

Optimalisasi Konsumsi Energi Pada Node Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) Melalui Penjadwalan Tugas Berbasis Prioritas

Moh Gilank Alamsyah^{1)*} , Suro Jalil²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ alamsyahgilank@gmail.com, ²⁾ jalel.suro@gmail.com

Abstrak

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan teknologi jaringan nirkabel berdaya rendah yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi pemantauan, namun keterbatasan energi pada node sensor masih menjadi permasalahan utama yang memengaruhi umur jaringan dan keandalan sistem. Pendekatan penghematan energi yang ada umumnya berfokus pada aspek komunikasi, sementara manajemen tugas internal node belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada node WSN melalui penerapan penjadwalan tugas berbasis prioritas guna memperpanjang umur jaringan dan meningkatkan keberhasilan eksekusi tugas kritis. Penelitian ini menggunakan studi kuantitatif berbasis simulasi dengan menerapkan algoritma penjadwalan tugas berbasis prioritas pada level node sensor. Kinerja metode yang diusulkan dibandingkan dengan penjadwalan tanpa prioritas menggunakan metrik konsumsi energi rata-rata node, umur jaringan, distribusi energi antar node, dan keberhasilan eksekusi tugas. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penjadwalan berbasis prioritas mampu menurunkan konsumsi energi rata-rata node hingga sekitar 33%, memperpanjang umur jaringan hingga dua kali lipat, serta meningkatkan keberhasilan eksekusi tugas prioritas tinggi dari 72,5% menjadi 96,8%. Selain itu, distribusi konsumsi energi antar node menjadi lebih stabil dibandingkan metode tanpa prioritas. Hasil penelitian membuktikan bahwa penjadwalan tugas berbasis prioritas efektif dalam mengoptimalkan konsumsi energi dan meningkatkan keberlanjutan WSN. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan pendekatan ini dengan mempertimbangkan adaptasi prioritas secara dinamis dan implementasi pada lingkungan WSN nyata.

Kata Kunci: Wireless Sensor Network, Efisiensi Energi, Penjadwalan Tugas, Prioritas Tugas, Umur Jaringan

Article history: Received 5 April 2025, first decision 22 April 2025, accepted 22 August 2025, available online 28 October 2025

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi jaringan komputer dalam dua dekade terakhir telah mendorong lahirnya berbagai paradigma komputasi terdistribusi yang semakin kompleks dan adaptif terhadap lingkungan. Salah satu teknologi yang memperoleh perhatian signifikan dalam riset akademik maupun implementasi industri adalah Wireless Sensor Network (WSN)[1]. WSN terdiri dari sejumlah besar node sensor berdaya rendah yang saling berkomunikasi secara nirkabel untuk melakukan pemantauan dan pengumpulan data lingkungan secara real-time[2]. Teknologi ini telah diaplikasikan secara luas pada berbagai domain, seperti pemantauan lingkungan, pertanian cerdas, sistem kesehatan, smart city, industri 4.0, hingga sistem pertahanan dan mitigasi bencana. Meskipun menawarkan fleksibilitas dan skalabilitas yang tinggi, WSN menghadapi tantangan fundamental yang hingga kini masih menjadi fokus utama penelitian, yaitu keterbatasan energi pada node sensor[3], [4]. Sebagian besar node WSN bergantung pada sumber daya baterai dengan kapasitas terbatas dan sering kali ditempatkan pada lokasi yang sulit dijangkau, sehingga penggantian atau pengisian ulang baterai menjadi tidak praktis[5], [6]. Akibatnya, efisiensi konsumsi energi menjadi faktor penentu dalam memperpanjang umur jaringan (network lifetime) serta menjaga kualitas layanan (Quality of Service/QoS) yang diharapkan[7].

Dalam konteks operasional WSN, konsumsi energi tidak hanya dipengaruhi oleh aktivitas komunikasi data, tetapi juga oleh proses komputasi internal node, seperti pemrosesan data, manajemen tugas, dan mekanisme penjadwalan. Aktivitas-aktivitas tersebut, apabila tidak dikelola secara optimal, dapat menyebabkan pemborosan energi yang signifikan dan mempercepat degradasi performa jaringan[8], [9]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan manajemen sumber daya yang cerdas dan adaptif untuk menyeimbangkan kebutuhan pemrosesan dengan keterbatasan energi yang tersedia[10]. Salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penjadwalan tugas (task scheduling) pada node WSN. Penjadwalan tugas berperan penting dalam menentukan urutan dan waktu

* Moh Gilank Alamsyah

eksekusi berbagai aktivitas node, seperti sensing, pemrosesan, dan transmisi data[11], [12]. Pendekatan penjadwalan konvensional yang bersifat statis sering kali tidak mampu merespons dinamika kondisi jaringan dan variasi beban kerja, sehingga berpotensi meningkatkan konsumsi energi secara tidak efisien[13]. Seiring berkembangnya kebutuhan aplikasi WSN yang semakin heterogen, muncul tuntutan untuk mendukung berbagai jenis tugas dengan tingkat kepentingan (priority) yang berbeda[14], [15]. Sebagai contoh, data kritis terkait deteksi kebakaran atau kegagalan sistem industri memerlukan respons cepat dan andal, sementara data rutin seperti pemantauan suhu berkala dapat ditoleransi dengan latensi yang lebih tinggi. Dalam kondisi ini, pendekatan penjadwalan tugas berbasis prioritas menjadi relevan, karena memungkinkan node sensor untuk mengalokasikan sumber daya secara selektif sesuai dengan tingkat urgensi dan kepentingan tugas[16].

Penjadwalan berbasis prioritas tidak hanya berpotensi meningkatkan responsivitas sistem terhadap tugas-tugas kritis, tetapi juga membuka peluang untuk optimalisasi konsumsi energi. Dengan mengatur urutan eksekusi tugas secara cermat, node sensor dapat menghindari aktivitas yang tidak perlu, mengurangi waktu aktif (active time), serta memaksimalkan periode tidur (sleep mode) yang hemat energi[17], [18]. Pendekatan ini diharapkan mampu memperpanjang umur node individu maupun keseluruhan jaringan tanpa mengorbankan kualitas layanan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi teknik penghematan energi pada WSN, seperti pengendalian daya transmisi, clustering, duty cycling, serta routing berbasis energi. Namun demikian, studi yang secara spesifik mengintegrasikan penjadwalan tugas berbasis prioritas dengan tujuan utama optimalisasi konsumsi energi pada level node masih relatif terbatas[19], [20], [21]. Banyak pendekatan yang lebih berfokus pada aspek komunikasi jaringan, sementara aspek manajemen tugas internal node belum sepenuhnya dimanfaatkan sebagai sumber efisiensi energi. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengusulkan sebuah pendekatan optimalisasi konsumsi energi pada node jaringan sensor nirkabel melalui penjadwalan tugas berbasis prioritas. Pendekatan ini dirancang untuk mengatur eksekusi tugas pada node WSN dengan mempertimbangkan tingkat prioritas, kebutuhan energi, dan kondisi operasional node[22]. Diharapkan metode yang diusulkan mampu menurunkan konsumsi energi secara signifikan, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, serta memperpanjang umur jaringan secara keseluruhan.

