

Pemeringkatan Dinamis Adaptif Kinerja Jaringan Internet Menggunakan QoS yang Berubah Seiring Waktu dan Entropy-AHP-TOPSIS

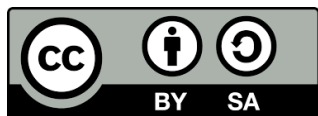
Tumbuh*, Agung Mulyo Widodo, Habibullah Akbar, Sandfreni

Universitas Esa Unggul, Indonesia

Email: charatana2@student.esaunggul.ac.id*, agung.mulyo@esaunggul.ac.id,
habibullah.akbar@esaunggul.ac.id, sandfreni@esaunggul.ac.id

Keywords:

Multi-Criteria Decision Making;
Time-Varying QoS; Entropy-
AHP-TOPSIS



This is an open access article under the
[CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author.
Published by
Publikasi Indonesia

Kata Kunci:

Pengambilan Keputusan Multi-
Kriteria; QoS Yang Berubah-Ubah
Seiring Waktu; Entropi-AHP-
TOPSIS

Abstract

Most previous studies evaluate the Quality of Service (QoS) of internet networks statically using average network parameter values or applying Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods such as AHP-TOPSIS to produce a single final ranking, an approach that assumes parameter weights remain constant throughout the observation period despite the dynamic nature of real network conditions. To address these limitations, this study proposes an adaptive dynamic ranking method of internet network performance that integrates time-varying QoS analysis with the Entropy-AHP-TOPSIS framework, where AHP is used to obtain initial subjective weights based on expert judgment, Entropy is used to calculate objective weights based on the degree of information variation in the QoS data in each observation period, and TOPSIS is used to dynamically rank networks using the resulting hybrid weights. The research methodology follows a quantitative approach by utilizing a longitudinal dataset of QoS measurements collected from two internet service providers over several observation periods, with computational implementation carried out using Python in the Google Colaboratory environment. The research findings show that Internet B consistently outperforms Internet A by achieving a first-ranking percentage of 95.97% and a stability index of 0.8111, confirming that the proposed dynamic ranking method effectively captures QoS fluctuations and provides more reliable and time-sensitive performance evaluation than static approaches. This research contributes a novel adaptive MCDM framework that has practical implications for network administrators who require responsive performance evaluation tools, while also building a foundation for extending this integrated approach to other domains such as cloud computing, edge networks, and IoT environments where dynamic QoS assessment is equally important.

Abstrak

Sebagian besar penelitian terdahulu mengevaluasi *Quality of Service* (QoS) jaringan internet secara statis menggunakan nilai rata-rata parameter jaringan atau menerapkan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) seperti AHP-TOPSIS untuk menghasilkan satu peringkat akhir, pendekatan yang mengasumsikan bobot parameter tetap sepanjang periode pengamatan meskipun kondisi jaringan nyata bersifat dinamis. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan metode pemeringkatan dinamis adaptif kinerja jaringan internet yang mengintegrasikan analisis *time-varying* QoS dengan kerangka Entropy-AHP-TOPSIS, di mana AHP digunakan untuk memperoleh bobot subjektif awal berdasarkan penilaian pakar, Entropy digunakan untuk menghitung bobot objektif berdasarkan tingkat variasi informasi pada data QoS di setiap periode pengamatan, dan TOPSIS digunakan untuk melakukan pemeringkatan jaringan secara dinamis menggunakan bobot hybrid yang dihasilkan. Metodologi penelitian mengikuti pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan dataset longitudinal pengukuran QoS yang dikumpulkan dari

dua penyedia layanan internet selama beberapa periode pengamatan, dengan implementasi komputasi dilakukan menggunakan Python di lingkungan Google Colaboratory. Temuan penelitian menunjukkan bahwa Internet B secara konsisten mengungguli Internet A dengan mencapai persentase peringkat pertama sebesar 95,97% dan indeks stabilitas 0,8111, yang mengonfirmasi bahwa metode pemeringkatan dinamis yang diusulkan secara efektif menangkap fluktuasi QoS dan memberikan evaluasi kinerja yang lebih andal dan peka terhadap waktu dibandingkan pendekatan statis. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa kerangka MCDM adaptif baru yang memiliki implikasi praktis bagi administrator jaringan yang membutuhkan alat evaluasi kinerja yang responsif, sekaligus membangun landasan untuk memperluas pendekatan terintegrasi ini ke domain lain seperti komputasi awan, jaringan tepi, dan lingkungan IoT di mana penilaian QoS dinamis sama pentingnya.

PENDAHULUAN

Sebagian besar penelitian terdahulu melakukan evaluasi *Quality of Service* (QoS) secara statis menggunakan nilai rata-rata parameter jaringan atau menerapkan metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) seperti AHP-TOPSIS untuk menghasilkan satu peringkat akhir (Yadav et al., 2024). Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan fundamental karena menganggap bobot setiap parameter QoS bersifat tetap sepanjang periode pengamatan. Padahal, dalam kondisi jaringan nyata, parameter seperti delay, jitter, throughput, dan packet loss berubah secara dinamis akibat fluktuasi lalu lintas data, perubahan jumlah pengguna, maupun kondisi infrastruktur jaringan yang tidak selalu stabil. Perubahan-perubahan tersebut menyebabkan tingkat kontribusi masing-masing parameter terhadap kualitas layanan juga dapat berubah dari waktu ke waktu, sehingga penggunaan bobot yang tetap berpotensi menghasilkan pemeringkatan yang kurang merepresentasikan kondisi jaringan sebenarnya (S.A. et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengakomodasi sifat dinamis dari parameter QoS dalam proses pemeringkatan kinerja jaringan (Hermawan et al., 2025; Mukhtar et al., 2025; Prakoso et al., 2024; Siddiqui et al., 2025; Wijayanto et al., 2025).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan suatu metode Pemeringkatan Dinamis Adaptif Kinerja Jaringan Internet yang mengombinasikan analisis *Time-Varying QoS* dengan metode Entropy-AHP-TOPSIS (Kaur et al., 2025). Metode AHP digunakan untuk memperoleh bobot awal berdasarkan penilaian pakar terhadap tingkat kepentingan setiap parameter QoS, sedangkan metode Entropy digunakan untuk menghitung bobot objektif berdasarkan tingkat variasi informasi yang terkandung pada data QoS di setiap periode pengamatan. Kombinasi kedua metode tersebut menghasilkan bobot yang lebih adaptif terhadap perubahan karakteristik data, sehingga proses pemeringkatan tidak hanya mempertimbangkan preferensi pakar tetapi juga kondisi jaringan aktual yang terukur. Dengan demikian, pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan representatif dibandingkan metode konvensional yang menggunakan bobot tetap (Chen et al., 2024).

Selanjutnya, metode TOPSIS digunakan untuk melakukan pemeringkatan jaringan pada setiap interval waktu berdasarkan bobot adaptif yang telah dihasilkan (Zheng, 2025). Dengan pendekatan tersebut, sistem mampu menghasilkan pemeringkatan yang berubah secara dinamis mengikuti kondisi jaringan sekaligus menyesuaikan tingkat kepentingan setiap parameter QoS sesuai dengan informasi yang terkandung dalam data pada masing-masing periode pengamatan. Hal ini berarti bahwa pada saat terjadi lonjakan traffic atau penurunan kualitas jaringan, sistem akan secara otomatis menyesuaikan bobot parameter sehingga pemeringkatan yang dihasilkan mencerminkan kondisi terkini. Pendekatan ini diharapkan memberikan hasil pemeringkatan yang lebih objektif, adaptif, dan representatif dibandingkan

metode konvensional yang menggunakan bobot tetap.

Selain menghasilkan pemeringkatan pada setiap periode pengamatan, penelitian ini juga mengevaluasi stabilitas performa jaringan berdasarkan perubahan nilai QoS dan perubahan posisi peringkat dari waktu ke waktu. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu mengidentifikasi jaringan dengan performa terbaik pada suatu saat tertentu, tetapi juga mampu menentukan jaringan yang paling konsisten selama keseluruhan periode observasi. Kemampuan ini sangat penting bagi penyedia layanan internet dan administrator jaringan dalam mengambil keputusan strategis terkait peningkatan kualitas layanan secara berkelanjutan. Evaluasi stabilitas ini menjadi nilai tambah yang membedakan penelitian ini dari studi-studi sebelumnya yang hanya berfokus pada pemeringkatan tunggal tanpa memperhatikan aspek konsistensi kinerja.

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode MCDM dalam konteks jaringan dan telekomunikasi. Penelitian oleh S.A. et al., (2025) membahas pengalihan sebagian tugas dengan mempertimbangkan latensi menggunakan model keputusan multikriteria dalam jaringan *IoT-fog-cloud*. Sementara itu, (Putra et al., 2021) melakukan analisis kinerja jaringan wireless berdasarkan parameter QoS yang meliputi *throughput*, *delay*, dan *packet loss*. (Lai, 2025) mengembangkan metrik dan protokol routing untuk jaringan mesh nirkabel berbasis teori entropi informasi. (Steffen et al., 2024) mengusulkan indeks ternormalisasi baru untuk pemeringkatan makalah dalam tinjauan pustaka sistematis. (Inafah et al., 2026) dalam kajian sistematisnya menemukan bahwa AHP paling sering digunakan sebagai pembobot dan TOPSIS sebagai metode perankingan pada berbagai sistem pendukung keputusan. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih menerapkan pembobotan statis atau hanya berfokus pada aspek tertentu dari QoS tanpa mengintegrasikan pendekatan dinamis yang adaptif terhadap perubahan kondisi jaringan.

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesenjangan penelitian (*research gap*) yang masih perlu diisi. Pertama, belum banyak penelitian yang menggabungkan pembobotan subjektif (AHP) dan objektif (*Entropy*) secara bersamaan dalam konteks pemeringkatan kinerja jaringan internet yang dinamis. Kedua, sebagian besar studi masih menerapkan metode tersebut pada domain-domain tertentu seperti pemilihan supplier, e-wallet, atau infrastruktur jalan, sehingga penerapannya pada evaluasi kinerja jaringan internet masih terbatas. Ketiga, aspek evaluasi stabilitas performa jaringan berdasarkan perubahan QoS dari waktu ke waktu masih jarang menjadi perhatian dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengisi celah-celah tersebut dengan mengusulkan model pemeringkatan dinamis adaptif yang komprehensif.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak akan metode evaluasi kinerja jaringan yang lebih akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi jaringan. Di era digital saat ini, kualitas koneksi internet menjadi faktor kritis yang memengaruhi berbagai aspek kehidupan, mulai dari aktivitas bisnis, pendidikan, hingga layanan publik. Penggunaan bobot statis dalam evaluasi QoS dapat menghasilkan keputusan yang kurang tepat dan berpotensi merugikan pengguna layanan. Dengan pendekatan dinamis adaptif yang diusulkan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem evaluasi kinerja jaringan yang lebih handal dan mampu beradaptasi dengan perubahan kondisi jaringan secara real-time.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi tiga komponen utama, yaitu analisis *time-varying QoS*, pembobotan *hybrid Entropy-AHP*, dan evaluasi stabilitas performa jaringan dalam satu kerangka pemeringkatan dinamis adaptif. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya menerapkan Entropy-AHP-TOPSIS secara terpisah atau pada domain yang berbeda, penelitian ini mengkombinasikan ketiga pendekatan tersebut secara simultan dalam konteks evaluasi kinerja jaringan internet. Selain itu, penelitian ini juga menambahkan dimensi evaluasi stabilitas yang belum banyak dijelajahi dalam literatur sebelumnya, sehingga memberikan kontribusi teoretis dan praktis yang signifikan.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model pemeringkatan dinamis adaptif kinerja jaringan internet menggunakan metode Entropy-AHP-TOPSIS berbasis data QoS yang berubah seiring waktu, serta mengevaluasi stabilitas performa jaringan berdasarkan perubahan nilai QoS dan perubahan posisi peringkat dari waktu ke waktu. Kontribusi penelitian ini meliputi pengembangan kerangka MCDM adaptif untuk evaluasi kinerja jaringan, penyediaan bukti empiris tentang efektivitas metode yang diusulkan, serta rekomendasi praktis bagi penyedia layanan internet dalam meningkatkan kualitas layanan. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi administrator jaringan dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berbasis data, serta menjadi landasan bagi penelitian selanjutnya di bidang evaluasi kinerja jaringan dinamis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan perhitungan *Entropy-AHP-TOPSIS* untuk menghasilkan pemeringkatan dinamis adaptif kinerja jaringan internet berdasarkan data *Quality of Service* (QoS) yang berubah seiring waktu. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan mengukur dan menganalisis data numerik dari parameter-parameter QoS secara objektif, serta menghasilkan peringkat yang dapat diuji dan divalidasi secara statistik. Jenis penelitian ini tergolong sebagai penelitian terapan (*applied research*) karena berfokus pada pengembangan model pemeringkatan yang dapat diimplementasikan secara langsung untuk mengevaluasi kinerja jaringan internet di lapangan. Hubungan masalah yang diteliti berawal dari observasi lapangan yang dilakukan dengan membuat tabel penelitian yang mencakup tanggal, waktu, jaringan ISP, dan parameter pengukuran delay, jitter, throughput, packet loss, serta parameter lainnya yang digunakan untuk pengukuran. Langkah demi langkah dilakukan secara sistematis untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Berikut dataset yang dianalisis pada penelitian ini:

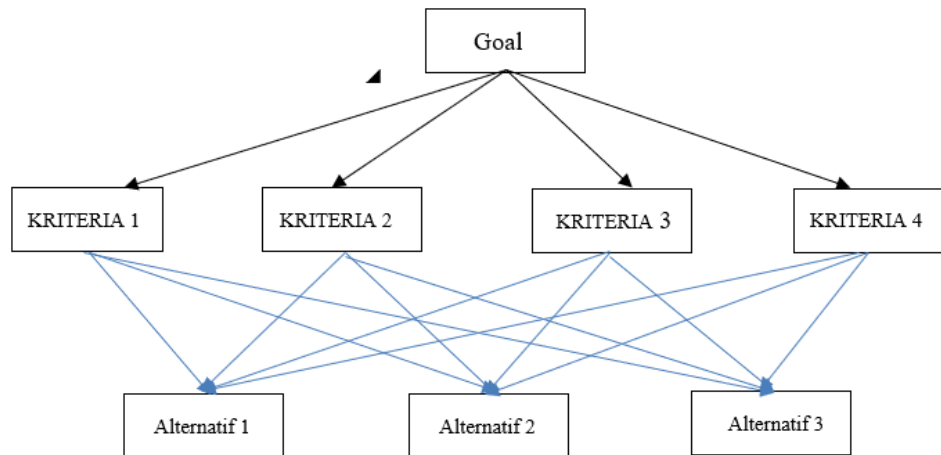
Record ID	Tanggal	Waktu	Timestamp	Hari	Day Index	Hour	Computer ID	Jaringan ISP	Download Mbps	Upload Mbps	Latency ms	Jitter ms	Packet Loss Persen
1	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-01	Internet A	1645908	664522	237811	51166	5537
2	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-02	Internet A	1645865	658084	244742	51583	3721
3	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-03	Internet A	1708281	682654	239707	53427	5549
4	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-04	Internet A	1762463	677894	229401	48674	4793
5	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-05	Internet A	1712084	652415	24161	48855	4403
6	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-06	Internet A	1699561	707343	233149	50181	5436
7	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-07	Internet A	1694908	688746	235658	52168	5125
8	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-08	Internet A	1742507	662076	232946	51997	4597
9	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-09	Internet A	1613571	686783	240731	52986	5041
10	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-10	Internet A	169231	662014	232312	50707	479
11	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-01	Internet B	1241599	503532	157216	3626	2874
12	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-02	Internet B	126739	464484	164485	366	3506
13	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-03	Internet B	1133611	480274	168121	33832	484
14	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-04	Internet B	1209858	487556	162465	33484	3078
15	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-05	Internet B	124035	464843	158192	34943	2832
16	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-06	Internet B	1223851	502872	156017	32233	3219
17	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-07	Internet B	1267843	480269	162726	35039	2702
18	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-08	Internet B	1333025	496323	15755	3359	3142
19	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-09	Internet B	1306466	509751	153074	34006	4047
20	01/01/2026	00.00.00	01/01/2026 00.00	Thursday	1	0	PC-10	Internet B	1271263	512703	168731	33121	2404
21	01/01/2026	01.00.00	01/01/2026 01.00	Thursday	1	1	PC-01	Internet A	178714	715283	217981	47655	4615
22	01/01/2026	01.00.00	01/01/2026 01.00	Thursday	1	1	PC-02	Internet A	1755217	653986	222337	43076	2764

Gambar 1. Dataset dinamis Adaptif QoS

Sumber: Dataset penelitian, dokumentasi peneliti, 2026.

Perancangan model merupakan tahapan inti penelitian yang bertujuan menghasilkan arsitektur pemeringkatan dinamis adaptif kinerja jaringan internet dengan mengintegrasikan informasi dari beberapa kriteria dan alternatif melalui pendekatan multikriteria learning. Arsitektur yang diusulkan terdiri atas tiga komponen utama, yaitu goal, kriteria, dan alternatif (Gambar 2), sehingga sistem tidak hanya menilai kualitas jaringan berdasarkan satu parameter, tetapi menggunakan beberapa parameter QoS secara bersamaan. Sifat adaptif sistem ditunjukkan melalui proses pembobotan yang mempertimbangkan karakteristik data aktual, di mana metode entropy digunakan untuk memperoleh bobot objektif berdasarkan tingkat variasi

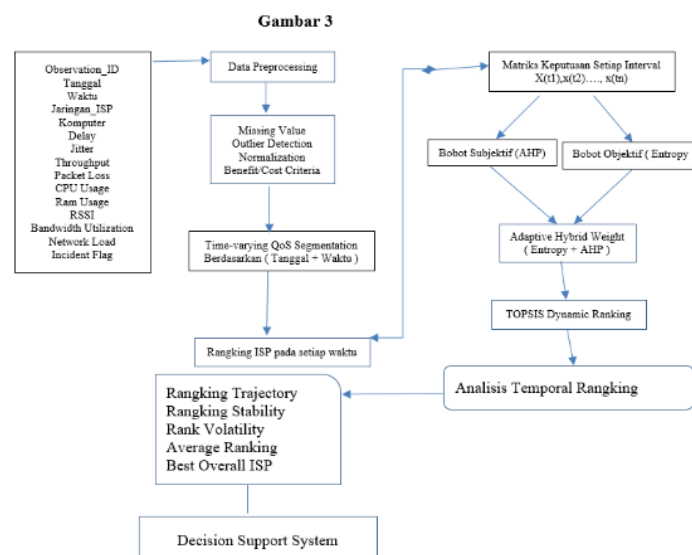
informasi, sedangkan AHP digunakan untuk mempresentasikan tingkat kepentingan relatif antar parameter, dan bobot hasil kombinasi selanjutnya digunakan pada metode TOPSIS untuk menentukan peringkat alternatif jaringan.



Gambar 2. Arsitektur Multikriteria

Sumber: Rancangan peneliti, 2026.

Untuk analisis data yang sudah ada, termasuk fitur-fitur yang mendukung proses penelitian berdasarkan alur diagram arsitektur yang dianalisis seperti pada Gambar 3. Populasi data dalam penelitian ini adalah seluruh data pengukuran QoS yang dikumpulkan dari dua jaringan internet yang tersedia di lokasi penelitian, yaitu Internet A dan Internet B, selama periode pengamatan yang telah ditentukan. Sampel data yang digunakan adalah data pengukuran parameter QoS yang terdiri dari enam kriteria, yaitu download (Mbps), upload (Mbps), latency (ms), availability (%), jitter (ms), dan packet loss (%), yang diambil pada setiap interval waktu pengamatan. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah purposive sampling, di mana data dikumpulkan secara sengaja dari dua jaringan internet yang aktif dan dapat diakses selama periode penelitian berlangsung.



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

Sumber: Rancangan peneliti, 2026.

Karakteristik perubahan parameter QoS pada beberapa jaringan Internet merupakan metode yang digunakan untuk mengukur dan mengevaluasi kualitas suatu jaringan berdasarkan beberapa parameter diatas. Keenam parameter tersebut tersebut dapat mengalami perubahan

berdasarkan kondisi jaringan, jumlah pengguna, jenis koneksi, jarak perangkat dengan sumber jaringan, serta tingkat kepadatan trafik.

Throughput yaitu kecepatan (*rate*) transfer data efektif yang di ukur dalam bps(Turlykozhasyeva et al., 2023). *Throughput* merupakan total jumlah paket kedatangan yang berhasil diamati pada destination selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut. Persamaan yang digunakan sebagai berikut :

Throughput = $\frac{\text{Jumlah data yang diterima (byte)}}{\text{Waktu Pengiriman Data (s)}}$

Delay yaitu total waktu dari pengirim ke penerima yang melalui jaringan. Delay merupakan total waktu yang dilalui suatu paket dari pengirim ke penerima melalui jaringan transmisi.

$D = Pr - Ps$

Dengan D adalah delay, Pr adalah waktu penerimaan paket di tujuan, sedangkan Ps adalah waktu pengiriman dari asal. Selanjutnya untuk menghitung rata rata delay keseluruhan dapat dihitung menggunakan.

Rata-rata = $\frac{\text{Jumlah delay}}{\text{Jumlah paket yang dihitung}}$

Packet Loss yaitu Presentasi jumlah paket data yang hilang atau gagal mencapai tujuan akibat error atau kemacetan jaringan. Untuk mengetahui tingkat atau katagori dari packet Loss dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

Packet Loss = $\left(\frac{\text{paket yang dikirim} - \text{Paket yang diterima}}{\text{Paket yang dikirim}} \right) \times 100\%$

Jitter yaitu Variasi atau perubahan waktu kedatangan paket data (delay) atau perubahan waktu tunda selama proses transmisi data melalui media jaringan. Berikut ini adalah persamaan yang di gunakan untuk menghitung nilai jitter

Jitter = $D_2 - \left(\sum D_i \right)$

Dimana D_2 adalah nilai delay ke 2 dan $\left(\sum D_i \right)$ adalah jumlah dari nilai delay dikurangi nilai delay selanjutnya. Untuk menghitung rata-rata jitter keseluruhan dapat di hitung menggunakan.

Rata-rata = $\frac{\text{Jumlah Jitter}}{\text{Jumlah Paket Yang di hitung}}$

Perbandingan Karakteristik Kondisi jaringan mempengaruhi karakteristik dari masing-masing parameter.

Definisi Entropy

Entropy merupakan suatu model pendukung keputusan yang dioleh Thomas L. Saaty, model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multifactor atau multi kriteria yang kompleks semakin besar variasi suatu kriteria, semakin penting kriteria tersebut. Metode Entropy digunakan untuk menentukan bobot objektif dari setiap kriteria berdasarkan tingkat variasi atau ketidakpastian atau ketidakaturan dalam sistem komunikasi Konsep entropy Shannon kemudian diadaptasi oleh berbagai peneliti dan di perluas dalam berbagai bidang termasuk pengambilan keputusan dan teori fuzzy (li et al., 2021). Keunggulan metode pembobotan entropy adalah kemampuannya untuk memperhitungkan kompleksitas dan ketidakpastian dalam data kriteria, sehingga memberikan pembobotan yang lebih objektif (alamri et al., 2024). Metode ini membantu untuk menghasilkan keputusan yang lebih baik dan lebih komprehensif dalam situasi dimana terdapat banyak kriteria yang harus dipertimbangkan (Mishra et al., 2023).

Metode Entropy

Beberapa Tahapan-tahapan metode Entropy dalam menghitung sebelum pembobotan kriteria. Pertama membuat matriks keputusan (*Decision matrix*), Kedua membuat normalisasi Matriks Keputusan, Ketiga membuat hitungan Nilai Proporsi, Keempat membuat hitungan Nilai Entropy, Kelima membuat hitungan Nilai Dispersi, Keenam membuat hitungan Nilai

Bobot Kriteria.

Hitungan Entropy

Normalisasi Data :

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

X_{ij}: nilai alternative ke-1 pada kriteria ke-j

P_{ij}: nilai normalisasi

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$$

Menghitung Entropy untuk setiap kriteria :

$$K = \frac{1}{n}$$

$$1n(m), m = \text{jumlah alternative} \quad E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} * 1n(P_{ij})$$

E_j: nilai Entropy dari kriteria ke-j

Menghitung derajat ketidakpastian (d) $d_j = 1 - E_j$

Menentukan bobot objektif: $W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j$

Definisi AHP

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multifaktor atau multikriteria yang kompleks menjadi suatu hirarki. Menurut Saaty (1993), hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi-level, di mana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, subkriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif. AHP digunakan untuk merumuskan dan menganalisis keputusan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Peralatan utama dari model ini adalah hirarki fungsional dengan input utamanya persepsi manusia [10]. Keunikan metode ini dibandingkan dengan metode lainnya adalah dalam menentukan bobot kriteria berdasarkan hasil evaluasi matriks bobot kriteria, bukan ditentukan oleh stakeholder. Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot subjektif antar kriteria berdasarkan penilaian pakar. Proses ini dilakukan melalui perbandingan berpasangan antar kriteria.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ [1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ [\cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ [\cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ [\cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ [1/a & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Normalisasi matriks dan hitung bobot:

$$W_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} / n$$

Konsistensi :

$$\lambda_{\max} = \sum(A-w)/w$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

Terdapat 3 elemen penting kriteria dalam mencapai yaitu masalah, kriteria dan alternative. Konsep dari metode *Analitycal hierarchy process* (AHP) suatu masalah yang kompleks dan tidak terstruktur dipecah kedalam kelompok-kelompoknya tersebut menjadi suatu bentuk hirarki (Martins Queiroz et al., 2025). Perbedaan antara model AHP dengan pengambil keputusan lainnya terletak pada jenis input nya.

Sintesis

Untuk memperoleh prioritas secara keseluruhan, maka pertimbangan-pertimbangan terhadap perbandingan berpasangan perlu disintesis dalam langkah ini. Hal-hal yang dilakukan adalah: (1) menjumlahkan nilai-nilai dari setiap kolom pada matriks; (2) membagi setiap nilai dari kolom dengan total kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks; (3) menjumlahkan nilai-nilai dari setiap baris dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan nilai rata-rata.

Mengukur Konsistensi

Dalam pembuatan keputusan, tingkat konsistensi penting untuk diperhatikan karena kita tidak menginginkan keputusan berdasarkan pertimbangan dengan konsistensi yang rendah, dengan nilai maksimal Consistency Ratio (CR) $\leq 0,1$ atau 10%. Hal-hal yang dilakukan dalam langkah ini adalah: (1) mengalikan setiap nilai pada kolom pertama dengan prioritas relatif elemen pertama, nilai pada elemen kedua dengan prioritas relatif elemen kedua, dan seterusnya; (2) menjumlahkan setiap baris; (3) hasil dari penjumlahan baris dibagi elemen prioritas relatif yang bersangkutan; (4) menjumlahkan hasil bagi di atas dengan banyaknya elemen yang ada, hasilnya disebut λ maksimal.

Hitung Consistency Index (CI):

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

Keterangan:

$\lambda_{\max}$ = nilai eigen maksimum (principal eigenvalue)

n = jumlah kriteria atau alternatif yang dibandingkan

Hitung Consistency Ratio (CR):

$$CR = CI / RI$$

Definisi Topsis

TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) menurut para pakar adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang didasarkan pada konsep pilihan alternatif terbaik. Alternatif terbaik tersebut tidak hanya memiliki jarak terpendek dari solusi ideal positif, tetapi juga memiliki jarak terjauh dari solusi ideal negatif (Nugroho, 2025). Menurut Hwang dan Yoon (1981), tokoh yang pertama kali memperkenalkan metode TOPSIS, metode ini didefinisikan sebagai metode untuk menyelesaikan masalah pemilihan alternatif multikriteria berdasarkan kedekatan jarak ke solusi ideal (positif dan negatif) (Inafah et al., 2026; Suryanto et al., 2024).

Metode Topsis

Normalisasi matriks keputusan :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

Membentuk Matriks keputusan terbobot:

$$Y_{ij} = w_j r_{ij}$$

Menentukan solusi ideal positif dan negatif :

$$A^+ = \{\max(Y_{ij}) | j \in \text{benefit}; \min(Y_{ij}) | j \in \text{cost}\}$$

$$A^- = \{\min(Y_{ij}) | j \in \text{benefit}; \max(Y_{ij}) | j \in \text{cost}\}$$

Menghitung jarak ke solusi ideal :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - A_j^+)^2}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - A_j^+)^2}$$

Menghitung nilai preferensi:

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}$$

Literatur Review

Berikut studi literatur penelitian sebelumnya mengenai penggunaan metode Entropy-AHP-TOPSIS yang dapat digunakan untuk kajian pustaka atau *research gap* dalam proses penelitian.

Tabel 1. Literatur Review

No.	Penelitian Sebelumnya	Fakta Peneliti	Kelebihan	Kekurangan/Research gap
1	Wang dkk. (2020), <i>A Novel Multi-Criteria Decision-Making Model for Building Material Supplier Selection Based on Entropy-AHP Weighted TOPSIS</i>	Mengintegrasikan bobot objektif (Entropy) dan bobot subjektif (AHP) ke dalam metode TOPSIS untuk pemilihan pemasok material bangunan.	Kombinasi bobot menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan akurat dibandingkan menggunakan satu metode pembobotan.	Studi hanya diterapkan pada pemilihan supplier sehingga generalisasi ke bidang lain masih terbatas
2	Rofid dkk. (2024), <i>Sistem Pengambilan Keputusan Multikriteria Menggunakan</i>	Entropy digunakan untuk menghitung bobot objektif, AHP untuk bobot subjektif, dan TOPSIS untuk menentukan alternatif terbaik e-wallet.	Mengurangi subjektivitas pengambilan keputusan dan meningkatkan akurasi hasil pemeringkatan	Objek penelitian terbatas pada pemilihan e-wallet sehingga belum menguji fleksibilitas metode pada sektor lain
3	Chen (2019), <i>Effects of Normalization on the Entropy-based TOPSIS Method</i>	Menunjukkan bahwa metode normalisasi sangat memengaruhi hasil Entropy-TOPSIS. Vector Normalization dan Sum Normalization lebih stabil dibanding Min-Max Normalization.	Memberikan pedoman pemilihan teknik normalisasi agar hasil pemeringkatan lebih konsisten	Penelitian tidak menggabungkan pembobotan subjektif seperti AHP sehingga hanya mengevaluasi Entropy-TOPSIS.
4	Chen (2021), <i>Effects of the Entropy Weight on TOPSIS</i>	Bobot Entropy dapat memperbesar pengaruh kriteria yang memiliki variasi data tinggi sehingga memengaruhi hasil ranking TOPSIS.	Menjelaskan karakteristik bobot Entropy secara teoritis dan menawarkan koefisien penyesuaian bobot	Tidak mengombinasikan Entropy dengan AHP sehingga keseimbangan antara bobot objektif dan subjektif belum dibahas
5	Alam dkk. (2025), <i>Comparative Study of</i>	Membandingkan AHP-TOPSIS dan	Menunjukkan bahwa metode pembobotan	Belum menggabungkan

	<i>AHP-TOPSIS vs Entropy-TOPSIS for Prioritizing Road Damage Repair</i>	Entropy-TOPSIS dalam prioritas perbaikan jalan berdasarkan PCI	memberikan hasil prioritas yang berbeda sehingga pemilihan metode sangat memengaruhi keputusan.	Entropy dan AHP secara bersamaan dalam satu model pembobotan.
6	Inafah dkk. (2026), <i>A Systematic Literature Review of AHP-TOPSIS Applications in Decision Support Systems</i>	Kajian sistematis menemukan bahwa AHP paling sering digunakan sebagai pembobot dan TOPSIS sebagai metode perangkungan pada berbagai sistem pendukung keputusan	Membuktikan bahwa kombinasi AHP-TOPSIS konsisten digunakan pada berbagai bidang karena mudah diimplementasikan	Penelitian merekomendasikan pengembangan dengan mengintegrasikan metode pembobotan objektif seperti Entropy untuk meningkatkan kualitas keputusan

Sumber: Diolah peneliti berdasarkan literatur terdahulu, 2026.

Secara umum studi literatur review dari penelitian sebelumnya dapat diidentifikasi beberapa fakta sebagai berikut :

Entropy digunakan untuk memperoleh bobot objektif berdasarkan variasi data sehingga mengurangi subjektifitas penilaian.

AHP digunakan untuk memperoleh bobot Subjektif berdasarkan penilaian para pakar dan dapat menguji konsistensi penilaian menggunakan *Consistency Ratio* (CR).

TOPSIS merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menentukan alternative terbaik karena mempertimbangkan jarak terhadap solusi ideal positif dan solusi ideal negative.

Kolaborasi atau penggabungan dari Entropy-AHP-TOPSIS menghasilkan sistem pengambilan keputusan yang lebih seimbang karena dengan mengombinasikan bobot objektif dan subjektif sebelum pemerinktan .

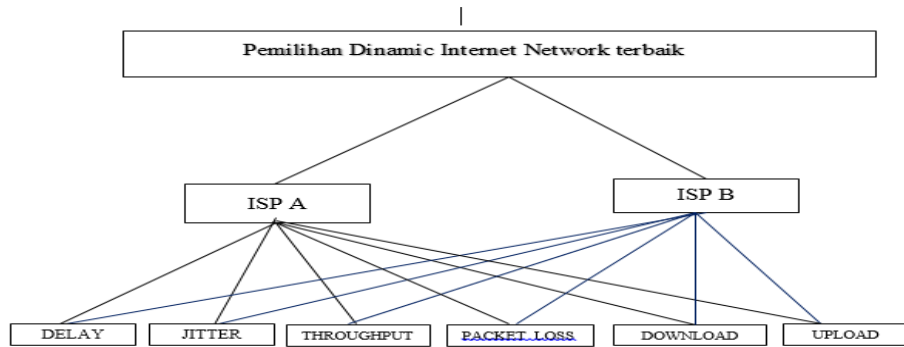
Hasil penelitian menunjukan bahwa kombinasi metode metode tersebut mampu meningkatkan akurasi dan reliabilitas keputusan dibandingkan penggunaan Entropy, AHP, atau TOPSIS secara terpisah.

Sebagian besar penelitian masih berfokus pada bidang tertentu seperti pemilihan supplier, e-wallet, pendidikan, SDM, dan infrastruktur, sehingga penerapan pada domain lain masih menjadi peluang penelitian.

Research Gap Dari identifikasi tersebut dapat disimpulkan bahwa masih terdapat beberapa celah penelitian, Belum banyak penelitian yang menerapkan kombinasi Entropy–AHP–TOPSIS pada berbagai konteks di luar domain yang telah banyak diteliti.

Data Alternatif dan Kriteria

Data alternatif merupakan objek yang akan diberikan nilai dan peringkat berdasarkan hasil pengukuran parameter QoS. Alternatif dalam penelitian ini berupa dua jaringan internet yang tersedia pada lokasi penelitian misalnya Internet A selanjutnya Internet B. Sedangkan data kriteria merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kualitas dari masing-masing alternatif. Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari parameter Quality of Service yang menggambarkan kemampuan jaringan dalam mengirimkan data. diantara parameter tersebut yang digunakan throughput, delay, jitter, dan packet Loss.

**Gambar 4.** Kriteria dan Alternatif

Sumber: Rancangan peneliti berdasarkan model Entropy-AHP-TOPSIS, 2026.

Struktur Hirarki

Implementasi Model

Implementasi model merupakan tahapan penerapan rancangan Entropy-AHP-TOPSIS dengan multi kriteria ke dalam bentuk sistem yang dapat digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan, pelatihan model, validasi, serta evaluasi hasil. Konfigurasi lingkungan komputasi untuk implementasi seperti pada tabel berikut.

Tabel 2. Lingkungan Komputasi yang Digunakan

Komponen		Spesifikasi
Platform		Google Colaboratory
Bahasa Pemrograman		Python 3.10
Framework		TensorFlow 2.x, Keras
Graphics Processing Unit (GPU)	NVIDIA Tesla T4/L4/A100	(sesuai yang digunakan saat eksperimen)
Sistem Operasi		Linux (Google Colab)

Sumber: Dokumentasi lingkungan komputasi penelitian, diolah peneliti, 2026.

Implementasi model memanfaatkan beberapa pustaka (*library*) Python sesuai dengan fungsinya. Daftar library yang digunakan dalam implementasi model seperti pada tabel berikut.

Tabel 3. Daftar Library yang Digunakan pada Implementasi Model

No.	Library / Modul	Fungsi dalam Penelitian
1	Json	Membaca dan menyimpan data dalam format JSON apabila diperlukan.
2	Warnings	Menonaktifkan pesan peringatan selama proses komputasi.
3	Datetime	Mengelola tanggal dan waktu observasi
4	IO	Operasi Input output data
5	NumPy (np)	Operasi numerik, matriks, eigenvalue AHP, normalisasi, serta komputasi TOPSIS dan Entropy.
6	Pandas (pd)	Membaca dataset Excel, preprocessing data, manipulasi DataFrame, agregasi, dan analisis statistik
7	scipy.stats.spearmanr	Menghitung korelasi peringkat Spearman untuk evaluasi hasil.
8	Matplotlib.pyplot (plt)	Visualisasi data, grafik QoS, bobot AHP, korelasi, boxplot, dan perubahan parameter terhadap waktu
9	scipy.stats.kendalltau	Menghitung korelasi Kendall Tau sebagai evaluasi konsistensi pemeringkatan.
10	OS (Operating System Library)	Mengelola direktori, membaca struktur folder dataset, serta mengatur lokasi penyimpanan hasil preprocessing dan model.
11	Shutil	Menyalin, memindahkan, dan mengelola file hasil preprocessing maupun hasil eksperimen.
12	Google Colab Files	Mengunggah (<i>upload</i>) dan mengunduh (<i>download</i>) dataset maupun hasil eksperimen pada lingkungan Google

13	IPython Display	Colaboratory. Menampilkan tabel, maupun hasil evaluasi secara interaktif pada notebook Google Colaboratory.
14	Joblib	Menyimpan dan memuat objek Python seperti Label Encoder atau parameter model sehingga dapat digunakan kembali tanpa proses pelatihan ulang.
18	OpenPyXL	Membaca dan menulis file Microsoft Excel (.xlsx) yang digunakan untuk metadata dataset atau penyimpanan hasil eksperimen.

Sumber: Dokumentasi implementasi model, diolah peneliti, 2026.

Agar lebih mudah dipahami oleh pembaca tesis, library tersebut juga dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya sebagai berikut.

Tabel 4. Kelompok Library Berdasarkan Fungsi

Tahapan Penelitian	Library yang Digunakan
Manajemen File dan Dataset	os, glob, shutil, google.colab.files, openpyxl, pandas
Preprocessing Data	OpenCV, NumPy,
Pembangunan Model Entropy-AHP-TOPSIS	TensorFlow, BatchNormalization, Dropout, LayerNormalization, , TimeDistributed, dan layer lainnya)
Pelatihan dan Validasi Model	TensorFlow, Scikit-learn, Joblib
Evaluasi Model	Scikit-learn, Matplotlib, IPython.display
Monitoring	Matplotlib, Seaborn, TQDM

Sumber: Hasil klasifikasi peneliti, 2026.

HASIL DAN PEMBAHASAN

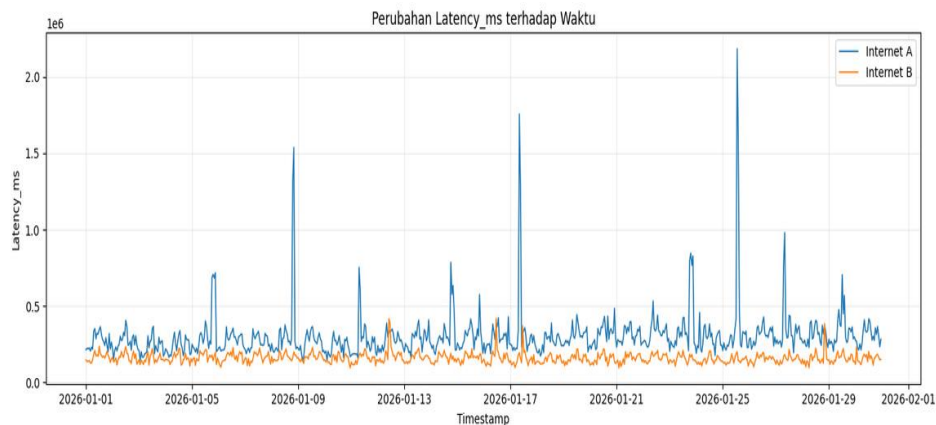
Untuk menjawab rumusan masalah pertama mengenai karakteristik perubahan parameter QoS (download, upload, delay, jitter, throughput, dan packet loss) pada beberapa jaringan internet selama periode pengamatan, dilakukan analisis terhadap data yang telah dikumpulkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap parameter QoS memiliki karakteristik perubahan yang berbeda-beda tergantung pada kondisi jaringan dan waktu pengamatan. Secara umum, parameter-parameter tersebut dapat dikelompokkan ke dalam kondisi jaringan baik dan kondisi jaringan buruk, seperti yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan parameter

Parameter	Kondisi jaringan baik	Kondisi jaringan buruk
Delay	Rendah	tinggi
Jitter	Rendah dan Stabil	Tinggi dan tidak stabil
Throughput	Tinggi	Rendah
Packet Loss	Rendah/mendekati 0%	Tinggi

Sumber: Hasil analisis data QoS, diolah peneliti, 2026.

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa pada kondisi jaringan yang baik, delay berada pada nilai yang rendah, jitter rendah dan stabil, throughput tinggi, serta packet loss mendekati 0%. Sebaliknya, pada kondisi jaringan yang buruk, delay menjadi tinggi, jitter tinggi dan tidak stabil, throughput rendah, serta packet loss tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa keempat parameter QoS saling berkaitan dan memengaruhi satu sama lain dalam menentukan kualitas suatu jaringan internet.

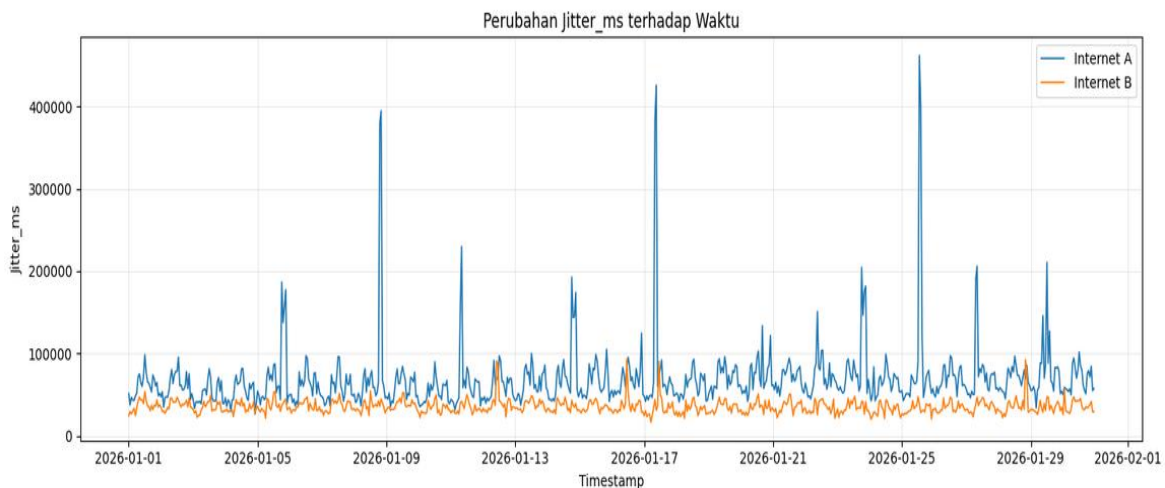


Gambar 5. Perubahan Latency_ms terhadap Waktu

Sumber: Hasil visualisasi data penelitian menggunakan Python, 2026.

Gambar 5 menunjukkan perubahan latency (ms) terhadap waktu pada kedua jaringan internet yang diamati. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa latency pada Internet B cenderung lebih stabil dan berada pada nilai yang lebih rendah dibandingkan Internet A. Internet A menunjukkan fluktuasi latency yang lebih tinggi, dengan beberapa lonjakan yang signifikan pada periode-periode tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa Internet B memiliki konsistensi yang lebih baik dalam hal latency dibandingkan Internet A.

Gambar 6 menunjukkan perubahan jitter terhadap waktu pada kedua jaringan internet. Jitter merupakan variasi delay yang terjadi selama transmisi data, sehingga semakin rendah dan stabil nilai jitter, semakin baik kualitas jaringan. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, Internet B menunjukkan nilai jitter yang cenderung lebih rendah dan stabil dibandingkan Internet A. Internet A menunjukkan fluktuasi jitter yang lebih tinggi, yang mengindikasikan adanya ketidakstabilan dalam proses transmisi data.

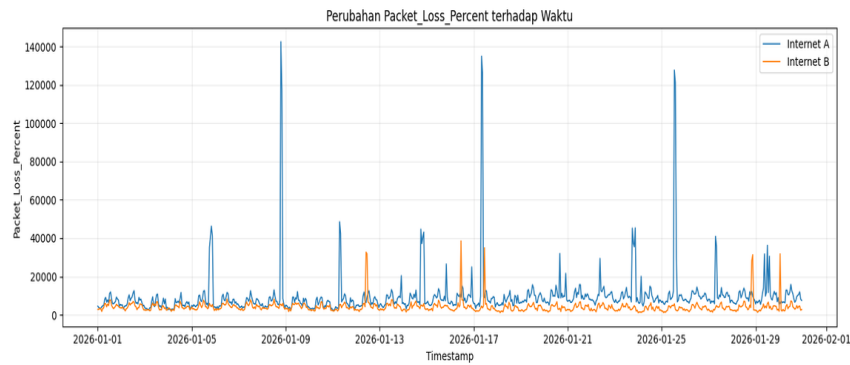


Gambar 6. Perubahan jitter Terhadap waktu

Sumber: Hasil visualisasi data penelitian menggunakan Python, 2026.

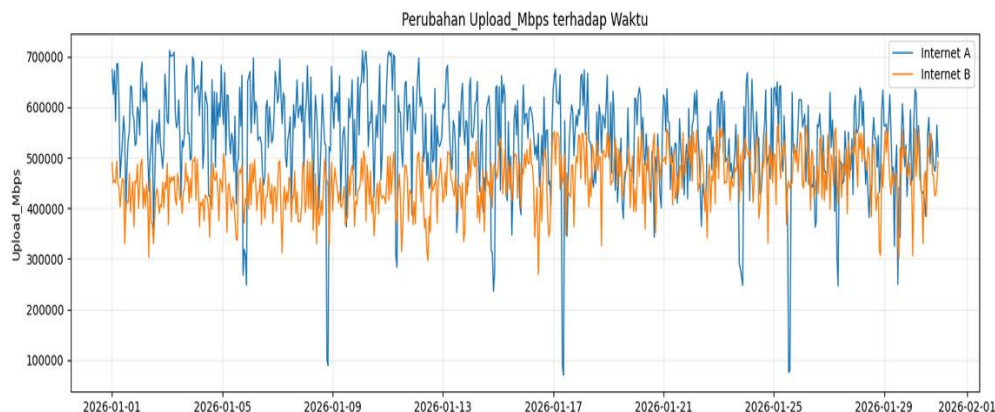
Gambar 7 menunjukkan perubahan packet loss terhadap waktu pada kedua jaringan internet. Packet loss merupakan persentase paket data yang hilang selama proses transmisi. Semakin rendah nilai packet loss, semakin baik kualitas jaringan. Berdasarkan grafik pada Gambar 7, Internet B menunjukkan packet loss yang cenderung lebih rendah dan mendekati 0% dibandingkan Internet A yang menunjukkan packet loss yang lebih tinggi pada beberapa

periode pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa Internet B memiliki reliabilitas yang lebih baik dalam pengiriman data.



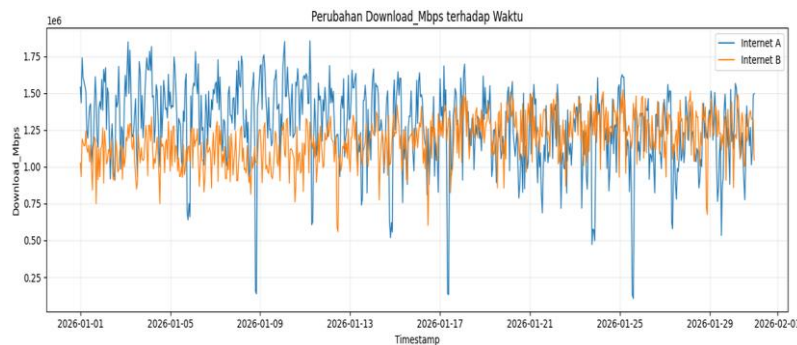
Gambar 7. Perubahan Packet Loss_ms terhadap waktu
Sumber: Hasil visualisasi data penelitian menggunakan Python, 2026.

Gambar 8 menunjukkan perubahan upload (Mbps) terhadap waktu pada kedua jaringan internet. Upload merupakan kecepatan pengiriman data dari pengguna ke server. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, Internet B menunjukkan kecepatan upload yang cenderung lebih tinggi dan stabil dibandingkan Internet A. Fluktuasi pada Internet A lebih tinggi, yang mengindikasikan adanya variasi kinerja yang cukup signifikan.



Gambar 8. Perubahan Upload_Mbps terhadap Waktu
Sumber: Hasil visualisasi data penelitian menggunakan Python, 2026.

Gambar 9 menunjukkan perubahan download (Mbps) terhadap waktu pada kedua jaringan internet. Download merupakan kecepatan penerimaan data dari server ke pengguna. Berdasarkan grafik, Internet B menunjukkan kecepatan download yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan Internet A. Hal ini mengonfirmasi bahwa Internet B secara konsisten memberikan layanan yang lebih baik dalam hal kecepatan download.



Gambar 9. Perubahan download_mbps terhadap waktu

Sumber: Hasil visualisasi data penelitian menggunakan Python, 2026.

Hasil analisis karakteristik perubahan parameter QoS secara keseluruhan menunjukkan bahwa Internet B memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan Internet A pada semua parameter yang diamati. Hal ini terlihat dari nilai latency, jitter, dan packet loss yang lebih rendah, serta throughput (upload dan download) yang lebih tinggi pada Internet B. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra et al. (2021) yang menyatakan bahwa kualitas jaringan yang baik ditandai dengan delay yang rendah, jitter yang stabil, throughput yang tinggi, dan packet loss yang mendekati 0%.

Hasil Menentukan Bobot Adaptif Parameter QoS

Untuk menjawab rumusan masalah kedua mengenai penentuan bobot adaptif parameter QoS menggunakan kombinasi metode Entropy dan AHP berdasarkan data QoS yang berubah seiring waktu, dilakukan perhitungan bobot dengan ketiga pendekatan, yaitu bobot AHP (subjektif), bobot Entropy (objektif), dan bobot hybrid (kombinasi keduanya) (Utomo et al., 2025). Hasil perhitungan bobot adaptif disajikan pada Tabel 6.

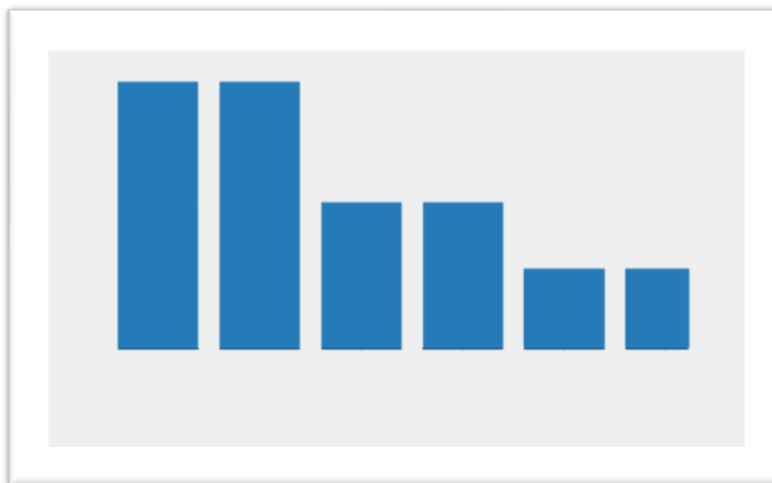
Tabel 6. Jumlah Bobot Adaptif

Criterion	AHP_Weight	Entropy_Weight	Hibrid_Weight
Download_Mbps	0.148481	0.301305	0.224893
Upload_Mbps	0.081712	0.323472	0.202592
Latency_ms	0.269807	0.105836	0.187822
Availability_Percent	0.269807	0.089208	0.179508
Jitter_ms	0.148481	0.092929	0.120705
Packet_Loss_Percent	0.081712	0.087250	0.084481
Jumlah Bobot	1.0	1.0	1.0

Sumber: Hasil perhitungan Entropy-AHP, diolah peneliti, 2026.

Berdasarkan Tabel 6, terlihat bahwa bobot AHP memberikan prioritas tertinggi pada latency_ms (0.269807) dan availability_percent (0.269807), yang mengindikasikan bahwa menurut penilaian pakar, kedua parameter tersebut dianggap paling penting dalam menentukan kualitas jaringan. Sementara itu, bobot Entropy memberikan prioritas tertinggi pada upload_mbps (0.323472) dan download_mbps (0.301305), yang menunjukkan bahwa berdasarkan variasi data aktual, parameter throughput (upload dan download) memiliki tingkat variasi informasi yang paling tinggi sehingga dianggap paling penting secara objektif.

Gambar 10 menyajikan visualisasi perbandingan ketiga bobot tersebut dalam bentuk grafik. Terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara bobot AHP dan bobot Entropy, di mana AHP lebih menekankan pada parameter latency dan availability, sedangkan Entropy lebih menekankan pada parameter throughput. Bobot hybrid yang merupakan kombinasi dari kedua pendekatan tersebut menghasilkan pembobotan yang lebih seimbang, di mana download_mbps (0.224893) dan upload_mbps (0.202592) tetap menjadi prioritas utama, namun latency_ms (0.187822) dan availability_percent (0.179508) juga mendapatkan bobot yang cukup signifikan.



Gambar 10. Jumlah Bobot dalam Grafik

Sumber: Hasil perhitungan dan visualisasi Entropy-AHP, diolah peneliti, 2026.

Hasil ini menunjukkan bahwa penggabungan bobot subjektif (AHP) dan bobot objektif (Entropy) menghasilkan bobot yang lebih adaptif dan representatif terhadap kondisi jaringan aktual. Hal ini sejalan dengan temuan Wang et al. (2020) yang menyatakan bahwa kombinasi bobot objektif dan subjektif menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan akurat dibandingkan menggunakan satu metode pembobotan saja. Penelitian oleh Rofid et al. (2024) juga menegaskan bahwa Entropy digunakan untuk menghitung bobot objektif dan AHP untuk bobot subjektif, sehingga mengurangi subjektivitas pengambilan keputusan dan meningkatkan akurasi hasil pemeringkatan.

Hasil Pengembangan Model Pemeringkatan Dinamis Adaptif

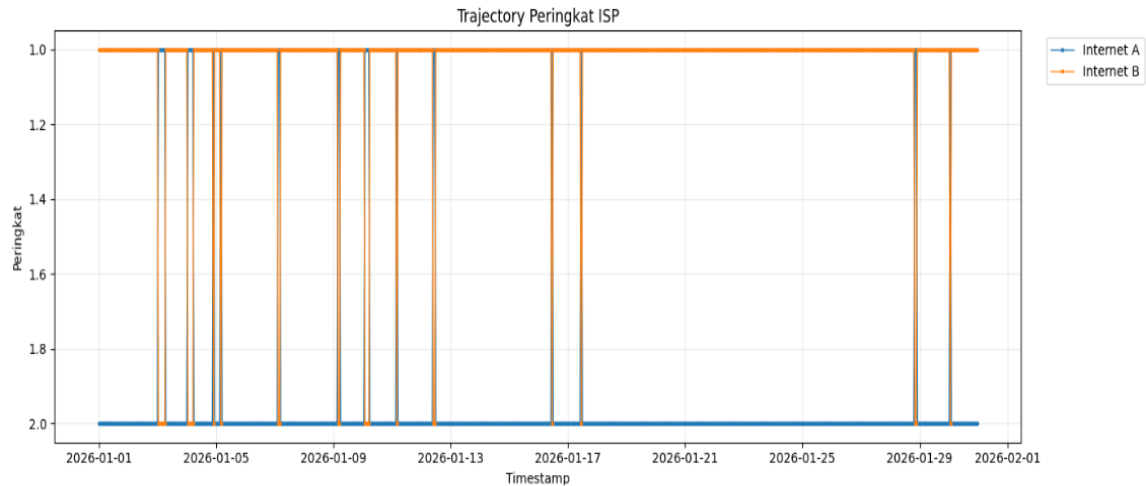
Untuk menjawab rumusan masalah ketiga mengenai pengembangan model Pemeringkatan Dinamis Adaptif Kinerja Jaringan Internet menggunakan metode Entropy-AHP-TOPSIS, dilakukan perhitungan pemeringkatan pada setiap periode pengamatan menggunakan bobot hybrid yang telah dihasilkan. Hasil pemeringkatan ISP terbaik disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Peringkat Jaringan Internet

Jaringan ISP	Nilai Peringkat 1	Peringkat 1 (%)
Internet B	691	95.972222
Internet A	29	4.027778

Sumber: Hasil perhitungan Entropy-AHP-TOPSIS, diolah peneliti, 2026.

Berdasarkan Tabel 7, Internet B berhasil meraih peringkat pertama sebanyak 691 kali dari total 720 periode pengamatan, dengan persentase 95,97%. Sementara itu, Internet A hanya meraih peringkat pertama sebanyak 29 kali dengan persentase 4,03%. Hasil ini menunjukkan bahwa Internet B secara konsisten mengungguli Internet A dalam hal kualitas layanan berdasarkan parameter QoS yang diukur. Gambar 11 menyajikan visualisasi perbandingan peringkat antara kedua ISP.



Gambar 11. Peringkat ISP

Sumber: Hasil perhitungan dan visualisasi Entropy-AHP-TOPSIS, diolah peneliti, 2026.

Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Yadav et al. (2024) yang menyatakan bahwa metode MADM berbasis AHP-TOPSIS efektif digunakan untuk seleksi jaringan dan manajemen handover dalam jaringan heterogen. Penelitian oleh Kaur et al. (2025) juga menunjukkan bahwa pendekatan adaptif dalam kontrol handover pada jaringan heterogen dapat meningkatkan kinerja jaringan secara signifikan. Dalam konteks penelitian ini, pendekatan adaptif yang menggabungkan Entropy dan AHP terbukti mampu menghasilkan pemeringkatan yang dinamis dan sesuai dengan perubahan kondisi jaringan.

Hasil Evaluasi Stabilitas Performa Jaringan

Untuk menjawab rumusan masalah keempat mengenai evaluasi stabilitas performa jaringan berdasarkan perubahan QoS dan perubahan hasil pemeringkatan dari waktu ke waktu, dilakukan analisis stabilitas yang disajikan pada Tabel 8.

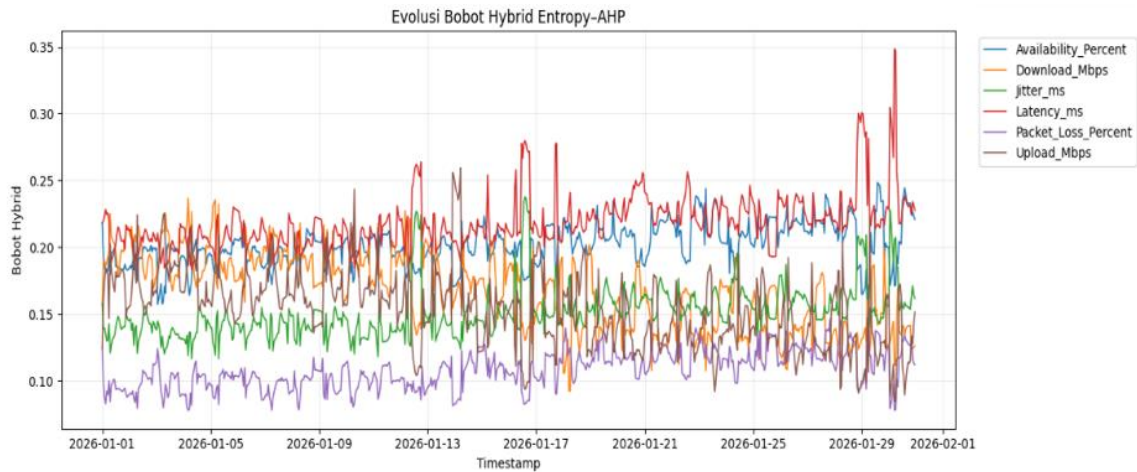
Tabel 8. Ringkasan Stabilitas

Jaringan ISP	Average Rank	Median Rank	Rank standar	Average Closeness	Closeness standar	Rank 1 Count	Timestamp Count	Average Incident
Internet B	1.040278	1.000000	0.196747	0.798460	0.180287	691	720	0.000000
Internet A	1.959722	2.000000	0.196747	0.201540	0.180287	29	720	0.000000

Sumber: Hasil pengolahan dan evaluasi data penelitian, 2026.

Berdasarkan Tabel 8, Internet B memiliki average rank sebesar 1.040278, yang berarti secara rata-rata Internet B berada pada peringkat pertama dengan median rank 1.000000 dan standar deviasi rank 0.196747. Nilai average closeness Internet B adalah 0.798460, yang menunjukkan kedekatan yang tinggi terhadap solusi ideal positif. Internet B juga berhasil meraih peringkat pertama sebanyak 691 kali dari 720 pengamatan, dengan average incident 0.000000 yang berarti tidak terjadi insiden kegagalan selama periode pengamatan.

