

Studi Komparatif Performa Jaringan Berbasis Teknologi Li-Fi dan Wi-Fi dalam Skenario Trafik Tinggi

Hanna Willa Dhany¹; Fahmi Izhari^{2*}

¹Sistem Komputer, Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

²Teknologi Informasi, UIN Syekh Ali Hasan Ahmad Addary Padangsidempuan
fahmi_izhari@uinsyahada.ac.id²

Abstrak

Peningkatan jumlah perangkat terhubung dan intensitas trafik data pada jaringan nirkabel menimbulkan tantangan signifikan terhadap performa jaringan, khususnya pada teknologi Wi-Fi yang menggunakan mekanisme akses kanal berbasis *contention*. Pada kondisi trafik tinggi, mekanisme *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)* menyebabkan peningkatan *collision*, retransmisi paket, dan waktu *backoff*, yang berdampak pada penurunan efisiensi jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif performa jaringan Wi-Fi dan Li-Fi pada berbagai tingkat trafik, dengan fokus pada fenomena degradasi kinerja dan stabilitas sistem. Metode yang digunakan adalah simulasi berbasis *Network Simulator 3 (NS-3)* dengan tiga skenario trafik, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Wi-Fi dimodelkan menggunakan standar IEEE 802.11 dengan mekanisme CSMA/CA, sedangkan Li-Fi direpresentasikan sebagai kanal komunikasi *point-to-point* berkecepatan tinggi. Evaluasi performa dilakukan menggunakan parameter *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Wi-Fi mengalami degradasi performa yang signifikan pada kondisi trafik tinggi, yang ditandai dengan stagnasi *throughput* sekitar 50 Mbps, peningkatan *delay* hingga lebih dari 700 ms, serta *packet loss* mencapai sekitar 46%. Sebaliknya, Li-Fi menunjukkan performa yang stabil dengan *throughput* tinggi mendekati kapasitas maksimum (~95 Mbps), *delay* rendah (~1 ms), dan *packet loss* minimal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa mekanisme akses kanal berpengaruh langsung terhadap efisiensi dan skalabilitas jaringan. Li-Fi memiliki potensi sebagai teknologi pelengkap untuk meningkatkan performa jaringan pada kondisi trafik tinggi, serta mendukung pengembangan arsitektur jaringan hybrid yang lebih adaptif dan efisien.

Kata Kunci: Li-Fi, Wi-Fi, performa jaringan, trafik tinggi, *throughput*, *delay*, *packet loss*, NS-3

Abstract

The increasing number of connected devices and data traffic intensity in wireless networks has introduced significant challenges to network performance, particularly for Wi-Fi technology, which relies on contention-based channel access mechanisms. Under high traffic conditions, the Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) mechanism leads to increased collisions, packet retransmissions, and backoff delays, resulting in reduced network efficiency. This study aims to perform a comparative analysis of Wi-Fi

and Li-Fi network performance under varying traffic conditions, with a focus on performance degradation and system stability. The research employs a simulation-based approach using Network Simulator 3 (NS-3) with three traffic scenarios: low, medium, and high. Wi-Fi is modeled based on the IEEE 802.11 standard using the CSMA/CA mechanism, while Li-Fi is represented as a high-speed point-to-point communication link. Network performance is evaluated using throughput, delay, and packet loss metrics. The results indicate that Wi-Fi experiences significant performance degradation under high traffic conditions, characterized by throughput stagnation at approximately 50 Mbps, delay exceeding 700 ms, and packet loss reaching around 46%. In contrast, Li-Fi demonstrates stable performance with high throughput approaching maximum capacity (~95 Mbps), low delay (~1 ms), and minimal packet loss. This study concludes that channel access mechanisms play a critical role in determining network efficiency and scalability. Li-Fi shows strong potential as a complementary technology to enhance network performance under high traffic conditions and supports the development of more adaptive and efficient hybrid network architectures.

