

Analisis Korelasi Antar Parameter QoS: Studi Kasus Kecepatan Data dan Consistency, Serta Hubungan Antara Latency dan Stabilitas Jaringan

^{1*}Priska Restu Utami, ²Veronica Ernita Kristianti, ³Lince Afriyenny

^{1,2}Teknik Elektro, Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Depok, Indonesia, ³Akuntansi, Ekonomi, Universitas Gunadarma, Depok, Indonesia

^{1,2,3}Jalan Margonda Raya no. 100, Pondok Cina, Beji, Depok

¹priska@staff.gunadarma.ac.id, ²veronica@staff.gunadarma.ac.id, ³lince@staff.gunadarma.ac.id

Abstract

The growing demand for modern network services, including multimedia applications, real-time communications, and the Internet of Things (IoT), necessitates Quality of Service (QoS) evaluations that extend beyond high data transmission rates to encompass network stability and performance *consistency*. This study investigates the relationships among QoS parameters, with a particular focus on the correlation between throughput and network *consistency*, as well as the association between latency and service stability. A quantitative, non-experimental correlational approach was adopted using secondary QoS data derived from the open NordicDat dataset, which reflects real-world network measurements. The analyzed parameters comprise throughput, latency, jitter, and a derived *consistency* metric computed as an inverse function of jitter. Statistical analyses were performed using descriptive statistics and Pearson and Spearman correlation methods, supported by data visualizations in the form of scatter plots and boxplots. The results reveal that throughput exhibits a strong negative correlation with latency, while demonstrating only a weak positive relationship with network *consistency*. In contrast, latency and jitter show a more pronounced impact on service stability. The very strong negative association between jitter and *consistency* confirms that delay variation is a dominant factor in determining network performance stability. These findings indicate that high throughput alone does not ensure network *consistency*, underscoring the importance of a multidimensional QoS evaluation framework that simultaneously accounts for both transmission speed and stability-related parameters. The outcomes of this study provide valuable insights for the evaluation and design of modern networks that prioritize service quality and sustained performance.

Keywords: *consistency*, jitter, latency, quality of service, throughput

Abstrak

Peningkatan kebutuhan layanan jaringan modern seperti multimedia, aplikasi *real-time*, dan *Internet of Things* (IoT) menuntut evaluasi *Quality of Service* (QoS) yang tidak hanya berfokus pada kecepatan transmisi data, tetapi juga kestabilan dan *consistency* performa jaringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antarparameter QoS, khususnya korelasi antara *throughput* dan *consistency* jaringan, serta keterkaitan antara *latency* dan stabilitas layanan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif korelasional non-eksperimental dengan memanfaatkan data sekunder QoS yang bersumber dari *dataset* terbuka NordicDat. Parameter yang dianalisis meliputi *throughput*, *latency*, *jitter*, dan variabel turunan *consistency* yang dihitung berdasarkan fungsi invers dari *jitter*. Analisis dilakukan menggunakan statistik deskriptif, korelasi Pearson dan Spearman, serta didukung visualisasi data berupa *scatter plot* dan *boxplot*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *throughput* memiliki korelasi negatif yang kuat terhadap *latency*, namun hanya menunjukkan hubungan positif yang relatif lemah terhadap *consistency* jaringan. Sebaliknya, *latency* dan *jitter* memiliki hubungan yang lebih signifikan terhadap kestabilan

layanan. Hubungan negatif yang sangat kuat antara *jitter* dan *consistency* mengonfirmasi bahwa variasi *delay* merupakan faktor dominan dalam menentukan stabilitas performa jaringan. Temuan ini menunjukkan bahwa *throughput* yang tinggi tidak secara otomatis menjamin *consistency* jaringan, sehingga evaluasi QoS perlu dilakukan secara multidimensi dengan mempertimbangkan parameter kecepatan dan stabilitas secara simultan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam evaluasi dan perancangan jaringan yang berorientasi pada kualitas layanan dan keberlanjutan performa.

Kata Kunci: *consistency, jitter, latency, quality of service, throughput*

1. Pendahuluan

Perkembangan jaringan komputer modern yang semakin pesat, seiring dengan meningkatnya penggunaan layanan multimedia, *cloud computing*, Internet of Things (IoT), serta aplikasi *real-time*, menuntut kinerja jaringan yang tidak hanya berfokus pada kecepatan akses data, tetapi juga pada kestabilan dan *consistency* performa jaringan. Pada kondisi operasional nyata, jaringan dituntut mampu menyediakan *throughput* yang tinggi serta menjaga performa yang stabil agar kualitas layanan tetap terjaga meskipun terjadi fluktuasi trafik dan kemacetan jaringan. Berbagai studi menunjukkan bahwa parameter *Quality of Service* (QoS) seperti *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* memiliki peran yang saling terkait dalam menentukan kualitas layanan jaringan, khususnya pada layanan real-time seperti video streaming dan telekomunikasi *mobile* [1], [2]. Oleh karena itu, evaluasi kinerja jaringan tidak lagi memadai jika hanya didasarkan pada satu parameter tunggal, melainkan perlu mempertimbangkan keterkaitan antarparameter QoS secara menyeluruh untuk memperoleh gambaran performa jaringan yang lebih representatif dan mendekati kondisi penggunaan aktual [3].

Berbagai penelitian dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa parameter *Quality of Service* (QoS) seperti *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* memiliki peran yang saling berkaitan dalam menentukan stabilitas dan *consistency* jaringan. Pengujian *Real-World* QoS pada jaringan *Radio over Fiber* (RoF) menunjukkan bahwa *latency* dan *packet loss* merupakan indikator penting yang perlu dipantau bersama *throughput* untuk menilai kualitas layanan broadband secara efektif, sementara *throughput* sendiri tidak selalu mencerminkan *consistency* pada semua kondisi jaringan [4]. Evaluasi *Wireless LAN* menggunakan standar TIPHON, *latency* dan *jitter* secara terpadu memberikan gambaran lebih lengkap tentang variabilitas performa jaringan dibandingkan hanya mengandalkan *throughput* atau *packet loss* secara terpisah [5]. Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan transmisi data tidak secara langsung menjamin kestabilan jaringan apabila variasi *delay* dan *jitter* tidak terkendali, sehingga *latency* menjadi indikator penting dalam evaluasi *consistency* performa jaringan.

Pentingnya analisis hubungan antarparameter QoS juga ditunjukkan pada berbagai lingkungan jaringan, seperti jaringan Ethernet, jaringan seluler, *Software Defined Networking* (SDN), hingga Wi-Fi generasi terbaru. Kualitas jaringan dipengaruhi oleh interaksi simultan antara *throughput* dan *latency* [6], [7]. Sementara itu, Pengendalian *latency* dan *jitter* mampu meningkatkan stabilitas jaringan secara signifikan meskipun *throughput* berada pada tingkat tinggi [8], [9]. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas jaringan lebih sensitif terhadap variasi *delay* dibandingkan peningkatan kecepatan data semata.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada evaluasi performa jaringan secara deskriptif atau menganalisis hubungan antarparameter QoS secara parsial. Namun, hingga saat ini belum banyak penelitian yang secara kuantitatif mengkaji hubungan antara kecepatan data dan *consistency* layanan, serta hubungan *latency* dengan stabilitas jaringan, dalam satu kerangka analisis terpadu. Analisis korelasi yang ada masih

relatif terbatas dan umumnya hanya menggunakan satu jenis metode korelasi, sehingga belum sepenuhnya mampu menangkap karakteristik hubungan nonlinier yang umum terjadi pada kondisi jaringan dinamis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis korelasi antarparameter QoS, dengan fokus pada hubungan antara *throughput* dan *consistency* layanan, serta hubungan *latency* dengan stabilitas jaringan, menggunakan pendekatan kuantitatif. Analisis dilakukan melalui penerapan korelasi Pearson dan Spearman untuk mengidentifikasi hubungan linier maupun nonlinier antarparameter QoS. Selain itu, penelitian ini memperkenalkan variabel turunan *network consistency* yang dibangun berdasarkan nilai *inverse jitter* sebagai representasi kestabilan jaringan.

