

Research Article

Analisis Kinerja Trafik VoIP pada Jaringan 4G dan 5G

Dhoifullah Ramadhan¹, Muhammad Alif Akbar¹, Rizky Andi Putra¹, Reza Adetya¹, Anhar^{1*}, Fri Murdiya¹, Firdaus¹

ABSTRAK: Jaringan 4G dan 5G merupakan jaringan yang sangat pesat perkembangannya saat ini dan terus ditingkatkan kinerjanya untuk memenuhi layanan yang semakin berkembang. Salah satu layanan tersebut adalah *Voice over Internet Protocol* (VoIP). Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan performa *Quality of Service* (QoS) layanan VoIP berbasis UDP pada jaringan 4G LTE dan 5G NR dengan Network Simulator 3 (NS-3). Empat skenario simulasi dirancang untuk merepresentasikan kondisi operasional yang berbeda: kondisi normal, trafik tinggi, mobilitas pengguna, dan interferensi dengan 3 node pengganggu. Parameter QoS utama yang dianalisis mencakup *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*, yang diekstraksi menggunakan *FlowMonitor* dan divisualisasikan melalui Python dan Microsoft Excel. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan 5G secara konsisten memberikan performa lebih baik dibandingkan 4G untuk semua scenario yang diuji. Nilai *delay* dan *jitter* pada 5G memiliki perbaikan sebesar 38% dan 88% dibanding 4G. Kemudian, perbaikan QoS 5G juga terjadi pada *throughput* dan *packet loss* dimana terjadi perbaikan sebesar 62% dan 100%. Penelitian ini menegaskan superioritas teknologi 5G dalam mendukung layanan VoIP *real-time*, dan dapat dijadikan dasar pertimbangan untuk pengembangan serta optimalisasi infrastruktur jaringan seluler di masa depan.

Kata kunci: 4G, 5G, VoIP, QoS, NS3

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi seluler telah mengalami evolusi yang revolusioner, beranjak dari generasi sebelumnya hingga saat ini memasuki era Jaringan 4G (Long Term Evolution - LTE) dan 5G (New Radio - NR) [1]. Transformasi ini didorong oleh peningkatan kebutuhan akan layanan komunikasi yang berkualitas tinggi, khususnya Voice over Internet Protocol (VoIP) [2]. VoIP memungkinkan transmisi suara melalui jaringan berbasis paket internet, menawarkan efisiensi biaya serta fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan layanan telepon konvensional [2]. Namun, kualitas layanan (Quality of Service - QoS) VoIP sangat sensitif terhadap berbagai parameter jaringan seperti *delay* (penundaan), *jitter* (variasi penundaan), *packet loss* (kehilangan paket), dan *throughput* (kapasitas transfer data) [2], yang merupakan indikator kinerja penting [3]. Rekomendasi teknis global, seperti yang ditetapkan oleh ITU-T G.114, merekomendasikan batas *end-to-end delay* maksimum 150 ms untuk percakapan telepon berkualitas tinggi, serta ambang batas yang spesifik untuk *jitter* dan *packet loss* guna memastikan pengalaman pengguna yang optimal [4]. Oleh karena itu, simulasi dan evaluasi mendalam terhadap kinerja QoS VoIP pada infrastruktur

OPEN ACCESS

**Afiliasi:**

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Korespondensi:

Email: anhar@lecturer.unri.ac.id

Diterima Redaksi:

30-07-2025

Selesai Revisi:

06-08-2025

Diterbitkan Online:

11-08-2025

Cara Mengutip Artikel ini (IEEE):

D. Ramadhan, "Analisis Kinerja Trafik VoIP pada Jaringan 4G dan 5G", ET, pp. 45–55..

This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



jaringan 4G/5G menjadi esensial untuk memahami kapabilitas jaringan dan mengidentifikasi area optimasi[5].

Jaringan 4G LTE telah membawa peningkatan signifikan dalam kecepatan data dan penurunan latensi, yang memungkinkan layanan VoIP dapat berjalan dengan kualitas yang memadai[6]. Meskipun demikian, seiring dengan peningkatan jumlah pengguna dan kompleksitas aplikasi, tantangan dalam mempertahankan QoS yang optimal pada jaringan 4G LTE semakin kentara. Kondisi seperti beban jaringan yang tinggi, mobilitas pengguna, dan adanya interferensi dapat secara substansial memengaruhi *delay*, *packet loss*, dan *throughput*, yang pada akhirnya menurunkan kualitas pengalaman VoIP [7][8]. Studi-studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa kinerja 4G LTE dapat menurun drastis di bawah kondisi jaringan yang padat, menyebabkan degradasi QoS pada layanan *real-time* seperti VoIP [7].

Sebagai respons terhadap keterbatasan yang ada pada 4G, teknologi 5G NR hadir dengan kapabilitas revolusioner yang dirancang untuk mengatasi tantangan tersebut dan memenuhi tuntutan layanan di masa depan [1]. 5G menawarkan *bandwidth* yang jauh lebih besar, *data rate* puncak yang sangat tinggi, latensi sangat rendah, dan kapasitas konektivitas masif untuk berbagai perangkat. Implementasi 5G telah menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendukung aplikasi VoIP, ditunjukkan oleh indeks kategori 4 yang konsisten pada semua parameter yang diukur (*throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*) [3]. Fitur-fitur canggih seperti *Massive MIMO* [9][10] dan penjadwalan QoS-aware yang menggunakan *deep reinforcement learning* [11] menjadikan 5G solusi yang sangat menjanjikan untuk mendukung aplikasi *real-time* seperti VoIP dengan kualitas layanan yang superior dan konsisten, bahkan dalam skenario jaringan yang paling menantang sekalipun [12][9][13][10][11]. Banyak penelitian telah membandingkan kinerja teoritis dan simulasi 4G dan 5G dalam berbagai aspek jaringan [1], [3], [5], [6]. Namun, studi yang secara spesifik mensimulasikan trafik VoIP dan mengevaluasi metrik QoS kritisnya (*delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*) secara komparatif di bawah berbagai skenario realistis—termasuk skenario normal, peningkatan beban jaringan, mobilitas pengguna, dan kondisi interferensi—masih perlu dikaji lebih mendalam untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kapabilitas dan keunggulan 5G. Ini merupakan *gap analysis* yang ingin diisi oleh penelitian ini.

