

Analisis Performa Teknologi *Multi-Access Edge Computing* (MEC) Dalam Jaringan 5G

Bintang Hunafa
Telecommunication Engineering
Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
bintanghunafa@student.telkomuniversity.ac.id

Dr. Alfin Hikmaturokhman, S.T., M.T
Telecommunication Engineering
Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
alfin@ittelkom-pwt.ac.id

Melinda Br Ginting S.T., M.T
Telecommunication Engineering
Telkom University Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
melindag@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa jaringan 5G dengan dan tanpa integrasi teknologi *Multi-access Edge Computing* (MEC) berdasarkan parameter latensi, *throughput*, *jitter*, dan *packet loss*. MEC merupakan solusi komputasi tepi yang memungkinkan pemrosesan data dilakukan lebih dekat ke pengguna akhir, sehingga berpotensi menurunkan latensi serta meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan jaringan 5G. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, perancangan skenario simulasi menggunakan simulator jaringan NS-3 dengan modul 5G mmWave dan MEC, serta pengujian performa pada berbagai skenario seperti variasi data rate, ukuran paket, jarak UE ke eNB, dan jumlah UE. Hasil simulasi menunjukkan bahwa integrasi MEC mampu menurunkan latensi hingga 30%, meningkatkan *throughput* hingga lebih dari 15%, serta menjaga tingkat *jitter* dan *packet loss* tetap rendah dibandingkan skenario tanpa MEC. Penurunan latensi dan peningkatan efisiensi transmisi data ini paling signifikan terlihat pada skenario dengan trafik tinggi dan jumlah pengguna yang padat. Selain itu, MEC juga terbukti mampu menjaga kualitas jaringan pada kondisi jarak jauh atau beban trafik berat. Temuan ini mendukung klaim bahwa MEC adalah teknologi krusial dalam arsitektur 5G untuk mendukung aplikasi-aplikasi real-time seperti kendaraan otonom, AR/VR, dan IoT. Penelitian ini memberikan kontribusi kuantitatif terhadap pemahaman integrasi MEC dalam jaringan 5G dan dapat menjadi referensi penting bagi pengembangan jaringan generasi mendatang.

Keyword— 5G, edge computing, latency, MEC, network performance, throughput.

I. PENDAHULUAN

Dalam era digital, kebutuhan akan komunikasi data yang cepat, andal, dan berlatensi rendah semakin penting untuk mendukung aplikasi seperti augmented reality, kendaraan otonom, layanan kesehatan jarak jauh, dan IoT. Teknologi 5G hadir untuk menjawab kebutuhan ini dengan kecepatan tinggi, latensi rendah, dan konektivitas masif. Namun, arsitektur cloud konvensional masih menghadapi kendala latensi tinggi dan beban jaringan inti yang besar, terutama untuk aplikasi real-time yang bersifat kritis.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, dikembangkanlah teknologi *Multi-access Edge Computing* (MEC) yang memungkinkan pemrosesan data lebih dekat ke pengguna, seperti di base station. MEC mampu menurunkan latensi, meningkatkan efisiensi bandwidth, dan mendukung pengambilan keputusan lokal secara cepat. Beberapa studi menunjukkan peningkatan performa signifikan dengan integrasi MEC, namun masih terbatas pada satu atau dua parameter saja dan belum mengkaji secara komprehensif dalam skenario realistik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa jaringan 5G dengan dan tanpa MEC melalui simulasi menggunakan NS-3, dengan fokus pada parameter latensi, throughput, packet loss, dan efisiensi bandwidth.

Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi kuantitatif terhadap pemahaman dampak MEC serta menjadi referensi dalam pengembangan arsitektur jaringan masa depan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab beberapa pertanyaan utama. Pertama, bagaimana perbandingan performa jaringan 5G dengan dan tanpa integrasi *Multi-access Edge Computing* (MEC) jika dilihat dari parameter seperti latensi, throughput, jitter, dan packet loss. Kedua, sejauh mana teknologi MEC dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan jaringan 5G berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak NS-3. Ketiga, apa saja dampak positif maupun negatif yang ditimbulkan dari penerapan MEC pada jaringan 5G berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

Batasan dalam penelitian ini berfokus untuk menjaga fokus dan keterarahan penelitian, maka ruang lingkup dibatasi pada beberapa aspek. Penelitian ini hanya akan menganalisis performa jaringan 5G dengan integrasi MEC dari sisi latensi, throughput, jitter, dan packet loss. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak NS-3 atau alat simulasi jaringan sejenis. Pengujian dilakukan pada skenario tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, seperti pada lingkungan urban dengan kepadatan konektivitas tinggi. Penelitian ini tidak

membahas aspek keamanan, monetisasi, maupun arsitektur spesifik dari vendor MEC.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa jaringan 5G dengan dan tanpa integrasi teknologi Multi-access Edge Computing (MEC), khususnya berdasarkan parameter latensi, throughput, jitter, dan packet loss. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kontribusi MEC dalam menurunkan latensi dan meningkatkan efisiensi jaringan 5G secara keseluruhan. Melalui pendekatan simulasi yang dilakukan, diharapkan penelitian ini dapat menyajikan evaluasi menyeluruh terkait dampak implementasi MEC dalam jaringan 5G, baik dari sisi teknis maupun performa sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai referensi ilmiah bagi pengembangan arsitektur jaringan masa depan yang lebih responsif, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan aplikasi real-time.

Sistematika penulisan penelitian ini dibagi menjadi 5 bab. Bab 1 adalah bagian dari pendahuluan yang berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab 2 membahas mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang Menyajikan teori-teori dan literatur terkait jaringan 5G, teknologi MEC, serta parameter kinerja jaringan. Bab 3 menjelaskan metode penelitian, rancangan simulasi, parameter yang diuji, dan teknik analisis data. Bab 4 menyajikan data dari pengujian sistem dan skenario yang digunakan. Bab 5 terakhir memberikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian.

II. DASAR TEORI

Perkembangan jaringan 5G di Indonesia menunjukkan tren yang terus meningkat, terutama dengan dorongan dari sektor pemerintah dan industri telekomunikasi. Penelitian [1] menekankan bahwa infrastruktur 5G di Indonesia telah mengalami kemajuan pesat sejak tahun 2021, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Medan. Penelitian ini memberikan gambaran umum tentang strategi nasional dalam mendukung digitalisasi melalui jaringan generasi kelima.

Dari sisi pemanfaatannya, teknologi 5G juga memberikan kontribusi signifikan terhadap dunia pendidikan. Penelitian [2] menunjukkan bahwa adopsi 5G mendorong inovasi dalam pembelajaran daring melalui kecepatan transmisi yang lebih tinggi dan latensi rendah, memungkinkan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan responsif. Implikasi penerapan 5G terhadap infrastruktur jaringan juga menjadi perhatian utama. Penelitian [3] menganalisis bahwa transformasi menuju 5G membutuhkan peningkatan kualitas perangkat keras seperti *Base Transceiver Station* (BTS) serta adopsi teknologi pendukung seperti *Internet of Things* (IoT). Menunjukkan peran penting integrasi sistem cerdas dalam mendukung keandalan jaringan 5G.

Secara teknis, performa jaringan 5G di Indonesia telah diuji di berbagai wilayah. Penelitian [4] melakukan analisis kinerja jaringan 5G Telkomsel di kawasan *Transit Oriented Development* (TOD) Dukuh Atas dan menemukan bahwa kecepatan serta kestabilan jaringan sangat bergantung pada kepadatan pengguna serta jarak dari BTS.

Seiring berkembangnya arsitektur jaringan, konsep *Multi-access Edge Computing* (MEC) menjadi elemen penting dalam mendukung performa dan efisiensi 5G. Penelitian [5], meneliti integrasi MEC ke dalam sistem inti *Open* 5G, menekankan bagaimana *edge computing* dapat mengurangi latensi dan meningkatkan keandalan layanan. Selanjutnya, Penelitian [6] menjelaskan secara komprehensif mengenai layanan, teknologi pendukung, serta tantangan yang dihadapi dalam implementasi MEC, termasuk masalah skalabilitas dan manajemen sumber daya.