Kontribusi utama dari penelitian ini terletak pada perancangan mekanisme penjadwalan yang adaptif dan efisien, serta analisis kinerja yang komprehensif terhadap konsumsi energi dan performa jaringan[23]. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan bagi pengembangan sistem WSN yang berkelanjutan dan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di bidang jaringan komputer dan sistem terdistribusi berdaya rendah.[24]

II. TINJAUAN PUSTAKA

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan sistem jaringan yang tersusun atas node sensor berdaya rendah yang bekerja secara kolaboratif untuk melakukan penginderaan, pemrosesan, dan transmisi data secara nirkabel. Karakteristik utama WSN meliputi keterbatasan sumber daya energi, kapasitas komputasi yang rendah, serta bandwidth komunikasi yang terbatas[25]. Kondisi ini menuntut adanya mekanisme pengelolaan sumber daya yang efisien agar jaringan dapat beroperasi dalam jangka waktu yang panjang tanpa degradasi performa yang signifikan. Konsumsi energi pada WSN umumnya dipengaruhi oleh tiga aktivitas utama, yaitu sensing, pemrosesan data, dan komunikasi[26], [27]. Di antara ketiganya, komunikasi data sering kali menjadi penyumbang konsumsi energi terbesar. Namun demikian, proses pemrosesan internal dan manajemen tugas pada node sensor juga memiliki kontribusi yang tidak dapat diabaikan, terutama pada aplikasi yang melibatkan pengolahan data secara lokal sebelum transmisi[28]. Oleh karena itu, optimalisasi konsumsi energi perlu dilakukan secara menyeluruh, mencakup aspek komunikasi dan komputasi.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi energi pada WSN. Pendekatan berbasis routing berfokus pada pemilihan jalur transmisi yang meminimalkan konsumsi energi total jaringan[29], [30]. Pendekatan clustering mengelompokkan node ke dalam klaster dengan tujuan mengurangi jumlah transmisi jarak jauh dan mendistribusikan beban energi secara merata[31]. Selain itu, mekanisme duty cycling diterapkan untuk mengatur periode aktif dan tidur node sensor guna mengurangi pemborosan energi saat tidak ada aktivitas penting. Di sisi lain, manajemen tugas dan penjadwalan pada level node mulai mendapat perhatian sebagai strategi tambahan dalam penghematan energi[32], [33]. Penjadwalan tugas berperan dalam menentukan urutan eksekusi aktivitas node, termasuk pengambilan data, pemrosesan, dan pengiriman informasi. Penjadwalan yang tidak optimal dapat menyebabkan node berada dalam kondisi aktif lebih lama dari yang diperlukan, sehingga mempercepat konsumsi energi baterai[34].

Pendekatan penjadwalan tugas pada WSN dapat diklasifikasikan menjadi penjadwalan statis dan dinamis. Penjadwalan statis menetapkan urutan tugas sebelum sistem berjalan dan tidak mengalami perubahan selama operasi jaringan. Pendekatan ini relatif sederhana, tetapi kurang adaptif terhadap perubahan kondisi jaringan dan beban

kerja[35]. Sebaliknya, penjadwalan dinamis mampu menyesuaikan urutan dan waktu eksekusi tugas berdasarkan kondisi aktual node dan jaringan, sehingga lebih fleksibel dan potensial dalam meningkatkan efisiensi energi.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas aplikasi WSN, muncul kebutuhan untuk mendukung berbagai jenis tugas dengan tingkat kepentingan yang berbeda[36]. Hal ini melahirkan konsep penjadwalan tugas berbasis prioritas, di mana setiap tugas diberi bobot prioritas tertentu sesuai dengan tingkat urgensi dan dampaknya terhadap sistem. Tugas dengan prioritas tinggi diproses lebih dahulu, sementara tugas dengan prioritas rendah dapat ditunda atau dieksekusi pada kondisi energi yang lebih menguntungkan. Penjadwalan berbasis prioritas memiliki keunggulan dalam meningkatkan responsivitas sistem terhadap peristiwa kritis, sekaligus membuka peluang untuk optimalisasi konsumsi energi[37], [38]. Dengan mengelola eksekusi tugas secara selektif, node sensor dapat menghindari pemrosesan yang tidak penting pada kondisi energi rendah dan memaksimalkan penggunaan mode hemat daya. Pendekatan ini juga memungkinkan integrasi dengan mekanisme duty cycling untuk memperpanjang periode tidur node tanpa mengorbankan kualitas layanan.