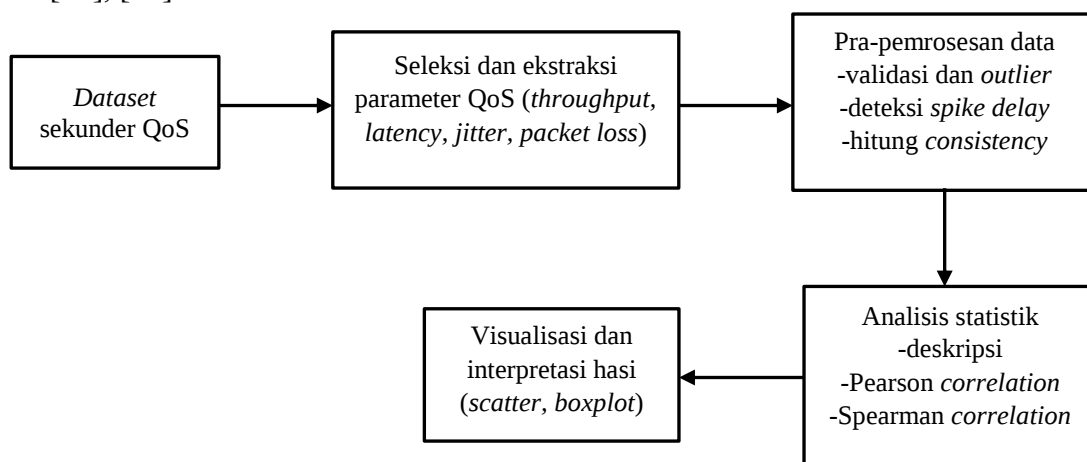
Kontribusi penelitian ini bersifat analitis dan praktis. Secara analitis, penelitian ini menyajikan kerangka analisis korelasional terpadu yang memberikan gambaran empiris mengenai peran relatif parameter QoS terhadap stabilitas jaringan. Secara praktis, hasil penelitian ini menegaskan bahwa *latency* memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap stabilitas jaringan dibandingkan *throughput*, sehingga evaluasi dan perancangan jaringan, khususnya untuk layanan *real-time* perlu lebih menekankan aspek kestabilan dan *consistency* performa, bukan hanya kecepatan akses data. Dengan demikian, orisinalitas penelitian ini tidak terletak pada sumber dataset yang digunakan, melainkan pada kerangka analisis korelasional multidimensi serta konstruksi variabel turunan *network consistency* yang diusulkan.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif korelasional dengan sifat non-eksperimental. Peneliti tidak melakukan manipulasi terhadap kondisi jaringan maupun konfigurasi sistem, melainkan menganalisis data QoS sebagaimana direkam dalam dataset sekunder hasil pengukuran lapangan. Pendekatan non-eksperimental dipilih karena hubungan antarparameter QoS seperti *throughput*, *latency*, *jitter*, dan stabilitas *delay* terbentuk secara alami akibat dinamika trafik jaringan dan tidak dapat direkayasa secara langsung tanpa intervensi sistem yang kompleks [10], [11].

Desain korelasional digunakan untuk mengidentifikasi arah dan kekuatan hubungan statistik antarparameter QoS, tanpa mengasumsikan hubungan kausal langsung yang merupakan tujuan utama penelitian ini. Pendekatan serupa banyak diterapkan dalam studi performa jaringan kabel, nirkabel, dan seluler karena mampu memberikan gambaran empiris mengenai keterkaitan antarindikator QoS tanpa mengganggu operasi jaringan yang sedang berjalan [10], [12].



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

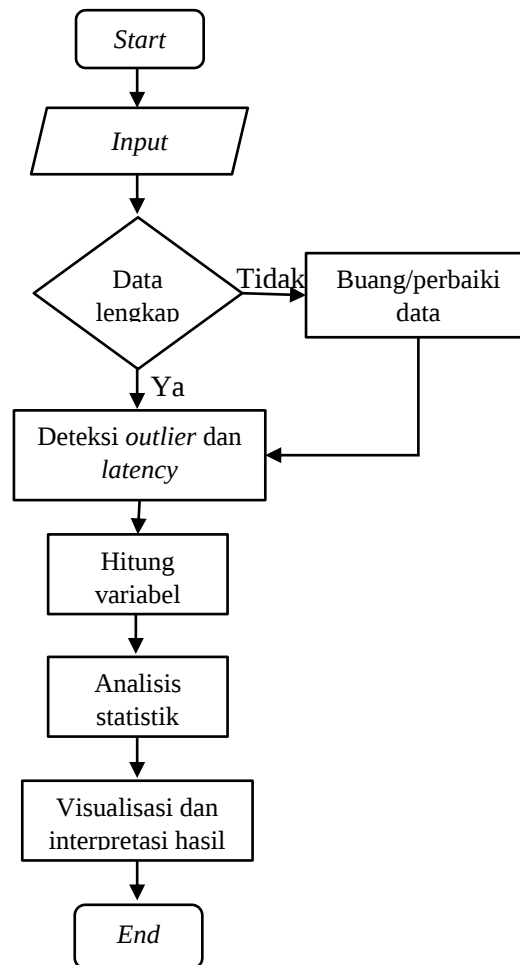
Gambar 1 menunjukkan diagram alur penelitian yang menggambarkan tahapan utama mulai dari sumber data hingga interpretasi hasil. Diagram tersebut menunjukkan bahwa penelitian dimulai dari pemanfaatan dataset QoS sekunder, dilanjutkan dengan seleksi parameter dan pra-pemrosesan data untuk memastikan kualitas dan *consistency* dataset sebelum analisis statistik dilakukan. Pra-pemrosesan data dimulai dengan pemeriksaan nilai yang hilang (*missing values*) dan nilai ekstrem (*outliers*) pada parameter QoS seperti *throughput*, *latency*, dan *jitter*. *Missing values* diidentifikasi dan ditangani dengan metode interpolasi atau dihapus berdasarkan distribusi data untuk menjaga validitas sampel serta representasi temporal dataset, sesuai praktik penanganan data berkualitas tinggi dalam penelitian QoS jaringan dan analisis *time-series data observasional* [13], [14]. Deteksi *outlier*, termasuk identifikasi *latency spike*, dilakukan menggunakan ambang statistik seperti *z-score* untuk membedakan variasi data nyata dari artefak pengukuran yang tidak valid, sebagaimana direkomendasikan dalam penelitian data QoS nyata dan teknik pembersihan data numerik lainnya [12], [14]. Analisis selanjutnya mencakup perhitungan indikator turunan seperti *consistency* yang memetakan *jitter* ke indikator stabilitas temporal jaringan dengan interpretasi yang intuitif ketika menyajikan hubungan antarparameter QoS seperti *throughput*, *latency*, dan *jitter* [12].

2.2 Flowchart Prosedur Penelitian

Flowchart digunakan untuk menggambarkan urutan keputusan dan proses secara lebih rinci, khususnya pada tahap pra-pemrosesan dan analisis data. *Flowchart* penelitian pada Gambar 2 merepresentasikan tahapan operasional yang dilalui dalam analisis data QoS secara sistematis dan berurutan. Proses diawali dengan *input dataset*, yaitu pemuatan data sekunder yang berisi hasil pengukuran QoS jaringan nyata. *Dataset* ini digunakan sebagaimana direkam oleh peneliti sebelumnya tanpa adanya manipulasi kondisi jaringan, sehingga pendekatan penelitian bersifat observasional dan non-eksperimental. Penggunaan data sekunder berbasis pengukuran lapangan telah banyak diterapkan dalam studi performa jaringan karena mampu merepresentasikan dinamika jaringan operasional secara realistis [3].

