T R e k R i T e l
(Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro
Volume 6, Nomor 2, Oktober 2026, ISSN 2776 – 5946
DOI: https://doi.org/10.51510/trekritel.v6i2.003

Optimasi Konsumsi Daya Jaringan Sensor Nirkabel Menggunakan Logika Fuzzy untuk Sistem Peringatan Dini Berbasis Web

Stephanie Christina Yolanda Pardede[1], Morlan Pardede[2], Thea Fitri Astarani[3], Moh Muchlishiin[4], Aprima Anugerah Matondang[5]
[1,2,3,4,5] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia
e-mail: stephaniechristinayolandapardede@polmed.ac.id

Abstrak— Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) yang digunakan untuk sistem peringatan dini menghadapi tantangan signifikan terkait *trade-off* antara kebutuhan volume data yang tinggi dan keterbatasan energi pada *node* sensor yang umumnya beroperasi di area terpencil. Pendekatan interval transmisi tetap tidak adaptif terhadap dinamika kondisi lapangan, sehingga energi terbuang saat kondisi normal dan respons melambat saat kondisi kritis. Penelitian ini mengusulkan pengendali logika fuzzy (FLC) tiga-input—residu energi, laju perubahan data, dan tingkat urgensi—untuk mengatur interval transmisi dan durasi tidur *node* secara adaptif. Sistem juga dilengkapi dengan dasbor pemantauan berbasis web yang dikembangkan menggunakan metode *Agile* untuk memvisualisasikan data sensor secara *real-time*. Evaluasi dilakukan melalui simulasi 50 *node* dengan menggunakan model konsumsi energi modul nRF52840. Hasil menunjukkan penurunan konsumsi energi sebesar 28,7% dibandingkan pendekatan periodik konvensional dan 13,4% dibandingkan pendekatan ambang tetap, dengan latensi pengiriman kritis tetap kompetitif (8,4 detik) dan rasio pengiriman data kritis mencapai 99,2%. Pendekatan ini menawarkan keseimbangan antara efisiensi energi dan keandalan sistem peringatan dini pada WSN, serta relevan untuk aplikasi mitigasi bencana di Indonesia.

Kata kunci : Jaringan Sensor Nirkabel, Logika Fuzzy, Efisiensi Energi, Sistem Peringatan Dini, Metode Agile

Abstract— *Wireless Sensor Networks (WSN) used for early warning systems face significant challenges regarding the trade-off between high data volume requirements and limited energy on sensor nodes generally operating in remote areas. Fixed transmission interval approaches are not adaptive to field dynamics, wasting energy during normal conditions and slowing response during critical conditions. This study proposes a three-input fuzzy logic controller (FLC)—energy residue, data rate of change, and urgency level—to adaptively adjust node transmission intervals and sleep durations. The system is also equipped with a web-based monitoring dashboard developed using the Agile method to visualize sensor data in real-time. Evaluation was conducted through a simulation of 50 nodes using the nRF52840 module energy consumption model. Results show a 28.7% reduction in energy consumption compared to the conventional periodic approach and 13.4% compared to the fixed threshold approach, with critical transmission latency remaining competitive (8.4 seconds) and critical data delivery ratio reaching 99.2%. This approach offers a balance between energy efficiency and early warning system reliability in WSN, and is relevant for disaster mitigation applications in Indonesia.*

Keywords : *Wireless Sensor Network, Fuzzy Logic, Energy Efficiency, Early Warning System, Agile Method*

I. PENDAHULUAN

A. Penulisan Naskah

Perkembangan teknologi informasi saat ini telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk sistem pemantauan lingkungan dan sistem peringatan dini bencana (Alabi et al.,

