



Research Articles

**Analisa Performa Internet Satelit Leo (Starlink)
Dalam Kondisi Variasi Cuaca Di Sembalun,
Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat**

***Performance Analysis of LEO Satellite Internet (Starlink) Under Varying
Weather Conditions in Sembalun, East Lombok, West Nusa Tenggara***

I Nyoman Dimas Bayu Semara Putra*, Made Sutha Yadnya, Muhamad Syamsu Iqbal

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram

**corresponding author, email : nyomandimas99@gmail.com*

Manuscript received: 27-02-2026. Accepted: 26-03-2026

ABSTRAK

Akses internet telah menjadi kebutuhan esensial dalam berbagai sektor, termasuk pelayanan kesehatan, pendidikan, pemerintahan, dan aktivitas ekonomi. Namun, pemerataan akses internet di Indonesia masih menghadapi tantangan, terutama pada wilayah dengan kondisi geografis ekstrem seperti kawasan pegunungan Sembalun, Lombok Timur. Hambatan topografi menyebabkan pembangunan infrastruktur jaringan terestrial konvensional menjadi sulit, mahal, dan kurang efisien. Teknologi internet satelit orbit rendah atau *Low Earth Orbit* (LEO), seperti Starlink, menjadi salah satu alternatif konektivitas karena mampu menyediakan akses internet tanpa ketergantungan penuh pada infrastruktur darat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa layanan internet Starlink di wilayah Sembalun berdasarkan parameter *Quality of Service* (QoS), yang meliputi *throughput*, latensi, *jitter*, dan stabilitas koneksi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui pengumpulan data lapangan di Puskesmas Sembalun dengan memanfaatkan perangkat modem satelit Starlink dan aplikasi Wireshark. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kondisi cuaca untuk memperoleh gambaran performa layanan secara lebih komprehensif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi empiris mengenai efektivitas penggunaan Starlink sebagai solusi konektivitas di wilayah pegunungan, serta menjadi referensi dalam pemanfaatan teknologi internet satelit LEO pada daerah terpencil atau daerah dengan karakteristik geografis serupa.

Kata kunci : Internet satelit; Low Earth Orbit; Starlink; Quality of Service; Sembalun

ABSTRACT

Internet access has become an essential requirement across various sectors, including healthcare, education, government services, and economic activities. However, internet distribution in Indonesia remains uneven, particularly in areas with extreme geographical conditions, such as the mountainous region of Sembalun, East Lombok. Topographical barriers make the development of conventional terrestrial network infrastructure difficult, costly, and less efficient. Low Earth Orbit (LEO) satellite internet technology, such as Starlink, offers an alternative connectivity solution because it can provide internet access without relying entirely on ground-based infrastructure. This study aims to analyze the performance of Starlink internet service in Sembalun based on Quality of Service (QoS) parameters, including throughput, latency, jitter, and connection stability. This research employed an experimental method through field data collection at Sembalun Public Health Center using a Starlink

satellite modem and Wireshark application. Measurements were conducted under various weather conditions to obtain a more comprehensive overview of service performance. The findings of this study are expected to provide empirical information regarding the effectiveness of Starlink as a connectivity solution in mountainous areas and serve as a reference for the utilization of LEO satellite internet technology in remote regions or areas with similar geographical characteristics.

Keywords: Satellite internet; Low Earth Orbit; Starlink; Quality of Service; Sembalun

PENDAHULUAN

Akses internet telah menjadi kebutuhan esensial dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk pendidikan, kesehatan, pemerintahan, dan ekonomi. Peran konektivitas digital semakin penting dalam mempercepat pembangunan dan memperluas jangkauan layanan publik. Namun, distribusi internet di Indonesia masih belum merata. Daerah pegunungan seperti Sembalun, Lombok Timur, menghadapi kendala geografis yang signifikan dalam penyediaan infrastruktur jaringan konvensional seperti fiber optik atau jaringan seluler stabil.

Kondisi geografis ekstrem, curah hujan tinggi, serta keterbatasan pasokan listrik membuat pembangunan jaringan terestrial sulit dilakukan. Hal ini menimbulkan kesenjangan digital yang berdampak pada keterbatasan layanan publik, termasuk telemedicine, pendidikan daring, dan akses informasi pemerintahan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan teknologi alternatif yang mampu menjangkau wilayah dengan tantangan topografi ekstrem.

Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah layanan internet satelit orbit rendah (Low Earth Orbit/LEO), seperti yang ditawarkan oleh Starlink. Satelit LEO beroperasi pada ketinggian 500–2.000 km dengan latensi rendah (20–40 ms), mendukung aplikasi real-time seperti konferensi video dan game daring (Mohan *et al.*, 2024). Keunggulan utama Starlink adalah kemampuannya menyediakan akses internet berkecepatan tinggi tanpa bergantung pada infrastruktur darat, menjadikannya solusi potensial bagi daerah terpencil dan pegunungan (Chaudhry & Yanikomeroglu, 2021).

Penelitian global menunjukkan bahwa Starlink mampu mendukung aplikasi sensitif terhadap latensi dengan performa mendekati jaringan fiber dan 5G. Studi berskala besar oleh Mohan *et al.* (2024) dengan lebih dari 19 juta pengukuran di 34 negara mengindikasikan bahwa Starlink dapat digunakan untuk konferensi video dan cloud gaming, meskipun performanya dapat terpengaruh oleh cuaca ekstrem dan proses handover antar-satelit. (Ferguson *et al.* 2024) juga menegaskan bahwa latensi meningkat saat terjadi transisi antar-satelit, tetapi tetap berada dalam batas toleransi untuk aplikasi interaktif.

Wilayah pegunungan menghadapi tantangan tambahan berupa hambatan visual terhadap langit terbuka, fluktuasi cuaca ekstrem, dan keterbatasan daya listrik. Faktor-faktor ini berdampak langsung terhadap kestabilan koneksi satelit, terutama dalam kondisi hujan deras atau kabut tebal (Isreal, 2025). Penelitian yang menyebutkan bahwa menunjukkan bahwa redaman hujan di wilayah tropis dapat mencapai lebih dari 20 dB/km pada frekuensi Ka-band, sehingga berdampak signifikan terhadap *throughput* dan *latency* (Al-Saegh *et al.* 2020).

Penelitian dilakukan di Universitas Mataram untuk satelit telah dilakukan pada tahun 2014 menunjukkan bahwa pergerakan sel hujan (*rain cell movement*) di wilayah tropis maritim dapat menyebabkan fluktuasi redaman yang signifikan pada kanal komunikasi satelit dan seluler (Yadnya dan Sudiarta, 2014). Temuan ini menegaskan bahwa dinamika hujan tropis tidak hanya berdampak pada besaran redaman rata-rata, tetapi juga pada kestabilan sinyal

secara temporal, sehingga relevan dengan kondisi atmosfer di Sembalun. Selain itu, penelitian dilanjutkan yang menyatakan bahwa distribusi ukuran tetesan hujan (*Drop Size Distribution/DSD*) memiliki pengaruh signifikan terhadap redaman pada kanal komunikasi gelombang milimeter. Model ini menegaskan bahwa intensitas hujan tinggi di wilayah tropis dapat menyebabkan degradasi throughput dan peningkatan latency pada sistem komunikasi berbasis satelit (Yadnya & Sudiarta, 2017). Jaringan yang terpasang pada daerah pegunungan dan pedesaan mempunyai perbedaan kecepatan transmisi untuk daerah perkotaan sudah diteliti pada tahun 2018 (Yadnya & Sudiarta, 2018).

Secara global, layanan internet satelit berbasis LEO diproyeksikan mengalami pertumbuhan pesat. Nilai pasar teknologi ini diperkirakan meningkat dari USD 14,56 miliar pada tahun 2025 menjadi USD 33,44 miliar pada tahun 2030, didorong oleh kebutuhan konektivitas di wilayah yang tidak terjangkau oleh jaringan kabel atau seluler (MarketsandMarkets, 2025). Temuan ini konsisten dengan studi global yang melibatkan lebih dari 19 juta pengukuran di 34 negara, menunjukkan bahwa Starlink dapat mendukung aplikasi sensitif terhadap latensi dengan performa yang sesuai dengan standar, perlu studi pada daerah pedesaan terutama di pegunungan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis performa layanan Starlink di wilayah pegunungan Sembalun dengan mengacu pada parameter Quality of Service (QoS), yaitu *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss*, sehingga memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas teknologi LEO di daerah tropis dengan topografi ekstrem.

1. Internet Satelit

Internet satelit adalah sistem komunikasi data yang menggunakan satelit sebagai media transmisi antara pengguna dan penyedia layanan. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama:

- Terminal Pengguna (User Terminal): antena parabola kecil yang dipasang di lokasi pengguna untuk mengirim dan menerima sinyal.
- Satelit di Orbit : dapat berada di orbit rendah (LEO), menengah (MEO), atau geostasioner (GEO).
- Stasiun Bumi (Gateway): menghubungkan satelit ke jaringan internet global melalui koneksi fiber berkecepatan tinggi.

