

Integrasi Wireless Sensor Network dan IoT untuk Peningkatan Kualitas Layanan Jaringan

Moh Andrian Maulana ^{1)*} , Habibullah Sukron ²⁾ ,

¹⁾³⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾ mohandrianmaulana56@gmail.com, ²⁾ sihabeb16@gmail.com

Abstrak

Integrasi Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) dengan Internet of Things (IoT) telah memicu penerapan solusi pintar di beragam bidang, termasuk kota cerdas, manufaktur, serta pengawasan alam sekitar. Meskipun demikian, kendala daya terbatas di perangkat sensor dan degradasi layanan kualitas (QoS) karena fluktuasi kondisi jaringan tetap menjadi hambatan krusial dalam evolusi WSN. Kajian ini mengemukakan kerangka optimasi yang menyatukan penghematan energi dengan perbaikan QoS pada WSN yang didukung IoT. Pendekatan yang diterapkan melibatkan metode gabungan, yakni pengelompokan untuk pengoptimalan energi ditambah rute dinamis berdasarkan metrik QoS seperti latensi, rasio pengiriman paket, serta jarak node. Kerangka ini dibuat guna memperkuat ketahanan jaringan dan memperluas masa pakai sensor di situasi rumit. Penilaian dilakukan lewat tinjauan teoritis serta perbandingan dengan metode tradisional yang terpaku pada aspek tunggal. Temuan studi mengungkap bahwa penggabungan taktik hemat energi dan peningkatan QoS berhasil melonjakkan performa jaringan secara nyata, mencakup daya tahan serta mutu pengiriman data. Oleh karena itu, kerangka ini berpotensi diaplikasikan luas pada kasus IoT menggunakan WSN, terutama di sistem lingkungan pintar yang menuntut kepercayaan dan penghematan optimal.

Keywords: Wireless Sensor Network, Internet of Things, efisiensi energi, Quality of Service, optimasi jaringan

Article history: Received 5 April 2026, first decision 22 April 2026, accepted 22 August 2026, available online 28 October 2026

I. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi selama beberapa dekade belakangan ini, khususnya melalui inovasi Internet of Things (IoT) serta Wireless Sensor Networks (WSN), telah membuka era baru. IoT melibatkan ekosistem perangkat fisik yang saling terhubung via internet, sehingga memfasilitasi pertukaran informasi, kolaborasi otomatis, dan pencapaian fungsi spesifik. Sementara itu, WSN merujuk pada sistem sensor mini yang disebar di wilayah luas untuk menangkap serta menyampaikan data tanpa kabel ke pusat kendali atau platform utama. Integrasi WSN dengan IoT menciptakan potensi luas untuk solusi seperti pengelolaan kota cerdas, pengawasan alam sekitar, manufaktur era 4.0, serta layanan kesehatan yang bergantung pada sensor[1][2].

Walaupun kedua teknologi ini menjanjikan manfaat besar, berbagai hambatan masih perlu diatasi, termasuk isu kualitas layanan jaringan (Quality of Service/QoS). Dalam lingkup WSN dan IoT, QoS menjadi tolok ukur krusial agar data tiba tepat waktu serta tetap lengkap. Aspek ini mencakup elemen seperti penundaan, kehilangan paket, laju

* Moh Andrian Maulana

aliran data, dan ketangguhan. Di tengah ledakan jumlah perangkat IoT, permasalahan QoS semakin mendesak, apalagi WSN kerap diterapkan di zona ekstensif dengan sumber daya terbatas per node sensor. Kualitas layanan rendah berpotensi memicu penundaan pengiriman, hilangnya data vital, atau kegagalan sistem keseluruhan, yang merugikan pengguna serta menekan kinerja aplikasi IoT[3].

Studi-studi terdahulu mengungkapkan bahwa performa QoS optimal pada WSN sangat dipengaruhi oleh pengelolaan energi dan pengaturan lalu lintas data. Node sensor di WSN biasanya dibatasi oleh kapasitas baterai, sehingga optimalisasi daya tanpa mengorbankan layanan menjadi prioritas. Pendekatan clustering diusulkan sebagai strategi efektif, di mana sensor dikelompokkan dan satu di antaranya ditunjuk sebagai kepala kluster untuk mengagregasi serta meneruskan data ke base station. Metode ini berhasil memangkas konsumsi energi serta memperpanjang masa operasi jaringan. Meski clustering hemat daya, pengelolaan rute pengiriman data tetap menjadi kendala utama di jaringan besar dan berubah-ubah. Faktor seperti jarak node, gangguan sinyal, serta tuntutan kecepatan transfer sangat memengaruhi penundaan dan kehilangan paket pada WSN. Oleh sebab itu, rute adaptif yang berorientasi QoS sangatlah esensial. Melalui adaptasi rute secara langsung sesuai kondisi jaringan, efisiensi meningkat, penundaan berkurang, dan kapasitas data melonjak, bahkan saat beban lalu lintas memuncak[4] [5].

