

Implementasi Teknologi Jaringan Nirkabel 5G untuk Optimalisasi Kinerja Komunikasi Data

Wulidati Trixiana ^{1)*} , Septiana Wulandari ²⁾ 

¹⁾ ²⁾ Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

¹⁾trixiana.wulidati@gmail.com, ²⁾septianawulandari259@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi jaringan nirkabel generasi kelima (5G) telah membawa perubahan besar dalam komunikasi data, khususnya dalam hal kecepatan transmisi tinggi, latensi rendah, dan kapasitas jaringan yang lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi 5G dalam meningkatkan kinerja komunikasi data di berbagai sektor, seperti industri, pendidikan, dan layanan publik. Metode yang digunakan mencakup studi literatur, pengukuran Quality of Service (QoS), serta uji performa melalui simulasi pada parameter utama seperti throughput, latency, dan jitter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi 5G mampu meningkatkan efisiensi komunikasi data hingga sepuluh kali lipat dibandingkan generasi sebelumnya, 4G LTE. Peningkatan ini sangat terlihat pada aplikasi real-time, seperti Internet of Things (IoT), augmented reality (AR), dan sistem kendaraan otonom. Namun, penerapan jaringan 5G masih menghadapi tantangan signifikan, terutama terkait kebutuhan infrastruktur yang kompleks dan konsumsi energi yang tinggi. Oleh karena itu, adopsi 5G harus disertai perencanaan matang, baik dari sisi infrastruktur maupun kebijakan keamanan data. Secara keseluruhan, 5G merupakan teknologi strategis dalam mendukung transformasi digital lintas sektor, dengan potensi besar untuk mendorong inovasi dan efisiensi layanan berbasis data.

Kata Kunci: 5G, jaringan nirkabel, komunikasi data, latency rendah, bandwidth tinggi.

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

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia telekomunikasi mengalami peningkatan secara terus menerus. Awal kemunculan berupa teknologi generasi pertama (1G) masih menggunakan sistem analog. Pada tahun 1991 mulai dikembangkan teknologi 2G yang telah menggunakan sistem digital dan mampu memberi layanan tidak hanya suara, tetapi juga data. Perkembangan teknologi tersebut kemudian di susul oleh 3G dan 4G. [1], [2]. Dalam era digital yang terus mengalami perkembangan [3], [4]. Kebutuhan akan konektivitas yang cepat dan andal semakin meningkat [5], [6], [7], terutama seiring dengan meningkatnya penggunaan perangkat [8], [9] yang saling terhubung dalam kehidupan sehari-hari, [10], [11]. Salah satu kemajuan besar di bidang teknologi jaringan adalah hadirnya jaringan 5G [12], [13], yang menawarkan kecepatan mengirim data yang sangat tinggi dan waktu tunggu yang sangat rendah. Teknologi ini menjadi dasar utama dalam mendorong perkembangan Internet of Things (IoT) [14], yang berperan penting di berbagai bidang seperti transportasi, pertanian, energi, dan kesehatan [15], [16].

Dengan kemampuan teknologi yang sangat canggih, jaringan 5G memfasilitasi komunikasi langsung antara perangkat, yang mempercepat proses analisis data dan mendukung pengambilan keputusan dengan efisien [17]. Jaringan 5G memberikan pengaruh signifikan terhadap kemajuan Internet of Things (IoT) dengan menawarkan kecepatan tinggi serta waktu tunda yang minimal [18], [19], yang mendukung pemrosesan data secara langsung untuk berbagai aplikasi seperti smart city (kota pintar), smart farming (pertanian cerdas) [20], [21], smart grid (jaringan pintar), dan bidang kesehatan. Dengan kemajuan yang lebih luas, 5G membuat kemungkinan menghubungkan sejumlah besar perangkat IoT di dalam satu lokasi tanpa mengurangi kualitas sambungan [22], [23], [24]. Ini memungkinkan peningkatan efisiensi di berbagai bidang [25], seperti peningkatan distribusi energi melalui smart grid (jaringan pintar), pemantauan pasien yang lebih cepat dan tepat dalam bidang kesehatan [26], [27], serta pengelolaan lahan yang lebih produktif dalam smart farming (pertanian cerdas) [28], [29]. Dengan kemampuan untuk mengelola dan memantau data dalam waktu nyata (real-time) [30], [31], teknologi 5G memberikan dampak besar dalam meningkatkan efisiensi operasional, pengelolaan sumber daya, serta mempercepat proses pengambilan keputusan dengan lebih responsif dan berdasarkan data yang kuat [32], [33], [34]. Oleh karena itu, teknologi 5G memainkan