Alur kerja dimulai dari data pengguna yang dikirim ke satelit melalui antena penerima, diteruskan ke stasiun bumi, lalu ke jaringan internet global. Respons dari jaringan dikirim kembali melalui jalur yang sama (Maral & Bousquet, 2020).

Keunggulan internet satelit adalah akses dari lokasi mana pun, termasuk daerah terpencil dan pegunungan (Yulianto, 2016), instalasi cepat tanpa pembangunan kabel optik (Manik, 2023), serta manfaat dalam kondisi darurat ketika infrastruktur konvensional rusak.

2. Satelit Orbit Rendah (LEO)

Satelit LEO beroperasi pada ketinggian 500–2.000 km dengan latensi rendah (20–40 ms), mendukung aplikasi real-time seperti konferensi video dan game daring (Mohan et al., 2024).

Karakteristik utama:

- Jarak dekat ke bumi → waktu propagasi singkat.

- Latensi rendah → mendukung aplikasi interaktif.
- Cakupan global dinamis → konstelasi satelit bergerak bergantian menjangkau seluruh permukaan bumi.

Sistem konstelasi modern seperti Starlink menggunakan ribuan satelit dengan inter-satellite links (ISL) berbasis laser, memungkinkan komunikasi langsung antar-satelit tanpa melewati stasiun bumi (Manik, 2023).

Tantangan teknis:

- Pelacakan satelit dinamis oleh terminal pengguna.
- Manajemen handover antar-satelit.
- Risiko tabrakan akibat kepadatan orbit.
- Regulasi spektrum frekuensi (Arifin, 2024).

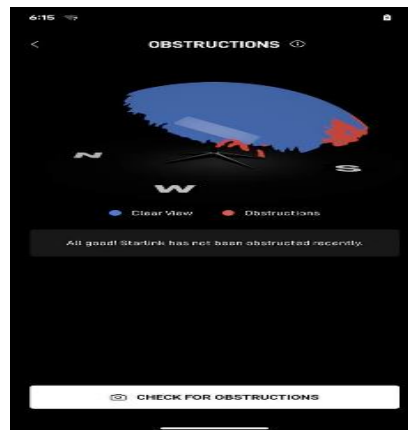
3. Starlink Sebagai Implementasi Konstelasi LEO



Gambar 1. Starlink Dhisy

Starlink merupakan layanan internet berbasis konstelasi satelit orbit rendah (Low Earth Orbit/LEO) yang dikembangkan oleh perusahaan SpaceX. Sistem ini beroperasi pada ketinggian sekitar 550 hingga 1.200 kilometer di atas permukaan bumi dan dirancang untuk menyediakan akses internet berkecepatan tinggi ke seluruh dunia, termasuk wilayah terpencil dan pegunungan. Untuk memperoleh sinyal yang tepat harus dipointing sesuai tempat yang tepat sesuai dengan Gambar 1.

Salah satu fitur penting dari aplikasi Starlink adalah kemampuan untuk mendeteksi obstruksi (*obstructions*) yang dapat mengganggu kualitas sinyal. Fitur ini menampilkan peta arah dengan indikator area yang memiliki pandangan bebas (*clear view*) dan area yang terhalang (*obstructions*). Dengan adanya fitur ini, pengguna dapat memastikan bahwa antena memiliki garis pandang langsung ke satelit, sehingga kualitas layanan tetap optimal. Hasil deteksi sinyal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Fitur Deteksi Obstruksi pada aplikasi Starlink
(sumber: *Aplikasi Starlink*, 2026)

Selain itu, karena satelit LEO terus bergerak mengelilingi bumi, sistem ini membentuk jaringan konstelasi yang dinamis dan memungkinkan cakupan global yang lebih merata. Dengan jumlah satelit yang terus bertambah, Starlink mampu menjaga konektivitas yang stabil bahkan di lokasi dengan hambatan geografis. Keunggulan lainnya termasuk *Throughput* yang dapat mencapai 220 Mbps dan latensi serendah 20–30 ms, menjadikannya kompetitif dengan jaringan fiber di banyak wilayah (Technology Magazine, 2025).

Setiap satelit Starlink beroperasi pada ketinggian sekitar 550 km dan dilengkapi dengan antena phased-array serta sistem propulsi ion untuk manuver orbit. Salah satu inovasi utama dalam sistem ini adalah penggunaan *inter-satellite links* (ISL) berbasis laser, yang memungkinkan komunikasi langsung antar-satelit tanpa harus melewati stasiun bumi. Teknologi ini secara signifikan mengurangi latensi dan meningkatkan efisiensi transmisi data, terutama untuk komunikasi jarak jauh antar-benua (Chaudhry, A. U., & Yanikomeroğlu, H. 2021).