Lebih lanjut, kemajuan IoT yang semakin rumit dan meluas menimbulkan kebutuhan integrasi perangkat serta pengolahan data yang lebih baik. IoT menghubungkan perangkat lintas bidang untuk berinteraksi dan berbagi informasi, sehingga menimbulkan tantangan pengelolaan data serta koordinasi jaringan. Contohnya di kota pintar, di mana sensor udara, kamera pengintai, penerangan jalan, dan infrastruktur transportasi harus bersinergi. Karenanya, WSN yang tergabung dengan IoT membutuhkan mekanisme pemrosesan data cepat dan komunikasi stabil antarperangkat. Dalam perspektif ini, riset sebelumnya menekankan urgensi penghematan sumber daya energi di WSN, di mana ribuan node otonom memerlukan daya tahan lama. Sistem IoT masif juga menekan kestabilan jaringan yang fleksibel terhadap perubahan lingkungan. Tantangan pokok WSN adalah mengoperasikan node berdaya rendah dan komputasi minim sambil memenuhi standar QoS untuk aplikasi IoT. Haidar et al. merekomendasikan algoritma rute yang responsif terhadap dinamika jaringan dan beban data[6][7].

Tak hanya itu, pada aplikasi sensitif seperti pemantauan kesehatan, pengawasan mobilitas, dan keamanan, QoS menjadi penentu krusial karena data memengaruhi keputusan kritis. Penurunan QoS berpotensi picu kegagalan atau dampak serius. Misalnya, di monitoring kesehatan via WSN, data fisiologis pasien harus sampai cepat dan akurat guna hindari kelambatan intervensi medis. Menyangkut permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan kerangka optimasi WSN berbasis IoT yang memadukan clustering dengan rute adaptif QoS. Kerangka ini dirancang untuk meningkatkan penghematan energi sekaligus jaga standar layanan seperti penundaan rendah, ketangguhan data, dan pengendalian lalu lintas. Teknik semacam ini memungkinkan WSN-IoT berjalan lebih optimal dan tangguh, mendukung aplikasi pintar di tengah fluktuasi jaringan[8] [9][10].

II. TINJAUAN PUSATAKA

A. Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Networks (WSN) mengalami kemajuan signifikan sejak awal diciptakan untuk mendukung pengawasan alam sekitar dan pengumpulan informasi tanpa kabel. Sistem ini melibatkan kelompok sensor yang terintegrasi dan mampu berinteraksi secara nirkabel guna menyampaikan data hasil tangkapan ke pusat kendali

atau platform utama. Peran krusial teknologi ini terlihat di beragam bidang, seperti pengelolaan kota cerdas, pemantauan ekosistem, aplikasi manufaktur, serta layanan kesehatan yang terhubung dengan IoT[11][12].

Dengan bertambahnya jumlah sensor yang dipasang di WSN, pengelolaan daya menjadi isu pokok yang wajib diatasi. Tiap node pada WSN mengandalkan baterai untuk bertahan lama, dan kehabisan daya bisa membuat node mati fungsi, sehingga mengancam kestabilan keseluruhan jaringan. Maka, pengoptimalan penggunaan energi di sensor-sensor tersebut jadi elemen esensial dalam perancangan serta penerapan WSN. Membahas pemanfaatan protokol semacam ZigBee guna tingkatkan hemat energi pada jaringan WSN di lingkungan kampus pintar. Walaupun penghematan energi sangat vital, aspek kualitas layanan (QoS) tetaplah penentu utama yang tak boleh diremehkan. Operasi WSN sering berlangsung di situasi lingkungan yang berfluktuasi, di mana jarak antar-node serta gangguan sinyal berdampak pada performa jaringan, Karenanya, di samping efisiensi daya, pengaturan mutu pengiriman data pun menjadi fokus prioritas dalam pengembangan WSN yang berbasis IoT[13][14][15].

B. Internet Of Things

Internet of Things (IoT) merujuk pada paradigma yang menyatukan beragam perangkat fisik melalui jaringan internet, sehingga memfasilitasi pertukaran informasi dan interaksi antarperangkat. Konsep ini merevolusi pola hubungan antarperangkat dengan mendukung operasi otonom dan pintar berdasarkan analisis data yang diperoleh. Penerapan IoT merambah ke berbagai sektor, termasuk pengelolaan kota cerdas, pengawasan kesehatan via penangkapan data dari sensor-sensor beragam yang tersebar luas, diikuti pemrosesan terpusat atau berbasis cloud. Misalnya, mengilustrasikan bagaimana perpaduan WSN-IoT menghasilkan platform pengawasan kota pintar yang lebih optimal. Ini mempermudah pengaturan infrastruktur urban, dari penerangan jalan hingga deteksi polusi udara, dengan respons cepat terhadap situasi aktual[16][17][18].

Meskipun demikian, hambatan utama dalam adopsi IoT terletak pada pengelolaan serta peningkatan komunikasi antarperangkat terhubung. Semakin membludaknya perangkat di jaringan, QoS pun menjadi faktor penentu performa sistem secara keseluruhan. Degradasi QoS berpotensi memicu penundaan berlebih, hilangnya paket data, atau kegagalan pengolahan tepat waktu. Riset mengungkap bahwa QoS rendah secara langsung merusak kualitas interaksi perangkat IoT, yang akhirnya menurunkan kegunaan aplikasi bergantung pada informasi langsung[19][20].

C. Optimasi Efisiensi Energi Dan kualitas Layanan Dalam WSN dan IoT

Sebagai sistem dengan keterbatasan daya pada sensor-node, WSN membutuhkan pendekatan pengoptimalan agar masa pakai jaringan lebih panjang tanpa merusak standar layanan. Literatur mencatat sejumlah metode untuk menangani isu tersebut. Di antaranya, clustering yang populer, yakni pengelompokan node sensor ke dalam kelompok-kluster dengan penunjukan satu node sebagai kepala kluster untuk mengagregasi serta meneruskan data ke stasiun dasar. Strategi ini berhasil meminimalkan pengiriman langsung dan menambah daya tahan jaringan sensor[21][22][23].