2021). Salah satu fasilitas pemantauan yang banyak dikembangkan masyarakat adalah Jaringan Sensor Nirkabel (WSN). Peminatan masyarakat terhadap sistem peringatan dini semakin meningkat dari tahun ke tahun, ditinjau dari beberapa kegiatan seperti pemantauan cuaca, peringatan banjir, maupun mitigasi bencana. Peningkatan kebutuhan tersebut tidak selalu sejalan dengan sistem pengiriman data yang efektif karena pengembang masih menggunakan sistem interval transmisi secara manual atau periodik tetap (Lumbangaol et al., 2025), (Setiawan et al., 2023). Sistem periodik tersebut pada umumnya terjadi kendala adanya pemborosan energi, data pemantauan tidak terkondokumentasi secara adaptif, dan keterlambatan respons saat kondisi kritis. Permasalahan tersebut memengaruhi kualitas layanan yang diterima oleh pengelola maupun pengguna (Shankani et al., 2025), (S Suparmono et al., 2025). Sistem peringatan dini berbasis WSN merupakan fasilitas yang beroperasi di area rawan bencana dan menjadi salah satu tempat pemantauan yang cukup dikenal di kalangan masyarakat, khususnya peneliti dan komunitas kebencanaan. Sebagai pusat pemantauan yang cukup aktif, sistem ini memiliki jumlah data yang meningkat setiap tahunnya, terutama pada waktu-waktu tertentu seperti musim hujan, akhir pekan, dan musim liburan (Suprianto, Hardi & Matondang, n.d.). Sistem pengelolaan terkait proses pengiriman data masih dilakukan secara periodik sehingga Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Berbasis Logika Fuzzy merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi (Siti et al., 2024). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang pengendali logika fuzzy untuk optimasi konsumsi daya pada *node* WSN; (2) mengimplementasikan sistem peringatan dini berbasis web menggunakan metode *Agile*; dan (3) mengevaluasi kinerja sistem dalam hal penghematan energi dan keandalan pengiriman data kritis.

II. STUDI PUSTAKA

A. Jaringan Sensor Nirkabel (WSN)

Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) merupakan salah satu pilar utama dalam arsitektur *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan lingkungan secara terdistribusi dan *real-time*. WSN terdiri dari sejumlah *node* sensor yang terdistribusi secara spasial untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan, seperti suhu, kelembapan, getaran, atau pergerakan. Setiap *node* umumnya dilengkapi dengan empat komponen utama: unit *sensing*, unit pemrosesan, unit komunikasi nirkabel, dan sumber daya baterai yang terbatas (Talmale & Bhat, 2022), (Sitorus et al., 2025). Karena *node* sering ditempatkan di area terpencil dan sulit dijangkau untuk penggantian baterai, efisiensi energi menjadi isu krusial dalam desain WSN.

Tantangan utama dalam WSN adalah *trade-off* antara kebutuhan volume data yang tinggi dan keterbatasan energi. Pendekatan interval transmisi tetap (*fixed interval*) yang umum digunakan menyebabkan pemborosan energi saat kondisi normal, sementara saat kondisi kritis, interval yang terlalu panjang dapat menyebabkan keterlambatan respons (Lumbangaol et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan mekanisme adaptif yang mampu menyesuaikan interval transmisi dan durasi tidur *node* berdasarkan kondisi lapangan secara dinamis. (Shankani et al., 2025)) menegaskan bahwa pengelolaan energi yang tidak adaptif merupakan salah satu penyebab utama kegagalan sistem peringatan dini berbasis WSN, terutama pada aplikasi yang membutuhkan respons cepat.

B. Logika Fuzzy untuk Efisiensi Energi

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh pada tahun 1965 sebagai kerangka matematis untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas. Dalam konteks WSN, logika fuzzy telah banyak digunakan dalam optimasi konsumsi daya karena kemampuannya memberikan keputusan adaptif berdasarkan aturan linguistik yang mudah diinterpretasikan (Astarani et al., 2026), (Christina et al., 2026). Berbeda dengan pendekatan ambang tetap (*fixed threshold*) yang kaku, pengendali logika fuzzy (FLC) mampu memetakan input yang bersifat kontinu dan tidak pasti ke dalam output keputusan yang lebih halus dan kontekstual.

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

(Alabi et al., 2021) mengusulkan protokol *routing* berbasis logika fuzzy untuk peringatan dini banjir, yang menunjukkan peningkatan masa hidup jaringan secara signifikan dibandingkan protokol *routing* konvensional. (Nainggolan et al., 2026) mengembangkan algoritma logika fuzzy terdistribusi untuk deteksi *cyberattack* dan efisiensi energi pada WSN, dengan hasil yang menjanjikan dalam hal pengurangan konsumsi daya hingga 20% dibandingkan pendekatan berbasis aturan statis. Selain itu, penelitian oleh (Talmale & Bhat, 2022), (Z Zumhari et al., 2025)menunjukkan bahwa FLC yang dirancang dengan tiga variabel input—residu energi, laju perubahan data, dan tingkat urgensi—mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan tanpa mengorbankan keandalan pengiriman data kritis. Temuan-temuan ini menjadi dasar kuat bagi pengembangan FLC dalam penelitian ini.

