JURNAL JTIK
(JURNAL TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI)
KITA Komunitas Informasi Teknologi Aceh
OPEN ACCESS
E-ISSN: 2580-1643
Volume 11, Nomor 1, Januari 2027 | Pages: 130-144 | DOI: https://doi.org/10.35870/jtik.v11i1.7428

Strategi *Public Relations* RRI Bogor dalam Membangun Citra Positif di Era Digital Analisis *Quality of Service* Jaringan Starlink dan Jaringan Seluler untuk Kelayakan Komunikasi Darurat Bencana di Wilayah Terdampak Erupsi Gunung Semeru

Muhammad Miftahul Karim [1*], Muhammad Syaeful Fajar [2], MH. Ramdhani Ismar [3]

[1*,2,3] Program Studi Teknologi Informasi, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Kota Madiun, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.

Corresponding Email: [1*]muhammad281004@gmail.com.

Article History:
Received: 22 May 2026.
Revised: 8 July 2026.
Accepted: 14 July 2026.
Available Online: 1 November 2026.
Published: 1 January 2027.

Abstract

Stable internet availability is crucial for disaster coordination, especially in volcanic hazard areas where terrestrial communication infrastructure is vulnerable to physical disruptions. This study evaluates the Quality of Service (QoS) performance of Low Earth Orbit (LEO) satellite internet based on Starlink and compares it with the best available cellular network in regions affected by the Mount Semeru eruption. Using a quantitative experimental approach with a descriptive-comparative design, field tests were conducted at multiple locations. QoS parameters analyzed include throughput, latency, jitter, and packet loss. Results show that Starlink's throughput is higher in several locations, with lower latency (30.80–53.00 ms), and zero packet loss on wired connections. These findings suggest that Starlink is a viable alternative for emergency communication, provided that terminal placement and environmental conditions are carefully managed.

Keywords: Disaster Communication; Low Earth Orbit; Quality of Service; Starlink; Mount Semeru.

Abstrak

Ketersediaan internet stabil sangat penting untuk mendukung koordinasi kebencanaan, terutama di wilayah rawan erupsi gunung berapi yang infrastruktur komunikasinya rentan gangguan fisik. Penelitian ini mengevaluasi performa Quality of Service (QoS) jaringan internet satelit Low Earth Orbit (LEO) berbasis Starlink dan membandingkannya dengan jaringan seluler terbaik di daerah terdampak erupsi Gunung Semeru. Metode yang digunakan adalah kuantitatif eksperimental dengan desain deskriptif-komparatif melalui pengujian lapangan di beberapa lokasi. Parameter QoS yang dianalisis meliputi throughput, latency, jitter, dan packet loss. Hasil menunjukkan bahwa throughput Starlink lebih tinggi di sebagian lokasi, latency lebih rendah (30,80–53,00 ms), dan packet loss nol persen pada koneksi wired. Starlink layak dipertimbangkan sebagai koneksi alternatif untuk komunikasi darurat, dengan perhatian terhadap penempatan dan kondisi lingkungan.

Kata Kunci: Komunikasi Bencana; Low Earth Orbit; Quality of Service; Starlink; Gunung Semeru.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Copyright © 2027 by the authors. Published by Lembaga Komunitas Informasi Teknologi Aceh (KITA). All rights reserved.

E-ISSN: 2580-1643

1. Pendahuluan

Kebutuhan terhadap *access internet* yang stabil menjadi semakin penting, terutama pada wilayah rawan bencana yang membutuhkan komunikasi cepat untuk koordinasi, penyebaran informasi, dan penanganan darurat. Pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, infrastruktur komunikasi berbasis darat seperti jaringan seluler, *Base Transceiver Station* (*BTS*), dan *fiber optik* memiliki risiko mengalami gangguan akibat *cloud of hot ash*, *lahar*, hujan abu vulkanik, maupun kerusakan fisik lainnya. Kondisi tersebut menjadikan evaluasi kualitas layanan jaringan atau *Quality of Service* (*QoS*) sebagai aspek penting untuk menilai kemampuan suatu jaringan dalam menyediakan konektivitas yang andal. Parameter *QoS* seperti *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* digunakan untuk mengukur performa jaringan dalam proses pengiriman data, kestabilan koneksi, serta kemampuan mendukung layanan komunikasi *real-time*. Oleh karena itu, analisis *QoS* diperlukan sebagai dasar untuk membandingkan kinerja jaringan satelit *Low Earth Orbit* (*LEO*) berbasis *Starlink* dengan jaringan seluler pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru (Saputra & Saputra, 2020). Jaringan seluler masih menjadi salah satu layanan utama yang digunakan masyarakat untuk memperoleh *akses internet* di berbagai wilayah. Namun, pada daerah rawan bencana seperti kawasan terdampak erupsi Gunung Semeru, ketergantungan terhadap jaringan seluler memiliki tantangan tersendiri karena performanya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan *Base Transceiver Station* (*BTS*), kondisi geografis, kepadatan pengguna, serta kemungkinan kerusakan infrastruktur akibat material vulkanik.

Gangguan seperti *cloud of hot ash*, *lahar*, hujan abu, dan *power outage* dapat menurunkan kualitas layanan jaringan sehingga konektivitas tidak selalu stabil pada setiap lokasi. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengukuran *Quality of Service* (*QoS*) untuk mengetahui kemampuan jaringan seluler dalam mendukung komunikasi data di wilayah terdampak bencana. Parameter *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* digunakan sebagai indikator untuk menilai kecepatan transmisi, respons jaringan, kestabilan koneksi, serta tingkat kehilangan paket selama proses komunikasi berlangsung (Pujakesuma, 2023). Teknologi *satellite Low Earth Orbit* (*LEO*) dapat menjadi alternatif konektivitas ketika jaringan terestrial memiliki keterbatasan jangkauan maupun kerentanan terhadap gangguan fisik. Dalam konteks wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, jaringan berbasis *satellite* memiliki peran penting karena tidak sepenuhnya bergantung pada infrastruktur darat seperti *BTS*, *kabel fiber optik*, atau jaringan distribusi lokal yang berisiko terdampak *cloud of hot ash*, *lahar*, maupun hujan abu vulkanik. *Satellite LEO* beroperasi pada orbit yang lebih rendah dibandingkan *satellite geostasioner* sehingga berpotensi menghasilkan *latency* yang lebih kecil dan lebih sesuai untuk layanan komunikasi data. Salah satu implementasi teknologi ini adalah *Starlink*, yaitu layanan *internet* berbasis *satellite LEO* yang menyediakan akses broadband dengan cakupan luas. Pada penelitian ini, performa *Starlink* dianalisis menggunakan parameter *Quality of Service* (*QoS*), yaitu *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*, kemudian dibandingkan dengan jaringan seluler terbaik pada lokasi pengujian. Pendekatan tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana *Starlink* dapat mendukung kebutuhan konektivitas alternatif di daerah rawan bencana (Ramadhani *et al*., 2025). Jaringan *satellite Low Earth Orbit* (*LEO*) merupakan bagian dari pengembangan *non-terrestrial network* yang berpotensi menyediakan layanan *internet* dengan cakupan luas dan *latency* lebih rendah dibandingkan sistem *satellite* konvensional. Karakteristik tersebut menjadikan *LEO* relevan untuk diterapkan pada wilayah yang memiliki keterbatasan infrastruktur komunikasi darat, termasuk kawasan terdampak erupsi Gunung Semeru. Pada kondisi bencana, jaringan berbasis darat seperti *BTS* dan *fiber optik* dapat mengalami gangguan akibat kerusakan fisik, keterbatasan pasokan listrik, maupun hambatan akses menuju lokasi terdampak. Oleh karena itu, teknologi *LEO* berbasis *Starlink* dalam penelitian ini diposisikan sebagai alternatif konektivitas yang dapat mendukung kebutuhan komunikasi data di daerah rawan bencana, khususnya ketika jaringan *terrestrial* tidak dapat beroperasi secara optimal (Kodheli *et al*., 2021).

