

Implementasi Wireless Sensor Network Sebagai Media Komunikasi Data Pada Sistem Monitoring Jarak Jauh

Mohammad Faruq ^{1)*} , Ahmad Hamdani ²⁾ 

¹⁾ *Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia*

¹⁾moh.faruq221@gmail.com, ²⁾achmadhamdani789@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada implementasi Wireless Sensor Network (WSN) sebagai media komunikasi menjadi solusi teknologi yang semakin relevan untuk pemantauan jarak jauh karena mampu mengirimkan data real-time tanpa infrastruktur kabel, terutama pada area sulit dijangkau atau berbahaya bagi manusia. Penelitian ini bertujuan menguji performa WSN sebagai media komunikasi data dalam sistem monitoring jarak jauh dengan menilai kualitas transmisi dan efisiensi konsumsi daya pada berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini merupakan studi kuantitatif eksperimental dengan pengujian pada tiga skenario lingkungan berbeda (terbuka, semi-terhalang, dan tertutup beton) selama periode pengiriman data berkala. Parameter yang diukur mencakup delay, packet loss, throughput, akurasi sensor, dan konsumsi daya node. Penelitian menunjukkan bahwa lingkungan sangat memengaruhi performa jaringan, dimana area terbuka menghasilkan delay rata-rata 210 ms, semi-terhalang 287 ms, dan tertutup beton 403 ms, sedangkan packet loss tertinggi terjadi pada area tertutup sebesar 6.4%. Throughput tertinggi tercatat pada area terbuka yaitu 0.245 Mbps. Node relay mengonsumsi daya 46 mAh per jam, lebih tinggi dibanding node biasa. WSN terbukti efektif sebagai media komunikasi data monitoring jarak jauh untuk pengiriman paket kecil meski kinerjanya dipengaruhi kondisi fisik lingkungan. Penelitian lanjutan disarankan mengevaluasi optimasi routing dan sumber energi berbasis terbarukan untuk memperpanjang umur operasional node.

Kata Kunci: Wireless Sensor Network, Monitoring jarak jauh, Delay, Packet Loss, Throughput.

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

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan perangkat pintar, penurunan biaya perangkat sensor, serta peningkatan kapabilitas komunikasi tanpa kabel telah membuka peluang penelitian baru dalam bidang jaringan komputer, khususnya pada implementasi Wireless Sensor Network (WSN)[1],[2]. WSN merupakan jaringan komunikasi data yang tersusun atas node-node sensor yang saling terhubung secara nirkabel untuk mengumpulkan, memproses, serta mengirimkan data ke pusat kontrol. Konsep ini bukan hanya mendukung otomatisasi dan digitalisasi, tetapi juga mendorong paradigma komunikasi data yang lebih efisien, hemat energi, dan mampu menjangkau lokasi yang sebelumnya sulit diakses menggunakan infrastruktur jaringan konvensional[3]. Sistem monitoring jarak jauh berbasis WSN menjadi salah satu fokus penelitian global karena kemampuannya dalam melakukan observasi real-time tanpa memerlukan keberadaan fisik manusia di lapangan. Berbagai sektor seperti pertanian, kesehatan, industri manufaktur, mitigasi bencana, hingga keamanan nasional telah memanfaatkan penerapan WSN dalam mendukung proses pemantauan dan pengambilan keputusan. Efisiensi energi, skalabilitas, dan fleksibilitas menjadi nilai utama dari WSN[4], yang menjadikannya lebih unggul dibanding metode pengumpulan data manual maupun jaringan kabel yang membutuhkan biaya instalasi besar serta memiliki risiko kerusakan fisik yang tinggi [5].

Dalam konteks komunikasi data, sistem monitoring jarak jauh tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk membaca informasi, tetapi juga sebagai media yang mampu menyajikan rekam jejak historis, melakukan prediksi melalui analisis data, serta merespons secara otomatis terhadap situasi kritis. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah bagaimana merancang jaringan WSN yang memiliki kestabilan koneksi data, konsumsi daya minimal, dan toleransi kegagalan node yang baik. Karena sensor umumnya ditempatkan pada lokasi terpencil dan sulit dijangkau, maka strategi routing, manajemen energi, dan pemrosesan data harus dirancang secara adaptif agar jaringan dapat bertahan dalam jangka waktu lama[6]. Selain itu, komunikasi data jarak jauh membutuhkan desain keamanan jaringan yang matang. WSN rawan terhadap berbagai ancaman seperti penyadapan, manipulasi data, maupun serangan DoS (Denial of Service)[7]. Hal ini dikarenakan keterbatasan sumber daya perangkat sensor, seperti kapasitas baterai, memori, dan kekuatan prosesor yang tidak setara dengan perangkat jaringan konvensional[8]. Oleh karena itu, perlu dikembangkan

* Mohammad faruq

algoritma komunikasi yang tidak hanya mengedepankan akurasi dan kontinuitas data, tetapi juga mempertimbangkan aspek proteksi dan enkripsi tanpa memberikan beban signifikan pada performa jaringan[9],[10].