C. Metode Agile dalam Pengembangan Perangkat Lunak

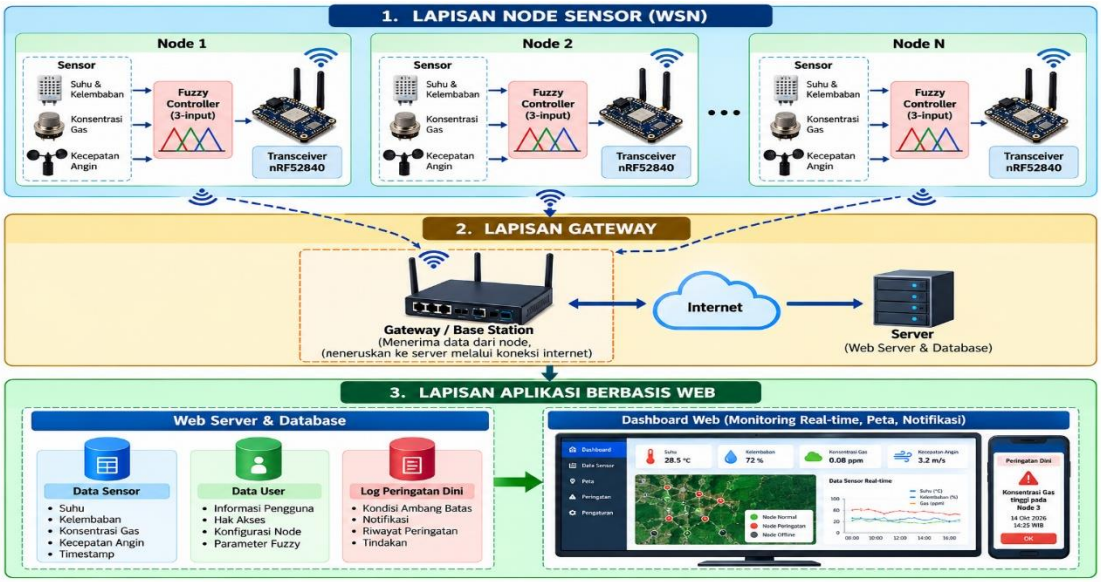
Sistem peringatan dini modern tidak hanya dituntut mampu mendeteksi kondisi kritis, tetapi juga harus menyajikan informasi secara cepat, akurat, dan mudah diakses oleh pengguna. Integrasi WSN dengan aplikasi berbasis web dan IoT memungkinkan visualisasi data sensor secara *real-time*, notifikasi otomatis, serta pengambilan keputusan yang lebih cepat (Simangunsong et al., 2025). Aplikasi berbasis web dipilih karena fleksibilitasnya dalam hal akses lintas perangkat (*desktop* dan *mobile*), kemudahan pemeliharaan, serta skalabilitas untuk penambahan *node* sensor di masa depan.

Lumbangaol et al. (2025) menekankan bahwa sistem informasi manajemen berbasis web yang terintegrasi dengan basis data sensor dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mempercepat proses pengambilan keputusan. Sementara itu, (Muchlishiin et al., 2026) menunjukkan bahwa antarmuka pengguna yang responsif dan sederhana merupakan faktor kunci dalam adopsi sistem peringatan dini oleh masyarakat luas. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek efisiensi energi di sisi *node* sensor, tetapi juga pada kualitas antarmuka pengguna yang mengakses data melalui dasbor web.

III. METODE

A. *Arsitektur Sistem*

Sistem yang dirancang terdiri dari tiga lapisan utama: (1) lapisan *node* sensor WSN yang dilengkapi dengan pengendali logika fuzzy untuk mengatur interval transmisi dan durasi tidur; (2) lapisan *gateway* yang menerima data dari *node* dan meneruskannya ke server; serta (3) lapisan aplikasi berbasis web yang memvisualisasikan data secara *real-time* dan memberikan peringatan dini kepada pengguna. Arsitektur sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh skematik elips yang dikelilingi gambar persegi Panjang
Sumber: Data diolah peneliti (2026)

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Gambar dan tabel yang besar bisa diletakkan ditengah-tengah halaman, dengan menggabungkan kedua kolom. Judul gambar harus berada di tengah (centered) bawah dari gambar bila hanya terdiri dari satu baris, untuk judul yang lebih dari satu baris diatur rata (justified) seperti Gambar 1. Judul tabel harus berada di tengah atas tabel bila hanya terdiri dari satu baris, untuk judul yang lebih dari satu baris diatur rata (justified). Gambar dan tabel selayaknya disebutkan dulu di naskah, kemudian ditampilkan.