Penelitian [7] memberikan tinjauan lebih lanjut mengenai potensi dan arah penelitian MEC, menyatakan bahwa keberhasilan penerapannya sangat tergantung pada orkestrasi jaringan dan algoritma cerdas. Penelitian [8] secara khusus membahas pendekatan penjadwalan sumber daya berbasis *deep reinforcement learning* untuk lingkungan MEC, yang menjadi solusi potensial untuk efisiensi pemrosesan data di *edge*.

Penelitian [9] memperluas perspektif dengan melakukan survei menyeluruh tentang integrasi MEC dalam jaringan 5G dan teknologi masa depan (*beyond* 5G), mengkaji tantangan interoperabilitas dan sinergi antara MEC, jaringan inti, serta teknologi AI dan IoT.

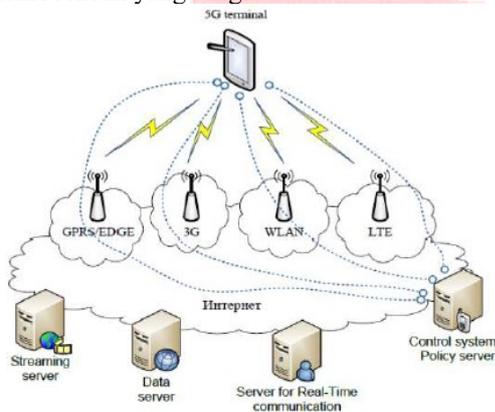
A. TEKNOLOGI 5G

Teknologi 5G merupakan teknologi nirkabel yang lebih canggih dibandingkan teknologi nirkabel sebelumnya. Dengan *bandwidth* yang lebih besar, kecepatan data yang lebih tinggi, dan tingkat latensi yang lebih rendah, teknologi dapat memberikan peluang dan manfaat bagi operator untuk menciptakan model bisnis baru. Peningkatan kualitas teknologi ini dapat menyebabkan lebih banyak permintaan layanan dari pengguna operator dan memungkinkan penerapan model layanan baru. Berbeda dengan teknologi sebelumnya, tujuan utama teknologi 5G adalah menyediakan layanan komunikasi seluler dan memberikan dukungan teknologi kepada sektor ekonomi dan industri.

Teknologi ini akan memungkinkan konektivitas nirkabel beralih dari sesuatu yang tidak memberi nilai tambah menjadi sesuatu yang harus ada di industri [1]. Dalam konteks pendidikan, teknologi ini memungkinkan pemanfaatan perangkat IoT, pembelajaran berbasis *cloud*, dan aplikasi AR/VR yang interaktif. Literasi teknologi 5G di kalangan siswa dan guru menjadi faktor penting untuk memastikan pemanfaatan optimal teknologi ini [2].

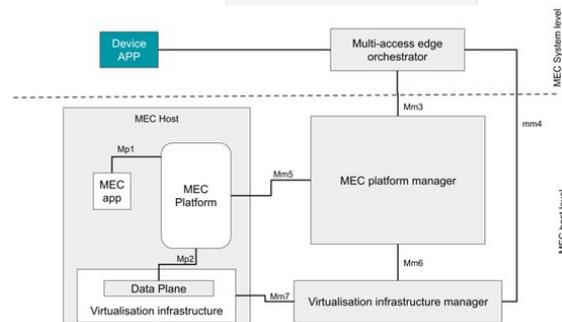
B. Arsitektur 5G

Pada gambar 1 terlihat arsitektur jaringan 5G yang merujuk pada keseluruhan struktur dan organisasi jaringan seluler generasi kelima (5G). Arsitektur ini mendefinisikan bagaimana berbagai komponen dan entitas jaringan saling terhubung untuk memungkinkan pengiriman data berkecepatan tinggi, latensi rendah, dan berbagai layanan. Arsitektur jaringan 5G dirancang untuk mendukung serangkaian kasus penggunaan yang beragam, termasuk pita lebar seluler yang ditingkatkan, komunikasi tipe mesin yang masif, dan komunikasi latensi rendah yang sangat andal.



