



Perbandingan Letensi antara Jaringan Berbasis Fiber Optik dan Wireless pada Lingkungan Perkotaan

Fauzan Prasetyo Eka Putra¹, Pawitra Ramadhani^{2*}, Waliyurrohman³, Fahmi Abdillah⁴

¹ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; prasetyo@unira.ac.id

² Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; mahfudrama2004@email.com

³ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; waliyurroman08@email.com

⁴ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; fahmi2005@email.com

* Corresponding Author : Pawitra Ramadhani

Abstract: This research aims to analyze and compare the liveness between fiber optic and wireless based networks in an urban environment. Letency or data transmission delay time is an important indicator in assessing network performance, especially in applications that require high speed and stability such as video conferencing, streaming, and other real-time services. With a qualitative descriptive approach and a little experimentation, measurements were made using ping and traceroute methods in three different types of locations, namely dense residential areas, offices, and public spaces. Results show that fiber optic networks consistently have lower average latency, stability, and minimal fluctuation compared to wireless networks such as Wi-Fi, 4G, and 5G. Wireless shows advantages in flexibility but disadvantages in terms of signal stability, which is strongly influenced by user density and environmental conditions. User perception supports this data, with the majority of fiber network users satisfied with the speed and stability of the connection. In conclusion, optical fiber is technically superior, but synergy with wireless technology is needed to support mobility and broad access. Future research is recommended to involve more network parameters and analyze hybrid network scenarios..

Keywords: lethality, fiber optic, wireless, urban, comparison

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan letensi antara jaringan berbasis fiber optik dan wireless dalam lingkungan perkotaan. Letensi atau waktu tunda transmisi data merupakan indikator penting dalam menilai performa jaringan, khususnya pada aplikasi yang membutuhkan kecepatan dan kestabilan tinggi seperti video konferensi, streaming, dan layanan real-time lainnya. Dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan sedikit eksperimen, pengukuran dilakukan menggunakan metode *ping* dan *traceroute* pada tiga tipe lokasi berbeda, yaitu kawasan perumahan padat, perkantoran, dan ruang publik. Hasil menunjukkan bahwa jaringan fiber optik secara konsisten memiliki letensi rata-rata yang lebih rendah, stabil, dan minim fluktuasi dibandingkan jaringan wireless seperti Wi-Fi, 4G, dan 5G. Wireless menunjukkan kelebihan dalam fleksibilitas namun memiliki kekurangan dari segi kestabilan sinyal, yang sangat dipengaruhi oleh kepadatan pengguna dan kondisi lingkungan. Persepsi pengguna mendukung data ini, dengan mayoritas pengguna jaringan fiber merasa puas terhadap kecepatan dan kestabilan koneksi. Kesimpulannya, fiber optik lebih unggul dalam aspek teknis, namun sinergi dengan teknologi wireless diperlukan untuk menunjang mobilitas dan akses luas. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan lebih banyak parameter jaringan dan analisis skenario hybrid network.

Kata kunci: letensi, fiber optik, wireless, perkotaan, perbandingan

Received: Maret 9, 2025

Revised: Maret 19, 2025

Accepted: Maret 26, 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

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah mendorong kebutuhan akan konektivitas jaringan yang cepat, stabil dan andal khususnya di wilayah perkotaan. Infrastruktur jaringan yang digunakan sangat memengaruhi kualitas layanan terutama dalam hal letensi, yaitu jeda waktu yang dibutuhkan data untuk berpindah dari sumber ke tujuan[1], [2], [3], [4], [5]. Letensi menjadi faktor krusial dalam berbagai aplikasi real-time seperti video conference[6], [7], [8], layanan streaming, dan sistem keamanan berbasis internet. Dua teknologi utama yang banyak digunakan dalam penyediaan jaringan di lingkungan perkotaan adalah fiber optik dan wireless. Jaringan berbasis fiber optik dikenal memiliki keunggulan dalam hal kecepatan dan stabilitas transmisi data karena menggunakan media penghantar cahaya yang minim interferensi. Di sisi lain jaringan wireless menawarkan fleksibilitas dan kemudahan instalasi, namun sering kali mengalami fluktuasi kinerja akibat faktor lingkungan dan kepadatan trafik.