Keywords: *Li-Fi, Wi-Fi, network performance, high traffic, throughput, delay, packet loss, NS-3*

PENDAHULUAN

Perkembangan jaringan nirkabel mengalami peningkatan signifikan seiring bertambahnya jumlah perangkat dan intensitas trafik data. Teknologi Wi-Fi berbasis standar IEEE 802.11 menjadi infrastruktur utama karena fleksibilitas dan kemudahan implementasinya. Namun, pada kondisi trafik tinggi, performa Wi-Fi cenderung menurun akibat penggunaan mekanisme akses kanal berbasis *contention*, yaitu *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)*, yang meningkatkan probabilitas *collision* dan retransmisi paket (Bhutani dkk., 2025; Geraci dkk., 2026).

Penurunan performa tersebut ditandai dengan meningkatnya *delay*, tingginya *packet loss*, serta stagnasi *throughput* pada kondisi kepadatan jaringan tinggi (Utomo dkk., 2025). Hal ini menunjukkan adanya keterbatasan skalabilitas pada jaringan Wi-Fi, terutama dalam lingkungan dengan banyak pengguna aktif secara simultan (Ali dkk., 2023; Chen dkk., 2022). Dengan demikian, diperlukan alternatif teknologi yang mampu memberikan performa lebih stabil pada kondisi trafik tinggi.

Salah satu teknologi yang berkembang adalah Li-Fi (*Light Fidelity*), yang memanfaatkan komunikasi berbasis cahaya tampak (*Visible Light*

Communication/VLC). Li-Fi memiliki keunggulan berupa bandwidth besar, interferensi rendah, serta tidak menggunakan mekanisme *contention*, sehingga berpotensi memberikan *throughput* tinggi dan *delay* rendah (Hamada & Lorenz, 2026; Hasanudin dkk., 2023a; Razaque dkk., 2025).

Meskipun demikian, penelitian komparatif antara Wi-Fi dan Li-Fi yang secara khusus menganalisis mekanisme degradasi performa dan stabilitas jaringan pada kondisi trafik tinggi masih terbatas (Besjedica dkk., 2023; Hasanudin dkk., 2023b). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa kedua teknologi menggunakan simulasi *Network Simulator 3 (NS-3)* dengan parameter *throughput*, *delay*, dan *packet loss*.

Kontribusi penelitian ini adalah memberikan analisis komparatif yang tidak hanya mengevaluasi performa, tetapi juga menjelaskan mekanisme fundamental yang menyebabkan degradasi pada Wi-Fi dan stabilitas pada Li-Fi, sehingga dapat menjadi dasar pengembangan jaringan hybrid yang lebih efisien.

TINJAUAN PUSTAKA

Kinerja Wi-Fi pada Trafik Tinggi

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa performa jaringan Wi-Fi sangat dipengaruhi oleh mekanisme *Distributed Coordination Function (DCF)* berbasis CSMA/CA. Studi oleh Rehman dkk, membuktikan bahwa peningkatan jumlah node secara signifikan meningkatkan probabilitas *collision* dan menurunkan efisiensi kanal, sehingga *throughput* mengalami saturasi dan tidak meningkat secara linier terhadap beban jaringan (Rehman dkk., 2022).

Pada kondisi trafik tinggi, Wi-Fi cenderung mengalami fenomena *congestion collapse*, yang ditandai dengan peningkatan *delay*, tingginya *packet loss*, serta menurunnya kualitas layanan akibat retransmisi paket yang berulang (Korbi dkk., 2024; Manzoor dkk., 2023). Meskipun berbagai optimasi seperti penyesuaian parameter *backoff* telah diusulkan, sebagian besar pendekatan masih terbatas pada peningkatan performa dalam kerangka teknologi radio, tanpa mengatasi keterbatasan fundamental mekanisme akses berbasis *contention* (Jaradat dkk., 2025; Taramit, 2023).

Teknologi Li-Fi dan *Visible Light Communication (VLC)*

Li-Fi merupakan teknologi komunikasi nirkabel berbasis *Visible Light Communication (VLC)* yang memanfaatkan spektrum cahaya tampak sebagai media transmisi. Konsep ini diperkenalkan oleh Haas sebagai alternatif yang mampu menyediakan bandwidth lebih besar dibandingkan Wi-Fi (Charisma dkk., 2021).

