

ANALISIS PENGALAMAN PEMAIN GAME KOMPETITIF TERHADAP LATENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN *QUALITY OF EXPERIENCE*

Saddam Aditya Permady

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Email: sadddam.aditya.permady@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak latensi jaringan (QoS) terhadap performa objektif dan kepuasan subjektif (QoE) pemain game kompetitif *First-Person Shooter* (FPS) menggunakan platform eksperimen mandiri berbasis web, yaitu Qoe-Sim. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran melalui desain eksperimen terkontrol dengan prosedur *Blind Experiment*. Simulator Qoe-Sim menyuntikkan latensi buatan yang bervariasi mulai dari 50 ms hingga 1000 ms, serta skenario dynamic lag. Kinerja objektif diukur menggunakan parameter akurasi tembakan dan waktu reaksi rata-rata, sedangkan pengalaman subjektif pengguna diukur menggunakan skala penilaian *Mean Opinion Score* (MOS). Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi negatif yang sangat kuat antara peningkatan latensi dengan penurunan skor kepuasan MOS ($r=-0.9610$). Peningkatan latensi secara drastis juga menurunkan akurasi tembakan pemain dari 92,8% menjadi 50,9% dan memperlambat waktu reaksi rata-rata dari 1187 ms membengkok ke 1881 ms. Zona kompetitif ideal atau ambang batas toleransi berada pada rentang latensi 0-150 ms, sedangkan titik gagal total (*breakdown point*) kendali sensorimotor pemain terjadi ketika latensi menyentuh 1000 ms. Selain itu, analisis komparatif dengan dataset sekunder menunjukkan tingkat keselarasan tren monotonik yang sangat kuat (Spearman $\rho=0.8117$), yang membuktikan bahwa simulator QoeSim valid dan andal digunakan sebagai instrumen pengujian QoE.

Kata Kunci: *Quality of Experience*; *Quality of Service*; Latensi; *First-Person Shooter*; *Mean Opinion Score*; Jitter; Packet Loss.

ABSTRACT

This study aims to analyze the impact of network latency (QoS) on the objective performance and subjective satisfaction (QoE) of competitive *First-Person Shooter* (FPS) game players using an independent web-based experimental platform, QoeSim. This research uses a mixed-methods approach through a controlled experimental design utilizing a *Blind Experiment* procedure. The QoeSim simulator injected varying artificial latencies ranging from 50 ms to 1000 ms, as well as a dynamic lag scenario. Objective performance was measured using shooting accuracy and average reaction time, while subjective user experience was evaluated using a *Mean Opinion Score* (MOS) scale. The results showed a very strong negative correlation between increased latency and a decrease in MOS satisfaction scores ($r=-0.9610$). Increased latency drastically reduced shooting accuracy from 92.8% to 50.9% and slowed the average reaction time from 1187 ms to 1881 ms. The tolerance threshold or ideal competitive zone lies within the 0-150 ms latency range, while the sensorimotor breakdown point occurs when latency reaches 1000 ms. Furthermore, a comparative analysis with a secondary dataset demonstrated a very strong monotonic trend alignment (Spearman $\rho=0.8117$), proving that QoeSim is valid and reliable as a QoE testing instrument.

Keywords: *Quality of Experience*; *Quality of Service*; Latency; *First-Person Shooter*; *Mean Opinion Score*; Jitter; Packet Loss.

PENDAHULUAN

Namun, di negara berkembang seperti Indonesia, variabilitas performa antar-*Internet Service Provider* (ISP) lokal masih menjadi kendala utama yang berdampak langsung pada integritas kompetisi tersebut. Tantangan terbesar yang dihadapi dalam lingkungan permainan kompetitif daring adalah latensi jaringan, atau penundaan waktu tempuh paket data antara perangkat pengguna dan peladen.

Secara matematis dan arsitektural jaringan, Total Latensi (D_{total}) merupakan hasil akumulasi dari berbagai komponen penundaan yang dihitung menggunakan rumusan berikut:

Rumus Komponen Total Latensi Jaringan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$L_{total} = d_{prop} + d_{trans} + d_{proc} + d_{queue} \quad 4.1$$

Keterangan:

- D_{prop} (*Propagation Delay*): Waktu yang dibutuhkan sinyal untuk merambat melalui media fisik (kabel fiber optik, tembaga, atau udara). Nilai ini bergantung pada jarak fisik antara klien dan peladen dibagi dengan kecepatan rambat cahaya pada medium tersebut.
- D_{trans} (*Transmission Delay*): Waktu yang dibutuhkan untuk memasukkan seluruh bit paket data ke dalam tautan. Nilai ini dihitung dari ukuran paket (L) dibagi dengan kapasitas *bandwidth* saluran (R).
- D_{proc} (*Processing Delay*): Waktu yang diperlukan oleh router atau switch jaringan untuk memeriksa header paket data dan menentukan rute selanjutnya.
- D_{queue} (*Queuing Delay*): Waktu tunggu paket data di dalam buffer memori router sebelum ditransmisikan. Nilai ini sangat fluktuatif dan menjadi penyebab utama terjadinya *jitter* pada jaringan yang padat.

Dalam permainan bergenre *First-Person Shooter* (FPS), setiap milidetik latensi sangat berarti karena menentukan sinkronisasi aksi motorik pemain dengan respons visual yang ditampilkan di layar. Penelitian menunjukkan bahwa latensi yang tinggi secara signifikan menurunkan akurasi tembakan, waktu reaksi, dan performa keseluruhan pemain. Fenomena seperti *interactivity lag* memaksa otak manusia untuk melakukan kompensasi terhadap keterlambatan visual, yang pada akhirnya meningkatkan beban kognitif dan merusak pengalaman psikologis pengguna secara drastis.

Selama ini, penilaian kualitas jaringan sering kali hanya terpaku pada metrik teknis kuantitatif atau *Quality of Service* (QoS). Meskipun krusial, parameter teknis ini kerap gagal menangkap *Quality of Experience* (QoE), yaitu dimensi subjektif dan psikologis terkait bagaimana pengguna mempersepsikan keandalan serta responsivitas sistem interaktif secara menyeluruh. Pengukuran metrik QoE menggunakan game komersial pihak ketiga sering kali menghadapi kendala validitas akibat arsitektur sistem yang tertutup (*closed-source*).