* Wulidati Trixiana

peran penting dalam perubahan digital di berbagai industri, memperbesar produktivitas, efisiensi, dan mutu layanan [35], [36], serta memperkenalkan kemungkinan baru dalam penggunaan IoT yang lebih maju dan lebih luas di masa depan.

kemajuan teknologi jaringan seperti 5G merupakan elemen penting dalam memenuhi kebutuhan konektivitas modern yang semakin rumit [37], [38]. Dengan paket data yang bisa ditransmisikan pada kecepatan yang sangat tinggi dan dengan jeda waktu yang minimal [39], [40], 5G memperbaiki kinerja sistem berbasis IoT yang memerlukan reaksi waktu nyata [41], [42]. Peran dari teknologi ini sangat krusial untuk berbagai sektor yang membutuhkan penggabungan perangkat secara bersamaan dan keputusan yang didasarkan pada data [43], [44]. Oleh karena itu, jaringan 5G [45] tidak hanya menjadi sebuah inovasi dalam industri telekomunikasi, tetapi juga berfungsi sebagai pendorong utama dalam mempercepat proses digitalisasi dan otomatisasi di berbagai aspek kehidupan [46], [47]

II. TINJAUAN PUSTAKA

pada jurnal fausan et al Teknologi jaringan nirkabel (5) adalah perkembangan dari sistem komunikasi seluler yang diprogram untuk menyajikan lonjakan besar dalam kecepatan pengiriman data, latensi rendah, serta kapasitas koneksi yang sangat besar daripada generasi sebelumnya[48]. 5G diduga dapat menawarkan penunjang untuk komunikasi yang sangat terpercaya dengan latensi rendah (URLLC) dengan waktu respons kurang dari 1 milidetik, sehingga dapat memenuhi kebutuhan aplikasi real-time[49][50].

5G memanfaatkan teknologi ini seperti massive Multiple Input Multiple Output (MIMO), beamforming, dan network slicing guna meningkatkan efisiensi jaringan serta memfasilitasi pengalokasian sumber daya secara dinamis. Pendekatan ini menjadikan 5G sebagai lebih dari sekedar peningkatan dari 4G LTE, tetapi juga sebagai dasar utama untuk perkembangan Internet of Things (IoT), cloud computing, dan sistem otomatisasi di bidang industri[51][52].

Integrasi antara 5G dengan Iot menciptakan peluang di berbagai bidang, seperti kesehatan digital, kota cerdas, dan kota pintar. Menggabungkan kekuatan koneksi besar dan laten memungkinkan banyak perangkat terhubung dengan cara yang konsisten dengan kinerja yang tetap terjaga[53].

Berdasarkan pada berbagai penelitian, dapat di simpulkan bahwa teknologi 5G memiliki potensi unik sebagai alat transformasi digital global. Keberhasilan implementasi sangat bergantung pada infrastruktur, keamanan data, dan lingkungan dari pemerintah. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana penyebaran jaringan 5G dapat mengoptimalkan efisiensi komunikasi data dalam mendukung berbagai sektor strategis di era digital[54].

III. METODE

Metode penelitian pada jurnal ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode review literatur (mini review). Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisis dan menyajikan hasil dari berbagai penelitian yang berkaitan dengan implementasi jaringan 5G dalam meningkatkan kinerja komunikasi data di berbagai sektor :

1. Jenis dan Pendekatan penelitian

Jenis penelitian yang di gunakan adalah review literatur. Pendekatan ini digunakan untuk mengkaji teori, konsep, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik jaringan 5G dan optimalisasi komunikasi data.

2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yang dapat di peroleh dari bebrbagai sumber seperti:

- a. Artikel Ilmiah nasional dan internasional
- b. Jurnal bereputasi
- c. Prosiding konferensi
- d. laporan penelitian

Kriteria pemilihan sumber literatur mencakup: publikasi 3 tahun terakhir (2023-2025), Relevan dengan topik 5G dan komunikasi data, memiliki doi atau terbit jurnal resmi.