Implementasi WSN sebagai media komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh juga memiliki keterkaitan erat dengan perkembangan Internet of Things (IoT)[11],[12]. Integrasi WSN dengan IoT telah mendorong terbentuknya ekosistem digital yang semakin luas dan terdistribusi. Perangkat sensor bukan hanya menjadi pengumpul data, tetapi juga bagian dari rantai komunikasi yang terhubung dengan cloud computing serta kecerdasan buatan. Dengan demikian, proses monitoring jarak jauh menjadi lebih komprehensif, mulai dari pengambilan data, pengolahan, pengiriman, penyajian hasil, hingga automasi respons sistem. Hal ini mengubah cara manusia berinteraksi dengan lingkungan, menghemat waktu, menekan biaya operasional[13], dan meningkatkan akurasi keputusan[14][15]. Meskipun konsep WSN telah banyak diterapkan, setiap lingkungan memiliki karakteristik tantangan yang berbeda. Kondisi geografis, interferensi sinyal, topologi jaringan, serta kapasitas daya menjadi faktor penentu keberhasilan komunikasi data[16],[17]. Oleh sebab itu, penelitian mengenai implementasi sistem monitoring jarak jauh berbasis WSN masih sangat relevan untuk dikembangkan[18]. Studi yang mendalam dapat membantu menemukan model implementasi yang optimal, baik dari segi performa jaringan, efisiensi energi, maupun reliabilitas komunikasi[19].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini fokus pada implementasi Wireless Sensor Network sebagai media komunikasi data dalam sistem monitoring jarak jauh yang dirancang untuk memberikan solusi efektif terhadap kebutuhan monitoring pada area yang sulit diakses atau memerlukan pengawasan berkelanjutan. Penelitian difokuskan untuk menganalisis performa komunikasi data dalam proses pemantauan, tingkat akurasi informasi, stabilitas koneksi, serta efisiensi sumber daya jaringan. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah pada pengembangan jaringan komputer modern, sekaligus memberikan manfaat praktis bagi implementasi sistem monitoring masa depan yang lebih cerdas, efisien, aman, dan dapat diandalkan[20].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan sebuah jaringan yang terdiri dari kumpulan node sensor yang mampu mendeteksi, mengumpulkan, memproses, dan mengirimkan data melalui komunikasi nirkabel ke pusat pengendali. Setiap node sensor umumnya terdiri dari komponen sensor, mikrokontroler, modul komunikasi, dan sumber daya listrik seperti baterai[21]. WSN dirancang untuk bekerja secara mandiri dengan memanfaatkan arsitektur jaringan terdistribusi yang memungkinkan setiap node saling berkomunikasi tanpa perlu infrastruktur jaringan kabel. Keunggulan utama WSN terletak pada fleksibilitas instalasi, skalabilitas jaringan, biaya operasional rendah[22], serta kemampuannya melakukan pemantauan di area yang sulit dijangkau manusia[23],[24]. Arsitektur WSN biasanya terdiri dari tiga lapisan umum yaitu node sensor sebagai pengumpul data, gateway sebagai penghubung jaringan sensor ke sistem eksternal, dan server pusat sebagai media penyimpanan dan pemrosesan informasi. Node sensor membentuk jaringan secara otomatis menggunakan protokol komunikasi yang memungkinkan proses routing multi-hop sehingga data dapat berpindah dari node ke node hingga mencapai gateway[25]. Model ini menciptakan jaringan yang efisien karena tidak memerlukan satu titik pusat tunggal yang bertugas mengelola seluruh komunikasi[26]. Dalam implementasinya, komunikasi WSN dapat menggunakan berbagai protokol dan teknologi transmisi seperti ZigBee, LoRa, Wi-Fi, maupun Bluetooth Low Energy[27]. Setiap teknologi memiliki karakteristik berbeda terkait jarak jangkauan, konsumsi daya, stabilitas sinyal, dan kapasitas bandwidth. ZigBee misalnya memiliki konsumsi daya rendah dan cocok untuk komunikasi jarak menengah[28], sedangkan LoRa unggul pada jangkauan jauh namun memiliki bandwidth rendah. Pemilihan protokol komunikasi harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem monitoring, kondisi geografis lokasi, dan kapasitas daya pada node sensor[29].