Berangkat dari kesenjangan penelitian tersebut, studi ini memperkenalkan pendekatan baru menggunakan platform eksperimental mandiri berbasis web bernama QoE Simulator (Qoe-Sim). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisis secara presisi dampak penyuntikan gangguan jaringan (latensi buatan pada rentang 50 ms hingga 1000 ms, jitter, dan packet loss) terhadap performa objektif (akurasi tembakan dan waktu reaksi) serta kepuasan subjektif (QoE) pemain.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Mixed Methods (Kuantitatif dan Kualitatif) melalui desain Eksperimental Terkontrol. Untuk mengeliminasi bias yang berasal dari perangkat keras (*local latency*), pengujian dilakukan pada lingkungan yang distandarisasi secara ketat.

Tabel 1 Spesifikasi Standar Perangkat Keras dan Perangkat Lunak Pengujian

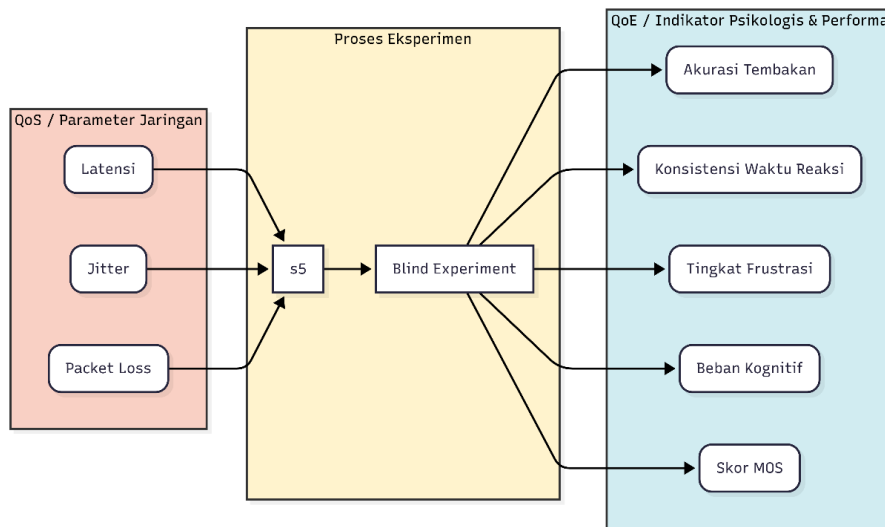
Komponen	Spesifikasi Minimum/Standar Kontrol	Tujuan Pengendalian (Control Variable)
Prosesor (CPU)	Intel Core i3 Generasi ke-8 atau setara (AMD Ryzen 3)	Menghindari Processing Lag pada browser
Memori (RAM)	8 GB DDR4	Memastikan garbage collection browser lancar
Layar (Monitor)	Resolusi 1080p, Refresh Rate konstan 60 Hz	Menghindari Display Lag dan Screen Tearing
Peramban (Browser)	Google Chrome atau Mozilla Firefox versi terbaru	Standardisasi mesin rendering HTML5 / Canvas
Mesin Game (Engine)	Phaser 3.0 (JavaScript-based 2D Engine)	Mengontrol mekanik fisika tembakan dan injeksi lag
Jaringan Lokal (LAN)	Jitter dasar < 10 ms, Packet Loss 0% (Kabel Ethernet disarankan)	Mengeliminasi gangguan eksternal selain injeksi

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah Qoe-Sim, sebuah simulator web mandiri yang dibangun menggunakan React di sisi *frontend*, serta Node.js dan PostgreSQL di sisi backend. Eksperimen dilakukan menggunakan prosedur Blind Experiment, di mana sistem secara otomatis menyuntikkan skenario latensi buatan (50 ms, 150 ms, 250 ms, 500 ms, 1000 ms, dan skenario *dynamic lag spikes*) tanpa

sepengetahuan partisipan. Pengukuran subjektif didasarkan pada standar *Mean Opinion Score*.

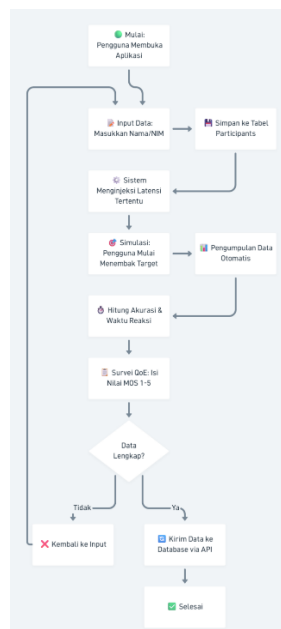
Tabel 2 Klasifikasi Penilaian Skala *Mean Opinion Score* (MOS)

Skor MOS	Kategori Mutu (QoE)	Deskripsi Kualitatif Pengalaman Sensorimotor Partisipan
5	Sangat Baik (Excellent)	Respons input terasa instan dan mulus. Sinkronisasi visual sempurna, gerakan kursor identik dengan aksi fisik.
4	Baik (Good)	Gangguan latensi minor sesekali terasa (micro-stuttering), namun tidak mengganggu akurasi tembakan atau ritme bermain.
3	Cukup (Fair)	Penundaan cukup terasa secara visual. Pemain mulai harus melakukan kompensasi kognitif dan menebak posisi hitbox.
2	Buruk (Poor)	Degradasi motorik nyata. Interactivity lag sangat tinggi, sering terjadi tembakan meleset (missed hit registration).
1	Sangat Buruk (Bad)	Terjadi fenomena teleportasi, input delay ekstrem. Sistem tidak dapat dikendalikan dan menimbulkan frustrasi parah (Unplayable).