Terminal pengguna Starlink, yang dikenal sebagai user terminal atau "Dishy", menggunakan antena phased-array yang dapat secara otomatis melacak pergerakan satelit di langit. Perangkat ini bersifat plug-and-play dan dapat dipasang secara mandiri oleh pengguna, menjadikannya solusi praktis untuk konektivitas di lokasi terpencil (The Droid Guy, 2024).

4. Parameter Kualitas Layanan (QoS)

Evaluasi performa jaringan satelit menggunakan empat parameter utama:

- *Throughput* : jumlah data yang ditransmisikan per satuan waktu. Starlink rata-rata 80–150 Mbps dalam cuaca cerah, menurun saat hujan (Israr, 2025).
- *Latency*: waktu tunda transmisi. LEO ideal 20–50 ms, jauh lebih rendah dari GEO (600 ms).
- *Jitter*: variasi waktu antar paket. Starlink rata-rata 10–30 ms, dipengaruhi handover antar-satelit (Michel et al., 2022).
- *Packet Loss*: persentase paket hilang. Starlink rata-rata 1,4% saat handover, masih dapat ditoleransi oleh protokol TCP (Huston, 2025).

Untuk menilai kualitas layanan secara objektif, penelitian ini mengacu pada standar ITU-R dan TIPHON ETSI.

- ITU-R P.530 digunakan untuk memprediksi redaman hujan (rain attenuation) dan variasi propagasi sinyal pada sistem line-of-sight, yang relevan dengan kondisi tropis pegunungan seperti Sembalun.
- ITU-R SA.1159 menetapkan kriteria performa transmisi data satelit, termasuk batas toleransi *latency*, *jitter*, dan *packet loss* dalam sistem komunikasi berbasis satelit.
- TIPHON ETSI digunakan untuk klasifikasi kualitas layanan berdasarkan *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* ke dalam kategori sangat baik, baik, sedang, dan buruk.

Dampak hujan pada komunikasi satelit dan seluler di wilayah tropis maritim menunjukkan bahwa intensitas hujan tinggi dapat menyebabkan redaman rata-rata 20,67 dB/km, jauh di atas standar ITU-R P.530. Temuan ini relevan dengan penelitian (Al-Saegh et al. 2020) menunjukkan bahwa redaman hujan di wilayah tropis dapat mencapai lebih dari 20 dB/km pada frekuensi Ka-band, sehingga berdampak signifikan terhadap *throughput* dan *latency*.

Tabel 2.1 Standar Kualitas Layanan TIPHON

Parameter	ITU-R / TIPHON (Acuan)	Kategori Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk
Throughput	TIPHON ETSI	> 2 Mbps	1–2 Mbps	0.5–1 Mbps	0–0.5 Mbps
Latency	ITU-R SA.1159	0	150–300 ms	300–450 ms	> 450 ms
Jitter	ITU-R SA.1159	0	75–125 ms	125–225 ms	> 225 ms
Packet Loss	ITU-R SA.1159	0	1–2%	2–5%	> 5%

Dengan adanya standar TIPHON, hasil pengukuran performa jaringan dapat diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas layanan (sangat baik, baik, sedang, buruk). Hal ini memberikan dasar evaluasi yang lebih kuat, sehingga penelitian tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga analitis dan komparatif terhadap standar yang berlaku.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja di Daerah Pegunungan

- Line of Sight (LoS): obstruksi langit terbuka, seperti vegetasi dan topografi pegunungan, secara langsung menurunkan kualitas sinyal Starlink (Katania et al. 2026)
- Multipath propagation dan obstruksi vegetasi di daerah pegunungan terbukti menurunkan kualitas sinyal satelit LEO (Maral & Bousquet, 2020; Israr, 2025).
- Redaman Atmosferik/Ionosferik: hujan, kabut, dan scintillation memengaruhi sinyal.
- Scintillation atmosferik dan variabilitas cuaca ekstrem memengaruhi kestabilan sinyal satelit LEO (Michel et al., 2022; Huston, 2025).
- Sudut Elevasi Antena: posisi geografis memengaruhi efisiensi transmisi
- Vegetasi/Obstruksi: pohon besar menyerap atau menghamburkan sinyal

Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada satelit GEO dan belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi geografis ekstrem pegunungan tropis. Penelitian ini berkontribusi pada:

1. Empiris: menyediakan data lapangan komprehensif mengenai kinerja Starlink di Sembalun.
2. Kontekstual: menyelaraskan hasil teknis dengan kondisi geografis dan lingkungan lokal.