Konsep dasar sistem monitoring jarak jauh tidak hanya bertujuan menampilkan data secara real-time, tetapi juga menyediakan kendali adaptif pada objek yang sedang dipantau. Pada lingkungan industri, sistem monitoring berbasis WSN digunakan untuk membaca parameter suhu, getaran, dan tekanan pada mesin produksi guna mencegah kerusakan dini. Pada sektor pertanian, WSN mendukung pertanian presisi melalui pemantauan kelembapan tanah, intensitas cahaya, serta kualitas udara. Dalam sistem mitigasi bencana, WSN mampu memberikan deteksi awal terhadap banjir, tanah longsor, atau kebakaran hutan berbasis pengolahan data sensor[30]. Pengolahan data dalam WSN biasanya dilakukan secara lokal pada node sensor sebelum dikirimkan ke gateway[31]. Hal ini berguna untuk mengurangi beban jaringan dan menghemat energi dengan cara meminimalkan transmisi data yang tidak diperlukan[32]. Konsep ini dikenal sebagai edge processing yang memberikan efisiensi signifikan pada sistem monitoring berskala besar[33]. Selain itu, beberapa implementasi WSN sudah terintegrasi dengan teknologi cloud computing sehingga proses penyimpanan, analisis data, visualisasi, dan identifikasi pola dapat dilakukan melalui platform digital[34].

Topologi jaringan menjadi faktor penting dalam keberhasilan komunikasi data pada WSN[35],[36]. Topologi mesh memberikan tingkat keandalan tinggi karena menyediakan jalur alternatif ketika terjadi kerusakan node, sedangkan topologi star lebih sederhana namun memiliki ketergantungan besar pada gateway[37]. Pemilihan topologi sangat bergantung pada luas area, jumlah node, kebutuhan redundansi, dan mobilitas lingkungan pemantauan[38]. Keamanan jaringan pada WSN merupakan aspek penting yang perlu diperhatikan karena sifat komunikasi nirkabel rentan terhadap penyadapan dan manipulasi data[39]. Metode enkripsi, manajemen akses, dan pengamanan paket harus dirancang sesuai keterbatasan sumber daya perangkat sensor[40]. Meskipun keterbatasan baterai dan kemampuan pemrosesan menjadi kendala, pengamanan tetap diperlukan untuk memastikan data monitoring dapat dipercaya dan bebas dari manipulasi[41]. Dari berbagai studi dan penerapan di lapangan, implementasi WSN pada sistem monitoring jarak jauh terbukti membawa manfaat besar terutama dalam peningkatan efisiensi operasional, pengambilan keputusan cepat, dan pengurangan keterlibatan manusia secara langsung di lokasi berbahaya atau sulit diakses. WSN menjadi fondasi teknologi masa depan dalam menciptakan sistem jaringan cerdas yang mampu berkomunikasi, menganalisis[42], serta merespons secara otomatis terhadap perubahan lingkungan.

III. METODE

Metode penelitian pada implementasi Wireless Sensor Network sebagai media komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis mulai dari perancangan perangkat, pengembangan jaringan, hingga pengujian performa komunikasi data. Tahapan metode dijelaskan sebagai berikut.

1. Sistem WSN yang dirancang terdiri dari node sensor sebagai pengumpul data[43], gateway sebagai penghubung komunikasi antar jaringan, serta pusat data sebagai penerima dan penyimpanan informasi. Node sensor ditempatkan pada titik-titik lokasi pemantauan dengan konfigurasi topologi mesh guna meningkatkan keandalan komunikasi data. Arsitektur ini mendukung komunikasi multi-hop untuk menghemat konsumsi daya serta memungkinkan data tetap terkirim meskipun salah satu node mengalami kegagalan.
2. Spesifikasi Perangkat dan Komponen
Penelitian ini menggunakan perangkat sensor dengan modul komunikasi nirkabel yang mendukung rentang jangkauan sedang dan konsumsi energi rendah.

Table 1. arsitektur sistem monitoring jarak jauh berbasis WSN

Komponen	Fungsi	Alasan Penggunaan
Microcontroller (ESP32)	Unit pemrosesan	Konsumsi daya rendah dan terintegrasi Wi-Fi
Sensor Suhu DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan	Akurasi lebih baik dibanding sensor generasi sebelumnya
Transceiver nirkabel	Media komunikasi	Mendukung komunikasi jarak menengah
Battery Lithium	Sumber daya	Kapasitas lebih tinggi dan dapat diisi ulang
Gateway Router	Penghubung ke server	Stabil untuk pengiriman data internet
Platform Cloud Server	Penyimpanan & visualisasi	Mendukung dashboard monitoring

Pemilihan komponen mempertimbangkan biaya, ketahanan lingkungan, konsumsi daya, dan kualitas transmisi data.