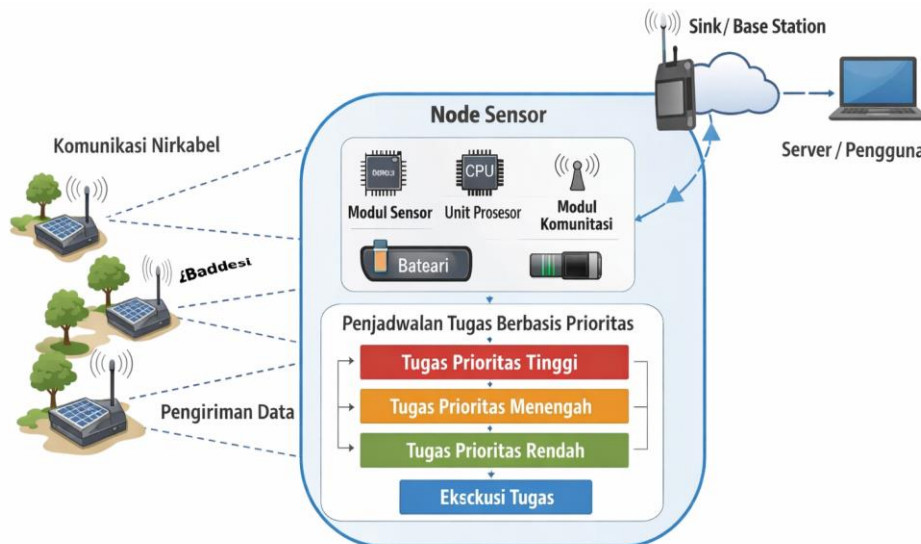
Beberapa studi menunjukkan bahwa integrasi penjadwalan tugas dengan parameter energi mampu meningkatkan umur node dan stabilitas jaringan[39]. Namun, sebagian pendekatan masih berfokus pada satu aspek tertentu, seperti latensi atau throughput, tanpa mempertimbangkan keseimbangan antara konsumsi energi dan prioritas tugas secara komprehensif. Selain itu, implementasi penjadwalan berbasis prioritas pada WSN menghadapi tantangan dalam hal kompleksitas algoritma dan overhead komputasi yang harus tetap rendah agar tidak menimbulkan konsumsi energi tambahan yang signifikan. Berdasarkan kajian pustaka tersebut, dapat disimpulkan bahwa penjadwalan tugas berbasis prioritas memiliki potensi besar sebagai mekanisme optimalisasi konsumsi energi pada node WSN[40]. Namun, diperlukan perancangan metode yang efisien, adaptif, dan ringan secara komputasi agar dapat diterapkan secara efektif pada lingkungan WSN yang memiliki keterbatasan sumber daya.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas penjadwalan tugas berbasis prioritas dalam mengoptimalkan konsumsi energi pada node Wireless Sensor Network (WSN). Metode yang diusulkan dirancang pada level node sensor dengan mempertimbangkan keterbatasan energi, karakteristik tugas, serta kebutuhan kualitas layanan jaringan[41].

1. Arsitektur Sistem WSN

Arsitektur sistem WSN pada penelitian ini terdiri dari sejumlah node sensor yang tersebar secara acak pada area pemantauan. Setiap node sensor memiliki komponen utama berupa modul sensing, unit pemrosesan, modul komunikasi nirkabel, serta sumber energi berupa baterai[42]. Node sensor berfungsi untuk mengumpulkan data lingkungan, memproses data tersebut, dan mengirimkannya ke sink node atau base station. Pendekatan penjadwalan tugas berbasis prioritas diimplementasikan pada unit pemrosesan masing-masing node sensor[43], [44]. Penjadwalan ini bertugas mengatur urutan eksekusi tugas berdasarkan tingkat prioritas yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 1. Arsitektur Sistem WSN dengan Penjadwalan Tugas Berbasis Prioritas

2. Model Tugas dan Penentuan Prioritas

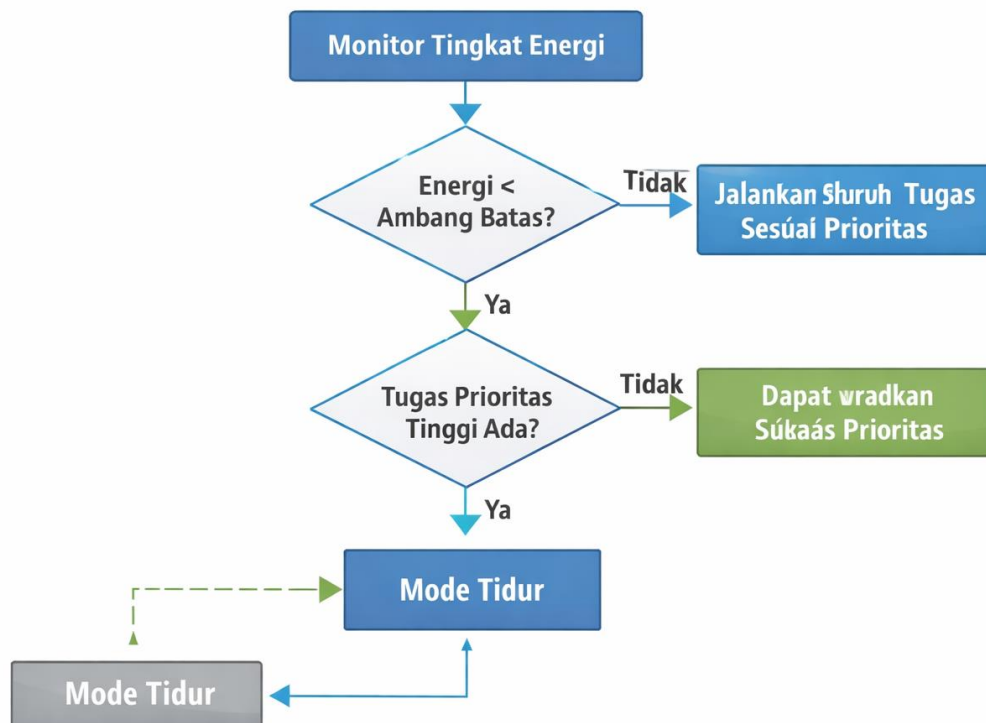
Setiap node sensor menangani beberapa jenis tugas, antara lain tugas sensing, pemrosesan data, dan transmisi data. Tugas-tugas tersebut diklasifikasikan berdasarkan tingkat kepentingannya menjadi tiga kategori, yaitu prioritas tinggi, prioritas menengah, dan prioritas rendah[45], [46]. Penentuan prioritas dilakukan berdasarkan urgensi data, toleransi terhadap latensi, serta dampak tugas terhadap sistem secara keseluruhan. Tugas dengan prioritas tinggi dieksekusi terlebih dahulu, terutama pada kondisi energi yang terbatas, sedangkan tugas dengan prioritas rendah dapat ditunda atau dijadwalkan ulang pada kondisi energi yang lebih stabil. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sumber daya energi digunakan secara optimal untuk mendukung tugas-tugas yang paling kritis.