Penelitian menunjukkan bahwa VLC memiliki keunggulan dalam hal kapasitas kanal, keamanan, serta minimnya interferensi elektromagnetik. Selain itu, komunikasi berbasis *line-of-sight (LOS)* memungkinkan Li-Fi mengurangi *collision*, sehingga mampu menghasilkan *throughput* tinggi dengan *delay* yang relatif stabil.

Namun demikian, Li-Fi juga memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada kondisi pencahayaan dan kebutuhan LOS, sehingga lebih tepat diposisikan sebagai teknologi pelengkap dibandingkan pengganti Wi-Fi secara penuh.

Studi Komparatif Wi-Fi dan Li-Fi

Penelitian komparatif menunjukkan bahwa integrasi Wi-Fi dan VLC dapat meningkatkan kapasitas jaringan, terutama pada lingkungan dengan kepadatan pengguna tinggi (S dkk., 2025). Selain itu, Li-Fi terbukti memiliki performa lebih stabil dibandingkan Wi-Fi, khususnya dalam hal *delay* dan *packet loss* pada kondisi trafik tinggi.

Namun demikian, sebagian besar studi tersebut masih bersifat deskriptif dan belum mengkaji secara mendalam mekanisme yang menyebabkan degradasi performa pada Wi-Fi maupun stabilitas pada Li-Fi. Selain itu, pendekatan yang digunakan belum mengintegrasikan analisis dinamika kongesti jaringan dan batas skalabilitas secara sistematis.

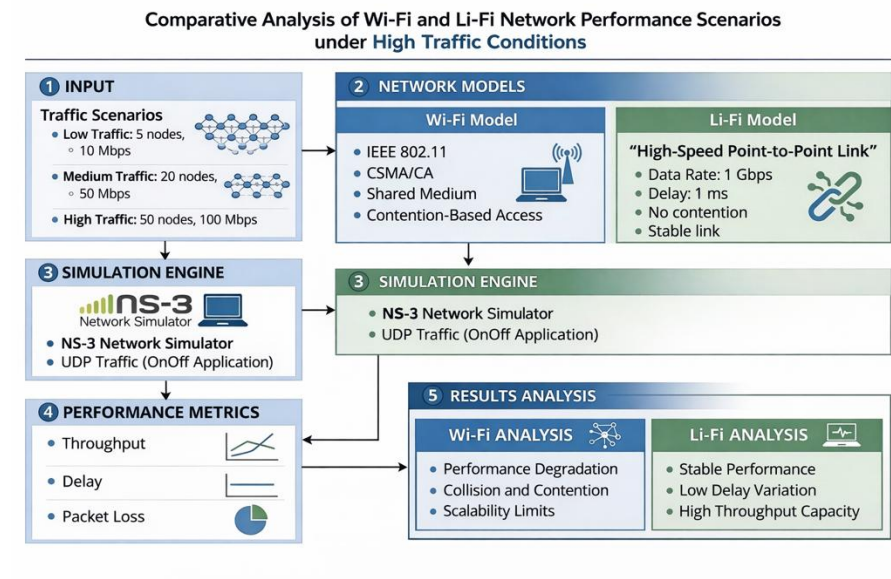
Research Gap dan Posisi Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka, terdapat beberapa kesenjangan penelitian, yaitu:

- a. Keterbatasan analisis terhadap batas skalabilitas Wi-Fi pada trafik tinggi;
- b. Minimnya kajian stabilitas performa Li-Fi dalam perbandingan langsung;
- c. Dominasi studi deskriptif tanpa analisis mekanisme fundamental;
- d. Kurangnya pendekatan simulasi yang menghubungkan parameter performa dengan dinamika kongesti jaringan.