1. Tahapan Implementasi Sistem

Tahapan implementasi dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

- Instalasi dan konfigurasi node sensor masing-masing node diatur untuk mengumpulkan data periodik sesuai interval
- Konfigurasi protokol komunikasi WSN
Digunakan sistem multi-hop untuk efisiensi daya dan keandalan jaringan.
- Integrasi gateway ke jaringan internet
Gateway mengirim data ke server cloud secara otomatis.
- Pengembangan dashboard monitoring
Dashboard menampilkan data berupa grafik dan nilai real-time.
- Deployment lapangan
Node ditempatkan pada area uji dengan variasi jarak dan kondisi fisik.
- Pengujian performa
Meliputi tingkat keakuratan data, delay, throughput, dan kestabilan koneksi.

2. Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data dilakukan secara otomatis melalui sensor, kemudian dikirim menuju server. Data disimpan dalam basis data untuk dianalisis.

3. Metode Analisis

Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengujian pada beberapa kondisi lingkungan berbeda[44],[45]. Pengujian dilakukan pada tiga jarak komunikasi: 20 meter, 40 meter, dan 60 meter tanpa halangan, serta skenario dengan objek penghalang untuk mengetahui pengaruh interferensi. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan interpretasi[46],[47].

Analisis melibatkan aspek kualitas sinyal, kestabilan jaringan, tingkat keberhasilan pengiriman data, serta konsumsi energi[48],[49]. Evaluasi dilakukan untuk menilai apakah implementasi WSN layak digunakan sebagai media komunikasi data pada monitoring jarak jauh dengan mempertimbangkan efisiensi energi dan reliabilitas transmisi[50],[51].

IV. HASIL

Penelitian implementasi Wireless Sensor Network sebagai media komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh menghasilkan sejumlah temuan berdasarkan pengujian performa komunikasi, keakuratan data sensor, stabilitas transmisi, serta konsumsi daya node sensor. Pengujian dilakukan dalam tiga skenario lingkungan yaitu: area terbuka tanpa penghalang, area semi-terhalang (pohon dan dinding ringan), serta area tertutup dengan struktur beton. Setiap pengujian menggunakan interval pengiriman data satu paket setiap 10 detik selama 60 menit.

1. Hasil Pengukuran Delay

Delay didefinisikan sebagai waktu tempuh paket dari node sensor menuju server pusat melalui gateway. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan sangat memengaruhi nilai delay.

Table 2. delay masih berada pada kategori layak

Lingkungan Pengujian	Delay Rata-rata (ms)
Terbuka	210
Semi-terhalang	287

Hasil di atas menunjukkan bahwa delay masih berada pada kategori layak untuk kebutuhan monitoring jarak jauh karena tidak membutuhkan respon super cepat. Sistem tetap mampu mengirimkan data secara real-time dengan toleransi keterlambatan di bawah setengah detik.

2. Hasil Pengujian Packet Loss

Packet loss dianalisis untuk mengukur tingkat kehilangan paket ketika proses transmisi berlangsung.

Table 3. persentase packet loss

Lingkungan	Persentase Packet Loss
Terbuka	0.8%
Semi-terhalang	2.3%

Nilai packet loss paling tinggi terjadi pada area tertutup beton. Namun masih berada dalam batas toleransi monitoring yang tidak bersifat kritikal. Node dengan mekanisme retransmisi mampu mengurangi dampak hilangnya data.

3. Hasil Throughput Komunikasi

Throughput menunjukkan jumlah data yang berhasil dikirim per detik. Hasil rata-rata:

Table 4. faster throughput mbps

Lingkungan	Throughput (Mbps)
Terbuka	0.245
Semi-terhalang	0.198
Tertutup beton	0.144

Perbedaan throughput menunjukkan bahwa hambatan fisik mempengaruhi optimalisasi jaringan. Namun output masih dinilai cukup untuk kebutuhan pengiriman data sensor yang memiliki ukuran payload kecil.

4. Hasil Keakuratan Pembacaan Sensor

Pengujian sensor suhu dan kelembapan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan dengan alat.

