



Evolusi Teknologi Jaringan Seluler Dari 4G Ke 5G : Sebuah Kajian Literatur Berbasis Arsitektur Dan Kinerja

Shintia Destrianita¹, Firdaus Nursal², Yulindon,³

¹Sarjana Terapan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Penulis Korespondensi: shintiadestriannita@gmail.com

Abstract. *The development of wireless communication technology has entered the 5G era, designed to address global data traffic surges and low latency requirements through a shift in infrastructure paradigms. While previous studies have partially examined technical parameters, there remains a gap in comprehensive synthesis directly linking core architecture transformation to multi-parameter performance. This study aims to integrate the correlation between network architecture evolution, from Evolved Packet Core (EPC) to Service-Based Architecture (SBA), with empirical performance analysis including latency, throughput, and connection density using a Systematic Literature Review (SLR) of global research data from the last five years across IEEE Xplore, ScienceDirect, and MDPI databases. Analysis results indicate that the transition to SBA and the implementation of Multi-access Edge Computing (MEC) are key factors in drastically reducing latency compared to 4G. Empirically, 5G NSA networks can deliver throughput up to 180 Mbps, significantly surpassing 4G's 10-12 Mbps, although signal stability at high frequencies remains a challenge in high-mobility conditions. This study concludes that the transformation toward service-based architecture and edge computing is the primary driver enabling significant performance leaps in 5G technology.*

Keywords: 5G, Network Architecture, EPC, SBA, Network Performance, Latency.

Abstrak. Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel telah memasuki era 5G yang dirancang untuk mengatasi lonjakan trafik data global dan kebutuhan latensi rendah melalui perubahan paradigma infrastruktur. Meskipun penelitian terdahulu telah membedah parameter teknis secara parsial, masih terdapat keterbatasan dalam sintesis komprehensif yang menghubungkan transformasi arsitektur inti secara langsung dengan kinerja multi-parameter. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan korelasi antara evolusi arsitektur jaringan, dari *Evolved Packet Core* (EPC) ke *Service-Based Architecture* (SBA), dengan analisis kinerja empiris mencakup latensi, *throughput*, dan densitas koneksi melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap data penelitian global lima tahun terakhir dari basis data IEEE Xplore, ScienceDirect, dan MDPI. Hasil analisis menunjukkan bahwa transisi ke SBA dan implementasi *Multi-access Edge Computing* (MEC) merupakan faktor kunci dalam penurunan latensi secara drastis dibandingkan 4G. Secara empiris, jaringan 5G NSA mampu memberikan *throughput* hingga 180 Mbps, jauh melampaui 4G yang hanya berkisar 10-12 Mbps, meskipun stabilitas sinyal pada frekuensi tinggi tetap menjadi tantangan dalam kondisi mobilitas tinggi. Studi ini menyimpulkan bahwa transformasi menuju arsitektur berbasis layanan dan komputasi tepi adalah penyebab utama yang memungkinkan lonjakan kinerja signifikan pada teknologi 5G.

Kata kunci: 5G, Arsitektur Jaringan, EPC, SBA, Kinerja Jaringan, Latensi.

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel telah mengalami transformasi besar sejak kemunculan generasi pertama hingga saat ini memasuki era generasi kelima (5G). Teknologi 5G hadir sebagai evolusi dari 4G LTE yang dirancang untuk memenuhi lonjakan trafik data global, kebutuhan akan latensi yang sangat rendah, serta kapasitas koneksi yang masif untuk mendukung ekosistem *Internet of Things* (IoT). Berbeda

dengan generasi sebelumnya, 5G bukan hanya sekadar peningkatan kecepatan unduh, melainkan sebuah perubahan paradigma dalam infrastruktur telekomunikasi yang memperkenalkan fleksibilitas melalui virtualisasi dan segmentasi jaringan.