Melalui penelitian ini, dilakukan perbandingan letensi antara jaringan berbasis fiber optik dan jaringan wireless di lingkungan perkotaan [9], [10], [11]. Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai performa masing-masing teknologi dalam konteks urban sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pengembangan infrastruktur jaringan yang optimal [12], [13], [14], [15]. Dengan memahami kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis jaringan diharapkan dapat diambil keputusan yang tepat dalam pemilihan teknologi jaringan untuk mendukung aktivitas digital masyarakat kota yang semakin kompleks dan dinamis. Salah satu parameter utama dalam menilai performa jaringan adalah letensi (latency), yaitu waktu tunda dalam proses transmisi data dari pengirim ke penerima. Letensi rendah sangat penting untuk aplikasi yang sensitif terhadap waktu, seperti video conference, VoIP, game online, layanan streaming, serta sistem kendali otomatis. Sebaliknya, letensi yang tinggi dapat menyebabkan gangguan serius berupa keterlambatan komunikasi, buffering, hingga penurunan efisiensi sistem.

Dalam penyediaan infrastruktur jaringan di lingkungan urban, terdapat dua teknologi utama yang banyak digunakan, yaitu jaringan fiber optik dan jaringan wireless [16], [17], [18], [19]. Fiber optik menggunakan kabel serat kaca untuk mentransmisikan data melalui gelombang cahaya [20], [21], menawarkan bandwidth besar, stabilitas tinggi, dan letensi rendah. Namun, tantangan muncul dari segi biaya pembangunan dan instalasi yang tidak murah serta cukup kompleks, terutama di daerah dengan kepadatan tinggi. Di sisi lain, jaringan wireless seperti Wi-Fi, LTE, dan 5G menawarkan fleksibilitas dan kemudahan instalasi [22], [23], [24], [25], [26], sangat cocok untuk lingkungan yang berubah cepat dan pengguna mobile. Sayangnya, jaringan wireless rentan terhadap interferensi[27], [28], [29], [30], cuaca, dan padatnya lalu lintas data, yang seringkali memengaruhi kestabilan dan meningkatkan letensi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penting untuk dilakukan kajian komparatif secara langsung terhadap performa letensi dari kedua jenis jaringan tersebut dalam konteks wilayah perkotaan. Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas keunggulan masing-masing teknologi, studi empiris di lingkungan urban dengan segala kompleksitasnya masih tergolong terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis perbedaan letensi antara jaringan berbasis fiber optik dan wireless pada beberapa titik strategis di kawasan perkotaan. Dengan pendekatan deskriptif kualitatif yang dipadukan dengan eksperimen lapangan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran faktual mengenai performa masing-masing jaringan dalam konteks nyata [31], [32].

Lebih jauh, hasil dari studi ini dapat menjadi referensi penting bagi penyedia layanan internet, pemerintah daerah, dan pemangku kebijakan dalam mengambil keputusan strategis terkait pengembangan infrastruktur digital. Selain itu, temuan ini juga bermanfaat bagi masyarakat umum dalam memilih jenis layanan internet yang sesuai dengan kebutuhan aktivitas dan kondisi geografis tempat tinggal mereka. Dengan mengkaji secara menyeluruh kelebihan dan kekurangan masing-masing teknologi jaringan, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi konkret bagi peningkatan kualitas konektivitas digital yang inklusif, efisien, dan adaptif terhadap dinamika kota modern.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan dukungan data kuantitatif melalui eksperimen terbatas. Pendekatan deskriptif kualitatif digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis fenomena letensi jaringan secara mendalam berdasarkan

kondisi nyata di lingkungan perkotaan. Sedangkan metode eksperimen digunakan untuk memperoleh data teknis letensi secara langsung dari jaringan fiber optik dan wireless melalui pengukuran terkontrol di beberapa lokasi yang telah ditentukan.

2.1. Lokasi dan Objek Penelitian[33], [34], [35].

Penelitian dilakukan di beberapa titik lokasi di wilayah perkotaan yang memiliki ketersediaan jaringan fiber optik dan jaringan wireless[36], [37]. Lokasi dipilih berdasarkan kriteria kepadatan aktivitas pengguna internet, keberagaman topologi bangunan, serta keberadaan layanan dari penyedia internet yang menggunakan kedua jenis jaringan. Titik-titik pengujian mencakup area perumahan padat, area perkantoran, serta ruang publik seperti taman kota dan pusat perbelanjaan[38], [39], [40], [41], [42].

Objek penelitian terdiri dari dua jenis infrastruktur jaringan:

1. Jaringan berbasis fiber optik, yang menggunakan kabel serat optik dari penyedia layanan internet langsung ke rumah/kantor pengguna [38], [39].
2. Jaringan wireless, yang meliputi koneksi nirkabel berbasis Wi-Fi dan jaringan seluler (LTE/5G) yang umum digunakan di perangkat pengguna [40], [41], [42], [43], [44].