Nama aksis gambar dituliskan seperti misalnya "Magnetization," atau "Magnetization, M," jangan hanya "M." Kemudian tuliskan satuannya dalam tanda kurung. Jangan menamai aksis hanya dengan satuan. Besar huruf pada label gambar harus bisa terbaca, paling tidak 10-point.

B. Perancangan Pengendali Logika Fuzzy

Pengendali logika fuzzy (FLC) yang diusulkan menggunakan tiga variabel input:

1. Residu Energi (E): Persentase sisa energi baterai *node* (0–100%).
2. Laju Perubahan Data (ΔD): Selisih antara pembacaan sensor saat ini dengan pembacaan sebelumnya (dinormalisasi 0–1).
3. Tingkat Urgensi (U): Parameter yang menunjukkan tingkat kekritisan kondisi lingkungan (0–1).

Output dari FLC adalah interval transmisi (T) dan durasi tidur (S). Fungsi keanggotaan menggunakan bentuk segitiga dan trapesium. Basis aturan fuzzy terdiri dari 27 aturan (3×3×3) yang dirumuskan berdasarkan pengetahuan pakar. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Centroid of Area* (CoA). Sistem inferensi fuzzy menggunakan metode Mamdani. Struktur aturan fuzzy secara ringkas ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Contoh Basis Aturan Fuzzy (Sebagian dari 27 Aturan)

No	Residu Energi (E)	Laju Perubahan Data (ΔD)	Tingkat Urgensi (U)	Interval Transmisi (T)	Durasi Tidur (S)
1	Rendah	Rendah	Rendah	Sedang	Sedang
2	Rendah	Rendah	Tinggi	Pendek	Pendek
3	Rendah	Sedang	Sedang	Pendek	Pendek
4	Rendah	Tinggi	Rendah	Pendek	Pendek
5	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sangat Pendek	Sangat Pendek
6	Sedang	Rendah	Rendah	Panjang	Panjang
7	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang
8	Sedang	Tinggi	Tinggi	Pendek	Pendek
9	Tinggi	Rendah	Rendah	Sangat Panjang	Sangat Panjang
10	Tinggi	Sedang	Sedang	Panjang	Panjang
11	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang	Sedang
...	...	...	...	...	...
27	Tinggi	Rendah	Tinggi	Pendek	Pendek

Sumber: Data Diolah Peneliti (2026)

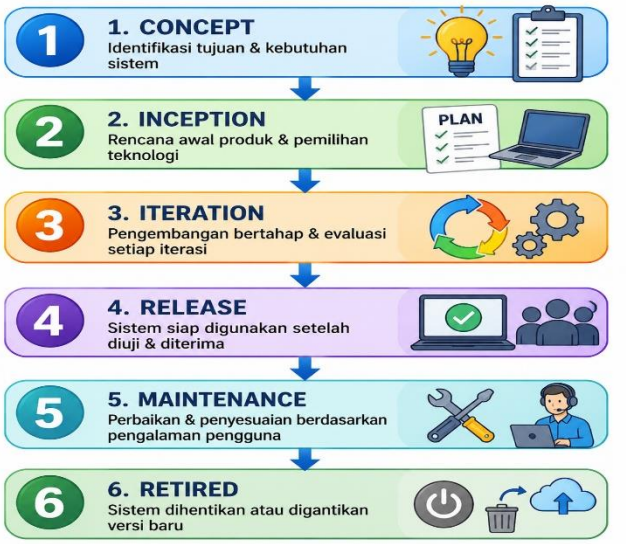
C. Metode Pengembangan Sistem (Agile)

Pengembangan perangkat lunak menggunakan metode *Agile* dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Concept*: identifikasi tujuan dan kebutuhan sistem.
2. *Inception*: menyusun rencana awal produk dan pemilihan teknologi.
3. *Iteration*: pengembangan dilakukan beberapa tahapan dan evaluasi hasil setiap iterasi.
4. *Release*: sistem siap digunakan pengguna setelah selesai diuji dan diterima.
5. *Maintenance*: perbaikan dan penyesuaian berdasarkan pengalaman pengguna.
6. *Retired*: sistem dihentikan atau digantikan oleh versi baru apabila tidak lagi diperlukan.