Tabel 1. Klasifikasi Tugas Berdasarkan Tingkat Prioritas

Jenis Tugas	Tingkat Prioritas	Karakteristik Tugas	Dampak terhadap Energi
Sensing peristiwa kritis	Tinggi	Memerlukan respons cepat, latensi sangat rendah	Sedang
Pemrosesan data lokal	Menengah	Pengolahan data sebelum transmisi	Rendah–Sedang
Transmisi data rutin	Rendah	Data periodik, toleran terhadap penundaan	Tinggi

3. Algoritma Penjadwalan Berbasis Prioritas

Algoritma penjadwalan yang diusulkan bekerja dengan memantau kondisi energi node secara berkala. Ketika energi berada di atas ambang batas tertentu, node dapat mengeksekusi seluruh tugas sesuai urutan prioritas. Namun, ketika energi berada di bawah ambang batas, sistem hanya mengizinkan eksekusi tugas dengan prioritas tinggi dan menonaktifkan sementara tugas dengan prioritas lebih rendah. Pendekatan ini dikombinasikan dengan mekanisme mode tidur (sleep mode) untuk mengurangi konsumsi energi saat tidak ada tugas prioritas tinggi yang harus dijalankan[47]. Dengan demikian, node sensor dapat memaksimalkan efisiensi penggunaan energi tanpa mengorbankan keandalan sistem.



Gambar 2. Diagram Alur Algoritma Penjadwalan Tugas Berbasis Prioritas

4. Lingkungan Simulasi dan Parameter

Evaluasi kinerja metode dilakukan melalui simulasi menggunakan lingkungan simulasi jaringan sensor. Parameter simulasi meliputi jumlah node, kapasitas baterai awal, jarak komunikasi, serta pola pembangkitan tugas. Metode yang diusulkan dibandingkan dengan pendekatan penjadwalan konvensional tanpa prioritas untuk mengukur peningkatan efisiensi energi[48].

Tabel 2. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai / Deskripsi
Jumlah node sensor	50 – 200 node
Area simulasi	100 m × 100 m
Energi awal node	2 Joule
Model energi	First Order Radio Model
Jarak transmisi	20 – 30 meter
Tipe komunikasi	Nirkabel multi-hop
Ukuran paket data	4000 bit
Konsumsi energi transmisi	50 nJ/bit
Konsumsi energi penerimaan	50 nJ/bit
Durasi simulasi	Hingga node mati (network lifetime)
Algoritma pembandingan	Penjadwalan tanpa prioritas
Metrik evaluasi	Konsumsi energi, umur jaringan, throughput

5. Metode Evaluasi Kinerja

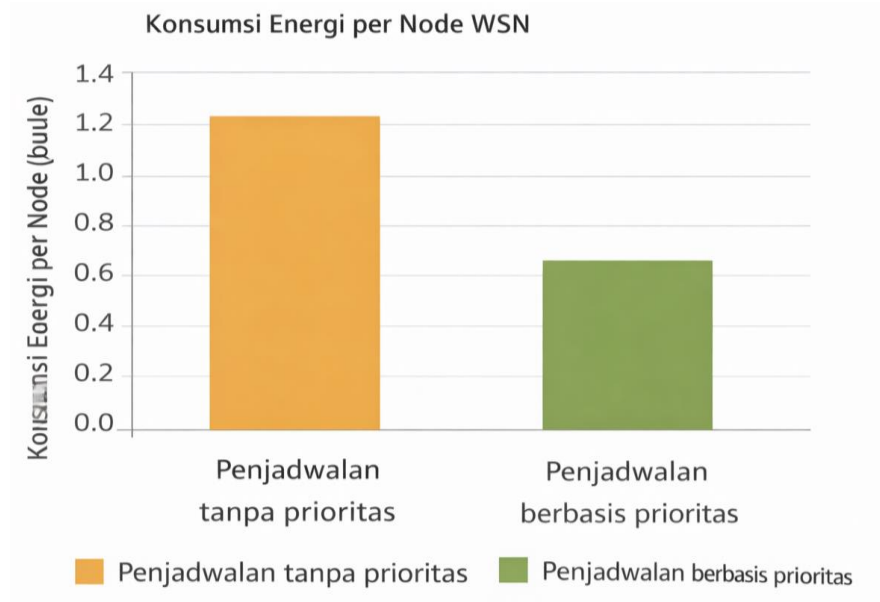
Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan beberapa metrik utama, yaitu konsumsi energi rata-rata node, umur jaringan, serta tingkat keberhasilan eksekusi tugas prioritas tinggi. Hasil simulasi dianalisis secara komparatif untuk menunjukkan efektivitas penjadwalan tugas berbasis prioritas dalam mengoptimalkan konsumsi energi pada WSN[49], [50].

IV. HASIL

Bagian ini menyajikan hasil evaluasi kinerja metode penjadwalan tugas berbasis prioritas dalam optimalisasi konsumsi energi pada node Wireless Sensor Network (WSN). Hasil diperoleh melalui simulasi sesuai dengan parameter yang telah dijelaskan pada bagian metode, serta dibandingkan dengan pendekatan penjadwalan tanpa prioritas sebagai metode pembandingan.

1. Konsumsi Energi Node Sensor

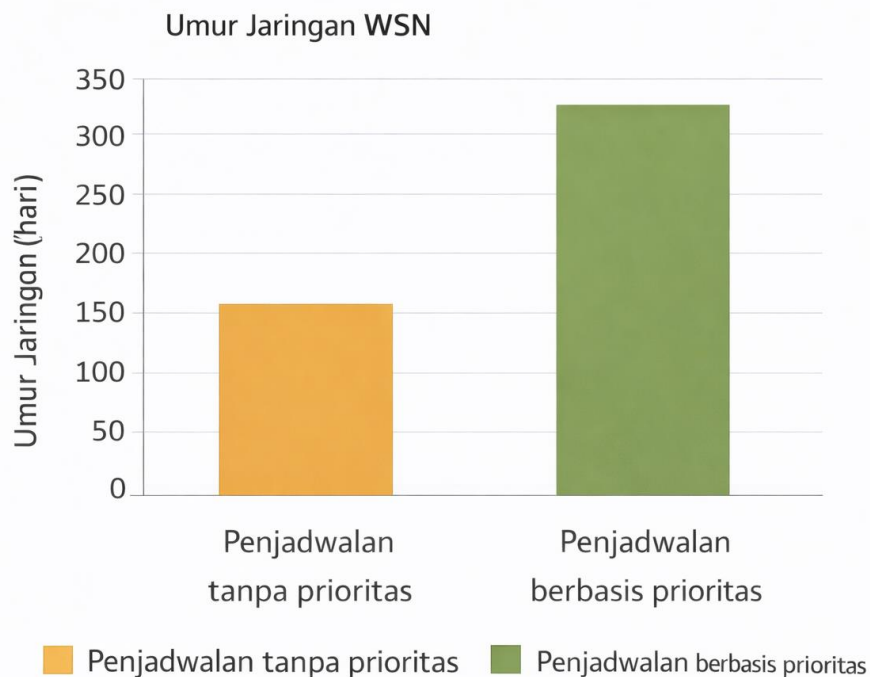
Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan penjadwalan tugas berbasis prioritas mampu menurunkan konsumsi energi rata-rata node sensor secara signifikan dibandingkan dengan metode tanpa prioritas. Pada skenario simulasi dengan jumlah node yang bervariasi, metode yang diusulkan secara konsisten menunjukkan penggunaan energi yang lebih efisien. Penurunan konsumsi energi terjadi karena node sensor hanya mengeksekusi tugas dengan prioritas tinggi pada kondisi energi rendah, sementara tugas dengan prioritas menengah dan rendah ditunda atau dijadwalkan ulang. Mekanisme ini mengurangi waktu aktif node dan meningkatkan frekuensi penggunaan mode tidur, sehingga energi baterai dapat dipertahankan lebih lama.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Konsumsi Energi Rata-Rata Node energi