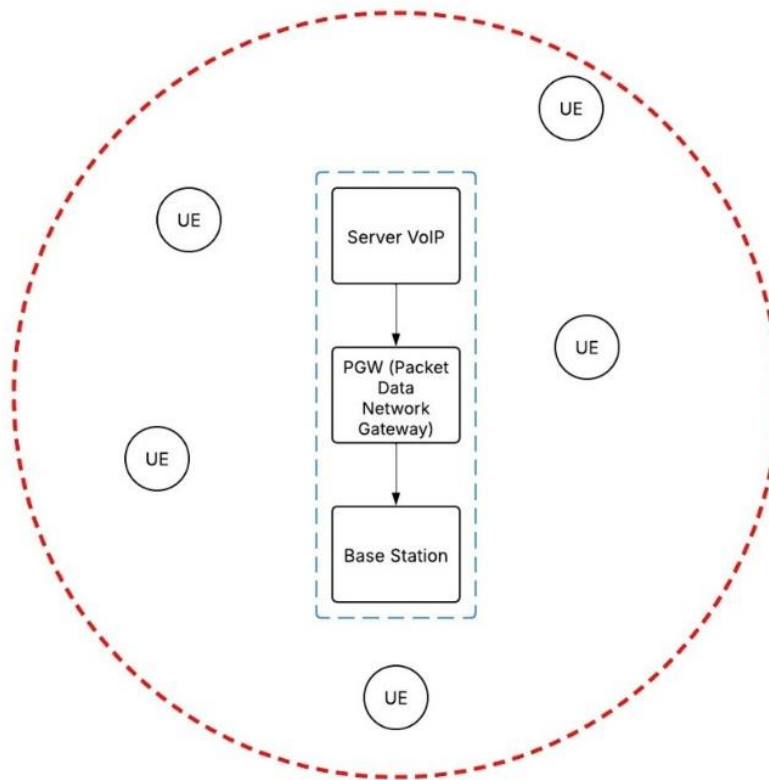
Berdasarkan latar belakang permasalahan dan analisis celah penelitian, proyek ini bertujuan untuk melakukan simulasi trafik VoIP menggunakan NS3 pada lingkungan jaringan 4G LTE dan 5G NR [13][10][14][1]. Simulasi ini akan mengevaluasi dan membandingkan kinerja QoS, meliputi *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*, di bawah empat skenario utama. Pertama, skenario normal, dengan konfigurasi 4G menggunakan *bandwidth* 10MHz (50 RBS), *data rate* 75 Mbps, frekuensi 2.6 GHz, 5 pengguna, dan radius 500 meter; sementara 5G dikonfigurasi dengan *bandwidth* 20MHz (100 RBS), *data rate* 500 Mbps, frekuensi 3.5 GHz, 5 pengguna, dan radius 500meter. Kedua, skenario beban jaringan tinggi, yang melibatkan peningkatan jumlah pengguna menjadi 100, sementara parameter lain mengacu pada skenario normal. Ketiga, skenario mobilitas pengguna, di mana 5 pengguna diaktifkan dengan pola mobilitas, sementara parameter lain tetap mengacu pada skenario normal. Terakhir, skenario interferensi, yang memperkenalkan penambahan 3 node/pengguna sebagai sumber interferensi dalam jaringan, dengan parameter lain yang juga mengacu pada skenario normal. Melalui simulasi komparatif ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan *novelty* dalam analisis QoS VoIP yang mendalam pada kedua teknologi di bawah kondisi operasional yang bervariasi. Hasil yang diperoleh akan memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai kapabilitas dan keunggulan 5G dalam mendukung layanan VoIP dibandingkan 4G, serta dapat menjadi dasar rekomendasi untuk optimasi jaringan telekomunikasi di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental berbasis simulasi dengan memanfaatkan Network Simulator 3 (NS-3) sebagai platform utama untuk menguji performa Quality of Service (QoS) dari layanan Voice over IP (VoIP) berbasis protokol UDP pada dua teknologi jaringan seluler, yaitu 4G LTE dan 5G NR. Protokol UDP dipilih karena mencerminkan karakteristik lalu lintas VoIP yang bersifat real-time, sensitif terhadap *delay* dan *jitter*, serta tidak mentoleransi retransmisi seperti pada TCP. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan performa jaringan terhadap berbagai kondisi trafik dan lingkungan, serta mengukur sejauh mana masing-masing jaringan mampu memenuhi parameter-parameter QoS yang telah ditentukan oleh standar internasional.

2.1 Penentuan Topologi dan Parameter Simulasi

Topologi jaringan disusun mengikuti arsitektur standar jaringan seluler yang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu VoIP server, Packet Gateway (PGW), Base Station (eNodeB untuk LTE dan gNodeB untuk NR), serta User Equipment (UE) sebagai penerima trafik.



Gambar 1. Topologi Jaringan VoIP

Topologi ini divisualisasikan dalam Gambar 1 yang menunjukkan susunan hierarki dan relasi antar komponen jaringan. Simulasi dijalankan dalam cakupan makroseluler, di mana semua node berada dalam satu coverage area untuk memastikan transmisi sinyal tetap berada dalam jangkauan base station.

Parameter simulasi dirancang agar mampu merepresentasikan trafik VoIP nyata. Untuk itu, digunakan pola pengiriman paket UDP secara konstan (Constant Bit Rate/CBR) dengan interval 20 milidetik dan ukuran paket 160 byte, sesuai spesifikasi codec G.711. Simulasi dilakukan dalam durasi 10 detik per skenario. Adapun parameter utama jaringan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Jaringan yang Digunakan

Parameter	Nilai 4G LTE	Nilai 5G
<i>Bandwidth</i>	10 MHz	20 MHz
<i>Carrier Frequency</i>	2.6 GHz	3.5 GHz
Jumlah Pengguna	5 s.d. 100 UE	5 s.d. 100 UE
Mobilitas	<i>Static / Constant Speed</i>	<i>Static / Constant Speed</i>
Protokol Transport	UDP	UDP
Monitoring	FlowMonitor	FlowMonitor

2.2. Penentuan Output dan Standar Evaluasi QoS

Evaluasi dilakukan berdasarkan empat metrik utama QoS, yaitu *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Batas toleransi untuk masing-masing metrik mengacu pada standar internasional:

- ITU-T G.114: *Delay* maksimal 150 ms (ideal ≤ 100 ms).
- RFC 3550: *Jitter* maksimal 30 ms (ideal ≤ 20 ms).
- Cisco VoIP Guidelines: *Packet loss* $\leq 1\%$.
- *Throughput* minimum 64 kbps untuk tiap aliran suara.

Output yang dicatat meliputi rata-rata *delay* end-to-end, rata-rata *jitter* antar paket, tingkat kehilangan paket (%), serta rata-rata *throughput* dari tiap flow. Selain itu, dilakukan pula analisis korelasi antar metrik QoS untuk memahami hubungan antar performa jaringan secara menyeluruh.

2.3. Pengembangan Program Simulasi dan Desain Skenario

Untuk Merepresentasikan kondisi jaringan yang beragam, penelitian ini mengembangkan empat skenario simulasi berbeda, seperti ditunjukkan pada Table 2.

Tabel 2. Daftar Empat Skenario Simulasi

Skenario	Deskripsi
1	Kondisi Normal, 5 user statis tanpa gangguan
2	Trafik tinggi dengan 100 user aktif
3	Kondisi mobilitas dengan user bergerak konstan
4	Interferensi aktif dengan 3 node pengganggu tambahan

Setiap skenario diimplementasikan menggunakan skrip C++ dalam NS-3 dan menjalankan aplikasi UDP CBR. Perbedaan antar skenario memungkinkan observasi performa QoS dari berbagai aspek seperti kapasitas trafik, handover, dan interferensi kanal. Seluruh simulasi berjalan dengan protokol UDP, tidak melibatkan TCP sama sekali agar representasi trafik VoIP tetap realistis.

2.4. Ekstraksi Data dan Analisis Visual

Output dari NS-3 dikumpulkan menggunakan FlowMonitor, lalu diekspor dalam format XML dan CSV. Dua pendekatan analisis digunakan:

- Microsoft Excel digunakan untuk perhitungan manual dan rekapitulasi nilai rata-rata *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*
- Python digunakan untuk visualisasi tren dan korelasi antar metrik, termasuk:
 - Grafik *delay/jitter* vs waktu (perskenario dan teknologi)
 - Histogram *packet loss*
 - Grafik *moving average* untuk *throughput*, dan
 - *Heatmap* korelasi antar metrik QoS

Visualisasi ini membantu dalam mengidentifikasi stabilitas performa antar teknologi serta mendukung interpretasi numerik dengan representasi grafik yang kuat.

2.5. Validasi terhadap Standar dan Teori Trafik

Analisis akhir dari hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan nilai parameter dengan ambang QoS standar. Selain itu, pola pertambahan *delay* dan *loss* pada 4G ketika jumlah pengguna meningkat dianalisis menggunakan teori model antrian M/M/1, di mana:

- λ (*arrival rate*) meningkat saat trafik padat,
- μ (*service rate*) tetap atau dibatasi oleh *bandwidth*,
- Utilisasi $\rho = \lambda/\mu$ mendekati 1 menyebabkan *delay* mendekati tak hingga.

Sementara pada 5G, nilai μ jauh lebih besar karena *bandwidth* lebih lebar dan penggunaan *resource block* yang lebih efisien, menjaga utilisasi tetap rendah walaupun trafik tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, hasil dari simulasi menggunakan software NS3 akan dijabarkan beserta analisisnya. Terdapat empat skenario layanan VoIP yang akan diuji coba untuk melihat evaluasi QoS pada setiap skenario tersebut. Pembahasan akan dibagi berdasarkan setiap skenario yang dijalankan. Skenario standar sebagai acuan akan dipaparkan terlebih dahulu, yang kemudian tiga skenario lainnya akan dijelaskan setelahnya sebagai tambahan. Simulasi ini akan melihat perbandingan 4G dan 5G dalam pelayanan VoIP.

3.1. Prinsip Evaluasi QoS pada Layanan VoIP

Evaluasi performa layanan Voice over Internet Protocol (VoIP) pada jaringan seluler memerlukan pengukuran parameter kualitas layanan (Quality of Service/QoS) secara komprehensif. Empat parameter utama QoS yang diamati dalam penelitian ini meliputi *delay* (end-to-end latency), *jitter* (variasi waktu antar paket), *packet loss* (rasio kehilangan paket), dan *throughput* (laju data berhasil diterima). Keempat metrik ini digunakan sebagai indikator utama apakah sebuah jaringan layak untuk digunakan dalam layanan real-time seperti VoIP, yang sangat sensitif terhadap gangguan waktu dan kehilangan data.