Gambar 1 Diagram Kerangka Konseptual Penelitian

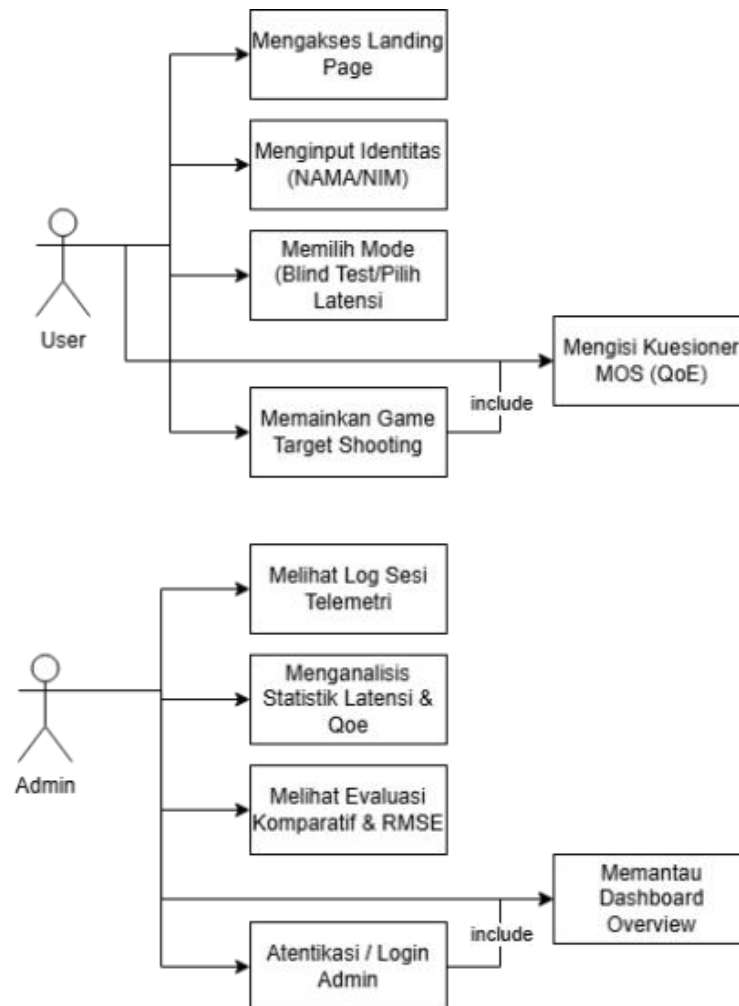
Bagan kerangka konseptual mengilustrasikan secara komprehensif alur pemikiran penelitian, dimulai dari penetapan variabel bebas berupa parameter *Quality of Service* (QoS) seperti latensi, jitter, dan packet loss. Gangguan teknis tersebut kemudian diuji melalui prosedur blind experiment, yang pada akhirnya dikorelasikan untuk mengukur dampaknya terhadap variabel terikat, yaitu indikator motorik objektif (akurasi dan waktu reaksi) serta metrik psikologis subjektif *Quality of Experience* (QoE) partisipan.



Gambar 2 Flowchart Alur Pelaksanaan Eksperimen Simulator

Diagram alir (flowchart) merepresentasikan tahapan operasional pelaksanaan eksperimen pada platform *Qoe-Sim* secara sistematis. Proses dimulai dari autentikasi identitas partisipan, dilanjutkan dengan penyuntikan latensi jaringan secara

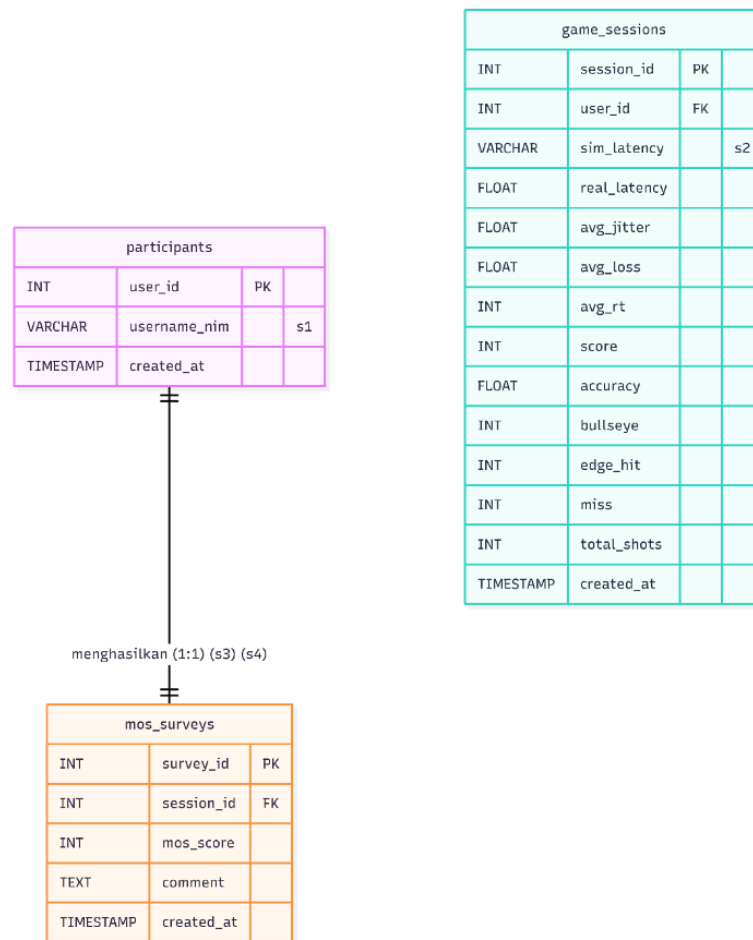
tersembunyi oleh sistem, pelaksanaan simulasi target shooting, hingga diakhiri dengan perekaman telemetri performa dan pengisian kuesioner skala MOS yang secara otomatis tersimpan ke dalam basis data terpusat.



Gambar 3 Diagram Alur User dan Admin

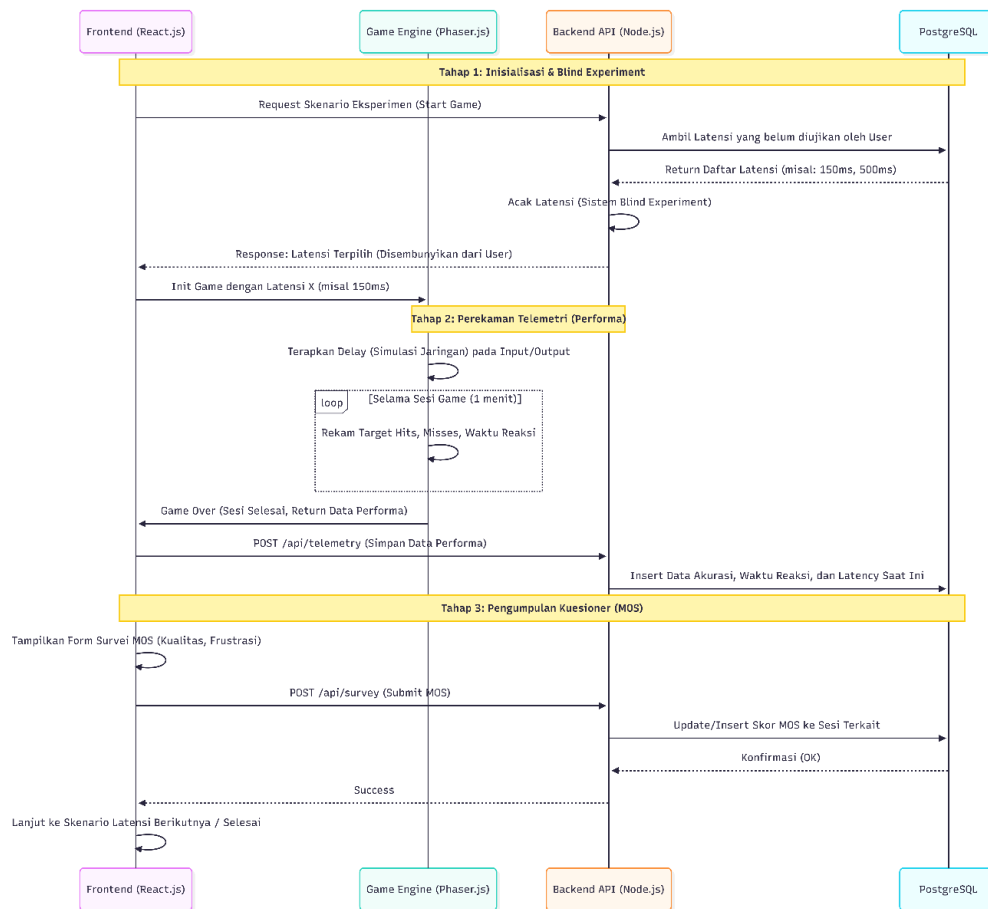
Diagram *Use Case* memetakan batasan akses dan interaksi fungsional antara dua aktor utama, yaitu Partisipan dan Administrator, terhadap sistem *Qoe-Sim*. Partisipan memiliki kewenangan untuk mengakses simulasi, menjalankan skenario *blind test*, dan memberikan penilaian subjektif. Sebaliknya, administrator dibekali hak akses penuh melalui sistem autentikasi untuk