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan menggunakan beberapa teknik sebagai berikut:

1. Observasi langsung, dilakukan di lokasi penelitian untuk mengidentifikasi kondisi jaringan, lingkungan fisik, dan kepadatan pengguna.
2. Wawancara singkat dengan pengguna jaringan di lokasi untuk memperoleh informasi subjektif mengenai pengalaman mereka terhadap keterlambatan atau ketidakstabilan koneksi internet [46], [47], [48].
3. Pengukuran teknis letensi, dilakukan menggunakan perangkat lunak *ping* dan *traceroute* pada laptop dan smartphone. Pengukuran dilakukan terhadap server tujuan yang sama (misalnya: Google DNS - 8.8.8.8), dalam waktu dan kondisi yang relatif seragam. Setiap lokasi dilakukan pengukuran selama beberapa kali dalam rentang waktu berbeda (pagi, siang, malam) untuk menangkap variasi performa jaringan.
4. Dokumentasi dan pencatatan data, dilakukan secara sistematis terhadap hasil pengukuran dan kondisi sekitar lokasi pengambilan data.

2.3. Teknik Analisis Data

Data hasil pengukuran letensi dianalisis secara deskriptif kualitatif, dengan membandingkan nilai rata-rata dan fluktuasi letensi antara jaringan fiber optik dan jaringan wireless [49], [50]. Selain itu, hasil pengamatan dan wawancara dikaji untuk memahami faktor-faktor yang memengaruhi performa jaringan di masing-masing lokasi, seperti kepadatan bangunan, jumlah pengguna aktif, dan kondisi cuaca saat pengujian.

Perbandingan dilakukan berdasarkan:

1. Nilai rata-rata letensi pada masing-masing jaringan.
2. Stabilitas koneksi, diukur dari konsistensi waktu tunda selama pengujian berlangsung.
3. Respons pengguna, sebagai data pendukung terhadap persepsi kenyamanan dan keandalan koneksi.

2.4. Validitas Data

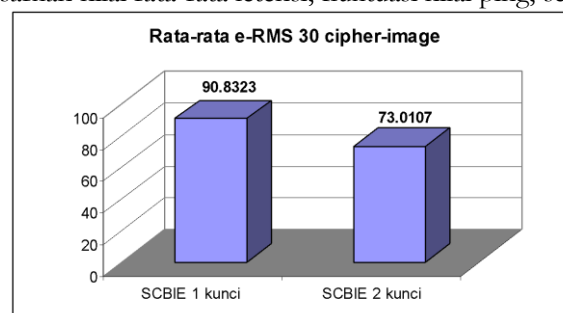
Untuk meningkatkan keandalan data, dilakukan triangulasi data, yaitu dengan membandingkan hasil dari pengukuran teknis, observasi langsung, dan wawancara. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa temuan penelitian tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga relevan dengan pengalaman nyata pengguna di lapangan [51], [52], [53], [54].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran di berbagai titik di kawasan perkotaan menunjukkan bahwa jaringan fiber optik memiliki performa letensi yang lebih baik dibandingkan jaringan wireless. Letensi pada koneksi fiber rata-rata berada pada kisaran 2–5 milidetik dengan fluktuasi yang minim, sedangkan pada wireless berkisar antara 20–80 milidetik dan lebih tidak stabil, terutama pada area padat pengguna dan kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Keunggulan fiber optik berasal dari media transmisinya yang tahan gangguan dan mendukung bandwidth besar,

menjadikannya cocok untuk aplikasi real-time seperti video conference dan layanan streaming. Sebaliknya, jaringan wireless unggul dalam fleksibilitas pemasangan dan mobilitas, namun sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti interferensi dan jumlah perangkat terhubung. Persepsi pengguna mendukung temuan teknis ini: pengguna fiber merasakan koneksi lebih stabil, sedangkan pengguna wireless sering menghadapi delay. Oleh karena itu, meskipun wireless bermanfaat untuk mobilitas, performanya belum dapat menandingi fiber dalam aspek kestabilan dan kecepatan. Gabungan kedua teknologi dalam bentuk jaringan hybrid dinilai ideal—fiber sebagai tulang punggung utama, dan wireless sebagai solusi akses terakhir (last-mile). Pendekatan ini relevan dalam mendukung kebutuhan konektivitas kota modern yang semakin kompleks dan dinamis.

