Optimasi Topologi Jaringan Untuk Meningkatkan Ketahanan Jaringan Dan Mitigasi Kemacetan Pada Jaringan Pt Xyz

1st Farras Hilmy Arrahmani
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
farrasarrahmani@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Faqih Hamami
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
faqihhamami@telkomuniversity.ac.id

3 rd Riska Yanu Fa'rifa
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
riskayanu@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Peningkatan penggunaan internet dan aplikasi data secara global dalam dunia digital telah menyebabkan kemacetan jaringan data informasi yang signifikan, menyoroti kebutuhan mendesak akan layanan internet berkecepatan tinggi. Dalam mengatasi masalah ini, teknologi 5G diidentifikasi sebagai solusi yang mampu mengurangi kemacetan proses transmisi dan meningkatkan Kualitas Layanan (QoS) dalam pengadopsian layanan digital, termasuk mobile banking dan aplikasi lainnya. Untuk menghindari kemacetan transmisi data dengan mengelak titik-titik kegagalan kritis, diperlukan desain yang efektif, di mana Algoritma Bellman-Ford terbukti berhasil dalam menganalisa komunikasi data dengan menghindari lalu lintas dan node, sehingga meningkatkan aspek QoS seperti output, tingkat pengiriman paket, dan meminimalkan kehilangan data dari ujung ke ujung. PT. XYZ, perusahaan yang beroperasi dalam bidang digital dengan jaringan komunikasinya, juga menghadapi masalah serupa dan menemukan bahwa pemanfaatan Algoritma Bellman-Ford menyediakan solusi yang cukup akurat untuk mengatasi masalah yang dihadapi. Penambahan link baru sebagai strategi optimasi topologi secara signifikan meningkatkan efisiensi dan QoS jaringan PT XYZ. Evaluasi hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan Algoritma Bellman-Ford dan Graph Metric Average Betweenness Centrality, yang menyarankan penambahan link baru di titik kemacetan, dapat meningkatkan kinerja jaringan dengan indikasi penurunan kehilangan paket sebesar 54,5% hingga 61%, tergantung pada skenario jumlah link baru yang ditambahkan, dan juga meningkatkan ketahanan jaringan.**

***Kata kunci* — Algoritma Bellman-Ford , Kualitas Layanan (QoS) , Kemacetan Jaringan, Optimalisasi Topologi**

I. PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan internet dan aplikasi data secara global dalam dunia digital telah menyebabkan kemacetan jaringan data informasi yang signifikan, menggarisbawahi permasalahan ini maka kebutuhan untuk layanan internet berkecepatan tinggi menjadi hal yang mendesak. Teknologi 5G diidentifikasi dapat memberikan solusi untuk hal ini sehingga dapat mengurangi kemacetan proses transmisi dan meningkatkan kualitas layanan (QoS) dalam adopsi layanan digital, termasuk mobile banking dan aplikasi lainnya [1]. Lebih lanjut, aplikasi teknologi 5G dalam konsep smart city diharapkan dapat menggantikan teknologi Wi-Fi saat ini populer dalam layanan internet, sehingga memudahkan keterlibatan IoT di semua sistem perangkat jaringan, sehingga mendukung adopsi layanan digital dan meningkatkan ketahanan siber [2]. Dalam pengiriman data dan ketahanan saluran komunikasi, topologi/konfigurasi jaringan adalah hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Desain yang efektif diperlukan untuk menghindari kemacetan transmisi data dengan menghindari titik-titik kritis kegagalan. Lavanya et al. (2023) memperkenalkan Mobility-Based Optimized Multipath Routing Protocol (MBOMRP) dan algoritma Efficient, Reliable Link-State Transmission (ERLST) di Mobile Ad-hoc Networks (MANETs) sebagai metoda untuk menganalisa komunikasi data dengan menghindari lalu lintas dan simpul (node) yang tidak bekerja secara efisien. Pendekatan ini dilakukan dengan perencanaan strategis dan redundansi dalam arsitektur jaringan sehingga dapat meningkatkan parameter kualitas jasa Quality of Service (QoS) seperti output, tingkat pengiriman paket, dan meminimalkan kehilangan data dari ujung ke ujung [3]. Kemampuan beradaptasi algoritma Bellman-Ford terhadap perubahan jaringan yang dinamis, termasuk penanganan bobot negatif dan deteksi siklus negatif, sangat penting untuk mengelola kemacetan jaringan. Chertkov et al. (2022) memodifikasi algoritma Bellman-Ford untuk mengatasi keterbatasannya dengan adanya batas berorientasi terbalik dengan bobot negatif pada grafik, menjadikannya alat yang ampuh untuk mengoptimalkan kinerja jaringan dan mengelola kemacetan dalam skenario jaringan dinamis [4]. Yiltas-Kaplan (2022) mengeksplorasi penggunaan berbagai algoritma pengoptimalan jaringan, termasuk Bellman-Ford, dalam jaringan yang ditentukan perangkat lunak (SDN) untuk mengoptimalkan perutean lalu lintas, menunjukkan signifikansinya dalam meningkatkan kinerja jaringan dan mengelola kemacetan melalui penambahan link baru ke topologi/konfigurasi jaringan [5]. Dalam hal penambahan link baru dalam mengatasi kemacetan jaringan juga dilakukan oleh Salman & Alaswad (2020) [6]. Sebagai bagian dari penelitian, objek penelitian menggunakan data yang telah disiapkan oleh PT. XYZ, salah satu perusahaan digital di Indonesia, dengan jaringan komunikasi yang kompleks, PT XYZ menghadapi tantangan signifikan dalam mengelola jaringan yang luas dan kompleks tersebut. Kemacetan jaringan, khususnya dalam membawa sejumlah