memantau aliran log telemetry, mengevaluasi hasil komparatif, dan menganalisis statistik kualitas jaringan.



Gambar 4 Diagram Alur Perancangan struktur penyimpanan data

Rancangan arsitektur basis data relasional atau Entity Relationship Diagram (ERD) menggambarkan struktur penyimpanan data yang dibangun menggunakan PostgreSQL. Konfigurasi ini menautkan entitas identitas pengguna dengan sesi permainan guna merekam metrik performa objektif (seperti akurasi, latensi aktual, dan waktu reaksi), yang kemudian terhubung secara utuh untuk menampung data kuesioner survei MOS.



Gambar 5 Alur Sekuensial: Blind Experiment hingga Survei MOS

Diagram sekuensial menguraikan alur komunikasi data asinkron antara berbagai komponen sistem, mulai dari antarmuka *frontend* (React), mesin permainan (Phaser Engine), antarmuka pemrograman aplikasi backend (Node.js), hingga ke basis data. Diagram ini menyoroti tahapan teknis dari inisialisasi skenario *blind test*, kalkulasi performa motorik per detik, hingga validasi pengiriman kuesioner QoE.

Data objektif (akurasi dan waktu reaksi) serta subjektif (MOS) dianalisis menggunakan rumusan korelasi statistik:

Rumus Koefisien Korelasi *Pearson* (Hubungan Linier Metrik Objektif)

$$r = \frac{(n\sum xy - \sum x \sum y)}{\sqrt{((n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2))}} \quad 4.1$$

Rumus Koefisien Korelasi *Rank Spearman* (Hubungan Ordinal Skala MOS)

$$\rho = 1 - \frac{(6 \sum d^2)}{(n(n^2 - 1))} \quad 4.2$$

Rumus *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk Komparasi Data Sekunder RMSE

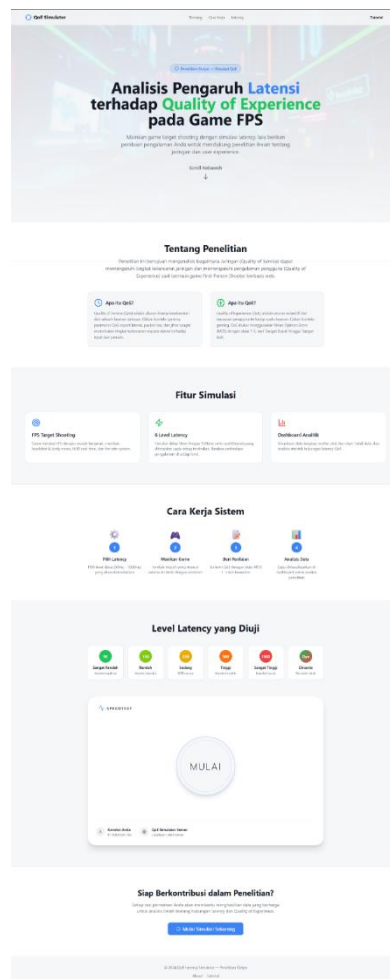
$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum (\hat{Y} - Y)^2}{n}\right)} \quad 4.3$$

Keterangan: $y_{\hat{i}}$ adalah skor MOS dari model data sekunder, sedangkan y_i adalah skor MOS aktual primer dari simulator Qoe-Sim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Eksperimen dan Implementasi UI

Pengujian eksperimental berhasil mengumpulkan 70 sesi data tervalidasi. Antarmuka simulator memastikan partisipan fokus pada penyelesaian misi tanpa gangguan dari elemen UI eksternal.



Gambar 6 Landing Page Website

Antarmuka halaman utama (*landing page*) Qoe-Sim dirancang secara profesional untuk memberikan panduan awal kepada calon partisipan. Halaman ini memuat intisari penelitian, definisi singkat mengenai parameter QoS dan metrik QoE, serta dilengkapi dengan fitur deteksi dini untuk membaca metadata koneksi internet lokal pengguna sebelum simulasi dimulai.

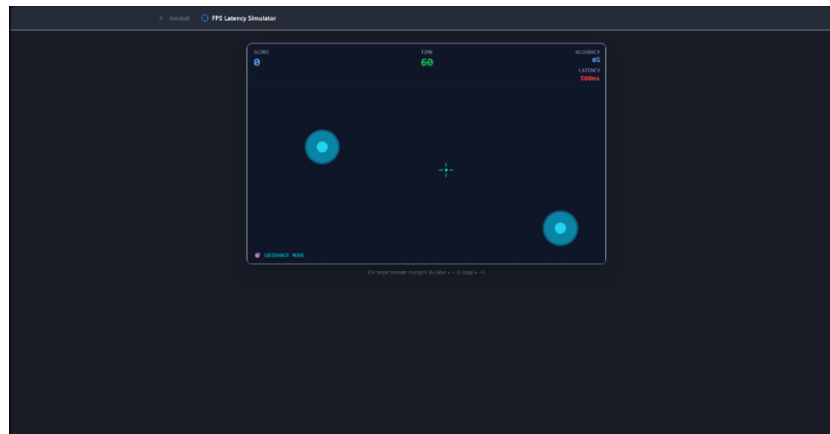
Gambar 7 Form Pengisian Identitas Partisian

Formulir identitas merupakan gerbang otentikasi awal yang mengharuskan partisipan untuk mencatat identifier unik berupa Nama atau Nomor Induk Mahasiswa (NIM). Validitas pengisian formulir ini sangat krusial untuk memastikan bahwa setiap rekaman performa mekanik permainan dan umpan balik emosional dapat terikat akurat pada satu sesi pengujian yang sama di dalam basis data.