Batas toleransi untuk masing-masing metrik QoS didasarkan pada standar internasional sebagai berikut:

- ITU-T G.114: *Delay* maksimum ≤ 150 ms (layak), ideal ≤ 100 ms
- RFC 3550 (RTP standard): *Jitter* maksimum ≤ 30 ms untuk transmisi suara normal
- RFC 6401 dan Cisco VoIP Guidelines: *Packet loss* $\leq 1\%$
- Tidak ada batas eksplisit *throughput* untuk VoIP, namun nilai ideal berkisar antara 64–256 kbps per stream

Standar ini digunakan untuk membandingkan hasil simulasi VoIP berbasis UDP pada jaringan 4G dan 5G melalui NS-3 dalam empat skenario berbeda.

3.2. Ringkasan Hasil Simulasi

Empat skenario simulasi telah dijalankan, masing-masing mencerminkan kondisi operasional jaringan yang berbeda: normal, beban trafik tinggi, mobilitas pengguna, dan interferensi kanal. Ringkuman hasil rata-rata pengukuran parameter QoS dari tiap skenario disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rata Rata Parameter QoS VoIP Pada Jaringan 4G dan 5G

Skenario	Teknologi	<i>Delay</i> (ms)	<i>Jitter</i> (ms)	<i>Packet loss</i> (%)	<i>Throughput</i> (kbps)
Skenario 1 (Normal)	4G	37.73	0.0	0.18	356.00
	5G	20.18	0.0	0.00	356.33
Skenario 2 (100 User)	4G	15.11	0.12	0.31	254.13
	5G	8.44	0.02	0.00	2608.07
Skenario 3 (Mobile)	4G	37.73	0.0	0.18	356.0
	5G	20.18	0.0	0.0	256.33
Skenario 4 (interferensi)	4G	15.70	0.12	0.28	2591.0
	5G	8.15	0.01	0.0	2545.60

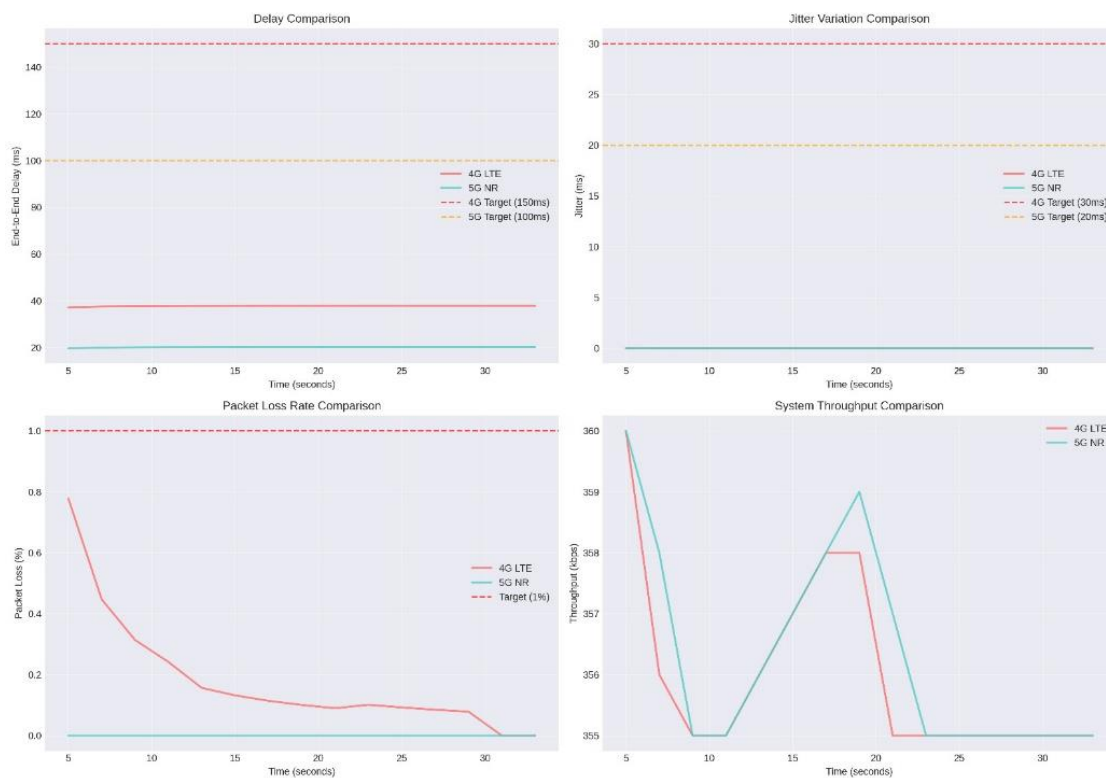
3.3. Analisis Performa QoS Berdasarkan Skenario

Terdapat empat skenario yang akan dijalankan dan dianalisa. Skenario pertama yaitu skenario standar dengan *bandwidth* tertentu. Skenario kedua adalah skenario beban berlebih pada jaringan, yaitu jumlah user meningkat dari 5 user menjadi 100 user. Skenario ketiga adalah skenario user yang semula diam menjadi bergerak. Skenario terakhir adalah skenario dimana jaringan yang kelebihan beban diinterferensi oleh 3 user.

3.3.1. Skenario Normal

Evaluasi kinerja QoS pada trafik VoIP untuk kondisi normal diperlihatkan pada Gambar 2, baik 4G maupun 5G mampu memberikan QoS yang sesuai standar. Pada perbandingan *delay*, grafik menunjukkan adanya bentuk yang cukup stabil, yang mana *delay* 4G kurang lebih 37,73 ms dan *delay* pada 5G kurang lebih 20,18 ms. *Delay* pada 5G yang lebih rendah dibandingkan dengan 4G walaupun pada simulasi ini sama sama menggunakan sistem model LTE, disebabkan oleh sistem 5G yang lebih efisien. Model 5G memiliki *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan 4G, selain itu *delay* link backhaul yang lebih rendah juga menunjukkan bahwa teknologi pengiriman data pada 5G lebih cepat dibandingkan dengan 4G. Selain itu, beban jaringan yang sangat rendah yakni hanya 5 user dan tidak ada variabilitas lain, menyebabkan *delay* yang diukur bernilai konstan. *Delay* yang bernilai konstan menyebabkan nilai dari *Jitter* yang bernilai nol. *Jitter* adalah ukuran ketidak konsistenan waktu kedatangan paket. Pada grafik ini dapat terlihat *jitter* yang dihasilkan sama-sama nol. Hal ini menunjukkan bahwa paket yang dikirim dalam simulasi ini sangat konsisten.

VoIP QoS Comparison: 4G LTE vs 5G NR



Gambar 2. Grafik Parameter QoS pada skenario 1

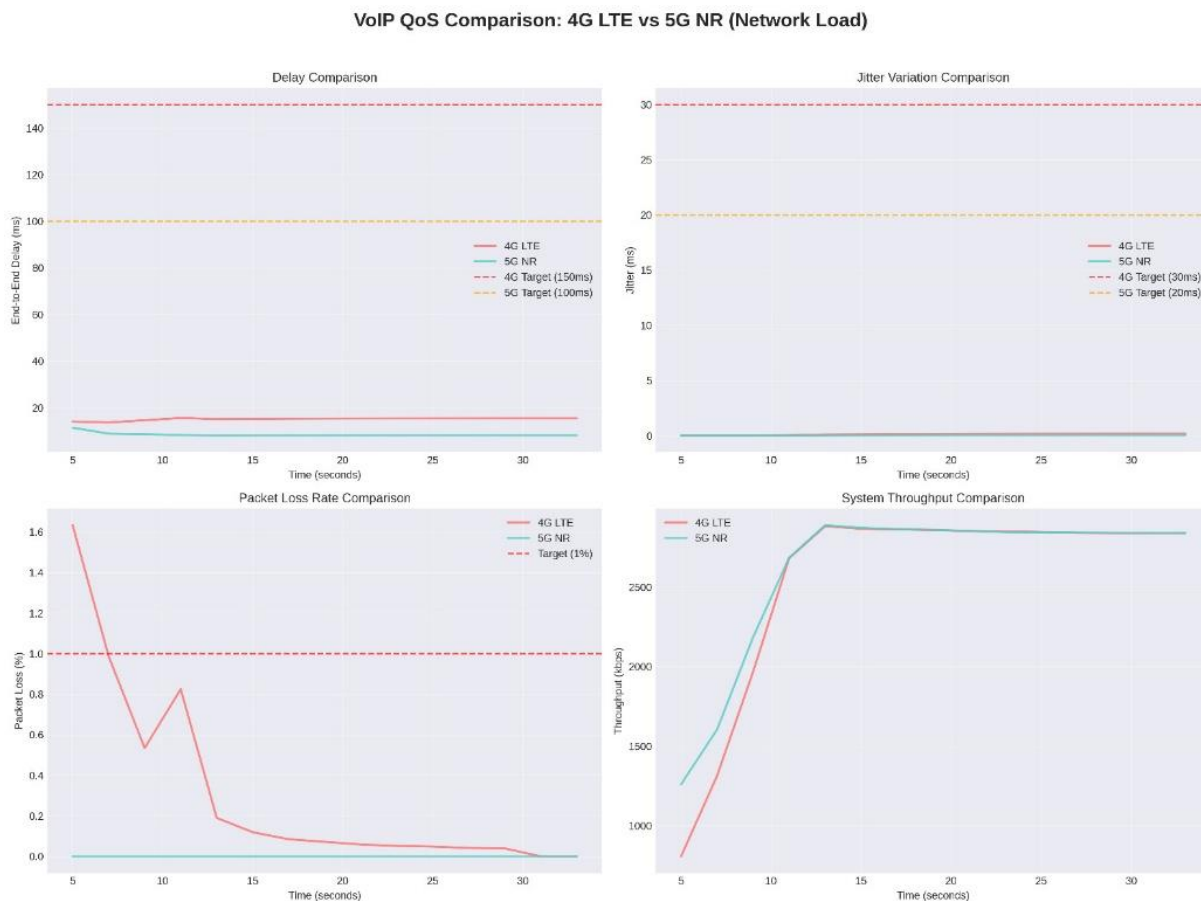
Pada grafik *packet loss*, terlihat bahwa nilai keduanya cukup tinggi di awal, namun turun secara perlahan. Tingginya nilai *packet loss* diawal dapat disebut juga dengan loss awal. Hal ini dapat terjadi pada saat inisialisasi jaringan, saat beberapa packet pertama hilang saat koneksi belum stabil. Dengan *bandwidth* 5G yang lebih besar dari 4G, menunjukkan bahwa 5G mampu menangani *packet loss* ini dengan lebih

baik. Selain itu model propagation Friis yaitu model ideal tanpa hambatan juga menyebabkan *packet loss* dari 4G dan 5G cukup rendah.

Nilai *throughput* dari skenario standar ini memiliki rata-rata kurang lebih sama, yaitu sekitar 356 kbps. Nilai dari *throughput* sangat dipengaruhi oleh beban, atau dengan kata lain dipengaruhi oleh banyaknya pengguna. Dengan total 5 pengguna, maka *throughput* kurang lebih 356 kbps cukup mendekati nilai teoritisnya. Ini menandakan bahwa dalam kondisi default, arsitektur 5G memberikan efisiensi kanal dan routing yang lebih optimal.

3.3.2. Skenario Beban Berlebih

Skenario ini ditunjukkan pada Gambar 3, mewakili beban jaringan tinggi dengan banyak pengguna aktif secara bersamaan. Pada skenario ini jumlah user bertambah dari 5 menjadi 100 user. Parameter QoS yang terlihat sangat berbeda adalah *throughput* dan *packet loss*. Pada grafik *throughput* dapat terlihat bahwa model 5G naik lebih cepat dan mencapai 2,6 Mbps, sedangkan model 4G mulai lebih lambat dan naik hingga sekitar 2,5 Mbps.



Gambar 3. Grafik Parameter QoS pada skenario 2

Secara teori dengan kecepatan yang diberikan ke masing masing model sekitar 80 kbps, maka dengan 100 user *throughput* secara teori yang dapat dihasilkan adalah 8 Mbps. Namun pada grafik ini *throughput* tidak bisa naik lebih tinggi lagi. Hal ini dapat disebabkan oleh kapasitas kanal yang sudah tidak mampu lagi karena *bandwidth* untuk 4G hanya 10 MHz dan untuk 5G hanya 20 MHz.

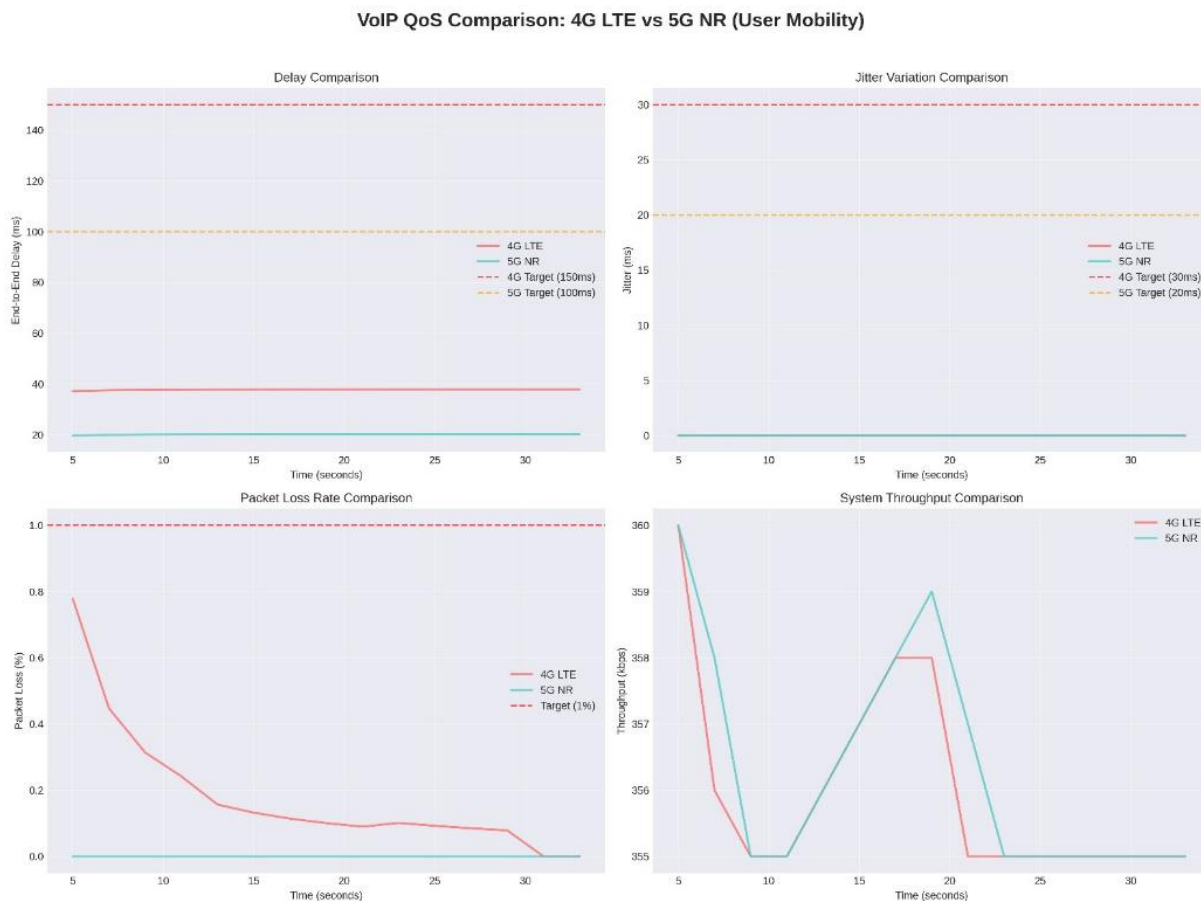
Pada grafik *packet loss* pada 4G LTE, menunjukkan adanya lonjakan *packet loss* yang sangat tinggi diawal, yang mana mencapai kurang lebih 1,6%. Grafik ini kemudian perlahan turun menjadi nol seiring

waktu meskipun ada sedikit fluktuasi. Terdapat beberapa kemungkinan sebagai penyebab dari tingginya angka *packet loss* ini, salah satunya adalah congestion atau tabrakan paket. Hal ini diperkuat dengan banyaknya user dalam satu wilayah.

Delay dan *jitter* pada skenario ini menunjukkan perbedaan yang sangat kecil dengan skenario standar. Pada sepuluh detik pertama, *delay* pada kedua model sedikit tidak stabil dan pada detik selanjutnya menjadi lebih stabil. Namun jika kita perhatikan dengan saksama, *delay* 4G pada skenario ini terlihat lebih kecil dari skenario sebelumnya. Hal ini tidak berarti pada skenario ini model 4G menjadi lebih cepat. Kondisi ini dapat disebabkan beberapa hal seperti flow monitor hanya mengukur paket-paket yang “selamat” dari tabrakan, sehingga hasilnya terlihat bahwa 4G pada skenario ini terlihat lebih cepat padahal sebenarnya tidak. Hal ini mengonfirmasi bahwa sistem scheduling dan alokasi sumber daya 5G jauh lebih efisien disbanding dengan model 4G.

3.3.3. Skenario User Bergerak

Skenario ini menambahkan dinamika mobilitas pada node pengguna yaitu user yang pada skenario standar hanya diam sedangkan pada skenario ini user melakukan pergerakan, seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Pada grafik *delay* tidak terdapat perbedaan *delay* dengan skenario standar. Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah user berjumlah lima dan hanya memiliki satu base station. Oleh karena itu, handover tidak terjadi dan *delay* yang dihasilkan akan sama saja, begitu juga dengan nilai *throughput* dan *packet loss*.

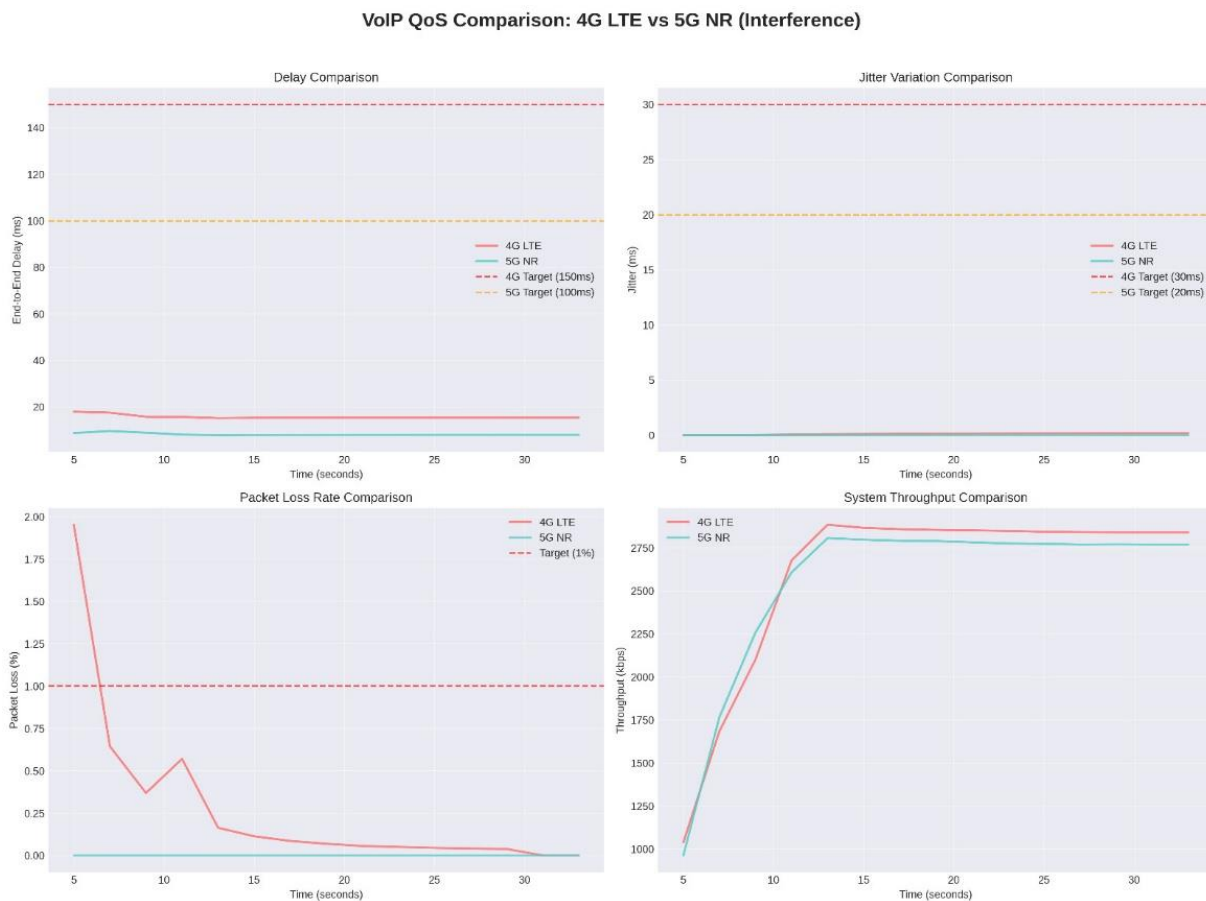


Gambar 4. Grafik Parameter QoS pada skenario 3

Pada *jitter*, grafik yang ditunjukkan secara teoritis terlihat tidak normal. Karena user yang bergerak memiliki kemungkinan besar untuk menyebabkan variasi waktu pemrosesan. Sedangkan pada grafik *jitter* yang ditunjukkan tetap nol sama seperti skenario standar. Hal ini dapat disebabkan oleh model propagasi friis yang terlalu ideal, karena friis mengasumsikan wilayah tanpa hambatan. Sehingga dampak dari perubahan posisi user seperti fading ataupun pantulan terhadap *jitter* tidak bisa terlihat.

3.3.4. Skenario Interferensi

Pada skenario ini tiga node tambahan diaktifkan sebagai sumber interferensi disamping jumlah user yang menjadi 100. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, pada grafik *packet loss*, 3 user interferensi memperparah nilai dari *packet loss* yang ada menjadi 2% di awal. Model 5G terlihat lebih baik pada nilai *packet loss*, karena kapasitas 5G yang lebih besar dengan 20 MHz *bandwidth* ditambah backhaul cepat, mampu menyerap beban dari 100 pengguna VoIP dan 3 pengguna pengganggu secara bersamaan.



Gambar 5. Grafik Parameter QoS pada skenario 4

Hal yang memiliki perbedaan lainnya dapat terlihat pada *throughput*. Data rata-rata menunjukkan *throughput* 4G sedikit lebih tinggi dari 5G dengan improvement sebesar 1,8%, hal ini terlihat berlawanan secara teoritis. Hal ini kemungkinan besar karena simulasi yang kurang maksimal. Bisa jadi karena interaksi acak dari penjadwal (scheduler) yang pada simulasi ini kebetulan memberikan sedikit lebih banyak slot untuk pengguna 4G sebelum kongesti parah terjadi. Hal ini juga terjadi pada *delay* dan *jitter* yang menunjukkan perubahan kecil pada detik detik awal simulasi di skenario ini. Sehingga 4G terlihat lebih baik dari 5G padahal kenyataannya pada kondisi sebenarnya tidak seperti itu.