data kritis menjadi masalah besar yang bisa berdampak pada optimalisasi operasional PT XYZ seperti penurunan kualitas layanan, peningkatan latensi, serta dan kehilangan paket data. Strategi pemanfaatan algoritma Bellman-Ford untuk penemuan jalur optimal, ditambah dengan optimasi topologi jaringan strategis dapat mengubah manajemen jaringan menjadi jaringan yang efisien dan efektif. Metodologi ini tidak hanya berfokus pada manajemen lalu lintas tetapi juga secara proaktif membangun kapasitas jaringan di masa depan. Pergeseran dari perencanaan reaktif ke proaktif ini mengantarkan era layanan jaringan yang efisien dan andal, memastikan ketahanan dan kemampuan beradaptasi infrastruktur jaringan di tengah lanskap digital yang berkembang.

II. KAJIAN TEORI

A. Teori Graf dalam Telekomunikasi

Teori graf memainkan peran penting dalam analisis dan optimasi jaringan telekomunikasi. Kostić et al. (2020) dan Backiel et al. (2016) menekankan bahwa dengan menerapkan teori graf, peneliti dapat mengoptimalkan rute dan memastikan transmisi data yang efisien dalam jaringan yang luas dan rumit [7][8]. Dalam konteks PT XYZ, aplikasi teori graf dapat membantu dalam memetakan topologi jaringan, identifikasi jalur kritis, dan pengembangan strategi untuk mengurangi kemacetan jaringan.

B. Algoritma Bellman-ford

Algoritma Bellman-Ford berperan penting dalam menemukan jalur terpendek dalam jaringan yang memungkinkan adanya bobot negatif tanpa siklus negatif. Bannister & Eppstein (2012) menguraikan bagaimana algoritma ini dapat dimodifikasi untuk mendeteksi siklus negatif, memberikan wawasan penting dalam manajemen kemacetan jaringan [9]. Implementasi algoritma ini dalam PT XYZ dapat membantu dalam identifikasi dan mitigasi potensi choke points, sehingga meningkatkan efisiensi transmisi data.