3. Akademik/Praktis: menawarkan kerangka evaluasi untuk studi serupa di kawasan terpencil serta rekomendasi optimalisasi jaringan satelit LEO.

METODE PENELITIAN

Waktu

Pengambilan data berlangsung di Puskesmas Sembalun pada periode Oktober 2025 hingga Februari 2026.

Kondisi

Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik hujan tropis dapat memperburuk degradasi sinyal. Hal ini semakin menegaskan pentingnya analisis performa Starlink di wilayah pegunungan dengan curah hujan tinggi seperti Sembalun.

Lokasi ini dipilih karena karakteristik geografisnya yang ekstrem.

Tempat Pengambilan Data

Kesenjangan terjadi akibat keterbatasan infrastruktur komunikasi. Penelitian dilakukan di Kecamatan Sembalun, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat, yang terletak di kaki Gunung Rinjani pada ketinggian 1.000–1.300 m dpl. Foto dokumentasi menunjukkan perangkat Starlink Dishy yang dipasang di atap gedung dengan pandangan langsung ke langit penempatan sesuai dengan Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi dan Perangkat Starlink

Desain dan Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan metode evaluatif berbasis pengukuran langsung (in-situ measurement). Desain penelitian difokuskan pada analisis performa layanan internet satelit orbit rendah (LEO) Starlink dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sebagai variabel bebas (cuaca cerah, berawan, dan hujan), sedangkan parameter Quality of Service (QoS) berupa *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* ditetapkan sebagai variabel terikat.

Alat dan Bahan

- Perangkat Starlink Dishy sebagai terminal pengguna.
- Aplikasi Starlink untuk pengukuran *Throughput* dan stabilitas koneksi.
- Wireshark untuk analisis paket data (*Latency*, *jitter*, *packet loss*).
- Laptop/PC sebagai perangkat pengolah data.
- Observasi Lapangan untuk mencatat kondisi cuaca dan factor lingkungan

Prosedur Pengumpulan Data

Pengukuran dilakukan secara berkala setiap 2 menit dalam tiga kondisi cuaca (cerah, berawan, hujan) serta pada jam sibuk dan tidak sibuk. Data diperoleh melalui:

1. Pengukuran teknis menggunakan aplikasi Starlink untuk *throughput* dan stabilitas koneksi.
2. Analisis paket data dengan Wireshark untuk *latency*, *jitter*, dan *packet loss*.
3. Observasi lingkungan untuk mencatat kondisi cuaca, topografi, dan faktor eksternal lain yang memengaruhi kualitas sinyal.

Analisis Data

Data hasil pengukuran performa Starlink dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif dan komparatif. Analisis dilakukan untuk menilai kualitas layanan berdasarkan parameter *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* dalam tiga kondisi cuaca (cerah, berawan, hujan).

Tahapan Analisis :

- Pembersihan Data (Data Cleaning) : Data mentah dari aplikasi Starlink dan Wireshark diperiksa untuk menghilangkan nilai ekstrem atau anomali yang dapat mengganggu hasil analisis.
- Normalisasi Data : Nilai pengukuran dinormalisasi agar konsisten dan dapat dibandingkan antar kondisi cuaca.
- Statistik Deskriptif : Rata-rata, median, dan deviasi standar dihitung untuk setiap parameter QoS. Distribusi nilai *throughput*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi.
- Kategorisasi QoS
 - Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar internasional:
 - ITU-R SA.1159 sebagai acuan performa komunikasi satelit.
 - TIPHON ETSI untuk klasifikasi kualitas layanan ke dalam kategori sangat baik, baik, sedang, dan buruk.
- Analisis Komparatif : Performa Starlink pada kondisi cerah, berawan, dan hujan dibandingkan untuk melihat pengaruh faktor lingkungan terhadap kualitas layanan.
- Interpretasi Kontekstual : Hasil pengukuran dikaitkan dengan kondisi geografis Sembalun, seperti topografi pegunungan, vegetasi, dan curah hujan tinggi. Hal ini memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan koneksi satelit di wilayah tropis pegunungan.

Validitas dan Reliabilitas

Untuk memastikan keandalan hasil, Validitas penelitian diperkuat melalui triangulasi:

- Triangulasi metode: kombinasi pengukuran teknis, analisis paket, dan observasi lingkungan
- Triangulasi waktu: pengukuran berkala pada kondisi cuaca dan waktu berbeda.
- Triangulasi sumber: membandingkan hasil dengan standar internasional dan penelitian terdahulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan dalam tiga kondisi cuaca (cerah, berawan, hujan) dengan parameter QoS meliputi *throughput*, *upload*, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* (Marketsand Markets, 2025). Ringkasan hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 3.