GAMBAR 1
ARSITEKTUR JARINGAN 5G [3].

C. Teknologi MEC



GAMBAR 2
ARSITEKTUR REFERENSI MEC [6]

Serupa dengan 5G, MEC distandarisasi oleh European Telecommunications Standards Institute (ETSI), yang didedikasikan untuk standarisasi dan perluasan MEC yang berkelanjutan. Dokumen teknis dirilis secara teratur, mencakup segala hal mulai dari arsitektur hingga pengembangan layanan dalam kerangka kerja MEC. Arsitektur referensi MEC berfungsi sebagai fondasi untuk membuat struktur MEC. Gambar 2.2 menggambarkan arsitektur referensi MEC dengan cara yang disederhanakan, hanya menampilkan komponen-komponen penting untuk tujuan penelitian ini. Arsitektur ini didefinisikan dalam dokumen. Berbagai komponen terkait dapat diidentifikasi dalam pengaturan arsitektur, seperti MEC Platform (MEP), MEC Host, dan MEC Platform Manager (MEPM).

D. Peran Mec Dalam Jaringan 5g

Multi-access Edge Computing (MEC) merupakan teknologi kunci dalam arsitektur jaringan 5G yang menghadirkan kapabilitas komputasi dan penyimpanan lebih dekat ke pengguna, yakni di sisi tepi jaringan (edge). Integrasi MEC dalam jaringan 5G memberikan berbagai keuntungan signifikan, baik dari segi performa jaringan, efisiensi sistem, maupun pengalaman pengguna. Salah satu manfaat utama adalah pengurangan latensi, karena data tidak perlu menempuh perjalanan jauh ke pusat cloud, sehingga sangat mendukung aplikasi real-time seperti kendaraan otonom, augmented reality (AR), dan telemedicine, khususnya dalam skenario ultra-reliable low-latency communication (URLLC) yang mensyaratkan latensi di bawah 1 milidetik. Selain itu, MEC juga mengoptimalkan penggunaan bandwidth dengan mengurangi beban trafik menuju jaringan inti, yang sangat bermanfaat bagi aplikasi berbasis video dan IoT. Teknologi ini juga memungkinkan offloading komputasi dari perangkat dengan sumber daya terbatas ke edge server, sehingga meningkatkan efisiensi daya dan kinerja perangkat. Dalam konteks network slicing, MEC mendukung pemisahan logika pemrosesan dan kapasitas edge sesuai kebutuhan layanan seperti enhanced Mobile Broadband (eMBB), URLLC, dan massive Machine-Type Communications (mMTC). Lebih lanjut, MEC juga memungkinkan pemrosesan data kontekstual secara lokal, seperti informasi lokasi atau kondisi jaringan, guna mendukung pengambilan keputusan yang cepat dan efisien, terutama pada layanan berbasis kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin di sisi edge.

E. Parameter Kinerja Jaringan

Untuk mengukur efektivitas implementasi teknologi Multi-access Edge Computing (MEC) dalam jaringan 5G, digunakan sejumlah parameter kinerja jaringan yang mengukur kualitas layanan (Quality of Service/QoS) dan efisiensi sistem.

1. *Latency (Delay)*, waktu tunda yang dibutuhkan oleh paket data untuk berpindah dari pengirim ke penerima. Dalam arsitektur MEC, latency yang rendah sangat krusial untuk layanan seperti kendaraan otonom dan augmented reality [7].

$$Latency = T_{arrival} - T_{sent} \quad (2.1)$$

2. *Throughput*, jumlah data yang berhasil dikirimkan dalam periode waktu tertentu. Ini mencerminkan kapasitas jaringan dalam mentransfer data secara efektif [8].

$$Throughput = \frac{Total\ Data\ Received\ (bits)}{Total\ Time\ (seconds)} \quad (2.2)$$

3. *Packet Loss*, jumlah paket data yang hilang selama transmisi. Tingkat kehilangan yang tinggi menunjukkan kualitas layanan yang buruk dan sering menyebabkan jitter [11].