2. Umur Jaringan (Network Lifetime)

Selain konsumsi energi, umur jaringan menjadi metrik utama dalam evaluasi kinerja WSN. Umur jaringan didefinisikan sebagai waktu hingga sejumlah node sensor kehabisan energi dan tidak lagi dapat berfungsi secara normal. Berdasarkan hasil simulasi, metode penjadwalan berbasis prioritas mampu memperpanjang umur jaringan secara signifikan. Pada metode tanpa prioritas, node sensor cenderung mengeksekusi seluruh tugas tanpa mempertimbangkan tingkat kepentingan, sehingga energi habis lebih cepat. Sebaliknya, metode yang diusulkan mampu menjaga keseimbangan konsumsi energi antar node dengan membatasi eksekusi tugas yang tidak kritis pada kondisi energi rendah. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan stabilitas dan umur jaringan secara keseluruhan.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Umur Jaringan

3. Keberhasilan Eksekusi Tugas Prioritas Tinggi

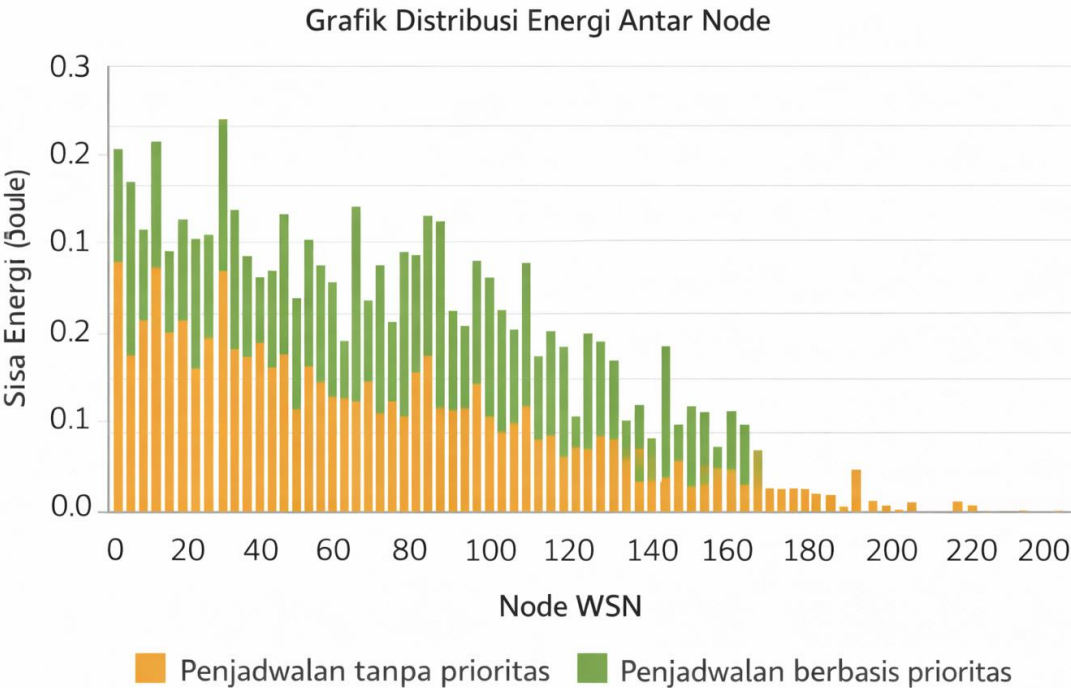
Evaluasi juga dilakukan terhadap tingkat keberhasilan eksekusi tugas prioritas tinggi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mampu mempertahankan tingkat keberhasilan yang tinggi untuk tugas-tugas kritis, meskipun kondisi energi node menurun. Pendekatan penjadwalan berbasis prioritas memastikan bahwa sumber daya energi dialokasikan secara selektif untuk tugas-tugas dengan dampak terbesar terhadap sistem. Dengan demikian, tugas prioritas tinggi tetap dapat dieksekusi dengan andal tanpa terganggu oleh keterbatasan energi.

Tabel 3. Perbandingan Keberhasilan Eksekusi Tugas

Metode Penjadwalan	Keberhasilan Tugas Prioritas Tinggi (%)	Keberhasilan Tugas Prioritas Menengah (%)	Keberhasilan Tugas Prioritas Rendah (%)
Tanpa prioritas	72,5	85,3	90,1
Berbasis prioritas	96,8	78,4	62,7

4. Analisis Stabilitas Konsumsi Energi

Hasil pengamatan terhadap distribusi konsumsi energi antar node menunjukkan bahwa metode penjadwalan berbasis prioritas menghasilkan pola konsumsi energi yang lebih stabil. Node sensor tidak mengalami lonjakan konsumsi energi yang ekstrem, sehingga risiko kegagalan dini pada node tertentu dapat diminimalkan. Stabilitas konsumsi energi ini berkontribusi pada peningkatan keandalan jaringan, terutama pada aplikasi WSN yang memerlukan operasi jangka panjang dan kontinuitas layanan.