Table 3. Ringkasan Hasil Pengukuran QoS Starlink di Sembalun

Parameter		Throughput (Mbps)	Upload (Mbps)	Latency (ms)	Jitter (ms)	Packet Loss (%)
Cuaca Cerah	Min	120	13	45	51	0
	Max	318	59	104	103	3
	Mean	230,2	33,6	53,46	71,5	0,49
	Simpangan Baku	8,51	2,53	2,16	2,53	0,13
Cuaca Berawan	Min	100	8	51	7	0
	Max	293	43	72	27	0
	Mean	208,3	24,83	59,33	4,77	0
	Simpangan Baku	55,6	8,9	4,49	7,62	0
Cuaca Hujan	Min	87	2	21	2	0
	Max	220	31	65	4	3
	Mean	165	33,6	61	31	0,49
	Simpangan Baku	8,51	2,53	2,16	2,53	0,13

Pembahasan Hasil

1. Analisis Hasil Pengukuran

a. *Throughput* dan *Upload*

- Pada cuaca cerah, *Throughput* mencapai rata-rata 230 Mbps dengan *upload* 33 Mbps, menunjukkan performa yang mendekati jaringan fiber.
- Kondisi berawan menurunkan *Throughput* menjadi 208 Mbps dan *upload* 24 Mbps.
- Saat hujan, *throughput* turun signifikan hingga rata-rata 165 Mbps, dengan *upload* hanya 33 Mbps.

b. *Latency* dan *Jitter*

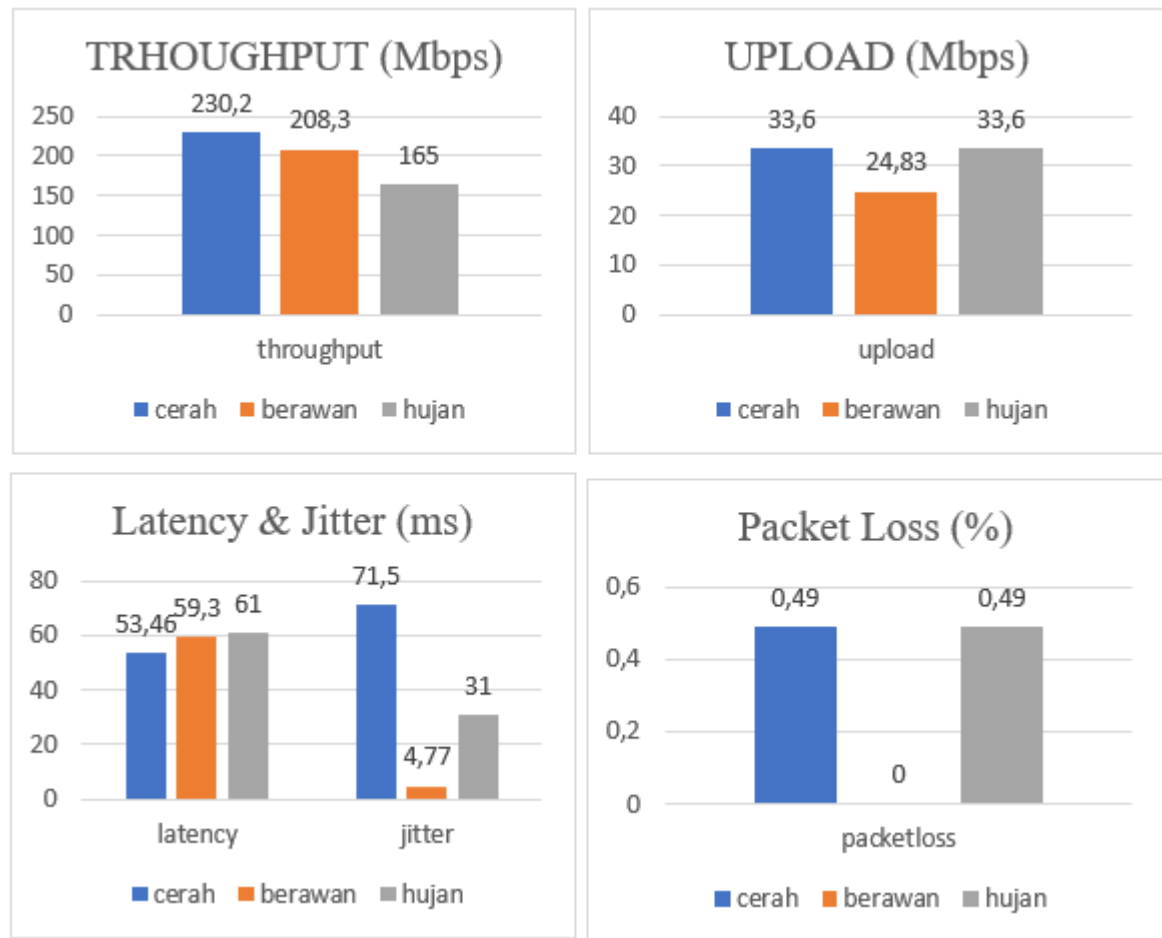
- *Latency* relatif rendah pada cuaca cerah (53 ms) dan berawan (59 ms), masih dalam batas toleransi TIPHON.
- Pada cuaca hujan, *latency* meningkat hingga 65 ms dan *jitter* mencapai 31 ms, menunjukkan ketidakstabilan koneksi.