$$\text{Packet Loss Rate (\%)} = \left(\frac{\text{Packet Sent} - \text{Packet Received}}{\text{Packet Sent}} \right) \times 100\% \quad (2.3)$$

4. *Jitter*, variasi waktu antar kedatangan paket yang berurutan. Nilai jitter yang besar akan menurunkan kualitas pada aplikasi sensitif waktu seperti video call dan VoIP [10].

$$\text{Jitter}_i = |(D_i - D_{i-1})| \quad (2.4)$$

$$\text{Average Jitter} = \frac{\sum_{i=2}^n |\text{Latency}_i - \text{Latency}_{i-1}|}{n-1} \quad (2.5)$$

5. *CPU Usage / Resource Utilization*, mengukur penggunaan prosesor dan memori di sisi MEC server. Digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pemrosesan beban kerja offloading [9].

$$\text{CPU Usage (\%)} = \left(\frac{\text{CPU Time Used}}{\text{Total Available CPU Time}} \right) \times 100 \quad (2.6)$$

III METODE

A. Alur Penelitian

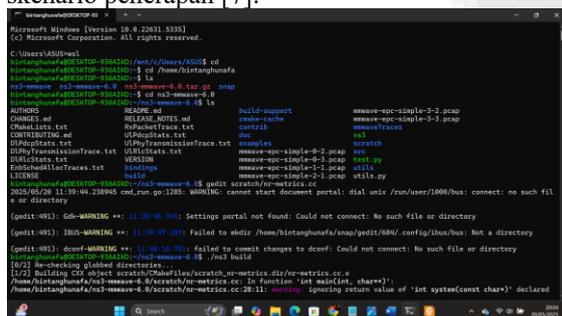
Gambar 4 menggambarkan alur tahapan penelitian yang dilakukan untuk menganalisis performa teknologi Multi-access Edge Computing (MEC) dalam jaringan 5G. Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memahami konsep dasar, tren teknologi terkini, serta membandingkan penelitian terdahulu dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, dan situs resmi yang relevan. Setelah itu, dilakukan pemilihan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, di mana tahap ini berfungsi sebagai persiapan untuk memastikan semua komponen yang dibutuhkan tersedia dan sesuai dengan kebutuhan simulasi. Selanjutnya, dilakukan perancangan komponen sistem yang mencakup pengaturan serta penghubungan antar komponen agar dapat beroperasi secara terintegrasi dan optimal. Tahap berikutnya adalah pengujian sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, yang meliputi pengujian fungsional, pengujian integrasi antar komponen, serta pengujian kesalahan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah yang muncul. Setelah sistem berhasil diuji dan berjalan sesuai yang diharapkan, dilakukan proses pengambilan data untuk memperoleh informasi performa dari sistem yang telah dirancang. Data yang diperoleh kemudian dianalisis pada tahap hasil dan pembahasan, untuk mengevaluasi apakah performa sistem memenuhi ekspektasi, serta memastikan bahwa seluruh komponen berfungsi sebagaimana mestinya. Tahapan akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis performa MEC dalam jaringan 5G. Diharapkan, sistem yang telah dikembangkan dapat bekerja secara optimal dan memberikan manfaat yang luas dalam pengembangan teknologi jaringan generasi mendatang.

TABEL 1
RINGKASAN PARAMETER [9].

