



PENGARUH LATENSI TERHADAP KUALITAS LAYANAN (*QoS*) DALAM *VIDEO STREAMING REAL-TIME*

Eka Yuni Titik Artaningsih¹, Surya Rizky Maulana Ibrahim², Muhammad Dzaki Habibi³

Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

email : dosen02616@unpam.ac.id¹, suryarmi111@gmail.com², zakihabibi202@gmail.com³,

Informasi Artikel	ABSTRACT
<p>Riwayat artikel : Disubmit : 25 Juni 2025 Direvisi : 27 Juni 2025 Diterima : 28 Juni 2025 Dipublikasi : 30 Juni 2025</p>	<p><i>Real-time video streaming is a multimedia service that is highly vulnerable to latency disruptions. Quality of Service (QoS) parameters such as latency, jitter, packet loss, and throughput significantly influence the user's Quality of Experience (QoE). Among these parameters, latency is the most critical as it directly affects data transmission delays and interactivity. This study aims to evaluate the impact of latency on QoS through experimental simulations and a literature review. The experimental results show that increasing latency from 50ms to 300ms leads to an increase in initial buffering time from 0.8 seconds to 4.1 seconds, a decrease in Video Mean Opinion Score (vMOS) from 4.6 to 2.5, and an increase in stalling from 0 to 5 occurrences. Literature studies also indicate that latency above 150ms significantly reduces QoE, especially in services such as video conferencing, live broadcasting, and e-learning. Several strategies are recommended for latency mitigation, including the use of Content Delivery Networks (CDNs), edge computing, and adaptive bitrate protocols such as WebRTC or SRT. Thus, latency is proven to be a key factor that determines user experience in video streaming services.</i></p>
<p>Keywords: <i>Latency, Quality of Service (QoS), Real-Time Video Streaming, Buffering, Quality of Experience (QoE)</i></p>	
<p>Kata Kunci : <i>Latensi, Quality of Service (QoS), Video Streaming Real-Time, Buffering, Quality of Experience (QoE)</i></p>	<p>ABSTRAK</p> <p><i>Real-time video streaming merupakan layanan multimedia yang sangat rentan terhadap gangguan latensi. Parameter Quality of Service (QoS) seperti latensi, jitter, kehilangan paket, dan throughput memiliki pengaruh besar terhadap Quality of Experience (QoE) pengguna. Di antara parameter tersebut, latensi menjadi elemen paling kritis karena berpengaruh langsung terhadap keterlambatan transmisi data dan interaktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak latensi terhadap QoS melalui simulasi eksperimental dan kajian literatur. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan latensi dari 50ms ke 300ms menyebabkan waktu buffering awal meningkat dari 0,8 detik menjadi 4,1 detik, dan skor Video Mean Opinion Score (vMOS) menurun dari 4,6 menjadi 2,5, dengan jumlah stalling meningkat dari 0 menjadi 5 kali. Studi pustaka juga menunjukkan bahwa latensi di atas 150ms menyebabkan penurunan QoE yang signifikan, terutama dalam layanan seperti video conference, siaran langsung, dan e-learning. Beberapa strategi yang direkomendasikan untuk mitigasi latensi mencakup penggunaan Content Delivery Network (CDN), komputasi tepi (edge computing), dan protokol bitrate adaptif seperti WebRTC atau SRT. Dengan demikian, latensi terbukti sebagai faktor kunci yang menentukan pengalaman pengguna pada layanan video streaming.</i></p>





PENDAHULUAN

Layanan video streaming real-time telah menjadi tulang punggung komunikasi digital modern. Platform seperti *Zoom*, *YouTube Live*, *Google Meet*, dan *Microsoft Teams* kini digunakan tidak hanya untuk kebutuhan hiburan, tetapi juga untuk pendidikan daring, layanan kesehatan jarak jauh (*telemedicine*), hingga kolaborasi kerja lintas negara. Seiring meningkatnya ketergantungan terhadap komunikasi visual, tuntutan terhadap kualitas performa jaringan menjadi semakin tinggi. Dalam konteks ini, menjaga kelancaran transmisi video secara *real-time* merupakan tantangan teknis yang krusial bagi pengembang sistem komunikasi multimedia.

Salah satu aspek terpenting dalam menjaga kelancaran layanan video adalah kualitas layanan jaringan atau *Quality of Service (QoS)*, yang mencakup parameter teknis seperti latensi (*delay*), jitter (variasi waktu antar paket), packet loss (kehilangan paket data), dan throughput. Parameter-parameter ini tidak hanya berdampak pada performa teknis sistem, tetapi juga memengaruhi persepsi pengguna akhir atau yang dikenal dengan *Quality of Experience (QoE)*. Shi et al. (2024) menunjukkan bahwa peningkatan latensi dan jitter dapat menurunkan *Video Mean Opinion Score (vMOS)*, indikator subjektif utama dalam penilaian pengalaman pengguna terhadap kualitas visual dan interaksi. Zhang et al. (2023) menambahkan bahwa latensi di atas 150ms dapat secara nyata mengganggu komunikasi dua arah, menyebabkan gangguan sinkronisasi audio-video dan menurunkan efektivitas komunikasi.

Sejalan dengan itu, berbagai pendekatan teknis telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan kualitas layanan dalam video streaming. Salah satunya adalah algoritma adaptive bitrate yang memungkinkan sistem secara dinamis menyesuaikan kualitas video berdasarkan kondisi jaringan saat itu (Kim & Chen, 2022). Farahani et al. (2024) mengusulkan penggunaan *hybrid peer-to-peer* CDN untuk mengurangi latensi dan konsumsi energi secara bersamaan dalam layanan live streaming. Sementara itu, studi oleh Jiang et al. (2022) menunjukkan bahwa arsitektur WebRTC mampu mengurangi waktu respons dan meningkatkan efisiensi pengiriman data secara real-time melalui komunikasi peer-to-peer.

Inovasi juga terus dikembangkan dalam domain machine learning, seperti strategi GreenABR berbasis *deep reinforcement learning* yang diperkenalkan oleh Dai et al. (2022). Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kualitas video, tetapi juga menurunkan konsumsi daya secara signifikan. Terlepas dari kemajuan tersebut, sebagian besar penelitian masih berfokus pada simulasi perangkat lunak atau evaluasi algoritma dalam kondisi laboratorium, tanpa menyertakan uji eksperimental terhadap kondisi jaringan yang bervariasi secara nyata.

Sampai saat ini, masih sedikit penelitian yang secara langsung mengevaluasi dampak variasi latensi





terhadap parameter teknis streaming seperti buffering awal, jumlah stalling, dan skor vMOS secara simultan melalui pendekatan eksperimental. Studi-studi yang ada cenderung menitikberatkan pada satu parameter tunggal atau mengandalkan pengujian di lingkungan yang terbatas. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk melakukan pengujian langsung terhadap pengaruh latency secara sistematis menggunakan pendekatan emulasi jaringan yang dapat dikontrol secara presisi. Gap inilah yang menjadi dasar dan urgensi penelitian ini dilakukan.

Kekosongan dalam literatur tersebut menjadi peluang untuk menyumbang kontribusi ilmiah baru melalui eksperimen terkontrol berbasis network emulation tool seperti NetEm, yang memungkinkan replikasi kondisi latensi jaringan dalam berbagai skenario. Dengan pendekatan ini, penelitian dapat mengukur secara langsung dan terintegrasi tiga parameter utama yang mencerminkan QoE, yakni waktu buffering awal, jumlah stalling, dan skor vMOS. Kombinasi hasil eksperimen dan tinjauan pustaka yang mutakhir diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif terhadap mekanisme degradasi kualitas layanan akibat latensi tinggi.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada integrasi metode eksperimental dan sintesis pustaka untuk mengevaluasi pengaruh variasi latency terhadap performa sistem streaming secara holistik. Penelitian ini tidak hanya membuktikan pengaruh latency secara kuantitatif, tetapi juga merumuskan rekomendasi teknis berbasis bukti untuk pengembangan arsitektur layanan streaming yang tangguh terhadap kondisi jaringan dinamis. Dengan demikian, temuan penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk pengembangan sistem komunikasi video yang lebih efisien, inklusif, dan handal.

Berdasarkan latar belakang dan kebutuhan akan pendekatan yang lebih aplikatif, penelitian ini memiliki tiga tujuan utama: (1) mengevaluasi secara eksperimental dampak variasi latency terhadap QoS dan QoE layanan video streaming, (2) mengkaji pendekatan teknis berbasis literatur untuk mitigasi latency, dan (3) menyusun rekomendasi strategis berbasis temuan empiris untuk pengembangan sistem komunikasi multimedia masa depan. Tujuan ini sejalan dengan upaya membangun fondasi ilmiah yang kuat untuk pengembangan sistem komunikasi digital yang adaptif terhadap keterbatasan jaringan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh latensi terhadap kualitas layanan (*QoS*) dalam *video streaming real-time*. Untuk mencapai tujuan tersebut, pendekatan yang digunakan adalah **gabungan antara studi eksperimen teknis dan metasintesis terhadap hasil studi terdahulu** mengenai hubungan antara parameter jaringan dan kualitas pengalaman pengguna (*Quality of Experience*). Metode ini dipilih untuk memperoleh pemahaman menyeluruh dari sisi teknis dan empiris.





1. Pendekatan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah **kombinasi kuantitatif dan kualitatif**, melalui pendekatan:

- **Eksperimen jaringan**, untuk menguji pengaruh variasi latensi terhadap performa layanan video streaming real-time.
- **Metasintesis literatur ilmiah**, untuk menyatukan berbagai temuan terdahulu mengenai latensi, *buffering*, dan *QoS* dalam streaming.

Pendekatan ini memberikan landasan kuat untuk menyimpulkan pola dan konsekuensi nyata dari peningkatan latensi dalam layanan yang memerlukan komunikasi langsung.

2. Sumber Data

Sumber data penelitian ini terdiri dari dua kategori:

- **Data primer**: hasil eksperimen langsung dengan mengatur simulasi latensi menggunakan perangkat lunak *network emulator (NetEm)*, serta pengujian *playback video* dengan *OBS Studio* dan *RTMP Server*.
- **Data sekunder**: artikel ilmiah dari database *Scopus*, *IEEE*, dan *ACM Digital Library* (2020–2024), dengan kata kunci seperti “*latency in real-time streaming*”, “*QoS parameters in multimedia*”, dan “*buffering impact on QoE*”.

Kriteria seleksi literatur mencakup:

- Penelitian yang menganalisis hubungan langsung antara latensi dan kualitas layanan.
- Studi yang mencantumkan parameter teknis seperti *jitter*, *throughput*, *packet loss*, serta dampaknya pada pengalaman pengguna.
- Artikel yang membahas implementasi *CDN* dan adaptasi *bitrate* dalam meminimalisir latensi.





3. Prosedur Pengumpulan Data

a. Eksperimen

- Simulasi dilakukan dengan skenario latensi bertahap: *50ms*, *100ms*, *200ms*, dan *300ms*.
- Setiap skenario diuji selama durasi **5 menit** untuk setiap sesi streaming, guna mensimulasikan kondisi nyata layanan *video real-time*.
- Pengujian dilakukan sebanyak **3 kali untuk tiap skenario latensi** (total 12 sesi eksperimen) untuk memastikan konsistensi hasil dan mengurangi pengaruh anomali jaringan.
- Parameter yang diamati pada setiap sesi meliputi:
 - o Waktu buffering awal (detik)
 - o Jumlah stalling (berhenti mendadak)
 - o Nilai *vMOS (Video Mean Opinion Score)*, yang dinilai berdasarkan penilaian subjektif dan indikator teknis.
- Pengumpulan data dilakukan secara *real-time* dengan pemantauan *playback video* menggunakan *OBS Studio*, serta pencatatan parameter jaringan melalui sistem *log* dari NetEm dan alat bantu pemantau trafik.
- Semua hasil dicatat dalam *spreadsheet* untuk analisis statistik deskriptif dan dibandingkan antar skenario latensi.

b. Studi Literatur

- Artikel yang lolos seleksi diklasifikasi berdasarkan metode, hasil, dan rekomendasi teknis.
- Dilakukan ekstraksi informasi seperti nilai ambang batas latensi yang direkomendasikan, serta strategi teknis yang digunakan oleh masing-masing penelitian.

4. Teknik Analisis Data

a. Analisis Tematik (untuk hasil literatur)

Dari studi yang dikumpulkan, dilakukan kategorisasi tematik berdasarkan:

- Batas toleransi latensi dalam *streaming real-time*
- Respons pengguna terhadap *buffering* dan *delay*
- Peran *CDN* dan algoritma bitrate dalam *QoS*

b. Statistik Eksperimen (untuk hasil pengujian langsung)

- Rata-rata *buffering*, jumlah stall, dan skor *vMOS* dianalisis menggunakan statistik deskriptif.
- Dibandingkan antar skenario latensi untuk melihat tren penurunan kualitas.

c. Validasi Triangulasi

Hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil metasintesis untuk memastikan konsistensi data. Jika tren dari eksperimen sesuai dengan tren temuan literatur, maka validitas eksternal penelitian meningkat.





5. Rekomendasi Strategis

Berdasarkan hasil analisis data dan temuan dari literatur, penelitian ini memberikan beberapa rekomendasi teknis yang dapat diterapkan oleh penyedia layanan streaming dan pengembang sistem:

- **Penggunaan CDN** secara optimal untuk mendekatkan konten ke pengguna akhir dan mengurangi latensi.
- **Integrasi Adaptive Bitrate Streaming (ABR)** agar kualitas video otomatis menyesuaikan dengan kondisi jaringan pengguna.
- **Penerapan protokol rendah latensi seperti QUIC, SRT, dan WebRTC** untuk layanan yang membutuhkan komunikasi interaktif.
- **Pemantauan latensi secara real-time**, agar sistem dapat mengatur ulang jalur transmisi saat terjadi lonjakan delay.

6. Studi Kasus dan Survei (Opsional/Lanjutan)

Sebagai perluasan dari penelitian ini, dapat dilakukan:

- **Studi kasus** pada platform streaming tertentu (misal: *Zoom, YouTube Live*) untuk mengevaluasi sistem mitigasi latensi yang mereka terapkan.
- **Survei pengguna** untuk mengetahui persepsi dan toleransi terhadap *buffering, delay*, dan penurunan kualitas *video* akibat latensi.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan teknis dan akademik dalam merancang sistem layanan *video real-time* yang lebih efisien, serta menginformasikan pengambilan keputusan bagi pengembang aplikasi dan penyedia jaringan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi peningkatan *latency* jaringan dan pengamatan langsung terhadap dampaknya terhadap performa layanan *video streaming real-time*. Empat skenario *latency* diuji: 50ms, 100ms, 200ms, dan 300ms, dengan parameter yang diukur meliputi waktu *buffering* awal, jumlah *stalling* (berhenti mendadak), serta skor *Video Mean Opinion Score (vMOS)* sebagai indikator *Quality of Experience (QoE)*.





Tabel 1. Hasil Eksperimen

Latensi (ms)	Buffering Awal (detik)	Jumlah Stall	Skor vMOS
50	0.8	0	4.6
100	1.4	1	4.1
200	2.7	3	3.2
300	4.1	5	2.5

Keterangan:

- *vMOS (Video Mean Opinion Score)* menggunakan skala 1–5 (semakin tinggi semakin baik).
- *Stall* adalah jumlah gangguan *buffering* yang menyebabkan *video* berhenti sementara.

Analisis Temuan

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan latency memiliki pengaruh langsung terhadap performa layanan streaming, sebagaimana juga dilaporkan oleh Shi et al. (2024) yang menemukan bahwa latensi di atas 150ms menurunkan kenyamanan pengguna secara signifikan. Pada *latency* 50–100ms, layanan masih berada dalam batas toleransi pengguna dan dianggap nyaman untuk layanan satu arah seperti siaran langsung atau webinar. Namun, pada 200ms ke atas, penurunan skor *vMOS* menjadi signifikan, dari 4.6 menjadi 3.2 dan akhirnya 2.5 pada 300ms. Temuan ini sejalan dengan penelitian Shi et al. (2024) yang mengemukakan bahwa penurunan *QoE* mulai terasa signifikan saat *latency* melebihi 150ms, terutama dalam layanan interaktif.

Jumlah stalling meningkat tajam dari 0 hingga 5 kali seiring bertambahnya latency, sebagaimana dijelaskan oleh Khan et al. (2024), bahwa peningkatan latency yang tidak terkendali menyebabkan jitter dan kehilangan paket, yang memperburuk pengalaman pengguna. Menurut Khan et al. (2024), kondisi ini mencerminkan tingginya kemungkinan gangguan *jitter* dan kehilangan paket saat *latency* tidak terkendali. Efek psikologis dari *stalling* yang terlalu sering juga dijelaskan oleh Kim dan Chen (2022) yang menemukan bahwa pengguna cenderung menilai layanan sebagai “tidak responsif” meskipun *bitrate* video tetap stabil.

Dalam layanan dua arah seperti *video conference*, *latency* tinggi mengganggu sinkronisasi suara dan gambar, menurunkan efektivitas komunikasi, serta menciptakan kesan tidak natural dalam interaksi (Zhang et al., 2023). Hal ini diperparah jika terjadi *packet loss* dan *jitter*, dua parameter *QoS* lain yang cenderung meningkat seiring naiknya *latency*.

Sinkronisasi antara audio dan video sangat penting dalam layanan *video conference*. Ketika *latency* meningkat di atas 150ms, terjadi jeda komunikasi yang menyebabkan interaksi menjadi tidak alami. Diallo et al. (2022) menyatakan bahwa dalam aplikasi *video conference* berbasis *WebRTC*, keterlambatan lebih dari 200ms dapat menyebabkan kehilangan konteks komunikasi, terutama dalam





percakapan yang dinamis dan dua arah. Protokol seperti *WebRTC* digunakan untuk merespons tantangan ini, namun memiliki keterbatasan performa ketika *jitter* dan *packet loss* turut meningkat (Kim dan Chen, 2022).

Kaitan dengan Parameter *QoS*

- Ketika *latency* meningkat, variasi waktu antar paket (*jitter*) juga meningkat, menyebabkan ketidakteraturan *frame* video. Nugroho et al. (2025) menemukan bahwa *jitter* di atas ambang batas dapat menyebabkan *frame skipping* dan penurunan drastis kualitas tampilan.
- *Packet loss* yang muncul pada jaringan berlatensi tinggi menyebabkan hilangnya *frame* video, menghasilkan tampilan visual yang patah-patah atau kabur (Al-Madani et al., 2017). Selain menyebabkan tampilan video menjadi patah-patah, *packet loss* juga dapat menurunkan efisiensi pemrosesan buffer oleh aplikasi streaming. Gobatto et al. (2022) menekankan bahwa semakin tinggi tingkat *packet loss*, semakin sering terjadi penurunan kualitas resolusi dan kebutuhan *rebuffering*, yang secara langsung memengaruhi persepsi *QoE* pengguna.

Dalam banyak studi, ketiga parameter ini — *latency*, *jitter*, dan *packet loss* — disebut sebagai determinan utama dalam evaluasi kualitas layanan streaming Dai et al. (2022). Dalam dokumen ITU-T G.114, disarankan bahwa *one-way transmission time* dalam layanan interaktif sebaiknya berada di bawah 150ms (ITU-T, 2021). Rekomendasi dari ITU-T G.114 (2021) menyebutkan bahwa *one-way latency* idealnya tidak melebihi 150ms dalam komunikasi interaktif, yang sejalan dengan hasil eksperimen ini di mana penurunan *QoE* mulai signifikan pada *latency* >200ms.

Solusi Teknologis yang Direkomendasikan

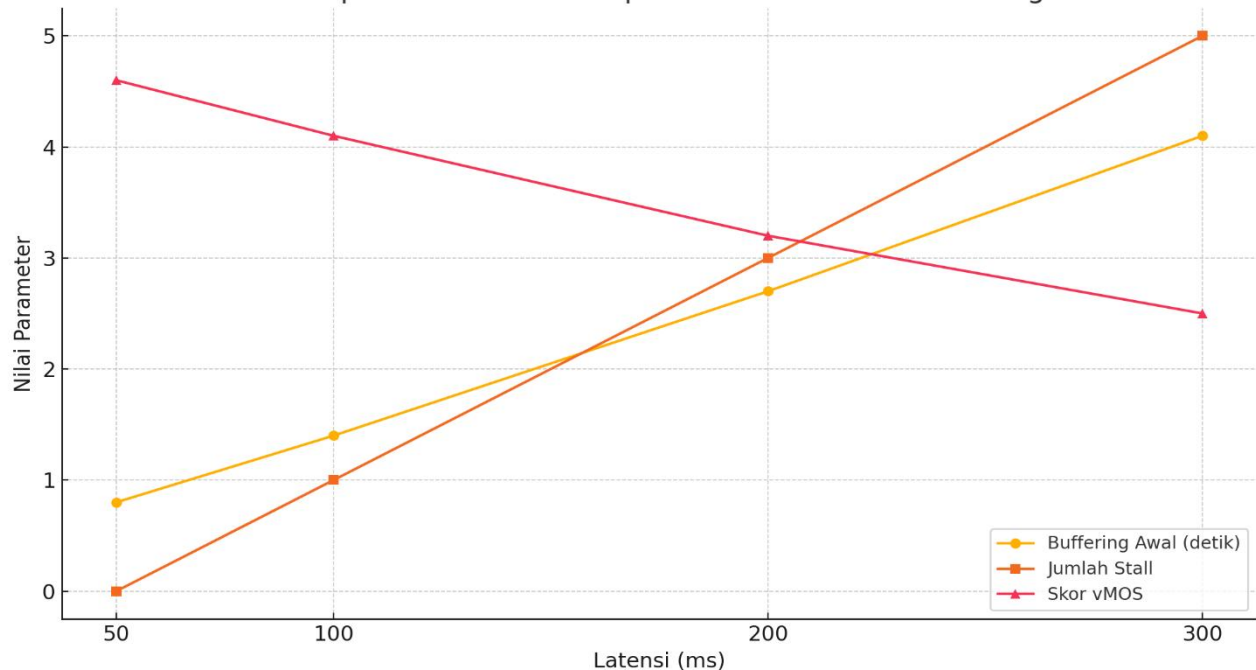
Berdasarkan studi literatur dan hasil eksperimen, terdapat beberapa solusi teknis untuk meminimalkan dampak latensi:

- **Content Delivery Network (CDN):** CDN membantu mendekatkan konten ke pengguna akhir, mengurangi waktu tempuh paket data. Ghabashneh dan Rao (2020) melaporkan bahwa CDN dapat mengurangi round-trip delay hingga 30% dalam aplikasi streaming domestik. Ini sejalan dengan temuan Farahani et al. (2024) yang menunjukkan peningkatan signifikan dalam kecepatan akses setelah implementasi CDN.
- **Adaptive Bitrate Streaming (ABR):** Teknologi ABR menyesuaikan kualitas video secara otomatis berdasarkan kondisi jaringan pengguna. Chen et al. (2024) membuktikan bahwa sistem ABR mampu mempertahankan *QoE* bahkan saat terjadi *latency* atau *packet loss*. Pendekatan ini penting untuk menghindari *buffering* yang berlebihan dan menjaga kelancaran *streaming*.
- **Protokol modern seperti WebRTC, QUIC, dan SRT:** Prvulovic dan Cohen (2023) menunjukkan bahwa protokol seperti *QUIC* dan *SRT* mampu menurunkan *latency* dan memperbaiki keandalan transmisi video. *WebRTC*, secara khusus, didesain untuk *low-latency streaming* dan cocok untuk



komunikasi *real-time* berbasis *browser* (Jiang, Liu, & Yang, 2022).

Dampak Latensi terhadap Parameter Video Streaming



Gambar 1. Dampak Latensi terhadap Parameter QoE dalam Video Streaming Real-Time

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa latensi memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas layanan (*QoS*) dalam *video streaming real-time*. Semakin tinggi latensi, semakin besar gangguan yang dialami oleh pengguna, baik dalam bentuk *buffering*, penurunan kualitas visual, maupun hilangnya sinkronisasi *audio-video*. Berdasarkan hasil analisis, ditemukan bahwa latensi rendah (kurang dari *100ms*) masih memungkinkan layanan berjalan lancar tanpa gangguan berarti. Namun, ketika latensi meningkat ke tingkat sedang (*100–200ms*), mulai terlihat penurunan skor kepuasan pengguna dan munculnya stalling yang mengganggu pengalaman menonton. Pada kondisi latensi tinggi (lebih dari *200ms*), *Quality of Experience* menurun secara signifikan dan menyebabkan gangguan serius dalam layanan streaming dua arah, seperti ketidaksinkronan komunikasi dalam *video call*.

Untuk mengatasi permasalahan ini, penyedia layanan streaming disarankan untuk mengintegrasikan sistem *Content Delivery Network (CDN)* dan protokol adaptif guna menjamin performa jaringan yang stabil. Selain itu, penggunaan sistem pemantauan latensi secara *real-time* menjadi penting untuk mendeteksi lonjakan *delay* yang dapat mengganggu kualitas layanan. Bagi pengembang aplikasi video, integrasi teknologi *Adaptive Bitrate Streaming (ABR)* serta optimisasi jalur transmisi sangat disarankan untuk menjaga kualitas visual sekaligus meminimalkan *buffering*. Dengan langkah-langkah tersebut,



diharapkan kualitas layanan *video streaming real-time* dapat ditingkatkan meskipun dihadapkan pada kondisi jaringan yang fluktuatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Khan, I., Tran, T. X., Hiltunen, M., Karagioules, T., & Koutsonikolas, D. (2024). An experimental study of low-latency video streaming over 5G. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2403.00752>
- Dai, T., Liu, L., & Yang, C. (2022). GreenABR: Energy-aware adaptive bitrate streaming with deep reinforcement learning. In *Proceedings of the ACM Multimedia Systems Conference (MMSys 2022)*. https://tingdai.github.io/files/greenabr_MMSys22.pdf
- Farahani, R., Timmerer, C., & Hellwagner, H. (2024). Towards low-latency and energy-efficient hybrid P2P-CDN live video streaming. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2403.16985>
- ITU-T. (2021). *One-way transmission time guidelines (Recommendation G.114)*. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- Kim, J., & Chen, Y. (2022). QoE-aware adaptive bitrate algorithms for video streaming. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 18(1). https://cuiyong.net/lunwen/2022/Adaptive_Bitrate_with_User_level_QoE_Preference_for_Video_Streaming.pdf
- Zhang, G., Liu, K., Xiao, M., Wang, B., & Aggarwal, V. (2023). An intelligent learning approach to achieve near-second low-latency live video streaming under highly fluctuating networks. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 19(4). <https://doi.org/10.1145/3581783.3612154>
- AlMadani, B., AlRoubaiey, A., & Baig, Z. A. (2017). Real-time QoS-aware video streaming: A comparative and experimental study. *Advances in Multimedia*. https://www.researchgate.net/publication/259781956_Real-Time_QoS-Aware_Video_Streaming_A_Comparative_and_Experimental_Study
- Jiang, S., Liu, N., & Yang, G. (2022). Design and implementation of WebRTC video conference system structure compatible with GB/T28181 devices. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Computer Science, Information Engineering and Digital Economy* (pp. 411–420). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-108-1_47





- Shi, W., Li, Q., Yu, Q., Wang, F., Shen, G., Jiang, Y., Xu, Y., Ma, L., & Muntean, G.-M. (2024). A survey on intelligent solutions for increased video delivery quality in cloud-edge-end networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/COMST.2024.3427360>
- Gobatto, L., Saquetti, M., Diniz, C., Zatt, B., Cordeiro, W., & Azambuja, J. R. (2022). Improving content-aware video streaming in congested networks with in-network computing. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2202.04703>
- Diallo, B., Ouamri, A., & Keche, M. (2022). A hybrid approach for WebRTC video streaming on resource-constrained devices. *Electronics*, 12(18), 3775. <https://doi.org/10.3390/electronics12183775>
- Nugroho, H. A. S. A., Sonhaji, & Prasetyo, A. C. (2025). YouTube streaming performance over WiFi: A resolution-based analysis. *Piksel: Jurnal Sistem & Informatika*, 13(1), 29–38. <https://www.jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/piksel/article/download/10580/3600>
- Ghabashneh, E., & Rao, S. (2020). Exploring the interplay between CDN caching and video streaming performance. In *Proceedings of IEEE INFOCOM 2020 – IEEE Conference on Computer Communications* (pp. 516–525). <https://doi.org/10.1109/INFOCOM41043.2020.9155338>
- Chen, T., Lin, Y., Christianson, N., Akhtar, Z., Dharmaji, S., Hajiesmaili, M., Wierman, A., & Sitaraman, R. K. (2024). SODA: An adaptive bitrate controller for consistent high-quality video streaming. In *Proceedings of ACM SIGCOMM 2024* (32 pages). <https://doi.org/10.1145/3651890.3672260>
- Prvulovic, M., & Cohen, T. (2023). Live streaming using SRT with QUIC datagrams. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies (IMWUT)*. <https://doi.org/10.1145/3588444.3590999>