Penelitian ini dilakukan di tiga lokasi utama dalam wilayah perkotaan, yaitu: kawasan perumahan padat, area perkantoran, dan ruang publik (taman kota). Pengukuran letensi dilakukan terhadap server tujuan yang sama (Google DNS 8.8.8.8) dengan menggunakan metode *ping* dan *traceroute*. Hasil yang diperoleh dari setiap jenis jaringan dianalisis dan dibandingkan berdasarkan nilai rata-rata letensi, fluktuasi nilai ping, serta persepsi pengguna.



Gambar 1. Grafik Perbandingan

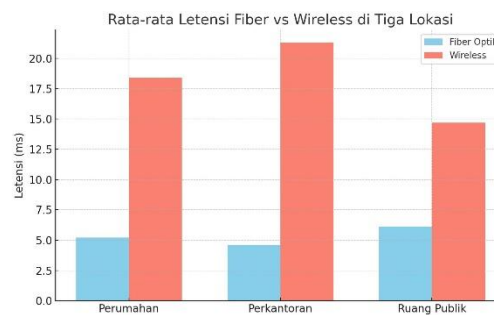
Tabel 1. Diagram Lingkaran Persepsi Pengguna Jaringan Fiber vs Wireless

Tabel 1: Diagram Alirannya Persepsi Pengguna Jaringan Fiber vs Wireless				
Algori		Rata-rata	Letensi	Letensi
Lokasi	Jaringan	Letensi (ms)	Minimum	Maksimum
tma			(ms)	(ms)
Perumahan Padat	Fiber Optik	5.2	4.8	6.0
	Wireless (Wi-Fi)	18.4	14.2	27.1
Perkantoran	Fiber Optik	4.6	4.2	5.5
	Wireless (4G)	21.3	17.6	30.2
Ruang Publik	Fiber Optik	6.1	5.8	7.0
	Wireless (5G)	14.7	11.3	19.8

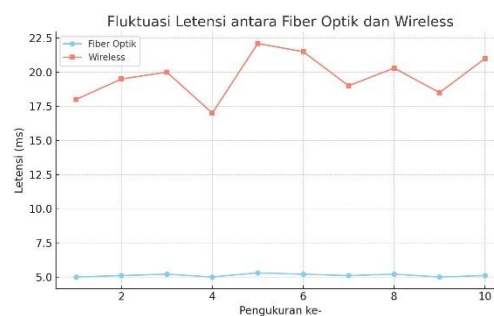
Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaringan fiber optik memiliki performa yang lebih baik dalam hal letensi dan kestabilan dibandingkan dengan jaringan wireless di lingkungan perkotaan. Meskipun jaringan wireless seperti 5G sudah menawarkan kecepatan yang tinggi, namun dari sisi latensi, masih terdapat fluktuasi yang dapat mengganggu pengalaman pengguna, terutama dalam aktivitas yang membutuhkan transmisi data real-time.

Selain itu, faktor eksternal seperti jumlah pengguna, interferensi sinyal, serta rintangan fisik (tembok bangunan, kendaraan, dll.) sangat memengaruhi kinerja jaringan wireless. Di sisi lain, jaringan fiber cenderung lebih konsisten karena bersifat dedicated dan kurang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar.

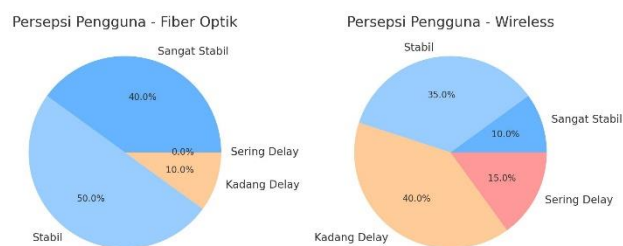
Namun demikian, teknologi wireless tetap dibutuhkan karena fleksibilitas dan kemudahannya dalam distribusi konektivitas terutama di ruang publik. Oleh karena itu, strategi ideal dalam pengembangan infrastruktur jaringan perkotaan adalah mengombinasikan kedua teknologi ini, dengan menjadikan fiber optik sebagai backbone dan wireless sebagai solusi akses mobile.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Rata-rata Letensi Fiber vs Wireless di Tiga Lokasi