Studi yang dilakukan oleh Distira dkk. menunjukkan bahwa layanan *internet* berbasis *satellite Starlink* memiliki performa yang layak berdasarkan parameter *Quality of Service*, seperti *delay*, *jitter*, *throughput*, dan *packet loss* (Muhammad Wahyu Distira *et al*., 2025). Temuan tersebut relevan dengan penelitian ini karena *Starlink* diuji sebagai alternatif jaringan pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru yang memiliki risiko gangguan terhadap infrastruktur komunikasi darat. Dengan mempertimbangkan kondisi geografis dan potensi kerusakan jaringan *terrestrial* akibat bencana, pengujian *QoS* terhadap *Starlink* diperlukan untuk mengetahui tingkat keandalan layanan tersebut ketika dibandingkan dengan jaringan seluler terbaik di lokasi penelitian. Kajian terdahulu menunjukkan bahwa evaluasi *Quality of Service* (*QoS*) dapat digunakan untuk menilai performa jaringan *satellite LEO* maupun jaringan seluler berdasarkan karakteristik layanan yang dihasilkan. Hasnidar dkk. menjelaskan bahwa *delay* menjadi salah satu indikator penting dalam kualitas jaringan, karena nilai *delay* yang lebih rendah menunjukkan respons jaringan yang lebih baik

E-ISSN: 2580-1643

dalam mendukung layanan komunikasi data dan multimedia, seperti *video conference* (Hasnidar *et al.*, 2021). Dalam jaringan *satellite*, Ramadhani dkk. menunjukkan bahwa *Starlink* berbasis *LEO* mampu memberikan kualitas layanan yang baik untuk mendukung konektivitas *internet* di wilayah *rural*, meskipun performanya masih dapat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, terutama pada parameter *delay* (Ramadhani *et al.*, 2025). Di sisi lain, Pranata dan Dewantara menyatakan bahwa kualitas jaringan *seluler 4G* sangat bergantung pada kondisi trafik, jumlah pengguna, dan kestabilan koneksi pada masing-masing operator (Pranata & Dewantara, 2024). Hu dkk. juga menegaskan bahwa jaringan *seluler* umumnya memiliki keunggulan *throughput* pada wilayah dengan dukungan infrastruktur *base station* yang memadai, sedangkan jaringan *satellite LEO* lebih potensial digunakan pada daerah *suburban*, *rural*, atau wilayah dengan keterbatasan infrastruktur *terrestrial* (Hu *et al.*, 2023). Temuan-temuan tersebut menjadi dasar bagi penelitian ini untuk membandingkan performa *Starlink* dan jaringan seluler terbaik pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, yang memiliki tantangan geografis dan risiko gangguan infrastruktur komunikasi akibat bencana. Penelitian yang dilakukan oleh Laksana dkk. menunjukkan bahwa jaringan *satellite LEO* memiliki potensi reliabilitas yang baik dalam komunikasi data, terutama melalui dukungan *inter-satellite links* (*ISL*) yang dapat membantu menekan risiko *packet loss* dan gangguan transmisi pada jaringan *non-terestrial* (Laksana *et al.*, 2024). Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Ramadhani dkk. yang menyatakan bahwa jaringan *satellite LEO* mampu memberikan kualitas layanan yang baik untuk mendukung konektivitas berbasis *IoT*, meskipun performanya tetap dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama kondisi cuaca (Ramadhani *et al.*, 2025).

Sementara itu, Ainina dan Ridwan menjelaskan bahwa kualitas layanan jaringan *seluler* sangat dipengaruhi oleh kestabilan sinyal, kepadatan trafik, serta kondisi lingkungan pengujian, sehingga parameter *throughput*, *delay*, dan *jitter* menjadi indikator penting dalam evaluasi *Quality of Service* (*QoS*) (Ainina & Ridwan, 2024). Meskipun kajian mengenai *QoS* jaringan *satellite LEO* dan jaringan seluler telah banyak dilakukan, penelitian yang membandingkan kedua teknologi tersebut secara langsung pada wilayah terdampak bencana masih relatif terbatas. Sebagian penelitian sebelumnya lebih banyak dilakukan pada wilayah *rural*, perkotaan, atau lingkungan jaringan umum, sedangkan konteks daerah rawan bencana memiliki karakteristik yang berbeda karena infrastruktur komunikasi darat berisiko terganggu oleh *cloud of hot ash*, *lahar*, abu vulkanik, kerusakan akses, serta keterbatasan pasokan listrik. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai performa *Starlink* berbasis *satellite LEO* dan jaringan seluler terbaik di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Pengujian dilakukan melalui metode kuantitatif eksperimental agar hasil perbandingan *QoS* berdasarkan *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* dapat menggambarkan kondisi jaringan secara lebih objektif di lapangan. Wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru memiliki karakteristik geografis yang beragam, mulai dari lereng terbuka, lembah aliran lahar, kawasan permukiman terdampak, hingga area tebing dan vegetasi rapat. Perbedaan kondisi tersebut dapat memengaruhi kualitas *akses internet*, baik pada jaringan *seluler* maupun jaringan *satellite* berbasis *Low Earth Orbit* (*LEO*). Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu dipilih sebagai lokasi pengujian karena mewakili kondisi lapangan yang berbeda serta memiliki relevansi dengan kebutuhan komunikasi di daerah rawan bencana. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang membandingkan jaringan *LEO* dan *seluler* pada wilayah *rural* atau perkotaan umum, penelitian ini secara khusus menguji kedua jaringan pada kondisi geografis wilayah terdampak erupsi aktif yang memiliki risiko gangguan infrastruktur *terrestrial* secara nyata. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja *QoS* jaringan *Starlink* dan jaringan *seluler* terbaik berdasarkan *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*, serta menilai kelayakannya sebagai *konektivitas* alternatif dan *redundant link* untuk komunikasi darurat di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan bukti empiris lapangan mengenai performa *Starlink* Generasi 3 V4 pada lingkungan bencana vulkanik yang heterogen. Sementara studi seperti Kodheli *et al.* (2021) dan Ramadhani *et al.* (2025) menunjukkan potensi teknis jaringan *satellite LEO* untuk *konektivitas broadband* dan *IoT*, penelitian ini menempatkan pengujian pada konteks yang lebih spesifik, yaitu wilayah dengan potensi kerusakan infrastruktur, partikulat atmosfer akibat erupsi, perubahan kondisi cuaca, dan hambatan topografi yang dapat memengaruhi kualitas sinyal.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *kuantitatif eksperimental* dengan pendekatan *deskriptif-komparatif* untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja *Quality of Service* (*QoS*) jaringan *satellite Low Earth Orbit* (*LEO*) berbasis *Starlink* dengan jaringan *seluler* terbaik pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Pendekatan *eksperimental* dilakukan melalui pengujian langsung di lapangan agar data yang diperoleh

E-ISSN: 2580-1643

merepresentasikan kondisi jaringan secara nyata pada masing-masing lokasi pengujian. Lokasi penelitian meliputi Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu yang memiliki karakteristik geografis berbeda, seperti lereng terbuka, lembah aliran lahar, kawasan permukiman terdampak, serta area tebing dan vegetasi rapat. Metode ini digunakan untuk memperoleh data *QoS* secara objektif berdasarkan parameter *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*, sehingga performa *Starlink* dan jaringan *seluler* dapat dianalisis sesuai kondisi aktual di lapangan (Pujakesuma, 2023; Ramadhani *et al.*, 2025). Pengujian lapangan dilaksanakan pada 26–29 Februari 2026. Kondisi cuaca selama pengambilan data secara umum berada pada keadaan cerah hingga berawan. Namun, pada saat pengujian di Desa Lebakharjo sempat terjadi *erupsi ringan* Gunung Semeru yang menyebabkan kualitas jaringan *Starlink* dan jaringan *seluler* mengalami penurunan sementara, meskipun tidak berlangsung lama. Setiap parameter diuji sebanyak lima kali pada setiap lokasi dan setiap jenis jaringan, kemudian nilai *rata-rata* digunakan sebagai dasar analisis.

Pengulangan pengujian dilakukan untuk mengurangi pengaruh *fluktuasi* sesaat dan meningkatkan keterwakilan hasil pengukuran lapangan. Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian jaringan secara langsung menggunakan aplikasi *Speedtest* oleh Ookla dan *Wireshark*. *Speedtest* digunakan untuk memperoleh nilai *throughput* dan *latency* pada jaringan *Starlink* serta jaringan *seluler* pembanding di setiap lokasi pengujian. Sementara itu, *Wireshark* digunakan untuk merekam dan menganalisis lalu lintas paket data secara *real-time*, terutama untuk mengamati nilai *jitter* dan *packet loss* selama proses transmisi berlangsung (Maulana *et al.*, 2021). Pengujian dilakukan pada masing-masing jaringan dengan skenario yang sama agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif dan mampu menggambarkan kondisi performa jaringan di lapangan. Penerapan *Quality of Service* (*QoS*) pada penelitian ini digunakan untuk menilai kemampuan jaringan *Starlink* dan jaringan *seluler* dalam menyediakan koneksi yang stabil di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Evaluasi *QoS* dilakukan dengan memperhatikan empat parameter utama, yaitu *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*. *Throughput* digunakan untuk menilai kemampuan jaringan dalam mengirimkan data, *latency* menunjukkan waktu respons jaringan, *jitter* menggambarkan variasi keterlambatan antar paket, sedangkan *packet loss* menunjukkan tingkat kehilangan paket selama proses transmisi. Melalui pengukuran tersebut, kualitas layanan kedua jaringan dapat dianalisis secara lebih objektif, terutama untuk mengetahui kelayakannya dalam mendukung komunikasi darurat dan layanan yang sensitif terhadap *delay*, seperti *video call*, pengiriman data lapangan, serta *koordinasi kebencanaan* secara *real-time* (Wijaya *et al.*, 2024). Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas *laptop* sebagai alat utama pengujian, perangkat *Starlink* Generasi 3 V4, *smartphone* untuk mengakses jaringan *seluler* pembanding, *kabel Ethernet*, serta perangkat pendukung *daya listrik*. *Laptop* digunakan untuk menjalankan proses pengukuran dan analisis jaringan melalui koneksi *Wi-Fi* maupun *Ethernet*. Perangkat *Starlink* Generasi 3 V4 digunakan sebagai representasi jaringan *internet satellite Low Earth Orbit* (*LEO*), sedangkan *smartphone* berfungsi sebagai media akses jaringan *seluler* terbaik yang tersedia pada masing-masing lokasi pengujian. Pengujian dilakukan dengan dua skenario koneksi, yaitu *wireless* dan *wired*, agar hasil pengukuran dapat menunjukkan perbedaan performa jaringan secara lebih objektif di kondisi lapangan. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sistem operasi Windows, Speedtest by Ookla, Wireshark, dan Microsoft Excel. Speedtest by Ookla digunakan untuk memperoleh data throughput dan latency pada jaringan Starlink maupun jaringan seluler pembanding. Wireshark digunakan untuk merekam lalu lintas paket data serta membantu analisis jitter dan packet loss selama proses pengujian berlangsung. Seluruh data hasil pengukuran kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung nilai rata-rata, menyusun tabel hasil pengujian, serta membuat grafik perbandingan antarparameter Quality of Service (QoS).