3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui: pencarian literatur pada basis data seperti Google Scholar dan consensus dengan kata kunci: “5G”, “Jaringan Nirkabel”, “Komunikasi Data”, “Latency Rendah”, dan “Bandwidth tinggi”. Seleksi sumber, yaitu memilih artikel yang memenuhi kriteria relevansi dan kualitas. Studi mendalam atau review terhadap isi artikel untuk menemukan hasil, metode, dan hasil penting terkait implementasi 5G.

4. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan tahapan:

- a. Identifikasi tema utama, yaitu mengenai kecepatan data, latensi, efisiensi energi, dan kapasitas koneksi

b. Sintesis hasil penelitian, dengan membandingkan hasil dari beberapa sumber untuk menemukan kesamaan dan perbedaan.

c. Interpretasi data, yakni menarik kesimpulan mengenai efektivitas dan tantangan penerapan jaringan 5G dalam mendukung komunikasi data.

5. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini meliputi:

- a. mengumpulkan referensi berupa artikel atau jurnal dari berbagai sumber.
- b. Membaca dan memahami setiap literatur secara mendalam.
- c. Mengambil point penting dari tiap penelitian.
- d. Mengelompokkan hasil penelitian berdasarkan parameter seperti throughput, latency, dan jitter
- e. Menyusun hasil analisis ke dalam bentuk pembahasan yang sistematis untuk memperoleh kesimpulan.

IV. HASIL

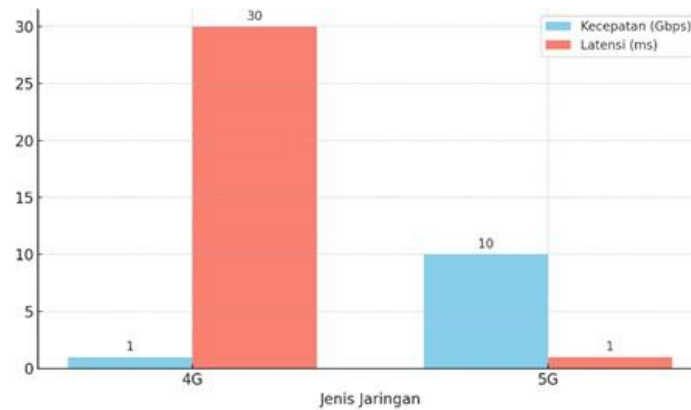
1. Jaringan 5G

5G yaitu singkatan dari generasi kelima, yang merupakan tingkat berikutnya dari standar ponsel. 5G memungkinkan akses global dan layanan portable, menawarkan layanan berkualitas tinggi, dan mendukung transmisi data hingga satu gigabit dengan kapasitas yang sangat besar dan biaya bit rendah. Jaringan seluler 5G berkonsentrasi pada terminal klien dan terminal klien dapat menggunakan teknologi seluler yang berbeda dengan teknologi yang berbeda. Selain itu, perangkat akhir membuat pilihan antara layanan yang ditawarkan oleh berbagai penyedia ponsel. Teknologi 5G mampu menyediakan kecepatan transfer data hingga 10Gbps yang jauh melampaui kemampuan pada jaringan 4G yang hanya mencapai sekitar 1 Gbps. Dengan kecepatan yang sangat tinggi ini memungkinkan untuk pengolahan data dalam jumlah besar dengan cara instan. Tujuan dari 5G Adalah kunci menuju dunia digital, berguna untuk mengubah ekonomi. Contohnya seperti pada streaming video yang berkualitas tinggi dan juga pada aplikasi pemantauan kesehatan berbasis IoT yang memerlukan pengiriman data secara cepat. Dengan kapasitas bandwidth yang lebih luas dan kemampuan transfer data yang lebih cepat, 5G mendukung berbagai aplikasi IoT yang sebelumnya terbatas oleh kekurangan jaringan.

2. Perbandingan 4G dan 5G

Perbandingan antara jaringan 4G dan 5G menunjukkan bahwa 5G menawarkan kecepatan yang jauh lebih cepat, 5G secara teoritis mampu mencapai hingga 10 Gbps pada scenario ideal (mmWave), namun pengukuran di lapangan umumnya menunjukkan kecepatan rata rata 400-1000 Mbps, jauh di atas 4G yang rata rata 30-100 Mbps dan maksimum sekitar 1 Gbps pada kondisi optimal. Studi di berbagai kota menunjukkan 5G mampu memberikan kecepatan download hingga 444 Mbps, sedangkan 4G hanya sekitar 50 Mbps. 5G dirancang untuk latensi sangat rendah, dengan target 1 ms pada layanan ultra- reliable low latency communications (URLLC). Pengujian nyata menunjukkan latensi 5G bisa dibawah 1 ms pada scenario tertentu, sedangkan 4G umumnya 30-50 ms. 5G mendukung aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kecepatan tinggi dan latensi rendah, seperti kendaraan otonom, pencitraan medis, dan cloud gaming. Selain itu, 5G dirancang untuk mendukung jutaan perangkat IoT dalam satu kilometer persegi, jauh melampaui kapasitas 4G. hal ini sangat penting untuk aplikasi smart city, smart farming, dan industry otomatisasi yang membutuhkan koneksi simultan dari ribuan sensor dan perangkat.

Meskipun jaringan 4G masih memadai untuk aplikasi IoT yang lebih dasar seperti sistem rumah cerdas dan pengawasan lingkungan, jaringan 5G jelas lebih unggul dalam menangani aplikasi yang lebih rumit yang memerlukan pengolahan data dalam volume besar serta komunikasi real time. Dengan kemampuan yang lebih besar untuk menghubungkan berbagai perangkat dan waktu tunda yang minimal, 5G berperan penting dalam transformasi digital di berbagai bidang, mulai dari Kesehatan hingga era industry 4.0, yang melibatkan jutaan perangkat yang terhubung secara bersamaan. Jaringan 4G masih tetap relevan untuk aplikasi yang tidak memerlukan kecepatan koneksi yang sangat tinggi atau waktu tunda yang rendah.



Gambar 1.

Gambar diatas menunjukkan perbedaan data bahwa 5G lebih cocok untuk mendukung teknologi canggih yang membutuhkan transfer data yang sangat cepat dan hampir tanpa jeda waktu. Kecepatan 5G meningkat 10 kali lipat dibandingkan 4G, dan latensinya menurun drastis, dari 30 milidetik menjadi hanya 1 milidetik.

3. Kelebihan dan Kekurangan 5G

a. Kelebihan 5G:

- Kecepatan tinggi & bandwidth besar: 5G menawarkan kecepatan data hingga 10-20 Gbps, jauh melampaui 4G, serta bandwidth yang lebih besar untuk mendukung aplikasi berat seperti streaming UltraHD, AR/VR, dan cloud computing.
- Latensi sangat rendah: latensi 5G bisa mencapai 1 ms, memungkinkan aplikasi real-time seperti kendaraan otonom, operasi jarak jauh, dan industry otomatisasi.
- Kapasitas koneksi masif: 5G mampu menghubungkan hingga satu juta perangkat per km², sangat ideal untuk IoT, smart city, smart farming, dan industry 4.0.
- Efisiensi energi & fleksibilitas: teknologi seperti massive MIMO, beamforming, dan network slicing meningkatkan efisiensi energi, fleksibilitas jaringan, serta kualitas layanan.
- Keamanan lebih baik: 5G menawarkan enkripsi dan protocol keamanan yang lebih kuat dibandingkan generasi sebelumnya.

b. Kekurangan 5G:

- Biaya infrastruktur tinggi: Pembangunan infrastruktur 5G (BTS, fiber optic, spektrum) sangat mahal, bahkan bisa dua kali lipat dari 4G, sehingga adopsi awal hanya di kota besar.
- Jangkauan terbatas & sensitif hambatan: frekuensi tinggi (mmWave) memiliki jangkauan pendek dan mudah terhalang bangunan, pohon, atau cuaca buruk, sehingga membutuhkan banyak BTS kecil.
- Kompatibilitas perangkat: pengguna harus mengganti perangkat lama dengan yang mendukung 5G, menambah beban biaya.
- Tantangan keamanan & privasi: banyaknya perangkat terhubung meningkatkan risiko serangan siber dan tantangan privasi data.
- Distribusi tidak merata: saat ini, 5G umumnya hanya tersedia di kota besar, belum merata ke daerah rural.

V. PEMBAHASAN

5G menjadi tulang punggung utama bagi pengembangan IoT di berbagai sektor karena kapasitas konektif masif, kecepatan tinggi, dan latensi sangat rendah. Jaringan 5G mampu menghubungkan jutaan perangkat secara simultan, menjaga kualitas koneksi, dan memungkinkan respons real-time yang sangat dibutuhkan untuk aplikasi kritis. Peran IoT di berbagai sektor:

1. smart city: contoh implementasi IoT-nya yaitu lampu jalan pintar, pengelolaan sampah, dan transportasi cerdas. Manfaat 5G dalam sektor ini yaitu koneksi simultan, data real-time, dan efisiensi energi.
2. Industry / manufaktur: contoh implementasinya adalah robotic, predictive maintenance, digital twin. Manfaat 5G nya adalah latensi rendah, reliabilitas tinggi, dan otomatisasi.
3. Kesehatan: contoh implementasinya yaitu telemedicine, dan monitoring pasien jarak jauh. Manfaat 5G nya Adalah responds real-time, keamanan data, dan mobilitas tinggi.

4. Pertanian: contoh implementasinya yaitu sensor tanah, irigasi otomatis, dan drone. Manfaat 5G nya Adalah monitoring massal, efisiensi sumber daya.
5. Transportasi: contoh implementasinya Adalah kendaraan otonom, dan manajemen lalu lintas. Manfaat 5G nya Adalah komunikasi V2X, keamanan, dan pengambilan keputusan cepat.

VI. KESIMPULAN

Teknologi jaringan nirkabel generasi kelima atau 5G menawarkan kemajuan signifikan dalam performa komunikasi data. Berdasarkan analisis yang dilakukan 5G mampu menyediakan kecepatan pengiriman data hingga sepuluh kali lipat lebih cepat dibanding 4G, serta menawarkan latensi yang sangat rendah dan kapasitas koneksi yang lebih besar. Ini membuka peluang untuk penerapan beragam aplikasi berbasis Internet of Things (IoT) di berbagai bidang seperti industri, kesehatan, pertanian, transportasi, dan kota pintar dengan cara yang lebih efektif dan efisien. Namun, pelaksanaan 5G juga dihadapkan pada berbagai tantangan, termasuk biaya infrastruktur yang tinggi, jangkauan sinyal yang terbatas terutama pada frekuensi tinggi, serta masalah keamanan data dan privasi data. Oleh karena itu, penerapan teknologi ini harus didukung dengan rencana pembangunan infrastruktur yang baik, kebijakan keamanan siber yang kokoh, serta distribusi jaringan secara merata di seluruh daerah. Secara keseluruhan, penerapan jaringan 5G merupakan langkah taktis dalam mendukung perubahan digital dan revolusi industri 4.0, dengan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi komunikasi data, kualitas pelayanan public, dan daya saing nasional dalam era digital.

Kontribusi Penulis: [Trix]: memiliki peran dalam merumuskan ide penelitian, melakukan pengumpulan dan analisis literatur yang berkaitan dengan teknologi jaringan nirkabel 5G, serta menulis bagian pendahuluan, tinjauan Pustaka, dan Kesimpulan. [Wulan]: terlibat dalam merancang metode mini review, memproses hasil analisis, menyusun bagian metode penelitian, hasil penelitian, dan pembahasan, serta melakukan editing akhir pada keseluruhan 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:](https://) -

Penulis Kedua: [https:](https://) -

Penulis Ketiga: -

REFERENSI

- [1] F. P. Eka Putra, et al, 2023, Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G, Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi, Vol.5 No. 2, 167, doi: 10.37034/jsisfotek.v5i1.233.
- [2] F. P. Eka Putra, et al, "Systematic Literature Review: Security Gap Detection on Website Using Owasap Zap", vol.4, no. 1, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4227.
- [3] M. Attaran, "The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization," J. Ambient Intell. Humaniz. Comput., vol. 14, no. 5, pp. 5977–5993, 2023, doi: 10.1007/s12652-020-02521-x.
- [4] L. R. Adawiah, B. Sugiarto, and T. A. Wiharso, "Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Optik Dalam Hubungan Antar Bsc Ke Bts Untuk Telekomunikasi Generasi Ke-5 (5G)," Fuse-teknik Elektro, vol. 3, no. 1, p. 1, 2023, doi: 10.52434/jft.v3i1.2745.
- [5] 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.
- [6] R. D. WAHYUNINGRUM, M. B. GINTING, K. NI'AMAH, and S. LARASATI, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dengan pengkodean QC-LDPC dan polar", ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekom., vol. 12, no. 1, p. 190, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i1.190
- [7] M. A. Masa, T. S. D. Abdurrahman, A. Basalamah, M. N. Rahman, H. Lahmado, and A. Afdhal, "Analisis Potensi Teknologi Jaringan 5G Area Sulawesi Selatan", Jambura J. Electr. Electron. Eng., vol. 5, no. 1, pp. 41-47, 2023, doi: 10.37905/jjee.v5i1.16870.

- [8] I. H. Sarker, A. I. Khan, Y. B. Abushark, and F. Alsolami, "Internet of Things (IoT) Security Intelligence: A Comprehensive Overview, Machine Learning Solutions and Research Directions," *Mob. Networks Appl.*, vol. 28, no. 1, pp. 296-312, 2023, doi: 10.1007/s1 1036-022-01937-3.
- [9] M. N. Mahmudi, "Analisa QoS Jaringan 5G Analisa QoS Jaringan 5G Provider X Dan Y Untuk Aplikasi Vidio Streaming Resolusi 4K (Studi Kasus Di Kota Pekanbaru)," *Telekontran J. Ilm. Telekomun. Kendali dan Elektron. Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 35-42, 2023, doi: 10.34010/telekontran.v11i1.9868.
- [10] B. Alhayani et al., "5G standards for the Industry 4.0 enabled communication systems using artificial intelligence: perspective of smart healthcare system," *Appl. Nanosci.*, vol. 13, no. 3, pp. 1807–1817, 2023, doi: 10.1007/s13204-021-02152-4.
- [11] F. P. Eka Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *INFORMATICS Educ. Prof. J. Informatics*, vol. 8, no. 1, p. 47, 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [12] B. D. Baskoro, "Pemanfaatan Jaringan 5G untuk Inovasi Digital di Sektor Usaha Kecil dan Menengah: Tinjauan Konseptual," *Labs J. Bisnis dan Manaj.*, vol. 29, no. 2, pp. 1–9, 2024, doi: 10.57134/labs.v29i2.73.
- [13] E. Y. Gunawan, W. Cahyadi, A. C. Eska, D. W. H, and M. A. L, "Analisis Kualitas Jaringan 5g Pada Provider XI Menggunakan Metode Drive Test," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 10, no. 1, p. 17, 2024, doi: 10.19184/jaei.v10i1.42499.
- [14] N. Rane, "Enhancing Customer Loyalty through Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and Big Data Technologies: Improving Customer Satisfaction, Engagement, Relationship, and Experience," *SSRN Electron. J.*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4616051.
- [15] M. Ghiasi, "Evolution of smart grids towards the Internet of energy: Concept and essential components for deep decarbonisation," *IET Smart Grid*, vol. 6, no. 1, pp. 86–102, 2023, doi: 10.1049/stg2.12095.
- [16] A. Zilham and R. Gunawan, "Potensi Iot Dalam Industri 4.0," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 2, pp. 1932–1940, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i2.9209.
- [17] Y. Kurnia, Yakub, R. Rimbawan Oprasto, and A. Oktavianus Gunawan, "Bibliometric Analysis: IoT Networks and Wireless Communication Protocols," *Rubinstein*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.31253/rubin.v2i1.2295.
- [18] D. Welch et al., "Digital Subcarrier Multiplexing: Enabling Software-Configurable Optical Networks," *J. Light. Technol.*, vol. 41, no. 4, pp. 1175–1191, 2023, doi: 10.1109/JLT.2022.3211466.
- [19] T. Oktavianto, T. Prakoso, and M. A. Riyadi, "Analisis Jaringan 5G 2300 Mhz Dengan Menggunakan Menara 4G Lte Yang Tersedia Di Kota Semarang," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.1.1-9.
- [20] A. E. Jayati, "Analisis Jaringan 4G untuk Aplikasi Smart Ambulance," *Emit. J. Tek. Elektro*, pp. 18–24, 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i1.2445.
- [21] I. Adhicandra, T. Tanwir, A. Asfahani, J. W. Sitopu, and F. Irawan, "Latest Innovations in Internet of Things (IoT): Digital Transformation Across Industries," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 1027– 1037, 2024, doi: 10.31004/innovative.v4i3.10551.
- [22] G. Sun, Z. Wang, H. Su, H. Yu, B. Lei, and M. Guizani, "Profit Maximization of Independent Task Offloading in MEC-Enabled 5G Internet of Vehicles," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 25, no. 11, pp. 16449–16461, 2024, doi: 10.1109/TTTS.2024.3416300.
- [23] A. Balasundaram, S. Routray, A. V. Prabu, P. Krishnan, P. P. Malla, and M. Maiti, "Internet of Things (IoT)-Based Smart Healthcare System for Efficient Diagnostics of Health Parameters of Patients in Emergency Care," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 21, pp. 18563–18570, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3246065.
- [24] A. Sufyan, K. B. Khan, O. A. Khashan, T. Mir, and U. Mir, "From 5G to beyond 5G: A Comprehensive Survey of Wireless Network Evolution, Challenges, and Promising Technologies," *Electron.*, vol. 12, no. 10, 2023, doi: 10.3390/electronics12102200.
- [25] K. D. Goda and A. D. P. S. Neta, "Kajian Pengembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Pertanian di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur," *J. Kridatama Sains Dan Teknol.*, vol. 6, no. 02, pp. 478– 493, 2024, doi: 10.53863/kst.v6i02.1233.
- [26] W. Shi, W. Xu, X. You, C. Zhao, and K. Wei, "Intelligent Reflection Enabling Technologies for Integrated and Green Internet-of-Everything Beyond 5G: Communication, Sensing, and Security," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 30, no. 2, pp. 147–154, 2023, doi: 10.1109/MWC.018.2100717.
- [27] Z. Jan et al., "Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities," *Expert Syst. Appl.*, vol. 216, 2023, doi: 10.1016/j.eswa.2022.119456.
- [28] G. K. Walia, M. Kumar, and S. S. Gill, "AI-Empowered Fog/Edge Resource Management for IoT

- Applications: A Comprehensive Review, Research Challenges, and Future Perspectives,” IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 26, no. 1, pp. 619–669, 2024, doi: 10.1109/COMST.2023.3338015.
- [29] P. Rajak, “Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges,” J. Agric. Food Res., vol. 14, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100776.
- [30] G. Luo et al, “EdgeCooper: Network-Aware Cooperative LiDAR Perception for Enhanced Vehicular Awareness,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 42, no. 1, pp. 207–222, 2024, doi: 10.1109/JSAC.2023.3322764.
- [31] L. Tan et al., “Toward real-time and efficient cardiovascular monitoring for COVID-19 patients by 5G-enabled wearable medical devices: a deep learning approach,” Neural Comput. Appl., vol. 35, no. 19, pp. 13921–13934, 2023, doi: 10.1007/s00521-021-06219-9.
- [32] D. Afriyanto and S. Destya, “The Impact of 5G Network Technology Transformation to Replace 4G Using the Sem Amos Method,” J. Sisfokom (Sistem Inf. dan Komputer), vol. 12, no. 2, pp. 212–217, 2023, doi: 10.32736/sisfokom.v12i2.1634.
- [33] A. Gani, “Implementation of Massive MIMO in 5G Networks: Strategy and Technical Studies in Indonesia,” Indones. J. Adv. Res., vol. 2, no. 3, pp. 189–200, 2023, doi: 10.55927/ijar.v2i3.3563.
- [34] Prasetyo Putra, F. E., et al, "Wireless Network Design at Pamekasan Regency Public Library", vol.5, no. 1, 2025, doi: 10.47709/brilliance.v5i1.5876.
- [35] T. Li et al., “Carbon emissions of 5G mobile networks in China,” Nat. Sustain., vol. 6, no. 12, pp. 1620–1631, 2023, doi: 10.1038/s41893-023-01206-5.
- [36] M. Raksawardhana, D. E. T. Lufianawati, and M. Masjudin, “Analisis Kualitas Jaringan 5G dengan Menggunakan Metode Drive Test Di Kota Tangerang Selatan,” Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.36055/setrum.v12i2.22283.
- [37] W. Chen et al., “5G-Advanced Toward 6G: Past, Present, and Future,” IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 41, no. 6, pp. 1592–1619, 2023, doi: 10.1109/JSAC.2023.3274037.
- [38] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, and T. Melodia, “Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges,” IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 25, no. 2, pp. 1376–1411, 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3239220.
- [39] J. Logeshwaran, N. Shanmugasundaram, and J. Lloret, “Energy-efficient resource allocation model for device-to-device communication in 5G wireless personal area networks,” Int. J. Commun. Syst., vol. 36, no. 13, 2023, doi: 10.1002/dac.5524.
- [40] S. Javaid et al., “Communication and Control in Collaborative UAVs: Recent Advances and Future Trends,” IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol. 24, no. 6, pp. 5719–5739, 2023, doi: 10.1109/TITS.2023.3248841.
- [41] Z. Chen, A. M. Amani, X. Yu, and M. Jalili, “Control and Optimisation of Power Grids Using Smart Meter Data: A Review,” Sensors, vol. 23, no. 4, 2023, doi: 10.3390/s23042118.
- [42] W. Li et al., “Intelligent metasurface system for automatic tracking of moving targets and wireless communications based on computer vision,” Nat. Commun., vol. 14, no. 1, 2023, doi: 10.1038/s41467-023-36645-3.
- [43] D. Szklarczyk et al., “The STRING database in 2023: protein-protein association networks and functional enrichment analyses for any sequenced genome of interest,” Nucleic Acids Res., vol. 51, no. 1 D, pp. D638–D646, 2023, doi: 10.1093/nar/gkac1000.
- [44] A. E. Rakhmania, A. M. Harvinanda, H. Hudiono, A. Hariyadi, Hadiwiyatno, and M. Taufik, “Analisis Kinerja Sistem Modulasi Downlink LTE dan 5G pada Kanal AWGN Berbasis MATLAB,” Techné J. Ilm. Elektrotek., vol. 22, no. 2, pp. 217–240, 2023, doi: 10.31358/techne.v22i2.341.
- [45] D. ARYANTA, R. SUSANA, and N. B. ANTUANET, “Perencanaan Kebutuhan gNodeB Low Band 5G menggunakan Lebar Pita Dinamis di Pulau Jawa Dan Bali,” ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron., vol. 12, no. 2, p. 513, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i2.513.
- [46] A. D. Dwivedi, “Blockchain and artificial intelligence for 5G-enabled Internet of Things: Challenges, opportunities, and solutions,” Trans. Emerg. Telecommun. Technol., vol. 35, no. 4, 2024, doi: 10.1002/ett.4329
- [47] A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raetzah, and Y. Sabbar, “Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges,” Ain Shams Eng. J., vol. 15, no. 3, 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102509.
- [48] Prasetyo Putra F. E., et al, “Pemanfaatan Teknologi Wireless dan Mobile Network Berbasis 5G untuk Pemerataan Akses Jaringan di Indonesia”, Jurnal Informatika dan Teknologi, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.24908/jit.v8i2.30559.
- [49] Prasetyo Putra F. E., et al, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things,

- Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer, vol. 5, no.1, 2025, doi: 10.55606/jutek.v5i1.5836.
- [50] Prasetyo Putra, F.E, et al, "Implementasi Sistem Keamanan Jaringan Mikrotik Menggunakan Firewall Filtering dan Port Knocking", *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, vol.5, no. 4, 2023, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.329.
- [51] Prasetyo Putra, F.E, et al, et al, "Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT dalam Proses Push Notification", vol.5, no.4, 2023, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [52] Prasetyo Putra, F.E, et al, "Application of Internet of Things Technology in Monitoring Water Quality in Fishponds", vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4231.
- [53] Prasetyo Putra, F.E, et al, "Analysis of Phishing Attack Trends, Impacts and Prevention Methods: Literature Strudy", vol. 4, no.1, 2024, doi: 10.47709/brilliance.v4i1.4357.
- [54] Prasetyo Putra, F.E, et al, "Optimasi Keamanan DNS: Eksplorasi Optimal dengan Implementasi DNS Security Extension (DNSSEC)", vol. 8, no. 1, 2024, doi: 10.33395/remik.v8i1.13398.

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