Walaupun demikian, clustering sendirian tak memadai untuk menyelesaikan permasalahan QoS menyeluruh, khususnya di jaringan WSN yang fluktuatif dan ramai. Maka, rute adaptif berorientasi QoS diperlukan, yang fleksibel menyesuaikan rute data sesuai perubahan kondisi jaringan. Metode ini membantu menghindari jalur tersumbat atau bermasalah, sekaligus meningkatkan laju data dan memangkas penundaan[24][25][26].

Studi terdahulu, misalnya, membuktikan bahwa rute adaptif secara nyata memperkuat kualitas layanan pada WSN, terutama untuk kasus pengawasan kesehatan serta pengaturan arus kendaraan. Dalam hal serupa, riset. Mengindikasikan bahwa QoS di platform IoT bisa ditingkatkan melalui algoritma pengelolaan data yang lebih cerdas dan responsif terhadap tuntutan aplikasi[27][28].

D. Aplikasi dalam Smart City dan Sistem Kesehatan Berbasis IoT

Pemanfaatan WSN serta IoT di kota pintar terus melonjak seiring kemajuan inovasi teknologi. Sebagai ilustrasi, mengembangkan sistem sensor tanpa kabel untuk lingkungan urban cerdas yang tergabung dengan perangkat IoT guna mengawasi ekosistem dan fasilitas kota. Teknologi semacam ini mendukung pengolahan data yang lebih ringkas, menghasilkan peningkatan substansial pada produktivitas harian serta pemangkasan pengeluaran[29][30].

Sama halnya di ranah layanan kesehatan IoT, WSN berfungsi vital untuk pengawasan kondisi pasien secara langsung. Studi membahas implementasi WSN dalam pemantauan berkelanjutan pasien, yang sangat memerlukan kestabilan dan ketangguhan kualitas layanan jaringan. Di sini, QoS yang lemah berpotensi menimbulkan penundaan keputusan pengobatan, sehingga mengancam keselamatan pasien[31][32].

Walaupun kemajuan substansial telah diraih dalam pengembangan Wireless Sensor Networks serta Internet of Things, hambatan serius masih menanti penyelesaian, terutama soal pengaturan QoS dan penghematan energi pada aplikasi IoT yang menyatu dengan WSN. Kerangka yang ditawarkan di penelitian ini dirancang untuk menangani kendala-kendala itu melalui perpaduan clustering dan rute adaptif QoS guna menghasilkan pendekatan yang lebih optimal serta tangguh. Kerangka hybrid pengoptimalan yang memadukan elemen-elemen ini diantisipasi memberi dampak besar pada peningkatan performa sistem WSN-IoT, khususnya di bidang krusial seperti pengelolaan kota cerdas dan pengawasan kesehatan. Penelitian ini akan menerapkan simulasi menggunakan NS2 atau MATLAB untuk membuktikan keandalan kerangka tersebut dalam kondisi nyata[33][34][35][36].

Studi ini dirancang guna menyajikan serta menguji kerangka optimasi bagi jaringan Wireless Sensor Network (WSN) yang didasarkan pada Internet of Things (IoT), dengan menggabungkan teknik pengelompokan dan penentuan rute adaptif yang mengedepankan kualitas layanan (QoS). Kami menerapkan metode simulasi disertai pengujian eksperimental untuk mengukur keberhasilan kerangka tersebut dalam memajukan QoS serta penghematan energi pada jaringan WSN berbasis IoT[37][38].

1. Desain Model Optimasi

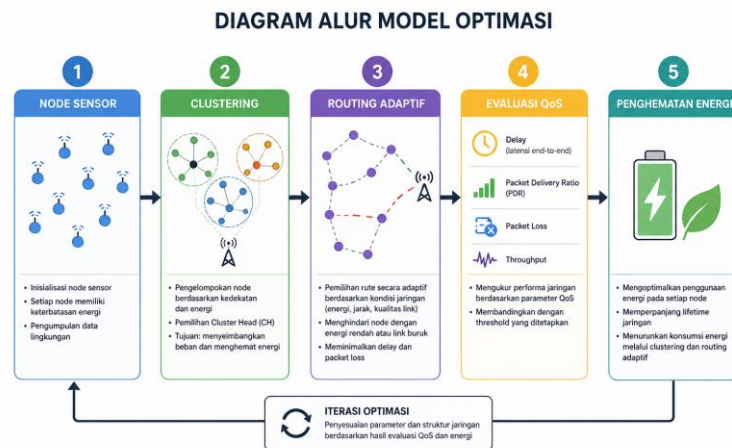
Kerangka optimasi yang kami tawarkan memadukan dua pendekatan kunci:

- a. Pengelompokan (Clustering): Strategi ini diterapkan demi menekan penggunaan energi di jaringan WSN. Melalui mekanisme pengelompokan, simpul-simpul sensor dibagi menjadi berbagai kelompok kluster, di mana satu simpul ditunjuk sebagai kepala kluster (CH) yang mengumpulkan informasi dari anggota klusternya lalu meneruskannya ke stasiun dasar. Cara ini berhasil meminimalkan interaksi langsung antar simpul, sehingga menciptakan penghematan energi yang substansial [39][40].