Oleh karena itu, penelitian ini diposisikan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui pendekatan komparatif berbasis simulasi yang tidak hanya mengevaluasi performa jaringan, tetapi juga menganalisis mekanisme degradasi pada Wi-Fi dan stabilitas Li-Fi secara sistematis.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Framework Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi berbasis *Network Simulator 3 (NS-3)* untuk menganalisis dan membandingkan performa jaringan Wi-Fi dan Li-Fi pada berbagai tingkat trafik. Pendekatan simulasi dipilih karena memungkinkan kontrol parameter jaringan secara sistematis serta menghasilkan data yang dapat direproduksi.

Jaringan Wi-Fi dimodelkan berdasarkan standar IEEE 802.11 dengan mekanisme *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)*, sedangkan Li-Fi direpresentasikan sebagai kanal komunikasi *point-to-point* berkecepatan tinggi dengan *delay* rendah untuk mencerminkan karakteristik komunikasi berbasis cahaya.

Skenario trafik dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu trafik rendah, sedang, dan tinggi, yang dihasilkan menggunakan aplikasi *OnOff* berbasis protokol UDP. Variasi tingkat trafik ditentukan berdasarkan perbedaan laju pengiriman data (*data rate*) dan interval transmisi paket.

Evaluasi performa jaringan dilakukan menggunakan tiga parameter utama, yaitu:

- a. *Throughput*, untuk mengukur jumlah data yang berhasil ditransmisikan per satuan waktu
- b. *Delay*, untuk mengukur waktu tempuh paket dari sumber ke tujuan
- c. *Packet loss*, untuk mengukur persentase paket yang gagal diterima

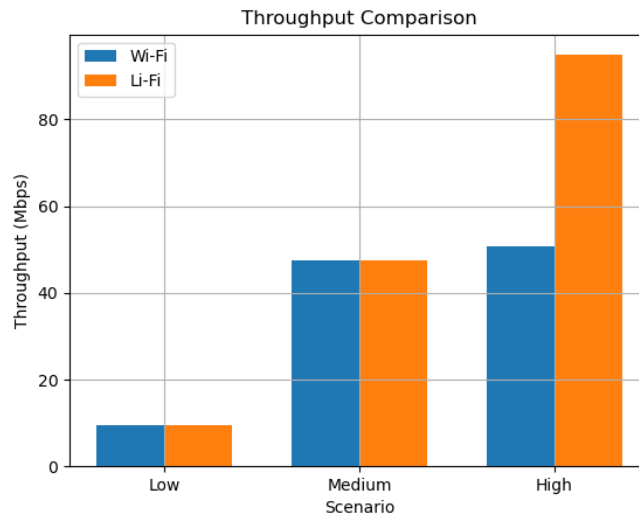
Data performa diperoleh melalui proses logging pada simulator NS-3 selama periode simulasi berlangsung. Hasil simulasi kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pola degradasi performa pada Wi-Fi serta stabilitas kinerja pada Li-Fi dalam setiap skenario trafik.

Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai / Konfigurasi
Simulator	NS-3
Teknologi	Wi-Fi (IEEE 802.11), Li-Fi
Mekanisme Wi-Fi	CSMA/CA
Model Li-Fi	Point-to-Point
Protokol	UDP
Aplikasi Trafik	OnOff Application
Ukuran Paket	1024 byte
Data Rate	Variatif (<i>low, medium, high</i>)
Parameter Evaluasi	Throughput, Delay, Packet Loss

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Throughput



Gambar 2. Perbandingan Throughput Wi-Fi dan Li-Fi

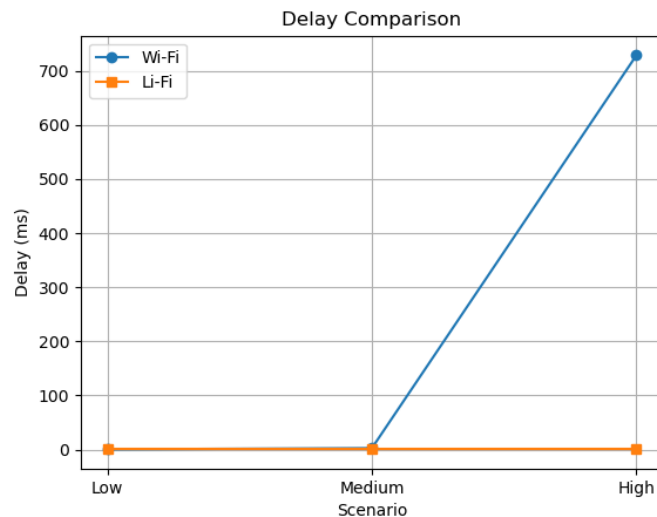
Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi trafik rendah dan sedang, throughput Wi-Fi dan Li-Fi relatif sebanding. Namun, pada kondisi trafik tinggi, throughput Wi-Fi mengalami stagnasi pada kisaran 50 Mbps, sedangkan Li-Fi meningkat signifikan hingga mendekati kapasitas maksimum link (~95 Mbps).