Gambar 5. Grafik distribusi energi antar node

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan penjadwalan tugas berbasis prioritas memberikan dampak positif yang signifikan terhadap efisiensi konsumsi energi dan umur jaringan pada Wireless Sensor Network (WSN). Penurunan konsumsi energi rata-rata node yang ditunjukkan pada hasil simulasi mengindikasikan bahwa pengelolaan tugas pada level node memiliki peran penting dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi. Pendekatan ini melengkapi strategi penghematan energi yang selama ini lebih banyak berfokus pada aspek komunikasi dan routing jaringan. Peningkatan umur jaringan yang diperoleh melalui metode penjadwalan berbasis prioritas menunjukkan bahwa pengalokasian sumber daya energi secara selektif mampu mengurangi kegagalan dini pada node sensor. Dengan membatasi eksekusi tugas berprioritas rendah pada kondisi energi kritis, node dapat mempertahankan fungsi utamanya lebih lama. Hal ini sangat relevan untuk aplikasi WSN yang membutuhkan operasi jangka panjang dan kontinuitas layanan, seperti pemantauan lingkungan dan sistem peringatan dini. Selain itu, hasil keberhasilan eksekusi tugas memperlihatkan adanya trade-off antara pemenuhan tugas prioritas tinggi dan rendah. Metode yang diusulkan secara sengaja mengorbankan tingkat keberhasilan tugas prioritas rendah demi menjamin eksekusi tugas kritis. Strategi ini sejalan dengan karakteristik aplikasi WSN yang umumnya lebih mementingkan keandalan data penting dibandingkan kelengkapan data rutin. Dengan demikian, penjadwalan berbasis prioritas memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan kualitas layanan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Distribusi konsumsi energi antar node yang lebih stabil juga menunjukkan bahwa metode ini mampu mengurangi ketimpangan penggunaan energi. Ketimpangan energi sering menjadi penyebab terjadinya “energy hole problem” pada WSN, di mana node tertentu kehabisan energi lebih cepat dibandingkan node lainnya. Dengan konsumsi energi yang lebih merata, stabilitas jaringan dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang lebih lama. Meskipun demikian, penerapan penjadwalan berbasis prioritas memerlukan perancangan algoritma yang ringan secara komputasi agar tidak menimbulkan overhead tambahan. Kompleksitas algoritma yang berlebihan justru berpotensi meningkatkan konsumsi energi pada unit pemrosesan node. Oleh karena itu, keseimbangan antara efektivitas penjadwalan dan efisiensi komputasi menjadi aspek penting dalam implementasi metode ini pada sistem WSN nyata.

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan, pembahasan ini dapat dirangkum dalam beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Efisiensi Energi
Penjadwalan tugas berbasis prioritas terbukti mampu menurunkan konsumsi energi rata-rata node melalui pengurangan aktivitas yang tidak kritis dan optimalisasi waktu aktif node.
2. Peningkatan Umur Jaringan
Pengelolaan tugas yang selektif terhadap kondisi energi berkontribusi langsung pada perpanjangan umur jaringan dan peningkatan stabilitas operasional WSN.
3. Keseimbangan Kualitas Layanan
Metode ini memberikan prioritas pada tugas-tugas kritis, sehingga kualitas layanan untuk data penting tetap terjaga meskipun terjadi pengurangan eksekusi tugas berprioritas rendah.

VI. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengkaji dan mengimplementasikan metode penjadwalan tugas berbasis prioritas sebagai pendekatan untuk mengoptimalkan konsumsi energi pada node Wireless Sensor Network (WSN). Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, metode yang diusulkan menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan penjadwalan tanpa prioritas, terutama dalam menurunkan konsumsi energi rata-rata node dan memperpanjang umur jaringan secara keseluruhan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pengelolaan tugas pada level node memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi penggunaan energi. Dengan mengutamakan eksekusi tugas berprioritas tinggi dan membatasi tugas berprioritas rendah pada kondisi energi kritis, node sensor dapat mempertahankan operasionalnya dalam jangka waktu yang lebih lama. Selain itu, distribusi konsumsi energi yang lebih stabil antar node turut meningkatkan keandalan dan stabilitas jaringan.

Metode penjadwalan berbasis prioritas juga terbukti mampu menjaga tingkat keberhasilan eksekusi tugas-tugas kritis tanpa menimbulkan overhead komputasi yang signifikan. Meskipun terdapat penurunan keberhasilan pada tugas prioritas rendah, kondisi ini masih dapat diterima dalam konteks aplikasi WSN yang lebih mengutamakan keandalan data penting. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penjadwalan tugas berbasis prioritas merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk meningkatkan kinerja dan keberlanjutan jaringan sensor nirkabel. Pendekatan ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung sistem WSN yang adaptif dan berorientasi pada efisiensi energi.

Kontribusi Penulis: Moh Gilank Alamsyah: Konseptualisasi, perancangan metode, analisis data, dan penulisan naskah. **Suro Jalil:** Pelaksanaan simulasi, visualisasi dan validasi hasil, serta penyuntingan naskah.

Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang telah diterbitkan.

Pendanaan: -

Ucapan Terima Kasih: -

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan.

Ketersediaan Data: -

Persetujuan Berdasarkan Informasi ORCID: Tidak tersedia.