3.4. Kesesuaian Hasil Simulasi Terhadap Standar

Tabel 4 menunjukkan bahwa 5G tidak hanya memenuhi, tetapi melebihi ekspektasi QoS untuk VoIP. Sedangkan 4G tetap lolos secara teknis, namun performanya mulai memburuk pada beberapa skenario yang dijalankan.

Tabel 4. Kesesuaian Hasil Simulasi Berdasarkan Standarisasi

Parameter	Batas Maksimum	Hasil 4G	Hasil 5G	Status
<i>Delay</i>	≤ 150 ms (4G) / ≤ 100 ms (5G)	✓	✓	Sesuai
<i>Jitter</i>	≤ 30 ms (4G) / ≤ 20 ms (5G)	✓	✓	Sesuai
<i>Packet loss</i>	$\leq 1\%$	✓ Mendekati 0.3%	✓ 0.0%	Sesuai
<i>Throughput</i>	-	Stabil > 2 Mbps	Stabil > 2 Mbps	Sesuai

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi performa layanan *Voice over IP* (VoIP) berbasis UDP pada jaringan 4G LTE dan 5G NR dengan simulasi NS-3. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap empat skenario simulasi yaitu kondisi normal, trafik tinggi, mobilitas pengguna, dan gangguan interferensi dapat disimpulkan bahwa jaringan 5G menunjukkan performa yang secara konsisten lebih baik dibandingkan 4G dalam semua parameter *Quality of Service* (QoS), terutama dalam hal *delay*, *jitter*, dan ketahanan terhadap lonjakan trafik maupun interferensi. Seluruh metrik QoS pada 5G tetap berada dalam batas toleransi internasional yang ditetapkan untuk layanan real-time seperti VoIP, sedangkan 4G mengalami penurunan performa pada kondisi trafik berat dan interferensi. Hal ini menunjukkan bahwa 5G memiliki potensi besar untuk mendukung layanan komunikasi suara real-time yang lebih stabil dan efisien, bahkan dalam kondisi jaringan yang kompleks. Implikasi dari hasil ini adalah bahwa 5G dapat menjadi solusi utama untuk peningkatan kualitas layanan suara dalam jaringan seluler modern. Penelitian ini juga membuka peluang pengembangan lebih lanjut, seperti implementasi skenario campuran dengan multi-aplikasi real-time, evaluasi pada topologi dengan mobilitas kompleks, atau integrasi dengan skema prioritas QoS adaptif untuk memperdalam analisis performa jaringan generasi mendatang.

❖ DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Bouras, A. Gkamas, G. Diles, and Z. Andreas, "A Comparative Study of 4G and 5G Network Simulators," vol. 13, no. 1, pp. 11–20, 2020.
- [2] S. A. Lonkar and K. T. V. Reddy, "Relative QoS Investigation of VoIP Over LTE Networks," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 692, pp. 71–80, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-7486-3_8.
- [3] R. A. R. Q. Y. Putri, A. Anhar, A. Saputra, R. P. Caniago, and R. Harianja, "Analysis of 5G Network Quality of Service on VoIP Application," *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 37–45, Feb. 2024, doi: 10.31258/IJEEPSE.7.1.37-45.
- [4] L. Yonge *et al.*, "HomePlug AV2: Next-Generation Broadband over Power Line *," *MIMO Power Line Communications*, pp. 391–426, 2018, doi: 10.1201/b16540-14.
- [5] F. G. Lavacca, P. Salvo, L. Ferranti, A. Speranza, and L. Costantini, "Performance Evaluation of 5G Access Technologies and SDN Transport Network on an NS3 Simulator," *Computers 2020, Vol. 9, Page 43*, vol. 9, no. 2, p. 43, May 2020, doi: 10.3390/COMPUTERS9020043.
- [6] T. D. Assefa, "QoS performance of LTE networks with network coding," *116*, 2015, Accessed: Jul. 30, 2025. [Online]. Available: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2352770>

- [7] M. Di Mauro and A. Liotta, "An Experimental Evaluation and Characterization of VoIP over an LTE-A Network," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 17, no. 3, pp. 1626–1639, 2020, doi: 10.1109/TNSM.2020.2995505.
- [8] T. D. Assefa, "QoS performance of LTE networks with network coding," no. June, p. 118, 2015.
- [9] B. Bojovic and S. Lagen, "MIMO in network simulators: Design, implementation and evaluation of single-user MIMO in ns-3 5G-LENA," 2024.
- [10] B. Bojovic, Z. Ali, and S. Lagen, "ns-3 and 5G-LENA Extensions to Support Dual-Polarized MIMO," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1145/3532577.3532595.
- [11] J. Stigenberg, V. Saxena, S. Tayamon, and E. Ghadimi, "QoS-Aware Scheduling in New Radio Using Deep Reinforcement Learning," *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, vol. 2021-September, pp. 991–997, 2021, doi: 10.1109/PIMRC50174.2021.9569581.
- [12] I. E. Garbazza, E. R. Silva, and P. R. Guardieiro, "Optimizing QoS in LTE-A/5G HetNets: a deep Q-learning approach to uplink resource allocation," *Telecommunication Systems*, vol. 88, no. 2, 2025, doi: 10.1007/s11235-025-01277-z.
- [13] A. Lacava *et al.*, *Ns-O-RAN: Simulating O-RAN 5G Systems in ns-3*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2023. doi: 10.1145/3592149.3592161.
- [14] I. K. Son, S. Mao, Y. Li, M. Chen, M. X. Gong, and T. (Ted) S. Rappaport, "Frame-Based Medium Access Control for 5G Wireless Networks," *Mobile Networks and Applications*, vol. 20, no. 6, pp. 763–772, 2015, doi: 10.1007/s11036-014-0565-0.