Gambar 8 Halaman Pengaturan *Blind Test*

Gambar 9 Halaman Pengaturan Pilih Latensi

Halaman pengaturan konfigurasi misi menyajikan dua mode operasional yang berbeda. Pada mode *Blind Test*, sistem mengacak besaran penundaan jaringan tanpa sepengetahuan partisipan guna mengeliminasi bias ekspektasi negatif. Sementara itu, opsi pemilihan latensi secara manual difungsikan sebagai fitur kontrol khusus bagi instruktur atau peneliti untuk menguji titik jenuh toleransi jaringan secara spesifik, mulai dari kondisi ideal (50 ms) hingga fase gagal total (1000 ms).



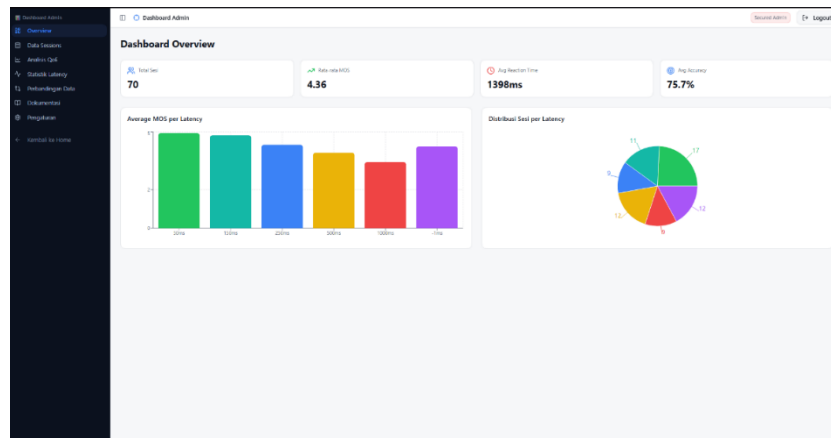
Gambar 10 Halaman Simulasi Permainan *Gridshot Mode*

Area simulasi interaktif merupakan inti dari instrumen pengujian yang ditenagai oleh mesin permainan Phaser. Selama batas waktu 60 detik, partisipan diinstruksikan untuk memberikan refleks motorik terhadap target visual yang muncul secara acak, sementara sistem di latar belakang secara *real-time* melacak fluktuasi skor, mencatat persentase akurasi tembakan, dan merekam rata-rata waktu reaksi pemain.

Gambar 11 Form Partisian dan Survey MOS

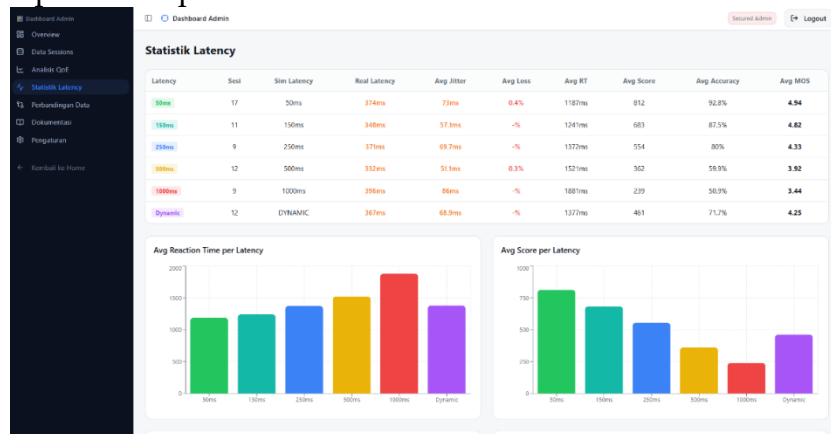
Panel transisi pasca-simulasi menampilkan hasil kalkulasi akhir dari performa objektif partisipan, mencakup kecepatan waktu reaksi, jumlah tembakan tepat (bullseye), dan tingkat akurasi. Pada antarmuka yang sama, disediakan kuesioner *Mean Opinion Score* (MOS) berskala bintang 1 hingga 5 sebagai instrumen perekaman

metrik psikometrik subjektif untuk mengevaluasi kualitas pengalaman (QoE) secara menyeluruh.



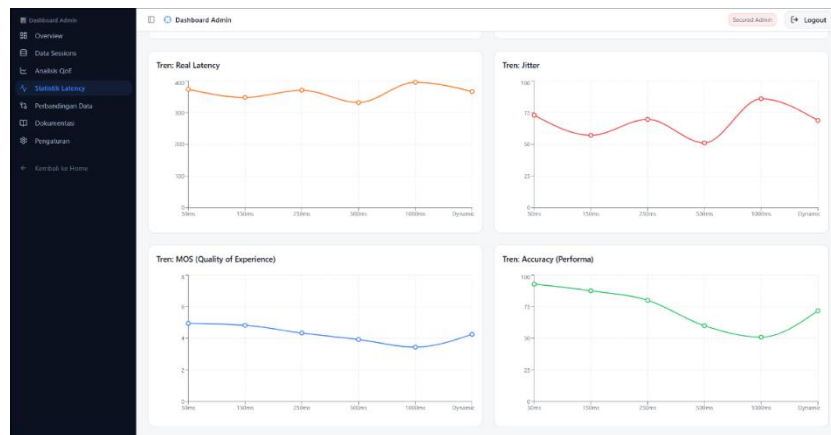
Gambar 12 Dashboard Overview Admin

Panel analitik eksekutif (dashboard overview) dikembangkan khusus untuk memfasilitasi administrator dalam memantau agregasi parameter Key Performance Indicators (KPI) secara global. Visualisasi ini menyajikan data instan mengenai volume sesi yang tervalidasi, rata-rata skor kepuasan partisipan, hingga grafik persentase distribusi uji coba pada setiap skenario latensi.