Penelitian mengenai transisi ini telah menjadi fokus utama dalam literatur telekomunikasi terbaru. mendokumentasikan evolusi teknis dari 1G hingga 5G dengan penekanan pada peningkatan *data transmission rate* dan kapasitas, serta mengidentifikasi bagaimana teknologi *Handoff* dan pendekatan *multiple-technique* berubah secara signifikan pada arsitektur 5G untuk mendukung mobilitas pengguna (Čaušević & Medić, 2021). Sejalan dengan hal tersebut, menekankan bahwa 5G dirancang secara khusus untuk menjawab tantangan otomasi cerdas dan *smart stadiums* yang memerlukan koneksi kilat dan latensi minimal yang tidak dapat dipenuhi sepenuhnya oleh standar 4G (Devi, 2022). Dari sisi arsitektur inti, memberikan analisis mendalam mengenai dampak evolusi menuju arsitektur broadband terhadap layanan kritis, dengan membandingkan arsitektur LTE sebagai *baseline* terhadap model *Multi-access Edge Computing* (MEC) dan identifikasi *bottleneck* pada distribusi data (Sanchoyerto et al., 2019).

Sementara itu, efektivitas teknologi ini pada kondisi dunia nyata telah diuji secara empiris melalui uji lapangan di lingkungan operasional jalan raya, yang memberikan data konkret mengenai perbandingan stabilitas koneksi antara 4G dan 5G NSA (Tsoulos et al., 2024). Melengkapi kajian tersebut, melakukan tinjauan sistematis terhadap infrastruktur telekomunikasi lintas generasi, yang menyoroti bahwa kesiapan fisik dan kompleksitas transmisi data pada 5G memerlukan rekayasa infrastruktur yang jauh lebih radikal dibandingkan generasi sebelumnya (Skosana et al., 2024).

Namun demikian, meskipun penelitian terdahulu telah membedah berbagai parameter teknis secara parsial, masih terdapat keterbatasan dalam sintesis komprehensif yang menghubungkan transformasi arsitektur dari Evolved Packet Core (EPC) ke Service-Based Architecture (SBA) secara langsung dengan variabilitas kinerja multi-parameter dalam satu kajian literatur yang terpadu.

Berdasarkan kondisi tersebut, artikel ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menyajikan sebuah kajian literatur sistematis yang secara khusus mengintegrasikan

korelasi antara evolusi arsitektur jaringan dengan analisis kinerja empiris mencakup latensi, throughput, dan densitas koneksi berdasarkan data penelitian global lima tahun terakhir. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih utuh mengenai sejauh mana efektivitas perubahan struktur jaringan dalam menjawab tantangan kebutuhan digital masa depan dan menyediakan panduan teoritis bagi pengembang infrastruktur dalam memilih model migrasi jaringan yang optimal.

KAJIAN TEORITIS

A. Arsitektur Jaringan 4G (Evolved Packet Core)

Arsitektur 4G LTE dirancang utamanya untuk layanan data broadband berbasis protokol IP sepenuhnya (*all-IP network*) (Devi, 2022). Komponen utama dari arsitektur ini adalah:

- **E-UTRAN (*Evolved Radio Access Network*)**: Terdiri dari *eNodeB* yang mengelola distribusi sumber daya radio dan modulasi adaptif. (Čaušević & Medić, 2021)
- **EPC (*Evolved Packet Core*)**: Berfungsi sebagai inti jaringan yang menangani autentikasi, alokasi kunci keamanan, dan akses ke jaringan data eksternal. Komponen di dalamnya meliputi MME untuk kontrol akses, S-GW dan P-GW untuk alokasi alamat IP, serta HSS sebagai basis data pelanggan. (Čaušević & Medić, 2021)

B. Arsitektur Jaringan 5G (Service-Based Architecture)

Berbeda dengan 4G yang kaku dan berbasis perangkat keras, arsitektur 5G bersifat *cloud-based* dan berbasis layanan (*Service-Based Architecture - SBA*) (Devi, 2022). Perubahan paradigma ini didorong oleh beberapa teknologi kunci:

- **Virtualisasi (NFV & SDN)**: *Network Functions Virtualization* (NFV) menggantikan fungsi perangkat keras tradisional dengan perangkat lunak yang berjalan di server standar. *Software Defined Networking* (SDN) memisahkan lapisan kontrol dari lapisan data untuk pengelolaan jaringan yang lebih fleksibel. (Čaušević & Medić, 2021)