Parameter *Quality of Service* (QoS) dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi performa jaringan satelit Low Earth Orbit berbasis Starlink dan jaringan seluler pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Parameter yang dianalisis meliputi throughput, latency, jitter, dan packet loss. Keempat parameter tersebut dipilih karena mampu merepresentasikan kemampuan jaringan dalam mentransmisikan data, memberikan respons koneksi, menjaga kestabilan pengiriman paket, serta meminimalkan kehilangan data selama proses komunikasi berlangsung. Pengukuran QoS dilakukan dengan mengacu pada standar TIPHON agar hasil pengujian dapat diklasifikasikan secara terukur dan dibandingkan secara objektif antara Starlink dan jaringan seluler pembanding (Ramadhani *et al.*, 2025). Untuk memperoleh nilai masing-masing parameter QoS, digunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

Throughput

Throughput merupakan jumlah data yang berhasil diterima dalam satuan waktu tertentu. Perhitungan throughput dilakukan menggunakan rumus berikut:

E-ISSN: 2580-1643

$$Throughput = \frac{\text{Total data yang diterima (bit)}}{\text{Waktu transmisi (detik)}}$$

Keterangan:
Throughput = kecepatan transfer data (bps)
Total Data Diterima = jumlah data yang diterima selama pengujian (bit)
Waktu Transmisi = waktu pengiriman data (detik)

Delay

Delay atau latency merupakan waktu tempuh paket data dari pengirim menuju penerima. Nilai delay dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Delay = \text{Waktu diterima} - \text{Waktu dikirim}$$

Keterangan:
Delay = waktu keterlambatan paket data (ms)
Waktu Terima = waktu saat paket diterima
Waktu Kirim = waktu saat paket dikirim

Jitter

Jitter merupakan variasi delay antar paket data yang diterima selama proses transmisi berlangsung. Perhitungan jitter dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$Jitter = | Delay_n - Delay_{n-1} |$$

Keterangan:
Jitter = variasi delay paket data (ms)
Delay_n = delay paket ke-n
Delay_(n-1) = delay paket sebelumnya
Jumlah Paket = total paket yang dianalisis

Packet Loss

Packet loss merupakan persentase paket data yang hilang selama proses transmisi jaringan berlangsung. Nilai packet loss dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Packet\ Loss = \frac{\text{Paket hilang}}{\text{Paket dikirim}} \times 100\%$$

Keterangan:
Packet Loss = persentase kehilangan paket (%)
Paket Hilang = jumlah paket yang tidak diterima
Total Paket Dikirim = jumlah seluruh paket yang dikirim

Penelitian dilaksanakan pada beberapa wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru yang memiliki karakteristik geografis berbeda. Lokasi pengujian meliputi Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Desa Sonowangi mewakili area lereng terbuka, tetapi pada titik pengujian tertentu ditemukan sky visibility yang rendah sehingga perangkat Starlink membutuhkan waktu penyesuaian terhadap satelit. Desa Lebakharjo mewakili wilayah lembah aliran lahar dan menjadi lokasi yang mengalami erupsi ringan saat pengujian berlangsung. Dusun Krajan mewakili kawasan permukiman terdampak erupsi, sedangkan Kawasan Tumpak Sewu memiliki karakteristik tebing dan vegetasi rapat. Pemilihan lokasi tersebut dilakukan untuk memperoleh gambaran performa jaringan Starlink dan jaringan seluler pada kondisi lingkungan yang beragam. Skenario pengujian dilakukan dengan menghubungkan perangkat uji ke jaringan Starlink dan jaringan seluler pembanding secara bergantian pada lokasi yang sama. Pengujian dilakukan dengan prosedur yang seragam agar hasil pengukuran antarjaringan dapat dibandingkan secara objektif. Pada setiap lokasi, pengukuran throughput dan latency dilakukan menggunakan Speedtest by Ookla, kemudian dilanjutkan dengan perekaman lalu lintas jaringan menggunakan Wireshark untuk memperoleh data jitter dan packet loss. Data yang diperoleh dari setiap skenario pengujian dicatat, dikelompokkan berdasarkan lokasi dan jenis jaringan, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk menggambarkan performa Quality of Service (QoS) pada masing-masing titik pengujian di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru.

Pada skenario koneksi *wired*, nilai *throughput* Starlink yang sangat rendah di beberapa lokasi pengujian tidak ditafsirkan sebagai performa tipikal dari layanan Starlink secara umum, melainkan sebagai hasil spesifik yang muncul akibat pengaruh konfigurasi serta kondisi pengujian lapangan tertentu. Nilai tersebut secara teknis dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti proses penyesuaian perangkat terhadap konstelasi satelit, konfigurasi pada *ethernet adapter*, kondisi terminal perangkat penguji, atau adanya gangguan fluktuasi sinyal sesaat ketika proses pengambilan data berlangsung. Oleh karena itu, hasil *throughput wired* ini dibahas secara terbuka sebagai bentuk temuan anomali yang wajib diperhatikan secara kritis dalam interpretasi data, sekaligus diakui sebagai salah satu keterbatasan teknis dalam penelitian ini. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran *Quality of Service* (QoS) antara jaringan Starlink dan jaringan seluler pembanding berdasarkan nilai rata-rata setiap parameter. Parameter yang dianalisis meliputi throughput, latency, jitter, dan packet loss pada masing-masing lokasi pengujian. Hasil pengukuran kemudian diinterpretasikan untuk mengetahui keunggulan, keterbatasan, serta kestabilan performa kedua jaringan pada kondisi geografis yang berbeda di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan menyesuaikan hasil pengujian terhadap standar QoS, sehingga dapat diperoleh gambaran objektif mengenai kelayakan Starlink sebagai alternatif konektivitas dan jaringan pendukung

E-ISSN: 2580-1643

komunikasi darurat. Standar pengukuran dalam penelitian ini mengacu pada TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks*) dan rekomendasi ITU-T G.1010 sebagai dasar evaluasi *Quality of Service* (QoS) pada jaringan komunikasi data (*European Telecommunications Standards Institute* [ETSI], 2002; *International Telecommunication Union* [ITU], 2001; Pujakesuma, 2023). Standar tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas jaringan berdasarkan parameter *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*. Setiap parameter dianalisis untuk mengetahui kemampuan jaringan dalam mentransmisikan data, memberikan respons koneksi, menjaga kestabilan pengiriman paket, serta meminimalkan kehilangan data selama proses komunikasi berlangsung. Klasifikasi QoS digunakan sebagai acuan dalam membandingkan performa jaringan satelit *Low Earth Orbit* berbasis Starlink dengan jaringan seluler pada setiap lokasi pengujian di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. (Pujakesuma, 2023).

Tabel 1. Persentase dan nilai Quality of Service (QoS)

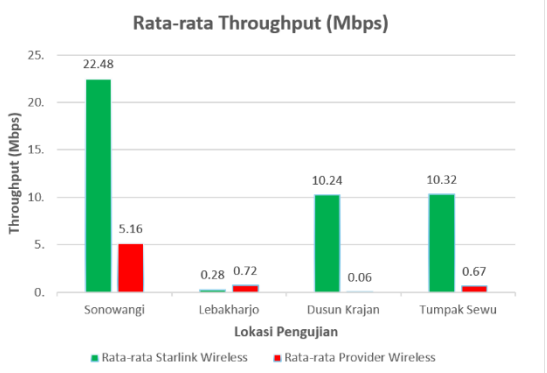
Nilai	Persentase (%)	Indeks
3,8 s/d 4	95 s/d 100	Sangat Baik
3 s/d 3,79	75 s/d 94,75	Baik
2 s/d 2,99	50 s/d 74,75	Cukup
1 s/d 1,99	25 s/d 49,75	Buruk