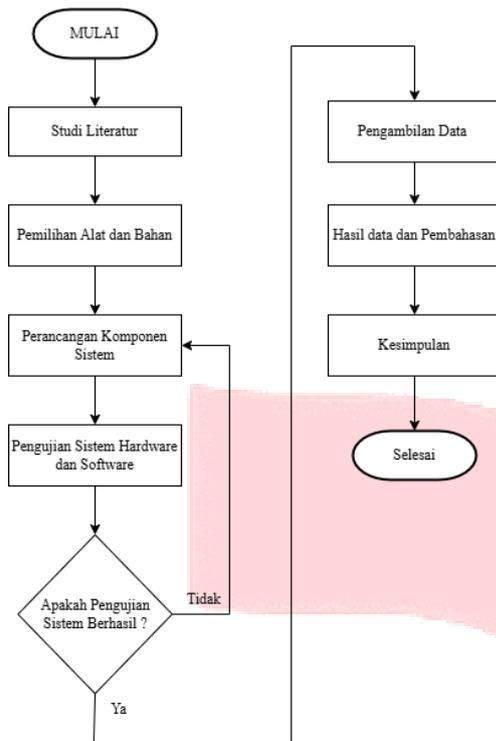
Parameter	Satuan	Indikasi	Kontribusi MEC
<i>Latency</i>	Ms	Waktu tunda transmisi	Mengurangi delay dengan edge processing
<i>Throughput</i>	Mbps	Jumlah data yang dikirim	Meningkatkan efisiensi transfer data
<i>Packet Loss</i>	%	Rasio kehilangan data	Menekan kehilangan paket di jaringan
<i>Jitter</i>	Ms	Variasi delay antar paket	Mengurangi fluktuasi delay
<i>CPU Usage</i>	%	Beban kerja server edge	Mengukur efisiensi offloading

A. Software NS-3

Pada gambar 2.3 menunjukkan software NS-3, merupakan simulator jaringan open-source yang mendukung modul LTE, 5G, dan MEC. NS-3 digunakan untuk memodelkan dan menganalisis parameter jaringan seperti *latency*, *throughput*, dan *packet loss*. NS-3 banyak digunakan dalam penelitian MEC untuk mengevaluasi latensi, kehilangan paket, dan throughput dalam berbagai skenario penerapan [7].



GAMBAR 3
SOFTWARE NS-3



GAMBAR 4
FLOWCHART ALUR PENELITIAN

B. Mencari nilai Parameter-parameter di jaringan 5G dan teknologi MEC

Tabel 3.3 menyajikan lima parameter utama yang digunakan untuk mengukur performa jaringan dalam simulasi, yaitu Data Rate, Throughput, Latency, Jitter, dan Packet Loss. Data Rate (bytes) menggambarkan kapasitas aliran data, sedangkan Throughput (Mbps) menunjukkan jumlah data yang berhasil dikirim per satuan waktu. Latency (ms) mengukur waktu tunda pengiriman data, dan Jitter (ms) merepresentasikan variasi waktu tunda antar paket, yang krusial untuk aplikasi real-time. Sementara itu, Packet Loss (%) menunjukkan persentase paket yang hilang selama transmisi. Kelima parameter ini memberikan gambaran menyeluruh terhadap kualitas dan keandalan jaringan, baik dalam kondisi normal maupun saat diuji dengan penerapan teknologi seperti Mobile Edge Computing (MEC).

TABEL 2
PARAMETER JARINGAN

No.	Variabel	Satuan
1	<i>Data Rate</i>	Bytes
2	<i>Throughput</i>	Mbps
3	<i>Latency</i>	ms
4	<i>Jitter</i>	ms
5	<i>Packet Loss</i>	Persentase (%)

C. Proses Penggunaan Alat dan Software

TABEL 3
(PROSES PENGGUNAAN ALAT DAN SOFTWARE)

Langkah	Deskripsi	Alat/Software
Konfigurasi Topologi Jaringan	Menyusun skenario jaringan 5G dengan node UE, eNB, dan MEC	NS-3
Simulasi Trafik	Menentukan jenis trafik (TCP/UDP) dan menjalankan simulasi jaringan	NS-3,
Pemantauan Trafik	Mengukur performa jaringan seperti throughput, latency, jitter, dan packet loss	NS-3, FlowMonitor
Pengumpulan Data	Menyimpan output hasil simulasi untuk dianalisis lebih lanjut	NS-3
Analisis Hasil	Menganalisis hasil simulasi untuk membandingkan performa dengan dan tanpa MEC	NS-3, Manual

Tabel 3 menggambarkan tahapan simulasi jaringan 5G berbasis MEC menggunakan NS-3. Proses dimulai dari konfigurasi skenario jaringan yang mencakup UE, eNB, dan MEC. Selanjutnya dilakukan simulasi trafik (TCP/UDP), lalu pemantauan parameter performa seperti throughput, latency, jitter, dan packet loss menggunakan modul FlowMonitor. Hasil simulasi kemudian disimpan dan dianalisis untuk membandingkan performa jaringan dengan dan tanpa MEC. Tahapan ini menunjukkan alur sistematis evaluasi efektivitas MEC dalam meningkatkan performa jaringan 5G.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub bab ini, dilakukan analisis terhadap hasil pengujian jaringan 5G tanpa menggunakan teknologi *Multi-access Edge Computing* (MEC). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dasar jaringan 5G dalam kondisi normal, di mana seluruh proses pengolahan data dilakukan secara terpusat di jaringan inti (*core network*). Beberapa parameter penting yang diamati meliputi *throughput*, *latency*, dan *packet loss*. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini akan digunakan sebagai tolok ukur untuk dibandingkan dengan pengujian 5G yang menggunakan MEC, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh MEC dalam meningkatkan performa jaringan. Dengan demikian, pengujian ini menjadi landasan awal dalam memahami efisiensi dan kapabilitas sistem 5G sebelum dioptimalkan dengan teknologi *edge computing*.

Pada detik kelima, *throughput* sedikit menurun ke 9.9 Mbps, *latency* naik menjadi 1 ms, dan *jitter* melonjak menjadi 0,061 ms, namun *packet loss* kembali turun ke 0.0%. Ini mengindikasikan sistem kembali stabil dengan keberhasilan pengiriman paket, meskipun terjadi fluktuasi *delay* yang cukup signifikan.

Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan adanya ketidakstabilan performa jaringan meskipun *data rate* konstan di 10 Mbps, yang ditandai dengan anomali berupa *packet loss* tinggi pada saat *throughput* maksimal, serta fluktuasi pada *latency* dan *jitter*.

TABEL 5
(PENGUJIAN DENGAN VARIASI DATA RATE 10 MBPS DENGAN MEC)

No	Waktu	Rata-rata <i>throughput</i> (Mbps)	<i>Latency</i> (ms)	<i>Jitter</i> (ms)	<i>Packet Loss</i>
1	1s	0	15	15	0.0%
2	2s	9.9	15	15	0.0%
3	3s	10	0	0	100%
4	4s	10	0	0	100%
5	5s	9.9	1	0.061	0.0%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis, dapat disimpulkan bahwa integrasi Multi-access Edge Computing (MEC) secara signifikan meningkatkan performa jaringan 5G, khususnya dalam hal *latency*, *throughput*, *jitter*, dan *packet loss*. MEC mampu menurunkan latensi rata-rata menjadi 10–11 ms, meningkatkan *throughput* hingga 247 Mbps, menstabilkan *jitter*, dan menjaga *packet loss* tetap rendah, bahkan dalam kondisi beban tinggi. Keunggulan ini diperoleh karena pemrosesan data dilakukan di sisi edge, mengurangi ketergantungan pada core network. Meskipun implementasinya menambah kompleksitas sistem dan memerlukan infrastruktur tambahan, manfaat yang diperoleh menjadikan MEC sebagai elemen kunci dalam mendukung aplikasi real-time dan pengembangan jaringan 5G di masa depan.

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini mencakup beberapa aspek penting untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, implementasi MEC sebaiknya dilakukan secara bertahap di wilayah dengan trafik tinggi guna menurunkan latensi dan meningkatkan efisiensi jaringan 5G. Selain itu, manajemen trafik perlu dioptimalkan agar dapat mencegah terjadinya *packet loss*, terutama saat beban jaringan meningkat. Di sisi lain, penguatan terhadap keamanan serta standarisasi infrastruktur MEC juga perlu diperhatikan agar sistem tetap andal dan terlindungi. NS-3 disarankan tetap digunakan sebagai alat evaluasi rutin untuk menguji performa jaringan sebelum implementasi nyata dilakukan. Terakhir, kolaborasi antara akademisi dan industri perlu didorong guna mempercepat pengembangan dan penerapan MEC secara luas dalam arsitektur jaringan 5G.