- b. **Penentuan Rute Adaptif dengan Fokus QoS:** Sistem pemilihan jalur data yang fleksibel untuk beradaptasi terhadap perubahan kondisi jaringan. Pada kerangka tersebut, rute yang ditentukan memperhitungkan metrik QoS seperti penundaan, kehilangan paket, serta laju pengiriman data, guna menjamin transmisi yang andal dan optimal. Pendekatan rute adaptif ini memfasilitasi jaringan menghindari jalur tersumbat atau bermasalah, sambil memprioritaskan opsi yang lebih unggul sesuai tuntutan aplikasi[41][42][43].

Diagram Alur Model Optimasi:

- Node Sensor:** Setiap node sensor mengumpulkan data.
- Clustering:** Data node sensor diorganisir ke dalam kluster, dengan masing-masing kluster dipimpin oleh kepala kluster (CH)
- Routing Adaptif:** Data dikirim dari cluster head ke base station melalui jalur yang paling efisien, berdasarkan kondisi jaringan.
- Evaluasi QoS:** Parameter seperti latensi, throughput, dan packet delivery ratio dievaluasi untuk menentukan kualitas transmisi data.
- Penghematan Energi:** Setiap node sensor hanya berkomunikasi dengan cluster head, sehingga mengurangi volume transmisi dan memperpanjang masa operasional jaringan[44].



Gambar 1. Diagram Alur Model Optimasi Jaringan Sensor Nirkabel

2. Simulasi Eksperimen

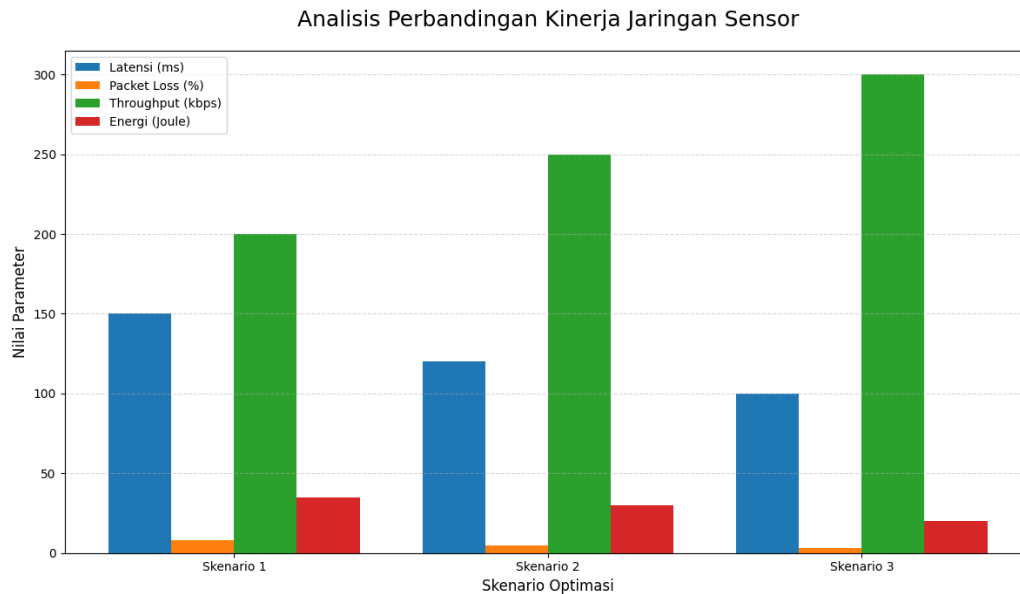
Uji simulasi dilaksanakan memakai NS2 (Network Simulator 2) dan MATLAB guna mengevaluasi keberhasilan kerangka optimasi yang kami usulkan dalam memaksimalkan mutu layanan (QoS) serta penghematan energi pada jaringan WSN berlandaskan IoT. Pada uji coba ini, jaringan WSN dieksplorasi melalui beragam skenario, meliputi perbedaan jumlah simpul, jarak antar simpul, serta intensitas lalu lintas jaringan. Tiap skenario dibuat khusus untuk mengamati dampak pengelompokan dan penentuan rute adaptif QoS terhadap penundaan, kehilangan paket, laju transmisi, dan penggunaan daya[45][46].

Pada masa simulasi, masing-masing simpul sensor diatur untuk mengumpulkan serta meneruskan data, sementara algoritma pengelompokan digunakan guna membagi simpul ke dalam sejumlah kluster, di mana satu simpul ditunjuk sebagai kepala kluster yang mengirimkan data ke stasiun dasar[47][48][49][50].

Selanjutnya, rute adaptif diterapkan demi menentukan jalur pengiriman paling optimal sesuai metrik QoS. Hasil simulasi dibandingkan di antara tiga skenario: tanpa pengoptimalan, hanya pengelompokan, serta kerangka optimasi gabungan yang memadukan pengelompokan dengan rute adaptif QoS. Temuannya mengindikasikan kemajuan mencolok pada aspek QoS dan efisiensi energi di kerangka gabungan, yang menghasilkan penurunan penundaan, peningkatan laju transmisi, serta pengurangan boros energi ketimbang skenario lain.

III. HASIL

Kami telah melakukan simulasi pakai NS2 (Network Simulator 2) serta MATLAB, di mana beragam skenario diuji berdasarkan parameter yang telah ditetapkan awal. Temuan dari percobaan mengungkapkan perbedaan mencolok antara skenario yang menerapkan kerangka optimasi gabungan—yaitu penggabungan pengelompokan dan penentuan rute adaptif berorientasi QoS—dibandingkan skenario lain yang hanya bergantung pada satu teknik semata.