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Gambaran Umum Pengujian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan *kualitas layanan jaringan* atau *Quality of Service* (*QoS*) antara jaringan *satellite Low Earth Orbit* (*LEO*) berbasis *Starlink* dan jaringan *seluler* pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Pengujian dilaksanakan secara langsung di empat lokasi yang memiliki karakteristik geografis berbeda, yaitu Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Pemilihan lokasi tersebut bertujuan untuk memperoleh gambaran performa jaringan pada kondisi lingkungan yang beragam, mulai dari area lereng terbuka, lembah aliran lahar, kawasan permukiman terdampak, hingga kawasan tebing dan vegetasi rapat. Desa Sonowangi memiliki karakteristik *lereng terbuka*, tetapi pada titik pengujian tertentu masih ditemukan *sky visibility* yang rendah sehingga perangkat *Starlink* memerlukan penyesuaian untuk memperoleh koneksi *satellite* yang stabil. Desa Lebakharjo mewakili wilayah *lembah aliran lahar* dan pada saat pengujian sempat mengalami *erupsi ringan* Gunung Semeru yang menyebabkan penurunan sementara pada kualitas jaringan. Dusun Krajan dipilih karena merepresentasikan kawasan *permukiman* terdampak erupsi yang membutuhkan akses komunikasi andal. Sementara itu, Kawasan Tumpak Sewu memiliki kondisi *tebing* dan *vegetasi rapat* yang berpotensi menimbulkan hambatan atau *obstruction* terhadap koneksi *satellite*. Perbedaan kondisi tersebut digunakan untuk melihat bagaimana performa *Starlink* dan jaringan *seluler* pada wilayah rawan bencana dengan tingkat hambatan lingkungan yang berbeda. Pengujian dilakukan menggunakan dua metode koneksi, yaitu *wired* melalui *Ethernet* dan *wireless* melalui *Wi-Fi*, untuk mengetahui perbedaan performa jaringan berdasarkan jenis koneksi yang digunakan. Parameter *Quality of Service* (*QoS*) yang dianalisis meliputi *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*. Proses pengukuran dilakukan menggunakan *Speedtest* oleh Ookla dan *Wireshark* dengan skenario pengujian yang sama pada setiap jaringan agar hasilnya dapat dibandingkan secara objektif. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk mengetahui perbedaan performa jaringan *Starlink* dan jaringan *seluler* berdasarkan kondisi geografis masing-masing lokasi pengujian.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Throughput

Berdasarkan grafik rata-rata throughput, terlihat bahwa performa jaringan Starlink wireless lebih tinggi dibandingkan jaringan provider wireless pada tiga dari empat lokasi pengujian. Di Desa Sonowangi, Starlink mencatat throughput rata-rata sebesar 22,48 Mbps, sedangkan provider wireless memperoleh 5,16 Mbps. Pada Dusun Krajan dan Tumpak Sewu, Starlink juga menunjukkan performa lebih baik dengan nilai masing-masing 10,24 Mbps dan 10,32 Mbps, sementara provider

E-ISSN: 2580-1643

wireless hanya mencapai 0,06 Mbps dan 0,67 Mbps. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Starlink mampu menyediakan kapasitas transfer data yang lebih besar pada wilayah dengan keterbatasan jaringan seluler. Namun, hasil berbeda terlihat di Desa Lebakharjo, di mana provider wireless memperoleh throughput 0,72 Mbps, lebih tinggi dibandingkan Starlink wireless yang hanya mencapai 0,28 Mbps. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa performa throughput Starlink tetap dapat dipengaruhi oleh kondisi geografis, *obstruction*, dan visibilitas langit pada lokasi pengujian. Untuk memperjelas hasil pengukuran throughput pada masing-masing jaringan, data hasil pengujian disajikan kembali dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Throughput

Lokasi	Starlink Wired	Starlink Wireless	Seluler Wired	Seluler Wireless
Sonowangi	0,014 Mbps	22,48 Mbps	1,32 Mbps	5,16 Mbps
Lebakharjo	0,016 Mbps	0,28 Mbps	0,005 Mbps	0,72 Mbps
Krajan	0,016 Mbps	10.24 Mbps	0,005 Mbps	0,06 Mbps
Tumpak Sewu	0,005 Mbps	10,32 Mbps	0,006 Mbps	0,67 Mbps

Berdasarkan hasil pengujian throughput pada tabel 2, terlihat bahwa performa jaringan Starlink dan jaringan seluler memiliki perbedaan pada setiap lokasi. Pada koneksi wireless, Starlink menunjukkan nilai throughput lebih tinggi di tiga lokasi, yaitu Sonowangi sebesar 22,48 Mbps, Dusun Krajan sebesar 10,24 Mbps, dan Tumpak Sewu sebesar 10,32 Mbps. Sementara itu, jaringan seluler wireless pada lokasi yang sama memperoleh nilai lebih rendah, yaitu 5,16 Mbps di Sonowangi, 0,06 Mbps di Dusun Krajan, dan 0,67 Mbps di Tumpak Sewu. Hasil ini menunjukkan bahwa Starlink wireless mampu memberikan kapasitas transfer data yang lebih baik pada beberapa wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, terutama pada lokasi yang memiliki keterbatasan kualitas jaringan seluler. Perbedaan hasil terlihat di Desa Lebakharjo, di mana throughput jaringan seluler wireless mencapai 0,72 Mbps, sedangkan Starlink wireless hanya memperoleh 0,28 Mbps. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa performa Starlink tidak selalu lebih tinggi pada seluruh lokasi pengujian.

Faktor geografis seperti lembah aliran lahar, keterbatasan visibilitas langit, obstruction, vegetasi, dan kondisi lingkungan sekitar dapat memengaruhi kualitas penerimaan sinyal satelit. Hal ini sejalan dengan karakteristik jaringan satelit LEO yang tetap berpotensi mengalami penurunan performa akibat kondisi lingkungan dan cuaca selama proses komunikasi data berlangsung (Ramadhani *et al*., 2025). Pada koneksi *wired*, nilai *throughput* Starlink yang diperoleh justru sangat rendah dibandingkan koneksi *wireless*, yaitu 0,014 Mbps di Sonowangi, 0,016 Mbps di Lebakharjo, 0,016 Mbps di Dusun Krajan, dan 0,005 Mbps di Tumpak Sewu. Nilai ini berada jauh di bawah ekspektasi umum koneksi Ethernet pada layanan Starlink, sehingga perlu dipahami sebagai anomali pengukuran atau indikasi adanya kendala konfigurasi pada skenario *wired*. Kemungkinan penyebabnya meliputi kondisi *adapter* Ethernet, proses penyesuaian terminal, gangguan sementara pada sesi pengujian, atau perubahan kondisi jaringan saat pengambilan data. Oleh karena itu, interpretasi performa *throughput* Starlink dalam penelitian ini lebih kuat dilihat dari hasil *wireless*, sedangkan data *wired* digunakan sebagai catatan teknis yang perlu diuji ulang pada penelitian lanjutan. Temuan *throughput* ini memperlihatkan bahwa keunggulan Starlink tidak bersifat mutlak pada seluruh karakteristik wilayah. Di Lebakharjo, *throughput wireless* Starlink sebesar 0,28 Mbps lebih rendah dibandingkan jaringan seluler sebesar 0,72 Mbps. Pola ini sejalan dengan penjelasan Kodheli *et al.* (2021) mengenai sensitivitas sistem satelit LEO terhadap kondisi lintasan sinyal dan hambatan lingkungan, serta memperkuat temuan Hu *et al.* (2023) bahwa jaringan seluler masih dapat unggul pada lokasi tertentu ketika kualitas sinyal dan kondisi cakupan lebih mendukung. Dengan demikian, penempatan terminal satelit, bukan hanya pemilihan teknologi, menjadi faktor penting dalam perencanaan komunikasi darurat di zona bencana vulkanik.

Secara umum, hasil throughput menunjukkan bahwa Starlink memiliki keunggulan pada sebagian besar lokasi pengujian, khususnya melalui koneksi wireless. Keunggulan ini terlihat pada wilayah yang memiliki keterbatasan akses jaringan seluler, seperti Dusun Krajan dan Tumpak Sewu. Namun, hasil di Lebakharjo menunjukkan bahwa performa Starlink tetap dipengaruhi oleh kondisi geografis dan hambatan lingkungan. Dengan demikian, Starlink dapat dipertimbangkan sebagai alternatif konektivitas di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, tetapi penerapannya tetap perlu memperhatikan lokasi pemasangan perangkat, visibilitas langit, dan potensi obstruction agar kualitas throughput yang dihasilkan lebih optimal.

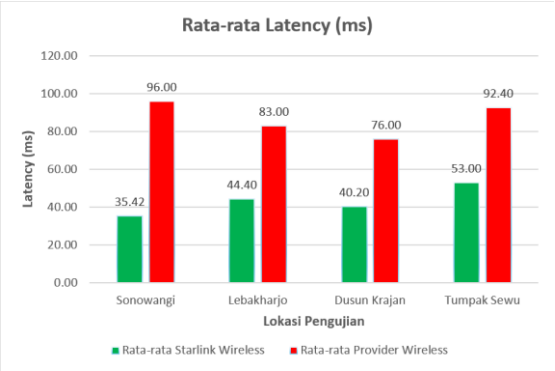
Analisis *Latency*

Latency atau *delay* merupakan waktu yang dibutuhkan paket data untuk berpindah dari

E-ISSN: 2580-1643

perangkat pengirim menuju penerima dalam suatu jaringan komunikasi. Parameter ini digunakan untuk mengetahui tingkat respons jaringan selama proses transmisi data berlangsung. Semakin kecil nilai *latency* yang diperoleh, maka semakin baik kemampuan jaringan dalam mendukung layanan komunikasi real-time, seperti video conference, panggilan suara, pengiriman data koordinasi, dan komunikasi darurat. Sebaliknya, latency yang tinggi dapat menyebabkan keterlambatan respons sehingga menurunkan kualitas layanan internet yang diterima pengguna. Pada jaringan satelit Low Earth Orbit (LEO), nilai latency dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan cuaca, termasuk ketika terjadi hujan atau gangguan atmosfer yang dapat memengaruhi kualitas transmisi sinyal (Ramadhani *et al.*, 2025).