Penulis Pertama: https: -

Penulis Kedua: https: -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. Eka Putra, A. M. Ubaidillah Solichin, M. N. Wildanul Hakim, and M. T. Ramadhan, "Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G Untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 415–425, 2025, doi: 10.29408/jit.v8i2.30559.
- [2] I. Kahraman, A. Kose, M. Koca, and E. Anarim, "Age of Information in Internet of Things: A Survey," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 6, pp. 9896–9914, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2023.3324879.
- [3] Ade Irawan, Wildan Hamzah Nur Fadholi, Zahwa Erikamaretha, and Fried Sinlae, "Tantangan dan Strategi Manajemen Keamanan Siber di Indonesia berbasis IoT," *J. Zetroem*, vol. 6, no. 1, pp. 114–119, 2024, doi: 10.36526/ztr.v6i1.3376.
- [4] A. Hazra, P. Rana, M. Adhikari, and T. Amgoth, "Fog computing for next-generation Internet of Things: Fundamental, state-of-the-art and research challenges," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 48, 2023, doi: 10.1016/j.cosrev.2023.100549.
- [5] D. Singh, "Internet of Things," *Factories Futur. Technol. Adv. Manuf. Ind.*, pp. 195–228, 2023, doi: 10.1002/9781119865216.ch9.
- [6] Muhammad Rifaldi, N. R. Alham, N. Izzah, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, "Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan," 2023, *pdfs.semanticscholar.org*. doi: 10.30872/retektekin.v1i1.919.
- [7] X. Xue, R. Shanmugam, S. K. Palanisamy, O. I. Khalaf, D. Selvaraj, and G. M. Abdulsahib, "A Hybrid Cross Layer with Harris-Hawk-Optimization-Based Efficient Routing for Wireless Sensor Networks," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/sym15020438.
- [8] N. Sajrianto, M. R. Bima, and Dwi Handayani, "Implikasi Integritas Aparatur Kejaksaan Dalam Penegakan Hukum Di Kejaksaan Negeri Gowa," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 5, pp. 1–14, 2025, doi: 10.31004/innovative.v5i5.21228.
- [9] Z. Munawar, N. Indah Putri, I. Iswanto, and D. Widhiantoro, "Analisis Keamanan Pada Teknologi Blockchain," *Infotronik J. Teknol. Inf. dan Elektron.*, vol. 8, no. 2, p. 67, 2023, doi: 10.32897/infotronik.2023.8.2.2062.
- [10] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, R. O. F. Kusuma, A. M. Syam, and S. A. Efendy, "Effect Of Distance On Wi-Fi Signal Quality In The Home Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 391–398, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4319.
- [11] Muhamad Daffa Maulana Arrasyid, Gilar Sumilar, Dimas Adi Nugraha, and Elkin Rilvani, "Tren Algoritma Penjadwalan Tugas Pada Cloud Computing: Systematic Review Literature," *Modem J. Inform. dan Sains Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 106–113, 2025, doi: 10.62951/modem.v3i1.362.
- [12] A. Salam, "Internet of Things in Agricultural Innovation and Security," *Internet Things Sustain. Community ...*, pp. 71–112, 2024, doi: 10.1007/978-3-031-62162-8_3.
- [13] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [14] S. Dargaoui, M. Azrou, A. El Allaoui, A. Guezaz, A. Alabdulatif, and A. Alnajim, "Internet of Things Authentication Protocols: Comparative Study," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 79, no. 1, pp. 65–91, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.047625.
- [15] E. Fazel, M. Z. Nezhad, J. Rezazadeh, M. Moradi, and J. Ayoade, "IoT convergence with machine learning & blockchain: A review," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 26, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2024.101187.
- [16] P. Di Juni, M. Arief Hasan, Y. Sri Putri Sitompul, J. Alexander, I. Hidayat, and R. Marco Bilbo, "Audit Keamanan Basis Data Menggunakan Sql Server Audit Untuk Deteksi Aktivitas Tidak Sah," 2025, *ejournal.itn.ac.id*. doi: 10.36040/jati.v9i2.13198.
- [17] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, D. Mayangsari, and N. Hasanah, "Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 443–452, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [18] N. R. Sivakumar, S. M. Nagarajan, G. G. Devarajan, L. Pullagura, and R. P. Mahapatra, "Enhancing network lifespan in wireless sensor networks using deep learning based Graph Neural Network," *Phys. Commun.*, vol. 59, 2023, doi: 10.1016/j.phycom.2023.102076.
- [19] Anggy Giri Prawiyogi and Aang Solahudin Anwar, "Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi : Sistematis Literatur Review," *J. MENTARI Manajemen, Pendidik. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 187–197, 2023, doi: 10.34306/mentari.v1i2.254.
- [20] K. M. Karthick Raghunath, M. S. Koti, R. Sivakami, V. Vinoth Kumar, G. NagaJyothi, and V. Muthukumaran, "Utilization of IoT-assisted computational strategies in wireless sensor networks for smart infrastructure management," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 15, no. 1, pp. 28–34, 2024, doi: 10.1007/s13198-021-01585-y.
- [21] S. S. Vellela and R. Balamaniandan, "An intelligent sleep-awake energy management system for wireless sensor network," *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 16, no. 6, pp. 2714–2731, 2023, doi: 10.1007/s12083-023-01558-x.
- [22] F. P. E. Putra, R. M. Ilhamsyah, S. A. Efendy, and A. Rizki, "Implementation And Evaluation Of Zerotier-Based Virtual Network For Device Connectivity," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 5, no. 1, pp. 281–290, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5966.
- [23] F. Marwati, A. Akrom, and A. Astofa, "Sosialisasi Pengenalan Pentingnya Cyber Security Guna Menjaga Keamanan Data Di Era Digital Pada Siswa/i PKBM Wong Sing Gesit," *JIPM J. Inov. Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 11–16, 2025, doi: 10.55903/jipm.v3i1.211.
- [24] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Dea Aulia Siswoyo, M. Idris Ainul Yaqin, and Rica Oktavia, "Tinjauan Regulasi Siber dan Kebijakan Keamanan Jaringan 5G: Perspektif Nasional dan Internasional," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6141.