Table 5. akurasi margin sensor kelas menengah

Parameter	Error Rata-rata
Suhu	$\pm 1.7^{\circ}\text{C}$
Kelembapan	$\pm 3.4\%$

5. Konsumsi Daya Node Sensor

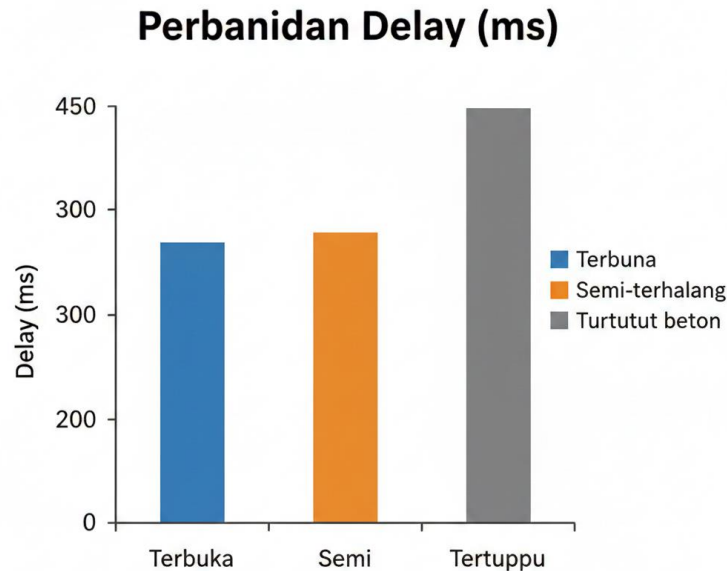
Pengujian dilakukan dengan power meter yang terpasang pada masing-masing node untuk menghitung penggunaan daya pada setiap skenario pengiriman data

Table 6. multi-hop

Mode Operasi	Konsumsi Daya (mAh per jam)
Idle	23
Mengirim data	39
Multi-hop relay	46

Hasil menunjukkan bahwa node yang bertindak sebagai relai multi-hop membutuhkan konsumsi daya lebih besar karena melakukan proses penerimaan sekaligus pengiriman ulang paket.

6. Visualisasi Hasil Komunikasi Data



Gambar 1 : perbandingan delay komunikasi data pada berbagai kondisi lingkungan

V. PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Wireless Sensor Network sebagai media komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh dapat berfungsi secara efektif dengan tingkat keberhasilan transmisi data yang cukup stabil. Berdasarkan pengujian pada tiga skenario lingkungan, terlihat bahwa kondisi fisik area pemasangan sangat memengaruhi kualitas sinyal serta performa pengiriman data. Meskipun terjadi peningkatan delay dan packet loss pada area semi dan penuh penghalang, sistem tetap mampu menyampaikan data ke server dalam rentang waktu yang dapat diterima untuk kebutuhan pemantauan. Artinya, WSN dapat menjadi solusi alternatif di area yang tidak memungkinkan pemasangan kabel maupun jaringan konvensional. Selain itu, throughput yang dihasilkan menunjukkan bahwa sistem ini memadai untuk pengiriman data sensor yang memiliki ukuran payload relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa WSN lebih cocok untuk aplikasi monitoring yang membutuhkan kiriman data berkala dan tidak berukuran besar. Konsumsi daya menjadi aspek penting karena node sensor bergantung pada baterai. Node yang berperan sebagai multi-hop relay mengonsumsi daya tertinggi, sehingga perlu strategi rotasi node atau penempatan strategis untuk mencegah satu node mati lebih cepat daripada yang lain. Dengan demikian, desain topologi dan manajemen daya merupakan dua faktor penentu keberhasilan implementasi jangka panjang.

Berdasarkan hasil tersebut, pembahasan diarahkan pada tiga poin berikut:

1. Pengaruh Lingkungan terhadap Kualitas Komunikasi

Kondisi area pemasangan memengaruhi delay, packet loss, dan throughput. Hambatan fisik seperti beton dan logam melemahkan sinyal, sehingga jaringan perlu dirancang dengan mempertimbangkan jarak optimal antar node. Pemakaian teknologi transceiver jarak jauh atau penambahan repeater menjadi solusi untuk area padat halangan.

2. Efisiensi Daya dan Ketahanan Sistem

Node yang berfungsi sebagai relay membutuhkan konsumsi energi lebih besar. Ini dapat diatasi dengan:

- Penjadwalan tidur (sleep mode)
- Pengurangan interval kirim
- Pengaturan rotasi peran relay

Pengelolaan energi ini merupakan kunci keberlanjutan operasional WSN di lapangan.

3. Kesesuaian WSN untuk Sistem Monitoring

Berdasarkan hasil, WSN dinilai sangat layak diterapkan pada sistem monitoring jarak jauh, terutama pada lingkungan luas dan sulit diakses. Sistem mampu menyediakan informasi real-time, mengurangi keterlibatan