Dalam penelitian ini, pengukuran latency dilakukan menggunakan Speedtest by Ookla pada jaringan Starlink dan jaringan seluler pembanding di Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Nilai latency yang rendah menjadi indikator penting dalam menilai kelayakan jaringan untuk kebutuhan komunikasi kebencanaan. Pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, koneksi internet tidak hanya dibutuhkan untuk akses informasi, tetapi juga untuk mendukung koordinasi lapangan, komunikasi antarpetugas, dan pengiriman data secara cepat. Penelitian Adhistian dan Wibowo menunjukkan bahwa optimasi QoS dapat menurunkan latency dan jitter sehingga kualitas pengalaman pengguna pada layanan real-time menjadi lebih baik (Adhistian & Wibowo, 2024). Oleh karena itu, analisis latency pada penelitian ini digunakan untuk melihat perbandingan respons jaringan Starlink dan jaringan seluler pada lokasi yang memiliki kondisi geografis berbeda. Pada bagian ini disajikan grafik perbandingan latency antara jaringan Starlink dan jaringan seluler pada masing-masing lokasi pengujian. Grafik disusun berdasarkan nilai rata-rata hasil pengujian agar perbedaan respons jaringan dapat terlihat lebih jelas. Hasil latency kemudian dianalisis dengan mempertimbangkan jenis koneksi, kondisi geografis, visibilitas langit, serta hambatan lingkungan seperti vegetasi, tebing, dan obstruction yang berpotensi memengaruhi performa jaringan.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Delay

Berdasarkan grafik rata-rata latency, terlihat bahwa jaringan Starlink wireless memiliki nilai latency lebih rendah dibandingkan jaringan provider wireless pada seluruh lokasi pengujian. Di Desa Sonowangi, Starlink memperoleh latency rata-rata sebesar 35,42 ms, sedangkan provider wireless mencapai 96,00 ms. Pada Desa Lebakharjo, latency Starlink tercatat 44,40 ms, lebih rendah dibandingkan provider wireless sebesar 83,00 ms. Hasil serupa juga terlihat di Dusun Krajan, dengan latency Starlink sebesar 40,20 ms dan provider wireless sebesar 76,00 ms. Sementara itu, pada Kawasan Tumpak Sewu, Starlink mencatat latency 53,00 ms, sedangkan provider wireless mencapai 92,40 ms. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa jaringan Starlink mampu memberikan respons koneksi yang lebih cepat dibandingkan jaringan seluler pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Nilai latency yang lebih rendah ini menjadi indikator bahwa Starlink berpotensi mendukung kebutuhan komunikasi real-time, seperti koordinasi lapangan, pengiriman informasi darurat, dan komunikasi kebencanaan. Untuk memperjelas hasil pengukuran latency pada masing-masing jaringan, data hasil pengujian disajikan kembali dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Latency

Lokasi	Starlink Wired	Starlink Wireless	Seluler Wired	Seluler Wireless
Sonowangi	30,80 ms	35,42 ms	91,00 ms	96,00 ms
Lebakharjo	31,60 ms	44,40 ms	79,00 ms	83,00 ms
Krajan	31,00 ms	47,87 ms	79,00 ms	76,00 ms
Tumpak Sewu	46,60 ms	31,14 ms	85,60 ms	92,40 ms

Berdasarkan hasil pengujian latency pada tabel 3, jaringan Starlink menunjukkan waktu respons yang lebih rendah dibandingkan jaringan seluler pada seluruh lokasi pengujian. Pada Desa Sonowangi, Starlink mencatat latency sebesar 30,80 ms pada koneksi wired dan 35,42 ms pada koneksi wireless, sedangkan jaringan seluler memperoleh 91,00 ms dan 96,00 ms. Hasil serupa terlihat di Desa Lebakharjo, di mana latency Starlink berada pada nilai 31,60 ms dan 44,40 ms, sedangkan jaringan seluler mencapai 79,00 ms dan 83,00 ms. Di Dusun Krajan, Starlink juga

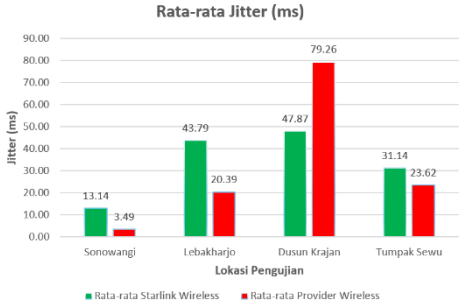
E-ISSN: 2580-1643

menunjukkan latency lebih rendah dengan nilai 31,00 ms pada koneksi wired dan 47,87 ms pada koneksi wireless, sementara jaringan seluler berada pada 79,00 ms dan 76,00 ms. Pada Kawasan Tumpak Sewu, Starlink memperoleh latency 46,60 ms dan 31,14 ms, sedangkan jaringan seluler mencatat nilai 85,60 ms dan 92,40 ms. Berdasarkan standar interpretasi Quality of Service (QoS), seluruh nilai latency pada jaringan Starlink dan jaringan seluler masih berada dalam kategori sangat baik karena berada di bawah ambang 150 ms. Namun, nilai latency Starlink yang lebih rendah menunjukkan bahwa jaringan satelit Low Earth Orbit berbasis Starlink mampu memberikan respons koneksi yang lebih cepat dibandingkan jaringan seluler pembanding pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Kondisi ini memperlihatkan bahwa karakteristik orbit rendah pada jaringan LEO dapat mendukung komunikasi data dengan waktu tunda yang relatif kecil, meskipun proses transmisi tetap melibatkan komunikasi antara terminal pengguna dan satelit. Perbedaan latency antara Starlink dan jaringan seluler juga dapat dipengaruhi oleh kondisi geografis dan kualitas infrastruktur jaringan pada masing-masing lokasi pengujian. Pada wilayah seperti Sonowangi, Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Tumpak Sewu, jaringan seluler berpotensi mengalami peningkatan latency karena dipengaruhi oleh jarak terhadap BTS, kestabilan sinyal, kondisi kontur wilayah, serta hambatan lingkungan.

Sementara itu, Starlink tidak bergantung secara langsung pada infrastruktur BTS sehingga mampu menghasilkan latency yang lebih konsisten pada beberapa lokasi. Meskipun demikian, performa Starlink tetap perlu memperhatikan faktor visibilitas langit, obstruction, cuaca, dan ketersediaan daya. Delay pada jaringan komunikasi dapat dipengaruhi oleh jarak transmisi, media komunikasi, dan proses pengolahan data dalam jaringan (Hasnidar *et al.*, 2021). Secara umum, hasil pengujian latency menunjukkan bahwa Starlink memiliki keunggulan pada parameter waktu respons dibandingkan jaringan seluler di seluruh lokasi pengujian. Nilai latency yang lebih rendah menjadikan Starlink berpotensi digunakan untuk mendukung layanan komunikasi real-time, seperti koordinasi kebencanaan, video call, pengiriman data lapangan, dan komunikasi darurat. Dengan demikian, jaringan Starlink dapat dipertimbangkan sebagai konektivitas alternatif pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, terutama ketika jaringan seluler mengalami penurunan kualitas akibat kondisi geografis atau gangguan infrastruktur. Hasil *latency* penelitian ini mengonfirmasi kecenderungan yang dilaporkan oleh Ramadhani *et al.* (2025), yaitu bahwa jaringan Starlink berbasis LEO dapat menghasilkan waktu respons yang cukup rendah untuk mendukung komunikasi data. Namun, konteks penelitian ini berbeda karena pengujian dilakukan pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru dengan variasi geografis yang lebih kompleks dibandingkan lingkungan pertanian atau *rural* yang relatif lebih terkontrol. Nilai *latency* yang konsisten rendah pada seluruh lokasi menunjukkan bahwa Starlink layak untuk kebutuhan komunikasi darurat berbasis teks, panggilan suara, *video call* ringan, dan pengiriman data lapangan, selama terminal ditempatkan pada area dengan visibilitas langit yang memadai.