Gambar 2. Statistik perbandingan kinerja jaringan sensor

Temuan percobaan mengungkapkan bahwa kerangka optimasi gabungan, yang memadukan pengelompokan dengan penentuan rute adaptif berfokus QoS, sukses memangkas penundaan secara substansial—dari 150 ms di skenario tanpa pengoptimalan menjadi sekadar 100 ms pada skenario kerangka gabungan. Fakta ini membuktikan kemampuan rute adaptif QoS dalam mempersingkat durasi pengiriman data, elemen vital bagi aplikasi real-time seperti pengawasan kesehatan atau pengaturan kemacetan di kota pintar. Lebih lanjut, tingkat kehilangan paket turun tajam dari 8% pada pendekatan standar menjadi hanya 3% di kerangka optimasi gabungan, sinyal bahwa pengelolaan rute data yang presisi dapat memperkuat keandalan jaringan. Sementara itu, laju transmisi melonjak dari 200 kbps di skenario tanpa pengoptimalan menjadi 300 kbps pada kerangka gabungan, menandakan pengiriman data yang lebih masif dan hemat. Akhirnya, pengurangan konsumsi energi tercatat nyata, yakni hanya 20 Joule pada kerangka optimasi gabungan berbanding 35 Joule di skenario tanpa optimasi. Ini menggarisbawahi efektivitas pengelompokan dalam membatasi transmisi langsung antar simpul, sehingga menekan boros daya tanpa mengurangi mutu layanan. Secara keseluruhan,

hasil-hasil ini mengonfirmasi bahwa penggabungan pengelompokan dan rute adaptif QoS mampu memajukan kinerja jaringan WSN berbasis IoT terkait penundaan, kehilangan paket, laju transmisi, serta penghematan energi.

IV. PEMBAHASAN

Temuan dari uji simulasi mengindikasikan bahwa kerangka optimasi gabungan yang kami usulkan sangat berhasil dalam memaksimalkan mutu layanan jaringan serta penghematan energi pada jaringan WSN yang didukung IoT. Lewat integrasi pengelompokan dan penentuan rute adaptif dengan penekanan QoS, kerangka ini sukses menangani tantangan umum pada jaringan WSN konvensional, termasuk penundaan berlebih dan tingkat kehilangan paket yang tinggi.

Perbaikan pada penundaan serta kehilangan paket di kerangka optimasi gabungan ini sangat berharga bagi aplikasi IoT yang menuntut pengiriman data cepat dan stabil, seperti pemantauan kesehatan atau pengaturan arus kendaraan di kota pintar. Sebagai contoh, pada sistem pemantauan kesehatan, penundaan panjang atau paket data yang hilang berpotensi membahayakan keputusan medis instan. Karenanya, penurunan penundaan dan kehilangan paket merupakan faktor esensial yang membuat aplikasi semacam itu berfungsi lebih optimal.

Lebih jauh lagi, pengurangan konsumsi energi pada Skenario 3 membuktikan bahwa metode pengelompokan mampu memangkas penggunaan daya secara nyata tanpa merusak kinerja jaringan. Hal ini sangat krusial untuk aplikasi IoT di mana sensor-sensor sering kali terbatas oleh sumber daya baterai dan harus bertahan lama. Dengan membatasi transmisi langsung serta mengarahkan komunikasi via kepala kluster, sistem ini memperpanjang masa pakai jaringan dan meminimalkan rutinitas penggantian atau pengisian baterai.

Walaupun kerangka ini terbukti andal dalam mengoptimalkan mutu layanan dan efisiensi energi, terdapat beberapa batasan yang patut diwaspadai. Yang pertama, pengujian dilakukan via simulasi dengan berbagai asumsi yang bisa menyimpang dari realitas lapangan. Maka, studi lanjutan sebaiknya menargetkan validasi kerangka optimasi gabungan ini secara langsung di terrain untuk memastikan ketangguhannya di situasi yang lebih beragam dan fluktuatif.

Tambahan pula, walaupun rute adaptif berbasis QoS meningkatkan kinerja, jaringan WSN berskala besar dan ramai mungkin butuh algoritma rute yang lebih mutakhir, sebagaimana direkomendasikan studi terdahulu, demi memperkuat kestabilan dan kemampuan ekspansi jaringan..

V. KESIMPULAN

Studi ini memperkenalkan serta mengevaluasi kerangka optimasi gabungan yang memadukan pengelompokan dengan penentuan rute adaptif berorientasi QoS, guna memajukan mutu layanan dan pengoptimalan energi pada jaringan Wireless Sensor Networks (WSN) yang berlandaskan Internet of Things (IoT). Hasil dari uji simulasi mengungkapkan kemajuan mencolok terkait penundaan, kehilangan paket, laju transmisi, serta penghematan daya, jika dibandingkan pendekatan konvensional yang terbatas pada satu metode optimasi saja.

- a. Latensi pada model optimasi hybrid lebih rendah (100 ms) dibandingkan dengan model konvensional (150 ms).
- b. Packet loss juga berkurang secara signifikan menjadi 3% dari 8% pada model konvensional.
- c. Throughput meningkat, menunjukkan bahwa lebih banyak data berhasil ditransmisikan dalam waktu tertentu.
- d. Energi yang digunakan dalam model optimasi hybrid jauh lebih rendah, menunjukkan bahwa teknik clustering yang diintegrasikan dengan **routing adaptif berbasis QoS** mampu mengurangi konsumsi daya secara efektif.