Tahap berikutnya adalah pemeriksaan kelengkapan data. Pada tahap ini dilakukan validasi untuk memastikan bahwa setiap sampel memiliki nilai yang lengkap dan berada dalam rentang pengukuran yang wajar. Data yang tidak lengkap, mengandung nilai kosong, atau tidak konsisten dikeluarkan atau diperbaiki agar tidak memengaruhi akurasi analisis selanjutnya. Tahap validasi ini merupakan praktik standar dalam penelitian QoS karena kualitas data awal sangat menentukan keandalan hasil statistik dan korelasional [15].

Setelah data dinyatakan valid, dilakukan deteksi *outlier* dan *latency spike*. Deteksi *outlier* dilakukan menggunakan pendekatan statistik berbasis *z-score* untuk mengidentifikasi nilai-nilai ekstrem yang menyimpang secara signifikan dari pola umum data. Nilai-nilai ekstrem ini sering kali merepresentasikan lonjakan *delay* sesaat (*latency spike*) yang muncul akibat kemacetan sementara, retransmisi paket, atau gangguan pada media transmisi. Selain deteksi berbasis statistik, dilakukan pula identifikasi *latency spike* secara temporal, yaitu lonjakan *delay* yang terjadi dalam interval waktu singkat namun memiliki amplitudo tinggi. Penanganan khusus terhadap *latency spike* penting karena fenomena tersebut dapat mendistorsi nilai rata-rata dan koefisien korelasi apabila diperlakukan sama dengan variasi *delay* normal. Oleh karena itu, *spike* dianalisis secara terkontrol untuk memastikan bahwa hubungan antarvariabel QoS mencerminkan karakteristik kinerja jaringan yang stabil, bukan kejadian anomali sesaat [16].



Gambar 2. Flowchart Prosedur Penelitian

Tahap berikutnya adalah menghitung variabel turunan *consistency* yang diperoleh dari fungsi matematis berbasis nilai *jitter*. Variabel ini dirancang untuk menggambarkan stabilitas temporal jaringan dengan merepresentasikan hubungan terbalik antara variasi kedatangan paket dan kestabilan *delay*. Transformasi seperti ini merupakan pendekatan umum dalam penelitian performa jaringan modern, di mana parameter *jitter* sering kali dikaitkan langsung dengan stabilitas *delay* dan pengalaman layanan *real-time* seperti VoIP atau video *streaming*, sehingga indikator turunan dapat memberikan ukuran yang lebih intuitif terhadap *stability/consistency* jaringan [17]. Formulasi *consistency* seperti pada Persamaan (1).

$$Consistency = \frac{1}{1+jitter} \quad (1)$$

Formulasi ini dipilih karena menghasilkan skala terstandarisasi 0-1, merepresentasikan hubungan antara *jitter* dan stabilitas *delay*, lebih intuitif dibandingkan penggunaan *jitter* mentah dalam interpretasi kualitas layanan *real-time*. Pendekatan serupa digunakan dalam studi QoS modern untuk merepresentasikan stabilitas atau *delay regularity*, terutama pada layanan VoIP dan video *streaming* [18], [19]. Alternatif seperti koefisien variasi *delay* dipertimbangkan, namun formulasi Persamaan (1) dipilih karena kesederhanaan dan kemudahan replikasi.

Setelah seluruh variabel utama dan turunan dihitung, analisis dilanjutkan dengan statistik deskriptif serta korelasi antarparameter QoS untuk mengevaluasi hubungan antara *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *consistency*. Pendekatan ini umum dilakukan dalam penelitian

performa jaringan untuk mengidentifikasi pola hubungan antarindikator QoS tanpa mengasumsikan hubungan kausal langsung [15], [16].

Tahap akhir adalah visualisasi dan interpretasi hasil menggunakan *scatter plot* dan *boxplot*, yang memungkinkan pengamatan pola hubungan, distribusi data, dan anomali secara lebih jelas. Integrasi analisis statistik dengan representasi grafis merupakan praktik standar dalam penelitian performa jaringan modern untuk memastikan validitas empiris dan keterlacakan tahapan analisis [3], [20].

2.3 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari berkas *nordicdat.csv*, yaitu bagian dari *dataset* terbuka NordicDat: A Cross-Border Predictive QoS Dataset [21]. *Dataset* ini berisi hasil pengukuran QoS jaringan yang dikumpulkan melalui pengukuran lapangan nyata di berbagai lokasi lintas negara tanpa manipulasi kondisi jaringan, sehingga merepresentasikan performa jaringan operasional secara realistis, khususnya untuk parameter *throughput*, *latency*, dan *jitter*.

Dari keseluruhan *dataset*, sebanyak 1.000 sampel diekstraksi menggunakan pendekatan *time-based sampling*, yaitu pemilihan data secara berurutan berdasarkan waktu pencatatan. Pendekatan ini digunakan untuk menjaga kontinuitas temporal dan menghindari bias akibat pengelompokan data pada kondisi jaringan tertentu, sehingga variasi dinamika trafik dan delay tetap terwakili [21].

Jumlah sampel tersebut dinilai memadai untuk analisis statistik deskriptif dan korelasional, sejalan dengan tujuan penelitian yang berfokus pada identifikasi hubungan antarparameter QoS, bukan pemodelan prediktif skala besar. Penggunaan *dataset* terbuka berbasis pengukuran nyata juga meningkatkan reproduktibilitas penelitian dan umum diterapkan dalam studi performa jaringan untuk mengatasi keterbatasan eksperimen lapangan mandiri [13], [16].

2.4 Alat Analisis

Analisis statistik pada penelitian ini dilakukan menggunakan IBM SPSS Statistics 23, yang dipilih karena kemampuannya dalam mengelola dataset QoS berukuran besar serta menyediakan uji statistik parametrik dan non-parametrik, termasuk statistik deskriptif dan analisis korelasi antarparameter jaringan. Penggunaan perangkat lunak statistik berbasis inferensial seperti SPSS merupakan praktik umum dalam penelitian QoS untuk mengevaluasi hubungan antar metrik jaringan berdasarkan data observasional hasil pengukuran lapangan [12], [22].

Visualisasi hubungan antarvariabel dilakukan menggunakan *scatter plot* untuk mengamati pola hubungan antara *throughput* dan *latency* secara langsung, serta *boxplot* untuk mengevaluasi sebaran *latency* dan mengidentifikasi variasi serta *outlier*. Teknik visualisasi statistik ini banyak digunakan dalam penelitian performa jaringan karena mampu memperjelas karakteristik distribusi data QoS dan mendukung interpretasi hasil analisis korelasi secara lebih intuitif [23–25]. Selain itu, matriks korelasi digunakan untuk menyajikan hubungan antar seluruh parameter QoS secara simultan, sehingga memudahkan identifikasi keterkaitan antarvariabel dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Pendekatan ini sejalan dengan praktik penelitian jaringan modern yang menekankan keterlacakan proses analisis dan validitas empiris hasil pengukuran [23], [24].