Gambar 3. Grafik Perbandingan Fluktuasi Letensi antara Fiber Optik dan Wireless



Gambar 4. Grafik Perbandingan Persepsi Pengguna Fiber Optik dan Wireless

Hasil pengukuran di berbagai titik di kawasan perkotaan menunjukkan bahwa jaringan fiber optik memiliki performa letensi yang lebih baik dibandingkan jaringan wireless. Letensi pada koneksi fiber rata-rata berada pada kisaran 2–5 milidetik dengan fluktuasi yang minim, sedangkan pada wireless berkisar antara 20–80 milidetik dan lebih tidak stabil, terutama pada area padat pengguna dan kondisi lingkungan yang tidak mendukung. Keunggulan fiber optik berasal dari media transmisinya yang tahan gangguan dan mendukung bandwidth besar, menjadikannya cocok untuk aplikasi real-time seperti video conference dan layanan streaming. Sebaliknya, jaringan wireless unggul dalam fleksibilitas pemasangan dan mobilitas, namun sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti interferensi dan jumlah perangkat terhubung. Persepsi pengguna mendukung temuan teknis ini: pengguna fiber merasakan koneksi lebih stabil, sedangkan pengguna wireless sering menghadapi delay. Oleh karena itu, meskipun wireless bermanfaat untuk mobilitas, performanya belum dapat menandingi fiber dalam aspek kestabilan dan kecepatan. Gabungan kedua teknologi dalam bentuk jaringan hybrid dinilai ideal—fiber sebagai tulang punggung utama, dan wireless sebagai solusi akses terakhir (last-mile). Pendekatan ini relevan dalam mendukung kebutuhan konektivitas kota modern yang semakin kompleks dan dinamis.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan pendekatan deskriptif kualitatif dan eksperimen terbatas mengenai perbandingan letensi antara jaringan berbasis fiber optik dan wireless di lingkungan perkotaan, dapat disimpulkan bahwa jaringan fiber optik secara konsisten menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal letensi dibandingkan dengan

jaringan wireless. Pengukuran yang dilakukan di berbagai titik lokasi—yaitu kawasan perumahan padat, area perkantoran, dan ruang publik—menunjukkan bahwa fiber optik memiliki rata-rata letensi yang rendah dan stabil, dengan fluktuasi waktu tunda yang sangat minim. Sebaliknya, jaringan wireless, baik yang berbasis Wi-Fi, 4G maupun 5G, menunjukkan nilai letensi yang cenderung lebih tinggi dan tidak stabil, terutama pada jam sibuk atau di lokasi dengan kepadatan pengguna yang tinggi. Hasil ini diperkuat oleh persepsi pengguna di lapangan yang merasakan kenyamanan dan kecepatan akses yang lebih baik saat menggunakan koneksi fiber optik.

Kelebihan utama dari jaringan fiber terletak pada kestabilan dan minimnya interferensi, karena menggunakan media transmisi fisik yang tahan terhadap gangguan lingkungan. Sementara itu, jaringan wireless, meskipun unggul dalam fleksibilitas dan kemudahan akses terutama di ruang publik, memiliki kelemahan dalam hal keandalan dan kestabilan sinyal, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi sekitar seperti penghalang fisik, jarak dari pemancar, serta kepadatan lalu lintas data. Namun demikian, wireless tetap menjadi solusi penting untuk akses mobilitas dan daerah yang sulit dijangkau oleh kabel fiber. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, antara lain jumlah titik lokasi yang terbatas dan alat ukur yang digunakan bersifat standar (ping dan traceroute) tanpa menggunakan sistem monitoring jaringan lanjutan. Selain itu, variasi penyedia layanan dan konfigurasi jaringan lokal tidak dianalisis secara mendalam, padahal faktor tersebut juga berpengaruh terhadap performa koneksi.