- **MEC (Multi-access Edge Computing):** Menempatkan kemampuan komputasi dan penyimpanan di tepi jaringan (dekat dengan pengguna) untuk meminimalkan jarak tempuh data dan menurunkan latensi secara signifikan. (Skosana et al., 2024)
- **Network Slicing:** Memungkinkan operator untuk menciptakan "potongan" jaringan virtual yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik aplikasi tertentu, seperti IoT masif atau komunikasi kritis. (Tsoulos et al., 2024)

C. Perbandingan Parameter Kinerja (4G vs 5G)

Evolusi ini membawa peningkatan performa yang drastis pada beberapa indikator utama:

- **Kecepatan Data (Throughput):** Jika 4G menawarkan kecepatan rata-rata 10–30 Mbps, 5G dirancang untuk mencapai kecepatan puncak hingga 10–20 Gbps. (Skosana et al., 2024)
- **Latensi:** 4G memiliki rata-rata latensi sekitar 50–100 ms. 5G menargetkan latensi ultra-rendah sebesar 1 ms, yang sangat krusial untuk aplikasi waktu nyata seperti kendaraan otonom dan bedah jarak jauh. (Tsoulos et al., 2024)
- **Densitas Koneksi:** 5G mampu mendukung hingga 1 juta perangkat per kilometer persegi, meningkat 100 kali lipat dibandingkan kapasitas generasi sebelumnya. (Devi, 2022)
- **Efisiensi Energi:** Jaringan 5G diklaim 90% lebih efisien secara energi per bit data yang ditransmisikan dibandingkan 4G. (Devi, 2022)

C. Teknologi Pendukung dan Spektrum

- **Millimeter Wave (mmWave):** 5G memanfaatkan frekuensi tinggi (30–300 GHz) yang menyediakan lebar pita sangat besar, meskipun memiliki jangkauan pendek dan sensitif terhadap penghalang fisik. (Devi, 2022)
- **Massive MIMO & Beamforming:** Penggunaan banyak antena pada *base station* untuk memancarkan sinyal secara terarah langsung ke perangkat pengguna, guna meningkatkan kapasitas dan efisiensi spektrum. (Skosana et al., 2024)

- **NOMA (*Non-Orthogonal Multiple Access*)**: Teknik akses jamak baru yang menggantikan OFDMA pada 4G, memungkinkan lebih banyak pengguna menggunakan sumber daya waktu dan frekuensi yang sama secara simultan. (Čaušević & Medić, 2021)

D. Model Implementasi: NSA vs SA

- **Non-Standalone (NSA)**: Tahap awal migrasi yang menggunakan infrastruktur inti (*core*) 4G yang sudah ada (EPC) namun menggunakan pemancar radio 5G (New Radio). (Devi, 2022)
- **Standalone (SA)**: Implementasi penuh 5G yang menggunakan inti jaringan 5G murni, memungkinkan fungsionalitas penuh seperti latensi ultra-rendah dan *network slicing* secara optimal. (Devi, 2022)

METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menafsirkan seluruh penelitian yang relevan terkait evolusi arsitektur jaringan seluler dari 4G ke 5G. Pendekatan ini dipilih untuk menjawab kesenjangan (*gap*) penelitian yang telah diidentifikasi, yaitu kurangnya sintesis komprehensif yang menghubungkan perubahan arsitektur inti (*Core Network*) dengan variabilitas kinerja multi-parameter secara empiris .,

Tujuan utama dari metodologi ini adalah untuk mengintegrasikan korelasi antara transformasi *Evolved Packet Core* (EPC) menuju *Service-Based Architecture* (SBA) dengan metrik kinerja utama seperti latensi, *throughput*, dan densitas koneksi.

B. Strategi Pencarian Data

Proses pencarian literatur dilakukan secara sistematis pada basis data akademik bereputasi tinggi untuk menjamin kualitas referensi.

1. **Basis Data (*Database*)**: Pencarian difokuskan pada *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, dan *MDPI*.