c. *Packet Loss*

- *Packet loss* rata-rata tetap rendah (<1%) pada cuaca cerah dan hujan, serta nol pada cuaca berawan.
- Nilai ini masih dapat ditoleransi oleh protokol TCP, namun peningkatan *jitter* pada hujan berpotensi mengganggu aplikasi real-time.

2. Analisa Perbandingan QoS Berdasarkan Kondisi Cuaca

Untuk memperjelas perbandingan performa Starlink antar kondisi cuaca, hasil pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik:



Gambar 5. Graik Analisa Perbandingan Kinerja Jaringan Berdasarkan Kondisi Cuaca

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada grafik, dapat dianalisis bahwa :

a. *Throughput*

Hasil menunjukkan kecepatan unduh tertinggi pada cuaca cerah (230,2 Mbps) dan menurun signifikan saat hujan (165 Mbps). Hal ini sejalan dengan teori redaman hujan (*rain attenuation*) yang dijelaskan dalam ITU-R P.530, di mana intensitas hujan tinggi dapat menyebabkan redaman rata-rata hingga 20 dB/km pada sistem line-of-sight.

b. *Upload*

Upload rata-rata pada cuaca cerah adalah 33,6 Mbps, menurun pada cuaca berawan menjadi 24,83 Mbps dengan selisih 8,77 Mbps lebih rendah, dan kembali meningkat pada cuaca hujan (33,6 Mbps) dengan nilai rata-rata sama seperti cerah. Ketidakstabilan pada hujan (minimum 2 Mbps) menunjukkan adanya fluktuasi propagasi sinyal akibat multipath dan obstruksi vegetasi. Hal ini mendukung teori bahwa faktor lingkungan pegunungan dapat menurunkan konsistensi uplink meskipun rata-rata *throughput* masih tinggi.

c. *Latency*

Latency tertinggi terjadi pada cuaca berawan (59,33 ms), sedangkan hujan justru tercatat lebih rendah. Secara teori, handover antar-satelit LEO setiap 15 detik dapat meningkatkan *latency*, terutama saat kondisi cuaca berawan yang mengganggu tracking

antena. Nilai anomali pada hujan kemungkinan akibat error pengukuran atau buffering aplikasi, sehingga perlu validasi ulang dengan standar ITU-R SA.1159.

d. Jitter

Jitter pada cuaca cerah (71,5 ms) mendekati ambang batas TIPHON (75 ms), sehingga kualitas layanan real-time berpotensi terganggu. Penurunan drastis pada berawan (4,77 ms) mendukung teori bahwa variabilitas cuaca tidak selalu linear terhadap *jitter*, karena faktor handover satelit lebih dominan dibanding cuaca (Michel et al., 2022). Pada hujan, *jitter* meningkat kembali (31 ms), sesuai dengan teori Scintillation atmosferik dan variabilitas cuaca ekstrem memengaruhi kestabilan sinyal satelit LEO

Packet Loss

Packet loss 0,49% pada cerah dan hujan masih dalam batas toleransi TIPHON (<1%), sedangkan berawan 0% menunjukkan kualitas transmisi terbaik. Hal ini sesuai dengan penelitian Ferguson dkk. (2024) bahwa Starlink mampu mendukung aplikasi *latency-sensitive* dengan *packet loss* rendah, meskipun kondisi lingkungan dapat memengaruhi hasil.

3. Evaluasi berdasarkan Standar TIPHON dan ITU-R

Evaluasi kualitas layanan (*Quality of Service/QoS*) Starlink dilakukan dengan mengacu pada standar TIPHON ETSI dan rekomendasi ITU-R SA.1159 (Maral & Bousquet, 2020). Parameter yang diuji meliputi *throughput*, upload, *latency*, *jitter*, dan *packet loss* dalam tiga kondisi cuaca: cerah, berawan, dan hujan.