2.5 Metode Analisis

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mengkaji karakteristik data QoS secara komprehensif serta mengidentifikasi hubungan statistik

antarparameter jaringan. Analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari statistik deskriptif untuk memahami karakteristik dasar data, dilanjutkan dengan analisis korelasi Pearson dan Spearman untuk mengevaluasi hubungan antarvariabel, serta didukung oleh visualisasi data guna memperkuat interpretasi hasil [3], [26].

a. Statistik Deskriptif

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik dasar dari setiap parameter QoS yang dianalisis, meliputi *throughput*, *latency*, *jitter*, dan variabel turunan *consistency*. Parameter statistik yang dihitung mencakup nilai rata-rata (*mean*), median, standar deviasi, nilai minimum dan maksimum, serta kuartil. Statistik ini memberikan gambaran awal mengenai tingkat sentralisasi dan sebaran data, sekaligus membantu mengidentifikasi adanya variasi ekstrem yang masih mungkin muncul setelah tahap pra-pemrosesan.

Penggunaan statistik deskriptif merupakan langkah fundamental dalam analisis performa jaringan, karena metrik QoS sering menunjukkan distribusi yang tidak simetris akibat fluktuasi trafik dan dinamika kondisi jaringan nyata. Pemahaman pola sebaran data sejak awal diperlukan untuk menentukan pendekatan analisis lanjutan yang paling sesuai serta menghindari interpretasi yang menyesatkan [3].

b. Korelasi Pearson

Analisis korelasi Pearson digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier antara dua variabel numerik, khususnya pada pasangan variabel QoS yang diasumsikan memiliki kecenderungan hubungan linier, seperti *throughput* terhadap *latency* atau *throughput* terhadap *consistency*. Koefisien korelasi Pearson memberikan nilai antara -1 hingga $+1$, yang menunjukkan hubungan negatif kuat, tidak ada hubungan, atau hubungan positif kuat. Pemilihan korelasi Pearson didasarkan pada asumsi bahwa sebagian hubungan antarparameter QoS dapat didekati secara linier, terutama setelah data melalui tahap pra-pemrosesan dan penanganan *outlier*. Metode ini banyak digunakan dalam penelitian performa jaringan untuk mengidentifikasi keterkaitan langsung antarindikator QoS, karena interpretasinya yang relatif sederhana dan informatif [24].

c. Korelasi Spearman

Selain korelasi Pearson, penelitian ini juga menggunakan korelasi Spearman untuk menganalisis hubungan monoton nonlinier antarparameter QoS. Korelasi Spearman berbasis peringkat (*rank-based*) sehingga lebih *robust* terhadap data yang tidak berdistribusi normal dan terhadap keberadaan nilai ekstrem yang masih tersisa setelah pembersihan data.

Penggunaan korelasi Spearman sangat relevan dalam analisis QoS, mengingat data jaringan nyata sering menunjukkan pola hubungan yang tidak sepenuhnya linier akibat efek antrian, *burst traffic*, dan variabilitas kanal. Dengan membandingkan hasil korelasi Pearson dan Spearman, penelitian ini memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakter hubungan antarvariabel QoS, baik yang bersifat linier maupun non-linier[26].

d. Visualisasi Data

Untuk mendukung analisis statistik, penelitian ini menggunakan visualisasi data berupa *scatter plot* dan *boxplot*. *Scatter plot* digunakan untuk menggambarkan pola hubungan antara dua variabel QoS, seperti *throughput* terhadap *latency*, sehingga tren hubungan dan keberadaan *outlier* dapat diamati secara visual. Sementara itu, *boxplot* digunakan untuk menunjukkan distribusi data, rentang interkuartil, serta potensi nilai ekstrem pada masing-masing parameter QoS.

Visualisasi data memainkan peran penting dalam analisis performa jaringan karena mampu memperjelas temuan numerik dan mempermudah dalam menginterpretasikan hasil

statistik secara lebih intuitif. Pendekatan visual-analitik ini telah direkomendasikan dalam berbagai studi QoS untuk meningkatkan transparansi analisis dan mengurangi risiko salah tafsir terhadap hasil korelasi semata [27], [28].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Statistika Deskriptif

Analisis statistik deskriptif terhadap parameter QoS (*throughput*, *latency*, *jitter*, dan *consistency*) dilakukan untuk memperoleh gambaran awal mengenai karakteristik distribusi pada dataset NordicDat sebelum analisis hubungan antarparameter. Pendekatan ini penting karena data QoS pada jaringan nyata umumnya tidak mengikuti distribusi normal akibat dinamika trafik, mekanisme antrean dan variasi kondisi jaringan [29], [30].

Berdasarkan Tabel 1, *throughput* memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 49,535 Mbps, dengan median 50,184 Mbps dan simpangan baku 28,922 Mbps. Rentang nilai yang lebar dari minimum 1,460 Mbps dan maksimum 99,967 Mbps menunjukkan heterogenitas kapasitas jaringan yang tinggi. Variasi ini mencerminkan kondisi operasional jaringan nyata, di mana perbedaan beban trafik, kualitas media transmisi, dan kebijakan manajemen jaringan menghasilkan performa *throughput* yang tidak seragam antar pengukuran, sebagaimana juga ditemukan pada pengukuran QoS jaringan WLAN dan jaringan institusi [31], [32].

Latency menunjukkan karakteristik distribusi miring ke kanan (*right-skewed*), dengan nilai rata-rata 44,56 ms dan median 23,29 ms, serta nilai maksimum mencapai 413,61 ms. Keberadaan *latency spike* bernilai tinggi mengindikasikan adanya kejadian *delay* ekstrem yang bersifat sporadis, yang lazim terjadi pada jaringan berbasis paket akibat antrean yang memanjang, retransmisi, atau *burst traffic*. Fenomena serupa juga dilaporkan pada berbagai studi QoS jaringan *broadband* dan *wireless*, yang menegaskan bahwa nilai ekstrem *latency* merupakan karakteristik inheren jaringan nyata dan bukan anomali pengukuran [29], [33].

Jitter memiliki nilai rata-rata 5,76 ms dengan simpangan baku 2,95 ms, menunjukkan adanya variasi yang cukup signifikan dalam waktu kedatangan paket. Meskipun sebagian besar sampel berada pada *jitter* rendah hingga sedang, keberadaan nilai *jitter* tinggi mengindikasikan fluktuasi *delay* yang dapat berdampak langsung pada kualitas aplikasi *real-time*. Temuan ini konsisten dengan penelitian QoS yang menempatkan *jitter* sebagai indikator utama ketidakaturan transmisi paket, terutama pada jaringan *wireless* dan jaringan dengan trafik dinamis [30], [32].

Variabel turunan *consistency*, yang didefinisikan sebagai fungsi invers dari *jitter*, memiliki nilai rata-rata 0,18 dengan rentang 0,05 hingga 0,99. Rentang ini menunjukkan bahwa sebagian besar kondisi jaringan berada pada tingkat stabilitas sedang, namun terdapat pula segmen jaringan dengan kestabilan *delay* yang sangat tinggi. Pendekatan transformasi *jitter* menjadi indeks stabilitas digunakan untuk mempermudah interpretasi performa jaringan, khususnya ketika distribusi *jitter* tidak normal [31].

Distribusi persentil memperkuat temuan heterogenitas performa jaringan. *Throughput* pada persentil ke-25 hanya mencapai 24,11 Mbps, sementara pada persentil ke-75 meningkat menjadi 74,76 Mbps. Pola serupa terlihat pada *latency*, di mana kuartil atas menunjukkan nilai *delay* yang jauh lebih tinggi dibandingkan kuartil bawah. Ketimpangan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas jaringan tidak selalu diikuti oleh kestabilan *delay* yang seragam, terutama pada kondisi trafik yang fluktuatif, sebagaimana juga dilaporkan dalam studi pengukuran QoS jaringan institusi dan WLAN [29], [33].