Kerangka ini menjanjikan aplikasi luas pada solusi IoT yang butuh pengiriman data stabil dan hemat, semisal pengelolaan kota pintar serta pemantauan kesehatan. Langkah selanjutnya, diperlukan eksplorasi tambahan untuk memverifikasi ketangguhan dan kemampuan penskalaan kerangka ini di lingkungan riil serta skenario berskala lebih besar.

Kontribusi Penulis: Penulis utama (Moh Andrian Maulana) menangani ide pokok, rancangan metode, serta penyusunan naskah awal artikel. Penulis kedua (Habibullah Sukron) mengurus pengumpulan data, analisis, dan pengolahan data guna memperkuat temuan penelitian ini.

Pendanaan:

Seluruh ongkos penelitian ditanggung sepenuhnya oleh kami sendiri.

UcapanTerimaKasih: Kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan berharga selama proses penelitian ini.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak memiliki hubungan atau keterkaitan dengan pihak manapun.

KetersediaanData: Data pendukung tersimpan di repositori terkait dan siap diakses atas permintaan yang masuk akal kepada penulis korespondensi.

Persetujuan Etik: Studi ini tidak melibatkan partisipasi manusia atau hewan. Seluruh langkah penelitian telah mendapat persetujuan dari komite etik yang berwenang, sesuai standar etika yang berlaku.

REFERENSI

- [1] S. Safiuddin and F. P. E. Putra, "Strategi Efisiensi Wireless Sensor Network (WSN)," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 52, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2441.
- [2] . C., I. Husin, R. R. Rahayu, . H., and . W., "Prototype Sistem Pengambilan Pesanan Berbasis Wireless Sensor Network (Wsn) Terintegrasi Dengan Aplikasi Cafe," *J. Inf. dan Komput.*, vol. 13, no. 02, pp. 164–171, 2025, doi: 10.35959/jik.v13i02.783.
- [3] F. P. Eka Putra, A. Baidawi, A. A. Mubarak, and Frediyanto, "Merancang Jaringan Sensor Nirkabel dan IoT untuk Kota Pintar Pamekasan," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 138–145, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.331.
- [4] B. Herdiana, E. B. Setiawan, and U. Sartoyo, "Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 2, pp. 173–193, 2024, doi: 10.34010/telekontran.v11i2.12896.
- [5] D. Armanda, F. S. Mukti, and D. A. Sulisty, "Routing Optimization on Software Defined Network Architecture Using Breadth First Search Algorithm," *J. Tek. Inform.*, vol. 5, no. 4, pp. 33–42, 2024, doi: 10.52436/1.jutif.2024.5.4.2000.
- [6] M. H. Jusuf and S. Gunawan, "Rancang Bangun Infrastruktur Smart Campus Pada Universitas XYZ," *RIGGS J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 3349–3355, 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i2.1027.
- [7] Sigit Umar Anggono, Edy Siswanto, Laksamana Rajendra Haidar Azani Fajri, and Munifah, "User Interface Berbasis Web Pada Perangkat Internet Of Things," *Tek. J. Ilmu Tek. dan Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 35–54, 2023, doi: 10.51903/teknik.v3i1.326.

- [8] E. Suciana, M. H. Nasrullah, D. A. Christanto, D. Cahyadi, and L. T. Giantri, "Pemanfaatan IoT untuk Efisiensi Energi pada Pabrik Pintar: Tantangan, Solusi dan Tren Teknologi," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 11, no. 1, pp. 70–77, 2025, doi: 10.54914/jtt.v11i1.1897.
- [9] S. Sahibu, Surahman, and A. Ahmad, "Teknologi Irigasi Berbasis IoT: Integrasi Sensor Nirkabel (SN), Energi Surya dan Logika Fuzzy," *J. Fasilkom*, vol. 15, no. 1, pp. 9–16, 2025, doi: 10.37859/jf.v15i1.8899.
- [10] A. Halim, "Smart Attendance IoT: Sensor Sidik Jari dengan Optimasi QoS," *J. Komput. Teknol. Inf. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 3, pp. 1370–1383, 2025, doi: 10.62712/juktisi.v4i3.667.
- [11] F. Prasetyo Eka Putra, S. R. Sutarsih, S. Sofiyulloah, 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.
- [12] 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/ilkoinfo.v8i2.342.
- [13] 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.
- [14] A. F. Rachman, F. P. E. Putra, S. Syirofi, and D. Wahid, "Case Study of Computer Network Development for the Internet Of Things (IoT) Industry in an Urban Environment," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 399–407, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4302.
- [15] F. P. E. Putra, I. N. S. Degeng, S. Ulfa, and W. Kamdi, "The Evolution of Quality Education: Impacts and Challenges of Using Open Educational Resources (OER) and Open Educational Practices (OEP) in the Conceive - Design - Implement - Operate (CDIO) Framework," *TEM J.*, vol. 13, no. 1, pp. 386–395, 2024, doi: 10.18421/TEM131-40.
- [16] N. Haidar, F. P. Eka Putra, M. Arifin, M. Yasir Zain, and I. Darmawan, "Desain dan Perancangan Smart Campus berbasis ZigBee Wireless Sensor Network," *J. Inov. Teknol. dan Edukasi Tek.*, vol. 1, no. 11, pp. 842–850, 2021, doi: 10.17977/um068v1i112021p842-850.
- [17] Y. Yuga Pratama, Habib Mustofa, H. Ramadani Aris Putra, and I. Albana, "Efektivitas Internet Of Things dalam Mengatasi Permasalahan Lalu Lintas : Tinjauan Literatur," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 2, 2025, doi: 10.65258/jutekom.v1.i2.10.
- [18] Y. A. Jeem *et al.*, "Kesiapan Infrastruktur Mahadata dan IoT Layanan Primer Mendukung Pengelolaan Penyakit Kronis Jamaah Haji Indonesia," *Data Sci. Indones.*, vol. 5, no. 2, pp. 50–61, 2025, doi: 10.47709/dsi.v5i2.7185.
- [19] Muhamad Akmal Hibban, Togi Adnan Maruli Sinaga, Emilia Rahajeng Larasati, and Emilia Rahajeng Larasati, "Pengembangan Integrated Monitoring System Berbasis Internet of Things (Iot) Pada Kendaraan Steyr 91 Rosenbauer," *Inform. J. Tek. Inform. dan Multimed.*, vol. 5, no. 2, pp. 116–124, 2025, doi: 10.51903/informatika.v5i2.1306.
- [20] F. T. S. Fikra Titan Syifa, R. David Kasyanto, and S. Indriyanto, "Prototipe Sistem Pemanggil Pelayan di Restoran Menggunakan Metode Nirkabel dan ESP32 dengan Protokol MQTT," *Edu Elektr. J.*, vol. 13, no. 2, pp. 7–15, 2026, doi: 10.15294/eduel.v13i2.37211.
- [21] Muhammad Ali Imran, Achmad Fauzi, and Husnul Khair, "Rancang Bangun Kontrol Bel Otomatis Berdasarkan Jadwal Perkuliahan Menggunakan Internet of Things (IoT)," *Modem J. Inform. dan Sains*