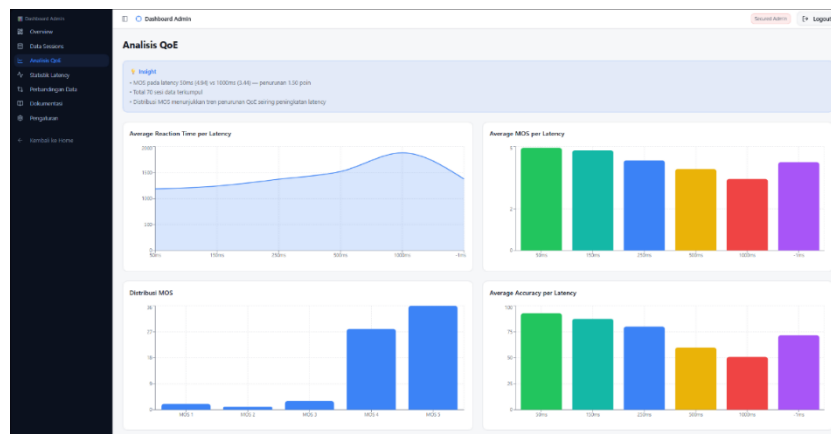


Gambar 13 Statistik Latency Panel Pertama

Panel statistik latensi menjabarkan rekapitulasi data telemetri yang dipecah berdasarkan masing-masing skenario penundaan. Kehadiran tabel parameter jaringan (latensi riil, jitter, packet loss) yang disandingkan dengan grafik kurva tren linier bertujuan untuk memvisualisasikan secara jelas bagaimana kenaikan nilai latensi berbanding lurus dengan penurunan tajam pada presisi motorik dan persepsi kepuasan pengguna.

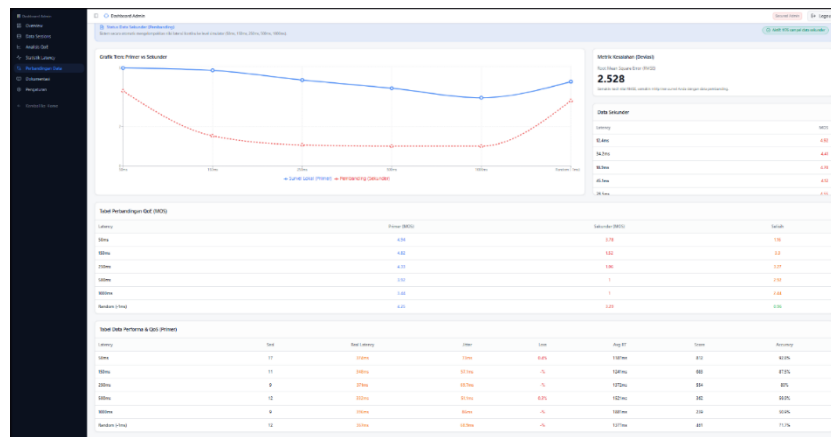


Gambar 14 Statistik Latency Panel Kedua



Gambar 15 Dashboard Analisis QoE

Visualisasi analisis QoE berfokus pada hubungan kausalitas antara fenomena interactivity lag dengan beban kognitif manusia. Histogram distribusi nilai MOS dan kurva waktu reaksi mengonfirmasi bahwa penundaan visual yang semakin parah memaksa sistem saraf pengguna bekerja lebih lambat, yang bermuara pada penurunan ekspektasi dan kepuasan secara signifikan.



Gambar 16 Dashboard Perbandingan Data Primer dan Sekunder

Antarmuka validasi komparatif difungsikan oleh peneliti untuk menguji tingkat keandalan dan presisi simulator Qoe-Sim. Panel ini secara langsung menyandingkan kurva hasil pengujian data primer internal dengan model dataset referensi dari sekunder global, guna menganalisis apakah pola penurunan performa dan persepsi kelayakan sistem berjalan secara selaras.

Tabel 3 Rekapitulasi Data Telemetri Primer Qoe-Sim per Skenario Latensi

Skenario Injeksi Latensi	Jumlah Sesi (N)	Rata-rata Jitter Aktual (ms)	Packet Loss Aktual (%)	Rata-rata Waktu Reaksi / Avg RT (ms)	Rata-rata Skor Tembakan (Poin)	Rata-rata Akurasi Tembakan (%)	Rata-rata Skor MOS (1-5)
50 ms (Kontrol / Kompetitif)	17	73.0	0.4	1187	812	92.8%	4.94
150 ms (Batas Ambang Atas)	11	57.1	0.0	1241	683	87.5%	4.82
250 ms (Toleransi Kritis)	9	69.7	0.0	1372	554	80.0%	4.33
500 ms (Degradasi Tinggi)	12	51.1	0.3	1521	362	59.9%	3.92

1000 ms (Breakdown point)	9	86.0	0.0	1881	239	50.9%	3.44
Dynamic Spikes (-1 ms)	12	68.9	0.0	1377	461	71.7%	4.25

Berdasarkan Tabel 3, performa pemain menunjukkan tren degradasi yang sangat konsisten seiring dengan peningkatan latensi. Pada kondisi ideal (latensi 50 ms), otak dan memori otot manusia mampu menyinkronkan respons motorik dengan tampilan visual nyaris seketika, menghasilkan akurasi tinggi (92.8%) dan waktu reaksi yang sangat cepat (1187 ms). Skor MOS pada kondisi ini mencapai tingkat mendekati sempurna (4.94), merepresentasikan pengalaman QoE terbaik.

Namun, ketika penundaan dinaikkan secara artifisial menjadi 250 ms, akurasi mulai merosot ke angka 80.0% dan skor MOS berada di ambang batas toleransi (4.33). Kondisi terparah terjadi ketika sistem menyuntikkan latensi ekstrem sebesar 1000 ms (1 detik penuh). Pada titik ini, interactivity lag merusak mekanisme hand-eye coordination, menyebabkan akurasi anjlok menjadi hanya 50.9%. Waktu reaksi membengkak tajam hingga 1881 ms, mengindikasikan beban kognitif yang sangat berat di mana otak harus mengkalkulasi prediksi posisi target secara paksa. Skor kepuasan MOS jatuh ke angka terendah 3.44 (kategori *Breakdown point*).