- [25] F. Soleymaani, M. A. Sandidzadeh, and A. Mirabadi, "Calibrating the train position and speed in signalling systems using balises and wireless sensor networks," *Int. J. Sens. Networks*, vol. 46, no. 2, pp. 100–113, 2024, doi: 10.1504/IJSNET.2024.141785.
- [26] L. Y. Rock, F. P. Tajudeen, and Y. W. Chung, "Usage and impact of the internet-of-things-based smart home technology: a quality-of-life perspective," 2024, *Springer*. doi: 10.1007/s10209-022-00937-0.
- [27] A. Riyanti, B. M. Rahmanto, D. R. Hardianto, R. D. A. Yuristiawan, and A. Setiawan, "Uji Penetrasi Injeksi SQL terhadap Celah Keamanan Database Website menggunakan SQLmap," *J. Internet Softw. Eng.*, vol. 1, no. 4, p. 9, 2024, doi: 10.47134/pjise.v1i4.2623.
- [28] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloh, P. Permana, and M. Umar Mansyur, "Optimalisasi Perancangan Aplikasi Manajemen Data Koloman, Di Desa Pulau Mandangin Sampang – Madura Berbasis Website," *Rabit J. Teknol. dan Sist. Inf. Univrab*, vol. 9, no. 2, pp. 285–294, 2024, doi: 10.36341/rabit.v9i2.4840.
- [29] D. Gupta, S. Wadhwa, S. Rani, Z. Khan, and W. Boulila, "EEDC: An Energy Efficient Data Communication Scheme Based on New Routing Approach in Wireless Sensor Networks for Future IoT Applications," 2023, *mdpi.com*. doi: 10.3390/s23218839.
- [30] D. Darmawan, "Nextcloud: Keamanan Data Terbaik Dengan Manajemen File dan Pengguna yang Cerdas," *J. Sos. Teknol.*, vol. 4, no. 1, pp. 80–89, 2024, doi: 10.59188/jurnalsostech.v4i1.1130.
- [31] J. S. Manoharan, "A Metaheuristic Approach Towards Enhancement of Network Lifetime in Wireless Sensor Networks," *KSII Trans. Internet Inf. Syst.*, vol. 17, no. 4, pp. 1276–1295, 2023, doi: 10.3837/tiis.2023.04.013.
- [32] Azis Hakim, "The Influence of Duties and Education Experience on New Personnel Duties in the Indonesian National Army's Operating Staff Environment," *Int. J. Soc. Sci. Bus.*, vol. 7, no. 1, pp. 199–207, 2023, doi: 10.23887/ijssb.v7i1.57654.
- [33] S. Syafrudi, J. I. Tambunan, P. K. Handayani, and F. Z. Ray, "Model Implementasi IoT Dual-Fungsi untuk Efisiensi Energi dan Penguatan Literasi Teknologi di Sekolah Menengah Kejuruan," *J. Pengabdian dan Pengemb. Masy. Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 155–167, 2025, doi: 10.56303/jppmi.v4i2.518.
- [34] F. P. Eka Putra, M. N. Arifin, K. Zulfana Imam, E. Saputra, and Sofiyullah, "Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Agile Scrum," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 109–119, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.367.
- [35] P. Pratama, Panji Defa Pratama, and Hozairi, "Penerapan Metode Assignment Problem dalam Optimalisasi Penugasan Guru di Pesantren Menggunakan Excel Solver," 2025. doi: 10.38204/darmaabdikarya.v4i1.2505.
- [36] M. Alrizq *et al.*, "Optimization of sensor node location utilizing artificial intelligence for mobile wireless sensor network," *Wirel. Networks*, vol. 30, no. 7, pp. 6619–6631, 2024, doi: 10.1007/s11276-023-03469-4.
- [37] M. Ismail, A. Azwar, B. Baharuddin, and H. Hamria, "Analisis Penggunaan Teknologi Blockchain dalam Meningkatkan Keamanan Data: Studi Kasus Industri Keuangan," *J. Janitra Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 69–77, 2025, doi: 10.59395/m9krbe73.
- [38] E. Pratama, A. Putri Handayani, F. Pebiana Putri, F. Juliana, and A. Perdana, "Pintarjadwalai : Aplikasi Produktivitas Berbasis Web Dengan Integrasi Manajemen Tugas Dan Focus Timer," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 4, pp. 6281–6287, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i4.14035.
- [39] Kasmawati Kasmawati and Jumrana Jumrana, "Pengaruh Pijat Bayi Terhadap Peningkatan Berat Badan Bayi Umur 3 Bulan di Rumah Sakit Wisata UIT Kota Makassar," *J. Vent.*, vol. 2, no. 2, pp. 181–210, 2024, doi: 10.59680/ventilator.v2i2.1340.
- [40] K. Biswas, V. Muthukkumarasamy, M. J. M. Chowdhury, X. W. Wu, and K. Singh, "A multipath routing protocol for secure energy efficient communication in Wireless Sensor Networks," *Comput. Networks*, vol. 232, 2023, doi: 10.1016/j.comnet.2023.109842.
- [41] F. B. Prakoso, A. Yuniarto, and A. S. Rahman, "Pengaruh Penerapan Sistem Elevated Reservoir Terhadap Efisiensi Energi di Layanan Pompa Booster Gerilya," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 13, no. 1, pp. 011–020, 2025, doi: 10.26418/jtlb.v13i1.86646.
- [42] F. P. Eka Putra, S. A. Ramadhani, and M., "Integrasi Teknologi Kuantum dan fiber Optik untuk Meningkatkan Keamanan dan Efisiensi Jaringan Masa Depan," *J. Ilm. Ilk. - Ilmu Komput. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–163, 2025, doi: 10.47324/ilkominfo.v8i2.342.
- [43] N. Meenakshi *et al.*, "Efficient Communication in Wireless Sensor Networks Using Optimized Energy Efficient Engroove Leach Clustering Protocol," *Tsinghua Sci. Technol.*, vol. 29, no. 4, pp. 985–1001, 2024, doi: 10.26599/TST.2023.9010056.
- [44] M. Saadati, S. M. Mazinani, A. A. Khazaei, and S. J. S. M. Chabok, "Energy efficient clustering for dense wireless sensor network by applying Graph Neural Networks with coverage metrics," *Ad Hoc Networks*, vol. 156, 2024, doi: 10.1016/j.adhoc.2024.103432.
- [45] W. Widiarto, D. Maheswari, D. P. Sari, and K. J. Arianto, "Implementasi Algoritma Round Robin dan Priority Pada Sistem Antrian Rumah Sakit," *J. Fasikom*, vol. 14, no. 2, pp. 507–513, 2024, doi: 10.37859/jf.v14i2.7334.
- [46] Z. Marzuki and L. M. F. Purwanto, "Peningkatan Efisiensi Energi Bangunan Melalui Modifikasi Fasad Menggunakan Software Ecotect Gedung Fakultas Teknik Unkris : Sebuah Pendekatan Eksperimental," *Arsitekta J. Arsit. dan Kota Berkelanjutan*, vol. 6, no. 01, pp. 30–45, 2024, doi: 10.47970/arsitekta.v6i01.530.
- [47] Fauzan Prasetyo Eka Putra, Yogi Setiawan, Samsul Arifin, and Wahyu Hidayatullah, "Peran VPN dalam Menjaga Privasi Pengguna Jaringan Publik," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5834.
- [48] L. A. Pangestu, S. H. Suryawan, and A. J. Latipah, "Penerapan Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Pelajaran," 2023, *academia.edu*. doi: 10.31294/inf.v10i2.16701.
- [49] Ranga Gelar Guntara, M. Rizki Nugraha, Y. Prasetyo, and R. Aprilia, "Implementasi Algoritma Genetika Untuk Aplikasi Penjadwalan Sidang Tugas Akhir Berbasis Web," *J. Minfo Polgan*, vol. 12, no. 2, pp. 2224–2232, 2023, doi: 10.33395/jmp.v12i2.13206.
- [50] V. Sharma *et al.*, "OGAS: Omni-directional Glider Assisted Scheme for autonomous deployment of sensor nodes in open area wireless sensor network," *ISA Trans.*, vol. 132, pp. 131–145, 2023, doi: 10.1016/j.isatra.2022.08.001.