2. Kata Kunci (*Keywords*): String pencarian disusun menggunakan operator Boolean (AND/OR) dengan kata kunci utama: "5G Architecture", "EPC vs SBA", "Network Performance", "Latency", "Throughput", dan "Network Densification".
3. Rentang Waktu: Pencarian dibatasi pada studi yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir untuk memastikan data yang digunakan relevan dengan kondisi teknologi terkini.

C. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

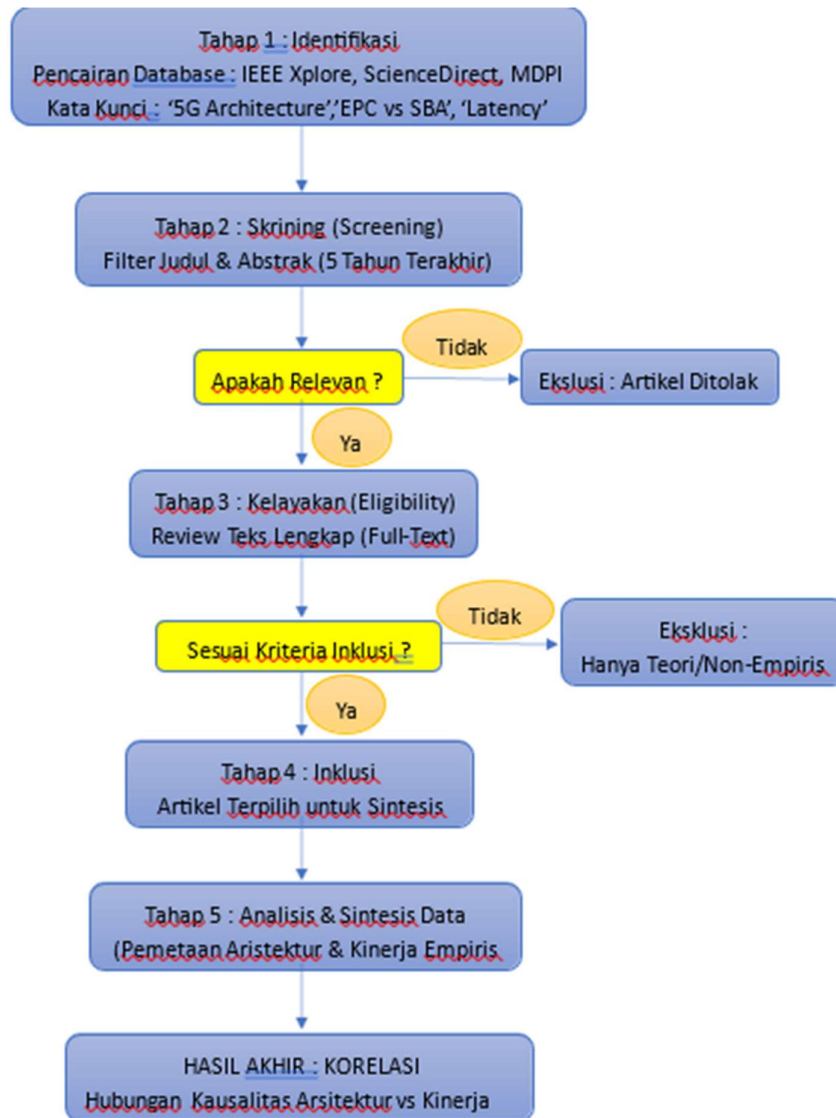
Untuk menjaga fokus penelitian pada korelasi arsitektur dan kinerja empiris, ditetapkan kriteria seleksi sebagai berikut:

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi (Diterima)	Eksklusi (Ditolak)
Topik	Membahas transformasi arsitektur (EPC ke SBA/NFV) DAN/ATAU menyajikan data kinerja empiris (latensi, throughput, densitas).	Hanya membahas teori dasar tanpa analisis kinerja atau arsitektur spesifik.
Jenis Data	Studi eksperimental, uji lapangan (<i>drive test</i>), simulasi teknis, atau tinjauan arsitektur mendalam.	Artikel opini, <i>white paper</i> komersial tanpa data teknis, atau artikel review yang terlalu umum.
Bahasa	Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia.	Bahasa selain Inggris dan Indonesia.
Tahun	5 tahun terakhir.	Lebih tua dari 5 tahun (kecuali artikel <i>seminal</i> untuk definisi dasar).