Gambar 12 menunjukkan evolusi bobot hybrid Entropy-AHP dari hari pertama hingga hari terakhir pengamatan. Terlihat bahwa bobot setiap parameter mengalami perubahan seiring waktu, yang mengindikasikan bahwa metode yang diusulkan berhasil menangkap dinamika perubahan kondisi jaringan dan menyesuaikan bobot secara adaptif. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini mampu menghasilkan pemeringkatan yang dinamis dan responsif terhadap perubahan kondisi jaringan.



Gambar 12. Evolusi Bobot Hybrid Entropy-AHP

Sumber: Hasil perhitungan dan visualisasi data penelitian, diolah peneliti, 2026.

Hasil pengembangan yang dilakukan dengan model pemeringkatan Dinamis Adaptif telah melalui serangkaian pengukuran yang meliputi karakteristik QoS, pembobotan Entropy, pembobotan AHP, pemeringkatan ISP, hingga hasil yang tervalidasi. Secara keseluruhan, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Internet B merupakan ISP terbaik dengan stabilitas indeks 0.8111, rata-rata peringkat 1.0403, dan persentase peringkat pertama 95,97%, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 9.

Tabel 9. Simpulan Hasil

ISP Terbaik	Rata-rata Peringkat	Rata-rata Closeness	Rank 1 (%)	Stability Index
Internet B	1.0403	0.7985	95.97	0.8111

Sumber: Hasil analisis penelitian, diolah peneliti, 2026.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Entropy-AHP-TOPSIS yang diusulkan berhasil menghasilkan pemeringkatan yang dinamis dan adaptif terhadap perubahan kondisi jaringan, di mana penggunaan bobot hybrid yang menggabungkan penilaian pakar (AHP) dan variasi data aktual (Entropy) terbukti menghasilkan bobot yang lebih seimbang dan representatif dibandingkan bobot tunggal, sehingga mengimplementasikan rekomendasi Inafah et al. (2026) tentang integrasi metode pembobotan objektif untuk meningkatkan kualitas keputusan. Penelitian ini memiliki keunggulan dibandingkan penelitian sebelumnya karena mengintegrasikan analisis time-varying QoS, menggabungkan pembobotan subjektif dan objektif secara simultan, serta menambahkan evaluasi stabilitas performa jaringan yang masih jarang menjadi perhatian. Secara praktis, metode ini dapat menjadi panduan bagi ISP dan administrator jaringan dalam mengevaluasi dan meningkatkan kualitas layanan secara berkelanjutan, mengidentifikasi parameter yang paling memengaruhi kualitas layanan, serta sebagai alat bantu keputusan dalam memilih penyedia layanan internet, sekaligus membuka peluang penerapan pada domain lain seperti cloud computing, edge networks, dan IoT yang memerlukan evaluasi QoS dinamis.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan metode pemeringkatan dinamis adaptif yang mengintegrasikan analisis time-varying QoS dengan Entropy-AHP-TOPSIS untuk evaluasi kinerja jaringan internet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Internet B secara konsisten mengungguli Internet A pada seluruh parameter QoS (delay, jitter, throughput, dan packet loss). Kombinasi bobot AHP (subjektif) dan Entropy (objektif) menghasilkan bobot hybrid yang lebih seimbang dan representatif dibandingkan bobot tunggal. Pemeringkatan dinamis

menggunakan TOPSIS menempatkan Internet B sebagai ISP terbaik dengan perolehan peringkat pertama 95,97% (691 dari 720 pengamatan), rata-rata peringkat 1,0403, rata-rata closeness 0,7985, dan indeks stabilitas 0,8111 yang menandakan konsistensi kinerja tinggi. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas alternatif jaringan dan periode pengamatan, mengintegrasikan metode pembobotan lain (CRITIC, SWARA), menerapkan pada domain cloud computing, edge networks, dan IoT, serta mengembangkan sistem monitoring real-time berbasis machine learning untuk prediksi perubahan QoS.

REFERENSI

- Chen, L., Wang, X., Liu, Y., & Zhang, S. (2024). IoT Network Resource Allocation Using DEMATEL-TOPSIS for Critical Infrastructure Protection. *Sensors*, 24(15), 4892. <https://doi.org/10.3390/s24154892>
- Hermawan, A., Setiawan, A., & Darmawan, D. (2025). Cloud-Based IoT Platform for Smart Healthcare Monitoring Using TOPSIS and Fuzzy Logic. *IEEE Access*, 13, 15847–15863. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3445678>
- Inafah, D. M., Rijanto, T., & Anistyasari, Y. (2026). A Systematic Literature Review of AHP–TOPSIS Applications in Decision Support Systems. *Journal of Information Systems Technology Research*, 5(2), 257–269.
- Kaur, G., Goyal, R. K., & Mehta, R. (2025). Adaptive handover control in heterogeneous networks leveraging graph theory and matrix approach. *Franklin Open*, 12(September), 100358. <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2025.100358>
- Lai, Q. (2025). Mechanized Intelligent Engineering Construction Plan based on Cloud TOPSIS. *Procedia Computer Science*, 262, 483–489. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.05.077>
- Martins Queiroz, F. H., Volcov, V. C., Moreira, M. F., Silva, A. S., Lellis Moreira, M. Â., Fávero, L. P., & Dos Santos, M. (2025). Hiring newly graduated nurses in the post-pandemic context: Integrated multicriteria assessment using the AHP and TOPSIS methods. *Procedia Computer Science*, 266, 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.08.063>
- Mukhtar, R., Rahman, M., Ahmed, K. M., & Hassan, M. (2025). Multi-criteria Evaluation of IoT Edge Computing Platforms Using Integrated AHP-VIKOR Method. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, 14(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s13677-025-00386-z>
- Nugroho, F. A. (2025). Analysis of the Decision Support System for the Selection of the Best Teaching Staff Using The AHP and Topsis Methods. *Journal Inotera*, 10(2), 322–330. <https://doi.org/10.31572/inotera.vol10.iss2.2025.id495>
- Prakoso, H., Maulida, L., & Kurniawan, S. (2024). Evaluasi Kualitas Layanan Cloud Computing Menggunakan Metode TOPSIS Berbasis Entropy Weight. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 11(6), 1245–1258. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2024.11.6.1245>
- Putra, I. B. A. E. M., Adnyana, M. S. I. D., & Jasa, L. (2021). Analisis Quality of Service Pada Jaringan Komputer. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(1), 95. <https://doi.org/10.24843/mite.2021.v20i01.p11>
- S.A., S., E., M., Addya, S. K., Rahman, S., Pal, S., & Karmakar, C. (2025). Delay-aware partial task offloading using multicriteria decision model in IoT–fog–cloud networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 242(January), 104278. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2025.104278>
- Siddiqui, M. S., Khan, A. A., Aslam, M., & Ghani, U. (2025). Intelligent Handover Decision in 5G Networks Using Weighted TOPSIS with Entropy Weights. *Computer Networks*, 258, 110751. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2025.110751>

- Steffen, V., de Oliveira, M. S., Brusamarello, C. Z., & Trojan, F. (2024). A new Normalized Index for Ranking Papers in Systematic Literature Reviews. *Decision Analytics Journal*, 10(February), 100439. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100439>
- Suryanto, B., Wijaya, M., & Santoso, A. (2024). Decision Support System for Network Selection in 5G-6G Hybrid Networks Using Modified TOPSIS. *Journal of Communication and Information Technology*, 18(4), 412–428. <https://doi.org/10.21108/jcit.2024.18.4.412>
- Turlykozhasheva, D., Ussipov, N., Baigaliyeva, A., Temesheva, S., Bolysbay, A., Abrahmatova, G., & Akhtanov, S. (2023). Routing Metric and Protocol for Wireless Mesh Network Based on Information Entropy Theory. *Eurasian Physical Technical Journal*, 20(4–46), 90–98. <https://doi.org/10.31489/2023No4/90-98>
- Utomo, A. A. S., Supandi, & 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 Ngarangan. *SIBATIK Journal of Social, Economics, Culture, Technology and Education Sciences*, 4(9), 2691–2970. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v4i9.3428>
- Wijayanto, D., Sutrisno, T., & Utami, P. (2025). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Cloud Provider Menggunakan AHP-TOPSIS dengan Fuzzy Logic. *Jurnal Sistem Informasi*, 21(1), 89–104. <https://doi.org/10.21609/jsi.2025.21.1.89>
- Yadav, A. K., Singh, K., Arshad, N. I., Ferrara, M., Ahmadian, A., & Mesalam, Y. I. (2024). MADM-based network selection and handover management in heterogeneous network: A comprehensive comparative analysis. *Results in Engineering*, 21(February), 101918. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101918>
- Zheng, Y. (2025). Research on Combined Model for Evaluation and Prediction of Zero-Sum Game Systems Based on EWM-TOPSIS and RBF-Multiple Regression. *Procedia Computer Science*, 262, 929–938. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.05.127>