Algoritma Bellman-Ford digunakan untuk menemukan jalur terpendek dari satu sumber ke semua simpul lain dalam graf berbobot. Rumus untuk relaksasi tepi dalam algoritma Bellman-Ford adalah:

$$Jika\ d[v] > d[u] + w(u,v), maka\ d[v] = d[u] + w(u,v)$$

di mana:

1. $d[v]$ adalah perkiraan jarak terpendek dari sumber ke simpul v,
2. $d[u]$ adalah perkiraan jarak terpendek dari sumber ke simpul u,
3. $w(u,v)$ adalah bobot tepi dari simpul u ke v.

a. Analisis Jalur dan Pengelolaan Lalu Lintas Jaringan

Analisis jalur adalah kunci dalam menjamin efisiensi pengiriman data. Sixtus J & Muthu (2022) dan Yogalakshmi et al. (2022) menunjukkan bahwa pemahaman mendalam tentang topologi jaringan memungkinkan evaluasi jalur teroptimal, termasuk manajemen redundansi dan bandwidth [10][11]. Penelitian oleh Kim et al. (2021) dan Saki et al. (2019) menekankan pentingnya analisis lalu lintas dalam manajemen jaringan yang efektif, khususnya dalam mengatasi kemacetan dan memastikan Kualitas Layanan (QoS) [12][13]. Dalam kasus PT XYZ, analisis ini dapat mendukung pengembangan strategi yang efektif untuk mitigasi kemacetan dan peningkatan ketahanan jaringan.

C. Optimasi Topologi Jaringan

Optimasi topologi jaringan adalah area penelitian yang sangat relevan dengan peningkatan kinerja dan ketahanan jaringan. Li et al. (2023) mengusulkan penggunaan algoritma pembelajaran penguatan dalam untuk optimasi topologi jaringan, yang menunjukkan potensi peningkatan efisiensi dan kinerja [14]. Penelitian ini relevan dengan PT XYZ, di mana penambahan link secara strategis dan desain topologi yang dioptimalkan dapat mengurangi kemacetan dan memperkuat ketahanan jaringan.

D. Decision Support System (DSS) dalam Optimasi Jaringan

DSS menawarkan kerangka kerja untuk mendukung pengambilan keputusan dalam optimasi topologi jaringan. Nemes et al. (2019) menguraikan bagaimana DSS dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keandalan dan ketangguhan jaringan komputer, memberikan metodologi objektif untuk evaluasi dan peningkatan keamanan jaringan [15]. Implementasi DSS dalam konteks PT XYZ dapat membantu dalam pengambilan keputusan berbasis data untuk optimasi topologi jaringan dan strategi mitigasi kemacetan.

III. METODE

Metodologi yang digunakan dirancang untuk mengatasi masalah kemacetan jaringan melalui pendekatan sistematis yang meliputi pengumpulan data, analisis, dan implementasi strategi optimasi. Penelitian ini mengadopsi kerangka kerja Sistem Dukungan Keputusan (DSS) yang diintegrasikan dengan algoritma Bellman-Ford untuk analisis jalur dan optimisasi topologi jaringan..

A. Kerangka Berpikir Penelitian

1. Sistematika Penyelesaian Masalah

Proses penelitian diorganisir dalam serangkaian tahapan mulai dari Fase Inisiasi, Definisi Masalah dan Usulan Solusi, Fase Penanganan Data, Pengembangan Produk/Artifak, hingga Analisa Performa. Kerangka kerja DSS membantu dalam strukturisasi pendekatan penyelesaian masalah, memastikan bahwa setiap langkah dilakukan secara sistematis untuk mencapai solusi yang efektif.

2. Pengumpulan Data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini diperoleh dari PT XYZ, mencakup dataset 'downlink1.csv', 'uplink1.csv', dan 'relationlink_update.csv', yang memberikan informasi mendalam tentang lalu lintas dan kapasitas jaringan. Analisis dataset ini dilakukan untuk mengidentifikasi area kemacetan dan untuk merumuskan strategi optimisasi topologi.

3. Pengolahan Data atau Pengembangan Produk/Artifak

Proses pengolahan data melibatkan pembersihan data menggunakan Python dan Pandas, analisis struktur jaringan dengan NetworkX, dan penerapan algoritma Bellman-Ford untuk identifikasi jalur terpendek. Analisis ini bertujuan untuk mengembangkan strategi optimisasi topologi jaringan

yang melibatkan penambahan link baru untuk meningkatkan ketahanan dan efisiensi jaringan.

4. Analisa Performa

Evaluasi kinerja jaringan yang telah dioptimalkan menggunakan metrik graf dan analisis packet loss untuk membandingkan kinerja sebelum dan sesudah implementasi strategi optimisasi. Metode ini bertujuan untuk memvalidasi efektivitas optimisasi dalam meningkatkan kualitas layanan dan mengurangi kemacetan.

B. Alur Perancangan

1. Pra-pemrosesan Data (Data Pre-processing)

Sebelum analisis, data harus melalui proses pra-pemrosesan untuk memastikan integritas dan keandalan. Ini meliputi penggantian nilai NULL dengan angka nol pada dataset relationlink dan penghapusan entri duplikat di dataset downlink dan uplink, menghasilkan set data yang lebih bersih dan lebih akurat. Proses ini juga melibatkan penyesuaian skala data untuk menyelaraskan unit pengukuran di seluruh dataset.

2. Perancangan Pemodelan Graf

Dalam merancang pemodelan graf, digunakan graf berarah untuk menggambarkan struktur dasar jaringan PT XYZ. Setiap simpul dan tepi berarah mewakili node dan arah transmisi data dalam jaringan. Ini memungkinkan visualisasi jaringan dan pemahaman tentang bagaimana data bergerak di dalamnya. Jika diperlukan gambaran visual untuk pemahaman yang lebih baik, sertakan gambar terkait.

3. Algoritma Bellman-Ford untuk Pencarian Rute

Algoritma Bellman-Ford diterapkan untuk menemukan rute terpendek di dalam jaringan, membantu mengidentifikasi jalur optimal yang mengurangi biaya transmisi data. Proses iteratif algoritma ini menganalisis dan membandingkan semua jalur potensial untuk menentukan yang paling efisien.

4. Perancangan Pemilihan Link Baru

Untuk meningkatkan kinerja jaringan, dilakukan klasifikasi link berdasarkan pemanfaatannya. Link yang kurang dimanfaatkan atau overburdened diidentifikasi menggunakan rasio pemanfaatan, yang menginformasikan keputusan tentang di mana menambahkan link baru untuk memperbaiki kemacetan dan meningkatkan redundansi.

5. Perancangan Analisis Performa

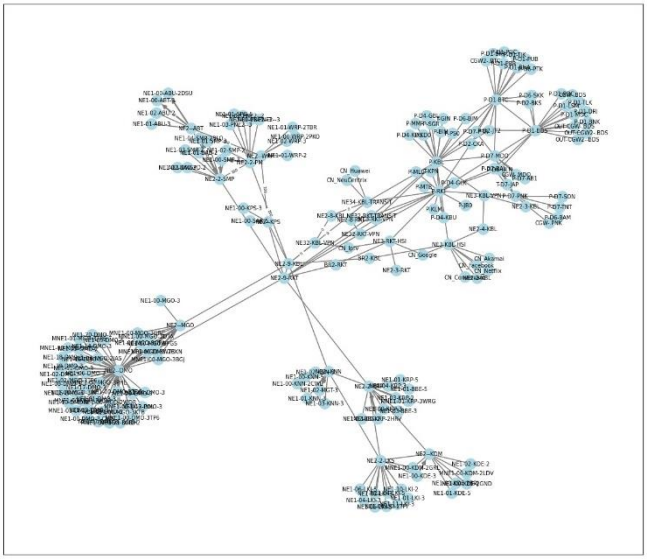
Akhirnya, metode komprehensif untuk evaluasi kinerja jaringan dikembangkan. Ini termasuk penggunaan konektivitas aljabar untuk mengukur ketahanan jaringan dan analisis packet loss untuk menilai kinerja setelah optimisasi. Pendekatan ini memberikan gambaran tentang efektivitas strategi rerouting dan penambahan link baru.

Metodologi yang dijelaskan dalam Bab ini memberikan kerangka kerja untuk analisis yang akan membantu PT XYZ meningkatkan kinerja jaringannya, mengurangi kemacetan, dan memperkuat ketahanan terhadap gangguan atau kegagalan.

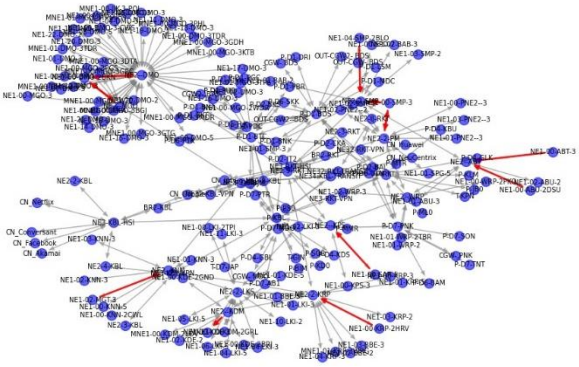
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Rancang Topologi Sistem Jaringan PT XYZ

Topologi jaringan PT XYZ menggambarkan sebuah sistem yang kompleks dengan 190 node dan 278 link yang saling terhubung, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Menggunakan algoritma Bellman-Ford, rute optimal data transmisi dari sumber ke tujuan diidentifikasi, mempertimbangkan biaya transmisi. Analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kemacetan dalam jaringan melalui simulasi aliran data, yang mengarah pada rekomendasi untuk penambahan link baru pada titik-titik yang mengalami kemacetan tinggi. Gambar 2 menunjukkan titik-titik kemacetan.



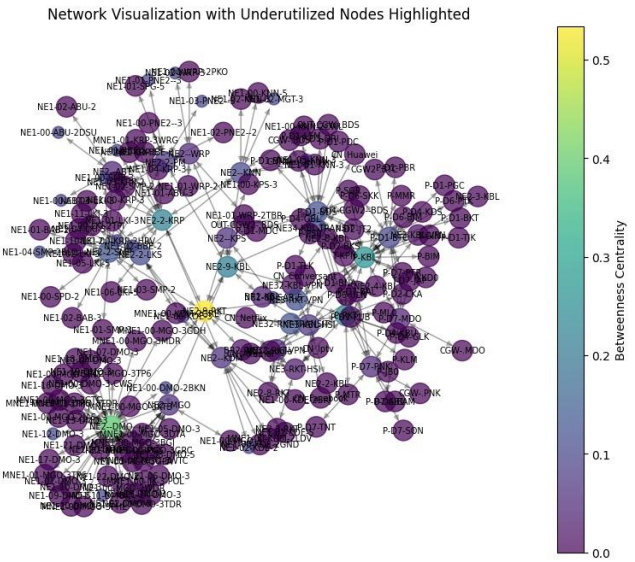
GAMBAR 1
Topologi Sistem Jaringan PT XYZ



GAMBAR 2
Kemacetan Jaringan PT XYZ

B. Analisa Tingkat Kepentingan Link Dengan Metoda Metrik Graph

Metode Average Betweenness Centrality digunakan untuk mengevaluasi tingkat kepentingan dari setiap node dalam jaringan. Peta dalam Gambar 3 menunjukkan tingkat kepentingan berbagai node, dengan node berwarna kuning menunjukkan tingkat betweenness centrality tertinggi dan node berwarna ungu menunjukkan betweenness centrality rendah. Analisis ini penting untuk memahami bagaimana data bergerak melalui jaringan dan mempengaruhi ketahanan sistem secara keseluruhan.



GAMBAR 3
Average Betweenness Centrality Map Topologi Jaringan

C. Penyelesaian Titik Kemacetan Jaringan

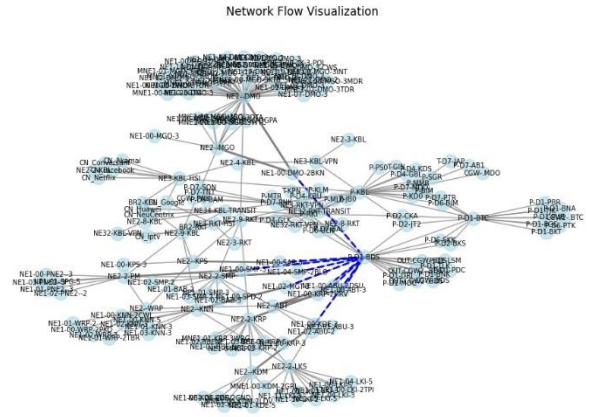
Mengatasi kemacetan dilakukan dengan menambahkan link baru dari node yang mengalami kemacetan ke node dengan kapasitas yang tersedia dan betweenness centrality yang lebih tinggi. Ini ditujukan untuk mengurangi titik kemacetan dan meningkatkan ketahanan jaringan. Sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 1, sembilan node dengan tingkat kemacetan tinggi diidentifikasi dan dipilih untuk penambahan link baru.

TABEL 1
Daftar Node *froma* yang Memiliki Tingkat Kemacetan Tinggi

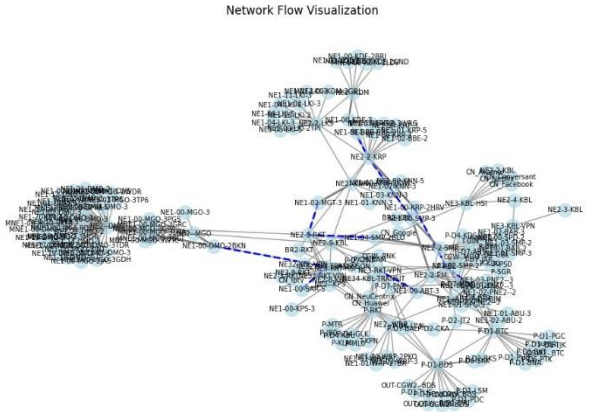
Node	Centrality
NE1-00-SAR-5	0
NE1-00-SMP-3	0
NE1-00-DMO-2BKN	0
NE1-00-KDE-3	0
NE1-00-ABT-3	0
NE1-00-KRP-2HRV	0
NE1-04-SMP-2BLO	0
NE1-02-MGT-3	0
NE1-00-ABU-2DSU	0

D. Visualisasi Topologi Baru

Gambar 4 dan 4 memperlihatkan perubahan topologi jaringan setelah penambahan link baru berdasarkan dua skenario simulasi. Penambahan link baru ini berhasil memecah beberapa titik kemacetan, menghasilkan penurunan paket loss dan peningkatan ketahanan jaringan.



GAMBAR 5
Topologi Jaringan PT XYZ Setelah Penambahan Link Baru Skenario 1



GAMBAR 6
Topologi Jaringan PT XYZ Setelah Penambahan Link Baru Skenario 2

Dari hasil implementasi, tercatat penurunan signifikan dalam jumlah paket yang hilang, menunjukkan bahwa strategi yang diimplementasikan berhasil mengurangi kemacetan dan meningkatkan kualitas layanan PT XYZ. Perubahan topologi ini menggambarkan bagaimana penambahan link baru dapat mempengaruhi aliran data dan stabilitas jaringan secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, implementasi strategi optimasi jaringan pada PT XYZ telah berhasil menunjukkan peningkatan dalam ketahanan dan performa jaringan. Analisis ini menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan dapat menjadi contoh bagi jaringan lain dalam menangani masalah kemacetan dan memperkuat infrastruktur jaringan mereka.

V. KESIMPULAN

Studi ini telah memberikan bukti yang menunjukkan bahwa penerapan algoritma Bellman-Ford dalam optimasi jaringan PT XYZ telah memberikan hasil yang signifikan. Algoritma telah berhasil mengidentifikasi dan mengoptimalkan jalur transmisi data, menyoroti simpul-simpul kritis dan link yang kelebihan beban, yang memungkinkan pengambilan keputusan strategis untuk mengurangi kemacetan. Dua skenario penambahan link yang diuji menunjukkan pengurangan kehilangan paket yang substansial, dengan skenario pertama menunjukkan penurunan sekitar 61% dan skenario kedua sekitar 54.5%. Menurut data penelitian "European Telecommunications

Standards Institute. (1999). Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS) (ETSI TR 101 329 V2.1.1). ETSI", jumlah packet loss dalam sebuah jaringan maksimal 25% sementara yang terbaik pada 5%. Sedangkan pada penelitian ini packet loss system jaringan PT XYZ dapat diturunkan dari 70% packet loss menjadi sekitar 30%. Untuk menurunkan packet lost dibawah 25%, perlu dilakukan beberapa skenario alternatif penambahan link baru [16]. Hal ini menegaskan bahwa penambahan link yang tepat sasaran berdasarkan analisis yang mendalam dapat meningkatkan kinerja jaringan secara keseluruhan.

REFERENSI

[1] K. Bhangale, R. Mapari, S. Randive, and K. Mapari, "Cross technology communication between LTE-U and Wi-Fi to improve overall qos of 5G system," 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), Aug. 2022. doi:10.1109/asiancon55314.2022.9909230

[2] A. Andure, "5G network simulation in Smart Cities using neural network algorithm," International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, vol. 10, no. 11, pp. 1433–1435, Nov. 2022. doi:10.22214/ijraset.2022.47608

[3] K. Lavanya, R. Indira, A. K. Velmurugan, and M. Janani, "Mobility-based optimized multipath routing protocol on Optimal Link State Routing in manet," *2023 International Conference on Applied Intelligence and Sustainable Computing (ICAISC)*, Jun. 2023. doi:10.1109/icaisc58445.2023.10199484

[4] A. A. Chertkov, Y. N. Kask, and L. B. Ochina, "Streaming network routing based on Bellman-Ford algorithm modification," *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, vol. 14, no. 4, pp. 615–627, Sep. 2022. doi:10.21821/2309-5180-2022-14-4-615-627

[5] D. Yiltas-Kaplan, "Traffic optimization with software-defined network controller on a new user interface," *JUCS - Journal of Universal Computer Science*, vol. 28, no. 6, pp. 648–669, Jun. 2022. doi:10.3897/jucs.80625

[6] S. Salman and S. Alaswad, "Mitigating the impact of congestion minimization on vehicles' emissions in a transportation road network," *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 11, no. 1, pp. 40–49, Mar. 2020. doi:10.24867/ijiem-2020-1-251

[7] S. M. Kostić, M. I. Simić, and M. V. Kostić, "Social network analysis and churn prediction in telecommunications using graph theory," *Entropy*, vol. 22, no. 7, p. 753, Jul. 2020. doi:10.3390/e22070753

[8] A. Backiel, B. Baesens, and G. Claeskens, "Predicting time-to-churn of prepaid mobile telephone customers using social network analysis," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 67, no. 9, pp. 1135–1145, Sep. 2016. doi:10.1057/jors.2016.8

[9] M. J. Bannister and D. Eppstein, "Randomized speedup of the bellman–Ford algorithm," *2012 Proceedings of the Ninth Workshop on Analytic Algorithmics and Combinatorics (ANALCO)*, Jan. 2012. doi:10.1137/1.9781611973020.6

[10] R. J. Sixtus J and T. Muthu, "An energy-efficient routing in cellular network to improve data transmission efficiency in edge users," *2022 Second International Conference on Advanced Technologies in Intelligent Control, Environment, Computing & Communication Engineering (ICATIECE)*, Dec. 2022. doi:10.1109/icatiece56365.2022.10047032

[11] S. Yogalakshmi, A. Veeramuthu, V. Kalist, A. A. Frank Joe, and L. Megalan Leo, "Intensive path loss analysis and improve energy efficiency over wireless mobile sensor network using hybrid routing model," *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, Mar. 2022. doi:10.1109/icears53579.2022.9752001

[12] G. T. Kim, J. Lee, L. Kant, and A. Poylisher, "Utility-driven traffic engineering via joint routing and rate control for 802.11 manets," *2021 International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS)*, Jan. 2021. doi:10.1109/comsnets51098.2021.9352893

[13] H. Saki, N. Khan, M. G. Martini, and M. M. Nasralla, "Machine learning based frame classification for videos transmitted over Mobile Networks," *2019 IEEE 24th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Sep. 2019. doi:10.1109/camad.2019.8858448

[14] Z. Li *et al.*, "Network topology optimization via deep reinforcement learning," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 71, no. 5, pp. 2847–2859, May 2023. doi:10.1109/tcomm.2023.3244239

[15] T. Nemes, A. David, and Z. Sule, "Proposing a decision-support system to maximize the robustness of computer network topologies," *2019 17th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)*, Nov. 2019. doi:10.1109/iceta48886.2019.9040050

[16] European Telecommunications Standards Institute, 'Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS),' ETSI TR 101 329 V2.1.1, 1999.