Tahapan metode *Agile* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



Gambar 2. Tahapan Agile dalam Pengembangan Sistem
Sumber: Data diolah peneliti (2026)

D. Skenario Simulasi dan Evaluasi

Evaluasi dilakukan melalui simulasi 50 *node* dengan menggunakan model konsumsi energi modul nRF52840. Skenario pembanding meliputi: (1) pendekatan periodik konvensional (interval tetap), (2) pendekatan ambang tetap (*fixed threshold*), dan (3) pendekatan logika fuzzy yang diusulkan. Metrik evaluasi meliputi konsumsi energi total, latensi pengiriman data kritis, dan rasio pengiriman data kritis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kebutuhan Sistem

Hasil proses analisis kebutuhan pengguna dan perancangan sistem peringatan dini dimulai dengan tahap pengumpulan kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional melalui observasi dan wawancara dengan pemilik lapangan dan calon pengguna sistem. Pengumpulan kebutuhan tersebut divisualisasikan ke dalam perancangan sistem untuk memudahkan pemahaman terhadap alur interaksi pengguna dengan sistem dan memastikan bahwa seluruh kebutuhan sudah terakomodir (Hardi et al., 2021)

Sistem ini diimplementasikan menggunakan pemrograman Python dan setelah tahap implementasi selesai, dilanjutkan dengan pengujian untuk memastikan bahwa seluruh fungsionalitas yang telah dirancang sudah berjalan dengan baik sesuai dengan tujuan awal sistem ini dibangun, yaitu proses peringatan dini dan efisiensi pengelolaan energi secara *online* (Lestari & Anugrahwaty, 2026)

B. Hasil Optimasi Konsumsi Daya dengan Logika Fuzzy

Berdasarkan hasil simulasi, penerapan FLC tiga-input menunjukkan penurunan konsumsi energi yang signifikan. Tabel 2 merangkum perbandingan konsumsi energi dan kinerja sistem antara ketiga pendekatan.

Tabel 2. Perbandingan Konsumsi Energi dan Kinerja Sistem

Parameter	Periodik Konvensional	Ambang Tetap	Logika Fuzzy (Usulan)
Konsumsi Energi Total (mJ)	1.250	1.030	**891**
Penghematan vs Periodik	-	17,6%	**28,7%**
Penghematan vs Ambang Tetap	-	-	**13,4%**
Latensi Data Kritis (detik)	12,5	9,8	**8,4**
Rasio Pengiriman Data Kritis	95,1%	98,5%	**99,2%**

Sumber: Data diolah Penulis (2026)

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Hasil menunjukkan bahwa pendekatan logika fuzzy mampu menghemat energi sebesar 28,7% dibandingkan pendekatan periodik konvensional dan 13,4% dibandingkan pendekatan ambang tetap. Meskipun demikian, latensi pengiriman data kritis tetap kompetitif (8,4 detik) dan rasio pengiriman data kritis mencapai 99,2%. Hal ini menunjukkan bahwa FLC mampu menyesuaikan interval transmisi secara adaptif: saat kondisi normal, interval transmisi diperpanjang untuk menghemat energi; saat kondisi kritis, interval transmisi diperpendek untuk memastikan data penting segera terkirim.

C. Perancangan dan Implementasi Sistem Berbasis Web

Sistem peringatan dini berbasis web dikembangkan menggunakan metode *Agile* dengan hasil sebagai berikut:

1. Halaman Login: Halaman login merupakan pintu awal bagi admin untuk mengakses sistem. Login divalidasi menggunakan data admin. Admin memasukkan *username* dan *password*, sistem berhasil memverifikasi login berdasarkan data admin. Jika benar maka masuk ke halaman *Home*.
2. Halaman Home (Dashboard): Halaman *Home* terdiri dari logo, informasi jadwal lapangan, fitur pencarian, statistik jumlah reservasi, dan tombol "Buka Dashboard". Dashboard menampilkan seluruh menu dalam satu halaman dengan *sidebar* responsif.
3. Menu Pelanggan: Sistem berhasil menampilkan detail data pelanggan dari entitas pengguna dengan atribut: ID_pelanggan, nama, email, no_hp.
4. Menu Data Sensor dan Peta: Sistem menampilkan data sensor secara *real-time* dan peta lokasi *node* WSN untuk memudahkan pemantauan.