Fenomena stagnasi *throughput* pada Wi-Fi menunjukkan adanya keterbatasan skalabilitas jaringan yang disebabkan oleh mekanisme akses kanal berbasis *contention*. Pada kondisi kepadatan tinggi, peningkatan jumlah node secara langsung meningkatkan probabilitas *collision*, yang berdampak pada meningkatnya retransmisi paket dan penurunan efisiensi kanal. Hal ini konsisten dengan model analitis Bianchi yang menunjukkan bahwa throughput jaringan IEEE 802.11 mengalami saturasi pada tingkat beban tertentu akibat keterbatasan mekanisme *Distributed Coordination Function (DCF)*.

Sebaliknya, Li-Fi menunjukkan peningkatan throughput yang stabil karena tidak menggunakan mekanisme kompetisi dalam akses kanal. Representasi Li-Fi sebagai komunikasi *point-to-point* memungkinkan transmisi berlangsung tanpa *collision*, sehingga kapasitas kanal dapat dimanfaatkan secara optimal. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa teknologi berbasis *Visible Light Communication (VLC)* mampu mempertahankan throughput tinggi pada kondisi trafik padat.

Dengan demikian, perbedaan performa throughput antara Wi-Fi dan Li-Fi secara fundamental ditentukan oleh karakteristik mekanisme akses kanal, di mana sistem berbasis kompetisi cenderung mengalami keterbatasan pada kondisi trafik tinggi.

Analisis Delay



Gambar 3. Perbandingan Delay Wi-Fi dan Li-Fi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa delay pada jaringan Wi-Fi meningkat secara drastis pada kondisi trafik tinggi hingga melebihi 700 ms, sedangkan Li-Fi mempertahankan delay yang relatif stabil pada kisaran ~ 1 ms.

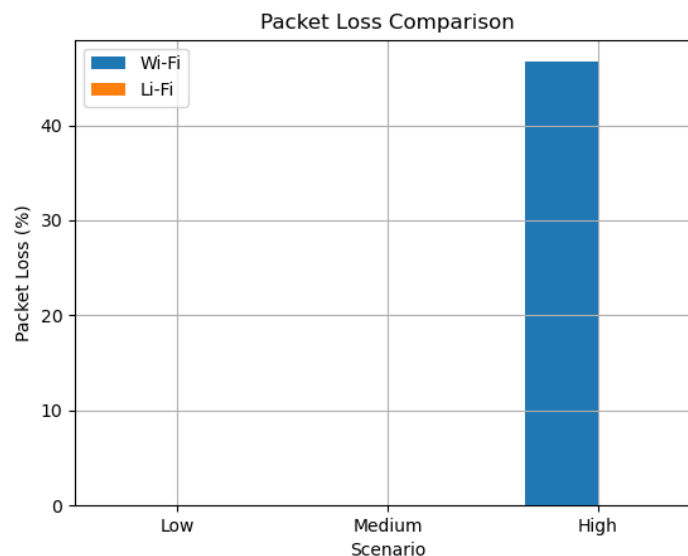
Peningkatan delay pada Wi-Fi disebabkan oleh akumulasi waktu tunggu (*waiting time*) akibat mekanisme CSMA/CA, yang mencakup proses *backoff*, antrean paket, serta retransmisi akibat *collision*. Pada kondisi trafik tinggi, proses ini menjadi semakin kompleks karena meningkatnya kompetisi antar node dalam mengakses kanal, sehingga menyebabkan terjadinya kongesti jaringan (*network congestion*). Fenomena ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa delay pada jaringan Wi-Fi meningkat secara non-linear seiring dengan peningkatan jumlah node dan intensitas trafik.

Sebaliknya, Li-Fi menunjukkan delay yang stabil karena tidak melibatkan mekanisme *contention*. Komunikasi *point-to-point* memungkinkan paket ditransmisikan secara langsung tanpa perlu menunggu akses kanal, sehingga waktu transmisi menjadi lebih deterministik. Hal ini memperkuat temuan bahwa teknologi

VLC memiliki latensi yang rendah dan stabil, terutama dalam lingkungan komunikasi yang terkontrol.

Dengan demikian, perbedaan delay antara Wi-Fi dan Li-Fi menunjukkan bahwa mekanisme akses kanal memiliki pengaruh langsung terhadap efisiensi waktu transmisi dalam jaringan.

Analisis Packet Loss



Gambar 4. Perbandingan *Packet Loss* Wi-Fi dan Li-Fi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa packet loss pada Wi-Fi meningkat signifikan pada kondisi trafik tinggi hingga mencapai sekitar 46%, sedangkan Li-Fi mempertahankan tingkat packet loss yang sangat rendah (mendekati 0%).

Tingginya packet loss pada Wi-Fi disebabkan oleh meningkatnya probabilitas *collision* dan kegagalan transmisi akibat kongesti jaringan. Pada kondisi trafik tinggi, buffer jaringan menjadi penuh, sehingga paket yang tidak dapat diproses akan dibuang (*packet drop*). Selain itu, retransmisi yang berulang juga meningkatkan kemungkinan kegagalan pengiriman data. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa jaringan Wi-Fi sangat rentan terhadap degradasi kualitas layanan pada kondisi kepadatan tinggi.

Sebaliknya, Li-Fi menunjukkan tingkat packet loss yang sangat rendah karena tidak mengalami *collision* maupun kompetisi akses kanal. Komunikasi yang bersifat deterministik memungkinkan setiap paket dikirim tanpa gangguan signifikan, sehingga integritas data dapat dipertahankan dengan baik. Hal ini

memperkuat karakteristik Li-Fi sebagai teknologi dengan tingkat keandalan tinggi dalam transmisi data.

Dengan demikian, perbedaan packet loss antara kedua teknologi menunjukkan bahwa stabilitas transmisi sangat dipengaruhi oleh mekanisme pengelolaan akses kanal.

Analisis Komprehensif

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Wi-Fi mengalami degradasi performa yang signifikan pada kondisi trafik tinggi, yang ditandai dengan stagnasi throughput, peningkatan delay secara drastis, serta tingginya packet loss. Sebaliknya, Li-Fi mempertahankan performa yang stabil pada seluruh parameter yang diuji.

Secara konseptual, degradasi performa pada Wi-Fi dapat dijelaskan melalui dinamika kongesti jaringan (*network congestion dynamics*), di mana peningkatan jumlah node menyebabkan peningkatan kompetisi akses kanal, sehingga menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Kondisi ini menunjukkan bahwa Wi-Fi memiliki keterbatasan inheren dalam hal skalabilitas, terutama pada lingkungan dengan kepadatan trafik tinggi.

Sebaliknya, stabilitas performa Li-Fi menunjukkan bahwa sistem komunikasi yang tidak berbasis *contention* memiliki keunggulan dalam menjaga efisiensi dan keandalan transmisi. Hal ini menegaskan bahwa perbedaan mekanisme akses kanal merupakan faktor utama yang menentukan performa jaringan pada kondisi ekstrem.

Pembahasan

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa mekanisme akses kanal merupakan determinan utama dalam menentukan performa jaringan nirkabel. Wi-Fi yang menggunakan CSMA/CA mengalami peningkatan probabilitas *collision* secara eksponensial seiring bertambahnya jumlah node, yang menyebabkan peningkatan waktu *backoff*, retransmisi, serta antrean paket. Proses ini menghasilkan degradasi performa yang bersifat non-linear, sebagaimana telah dijelaskan dalam model analitis jaringan IEEE 802.11.

Sebaliknya, Li-Fi yang direpresentasikan sebagai komunikasi *point-to-point* tidak mengalami fenomena tersebut, sehingga mampu mempertahankan performa

yang stabil. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa teknologi berbasis VLC memiliki keunggulan dalam hal efisiensi kanal dan stabilitas performa.

Namun demikian, perlu dicatat bahwa model Li-Fi dalam penelitian ini masih bersifat abstraksi dan belum mempertimbangkan faktor-faktor fisik seperti *line-of-sight*, interferensi cahaya, dan kondisi lingkungan nyata. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih merepresentasikan analisis konseptual terhadap perbandingan mekanisme akses kanal dibandingkan implementasi sistem Li-Fi secara penuh.

Secara praktis, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa integrasi Wi-Fi dan Li-Fi dalam arsitektur jaringan hybrid dapat menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan masing-masing teknologi. Wi-Fi dapat digunakan untuk cakupan luas (*coverage*), sedangkan Li-Fi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi pada area dengan kepadatan trafik tinggi.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi tidak hanya dalam evaluasi performa jaringan, tetapi juga dalam memahami mekanisme fundamental yang mempengaruhi efisiensi dan skalabilitas sistem komunikasi nirkabel.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa performa jaringan nirkabel sangat dipengaruhi oleh mekanisme akses kanal yang digunakan. Pada kondisi trafik rendah hingga sedang, Wi-Fi dan Li-Fi memiliki performa yang relatif sebanding. Namun, pada kondisi trafik tinggi, Wi-Fi mengalami degradasi performa yang signifikan, ditandai dengan stagnasi *throughput*, peningkatan *delay* secara non-linear, serta tingginya *packet loss*. Kondisi ini disebabkan oleh meningkatnya probabilitas *collision*, waktu *backoff*, dan retransmisi paket dalam mekanisme CSMA/CA yang berbasis *contention*, sehingga membatasi skalabilitas jaringan.

Sebaliknya, Li-Fi yang direpresentasikan sebagai kanal komunikasi *point-to-point* menunjukkan performa yang stabil pada seluruh skenario trafik. Ketidadaan mekanisme kompetisi dalam akses kanal memungkinkan Li-Fi mempertahankan *throughput* tinggi, *delay* rendah, dan *packet loss* minimal, bahkan pada kondisi beban jaringan yang meningkat.

Secara konseptual, hasil penelitian ini menegaskan bahwa perbedaan fundamental dalam mekanisme akses kanal berimplikasi langsung terhadap efisiensi dan skalabilitas jaringan. Sistem berbasis *contention* cenderung mengalami penurunan performa pada kondisi trafik tinggi, sedangkan sistem non-contention menunjukkan stabilitas yang lebih baik.

Dengan demikian, Li-Fi memiliki potensi sebagai teknologi pelengkap untuk meningkatkan performa jaringan, khususnya pada lingkungan dengan kepadatan trafik tinggi. Penelitian ini juga memberikan implikasi praktis bahwa pengembangan arsitektur jaringan hybrid yang mengombinasikan Wi-Fi dan Li-Fi dapat menjadi solusi strategis dalam meningkatkan efisiensi dan kapasitas jaringan nirkabel.

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena model Li-Fi yang digunakan bersifat abstraksi dan belum mempertimbangkan faktor fisik seperti *line-of-sight* dan interferensi cahaya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model Li-Fi yang lebih realistis serta mengeksplorasi integrasi sistem hybrid secara lebih komprehensif.