Analisis Korelasi Parameter QoS Terhadap Qoe

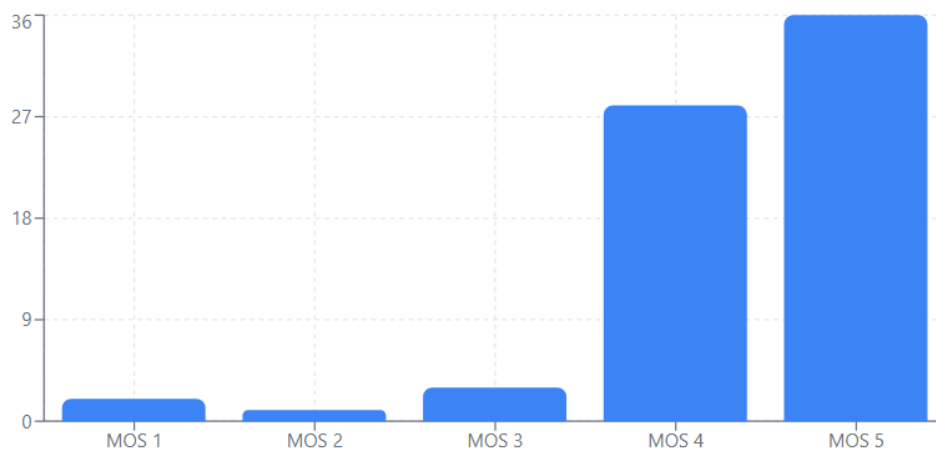
Hasil uji statistik mengonfirmasi dampak destruktif tersebut secara kuantitatif. Evaluasi korelasi Pearson antara tingkat latensi jaringan dengan skor subjektif MOS menghasilkan nilai $r = -0.9610$ ($p < 0.01$), sedangkan korelasi ordinal Spearman menghasilkan nilai sempurna $\rho = -1.0000$. Angka negatif yang sangat mendekati -1 ini merupakan bukti empiris yang valid bahwa peningkatan latensi secara mutlak berdampak pada penurunan kualitas pengalaman (*Quality of Experience*). Setiap penambahan jeda transmisi visual langsung diterjemahkan sebagai pemicu frustrasi oleh kognisi pengguna.

Dalam pengujian variabel objektif, korelasi latensi terhadap akurasi tembakan ($r = -0.9521$) dan terhadap waktu reaksi ($r = +0.9971$) membuktikan keandalan Hukum Fitts pada kondisi jaringan terdegradasi. Peningkatan waktu reaksi yang sangat linier (+0.99) menunjukkan adanya fenomena Cognitive Bottleneck, di mana otak membutuhkan alokasi siklus pemrosesan tambahan (menambah delay biologis) untuk memastikan tindakan membidik cursor benar-benar sesuai dengan umpan balik visual yang terlambat muncul.

Tabel 4 Distribusi Frekuensi Pemilihan Skor MOS oleh Partisipan

Pilihan Skor MOS	Frekuensi (Jumlah Sesi)	Persentase Total (%)	Interpretasi Mayoritas
Bintang 5	36	51.4%	Terjadi pada sesi 50 ms dan 150 ms
Bintang 4	28	40.0%	Terjadi pada fase transisi 250 ms - 500 ms
Bintang 3	3	4.3%	Muncul saat lag spikes dinamis
Bintang 2	1	1.4%	Kelelahan kognitif mulai terjadi
Bintang 1	2	2.9%	Terjadi eksklusif pada skenario 1000 ms

Distribusi MOS



Gambar 17 Graph Distribusi MOS

Pemetaan statistik deskriptif dalam bentuk grafik batang (bar chart) memperlihatkan penyebaran frekuensi pemilihan skala MOS oleh seluruh partisipan. Visualisasi ini mempermudah identifikasi pemusatan data, yang menegaskan dominasi kepuasan optimal pada skenario jaringan lancar dan memuncaknya tingkat frustrasi pada latensi ekstrem.

Evaluasi Efek Inersia Pengalaman (Skenario Dynamic Lag)

Pada skenario khusus *Dynamic Lag Spikes* (-1ms), di mana sistem secara acak menyuntikkan fluktuasi latensi (jitter) secara mendadak di pertengahan sesi permainan, sistem mencatat waktu reaksi 1377 ms dan akurasi 71.7%. Menariknya, skor MOS tetap bertahan di angka 4.25 (masih dalam batas *Good*). Temuan psikologis ini membuktikan fenomena "Inersia Pengalaman". Jika kelancaran jaringan (50 ms) berhasil dipertahankan pada 60% fase awal permainan, memori otot dan impresi emosional positif yang telah terbentuk mampu berfungsi sebagai buffer psikologis,

yang menahan kejatuhan drastis skor kepuasan partisipan saat gangguan (lag spike) akhirnya muncul di fase akhir.

Tabel 5 Perbandingan Nilai MOS Primer dan Sekunder

Tingkat Target	Latensi	Skor MOS Data Primer (Qoe-Sim / Game 2D Web)	Skor MOS Data Sekunder (Game Komersial FPS 3D)	Selisih Absolut (Deviasi)
50 ms		4.94	3.78	1.16
150 ms		4.82	1.52	3.30
250 ms		4.33	1.06	3.27
500 ms		3.92	1.00	2.92
1000 ms		3.44	1.00	2.44

Metrik Kesalahan (Deviasi)

Root Mean Square Error (RMSE)

2.528

Semakin kecil nilai RMSE, semakin mirip tren survei Anda dengan data pembanding.

Gambar 18 Metrik Root Mean Square Error

Kalkulasi metrik Root Mean Square Error (RMSE) merupakan tolak ukur matematis untuk mengevaluasi batas deviasi model. Angka kesalahan absolut yang ditampilkan merepresentasikan seberapa dekat tingkat akurasi data empiris yang dihasilkan oleh simulator mandiri apabila dibandingkan dengan ekspektasi kurva prediksi pada standar industri global.

Validasi Instrumen Melalui Root Mean Square Error (RMSE)

Untuk membuktikan bahwa simulator mandiri (Qoe-Sim) yang dibangun merupakan instrumen riset yang valid dan memenuhi standar penelitian jaringan internasional, data empiris yang dihasilkan (Tabel 5) dikomparasikan secara matematis dengan model dataset sekunder.

Berdasarkan penerapan Rumus 7, hasil pengujian deviasi menghasilkan nilai Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 2.528. Sementara itu, koefisien keselarasan tren Spearman Rank menghasilkan nilai $\rho = 0.8117$.

Angka ρ yang berada di atas 0.8 menegaskan adanya keselarasan tren monotonik yang sangat kuat antara simulator usulan dengan standar industri game komersial; keduanya dengan tegas menunjukkan penurunan kualitas seiring naiknya latensi. Namun, analisis deviasi pada Tabel 5 menunjukkan selisih nominal positif, di mana pemain Qoe-Sim memberikan penilaian kepuasan (MOS) yang secara umum lebih tinggi atau "lebih pemaaf" (skor 3.44 pada 1000 ms) dibandingkan pemain game FPS 3D (skor 1.00 pada 1000 ms).