Analisis *Jitter*

Jitter merupakan variasi waktu kedatangan paket data selama proses transmisi berlangsung. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat kestabilan jaringan dalam mengirimkan paket secara berurutan. Nilai jitter yang rendah menunjukkan bahwa transmisi data berlangsung lebih stabil, sedangkan jitter yang tinggi dapat mengganggu kualitas layanan real-time seperti video call, komunikasi suara, dan pengiriman data multimedia. Pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, kestabilan jaringan menjadi aspek penting karena koneksi internet berperan dalam mendukung koordinasi lapangan dan komunikasi darurat. Variasi jitter dapat dipengaruhi oleh kondisi jaringan, kestabilan sinyal, kepadatan trafik, serta hambatan lingkungan di sekitar lokasi pengujian (Hu *et al.*, 2023). Dalam penelitian ini, pengukuran jitter dilakukan menggunakan Wireshark melalui proses packet capture pada jaringan Starlink dan jaringan seluler pembanding dengan metode koneksi wired dan wireless di Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Pada bagian ini disajikan grafik perbandingan jitter antara jaringan Starlink dan jaringan seluler pada masing-masing lokasi pengujian. Grafik disusun berdasarkan nilai rata-rata hasil pengujian untuk menunjukkan tingkat kestabilan transmisi data pada kondisi geografis yang berbeda. Hasil jitter kemudian dianalisis dengan mempertimbangkan jenis koneksi, karakteristik wilayah, kualitas sinyal, serta potensi obstruction yang dapat memengaruhi kestabilan pengiriman paket data.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Jitter

E-ISSN: 2580-1643

Berdasarkan grafik rata-rata jitter, terlihat bahwa tingkat kestabilan jaringan Starlink dan jaringan provider wireless berbeda pada setiap lokasi pengujian. Nilai jitter yang lebih rendah menunjukkan transmisi paket data yang lebih stabil, sedangkan nilai jitter yang lebih tinggi menandakan adanya variasi waktu kedatangan paket yang lebih besar selama proses komunikasi berlangsung (Hu *et al.*, 2023). Pada Desa Sonowangi, provider wireless memiliki jitter lebih rendah sebesar 3,49 ms dibandingkan Starlink wireless sebesar 13,14 ms. Kondisi serupa juga terlihat di Desa Lebakharjo, dengan jitter provider wireless sebesar 20,39 ms dan Starlink wireless sebesar 43,79 ms. Di Kawasan Tumpak Sewu, provider wireless kembali menunjukkan nilai jitter lebih rendah sebesar 23,62 ms dibandingkan Starlink wireless sebesar 31,14 ms. Namun, pada Dusun Krajan, Starlink wireless memiliki performa lebih stabil dengan jitter sebesar 47,87 ms, sedangkan provider wireless mencapai 79,26 ms. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kestabilan jitter tidak hanya dipengaruhi oleh jenis jaringan, tetapi juga oleh kondisi geografis, kualitas sinyal, obstruction, serta karakteristik lingkungan pada setiap lokasi pengujian. Untuk memperjelas hasil pengukuran jitter pada masing-masing jaringan, data hasil pengujian disajikan kembali dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Pengujian Jitter

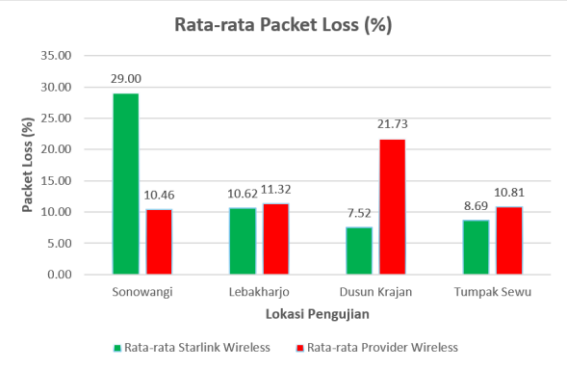
Lokasi	Starlink Wired	Starlink Wireless	Seluler Wired	Seluler Wireless
Sonowangi	1,89 ms	13,14 ms	14,36 ms	3,49 ms
Lebakharjo	1,16 ms	43,79 ms	18,34 ms	20,39 ms
Krajan	1,05 ms	47,87 ms	18,34 ms	79,26 ms
Tumpak Sewu	1,16 ms	31,14 ms	4,53 ms	23,62 ms

Berdasarkan hasil pengujian jitter pada tabel 4, terlihat bahwa kestabilan jaringan Starlink dan jaringan seluler berbeda pada setiap lokasi serta dipengaruhi oleh jenis koneksi yang digunakan. Pada koneksi wired, Starlink menunjukkan nilai jitter yang sangat rendah dan relatif konsisten, yaitu 1,89 ms di Sonowangi, 1,16 ms di Lebakharjo, 1,05 ms di Dusun Krajan, dan 1,16 ms di Tumpak Sewu. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan jaringan seluler wired yang memperoleh 14,36 ms di Sonowangi, 18,34 ms di Lebakharjo, 18,34 ms di Dusun Krajan, dan 4,53 ms di Tumpak Sewu. Hasil ini menunjukkan bahwa koneksi wired pada jaringan Starlink mampu menjaga kestabilan transmisi paket data dengan baik pada seluruh lokasi pengujian. Pada koneksi wireless, hasil jitter menunjukkan pola yang lebih bervariasi. Starlink wireless mencatat nilai 13,14 ms di Sonowangi, 43,79 ms di Lebakharjo, 47,87 ms di Dusun Krajan, dan 31,14 ms di Tumpak Sewu. Sementara itu, jaringan seluler wireless memperoleh jitter sebesar 3,49 ms di Sonowangi, 20,39 ms di Lebakharjo, 79,26 ms di Dusun Krajan, dan 23,62 ms di Tumpak Sewu. Berdasarkan data tersebut, jaringan seluler wireless memiliki jitter lebih rendah di Sonowangi, Lebakharjo, dan Tumpak Sewu, sedangkan Starlink wireless lebih stabil pada Dusun Krajan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa performa jitter tidak hanya ditentukan oleh jenis jaringan, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi geografis, kualitas sinyal, hambatan lingkungan, dan kestabilan koneksi pada masing-masing lokasi. Kenaikan jitter pada beberapa lokasi, khususnya pada koneksi wireless, dapat terjadi karena variasi waktu kedatangan paket selama proses transmisi. Pada jaringan Starlink, nilai jitter dapat dipengaruhi oleh *obstruction*, vegetasi, visibilitas langit, serta proses komunikasi antara terminal pengguna dan satelit. Sementara itu, pada jaringan seluler, peningkatan jitter dapat dipengaruhi oleh kestabilan sinyal, jarak terhadap BTS, kepadatan trafik, serta kondisi lingkungan di sekitar pengguna. Semakin kecil nilai jitter, semakin baik kestabilan jaringan dalam mengirimkan paket data secara berurutan (Ramadhani *et al.*, 2025). Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa Starlink memiliki kestabilan jitter yang sangat baik pada koneksi wired, sedangkan pada koneksi wireless performanya masih mengalami variasi di beberapa lokasi. Jaringan seluler wireless menunjukkan hasil yang lebih baik pada beberapa titik, tetapi mengalami peningkatan jitter cukup tinggi di Dusun Krajan. Dengan demikian, Starlink tetap memiliki potensi sebagai alternatif konektivitas di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, terutama apabila digunakan dengan koneksi wired dan penempatan perangkat yang memperhatikan visibilitas langit serta potensi *obstruction*. Jika dibandingkan dengan temuan Ramadhani *et al.* (2025), hasil penelitian ini menunjukkan bahwa performa *jitter* Starlink pada lingkungan bencana vulkanik lebih bervariasi, terutama pada koneksi *wireless*. Perbedaan tersebut dapat terjadi karena karakteristik lokasi pengujian tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi cuaca, tetapi juga oleh lembah lahar, vegetasi rapat, tebing, dan potensi *obstruction*. Variasi ini memperlihatkan bahwa penggunaan Starlink untuk komunikasi *real-time* di wilayah bencana tetap membutuhkan pemilihan titik terminal yang tepat agar kestabilan transmisi paket dapat dipertahankan.

E-ISSN: 2580-1643

Analisis *Packet Loss*

Packet loss merupakan kondisi ketika paket data yang dikirim melalui jaringan tidak berhasil diterima oleh tujuan. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat keandalan jaringan dalam menjaga keberhasilan proses transmisi data. Semakin kecil nilai packet loss, maka semakin baik kualitas jaringan karena data dapat dikirimkan secara lebih utuh dan stabil. Sebaliknya, packet loss yang tinggi dapat menyebabkan gangguan layanan, seperti koneksi tidak stabil, keterlambatan pengiriman data, buffering, serta penurunan kualitas komunikasi real-time (Pujakesuma, 2023). Dalam penelitian ini, pengukuran packet loss dilakukan menggunakan Wireshark melalui proses analisis paket data pada jaringan Starlink dan jaringan seluler pembanding dengan metode koneksi wired dan wireless di Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Pada jaringan satelit Low Earth Orbit (LEO), keandalan transmisi data menjadi aspek penting karena komunikasi dilakukan melalui terminal pengguna dan satelit yang bergerak pada orbit rendah. Penggunaan teknologi pendukung seperti inter-satellite link (ISL) pada jaringan LEO dapat membantu meningkatkan reliabilitas komunikasi dan mengurangi kemungkinan terjadinya packet loss selama proses transmisi berlangsung (Choi, 2024). Dalam konteks wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, analisis packet loss diperlukan untuk mengetahui sejauh mana Starlink dan jaringan seluler mampu menjaga keberhasilan pengiriman paket data pada kondisi geografis yang beragam. Pada bagian ini disajikan grafik perbandingan packet loss antara jaringan Starlink dan jaringan seluler pada masing-masing 140okasi pengujian. Grafik disusun berdasarkan nilai rata-rata hasil pengujian agar 140okasi140 keandalan transmisi data pada setiap jaringan dapat terlihat lebih jelas. Hasil packet loss kemudian dianalisis dengan mempertimbangkan jenis koneksi, kondisi geografis, kualitas sinyal, visibilitas langit, serta potensi obstruction yang dapat memengaruhi keberhasilan pengiriman paket data.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Packet Loss

Berdasarkan grafik rata-rata packet loss, terlihat bahwa tingkat kehilangan paket pada jaringan Starlink wireless dan jaringan provider wireless berbeda di setiap lokasi pengujian. Nilai packet loss yang lebih rendah menunjukkan bahwa proses transmisi data berlangsung lebih andal, sedangkan nilai yang lebih tinggi mengindikasikan adanya paket data yang tidak berhasil diterima selama proses komunikasi (Pujakesuma, 2023). Pada Desa Sonowangi, provider wireless menunjukkan hasil yang lebih baik dengan tingkat packet loss sebesar 10,46%, sementara Starlink wireless mencapai 29,00%. Sebaliknya, di lokasi seperti Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu, Starlink wireless memiliki nilai packet loss yang lebih rendah dibandingkan dengan provider wireless, masing-masing sebesar 10,62%, 7,52%, dan 8,69%. Pada ketiga lokasi tersebut, provider wireless mencatat tingkat packet loss sebesar 11,32%, 21,73%, dan 10,81%. Hasil ini menunjukkan bahwa Starlink mampu menjaga keandalan transmisi paket data pada beberapa lokasi, terutama di Dusun Krajan dan Kawasan Tumpak Sewu. Namun, tingginya nilai packet loss di Sonowangi menunjukkan bahwa performa Starlink tetap dapat dipengaruhi oleh kondisi pengujian, kualitas koneksi *wireless*, *obstruction*, cuaca, serta kestabilan sinyal saat pengambilan data dilakukan. Untuk memperjelas hasil pengukuran packet loss pada masing-masing jaringan, data hasil pengujian disajikan kembali dalam tabel berikut.

Tabel 5. Hasil Pengujian Packet Loss

Lokasi	Starlink Wired	Starlink Wireless	Seluler Wired	Seluler Wireless
Sonowangi	0,00 %	29,00 %	10,30 %	10,46 %
Lebakharjo	0,00 %	10,62 %	8,22 %	11,32 %
Krajan	0,00 %	7,52 %	8,22 %	21,73 %
Tumpak Sewu	0,00 %	8,69 %	3,45 %	10,81 %

Berdasarkan hasil pengujian packet loss pada tabel 5, terlihat bahwa tingkat kehilangan paket pada jaringan Starlink dan jaringan seluler memiliki perbedaan pada setiap jenis koneksi dan lokasi pengujian. Pada koneksi wired, Starlink menunjukkan performa paling stabil karena mencatat nilai packet loss sebesar 0,00% di seluruh lokasi, yaitu Sonowangi, Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Tumpak Sewu. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses transmisi data melalui koneksi wired pada jaringan Starlink berlangsung tanpa kehilangan paket selama pengujian dilakukan. Sementara itu, jaringan seluler wired masih mengalami packet loss dengan nilai 10,30%

E-ISSN: 2580-1643

di Sonowangi, 8,22% di Lebakharjo, 8,22% di Dusun Krajan, dan 3,45% di Tumpak Sewu. Pada koneksi wireless, hasil packet loss menunjukkan pola yang lebih bervariasi. Starlink wireless mencatat packet loss sebesar 29,00% di Sonowangi, 10,62% di Lebakharjo, 7,52% di Dusun Krajan, dan 8,69% di Tumpak Sewu. Sementara itu, jaringan seluler wireless memperoleh nilai 10,46% di Sonowangi, 11,32% di Lebakharjo, 21,73% di Dusun Krajan, dan 10,81% di Tumpak Sewu. Data tersebut menunjukkan bahwa Starlink wireless memiliki packet loss lebih rendah dibandingkan jaringan seluler wireless di Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Tumpak Sewu. Namun, pada Sonowangi, jaringan seluler wireless menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan Starlink wireless. Anomali *packet loss* Starlink *wireless* di Sonowangi sebesar 29,00% menjadi temuan penting karena lokasi ini secara umum mewakili area lereng terbuka. Berdasarkan catatan lapangan, titik pengujian di Sonowangi tetap memiliki *sky visibility* yang rendah pada beberapa sisi sehingga terminal Starlink sulit melakukan penyesuaian secara optimal terhadap satelit. Temuan ini menunjukkan bahwa kategori wilayah terbuka tidak selalu menjamin kualitas koneksi satelit apabila posisi terminal masih terhalang objek lokal atau kondisi lingkungan sekitar. Perbedaan nilai packet loss tersebut menunjukkan bahwa keandalan transmisi data dipengaruhi oleh jenis koneksi, kondisi lingkungan, dan kestabilan sinyal pada setiap lokasi pengujian. Koneksi wired cenderung lebih stabil karena menggunakan media kabel sehingga risiko interferensi sinyal dapat diminimalkan. Sebaliknya, koneksi wireless lebih rentan terhadap hambatan fisik, perubahan kualitas sinyal, obstruction, vegetasi, serta kondisi lingkungan sekitar. Packet loss sendiri menunjukkan adanya paket data yang hilang selama proses transmisi, sehingga semakin kecil nilainya maka semakin baik tingkat keandalan jaringan dalam mengirimkan data (Ramadhani *et al*., 2025). Secara umum, hasil pengujian packet loss menunjukkan bahwa Starlink memiliki keunggulan yang kuat pada koneksi wired karena mampu mempertahankan nilai 0,00% di seluruh lokasi. Pada koneksi wireless, performa Starlink masih mengalami variasi, tetapi tetap menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan jaringan seluler pada sebagian besar lokasi pengujian. Dengan demikian, Starlink berpotensi digunakan sebagai alternatif konektivitas di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, terutama apabila diterapkan dengan koneksi wired dan penempatan perangkat yang memperhatikan visibilitas langit, obstruction, serta kestabilan daya. Keunggulan *packet loss* Starlink *wired* mendukung argumentasi Choi (2024) bahwa jaringan LEO memiliki potensi reliabilitas yang baik ketika didukung jalur transmisi yang stabil. Akan tetapi, hasil *wireless* menunjukkan bahwa reliabilitas tersebut dapat menurun apabila terdapat *obstruction*, perubahan kondisi lingkungan, atau ketidakstabilan sinyal. Dalam konteks komunikasi darurat, nilai *packet loss* 0,00% pada koneksi *wired* sangat penting untuk pengiriman data koordinat, dokumen lapangan, dan komunikasi posko, sedangkan nilai *packet loss wireless* yang tinggi perlu diantisipasi dengan penempatan terminal yang lebih terbuka dan penggunaan koneksi *Ethernet* ketika memungkinkan.

Tabel 6. Ringkasan interpretasi kualitas QoS berdasarkan hasil pengujian

No	*Throughput Wireless*	*Latency*	*Jitter Wireless*
1	Starlink lebih tinggi; wired Starlink anomali rendah	Starlink sangat baik dan lebih rendah dari seluler	Provider lebih stabil
2	Seluler lebih tinggi dari Starlink	Starlink sangat baik dan lebih rendah dari seluler	Provider lebih stabil
3	Starlink jauh lebih tinggi dari seluler	Starlink sangat baik dan lebih rendah dari seluler	Starlink lebih stabil dari provider wireless
4	Starlink lebih tinggi dari seluler	Starlink sangat baik dan lebih rendah dari seluler	Provider wireless lebih stabil

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Pertama, pengujian dilakukan pada rentang waktu 26-29 Februari 2026 sehingga hasil yang diperoleh merepresentasikan kondisi jaringan pada periode spesifik tersebut. Kedua, kondisi cuaca selama pengujian didominasi cerah hingga berawan, dengan satu kejadian inklusi berupa erupsi ringan di Lebakharjo yang menyebabkan penurunan sementara pada kualitas jaringan. Ketiga, pengujian dilakukan sebanyak lima kali per lokasi dan per jaringan, sehingga penelitian lanjutan dengan durasi yang lebih panjang dan jumlah pengulangan (*replika*) sampel yang lebih besar masih sangat diperlukan untuk memperkuat reliabilitas statistik. Keempat, nilai *throughput wired* Starlink yang sangat rendah diperlakukan secara terbuka sebagai bentuk anomali pengukuran atau kendala konfigurasi skenario *wired*, bukan sebagai gambaran umum dari performa layanan Starlink secara tipikal. Kelima, performa operasional Starlink di lapangan secara teknis terbukti sangat

E-ISSN: 2580-1643

dipengaruhi oleh variabel lingkungan seperti *sky visibility*, *obstruction*, vegetasi, kontur topografi, perubahan cuaca, dan tingkat ketersediaan pasokan daya listrik.

3.2 Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa jaringan Starlink berbasis LEO secara umum menunjukkan keunggulan pada parameter latency dan packet loss, terutama pada koneksi wired yang mampu mempertahankan tingkat kestabilan transmisi data dengan nilai nol di seluruh lokasi pengujian. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ramadhani *et al.* (2025), yang menyatakan bahwa teknologi satelit LEO mampu memberikan latensi rendah dan reliabilitas tinggi, meskipun tetap dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti cuaca dan obstruction. Pada parameter throughput, hasil menunjukkan bahwa Starlink unggul di sebagian besar lokasi, khususnya pada koneksi wireless di daerah dengan keterbatasan infrastruktur jaringan seluler, seperti di Tumpak Sewu dan Sonowangi. Namun, hasil di Lebakharjo memperlihatkan bahwa performa jaringan seluler dapat lebih unggul ketika visibilitas langit cukup baik dan hambatan lingkungan minimal, sebagaimana dikemukakan oleh Hu *et al.* (2023), yang menegaskan bahwa jaringan seluler tetap memiliki keunggulan pada lokasi tertentu dengan dukungan infrastruktur yang memadai.

Sementara itu, pada parameter jitter, hasil menunjukkan bahwa koneksi wired Starlink mampu menjaga kestabilan transmisi dengan nilai jitter yang sangat rendah, sesuai dengan temuan Hasnidar *et al.* (2021), yang menyatakan bahwa jitter rendah menunjukkan kualitas layanan yang stabil dan responsif. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa Starlink layak dipertimbangkan sebagai jalur komunikasi cadangan dalam situasi bencana, terutama jika penempatan terminal dilakukan dengan memperhatikan visibilitas langit dan kondisi lingkungan yang optimal, sebagaimana juga disarankan oleh Ramadhani *et al.* (2025). Meskipun demikian, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa performa Starlink tetap dipengaruhi oleh faktor geografis dan obstruction, sehingga strategi penempatan perangkat harus diperhatikan secara matang untuk memastikan performa yang optimal di lapangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jaringan satelit Low Earth Orbit berbasis Starlink dan jaringan seluler memiliki karakteristik performa yang berbeda pada wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru. Penelitian ini berhasil menganalisis dan membandingkan kualitas layanan kedua jaringan menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan parameter throughput, latency, jitter, dan packet loss melalui pengujian langsung di Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Starlink memiliki performa yang cukup baik pada beberapa parameter, terutama latency dan packet loss pada koneksi wired. Nilai latency Starlink cenderung lebih rendah dibandingkan jaringan seluler pada seluruh lokasi pengujian, sehingga menunjukkan kemampuan respons jaringan yang lebih cepat. Selain itu, koneksi wired pada Starlink mampu mempertahankan packet loss sebesar 0,00% di seluruh lokasi, yang menandakan kestabilan transmisi data yang baik selama proses pengujian. Pada parameter *throughput*, Starlink wireless menunjukkan hasil lebih unggul dibandingkan jaringan seluler wireless di sebagian besar lokasi, khususnya di Sonowangi, Dusun Krajan, dan Tumpak Sewu. Namun, hasil pengujian juga memperlihatkan bahwa performa Starlink tidak selalu lebih tinggi pada semua kondisi, seperti yang terlihat pada Desa Lebakharjo. Sementara itu, pada parameter jitter, koneksi wired Starlink menunjukkan kestabilan yang baik, sedangkan koneksi wireless masih mengalami variasi nilai pada beberapa lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa performa jaringan tetap dipengaruhi oleh jenis koneksi, kondisi geografis, kualitas sinyal, obstruction, vegetasi, cuaca, serta ketersediaan daya listrik.

Secara umum, Starlink berpotensi digunakan sebagai alternatif konektivitas dan *redundant link* untuk mendukung komunikasi darurat di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, terutama ketika jaringan seluler atau infrastruktur komunikasi darat mengalami gangguan. Kontribusi utama penelitian ini adalah menunjukkan secara empiris bahwa performa Starlink pada zona bencana vulkanik tidak hanya ditentukan oleh karakteristik teknologi LEO, tetapi juga oleh strategi penempatan terminal, visibilitas langit, jenis koneksi, kondisi geografis, dan ketersediaan daya. Temuan ini dapat menjadi dasar perencanaan penyebaran terminal satelit untuk posko darurat, pengiriman data lapangan, komunikasi suara, *video call* ringan, serta dukungan awal sistem peringatan dini berbasis *IoT*. Untuk penelitian selanjutnya, pengujian dapat dilakukan dengan durasi yang lebih panjang, jumlah sampel yang lebih banyak, dan kondisi cuaca yang lebih beragam, seperti hujan deras atau paparan abu vulkanik. Penelitian lanjutan juga dapat menambahkan skenario komunikasi darurat, seperti video call, pengiriman data koordinat, pengiriman dokumen lapangan, dan sistem

E-ISSN: 2580-1643

peringatan dini, agar potensi Starlink dalam mendukung mitigasi dan penanganan bencana dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi D3 Teknologi Informasi, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun atas dukungan akademik yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu pelaksanaan pengujian lapangan di wilayah terdampak erupsi Gunung Semeru, khususnya dalam proses pengambilan data jaringan di Desa Sonowangi, Desa Lebakharjo, Dusun Krajan, dan Kawasan Tumpak Sewu. Dukungan tersebut memberikan kontribusi penting dalam kelancaran proses pengumpulan data dan penyusunan artikel ilmiah ini.

6. Daftar Pustaka

Adhistian, P., & Wibowo, P. (2024). QCI optimization to minimize latency and enhance user experience. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 13(2), 82–91. https://doi.org/10.25077/jnte.v13n2.1193.2024.

Ainina, H., & Ridwan, R. (2024). Analisis quality of service jaringan internet 4G dengan parameter throughput, delay dan jitter pada Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. *Cyberspace: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, 8(2), 33–41. https://doi.org/10.22373/cj.v8i2.25447.

Choi, J. (2024). Enhancing reliability in LEO satellite networks via high-speed inter-satellite links. *IEEE Wireless Communications Letters*, 13(8), 2200–2204. https://doi.org/10.1109/LWC.2024.3406567.

Distira, M. W., Karnadi, K., & Apriansyah, A. (2025). Starlink network technology analysis using quality of service analysis method: Case study: Karya Jaya Village, Kertapati. *Jurnal Teknologi dan Open Source*, 8(2), 1128–1135. https://doi.org/10.36378/jtos.v8i2.5147.

European Telecommunications Standards Institute. (2002). *Telecommunications and internet protocol harmonization over networks (TIPHON); Part 1: General aspects of quality of service (QoS)* (ETSI TR 101 329-1 V3.1.1).

Hasnidar, S., Purnawansyah, P., & Fattah, F. (2021). Analisis perbandingan quality of service (QoS) pada jaringan 4G terhadap layanan video conference. *Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam*, 2(2), 78–82. https://doi.org/10.33096/busiti.v2i2.751.

Hu, B., Yildirim, M., Schotten, H. D., & Wietfeld, C. (2023). LEO satellite vs. cellular networks: Exploring the potential for synergistic integration. In *Proceedings of the 19th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies Companion* (pp. 45–51). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3624354.3630588

International Telecommunication Union. (2001). *End-user multimedia QoS categories (ITU-T Recommendation G.1010)*. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010.

Kodheli, O., Lagunas, E., Maturo, N., Sharma, S. K., Shankar, B., Montoya, J. F. M., Duncan, J. C. M., Spano, D., Chatzinotas, S., Kisseleff, S., Querol, J., Lei, L., Vu, T. X., & Goussetis, G. (2021). Satellite communications in the new space era: A survey and future challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(1), 70–109. https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3028247.

Laksana, P., Isnawati, A. F., & Noermartyas, A. R. (2024). Comparative analysis of QoS VSAT IP and VSAT Star Telkomsat. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 13(3), 113–119. https://doi.org/10.25077/jnte.v13n3.1258.2024.

Maulana, A. R., Walidainy, H., Irhamsyah, M., Fathurrahman, F., & Bintang, A. (2021). Analisis quality of service (QoS) jaringan internet pada website e-learning Universitas Syiah Kuala berbasis Wireshark. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 6(2), 27–30. https://doi.org/10.24815/kitektro.v6i2.22284.

Pranata, E. J., & Dewantara, R. (2024). Analisis dan pengukuran quality of service (QoS) jaringan 4G (operator Telkomsel, XL, dan Indosat). *Cyber Security dan Forensik Digital*, 6(2), 69–75.

E-ISSN: 2580-1643

https://doi.org/10.14421/csecurity.2023.6.2.4246.

Pujakesuma, P. (2023). Analisis kualitas jaringan internet di SMK Negeri 1 Tembilahan menggunakan metode quality of service. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, 3(6), 798–805. https://doi.org/10.30865/klik.v3i6.897.

Ramadhani, E. H., Enriko, I. K. A., Alamsyah, A. T., Nuha, M. A. U., & Sari, E. L. I. P. (2025). Comparative analysis of QoS between LEO satellite and cellular internet networks for IoT smart farming. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Green Tourism Applied Science-Engineering Applied Science* (ICOSTAS-EAS 2025) (pp. 479–489). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-878-3_53.

Saputra, H. A., Pohny, P., Putra, G. M., Budiman, E., & Wardhana, R. (2020). Analisis QoS jaringan 4G dengan menggunakan aplikasi Wireshark: Studi kasus Tepian Samarinda, Taman Samarinda, dan Taman Cerdas. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 5(1), 13–18.

Wijaya, A., Abdullah, A., Windriyani, E., Samaeni, F. C., Romdhan, M. Y., Ardiansah, R., & Thoyyibah, T. (2024). Implementasi quality of service (QoS) menggunakan Wireshark pada jaringan wireless LAN. *Digital Transformation Technology*, 4(1), 296–303. https://doi.org/10.47709/digitech.v4i1.4030.