Teknol., vol. 2, no. 4, pp. 21–32, 2024, doi: 10.62951/modem.v2i4.225.

- [22] M. E. S. R. Erlangga and M. Misbah, “Stress and Anxiety Monitoring System for Early Detection of Mental Health Using Iot Based Biomedic Sensors and Deep Neural Networks,” *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 18, no. 1, pp. 309–317, 2025, doi: 10.51903/qhr95646.
- [23] A. Ahmad and Safrizal, “Sistem Informasi Notifikasi Monitoring Status Perangkat BTS dan Client Serta Datacenter pada ISP PT. Acehlink Media,” *J. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–12, 2024, doi: 10.35870/jikti.v1i2.1062.
- [24] E. Priyono, A. W. Azinar, Hindarto, and R. Dijaya, “Perancangan dan Implementasi Sistem WIFI Berbasis Koin Untuk Usaha Warung Kopi Atau Kafe,” *Smatika J.*, vol. 15, no. 02, pp. 331–349, 2025, doi: 10.32664/smatika.v15i02.2035.
- [25] B. R. Mintoro, “Perencanaan Jaringan Nb-Iot Standalone Pada Frekuensi 900 Mhz : Kasus Kecamatan Genuk, Semarang,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6571.
- [26] H. Hamuda and A. Setiawan, “Sistem Keamanan Rumah Pintar Berbasis Sensor ESP32-Cam dan PIR Dengan Notifikasi Teknologi Bot Whatsapp,” *SKANIKA Sist. Komput. dan Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 204–218, 2025, doi: 10.36080/skanika.v8i2.3387.
- [27] Jessica Ignatia Tambunan, S. Syafrudi, Putu Ketri Handayani, and Putri Zalzabilah Ray, “Peningkatan Minat dan Motivasi Siswa SMK terhadap Kompetensi Internet of Things (IoT) melalui Pelatihan: Mendorong Inovasi Bisnis dalam Sektor Pariwisata Digital,” *TOBA J. Tour. Hosp. Destin.*, vol. 4, no. 3, pp. 329–336, 2025, doi: 10.55123/toba.v4i3.6160.
- [28] M. K. Ikhsan and I. P. Sari, “Perancangan Sistem Keamanan Kamar Kos Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Menggunakan Wemos D1 Mini dan Sensor Pintu, serta Integrasi Pemberitahuan Melalui Telegram,” *Blend Sains J. Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 229–236, 2025, doi: 10.56211/blendsains.v3i2.639.
- [29] Albert Donatus Simamarta, Vasthi Khoirun Nisa, Rafly Maulana, Najwa Parawansa, Imelda Khairunnisa, and Yeni Budiawati, “Kajian Literatur : Penerapan Internet of Things (IoT) untuk Optimasi Manajemen Kesehatan Tanah,” *Hidroponik J. Ilmu Pertan. Dan Teknol. Dalam Ilmu Tanam.*, vol. 2, no. 2, pp. 91–107, 2025, doi: 10.62951/hidroponik.v2i2.402.
- [30] K. D. Nurmayang Sari and S. Widiono, “Transformasi Digital Layanan Laundry melalui Mobile Tracking untuk Meningkatkan Transparansi dan Efisiensi Operasional UMKM,” *Edumatic J. Pendidik. Inform.*, vol. 9, no. 3, pp. 885–894, 2025, doi: 10.29408/edumatic.v9i3.32601.
- [31] A. S. Ramli, S. B. Mustamin, N. Fajar, N. Hidayatullah, and M. Atnang, “Kecerdasan Buatan untuk Keberlanjutan: Menavigasi Aplikasi dan Tantangan Etis dalam Mengelola Lingkungan,” *J. Teknol. dan Sains Mod.*, vol. 2, no. 2, pp. 89–96, 2025, doi: 10.69930/jtsm.v2i2.348.
- [32] M. Alda, A. A. Syahfitri, A. P. Aji, and F. Abdul Aziz, “Analisis Sistematis Tren Pengembangan Aplikasi Mobile di Indonesia pada Periode Tahun 2024-2025,” *J. Manaj. Inform. Sist. Inf. dan Teknol. Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 632–641, 2025, doi: 10.70247/jumistik.v4i2.223.
- [33] A. -, A. R. -, and A. W. -, “Analisis Integrasi Sistem Plts Off-Grid Untuk Jaringan Radio Link Di Area Pertambangan Pt. Artha Tunggal Mandiri,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 14, no. 1, 2026, doi: 10.23960/jitet.v14i1.8780.
- [34] Putri Kamaliyah Kirana Dewi, Pikir Wisnu Wijayanto, and Bayu Rima Aditya, “Implementasi Teknologi IoT pada Aplikasi Pencarian Lokasi Calon Penumpang dan Angkutan Umum (Studi Kasus Koperasi Bina Usaha Transportasi Republik Indonesia),” *PaKMas J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 63–74, 2024, doi: 10.54259/pakmas.v4i1.2626.

- [35] G. Suprianto, "Pemanfaatan Internet Of Things (Iot) Dalam Proses Pengeringan Rimpang Dengan Menggunakan Platform Node-Red," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 6, pp. 1303–1312, 2024, doi: 10.25126/jtiik.2024118684.
- [36] 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: 10.33050/mentari.v1i2.254.
- [37] M. A. Prasetyo and J. Veri, "Optimalisasi Peran Telekomunikasi dalam Mendorong Inovasi Pelayanan Publik di Era Digital: A Systematic Literature Review," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 6, no. 3, pp. 1988–2003, 2025, doi: 10.63447/jimik.v6i3.1632.
- [38] K. Paranita, S. Santoso, and N. Adriaty, "Transformasi Pertanian Cerdas: Peran Strategis eMBB, mMTC, dan uRLLC," *Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 289–295, 2025, doi: 10.46962/snte.25.091.
- [39] S. Mingkamanad, M. Zaki, S. Andromeda, and L. Narpulaela, "Konfigurasi Logic Jaringan Internet Pelanggan Pasang Baru Menggunakan Nms (Network Management System) Unm2000," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 3, pp. 4182–4187, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i3.9884.
- [40] W. A. Kuncoro and L. Santoso, "Kemacetan Jaringan Akibat Media Sosial: Menganalisis Dampaknya terhadap Efisiensi Transmisi Data Nirkabel," *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 4, no. 2, pp. 130–141, 2025, doi: 10.51903/jt9z2f09.
- [41] A. Prima, D. Gayatri, Y. Afiyanti, and C. Effendy, "Remote Patient Monitoring Pada Pasien Kanker: Analisis Konsep," *Media Kesehat. Politek. Kesehat. Makassar*, vol. 20, no. 1, pp. 192–206, 2025, doi: 10.32382/medkes.v20i1.1424.
- [42] E. R. N. Wulandari, N. Rosyida, B. Sutawijaya, H. M. Abdullah, and S. R. Asriningtias, "PERANCANGAN SENSOR GAS BERBASIS IoT UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS UDARA," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.4977.
- [43] F. Hidayat, M. Martanto, A. Rinaldi, and A. Rifai, "Penerapan Iot Pada Kendali Lampu Menggunakan Esp8266 Dan Sensor Cahaya Untuk Efisiensi Energi," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6340.
- [44] N. H. Setiyawan, A. Hariyadi, and A. Kurniawan, "Sistem Pengawasan CCTV Pada ATM Secara Real-Time Berbasis Internet of Things," *J. Janitra Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.59395/k0e60m33.
- [45] I. W. Ramadhan, F. Firdaus, and S. Adinandra, "Penerapan IoT dalam Sistem Monitoring Kesehatan: Inovasi dan Implementasi," *Techno.Com*, vol. 23, no. 4, pp. 763–772, 2024, doi: 10.62411/tc.v23i4.11482.
- [46] Z. Abidin, T. Sutabri, and S. Purwanto, "Analisis Konsep Kota Cerdas dengan Pemanfaatan Internet of Things (IoT) di Kota Palembang," *Indones. J. Innov. Multidisipliner Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 461–473, 2023, doi: 10.31004/ijim.v1i4.57.
- [47] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, A. Hamzah, W. A. Pramadi, and A. Nuraini, "Systematic Literature Review: Security Gap Detection On Websites Using Owasp Zap," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 348–355, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4227.
- [48] F. P. E. Putra, U. Ubaidi, M. Aziz, M. Irfan, and R. Alim, "Improving Network Service Quality in parts of Sampang City: QoS Evaluation and User Perception of QoE," *Brill. Res. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, pp. 408–412, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4311.
- [49] Arif Nadhom Obaid, M., Saeed Hameed, Z., & Israa Ali AlNeami. (2024). Optimizing QoS in Wireless Sensor Networks: A Review of Advanced Traffic Control Protocols and Techniques. *Iraqi Journal of*

Information and Communication Technology, 7(3), 82–102. <https://doi.org/10.31987/ijict.7.3.300>

- [50] Rani, K., Madhusudhan, K. N., & Prathibha, S. (2025). Enhancing QoS in Wireless Sensor Networks Using Dynamic Energy-Efficient Multimode Transmission with the Network Adaptive Multimode Transmission LEACH Protocol. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 18(1). <https://doi.org/10.12785/ijcds/1571032078>