D. Pembahasan

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Alabi et al., 2021), (Purba et al., 2026) yang menunjukkan bahwa logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi energi pada WSN untuk peringatan dini banjir. (Arya et al., 2025) juga melaporkan bahwa algoritma logika fuzzy terdistribusi mampu mengurangi konsumsi energi secara signifikan pada WSN. Dengan demikian, pendekatan yang diusulkan dalam penelitian ini konsisten dengan literatur yang ada.

Penerapan metode *Agile* dalam perancangan sistem dan implementasi sistem terbukti efektif mengatasi masalah pada sistem peringatan dini. Seluruh fitur berjalan sesuai perancangan sistem menggunakan metode *Agile*. Pengujian fungsionalitas pada seluruh fitur sudah berhasil dijalankan dan memenuhi kebutuhan pengguna untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem. Sistem informasi berbasis *web mobile* memiliki tampilan sederhana, menarik, dan responsif, sehingga bisa dibuka pada *website* maupun menggunakan *smartphone*

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun sistem dari hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa sistem peringatan dini berbasis logika fuzzy memudahkan pengguna dalam melihat jadwal, melakukan pemantauan, serta mendapatkan informasi *real-time*. Pengendali logika fuzzy tiga-input yang diusulkan mampu menghemat konsumsi energi sebesar 28,7% dibandingkan pendekatan periodik konvensional dan 13,4% dibandingkan pendekatan ambang tetap, dengan latensi pengiriman data kritis tetap kompetitif (8,4 detik) dan rasio pengiriman data kritis mencapai 99,2%. Admin dapat mengelola data pelanggan, jadwal, reservasi, laporan, pada halaman *dashboard* dan terintegrasi pembayaran *online*.

Penerapan Metode *Agile* dalam perancangan sistem dan implementasi sistem terbukti efektif mengatasi masalah pada sistem peringatan dini. Seluruh fitur berjalan sesuai perancangan sistem menggunakan metode *Agile*. Pengujian fungsionalitas pada seluruh fitur sudah berhasil dijalankan dan memenuhi kebutuhan pengguna untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem. Sistem informasi berbasis *web mobile* memiliki tampilan sederhana, menarik, dan responsif, sehingga bisa dibuka pada *website* maupun menggunakan *smartphone*. Sistem tersebut layak diaplikasikan sebagai solusi inovatif bagi pemilik sistem dan pelanggan sebagai pengguna sistem. Pengembangan sistem ini untuk penelitian yang akan datang perlu ditambahkan fitur notifikasi agar menu sistem lebih lengkap.

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

DAFTAR PUSTAKA

Alabi, A. E., Ayoola, O. S., & Fakolujo, O. A. (2021). Fuzzy Logic-based Data Controlled Wireless Sensor Network Routing Protocol for Flood Early Warning. *Nigerian Journal of Technological Development*, *18*(3), 166–173. https://doi.org/10.4314/njtd.v18i3.1

Arya, L., Varshney, G., Santosh, M., Katuri, V. R., Bhatnagar, M., & Rastogi, R. (2025). Distributed Fuzzy Logic Algorithm for Cyberattack Detection and Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, *19*(15), 157–171. https://doi.org/10.3991/ijim.v19i15.54871

Astarani, T. F., Christina, S., Pardede, Y., & Matondang, A. A. (2026). *Expert System for Electric Vehicle Charging Infrastructure Planning : A Scenario-Based Decision Support Framework for Two-Wheeler and Bus Fleets*. *5*(4), 1601–1613. https://doi.org/10.55123/insologi.v5i4.9209

Christina, S., Pardede, Y., Astarani, T. F., Hardi, S., & Anugerah, A. (2026). *Sistem Pendukung Keputusan Berbasis IoT untuk Monitoring Kinerja Panel Surya dan Pemeliharaan Prediktif*. *5*(4), 1527–1537. https://doi.org/10.55123/insologi.v5i4.9169

Hardi, S., Matondang, A. A., & Rambe, A. H. (2021). Modeling of transient caused by lightning strike at Nias high voltage substation using ATP-EMTP case study. *Journal of Physics: Conference Series*, *1811*(1), 012049. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012049

Lestari, M. W., & Anugrahwaty, R. (2026). *Scenario - Based Charging Demand and Load Characterization for Electric Two - Wheeler Systems*. *5*(2), 391–401.