REFERENSI

- [1] A. D. Siswanto et al., "Perkembangan Teknologi Jaringan 5G di Indonesia," *Jurnal Jupiter*, vol. 2, no. 3, Mei 2024.
- [2] Jamil, M. A., Haetami, A., Mayasari, M., Aina, M., Sukini, S., & Ulimaz, A. (2024). "Peran Teknologi 5G Dalam Mendorong Inovasi Pembelajaran. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP)*," 7(1), 1841-1853.
- [3] B. Mulyono, A. Rachman, N. Rahayu, H. Eldo, dan U. W. Nuryanto, "Analisis Dampak Implementasi Teknologi 5G terhadap Infrastruktur Jaringan di Indonesia," **Jurnal Minfo Polgan**, vol. 13, no. 2, 2024.
- [4] M. N. Nabhan, H. Farisi, dan U. Hariyanti, "Analisis Kinerja Jaringan 5G Telkomsel pada Kawasan Transit Oriented Development (TOD) Dukuh Atas," **JPTIHK**, vol. 9, no. 13, 2025.
- [7] R. Xavier, R. S. Silva, M. Ribeiro, W. Moreira, L. Freitas, dan A. Oliveira-Jr, "Integrating Multi-Access Edge Computing (MEC) into Open 5G Core," *Telecom*, vol. 5, no. 2, hlm. 433–450, 2024.
- [8] H. Zhang, Y. Li, D. Jin, dan S. Chen, "Multi-access Edge Computing fundamentals, services, enablers and challenges: A complete survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 199, p. 103308, Mar. 2022.
- [9] A. Filali, A. Abouaomar, S. Cherkaoui, A. Kobbane, dan M. Guizani, "Multi-access edge computing: A survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197017–197046, 2020.
- [10] A. A. Ismail, N. E. Khalifa, dan R. A. El-Khoribi, "A Survey on Resource Scheduling Approaches in Multi-Access Edge Computing Environment: A Deep Reinforcement Learning Study," *Cluster Computing*, vol. 28, art. no. 184, 2025.

- [11] V. Q. Pham et al., “A Survey of Multi-Access Edge Computing in 5G and Beyond: Fundamentals, Technology Integration, and State-of-the-Art,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1659–1697, 2021.
- [12] 3GPP, “Technical Specification Group Services and System Aspects; System architecture for the 5G System (Release 16),” 3GPP TS 23.501 V16.7.0, Mar. 2021.
- [13] M. A. Ferrag, L. Maglaras, and H. Janicke, “Edge computing meets 5G: A survey,” *Future Internet*, vol. 12, no. 3, pp. 1–24, Mar. 2020, doi: 10.3390/fi12030067.
- [14] Y. Li, Z. Zhao, S. Liu, and X. Wang, “An overview of MEC in 5G and beyond: Fundamentals, technology integration, and future trends,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 122826–122843, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3109387.
- [15] H. Cao, Q. Wu, and W. Wang, “Mobile edge computing for industrial internet: Key technologies, applications, and challenges,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 14, no. 4, pp. 16–27, Dec. 2020.
- [16] X. Liu, Y. Yang, and M. Chen, “Delay-aware offloading for edge computing with MEC in 5G,” *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 2, pp. 1391–1403, Jun. 2021.
- [17] J. Han, D. Lee, and J. Kim, “Performance evaluation of MEC-based 5G architecture using realistic video data,” *Sensors*, vol. 22, no. 4, pp. 1457–1472, Feb. 2022.
- [18] J. Kim, H. Park, and S. Kang, “Performance analysis of MEC for IoT in 5G networks,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 10045–10058, 2022.
- [19] Canonical Ltd., “Ubuntu Desktop,” Ubuntu, [Online]. Available: <https://ubuntu.com/desktop>. [Accessed: May 20, 2025].
- [20] Canonical Ltd., “Ubuntu Documentation,” Ubuntu Help, [Online]. Available: <https://help.ubuntu.com>. [Accessed: May 20, 2025].
- [21] Microsoft, “What is the Windows Subsystem for Linux?,” Microsoft Learn, Nov. 28, 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/wsl/about> [Accessed: May 20, 2025]