manusia, dan menekan biaya operasional. WSN juga mudah diintegrasikan dengan dashboard digital untuk pemantauan multi-perangkat.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, implementasi Wireless Sensor Network sebagai media komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh terbukti mampu memberikan solusi yang efektif dan efisien dalam melakukan pemantauan secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik pada area terbuka serta tetap berfungsi pada lingkungan semi-terhalang maupun tertutup beton meskipun terjadi peningkatan nilai delay dan packet loss. Performa throughput masih dinilai cukup untuk pengiriman data sensor berukuran kecil sehingga mendukung proses monitoring berkelanjutan tanpa gangguan signifikan. Selain itu, konsumsi daya menjadi salah satu faktor krusial, terutama pada node yang berperan sebagai relay. Dengan perencanaan topologi yang tepat serta mekanisme pengelolaan daya, WSN dapat digunakan dalam jangka waktu operasional yang lebih lama tanpa intervensi manusia secara intensif. Secara keseluruhan, WSN memiliki potensi besar untuk diterapkan pada berbagai kebutuhan monitoring jarak jauh, terutama di lokasi yang sulit dijangkau atau berbahaya bagi manusia. Sistem ini mampu meningkatkan efisiensi operasional, akurasi informasi, serta mendukung pengambilan keputusan lebih cepat dan tepat.

Kontribusi Penulis: Mohammad Faruq: Konseptualisasi, Metodologi, Penulisan – Draf Awal, Penulisan – Tinjauan & Penyuntingan, Supervisi. Faruq merancang konsep dan metodologi penelitian, memimpin proses penulisan, serta melakukan penyuntingan dan validasi akhir naskah. **Ahmad hamdani:** Perangkat Lunak, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan – Draf Awal. Dan bertanggung jawab pada pengembangan perangkat lunak analisis berbasis *IndoBERT* dan *RoBERTa IndoSent*, pengumpulan data ulasan dari Instagram, serta penyusunan draf awal hasil penelitian.

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. E. Putra, R. A. Mustafida, and A. Nahriyah, "Perancangan Jaringan Nirkabel Berbasis Mesh untuk Menun-jang Aplikasi Smart City," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5934.
- [2] F. Prasetyo, E. Putra, F. Muslim, N. Hasanah, R. Paradina, and R. Alim, "Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification," vol. 5, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [3] F. P. E. Putra, D. E. Arissandi, A. Rofiqi, and M. F. Hidayat, "Pemanfaatan Mikrotik Dalam Manajemen Bandwidth Pada Jaringan Sekolah," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.31294/evolusi.v7i2.5843.
- [4] W. Yang *et al.*, "Precise Wireless Charging in Complicated Environments," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 32, no. 6, pp. 4944–4959, 2024, doi: 10.1109/TNET.2024.3441113.
- [5] J. Xu and P. Shang, "Spectral efficiency and secrecy enhancing scheme for IRS-aided SWIPT systems," *Discov. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.1007/s42452-024-06453-5.
- [6] S. Fu, Y. Wang, X. Feng, B. Di, and C. Chunguo, "Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Non-Orthogonal Multiple Access Network Based on Machine Learning Approaches," *IEEE Netw.*, vol. 38, no. 2, pp. 272–279, 2024, doi: 10.1109/MNET.004.2300271.
- [7] O. Okporokpo, F. Olajide, N. Ajenka, and X. Ma, "Detection of DDoS Cyberattack Using a Hybrid Trust-Based Technique for Smart Home Networks," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 16, no. 1, pp. 32–41, 2025,

doi: 10.14569/IJACSA.2025.0160103.

- [8] F. P. E. Putra, N. D. Saputri, F. Rosi, and R. Loati, "Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Inte-grasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.6099.
- [9] F. P. E. Putra, M. Riski, M. S. Yahya, and ..., "Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G," *J. Sistim Inf. ...*, 2023, doi: 10.60083/jsisfotek.
- [10] F. Prasetyo, E. Putra, F. Iqbal, and N. Muhammad, "Twitter sentiment analysis about economic recession in indonesia," vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.31763/businta.v7i1.592.
- [11] V. Kumar *et al.*, "Seamless Wireless Communication Platform for Internet of Things Applications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 30, no. 6, pp. 102–110, 2023, doi: 10.1109/MWC.006.2200097.
- [12] F. P. E. Putra, M. U. Mansyur, K. Z. Imam, and ..., "Optimalisasi Pengembangan Sistem Informasi Laboratorium Terintegrasi Sistem Akademik Menggunakan Metode Scrumb," *J. ...*, 2023, doi: 10.30873/ji.v23i2.3749.
- [13] N. Soni, M. Kaur, and V. Bhardwaj, "A forensic analysis of AnyDesk Remote Access application by using various forensic tools and techniques," *Forensic Sci. Int. Digit. Investig.*, vol. 48, 2024, doi: 10.1016/j.fsidi.2024.301695.
- [14] M. Anoop, L. W. William Mary, A. J. Wilson, and W. S. Kiran, "Optimized graph transformer with molecule attention network based multi class attack detection framework for enhancing privacy and security in WSN," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 84, no. 15, pp. 14273–14304, 2025, doi: 10.1007/s11042-024-19516-x.
- [15] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, D. Mayangsari, and ..., "Netvista Public Wireless Network Quality Analysis Using Quality Of Service Parameters," ... *Res. Artif. ...*, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4388.
- [16] W. Chang *et al.*, "Power generation performance of a low frequency hinge beam bistable piezoelectric-electromagnetic composite energy harvester," *Smart Mater. Struct.*, vol. 34, no. 10, 2025, doi: 10.1088/1361-665X/ae09e1.
- [17] H. Lanya, M. Zayyadi, D. R. Anjarani, F. P. E. Putra, and ..., "PEMBERDAYAAN SEKOLAH INKLUSI MELALUI E-MODUL BERJENJANG SEBAGAI PENGEMBANGAN KOMPETENSI GURU DALAM PEMENUHAN" doi: 10.37303/peduli.v8i2.681.
- [18] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. A. Huda, and ..., "Computer network management optimization through big data analysis using time series analysis method," *Brill. Res. ...*, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4373.
- [19] J. Choi, J. Choi, H. Joe, and C. Jung, "Caphammer: Exploiting Capacitor Vulnerability of Energy Harvesting Systems," *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, vol. 43, no. 11, pp. 3804–3815, 2024, doi: 10.1109/TCAD.2024.3446879.
- [20] U. B. Chaudhry and C. I. Phillips, "Smart data harvesting in cache-enabled MANETs: UAVs, future position prediction, and autonomous path planning," *Drone Syst. Appl.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–15, 2024, doi: 10.1139/dsa-2024-0003.
- [21] S. Batewela, M. Liyanage, E. Zeydan, M. Ylianttila, and P. Ranaweera, "Security Orchestration in 5G and Beyond Smart Network Technologies," *IEEE Open J. Comput. Soc.*, vol. 6, pp. 554–573, 2025, doi: 10.1109/OJCS.2025.3563619.
- [22] M. Merluzzi *et al.*, "The Hexa-X Project Vision on Artificial Intelligence and Machine Learning-Driven Communication and Computation Co-Design for 6G," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 65620–65648, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3287939.
- [23] S. G. Ghasemi, M. E. Cholette, G. S. Larue, A. Rakotonirainy, and S. Glaser, "Energy Efficient and Safe Control Strategy for Electric Vehicles including Driver Preference," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 11109–11122, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3050780.
- [24] K. Uribe-Murcia, O. G. Ibarra-Manzano, J. A. Andrade Lucio, and Y. S. Shmaliy, "Moving Vehicle Tracking Under Measurement Uncertainties, Multi-Step Random Delays, and Packet Dropouts," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 52381–52391, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3280858.
- [25] A. Israr, Q. Yang, and A. Israr, "Renewable microgeneration cooperation with base station sleeping-mode strategy for energy-efficient operation of 5G infrastructures," *Sustain. Energy, Grids Networks*, vol. 38, 2024, doi: 10.1016/j.segan.2024.101358.

