i2.23175>
- Padmaja, B., V., P., K., K., & V., S. (2021). Google Firebase based Modern IoT System Architecture. *International Journal of Computer Applications*, 183(12), 1–4. <https://doi.org/10.5120/ijca2021921446>
- Pratama, R. F., Wicaksono, R. S. R., & Pramudhita, A. N. (2023). Perancangan Dan Implementasi Protokol Mqtt Pada Sistem Parkir Cerdas Berbasis Iot. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3), 475–483. <https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3191>
- Putri, J. W. D., Firdaus, J. R., Khaerunnisa, L. S. K., & Sobur, S. (2025). SISTEM

- MONITORING SUHU, KELEMBAPAN DAN GAS BERBASIS IOT PADA LAB KOMPUTER. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8175>
- Rahma, D. M., Hidayah, P. N., Yoanda, A. P., Ayu, J., Margareta, R., Shaleh, K., Assaidah, & Arsyad, F. S. (2025). Aplikasi Sensor Cahaya (BH1750) pada Tanaman Anggrek menggunakan ESP 32 Berbasis IoT. *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan*, 13(1), 10–18. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v13i1.14476>
- Reddy, A. S. K., Jahnavi, Z., Reddy, V. V. V., Reddy, P. G., & Raviteja, E. (2024). IOT Based DC Motor Speed and Direction Control. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 11(2), 707–714. <https://doi.org/10.32628/IJSRST24112110>
- Sari, P. R., Utama, Y. A., & Putra, R. (2022). Sistem Kendali Pembersih Panel Surya Menggunakan Rolling Brush dan Wiper Berbasis Arduino. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 18(2), 102–108. <https://doi.org/10.17529/jre.v18i2.23456>
- Schweiger, L., & Barth, L. (2023). Properties and Characteristics of Digital Twins: Review of Industrial Definitions. *SN Computer Science*, 4(5), 436. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-01937-4>
- Setiawati, A. Y., & Haryanti, M. (2025). Evaluasi Akurasi Sensor Suhu Digital untuk Aplikasi Pemantauan Suhu Ruangan Penyimpanan: Studi Indoor dan Outdoor. *JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI*, 14(1), 1–6. <https://doi.org/10.35968/jti.v14i1.1712>
- Sri Surani, B., Dharmawan, A., Asa Bakti, C., & AKI Semarang, U. (2025). Implementasi Mikrokontroler Esp32 Untuk Kontrol Berbasis Pengenalan Suara Dan Cahaya Dalam Sistem Smart Home Implementation of Esp32 Microcontroller for Voice and Light Recognition-Based Control in Smart Home System. *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*, 8(5), 1375–1387. <https://doi.org/10.31539/p8btq662>
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.

- Suhardi, Triyanto, D., & Nirmala, I. (2024). Penerapan Jaringan Sensor Nirkabel dan Internet of Things (IoT) pada Pertanian Terpadu. *KLIK : Kajian Ilmiah Informatika Dan Komputer*, 4(5), 2506–2517. <https://doi.org/10.30865/klik.v4i5.1823>
- Wardihani, E. D., Sari, E. U., Helmy, Nugroho, A. S., Badruzzaman, Y., Nursyahid, A., Setyawan, T. A., & Nugraha, M. F. I. (2024). Pemantauan dan Pengendalian Parameter Greenhouse Berbasis IoT Dengan Protokol MQTT. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 13(1), 38–43. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v13i1.8564>
- Widyatmika, I. P. A. W., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, I. W. W. A., Darminta, I. K., Sangka, I. G. N., & Saptaka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi*, 13(1), 35–47. <https://doi.org/10.5614/joki.2021.13.1.4>
- Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things. *Applied Sciences*, 14(19), 8943. <https://doi.org/10.3390/app14198943>