REFERENCES

- Ali, M., Jehangiri, A. I., Alramli, O. I., Ahmad, Z., Ghoniem, R. M., Ala'anzy, M. A., & Saleem, R. (2023). Performance and scalability analysis of SDN-based large-scale Wi-Fi networks. *Applied Sciences*, 13(7), 4170.
- Besjedica, T., Fertalj, K., Lipovac, V., & Zakarija, I. (2023). Evolution of hybrid LiFi-WiFi networks: A survey. *Sensors*, 23(9), 4252.
- Bhutani, M., Oruganti, S. K., Gupta, S. K., Alsekait, D. M., Abdelminaam, D. S., & Albeshri, M. Y. (2025). Redesigning MAC Superframes for Adaptive Priority Handling in IEEE 802.15. 7-Based Optical Wireless Sensor Networks. *IEEE Access*, 13, 189607–189628.
- Charisma, A., Setiawan, R., Taryana, E., Yuliana, H., & Indriani, A. (2021). Sistem Komunikasi Audio dengan Teknologi Visible Light Communication (VLC) Menggunakan Laser Led. *Digital Zone: Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 12. <https://doi.org/10.31849/digitalzone.v12i2.7519>
- Chen, C., Chen, X., Das, D., Akhmetov, D., & Cordeiro, C. (2022). Overview and performance evaluation of Wi-Fi 7. *IEEE Communications Standards Magazine*, 6(2), 12–18.
- Geraci, G., Meneghello, F., Wilhelmi, F., López-Pérez, D., Val, I., Giordano, L. G., Cordeiro, C., Ghosh, M., Knightly, E., & Bellalta, B. (2026). Wi-Fi: 25 Years and Counting. *Proceedings of the IEEE*.
- Hamada, L., & Lorenz, P. (2026). Li-Fi Range Challenge: Improvement and Optimization. *Telecom*, 7(1), 19.
- Hasanudin, A. H., Zainal, I. H., Mutalip, Z. A., Jasman, F., & Wan Hassan, W. H. (2023a). From WI-FI to LI-FI: a comprehensive review of integration strategies. *Przegląd Elektrotechniczny*, 99.
- Hasanudin, A. H., Zainal, I. H., Mutalip, Z. A., Jasman, F., & Wan Hassan, W. H. (2023b). From WI-FI to LI-FI: a comprehensive review of integration strategies. *Przegląd Elektrotechniczny*, 99.

- Jaradat, A. M., Alayed, M., & Arslan, H. (2025). A Survey of Radio Resource Scheduling for 6G and Future Wireless Networks. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 6, 10191–10218.
- Korbi, Y., Zhani, M. F., & Kaippallimalil, J. (2024). Congestion control in wi-fi networks—state of the art, performance evaluation, and key research directions. *IEEE Access*, 12, 94972–94989.
- Manzoor, S., Ratyal, N. I., & Mohamed, H. G. (2023). Achieving QoS in smart cities using software defined Wi-Fi networks. *IEEE Access*, 11, 98256–98268.
- Razaque, A., Bektemyssova, G., Khan, M., Yoo, J., Khan, M. J., & Lloret, J. (2025). Comprehensive analysis of Li-Fi technology: positioning algorithms, security vulnerabilities, and future IoT applications. *Telecommunication Systems*, 88(4), 1–57.
- Rehman, A., Hussain, F. B., Tanveer, J., & Haider, A. (2022). Collision-based window-scaled back-off mechanism for dense channel resource allocation in future Wi-Fi. *Mathematics*, 10(12), 2053.
- S, U., Sopian, A., Dewi, C., Syahrial, R., Ningtyas, S., & Nurlaela, L. (2025). Implementasi Teknologi Li-Fi (Light Fidelity) Sebagai Pendukung Optimalisasi Koneksi Iot Pada Smart Home. *JEIS: Jurnal Elektro dan Informatika Swadharma*, 5, 37–44. <https://doi.org/10.56486/jeis.vol5no2.772>
- Taramit, H. (2023). *Performance Evaluation and Enhancement of Restricted Access Wi-Fi IoT Networks: Stochastic Approaches*.
- Utomo, A. A. S., Supandi, S., & Rozzaqi, A. R. (2025). Analisis Kinerja Jaringan Wireless Berdasarkan Parameter Qos (Throughput, Delay, Packet Loss) Terhadap Variasi Trafik Jam Operasional Pada Pengguna Di Lingkungan Sekolah Di Smp Negeri 1 Ngaringan. *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, 4(9), 2691–2970.