Perbedaan ini secara logis diakibatkan oleh arsitektur rendering. Game 2D berbasis web (Phaser Engine) hanya membutuhkan pengolahan sumbu spasial X dan Y dengan elemen grafis statis (sprites). Sebaliknya, game FPS komersial modern (seperti Valorant atau CS:GO) menuntut otak memproses informasi visual 3D spasial secara penuh, fisika proyektil kompleks (bullet drop, recoil), orientasi audio spasial, dan gerakan karakter tiga dimensi. Kompleksitas ini melipatgandakan Base Cognitive Load (Beban Kognitif Dasar). Akibatnya, pada game 3D, toleransi sisa memori kerja di dalam otak pemain menjadi sangat tipis. Ketika latensi (gangguan eksternal) terjadi, kapasitas mental tersebut seketika kolaps, memicu rasa frustrasi total (skor MOS 1.0). Sebaliknya, pada simulator 2D Qoe-Sim, kapasitas kognitif yang belum terpakai memungkinkan partisipasi untuk tetap berkonsentrasi meskipun ada keterlambatan visual parah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen terkontrol, pengolahan data telemetri, dan analisis komparatif statistik, penelitian ini mengonfirmasi bahwa latensi jaringan bertindak sebagai faktor destruktif utama terhadap ekosistem permainan kompetitif berbasis refleks motorik.

1. latensi menghancurkan metrik performa objektif pemain secara terukur. Penyuntikan latensi 1000 ms menyebabkan presisi akurasi tembakan anjlok dari 92.8% menjadi 50.9%, sementara waktu reaksi memburuk secara drastis dari rata-rata 1187 ms membengkak menjadi 1881 ms. Hal ini membuktikan bahwa penundaan transmisi visual secara paksa meningkatkan durasi siklus kognitif
2. Berdasarkan analisis psikometrik (QoE), korelasi antara metrik teknis jaringan dan persepsi manusia terbukti sangat kuat dengan arah negatif ($r = -0.9610$). Model IQX Hypothesis terkonfirmasi, di mana setiap milidetik jeda interaksi diterjemahkan sebagai pemicu degradasi emosional.
3. Pemetaan ambang batas toleransi menyimpulkan bahwa rentang latensi 0-150 ms adalah Zona Kompetitif Ideal ($MOS \geq 4.5$) yang mutlak harus dipenuhi oleh Internet Service Provider (ISP) untuk memfasilitasi integritas kejuaraan esports. Titik infleksi kompensasi kognitif dimulai pada 250 ms, sedangkan *Breakdown point* (Kelumpuhan Sensorimotor) absolut dicapai saat latensi menyentuh angka 1000 ms.
4. Simulator Qoe-Sim terbukti valid dan andal sebagai perangkat riset telemetri human-centric, dibuktikan oleh metrik keselarasan komparatif yang sangat tinggi (Spearman Rank $\rho = 0.8117$) terhadap standar industri komersial global.

Sebagai rekomendasi untuk riset lanjutan dan industri pengembang perangkat lunak, diperlukan implementasi teknologi kompensasi client-side

prediction adaptif yang aktif bekerja pada ambang batas di atas 150 ms. Selain itu, masa depan pengukuran *Quality of Experience* (QoE) disarankan untuk tidak hanya mengandalkan survei retrospektif (MOS), tetapi harus mulai mengintegrasikan parameter biometrik *real-time*, seperti alat pelacak pergerakan bola mata (*eye-tracking*) atau perekam gelombang otak (EEG), guna memetakan lonjakan beban kognitif dan tingkat frustrasi pemain secara langsung pada level fisiologis.

DAFTAR PUSTAKA

- Basheer, S., Leghari Ali, A., Khuhro Ahmed, M., Phul, Z., & Quadri Ali Kashif, S. (2026). MACHINE LEARNING-BASED MODEL FOR QOE PREDICTION IN CLOUD-BASED MULTIPLAYER GAMES USING NETWORK QOS PARAMETERS.
- Bounmachanh, J. (2025). The Impact of Packet Loss on Multiplayer Game Synchronization Protocols. *Journal of Computer Networks and Communications*.
- Halbhuber, D., Schauhuber, P., Schwind, V., & Henze, N. (2023). The Effects of Latency and In-Game Perspective on Player Performance and Game Experience. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 7(CHI PLAY), 1308-1329.
- Khalid, Z., et al. (2023). Cognitive Load Assessment in Latency-Induced Interactive Virtual Environments. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*.
- Khaeruddin, & Alamin, Z. (2025). Perbandingan Konfigurasi Jaringan LAN dan WAN dalam Mendukung Kecepatan Akses pada Perusahaan Teknologi. *Scientific: Journal of Computer Science and Informatics*, 2(1), 8-14.
- Liu, S., Claypool, M., Kuwahara, A., Scovell, J., & Sherman, J. (2021a). L33t or N00b?: How Player Skill Alters the Effects of Network Latency on First Person Shooter Game Players. *GameSys 2021 Proceedings of the 2021 Workshop*.
- Liu, S., Claypool, M., Kuwahara, A., Scovell, J., & Sherman, J. (2021b). The effects of network latency on competitive *First-Person Shooter* game players. *2021 13th International Conference on Quality of Multimedia Experience, QoMEX 2021*, 151-156.
- Luis Casado Rico, J., Villarrasa-Sapiña, I., García-Massó, X., & Monfort-Torres, G. (2025). Differences in hand acceleration and digital reaction time between different skill levels of Counter Strike players. *Entertainment Computing*, 52.
- Meldawati. (2021). PENGARUH FREKUENSI BERMAIN GAME ONLINE TERHADAP MOTIVASI DAN KEBIASAAN BELAJAR BIOLOGI PADA SISWA SMA.
- Metzger, F., Geisler, S., Grigorjew, A., Loh, F., Moldovan, C., Seufert, M., & Hosfeld, T. (2022). An Introduction to Online Video Game QoS and QoE Influencing Factors. *IEEE Transactions on Network and Service Management / IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 24(3), 1894-1925.

- Nasser, A. E. N., Fattah, F., & Ilmawan, L. B. (2024). Analisis Quality Of Service Layanan Internet Service Provider pada Esports MOBA. *LINIER: Literatur Informatika Dan Komputer*, 1(3), 248-255.
- Sabet, S. S., Schmidt, S., Zadtootaghaj, S., Griwodz, C., & Möller, S. (2020). Delay sensitivity classification of cloud gaming content. *MMVE* 2020.
- Warburton, M., Campagnoli, C., Mon-Williams, M., Mushtaq, F., & Morehead, J. R. (2023). Kinematic markers of skill in *First-Person Shooter* video games. *PNAS Nexus*, 2(8).
- Zadtootaghaj, S., et al. (2020). Modeling Jitter Tolerance in Competitive Gaming Ecosystems. *QoMEX 2020 Proceedings*.