Tabel 1. Statistika Deskriptif Parameter QoS pada Dataset NordicDat

		<i>Throughput</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Consistency</i>
Mean		49,535	44,563	5,762	0,182
Median		50,184	23,286	5,430	0,156
<i>Std. Deviation</i>		28,922	56,867	2,954	0,103
Minimum		1,460	-2,850	0,010	0,050
Maximum		99,967	413,611	18,041	0,999
Percentiles	25	24,113	14,496	3,793	0,123
	50	50,184	23,286	5,430	0,156
	70	74,762	51,749	7,158	0,209

3.2 Analisis Korelasi Pearson

Pendekatan korelasi Pearson telah banyak digunakan dalam penelitian performa jaringan untuk menganalisis keterkaitan antarparameter QoS, terutama pada data hasil pengukuran jaringan nyata (*real-world measurements*) [34], [35]. Selain itu, korelasi Pearson juga umum diterapkan dalam studi QoS/QoE untuk mengidentifikasi hubungan langsung antarindikator jaringan sebelum dilakukan analisis lanjutan atau pemodelan prediktif [36]. Seluruh pasangan variabel menunjukkan signifikansi statistik ($p < 0,01$), yang menandakan bahwa keterkaitan antarparameter bersifat bermakna dan relevan untuk dianalisis lebih lanjut dalam evaluasi performa jaringan [30].

Tabel 2. Korelasi Pearson Antarparameter QoS

Parameter	<i>Throughput</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Consistency</i>
<i>Throughput</i>	1	-0,628	-0,318	0,156
<i>Latency</i>	-0,628	1	0,482	-0,251
<i>Jitter</i>	-0,318	0,482	1	-0,190
<i>Consistency</i>	0,156	-0,251	-0,190	1

Hubungan paling kuat ditunjukkan oleh korelasi negatif antara *throughput* dan *latency* ($r = -0,628$). Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas transmisi cenderung diikuti oleh penurunan *delay end-to-end*. Secara teoritis, kondisi ini sejalan dengan konsep antrean jaringan, di mana *bandwidth* yang lebih besar mengurangi waktu tunggu paket, sebagaimana juga dilaporkan pada pengukuran QoS jaringan *wireless* dan jaringan institusi [29], [33].

Korelasi negatif sedang antara *throughput* dan *jitter* ($r = -0,318$) menunjukkan bahwa peningkatan *throughput* hanya berkontribusi terbatas terhadap pengurangan variasi *delay*. Hal ini menegaskan bahwa *jitter* lebih dipengaruhi oleh dinamika trafik dan mekanisme penjadwalan paket dibandingkan kapasitas *bandwidth* semata [31].

Hubungan antara *throughput* dan *consistency* bersifat positif namun lemah ($r = 0,156$), yang menunjukkan bahwa kapasitas jaringan yang tinggi tidak secara langsung menjamin stabilitas *delay*. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa metrik kapasitas dan metrik stabilitas merepresentasikan dimensi QoS yang berbeda [30].

Latency menunjukkan korelasi positif sedang dengan *jitter* ($r = 0,482$), serta korelasi negatif dengan *consistency* ($r = -0,251$), yang menegaskan bahwa peningkatan *delay* tidak hanya memperlambat transmisi tetapi juga menurunkan kestabilan layanan. Hubungan terkuat antara *jitter* dan *consistency* ($r = -0,756$) secara matematis konsisten dengan definisi *consistency* sebagai fungsi invers dari *jitter* [31].

Secara keseluruhan, hasil korelasi Pearson menunjukkan bahwa kualitas layanan jaringan tidak dapat dijelaskan secara memadai hanya melalui satu parameter tunggal. Nilai koefisien korelasi Pearson mengindikasikan bahwa hubungan antarparameter QoS seperti *throughput*, *latency*, dan *jitter* bersifat saling terkait secara linear, sehingga perubahan pada

satu parameter berpotensi memengaruhi parameter lainnya secara signifikan [35], [37]. Temuan ini menegaskan bahwa evaluasi performa jaringan berbasis korelasi Pearson perlu dilakukan secara simultan terhadap beberapa parameter QoS, termasuk indikator turunan seperti *consistency*, agar hubungan linear antarparameter dapat dipahami secara lebih utuh dan tidak menimbulkan bias interpretasi akibat analisis satu dimensi [10], [36]. Pendekatan ini sejalan dengan praktik analisis QoS modern yang memanfaatkan korelasi Pearson untuk mengungkap keterkaitan linear antarindikator performa jaringan berdasarkan data pengukuran nyata (*real-world measurements*) [35], [38].

3.3 Analisis Korelasi Spearman

Analisis korelasi Spearman digunakan untuk mengidentifikasi hubungan monoton antarparameter QoS tanpa mengharuskan data berdistribusi normal. Pendekatan ini relevan untuk karakteristik data QoS jaringan yang umumnya bersifat fluktuatif dan heterogen. Berdasarkan Tabel 3, seluruh pasangan parameter menunjukkan nilai koefisien korelasi yang signifikan ($p < 0,01$), sehingga hasil analisis Spearman ini memperkuat temuan sebelumnya yang diperoleh melalui korelasi Pearson dan menegaskan *consistency* hubungan antarparameter QoS pada jaringan nyata [33].

Tabel 3. Korelasi Spearman Antarparameter QoS

Parameter	<i>Throughput</i>	<i>Latency</i>	<i>Jitter</i>	<i>Consistency</i>
<i>Throughput</i>	1	-0,847	-0,254	0,254
<i>Latency</i>	-0,847	1	0,290	-0,290
<i>Jitter</i>	-0,254	0,290	1	-1
<i>Consistency</i>	0,254	-0,290	-1	1

Hubungan antara *throughput* dan *latency* menunjukkan korelasi negatif sangat kuat dengan nilai koefisien $\rho = -0,847$. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan *throughput* secara konsisten diikuti oleh penurunan *latency*, meskipun hubungan yang terbentuk bersifat monoton dan tidak sepenuhnya linier. Hasil ini menerima dan menguatkan temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa efisiensi pengiriman data yang lebih tinggi akan menurunkan waktu tunda transmisi, terutama pada jaringan dengan trafik dinamis dan variasi beban yang tinggi [29].

Sementara itu, korelasi antara *throughput* dengan *jitter* ($\rho = -0,254$) dan *consistency* ($\rho = 0,254$) berada pada kategori lemah. Hal ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan transfer data tidak secara langsung memengaruhi stabilitas waktu antar paket maupun tingkat *consistency* layanan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya, yang menyebutkan bahwa *jitter* lebih dipengaruhi oleh mekanisme antrian dan manajemen *buffer* dibandingkan oleh *throughput* semata [29].

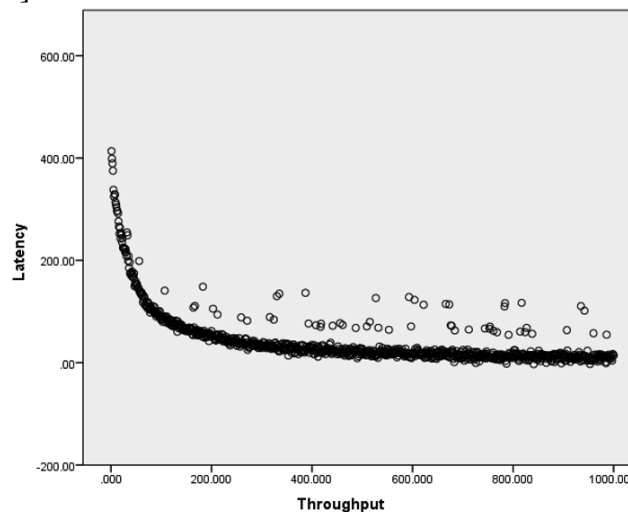
Hubungan antara *latency* dengan *jitter* ($\rho = 0,290$) dan *latency* dengan *consistency* ($\rho = -0,290$) berada pada tingkat korelasi sedang. Korelasi positif antara *latency* dan *jitter* menunjukkan bahwa peningkatan waktu tunda cenderung diikuti oleh peningkatan variasi waktu antar paket, sedangkan korelasi negatif dengan *consistency* menandakan bahwa semakin tinggi *latency*, semakin rendah tingkat *consistency* layanan. Hasil ini mendukung temuan terdahulu yang menekankan keterkaitan *latency* sebagai faktor utama yang mempengaruhi kestabilan performa jaringan [33].

Temuan paling signifikan ditunjukkan oleh hubungan antara *jitter* dan *consistency* yang memiliki korelasi negatif sempurna ($\rho = -1,000$). Nilai ini menegaskan bahwa *consistency* sepenuhnya dikendalikan oleh *jitter*, sehingga setiap peningkatan *jitter* akan secara langsung menurunkan *consistency* dengan proporsi yang sama. Hasil ini menerima dan memperkuat secara penuh kesimpulan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa *consistency*

merupakan indeks turunan yang sangat sensitif terhadap fluktuasi *jitter* dan sangat efektif digunakan dalam analisis nonparametrik performa jaringan [31].

3.4 Hubungan *Latency* dan

Analisis visualisasi performa QoS dilakukan untuk memperkuat hasil statistik korelasional yang telah diperoleh sebelumnya. Visualisasi ini mencakup *scatter plot* hubungan antara *throughput* dengan *latency* (Gambar 3), *scatter plot* hubungan *jitter* dengan *consistency* (Gambar 4), serta *boxplot* distribusi *latency* berdasarkan kuartil *throughput* (Gambar 5). Pendekatan ini penting untuk mengungkap pola hubungan nonlinier dan distribusi data yang tidak sepenuhnya dapat dijelaskan melalui koefisien korelasi semata, mengingat metrik QoS seperti *delay* dan *jitter* sering kali menunjukkan variabilitas tinggi pada jaringan nyata [39].



Gambar 3. *Scatter Plot* Hubungan *Latency* dan *Throughput*

Gambar 3 memperlihatkan hubungan negatif yang kuat antara *throughput* dan *latency*, dengan pola yang jelas bersifat nonlinier. Pada nilai *throughput* rendah, *latency* menunjukkan variasi luas, termasuk keberadaan *latency spike* yang mencapai lebih dari 400 ms. Seiring dengan peningkatan *throughput*, nilai *latency* menurun secara signifikan dan cenderung terdistribusi pada rentang yang lebih sempit, khususnya pada *throughput* menengah hingga tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *throughput* tinggi mampu mengurangi *delay*, distribusi *latency* tetap dipengaruhi oleh faktor lain seperti antrean paket dan overhead protokol, terutama pada trafik tinggi [39].

Pola ini secara visual mengonfirmasi hasil analisis korelasi Spearman yang menunjukkan hubungan negatif sangat kuat antara *throughput* dan *latency* ($\rho = -0,847$). Hubungan monoton yang tidak linier ini mengindikasikan bahwa peningkatan *throughput* secara konsisten menurunkan *latency*, namun efek penurunannya semakin marginal setelah melewati ambang kapasitas tertentu. Fenomena ini selaras dengan temuan Krejčí (2025) yang melaporkan bahwa dalam komunikasi nirkabel yang dinamis, *latency* dan *throughput* menunjukkan hubungan tidak linier yang dipengaruhi oleh kondisi jaringan dan interferensi lingkungan. Dengan demikian, hasil penelitian ini menerima dan memperkuat temuan penelitian sebelumnya [39].

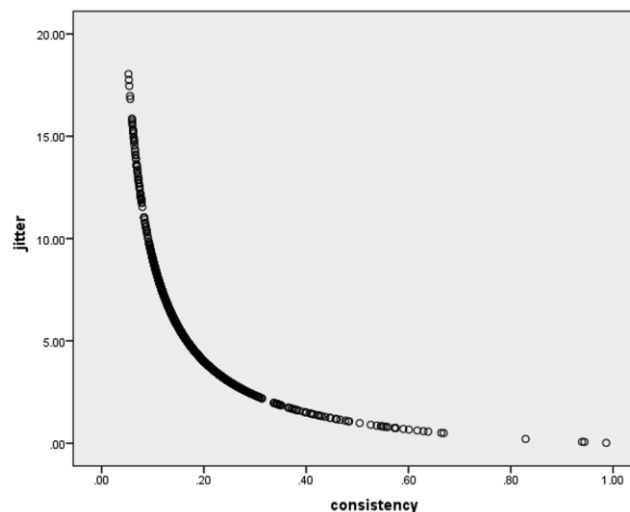
3.5 Hubungan *Jitter* dan *Consistency*

Gambar 4 menunjukkan hubungan invers yang sangat kuat antara *jitter* dan indeks *consistency*. Ketika *jitter* berada pada nilai tinggi, *consistency* cenderung sangat rendah,

sedangkan pada kondisi jitter rendah, nilai *consistency* mendekati satu. Pola ini membentuk kurva menurun yang tajam dan hampir deterministik.

Hasil visual ini sepenuhnya sejalan dengan nilai korelasi Spearman sebesar $-1,000$, yang menunjukkan hubungan monoton sempurna antara kedua variabel. Hal ini dapat dijelaskan secara matematis karena *consistency* didefinisikan sebagai fungsi invers dari jitter. Dengan demikian, setiap perubahan jitter secara langsung memengaruhi nilai *consistency*.

Temuan ini mendukung temuan Krupych, yang menunjukkan bahwa variabilitas latency atau jitter sangat memengaruhi performa QoS, terutama dalam aplikasi yang memerlukan prediktabilitas waktu transmisi, sehingga menegaskan bahwa jitter merupakan indikator utama ketidakstabilan layanan jaringan [40]. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menerima dan mengonfirmasi hasil penelitian terdahulu terkait peran *jitter* dalam stabilitas QoS.



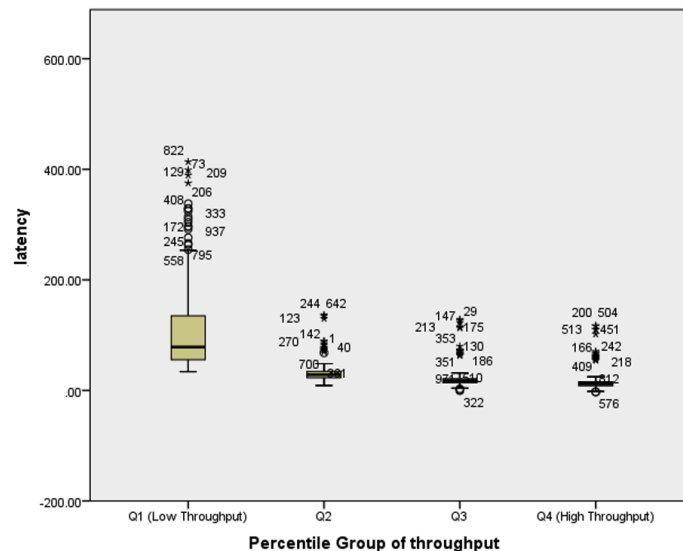
Gambar 4. Scatter Plot Jitter dan Indeks Consistency Jaringan

3.5 Distribusi Latency Berdasarkan Kuartil Throughput

Gambar 5 menyajikan boxplot distribusi *latency* pada empat kuartil *throughput*. Pada kuartil pertama (Q1), yang merepresentasikan *throughput* rendah, *latency* memiliki median yang tinggi dengan rentang antar-kuartil yang lebar serta banyak *outlier* bernilai ekstrem. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan dengan *throughput* rendah tidak hanya mengalami *delay* yang lebih besar, tetapi juga lebih tidak stabil.

Pada kuartil menengah (Q2 dan Q3), median *latency* menurun secara bertahap dan variasinya semakin menyempit. Sementara itu, pada kuartil keempat (Q4) yang merepresentasikan *throughput* tinggi, *latency* menunjukkan median terendah dan distribusi paling sempit, meskipun masih terdapat beberapa *outlier*. Keberadaan *outlier* ini mengindikasikan bahwa meskipun kapasitas jaringan tinggi, kejadian *delay* ekstrem tetap dapat terjadi akibat *burst traffic* atau kondisi sementara lainnya.

Distribusi ini konsisten dengan studi QoS yang menunjukkan bahwa meskipun peningkatan *throughput* dapat memperbaiki performa rata-rata *latency*, variabilitas dan *outlier latency* tetap terjadi karena dinamika trafik jaringan [39]. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung dan memperluas temuan sebelumnya dengan bukti empiris berbasis kuartil *throughput*.



Gambar 5. Boxplot Latency pada Kuartil Throughput

3.4 Pembahasan Implikasi

Secara keseluruhan, integrasi antara analisis korelasi dan visualisasi menunjukkan bahwa kualitas layanan jaringan tidak dapat direpresentasikan oleh satu metrik tunggal. *Throughput* terbukti berperan signifikan dalam menurunkan *latency* rata-rata, namun memiliki pengaruh terbatas terhadap kestabilan *delay*, konsisten dengan studi performa jaringan modern yang menekankan pentingnya pengelolaan metrik QoS secara holistik dalam trafik heterogen untuk layanan nyata [12].

Sebaliknya, *jitter* muncul sebagai determinan utama stabilitas jaringan, sebagaimana tercermin dari hubungan yang sangat kuat dengan indeks *consistency*, dan hal ini sejalan dengan temuan literatur bahwa penanganan variasi *delay* (*jitter*) merupakan kunci dalam menjaga layanan *real-time* tetap konsisten dan bebas dari degradasi pengalaman pengguna [41].

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa strategi peningkatan QoS tidak dapat hanya berfokus pada peningkatan kapasitas *bandwidth* (*throughput*). Meskipun *throughput* tinggi mampu menekan *latency* dalam banyak konteks jaringan *broadband* dan *wireless*, pengendalian *jitter* melalui mekanisme manajemen antrean, *traffic shaping*, dan penjadwalan paket juga menjadi faktor kunci untuk menjamin stabilitas layanan, terutama bagi aplikasi sensitif waktu seperti *VoIP* dan *video streaming* [41].

Dengan demikian, pendekatan evaluasi dan optimasi QoS berbasis multi-metrik yang meliputi *throughput*, *latency*, *jitter*, dan indikator turunan seperti *consistency* menjadi sangat penting untuk meningkatkan kualitas pengalaman pengguna (*QoE*) pada layanan *real-time* yang beragam. Pendekatan ini sesuai dengan bukti empiris bahwa QoS yang efektif tidak hanya berdiri pada satu metrik saja, melainkan membutuhkan keseimbangan antara kapasitas dan stabilitas layanan [12].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis hubungan antarparameter QoS, khususnya keterkaitan antara *throughput*, *latency*, dan *consistency* jaringan, menggunakan pendekatan kuantitatif korelasional berbasis data sekunder. Hasil analisis menunjukkan bahwa *throughput* memiliki korelasi negatif yang sangat kuat terhadap *latency*, yang mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas transfer data secara efektif dapat menurunkan waktu tunda dan mendukung peningkatan responsivitas jaringan. Namun, hubungan *throughput* dengan

consistency bersifat positif dengan kekuatan sedang, sehingga *throughput* yang tinggi tidak secara langsung menjamin kestabilan performa jaringan. Selain itu, korelasi negatif moderat antara *latency* dan *consistency* menegaskan bahwa peningkatan *delay* cenderung diikuti oleh meningkatnya ketidakteraturan waktu kedatangan paket, yang berdampak langsung pada kualitas layanan. Temuan ini memberikan implikasi praktis bahwa perancangan dan pengelolaan jaringan perlu menekankan pengendalian *latency* dan *jitter* secara seimbang dengan peningkatan *throughput*, terutama untuk aplikasi yang sensitif terhadap *delay*. Meskipun tujuan penelitian telah tercapai, penelitian ini memiliki keterbatasan yang jelas, yaitu penggunaan data sekunder berbasis simulasi yang berpotensi menimbulkan bias dan belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi jaringan operasional nyata. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data pengukuran langsung pada berbagai lingkungan jaringan serta mengembangkan pendekatan analisis multivariat atau integrasi metrik (QoE) guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- [1] A. Azhar, S. Pramono, and E. Supriyanto, "An analysis of quality of service (QoS) in live video streaming using evolved HSPA network media," 2016.
- [2] D. K. Mwangi, A. O. Ndlovu, and S. T. Boateng, "Performance analysis of broadband communication networks using basic QoS metrics," *International Journal of Communication and Information Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 28–32, Jan. 2026, doi: 10.33545/2707661x.2026.v7.i1a.173.
- [3] T. Mazhar *et al.*, "Quality of service (QoS) performance analysis in a traffic engineering model for next-generation wireless sensor networks," *Symmetry (Basel)*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/sym15020513.
- [4] R. Mohamad, S. M. Idrus, O. Abuajwa, Z. Yusoff, S. Yaakob, and P. N. Ja'afar, "Real-world quality of service (QoS) performance in radio over fiber (RoF) networks: Experimental testbed," *Optical Fiber Technology*, vol. 93, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.yofte.2025.104223.
- [5] H. Ruli Oktaseli and A. A. Slameto, "Evaluation of wireless LAN quality of service (QoS) in Primary Education using TIPHON standards," 2025. [Online]. Available: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAIC>
- [6] D. da S. Rodrigues and D. A. M. José, "Performance analysis of ethernet networks through quality of service (QoS) metrics using real and virtual machines," *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, vol. 17, no. 2, pp. 64–77, Aug. 2025, doi: 10.5335/rbca.v17i2.16481.
- [7] J. E. Zaldivar-Herrera, L. P. Sánchez-Fernández, and L. M. Rodríguez-Méndez, "Network long-term evolution quality of service assessment using a weighted fuzzy inference system," *Mathematics*, vol. 12, no. 24, Dec. 2024, doi: 10.3390/math12243985.
- [8] I. Ali, S. Hong, and T. Cheung, "Quality of service and congestion control in software-defined networking using policy-based routing," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 19, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14199066.
- [9] A. Alauthman and T. Shraa, "Performance evaluation and latency optimization of Wi-Fi 7 in high-density wireless environments," *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, vol. 14, no. 6, pp. 354–364, Nov. 2025, doi: 10.18178/ijeetc.14.6.354-364.
- [10] A. Kurnia Saleh, H. Peni Agustin Tjahyaningtijas, and L. Rakhmawati, "Quality of service (QoS) comparative analysis of wireless network," 2022.
- [11] ETSI, "Telecommunications and internet protocol harmonization over networks (TIPHON); General aspects of quality of service (QoS)," Valbonne-FRANCE, Jun.

1999. Accessed: Feb. 04, 2026. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101329/02.01.01_60/tr_101329v020101p.pdf
- [12] A. S. AlSalehy and M. Bailey, "Improving time series data quality: Identifying outliers and handling missing values in a Multilocation Gas And Weather dataset," *Smart Cities*, vol. 8, no. 3, Jun. 2025, doi: 10.3390/smartcities8030082.
- [13] Z. U. Rosyidin, M. Muladi, and A. N. Handayani, "Determining quality of service (QoS) of end-user internet networks with data sniffing and classification algorithms," *International Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 9, no. 1, May 2025, doi: 10.29099/ijair.v9i1.1444.
- [14] T. Mazhar *et al.*, "Quality of Service (QoS) performance analysis in a traffic engineering model for next-generation wireless sensor networks," *Symmetry (Basel)*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/sym15020513.
- [15] A. K. Y. Dafhalla *et al.*, "Performance evaluation and QoS optimization of routing protocols in vehicular communication networks under delay-sensitive conditions," *Computers*, vol. 14, no. 7, Jul. 2025, doi: 10.3390/computers14070285.
- [16] J. Yue, "Packet loss and latency analysis of DDS middleware across QoS profiles and computing platforms," *Journal of Computer and Communication Networks*, vol. 1, pp. 257–266, Dec. 2025, doi: 10.64026/jccn/2025024.
- [17] A. Botta, A. Pescapé, and G. Ventre, "Quality of service statistics over heterogeneous networks: Analysis and applications," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 191, no. 3, pp. 1075–1088, 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.07.022.
- [18] F. Hardiyanti, P. Bintoro, R. Ratnasari, T. Herdian Andika, F. Ardhy, and A. Eko Setiawan, "Komparasi layanan video live streaming menggunakan metode quality of service," *Jurnal Algoritma*, vol. 21, no. 1, May 2024, doi: 10.33364/algoritma/v.21-1.1610.
- [19] A. T. Sirmayanti S and N. K. Hamzidah, "Studi komparatif QoS pada aplikasi video meeting tool dalam jaringan 4G LTE menggunakan Wireshark," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 12, no. 1, pp. 31–40, Jan. 2023, doi: 10.32520/stmsi.v12i1.2069.
- [20] M. R. Tandi and N. M. Shrirao, "Comparative analysis of network measurement tools for QoS evaluation in 5G communication environments," *International Journal of Communication and Computer Technologies*, vol. 13, no. 2, Aug. 2025, doi: 10.31838/ijccts.13.02.07.
- [21] T. Miekka, P. Pyykonen, and G. Drainakis, "NordicDat: a cross-border predictive QoS dataset," *Zenodo*, Apr. 2024.
- [22] M. S. Ragil, I. Iskandar, R. Mai Candra, and U. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, "Quality of service (QoS) analysis to calculate internet network performance level DISKOMINFOTIK and OPD P3AP2KB Office Riau Province," *Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 20, no. 3, pp. 392–405, Oct. 2023, doi: 10.31515/telematika.v20i3.10716.
- [23] A. Dudáš, "Graphical representation of data prediction potential: correlation graphs and correlation chains," *Visual Computer*, vol. 40, no. 10, pp. 6969–6982, Oct. 2024, doi: 10.1007/s00371-023-03240-y.
- [24] A. Dudáš, "Non-parametric correlation structures and their respective embeddings in predictive analysis," *Discover Applied Sciences*, vol. 7, no. 5, May 2025, doi: 10.1007/s42452-025-07022-0.
- [25] A. Arista, T. Theresiawati, and H. B. Seta, "Big Mart sales data visualization and correlation," *International Journal of Informatics Visualization*, vol. 8, no. 2, pp. 576–582, May 2024, doi: 10.62527/joiv.8.2.1780.

- [26] R. Aulia, D. Chandra, Y. Mirza, and M. Dhino Laskar Ashanto, "Quality of service analysis on LTE networks time division duplex and frequency division duplex technology," *International Journal of Wireless And Multimedia Communications is licensed under a Creative Commons Attribution*, vol. 1, no. 2, p. 53-64, 2024.
- [27] A. Erdely and M. Rubio-Sánchez, "D-plots: visualizations for analysis of bivariate dependence between continuous random variables," *Stats (Basel)*, vol. 8, no. 2, Jun. 2025, doi: 10.3390/stats8020043.
- [28] A. Filipowicz, S. Carter, N. Bravo, R. Iliev, S. Hakimi, D. A. Shamma, K. Lyons, C. Hogan, and C. Wu, "Visual elements and cognitive biases influence interpretations of trends in scatter plots," arXiv preprint arXiv:2310.15406, 2023, doi: 10.48550/arXiv.2310.15406.
- [29] M. Y. Simargolang and A. Widarma, "Quality Of Service (QoS) For Network Performance Analysis Wireless Area Network (WLAN)," *Journal of Computing Engineering, System and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 162–171, 2022, [Online]. Available: www.jurnal.unimed.ac.id
- [30] A. A. S. Utomo, Supandi, and A. R. Rozzaqi, "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," *IBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, vol. 4, no. 9, pp. 2691–2970, Aug. 2025, doi: 10.54443/sibatik.v4i9.3428.
- [31] T. Syafrudin, Rianto, and E. Ujianto, "Analisis kualitas layanan jaringan Wlan berdasarkan parameter throughput, delay, jitter, dan packet loss di Universitas X," *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, vol. 5 No. 8, Aug. 2025, doi:10.52436/1.jpti.887.
- [32] K. Mochammad *et al.*, "Pengukuran Performa Jaringan Internet Menggunakan Quality of Service dengan Wireshark," *NCDR*, vol. 3, no. 1, pp. 9–14, 2025, doi: [10.55732/ncdr.v3i1.1633](https://doi.org/10.55732/ncdr.v3i1.1633). <https://journal.unusida.ac.id/index.php/ncdr/>
- [33] R. D. Sanjaya, D. Syamdova, M. Farhan, and R. P. Laksana, "Analisis parameter QoS (quality of service) pada jaringan internet di Perpustakaan Universitas Esa Unggul Tangerang," *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science*, vol. 2 No.1, pp. 97-126, 2025,, doi: 10.70248/jdaics.v2i1.1819.
- [34] D. Zmysłowski and J. M. Kelner, "Drive test-based correlation assessment of QoS parameters for exemplary measurements scenario in suburban environment," in *International Conference on Web Information Systems and Technologies, WEBIST - Proceedings*, Science and Technology Publications, Lda, 2022, pp. 497–504. doi: 10.5220/0011575800003318.
- [35] N. Ahmad, A. Wahab, J. Schormans, and A. A. Arnab, "Significance of cross-correlated QoS configurations for validating the subjective and objective QoE of cloud gaming applications," *Future Internet*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.3390/fi15020064.
- [36] M. García-Torres *et al.*, "Feature selection applied to QoS/QoE modeling on video and web-based mobile data services: An ordinal approach," *Comput. Commun.*, vol. 217, pp. 230–245, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.comcom.2024.02.004.
- [37] H. Ainina and Ridwan, "Analisis quality of service jaringan internet 4G dengan parameter throughput, delay dan jitter pada Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar," *Jurnal Pendidikan Teknologi informasi*, vol. 8 No. 2, pp. 33–41, Oct. 2024, doi: 10.22373/cj.v8i2.25447.
- [38] M. Alreshoodi and J. Woods, "Survey on QoE\Qos correlation models formultimedia services," *International Journal of Distributed and Parallel systems*, vol. 4, no. 3, pp. 53–72, May 2013, doi: 10.5121/ijdps.2013.4305.

- [39] J. Krejčí, M. Babiuch, J. Suder, V. Krys, and Z. Bobovský, “Latency-sensitive wireless communication in dynamically moving robots for urban mobility applications,” *Smart Cities*, vol. 8, no. 4, Aug. 2025, doi: 10.3390/smartcities8040105.
- [40] A. Krupych and E. Elsts, “MQTT latency evaluation in cloud-based spectrometer control,” Nov. 2025. doi: 10.23939/acps2025.02.151.
- [41] A. A. Masli, F. Y. H. Ahmed, and A. M. Mansoor, “QoS-Aware scheduling algorithm enabling video services in LTE Networks,” *Computers*, vol. 11, no. 5, May 2022, doi: 10.3390/computers11050077.