D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian (Diagram Alur)

Proses seleksi dan analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan untuk memastikan bahwa artikel yang terpilih benar-benar mampu mengisi *gap* penelitian. Berikut adalah ilustrasi visual alur penelitian ini:



Gambar 1. Diagram Alur Metodologi Penelitian (PRISMA Flow)

E. Analisis dan Sintesis Data

Data yang telah diekstraksi dari literatur terpilih dianalisis menggunakan pendekatan sintesis naratif kualitatif dengan fokus pada hubungan sebab-akibat (*causality*). Analisis dilakukan dalam dua langkah:

1. **Pemetaan Arsitektur:** Mengidentifikasi elemen kunci perubahan dari 4G (EPC) ke 5G (SBA), termasuk peran *Multi-access Edge Computing* (MEC) dan *Network Slicing*.
2. **Korelasi Kinerja:** Menghubungkan elemen arsitektur tersebut dengan data kinerja lapangan (misalnya: bagaimana MEC secara langsung menurunkan *mouth-to-ear latency* atau bagaimana spektrum mmWave meningkatkan *throughput*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Transformasi Arsitektur Inti: Dari EPC ke SBA

Berdasarkan hasil sintesis literatur, evolusi dari 4G ke 5G bukan sekadar peningkatan radio, melainkan perubahan fundamental pada struktur inti jaringan (*Core Network*).

1. Keterbatasan Evolved Packet Core (EPC) pada 4G

Penelitian menunjukkan bahwa arsitektur 4G LTE yang berbasis *Evolved Packet Core* (EPC) memiliki keterbatasan struktural:

- Sentralisasi Data : EPC memusatkan pemrosesan data, yang menyebabkan *bottleneck* (hambatan) pada distribusi data.
- Ketergantungan Perangkat Keras : Fungsi jaringan seperti MME dan S-GW terikat pada perangkat keras fisik, membuatnya kaku dan sulit untuk diskalakan secara dinamis.
- Distribusi Sinyal : Model distribusi sinyal pada 4G masih menggunakan *base station* makro dengan jangkauan luas namun kapasitas terbatas pada area padat.

2. Keunggulan Service-Based Architecture (SBA) pada 5G

Sebaliknya, 5G mengadopsi *Service-Based Architecture* (SBA) yang menawarkan fleksibilitas melalui virtualisasi:

- Virtualisasi (NFV & SDN) : Fungsi jaringan tidak lagi bergantung pada perangkat keras khusus, melainkan dijalankan sebagai perangkat lunak (virtual) di atas server standar.
- Pemisahan Control dan User Plane (CUPS) : SBA memisahkan jalur kontrol dan jalur data pengguna. Hal ini memungkinkan data diproses lebih dekat ke pengguna (di tepi jaringan/*edge*), sementara kontrol tetap terpusat.
- Multi-access Edge Computing (MEC) : Teknologi ini menempatkan komputasi di tepi jaringan, mengurangi jarak fisik yang harus ditempuh data, yang krusial untuk aplikasi waktu nyata.

B. Evaluasi Kinerja Empiris

Bagian ini menyajikan data kuantitatif dari studi lapangan yang membandingkan kinerja 4G dan 5G.

1. Penurunan Latensi yang Signifikan

Data empiris menunjukkan bahwa perubahan arsitektur berdampak langsung pada latensi:

- 4G LTE: Rata-rata latensi tercatat sekitar 50 ms. Pada skenario beban tinggi, latensi ini tidak memadai untuk layanan kritis.
- 5G: Penggunaan teknologi MEC terbukti menurunkan latensi secara drastis. Studi pada layanan *Mission Critical Push-to-Talk* (MCPTT) menunjukkan bahwa dengan menempatkan *core network* di *edge* (MEC), latensi *mouth-to-ear* berkurang signifikan dibandingkan arsitektur terpusat. Target teoritis 5G adalah 1 ms, dengan realita lapangan saat ini mendekati angka tersebut untuk layanan tertentu.

2. Lonjakan Throughput dan Kapasitas

Uji lapangan di lingkungan jalan raya (*highway*) memberikan bukti nyata peningkatan kecepatan data:

- Perbandingan Kecepatan: Jaringan 5G NSA (*Non-Standalone*) mampu memberikan *throughput* unduhan rata-rata 80 Mbps hingga puncaknya 180 Mbps, jauh melampaui 4G yang rata-rata hanya 10-12 Mbps.
- Efisiensi Spektrum: Teknologi *Massive MIMO* dan *Beamforming* pada 5G memungkinkan penggunaan spektrum yang lebih efisien, menyalurkan sinyal secara terarah ke pengguna untuk meningkatkan kapasitas data.

3. Stabilitas Koneksi

Meskipun menawarkan kecepatan tinggi, data menunjukkan tantangan pada stabilitas sinyal 5G NSA:

- Variabilitas Sinyal: 5G menunjukkan variasi kekuatan sinyal (RSRP) yang lebih besar (rata-rata -82 dBm hingga -89 dBm) dibandingkan 4G yang lebih stabil (-76 dBm) di lingkungan bergerak cepat. Hal ini disebabkan oleh penggunaan frekuensi yang lebih tinggi (seperti 3.5 GHz) yang memiliki jangkauan lebih pendek.

C. Sintesis: Matriks Korelasi Arsitektur dan Kinerja

Sesuai dengan tujuan penelitian untuk menemukan hubungan kausalitas, tabel berikut merangkum bagaimana elemen arsitektur (Penyebab) menghasilkan kinerja spesifik (Akibat).

Tabel 1. Korelasi Transformasi Arsitektur terhadap Kinerja Jaringan

Perubahan Arsitektur (Input)	Mekanisme Teknis	Dampak Kinerja Terukur (Output)
Implementasi MEC (Edge Computing)	Memindahkan pemrosesan data dari inti terpusat ke tepi jaringan (dekat pengguna).	Penurunan Latensi: Mengurangi waktu tempuh data (<i>Round Trip Time</i>) secara drastis, vital untuk layanan <i>real-time</i> .

Virtualisasi (NFV & SDN)	Mengganti perangkat keras kaku dengan perangkat lunak fleksibel yang dapat diatur secara dinamis.	Skalabilitas & Efisiensi: Memungkinkan jaringan menangani lonjakan trafik mendadak tanpa perlu instalasi fisik baru.
Massive MIMO & Beamforming	Menggunakan banyak antena untuk memancarkan sinyal terarah (fokus) ke perangkat pengguna	Peningkatan Throughput: Meningkatkan kecepatan data hingga 10-20x lipat dibanding 4G meskipun di area padat.
Integrasi NSA (Non-Standalone)	Menggabungkan <i>Core</i> 4G dengan Radio 5G (New Radio).	Peningkatan Kecepatan Parsial: Memberikan kecepatan 5G namun dengan stabilitas sinyal yang masih bergantung pada cakupan 4G.

D. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Untuk memvalidasi kebaruan temuan ini, berikut adalah perbandingan posisi penelitian ini terhadap literatur yang diulas.

Tabel 2. Posisi Penelitian terhadap Studi Terdahulu

Peneliti	Fokus Studi	Temuan Utama	Perbedaan dengan Studi Ini
Sanchoyerto et al. (2019)	Dampak MEC pada layanan suara kritis (<i>Push-to-Talk</i>).	MEC mengurangi latensi pada layanan suara.	Fokus spesifik pada layanan suara; studi ini memperluas korelasi ke kinerja data (<i>throughput</i>) secara umum.

Tsoulos et al. (2024)	Uji lapangan 5G di jalan raya (<i>Highway</i>).	Data empiris <i>throughput</i> dan sinyal (RSRP) di kondisi bergerak.	Fokus pada data lapangan fisik; studi ini menggunakan data tersebut untuk membuktikan teori perubahan arsitektur SBA.
Čaušević & Medić (2021)	Evolusi teknis 4G ke 5G.	Perbandingan fitur teknis (Handoff, Modulasi).	Bersifat deskriptif teknis; studi ini lebih analitis menghubungkan fitur tersebut dengan hasil kinerja nyata.
Studi Ini	Korelasi Arsitektur vs Kinerja.	Sintesis holistik bahwa perubahan arsitektur (SBA/MEC) adalah penyebab utama lonjakan kinerja (Latensi/Throughput).	Mengintegrasikan aspek arsitektur dan data lapangan menjadi satu kesimpulan kausalitas yang utuh.

Analisis ini menyimpulkan bahwa transformasi menuju arsitektur berbasis layanan (SBA) dan komputasi tepi (MEC) merupakan faktor determinan utama yang memungkinkan 5G mencapai lompatan kinerja signifikan dibandingkan generasi sebelumnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa transisi dari 4G ke 5G merupakan perubahan paradigma dari arsitektur berbasis perangkat keras (*Evolved Packet Core*) ke sistem berbasis layanan dan virtualisasi (*Service-Based Architecture*). Hasil kajian membuktikan bahwa implementasi *Multi-access Edge Computing* (MEC) secara teknis menjadi faktor kunci yang menurunkan latensi secara drastis dibandingkan generasi sebelumnya. Secara empiris, meskipun 5G mampu memberikan lonjakan *throughput* hingga 180 Mbps—jauh melampaui 4G yang hanya 10-12 Mbps—stabilitas sinyal pada frekuensi tinggi masih menjadi tantangan utama dalam kondisi mobilitas tinggi. Dengan demikian, lonjakan

performa 5G secara keseluruhan merupakan hasil langsung dari transformasi struktur fisik dan logis jaringan melalui virtualisasi.

SARAN

Pengembang infrastruktur disarankan untuk memprioritaskan model migrasi *Standalone* (SA) guna mengoptimalkan fitur fleksibilitas jaringan secara penuh. Mengingat terbatasnya jangkauan frekuensi tinggi, diperlukan percepatan pembangunan infrastruktur sel kecil (*small cells*) yang lebih masif untuk menjaga stabilitas koneksi. Untuk penelitian selanjutnya, cakupan analisis perlu diperluas pada aspek keamanan jaringan tervirtualisasi serta efisiensi energi arsitektur SBA dalam menangani densitas koneksi IoT yang sangat padat di lingkungan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bagian ini disediakan bagi penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih, baik kepada pihak penyandang dana penelitian, pendukung fasilitas, atau bantuan ulasan naskah. Bagian ini juga dapat digunakan untuk memberikan pernyataan atau penjelasan, apabila artikel ini merupakan bagian dari skripsi/tesis/disertasi/makalah konferensi/hasil penelitian.

DAFTAR REFERENSI

- Čaušević, S., & Medić, A. (2021). 4G to 5G Network Evolution: Advantages and Differences. *SAR Journal - Science and Research*, 153–159. <https://doi.org/10.18421/sar44-01>
- Devi. (2022). How to Cite: 5G wireless network technology: The evolution of 5G and technological developments towards the successor of 5G: Comparison. *540825414*. Retrieved from *International Journal of Health Sciences*, 6(S8). <https://sciencescholar.us/journal/index.php/ijhs/article/view/13465>
- Sanchoyerto, A., Solozabal, R., Blanco, B., & Liberal, F. (2019). Analysis of the Impact of the Evolution Toward 5G Architectures on Mission Critical Push-to-Talk Services. *IEEE Access*, 7, 115052–115061. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2930936>
- Skosana, S., Mlambo, S., Madiope, T., & Thango, B. (2024). *Evaluating Wireless Network Technologies (3G, 4G, 5G) and Their Infrastructure: A Systematic Review*. <https://doi.org/10.20944/preprints202410.1331.v1>
- Tsoulos, G., Athanasiadou, G., Nikitopoulos, G., Tsoulos, V., & Zarbouti, D. (2024). Empirical Insights into 5G Deployments in Highway Operational Environments and Comparative Performance with 4G. *Electronics (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/electronics13081533>