Daftar Pustaka

- [1] S. Khan *et al.*, “A Survey on X.509 Public-Key Infrastructure, Certificate Revocation, and Their Modern Implementation on Blockchain and Ledger Technologies,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 25, no. 4, pp. 2529–2568, 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3323640.
- [2] M. Van Den Ende, I. Lior, J. P. Ampuero, A. Sladen, A. Ferrari, and C. Richard, “A Self-Supervised Deep Learning Approach for Blind Denoising and Waveform Coherence Enhancement in Distributed Acoustic Sensing Data,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 34, no. 7, pp. 3371–3384, 2023, doi: 10.1109/TNNLS.2021.3132832.
- [3] V. K. Papanikolaou *et al.*, “Simultaneous Lightwave Information and Power Transfer in 6G Networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 62, no. 3, pp. 16–22, 2024, doi: 10.1109/MCOM.002.2300290.
- [4] S. J. Ben Yoo *et al.*, “Quantum Wrapper Networking,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 62, no. 3, pp. 76–81, 2024, doi: 10.1109/MCOM.001.2300067.
- [5] C. D. Wang *et al.*, “Cross-Subject Tinnitus Diagnosis Based on Multi-Band EEG Contrastive Representation Learning,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 27, no. 7, pp. 3187–3197, 2023, doi: 10.1109/JBHI.2023.3264521.
- [6] H. Jiang, S. Shi, S. Zhang, J. Zheng, and Q. Li, “SLInterpreter: An Exploratory and Iterative Human-AI Collaborative System for GNN-based Synthetic Lethal Prediction,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 31, no. 1, pp. 919–929, 2024, doi: 10.1109/TVCG.2024.3456325.
- [7] Y. Wang, C. Wang, B. Zhu, G. Liu, E. Wang, and L. Guo, “Secure Three-Dimensional Guidance for Target Strikes Under Unknown Direction Attacks and Multiple Constraints,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 2025, doi: 10.1109/TAES.2025.3532252.
- [8] X. Hu *et al.*, “Multiple Heterogeneous Networks Representation with Latent Space for Synthetic Lethality Prediction,” *IEEE Trans. Nanobioscience*, vol. 23, no. 4, pp. 564–571, 2024, doi: 10.1109/TNB.2024.3444922.
- [9] P. Borylo *et al.*, “Neural Networks in Selected Aspects of Communications and Networking,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 132856–132890, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3404866.
- [10] M. Hashemi *et al.*, “Principles and Operation of Virtual Brain Twins,” *IEEE Rev. Biomed. Eng.*, 2025, doi: 10.1109/RBME.2025.3562951.
- [11] X. H. Zhou *et al.*, “Learning Skill Characteristics From Manipulations,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 34, no. 12, pp. 9727–9741, 2023, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3160159.
- [12] S. Ruan *et al.*, “Filling Delivery Time Automatically Based on Couriers’ Trajectories,” *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 35, no. 2,

- pp. 1528–1540, 2023, doi: 10.1109/TKDE.2021.3100116.
- [13] W. Li, B. Wang, Z. H. Khattak, and X. Deng, “Network-Level Traffic Signal Cooperation: A Higher-Order Conflict Graph Approach,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 24, no. 1, pp. 990–999, 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3191290.
- [14] D. Townend, R. Husbands, S. D. Walker, and A. Sutton, “Challenges and Opportunities in Wireless Fronthaul,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 106607–106619, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3319073.
- [15] Y. Liu *et al.*, “Rapid Edge-computing for Intelligent Fiber-Optic DAS,” *IEEE Sens. J.*, 2025, doi: 10.1109/JSEN.2025.3554221.
- [16] J. Zhou *et al.*, “A programmable high-precision real-time optical beamforming network based on Galois Field,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 37, no. 9, pp. 520–523, 2025, doi: 10.1109/LPT.2025.3554773.
- [17] B. L. Pugliese *et al.*, “Development of a Wearable Sleeve-Based System Combining Polymer Optical Fiber Sensors and an LSTM Network for Estimating Knee Kinematics,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 33, pp. 728–738, 2025, doi: 10.1109/TNSRE.2025.3540708.
- [18] Q. Li, H. Wen, J. Yang, Q. Xu, X. Yang, and Y. Li, “All-Optical Regeneration and Format Conversion for 4APSK Signals Based on Nonlinear Effects in HNLF,” *IEEE Photonics J.*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.1109/JPHOT.2023.3235905.
- [19] A. C. Marceddu *et al.*, “Air-To-Ground Transmission and Near Real-Time Visualization of FBG Sensor Data via Cloud Database,” *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 2, pp. 1613–1622, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2022.3227463.
- [20] T. Zeng, Q. Li, H. Li, D. Zhang, and M. Jiang, “China Telecom’s Research and Applications of Business-Enterprise Full-Optical Networking,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 55824–55833, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3239882.
- [21] J. Li *et al.*, “Plastic-Optical-Fiber-Enabled Smart Glove for Machine-Learning-Based Gesture Recognition,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 71, no. 4, pp. 4252–4261, 2024, doi: 10.1109/TIE.2023.3277119.
- [22] J. Gomez, C. J. Hellin, A. Valledor, M. Barranquero, J. J. Cuadrado-Gallego, and A. Tayebi, “Design and Implementation of an Innovative High-Performance Radio Propagation Simulation Tool,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 94069–94080, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3310825.
- [23] F. Rawshan, M. Hossen, and M. R. Islam, “Multi-OLT Multi-Lane PON for 5G Fronthaul and Differential Services Through Access Class Priority-Based 2D Scheduling,” *IEEE Open J. Commun. Soc.*, vol. 5, pp. 6593–6610, 2024, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3479241.
- [24] P. Capitao, P. Pinho, and N. B. Carvalho, “Reconfigurable IoT Solution for Train Integrity and Monitoring,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 12, pp. 22257–22268, 2024, doi: 10.1109/JIOT.2024.3379863.
- [25] A. V. Savkin, C. Huang, and W. Ni, “Joint Multi-UAV Path Planning and LoS Communication for Mobile-Edge Computing in IoT Networks With RISs,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 3, pp. 2720–2727, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2022.3215255.
- [26] M. Al-Quraan *et al.*, “Edge-Native Intelligence for 6G Communications Driven by Federated Learning: A Survey of Trends and Challenges,” *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.*, vol. 7, no. 3, pp. 957–979, 2023, doi: 10.1109/TETCI.2023.3251404.
- [27] W. Wu, X. Wang, A. Hawbani, P. Liu, L. Zhao, and A. Al-Dubai, “FLORA: Fuzzy Based Load-Balanced Opportunistic Routing for Asynchronous Duty-Cycled WSNs,” *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 22, no. 1, pp. 253–268, 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3074739.
- [28] K. L. Bober, A. Ebmeier, F. Dressler, R. Freund, and V. Jungnickel, “LiFi for Industry 4.0: Main Features, Implementation and Initial Testing of IEEE Std 802.15.13,” *IEEE Open J. Veh. Technol.*, vol. 5, pp. 1625–1636, 2024, doi: 10.1109/OJVT.2024.3481884.
- [29] D. Mishra *et al.*, “Quantum-Safe Secure and Authorized Communication Protocol for Internet of Drones,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 12, pp. 16499–16507, 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3292169.
- [30] S. Ozer, H. E. Ilhan, M. A. Ozkanoglu, and H. A. Cirpan, “Offloading Deep Learning Powered Vision Tasks from UAV to 5G Edge Server with Denoising,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 6, pp. 8035–8048, 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3243529.
- [31] M. Nance-Hall, Z. Liu, V. Sekar, and R. Durairajan, “Analyzing the Benefits of Optical Topology Programming for Mitigating Link-Flood DDoS Attacks,” *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 22, no. 1, pp. 146–163, 2024, doi:

- 10.1109/TDSC.2024.3391188.
- [32] X. Liu, Y. Deng, and T. Mahmoodi, "Wireless Distributed Learning: A New Hybrid Split and Federated Learning Approach," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 22, no. 4, pp. 2650–2665, 2023, doi: 10.1109/TWC.2022.3213411.
- [33] D. Shehada, A. Turkey, W. Khan, B. Khan, and A. Hussain, "A Lightweight Facial Emotion Recognition System Using Partial Transfer Learning for Visually Impaired People," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 36961–36969, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3264268.
- [34] L. Zhu, M. M. Karim, K. Sharif, C. Xu, and F. Li, "Traffic Flow Optimization for UAVs in Multi-Layer Information-Centric Software-Defined FANET," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 72, no. 2, pp. 2453–2467, 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3213040.
- [35] G. Thakur, S. Prajapat, P. Kumar, A. K. Das, and S. Shetty, "An Efficient Lightweight Provably Secure Authentication Protocol for Patient Monitoring Using Wireless Medical Sensor Networks," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 114662–114679, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3325130.
- [36] X. Liang *et al.*, "Advancing Human-Computer Interaction: Smartphone-Integrated POF Speckle Sensor for Gesture and Identity Recognition," *IEEE Sens. J.*, vol. 24, no. 19, pp. 30028–30037, 2024, doi: 10.1109/JSEN.2024.3437763.
- [37] S. Nanataki, O. Koyama, K. Narumiya, K. Ikeda, and M. Yamada, "Expansion of Measurement Range of Low-Cost Ethernet-Based Temperature Sensing System Using Long-Period Fiber Grating," *IEEE Sensors Lett.*, vol. 8, no. 1, 2024, doi: 10.1109/LENS.2023.3344105.
- [38] S. Arifin, N. P. Dewi, U., M. N. Arifin, and F. P. E. Putra, "Aplikasi Pengolahan Data Mahasiswa Kkn Pada Universitas Madura," *Insa. Comtech Inf. Sci. Comput. Technol. J.*, vol. 8, no. 2, p. 24, 2023, doi: 10.53712/jic.v8i2.2085.
- [39] F. Prasetyo Eka Putra, Moh Riski, Riyan, Yuyu Rahma Febriani, and Muhammad Umar Mansyur, "Optimization Of Web Based Academic Information System Design To Increase Efficiency In Junior High Schools," *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 150–158, 2024, doi: 10.60083/jidt.v6i2.545.
- [40] F. P. E. Putra, F. Fauzan, S. Syirofi, M. Mursidi, D. Wahid, and A. Nuraini, "Sistem Pengendali Lingkungan Pertanian Dengan Wireless Sensor Network Untuk Mengoptimalkan Budidaya Hidroponik," 2024. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3461.
- [41] F. Prasetyo Eka Putra, S. Mellyana Dewi, and A. Hamzah, "Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi <https://jsisfotek.org/index.php> Privasi dan Keamanan Penerapan IoT Dalam Kehidupan Sehari-Hari : Tantangan dan Implikasi," *J. Sistim Inf. Dan ...*, vol. 5, no. 2, pp. 26–32, 2023, [Online]. Available: <https://jsisfotek.org/index.php>
- [42] 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.
- [43] S. Wang *et al.*, "Machine-Learning-Based Human Motion Recognition via Wearable Plastic-Fiber Sensing System," *IEEE Internet Things J.*, vol. 10, no. 20, pp. 17893–17904, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3277829.
- [44] C. Guerra-Yanez *et al.*, "The Throughput Bottleneck of Quantum-secure Communication Links: Analysis and Mitigation," *IEEE Trans. Commun.*, 2024, doi: 10.1109/TCOMM.2024.3394746.
- [45] K. Mizutani *et al.*, "Dynamic Full-Duplex Cellular System for Wide Area IoT Network Backbone," *IEEE Open J. Veh. Technol.*, vol. 5, pp. 1215–1229, 2024, doi: 10.1109/OJVT.2024.3450279.
- [46] E. Shi *et al.*, "RIS-Aided Cell-Free Massive MIMO Systems for 6G: Fundamentals, System Design, and Applications," *Proc. IEEE*, vol. 112, no. 4, pp. 331–364, 2024, doi: 10.1109/JPROC.2024.3404491.
- [47] X. Li *et al.*, "Physical-Layer Authentication for Ambient Backscatter-Aided NOMA Symbiotic Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 4, pp. 2288–2303, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2023.3245659.
- [48] K. Zhu, Z. Wang, Q. L. Han, and G. Wei, "Distributed Set-Membership Fusion Filtering for Nonlinear 2-D Systems Over Sensor Networks: An Encoding-Decoding Scheme," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 53, no. 1, pp. 416–427, 2023, doi: 10.1109/TCYB.2021.3110587.
- [49] A. Kaushik *et al.*, "Integrated Sensing and Communications for IoT: Synergies with Key 6G Technology Enablers," *IEEE Internet*

- Things Mag.*, vol. 7, no. 5, pp. 136–143, 2024, doi: 10.1109/IOTM.001.2400052.
- [50] X. Wang and Y. Song, “Edge-Assisted IoMT-Based Smart-Home Monitoring System for the Elderly With Chronic Diseases,” *IEEE Sensors Lett.*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.1109/ISENS.2023.3240670.
- [51] F. Prasetyo, E. Putra, M. Riski, M. S. Yahya, and M. H. Ramadhan, “Mengenal Teknologi Jaringan Nirkabel Terbaru Teknologi 5G,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 167–174, 2023, [Online]. Available: <https://jsisfotek.org/index.php>
- [52] N. Haidar Hari, F. P. Eka Putra, U. Hasanah, S. R. Sutarsih, and Riyan, “Transformasi Jaringan Telekomunikasi dengan Teknologi 5G: Tantangan, Potensi, dan Implikasi,” *J. Inf. dan Teknol.*, pp. 146–150, 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i2.357.
- [53] F. P. Eka Putra, F. Muslim, N. Hasanah, Holipah, R. Paradina, and R. Alim, “Analisis Komparasi Protokol Websocket dan MQTT Dalam Proses Push Notification,” *J. Sistim Inf. dan Teknol.*, pp. 63–72, 2024, doi: 10.60083/jsisfotek.v5i4.325.
- [54] A. Zulfikri, F. P. E. Putra, M. A. Huda, H. Hasbullah, M. Mahendra, and M. Surur, “Analisis Keamanan Jaringan Dari Serangan Malware Menggunakan Filtering Firewall Dengan Port Blocking,” 2023. doi: 10.47709/digitech.v3i2.3379.