Tabel 4.3 Klasifikasi QoS Starlink Berdasarkan Standar TIPHON dan ITU-R

Parameter	Cerah (Mean)	Kategori	Berawan (Mean)	Kategori	Hujan (Mean)	Kategori
Throughput	230,2 Mbps	Sangat Baik	208,3 Mbps	Sangat Baik	165 Mbps	Sangat Baik
Upload	33,6 Mbps	Sangat Baik	24,83 Mbps	Sangat Baik	33,6 Mbps	Sangat Baik
Latency	53,46 ms	Sangat Baik	59,33 ms	Sangat Baik	61 ms	Sangat Baik
Jitter	71,5 ms	(mendekati batas)	4,77 ms	Sangat Baik	31 ms	Sangat Baik
Packet Loss	0,49%	Sangat Baik	0%	Sangat Baik	0,49%	Sangat Baik

Pada saat hujan deras *throughput* menurun signifikan dan *jitter* meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian menunjukkan bahwa redaman hujan di wilayah tropis dapat mencapai lebih dari 20 dB/km pada frekuensi Ka-band, sehingga berdampak signifikan terhadap *throughput* dan *latency*. Selain faktor cuaca, topografi pegunungan dan vegetasi juga berkontribusi terhadap penurunan kualitas sinyal. Penguatan hasil penelitian bahwa hambatan visual terhadap langit terbuka serta keterbatasan daya listrik di daerah pegunungan dapat menurunkan kestabilan koneksi satelit.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa layanan internet satelit LEO (Starlink) di wilayah Pegunungan Sembalun memiliki kinerja yang sangat baik berdasarkan parameter QoS, dengan throughput rata-rata di atas 200 Mbps, latency di bawah 150 ms, jitter relatif rendah, dan packet loss kurang dari 1%. Kondisi cuaca berpengaruh terhadap performa jaringan, terutama saat hujan yang menyebabkan penurunan throughput dan peningkatan jitter. Performa Starlink di wilayah pegunungan tropis sangat dipengaruhi oleh kondisi atmosfer. Pada cuaca cerah, layanan mampu mendukung aplikasi interaktif seperti konferensi video dan permainan daring.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. (2024). *Regulasi spektrum frekuensi untuk satelit orbit rendah*. Jakarta: Kementerian Kominfo.
- Al-Saegh, A., et al. (2020). *Rain Attenuation in Ka-band for Tropical Climates*. International Journal of Satellite Communications.
- Chaudhry, A. U., & Yanikomeroğlu, H. (2021). *Inter-Satellite Links in LEO Constellations: Performance and Challenges*. IEEE Communications Magazine.
- Ferguson, J., et al. (2024). *Satellite Handover Effects on LEO Internet Performance*. ACM SIGCOMM.
- Huston, G. (2025). *TCP Performance over LEO Satellite Networks*. Internet Protocol Journal.
- ITU-R P.618-13 (2021). *Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems*.
- Kataria, B., Tanveer, H. B., Nithyanand, R., & Singh, R. (2026). *What Obstructed Skies Teach Us About Satellite Internet*. OASIS NINeS 2026.
- MarketsandMarkets (2025). *LEO Satellite Internet Market Forecast 2025–2030*.
- Maral, G., Bousquet, M. (2020). *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. Wiley.
- Manik, R. (2023). *Implementasi Internet Satelit LEO di Wilayah Terpencil*. Jurnal Teknologi Informasi Indonesia.
- Mohan, A., et al. (2024). *Global Measurement of Starlink Latency and Throughput*. IEEE Transactions on Networking.
- The Droid Guy. (2024). *Starlink User Terminal Review: Performance and Usability*. Technology Review Online
- Yadnya, M. S., Sudiarta, I. W. (2014). "Cell Movement of Rain Impact in Satellite and Mobile Communication Based on Tropical Maritime", *Advanced Science Letters* 20 (2), 514-517
- Yadnya, M. S., Sudiarta, I. W. (2017). *Attenuation model from drop size distribution of rain for millimeter wave communication channel*. In *2017 11th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)* (pp. 1–5). IEEE.
- Yadnya, M. S., Sudiarta, I. W. (2018), "[*Synthesis of 4G outdoor femtocells under rain conditions in Mataram*](#)" AIP Conference Proceedings, Vol 2043 no 1
- Yulianto, A. (2016). *Pemanfaatan Internet Satelit untuk Konektivitas Pedesaan*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi.