

Analisis Kinerja Jaringan 5G dalam Meningkatkan Konektivitas Internet of Things (IoT)

Fauzan Prasetyo Eka Putra¹, Dian Tri Agustina², Triana Selvia Khusnul Khotimah^{3*}, Tarisha Ramadhanty⁴

¹ Fakultas Teknik, Universitas Madura; e-mail : prasetyo@unira.ac.id

² Fakultas Teknik, Universitas Madura; e-mail : diantriagustina401@gmail.com

³ Fakultas Teknik, Universitas Madura; e-mail : selviatriana4@gmail.com

⁴ Fakultas Teknik, Universitas Madura; e-mail : tarishaaa2414@gmail.com

* Corresponding Author : Triana Selvia Khusnul Khotimah

Abstract: The 5G network represents a major technological advancement driving the progress of the Internet of Things (IoT), particularly through its ability to transmit data at high speeds with near-instant response times. It enables stable connectivity for a greater number of IoT devices within a single area without compromising network performance, thereby supporting the development of advanced applications such as smart cities, precision agriculture, smart grids, and modern healthcare services. In the energy sector, 5G enhances smart grid management by enabling more efficient energy distribution. In healthcare, it allows real-time monitoring of patients through IoT-based medical devices. Meanwhile, in the agricultural domain, 5G facilitates intelligent land management and supports more accurate decision-making. Overall, 5G strengthens IoT capabilities by providing highly precise and real-time data, which accelerates analytical processes and improves operational performance. Consequently, 5G plays a strategic role in advancing digital transformation across various industrial and social sectors, boosting productivity, operational efficiency, and service quality, while also opening new opportunities for future IoT implementations.

Keywords: 5G Network, Internet of Things (IoT), Network Performance, IoT Connectivity

Abstrak: Teknologi jaringan 5G menjadi salah satu inovasi utama yang mendorong kemajuan Internet of Things (IoT), terutama melalui kemampuan pengiriman data dengan kecepatan tinggi serta respons yang hampir instan. 5G juga memungkinkan konektivitas yang stabil bagi lebih banyak perangkat IoT dalam satu wilayah tanpa mengurangi performa jaringan, sehingga mendorong kemunculan berbagai aplikasi cerdas seperti kota pintar, pertanian pintar, jaringan listrik pintar, hingga layanan kesehatan modern. Di bidang energi, jaringan 5G memperkuat manajemen smart grid guna mendistribusikan energi secara lebih optimal. Sementara dalam dunia medis, teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara langsung melalui perangkat IoT. Di sektor pertanian, 5G membantu dalam pengelolaan area pertanian secara cerdas dan menunjang pengambilan keputusan yang lebih akurat. Secara keseluruhan, jaringan 5G meningkatkan kapabilitas IoT untuk menyajikan data secara real-time dan presisi tinggi, yang pada gilirannya mempercepat proses analisis serta mendukung peningkatan kinerja operasional. Oleh karena itu, 5G memainkan peran strategis dalam mempercepat digitalisasi lintas sektor industri dan sosial, mendorong produktivitas, efisiensi, serta kualitas layanan, sekaligus menciptakan peluang baru bagi pengembangan IoT di masa mendatang.

Kata kunci: Jaringan 5G, Internet of Things (IoT), Kinerja Jaringan, Konektivitas IoT

Received: Maret 9, 2025

Revised: Maret 19, 2025

Accepted: Maret 27, 2025

Published: Maret 31, 2025

Curr. Ver.: Maret 31, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Dalam era digital yang terus berkembang [1], [2], kebutuhan akan konektivitas yang cepat dan andal semakin meningkat [3], [4], [5], terutama seiring dengan meningkatnya penggunaan perangkat [6], [7] yang saling terhubung dalam kehidupan sehari-hari, [8], [9]. Salah satu terobosan penting dalam bidang teknologi jaringan adalah kehadiran jaringan 5G [10], [11], yang menawarkan kecepatan transmisi data yang jauh lebih tinggi serta latensi yang sangat rendah. Teknologi ini menjadi fondasi utama dalam mendorong pertumbuhan Internet of Things (IoT) [12], yang memainkan peran penting dalam berbagai sektor seperti transportasi, pertanian, energi, dan Kesehatan [13], [14]. Dengan kapabilitas teknologinya yang tinggi, jaringan 5G memungkinkan interaksi langsung antarperangkat, yang berperan dalam mempercepat analisis data dan mendukung pengambilan keputusan secara efisien [15]. Untuk memahami lebih lanjut peran penting jaringan 5G dalam pengembangan IoT, uraian berikut ini akan menjelaskan kontribusinya secara lebih rinci dalam berbagai bidang penerapan teknologi cerdas [16], [17].

Jaringan 5G membawa dampak besar pada perkembangan Internet of Things (IoT) dengan menyediakan kecepatan tinggi dan latensi rendah [18], [19], yang memungkinkan pengolahan data secara real-time untuk aplikasi-aplikasi seperti smart city, smart farming [20], [21], smart grid, dan sektor kesehatan. Dengan kapasitasnya yang lebih besar, 5G memungkinkan penghubungan lebih banyak perangkat IoT dalam satu area tanpa menurunkan kualitas koneksi [22], [23], [24]. Ini memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dalam berbagai sektor [25], seperti distribusi energi yang lebih baik melalui smart grid, pemantauan pasien yang lebih cepat dan akurat di sektor kesehatan [26], [27], serta pengelolaan lahan yang lebih efisien dalam pertanian pintar [28], [29]. Melalui kemampuan untuk mengelola dan memantau data secara real-time [30], [31], 5G memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional, pengelolaan sumber daya, serta mendukung proses pengambilan keputusan secara lebih responsif dan berdasarkan informasi yang valid [32], [33], [34]. Dengan demikian, teknologi 5G mendukung transformasi digital di berbagai sektor industri, meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan kualitas layanan [35], [36], serta membuka potensi baru dalam penerapan IoT yang lebih canggih dan lebih luas di masa depan.

Kemajuan teknologi jaringan seperti 5G menjadi kunci utama dalam memenuhi tuntutan konektivitas modern yang semakin kompleks [37], [38]. Dengan kemampuan mentransmisikan data pada kecepatan sangat tinggi dan waktu tunda yang minimal [39], [40], 5G meningkatkan efektivitas sistem berbasis IoT yang membutuhkan respons waktu nyata [41], [42]. Peran teknologi ini sangat penting dalam berbagai sektor yang membutuhkan integrasi perangkat secara simultan dan pengambilan keputusan yang berbasis data [43], [44]. Oleh karena itu, jaringan 5G [45] tidak hanya menjadi inovasi dalam bidang telekomunikasi, tetapi juga menjadi pendorong utama dalam percepatan digitalisasi dan otomatisasi di berbagai bidang kehidupan [46], [47].

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua pendekatan utama, yaitu:

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap berbagai artikel dan jurnal yang membahas pengembangan jaringan 5G dan implementasinya dalam mendukung Internet of Things (IoT) [48]. Fokus analisis ditujukan pada sumber-sumber terpercaya yang diterbitkan dalam kurun waktu dua tahun terakhir (2023–2025). Literatur [49], [50] yang dikaji mencakup aspek-aspek penting seperti kecepatan transfer data, latensi rendah, kapasitas jaringan, serta dampak penerapan 5G terhadap berbagai sektor industri [51], [52], [53], termasuk energi, kesehatan, dan pertanian pintar. Analisis ini bertujuan untuk memahami sejauh mana 5G dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung transformasi digital melalui aplikasi-aplikasi berbasis IoT yang lebih canggih dan efisien [54], [55], [56].

2.2. Seleksi Studi

Proses seleksi diawali dengan pencarian literatur [57], [58] menggunakan kata kunci yang relevan, menghasilkan sekitar 120 judul artikel dan jurnal. Literatur tersebut selanjutnya diseleksi sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, seperti relevansi topik, tahun terbit, dan kualitas publikasi. Setelah tahap penyaringan, sebanyak 63 literatur yang memenuhi kriteria

dipilih untuk dianalisis lebih lanjut dan dijadikan dasar dalam penyusunan hasil dan pembahasan penelitian ini [59], [60], [61].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Jaringan 5G

Teknologi 5G mampu menyediakan laju transfer data hingga 10 Gbps, jauh melampaui kemampuan jaringan 4G yang hanya mencapai sekitar 1 Gbps. Kecepatan yang sangat tinggi ini memungkinkan pengolahan data dalam jumlah besar secara instan, seperti pada streaming video berkualitas tinggi dan 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.

Selain itu, latensi rendah 5G yang mencapai sekitar 1 milidetik sangat penting untuk mendukung aplikasi yang membutuhkan respons instan, seperti pada kendaraan otonom dan prosedur medis jarak jauh. Latensi rendah ini memberikan keuntungan besar dalam komunikasi yang membutuhkan respons cepat dan efisien. Selain itu, dengan penggunaan teknologi Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) dan frekuensi spektrum yang lebih luas, 5G dapat meningkatkan kapasitas koneksi dan daya jangkauan sinyal, yang sangat penting untuk smart city dan smart farming di mana banyak perangkat IoT perlu terhubung secara bersamaan.

Jaringan 5G juga meningkatkan kapasitas sistem komunikasi secara signifikan, memungkinkan lebih banyak perangkat untuk terhubung tanpa menurunkan kualitas koneksi. Dengan kemampuan untuk mendukung jutaan perangkat IoT dalam satu area, 5G memfasilitasi pengembangan smart grid, smart factory, dan sektor-sektor lainnya yang sangat bergantung pada konektivitas perangkat yang stabil dan efisien. Dengan demikian, 5G memberikan peningkatan efisiensi komunikasi yang besar berkat teknologi pemrosesan sinyal yang lebih canggih dan optimasi penggunaan spektrum frekuensi, yang memungkinkan pengiriman data lebih cepat dan lebih efisien dalam berbagai aplikasi berbasis IoT.

3.2. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan perangkat yang terhubung melalui internet yang memungkinkan pertukaran data dan interaksi manusia dengan mesin. Dengan berkembangnya teknologi, IoT semakin banyak digunakan di berbagai industri seperti transportasi, bisnis, layanan kesehatan, dan rumah tangga. Di masa depan, jumlah perangkat terhubung diperkirakan meningkat pesat, didukung oleh konektivitas 5G yang lebih cepat dan stabil. IoT akan memegang peranan penting dalam pengembangan perangkat medis real-time, kendaraan otonom, optimalisasi produksi industri [62], serta peningkatan keamanan siber. Meski menawarkan banyak manfaat, perkembangan IoT juga menuntut perhatian serius terhadap berbagai tantangan yang muncul.

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan perangkat yang saling terhubung dan dapat berbagi data secara otomatis. Dalam konteks jaringan 5G, IoT semakin diperkuat berkat kemampuan 5G dalam menyediakan kecepatan tinggi dan latensi rendah, yang sangat penting untuk aplikasi IoT yang membutuhkan pemrosesan data secara real-time. 5G memungkinkan penghubungan lebih banyak perangkat IoT dalam satu area tanpa menurunkan kualitas koneksi, yang sangat penting untuk pengembangan smart city, smart farming, dan berbagai aplikasi IoT lainnya. Di sektor energi, IoT digunakan dalam pengelolaan smart grid, memungkinkan pemantauan dan kontrol distribusi energi secara otomatis dan efisien. Dengan 5G, data penggunaan energi dapat dikumpulkan dan dianalisis secara real-time untuk pengelolaan energi yang lebih cerdas.

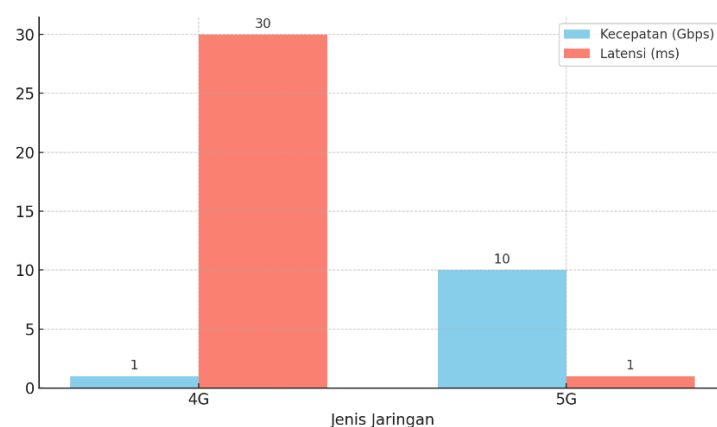
Di bidang kesehatan, perangkat medis berbasis IoT memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara langsung dan pengiriman data untuk analisis lebih lanjut, sementara 5G mendukung transmisi data dalam volume besar dan kecepatan tinggi. Alat medis, seperti sensor yang digunakan untuk mengukur tekanan darah, kadar oksigen dalam darah, dan pengukuran detak jantung, memberikan informasi yang presisi untuk mendukung keputusan medis yang lebih cepat dan akurat. Dalam pertanian pintar, sensor IoT [63] yang terhubung dengan 5G membantu memantau kondisi tanah, kelembapan, dan cuaca, memungkinkan petani membuat keputusan yang lebih tepat dalam pengelolaan lahan. Secara keseluruhan, IoT yang didukung oleh 5G meningkatkan produktivitas operasional, penyediaan informasi, serta

pengelolaan sumber daya yang lebih tepat dan terkini untuk mendukung keputusan yang lebih optimal.

3.3. Perbandingan 4G dan 5G

Perbandingan antara jaringan 4G dan 5G menunjukkan bahwa 5G menawarkan kecepatan yang jauh lebih cepat, mencapai 10 Gbps dibandingkan dengan 4G yang hanya 1 Gbps, serta latensi yang jauh lebih rendah, yakni sekitar 1 milidetik. Hal ini memungkinkan 5G mendukung aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kecepatan tinggi dan latensi rendah, seperti kendaraan otonom, pencitraan medis, dan cloud gaming. Selain itu, 5G juga mampu mengakomodasi lebih banyak perangkat IoT dalam satu area tanpa penurunan kualitas koneksi, yang sangat penting untuk penerapan smart city, smart farming, dan industri otomatisasi.

Meskipun 4G masih efektif untuk aplikasi IoT yang lebih sederhana seperti rumah pintar dan pemantauan lingkungan, 5G jelas unggul dalam mendukung aplikasi-aplikasi yang lebih kompleks yang membutuhkan pengolahan data dalam jumlah besar dan komunikasi real-time. Dengan kapasitas lebih besar untuk menghubungkan perangkat dan latensi rendah, 5G mendukung transformasi digital di berbagai sektor, dari kesehatan hingga industri 4.0, yang melibatkan jutaan perangkat yang terhubung secara bersamaan. Namun, meskipun 5G memiliki banyak keuntungan, 4G masih cukup relevan untuk kebutuhan aplikasi yang tidak memerlukan koneksi yang sangat cepat atau latensi rendah.



Gambar 1. Perbandingan Kecepatan dan Latensi 4G vs 5G

Gambar 1 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.

3.4. Kekurangan Jaringan 5G

Meskipun memiliki banyak keuntungan, penerapan 5G juga menghadirkan tantangan, terutama terkait dengan biaya tinggi pembangunan infrastruktur, yang diperkirakan dua kali lipat dibandingkan dengan 4G. Hal ini termasuk biaya pembangunan tower dan lisensi spektrum, serta kompatibilitas perangkat yang membutuhkan pengguna untuk mengganti perangkat lama dengan yang mendukung 5G. Selain itu, pembangunan infrastruktur 5G memerlukan waktu lebih lama, dan saat ini hanya tersedia di beberapa kota besar, membuat distribusinya belum merata. Frekuensi tinggi yang digunakan oleh 5G juga lebih rentan terhadap hambatan fisik seperti bangunan tinggi dan cuaca buruk, yang bisa mengurangi kualitas sinyal.

3.5. Kelebihan Jaringan 5G

Di sisi lain, 5G membawa sejumlah keunggulan signifikan, seperti kecepatan transfer data tinggi yang memungkinkan pengiriman data real-time untuk aplikasi-aplikasi IoT, terutama di sektor kesehatan dan transportasi. Latensi rendah memungkinkan pengambilan keputusan lebih cepat dalam aplikasi-aplikasi seperti automasi industri dan robotik jarak jauh, sementara kapasitas jaringan yang lebih besar memungkinkan 5G mengakomodasi jutaan

perangkat IoT tanpa penurunan performa. Ini mendukung implementasi smart city, smart grid, dan smart farming yang lebih efisien, serta berpotensi mempercepat transformasi digital di berbagai sektor dan meningkatkan efisiensi serta produktivitas dalam skala global.

4. Kesimpulan

Jaringan 5G memberikan kontribusi signifikan terhadap perkembangan Internet of Things (IoT) dengan menyediakan kecepatan tinggi dan latensi rendah yang dibutuhkan oleh berbagai aplikasi IoT. Keunggulan 5G dalam menghubungkan lebih banyak perangkat IoT tanpa menurunkan kualitas koneksi memungkinkan pengembangan smart city, smart farming, dan aplikasi lainnya yang membutuhkan pengolahan data secara real-time. Dalam sektor energi, 5G mendukung smart grid, memungkinkan distribusi energi yang lebih efisien dan otomatis. Di sektor kesehatan, perangkat medis yang terhubung melalui IoT dan 5G mempermudah pemantauan pasien secara langsung serta mempercepat proses pengambilan keputusan medis. Selain itu, di pertanian pintar, 5G mendukung pengelolaan lahan yang lebih efisien dengan meningkatkan kecepatan dan efisiensi komunikasi perangkat IoT. Secara keseluruhan, IoT berbasis 5G meningkatkan efisiensi operasional, mengelola sumber daya dengan lebih baik, dan memberikan data yang lebih akurat untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis real-time. Dengan demikian, 5G berpotensi mempercepat transformasi digital di berbagai sektor industri dan sosial.

Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] U. A. Nadhiroh and E. Suryani, "Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penggunaan dan Penerimaan Jaringan 5G: Aplikasi Model UTAUT," *Expert J. Manaj. Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 13, no. 1, p. 68, 2023, doi: 10.36448/expert.v13i1.3182.
- [4] R. D. WAHYUNINGRUM, M. B. GINTING, K. N'AMAH, and S. LARASATI, "Analisis Kinerja Jaringan 5G dengan Pengkodean QC-LDPC dan Polar," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 1, p. 190, 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i1.190.
- [5] 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.
- [6] 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/s11036-022-01937-3.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] F. P. E. 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.
- [10] 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.
- [11] E. Y. Gunawan, W. Cahyadi, A. C. Eska, D. W. H, and M. A. L, "Analisis Kualitas Jaringan 5g Pada Provider Xl Menggunakan Metode Drive Test," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 10, no. 1, p. 17, 2024, doi: 10.19184/jaei.v10i1.42499.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] S. Sugiyatno, P. Sidiq, and I. F. Edrisy, "Pengaruh Teknologi 5G pada Evolusi Komunikasi: Sebuah Kajian Terhadap Perkembangan dan Implikasinya di Bidang Sains," *Nuclens*, vol. 4, no. 2, pp. 115–120, 2024, doi: 10.37010/nuc.v4i2.1448.
- [17] M. Pons, E. Valenzuela, B. Rodríguez, J. A. Nolasco-Flores, and C. Del-Valle-Soto, "Utilization of 5G Technologies in IoT Applications: Current Limitations by Interference and Network Optimization Difficulties—A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 8, 2023, doi: 10.3390/s23083876.

- [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/TITS.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] A. Sigov, “Emerging Enabling Technologies for Industry 4.0 and Beyond,” *Inf. Syst. Front.*, vol. 26, no. 5, pp. 1585–1595, 2024, doi: 10.1007/s10796-021-10213-w.
- [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, Hadiwiayatno, and M. Taufik, “Analisis Kinerja Sistem Modulasi Downlink LTE dan 5G pada Kanal AWGN Berbasis MATLAB,” *Techne 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.*, vol. 35, no. 4, 2024, doi: 10.1002/ett.4329.

- [47] A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raezah, 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] X. Mu and M. F. Antwi-Afari, "The applications of Internet of Things (IoT) in industrial management: a science mapping review," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 62, no. 5, pp. 1928–1952, 2024, doi: 10.1080/00207543.2023.2290229.
- [49] Z. Wei *et al.*, "Integrated Sensing and Communication Signals Toward 5G-A and 6G: A Survey," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 13, pp. 11068–11092, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3235618.
- [50] S. M. Ali *et al.*, "Drivers for Internet of Things (IoT) adoption in supply chains: Implications for sustainability in the post-pandemic era," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 183, 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109515.
- [51] W. Xiang, K. Yu, F. Han, L. Fang, D. He, and Q. L. Han, "Advanced Manufacturing in Industry 5.0: A Survey of Key Enabling Technologies and Future Trends," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 20, no. 2, pp. 1055–1068, 2024, doi: 10.1109/TII.2023.3274224.
- [52] A. Wulandari, T. Supriyanto, A. Hasna, R. N. N., and A. Hikmaturokhman, "Performance Analysis of 4x4 MIMO and 8x8 MIMO Antena Implementation of Private 5G Networks in Industrial Area," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 555–565, 2024, doi: 10.31289/jite.v7i2.10440.
- [53] A. Kirang, A. Hikmaturokhman, and K. Ni'amah, "5G NR Network Planning Analysis using 700 Mhz and 2.3 Ghz Frequency in The Jababeka Industrial Area," *J. Informatics Telecommun. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 403–413, 2023, doi: 10.31289/jite.v6i2.8270.
- [54] H. Guo, Y. Wang, J. Liu, and C. Liu, "Multi-UAV Cooperative Task Offloading and Resource Allocation in 5G Advanced and Beyond," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 23, no. 1, pp. 347–359, 2024, doi: 10.1109/TWC.2023.3277801.
- [55] Y. Li, T. Yao, Y. Pan, and T. Mei, "Contextual Transformer Networks for Visual Recognition," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 45, no. 2, pp. 1489–1500, 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3164083.
- [56] B. Singh and C. Kaunert, "Integration of Cutting-Edge Technologies such as Internet of Things (IoT) and 5G in Health Monitoring Systems: A Comprehensive Legal Analysis and Futuristic Outcomes," *GLS Law J.*, vol. 6, no. 1, pp. 13–20, 2024, doi: 10.69974/gslawjournal.v6i1.123.
- [57] N. Mukati, N. Namdev, R. Dilip, N. Hemalatha, V. Dhiman, and B. Sahu, "Healthcare Assistance to COVID-19 Patient using Internet of Things (IoT) Enabled Technologies," *Mater. Today Proc.*, vol. 80, pp. 3777–3781, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2021.07.379.
- [58] S. Ding, A. Tukker, and H. Ward, "Opportunities and risks of internet of things (IoT) technologies for circular business models: A literature review," *J. Environ. Manage.*, vol. 336, 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117662.
- [59] D. ARYANTA and M. I. MAULANA, "Perencanaan Implementasi Low Band 700 Mhz Pasca ASO untuk Seluler 5G di Indonesia," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 11, no. 3, p. 716, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i3.716.
- [60] Z. Bi, Y. Jin, P. Maropoulos, W. J. Zhang, and L. Wang, "Internet of things (IoT) and big data analytics (BDA) for digital manufacturing (DM)," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 61, no. 12, pp. 4004–4021, 2023, doi: 10.1080/00207543.2021.1953181.
- [61] A. Rejeb *et al.*, "The Internet of Things (IoT) in healthcare: Taking stock and moving forward," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 22, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100721.
- [62] D. Ivanov, "The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 61, no. 5, pp. 1683–1695, 2023, doi: 10.1080/00207543.2022.2118892.
- [63] A. N. Upadhyaya, A. Saqib, J. V. Devi, S. Rallapalli, S. Sudha, and S. Boopathi, "Implementation of the internet of things (IoT) in remote healthcare," *Anal. Curr. Digit. Healthc. Trends Using Soc. Networks*, pp. 104–124, 2024, doi: 10.4018/979-8-3693-1934-5.ch006.