- [26] G. Kaur and M. Bhattacharya, "Green Fault Tolerant AIoT-Enabled Mobile Sink Data Collection Scheme in Sensor Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 73, no. 10, pp. 15385–15394, 2024, doi: 10.1109/TVT.2024.3400880.
- [27] S. Rezwan and W. Choi, "Priority-Based Joint Resource Allocation with Deep Q-Learning for Heterogeneous NOMA Systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 41468–41481, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3065314.
- [28] A. M. Telgote and S. S. Mande, "A power-awareness routing protocol for sustainable low-power wireless networks: FPGA vs. microcontroller implementation," *Int. J. Ad Hoc Ubiquitous Comput.*, vol. 48, no. 2, pp. 75–93, 2025, doi: 10.1504/IJAHUC.2025.143974.
- [29] J. S. More, V. V. Sarbhukan, and R. Lokare, "Reinforcement Learning-Based AI-Powered Adaptive Routing Protocols for Urban VANETs," *Int. J. Comput. Networks Appl.*, vol. 12, no. 4, pp. 538–553, 2025, doi: 10.22247/ijcna/2025/33.
- [30] N. Ruzibaeva *et al.*, "Application of Wireless Sensors in the Design of Smart Learning of the English Language Utilizing Zigbee Network Technology," *J. Wirel. Mob. Networks, Ubiquitous Comput. Dependable Appl.*, vol. 15, no. 3, pp. 125–135, 2024, doi: 10.58346/JOWUA.2024.I3.009.
- [31] V. L. Tran, S. Bouro, M. T. Nguyen, and F. Ferrerò, "A Novel Localization Technique in LoRa-Based Low-Power Relay Using Machine Learning," *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 1, pp. 297–308, 2025, doi: 10.1109/JIOT.2024.3459874.
- [32] A. N. Padmasali, J. Lokesh, and S. G. Kini, "An Experimental Investigation on the Role of LEDs on the Lifetime Performance of Consumer LED Luminaires," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 131765–131771, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3230474.
- [33] B. B. Komecoglu and B. Yilmaz, "Event Graph-Based News Clustering: The Role of Named Entity-Centered Subgraphs," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 105613–105632, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3435343.
- [34] F. Fernando Jurado-Lasso, J. F. Jurado, and X. Fafoutis, "LEACH-RLC: Enhancing IoT Data Transmission With Optimized Clustering and Reinforcement Learning," *IEEE Internet Things J.*, vol. 12, no. 13, pp. 23462–23478, 2025, doi: 10.1109/JIOT.2025.3552126.
- [35] R. K. Jain, A. Mukherjee, P. Karmakar, A. Banerjee, H. Akbarov, and S. Hasanov, "Experimental performance of soil monitoring system using IoT technique for automatic drip irrigation," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 36, no. 18, 2023, doi: 10.1002/dac.5617.
- [36] Z. Wang, N. Dong, J. Sun, W. Knottenbelt, and Y. Guo, "ZkFL: Zero-Knowledge Proof-Based Gradient Aggregation for Federated Learning," *IEEE Trans. Big Data*, vol. 11, no. 2, pp. 447–460, 2025, doi: 10.1109/TBDATA.2024.3403370.
- [37] W. Zhang, R. Shang, Z. Li, R. Sun, and J. Du, "Personalized Web Page Ranking Based Graph Convolutional Network for Community Detection in Attribute Networks," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 84270–84282, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3303210.
- [38] G. Dosymbetova *et al.*, "Neural Network-Based Active Cooling System With IoT Monitoring and Control for LCPV Silicon Solar Cells," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 52585–52602, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3280265.
- [39] J. Song, X. Liao, and J. Qiao, "A Graph Convolutional Network-Based Method for Congested Link Identification," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 20, 2024, doi: 10.3390/app14209164.
- [40] T. Maiwald *et al.*, "A Review of Integrated Systems and Components for 6G Wireless Communication in the D-Band," *Proc. IEEE*, vol. 111, no. 3, pp. 220–256, 2023, doi: 10.1109/JPROC.2023.3240127.
- [41] J. Debadarshini, M. H. Manish Kausik, and S. Saha, "Structure-Adaptive Many-to-Many Data-Sharing for Internet-of-Things," *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.*, vol. 21, no. 3, pp. 2596–2607, 2024, doi: 10.1109/TNSM.2024.3376371.
- [42] S. Aanjankumar *et al.*, "Enhanced Consumer Healthcare Data Protection Through AI-Driven TinyML and Privacy-Preserving Techniques," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 97428–97440, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3573076.
- [43] F. P. E. Putra, D. T. Agustina, T. S. K. Khotimah, and T. Ramadhanty, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)," 2025, *researchgate.net*. doi: 10.55606/jitek.v5i1.5836.
- [44] M. Hashemi, S. Mohammadi, and T. E. Carlson, "TOP: A Combined Logical and Physical Obfuscation

- Method for Securing Networks-on-Chip Against Reverse Engineering Attacks,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 133438–133456, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3590967.
- [45] M. Kinnas, J. Violos, N. I. Karapiperis, and I. Kompatsiaris, “Selecting Images With Entropy for Frugal Knowledge Distillation,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 28189–28203, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3540384.
- [46] J. J. Pyrhoenen *et al.*, “Design of a High-Specific-Power Traction Motor: Innovations and Strategies for Superior Performance,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 125659–125675, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3589939.
- [47] P. Spadaccino, D. Garlisi, A. Franceschi, I. Tinnirello, and F. Cuomo, “Accelerating Network Resource Allocation in LoRaWAN via Distributed Big Data Computing,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 141237–141250, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3465634.
- [48] R. Noormohammadi, A. Khaleghi, and I. Balasingham, “Analog Backscatter Video Transmission for Wireless Capsule Endoscope,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 18542–18550, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3248019.
- [49] G. Cretu, I. Stamatescu, and G. Stamatescu, “Modeling and Prediction of Occupancy in Buildings Based on Sensor Data Using Deep Learning Methods,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 102994–103003, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3432584.
- [50] D. Seo, K. Nam, and K. Jung, “RL-MAB-Based Resource Allocation for Efficient Bandwidth Utilization in Industrial IoT Networks,” *IEEE Access*, vol. 13, pp. 83394–83407, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3560855.
- [51] S. Khan *et al.*, “Hybrid computing framework security in dynamic offloading for IoT-enabled smart home system,” *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 10, 2024, doi: 10.7717/PEERJ-CS.2211.

Publisher’s Note: Publisher stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.