Lumbangaol, L. V., Setiawan, I., Rosalia, N., Hasibuan, M., & Deslia, D. N. (2025). *Rancang Bangun Sistem Informasi Manajemen Berbasis Web Dalam Pengambilan Keputusan Pada Kooperasi AMIK Universal*. *1*(1), 1–10.

Muchlishiin, M., Matondang, A. A., Astarani, T. F., & Sinambela, H. (2026). *Keyboard circuit trace restoration using conductive silver paste for computer input devices*. *9*(2), 81–88.

Nainggolan, R., Kamil, I., Matondang, A. A., Sitorus, N., Suadi, S., Sibarani, B., & Hestukoro, S. (2026). Parametric optimization of an axial wind turbine blade for a hybrid renewable energy system integrating solar PV and micro-hydro. *Science, Technology, and Communication Journal*, *6*(3), 385–392. https://doi.org/10.59190/stc.v6i3.395

Purba, A. M., Napitu, D. H. S., Lestari, M. W., Simangunsong, J., Hutajulu, E., Hutabarat, N. F., & Matondang, A. A. (2026). Energy Consumption and Charging Infrastructure Analysis for Electric Bus Deployment in Urban Transportation Systems. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *12*(4), 639–648. https://doi.org/10.29303/jppipa.v12i4.11221

S Suparmono, C Cholish, A Abdullah, Sinambela, H., Alda, T., Matondang, A. A., & Simanjuntak, A. V. (2025). Quantitative Assessment of Passive Load Balancing for a Designed HVAC Installation: Case study in Magnificent Hall, Deli Park. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, *10*(3), 397–401. https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.3.24696

Setiawan, I., Hasibuan, F. Z., Nita, D., Sari, D., & Hasibuan, M. (2023). *Rancang Bangun Sistem Informasi Smart Farming Berbasis Web Untuk Monitoring Kondisi Tanaman Hidroponik Menggunakan IoT dan Algoritma Decision Tree*. *1*(1), 1–10.

Shankani, R., Khalifavi, M., Shirmohammadi, Z., & Nikoofard, A. (2025). F2multisense: a novel approach to fuzzy fusion in multisensor data to improve saving energy in WBSN. *The Journal of Supercomputing*, *81*(6), 794. https://doi.org/10.1007/s11227-025-07233-7

Simangunsong, J., Simanjuntak, N. D., & Matondang, A. A. (2025). Penerapan Transfer Learning untuk Klasifikasi Citra Bunga Berbasis Convolutional Neural Network. *Jurnal Minfo Polgan*, *14*(1), 1062–1067. https://doi.org/10.33395/jmp.v14i1.14980

Sitorus, N., Ginting, B. B., Panjaitan, B. P., Simanjuntak, B. E., Naibaho, P. R. P., Matondang, A. A., & Simanjuntak, A. V. H. (2025). Design and Performance Evaluation of a 200 Wp Off-Grid Solar Photovoltaic Module for Renewable Energy in Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, *10*(3), 408–412. https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.3.24981

Suprianto, Hardi, S., & Matondang, A. A. (n.d.). *SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN CERDAS UNTUK MENGINTEGRASIKAN PV SURYA DAN PENGISIAN*. *7*(1), 64–72.

Talmale, R., & Bhat, M. N. (2022). Energy Attentive and Pre-fault Recognize Mechanism for Distributed Wireless Sensor Network Using Fuzzy Logic Approach. *Wireless Personal Communications*, *124*(2), 1263–1280. https://doi.org/10.1007/s11277-021-09405-z

Z Zumhari, Hutajulu, E., Sibarani, B., Sirait, R., Anggriani, T., & Matondang, A. A. (2025). Advancing Environmental and Health Pollution Monitoring in Medan, Indonesia: A Mechatronics-Based Meta-

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Analysis. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, *10*(3), 402–407. https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.3.24694

Copyright© 2021 TRekRiTel (Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi) : Jurnal Teknik Elektro.
This is an open acces article under the CC-BY-SA lisence (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).