



Analisis Komprehensif Tantangan Implementasi Network Slicing pada Jaringan 5G Menggunakan Metode Systematic Literature Review

Muhammad Erlangga¹, Siska Aulia², Zurnawita³, Yulindon⁴

¹²³⁴ Sarjana Terapan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang, Padang, Sumatera Barat, Indonesia,

*Penulis Korespondensi: merlangga0253@gmail.com

Abstract. *The development of 5G networks has introduced the concept of network slicing as a solution to support diverse services with heterogeneous requirements within a single integrated network infrastructure. However, its implementation faces various complex and interrelated challenges. This study aims to comprehensively identify and analyze the challenges of network slicing implementation through a Systematic Literature Review (SLR) approach. The method used follows the Kitchenham guidelines and the PRISMA framework by analyzing literature from various scientific databases during the 2020–2025 period. The results of the study indicate that the challenges of network slicing implementation are multidimensional, encompassing technical, operational, and security aspects that interact with one another. In the technical aspect, the main challenges include the complexity of end-to-end orchestration, dynamic resource allocation, inter-slice isolation, and multi-domain interoperability. In the operational aspect, issues arise regarding the fulfillment of Service Level Agreements (SLAs), scalability, and the need for network automation. Meanwhile, in the security aspect, the increased attack surface resulting from virtualization and multi-tenant environments is a critical issue. Furthermore, the research findings reveal causal relationships among these challenges as well as trade-offs between efficiency, isolation, and security. The novelty of this research lies in the development of an integrated literature synthesis across all aspects and the comprehensive identification of relationships among these challenges. These findings are expected to serve as a foundation for the development of adaptive solutions to support the implementation of network slicing in next-generation networks.*

Keywords: *Network Slicing in 5G; network slicing architecture; network slicing security; 5G Network Virtualization; 5G Network Slicing Challenges*

Abstrak. Perkembangan jaringan 5G menghadirkan konsep *network slicing* sebagai solusi untuk mendukung beragam layanan dengan kebutuhan yang heterogen dalam satu infrastruktur jaringan terpadu. Namun, implementasinya menghadapi berbagai tantangan yang kompleks dan saling berkaitan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tantangan implementasi *network slicing* secara komprehensif melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Metode yang digunakan mengacu pada pedoman Kitchenham serta kerangka PRISMA dengan menganalisis literatur dari berbagai basis data ilmiah dalam periode 2020–2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa tantangan implementasi *network slicing* bersifat multidimensi, mencakup aspek teknis, operasional, dan keamanan yang saling berinteraksi. Pada aspek teknis, tantangan utama meliputi kompleksitas orkestrasi *end-to-end*, alokasi sumber daya dinamis, isolasi antar-*slice*, serta interoperabilitas *multi-domain*. Pada aspek operasional, permasalahan muncul dalam pemenuhan *Service Level Agreement* (SLA), skalabilitas, serta kebutuhan otomasi jaringan. Sementara itu, pada aspek keamanan, peningkatan *attack surface* akibat virtualisasi dan lingkungan *multi-tenant* menjadi isu kritis. Selain itu, hasil penelitian mengungkap adanya hubungan kausal antar tantangan serta *trade-off* antara efisiensi, isolasi, dan keamanan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penyusunan sintesis literatur yang terintegrasi lintas aspek serta identifikasi hubungan antar tantangan secara komprehensif. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan solusi adaptif untuk mendukung implementasi *network slicing* pada jaringan generasi mendatang.

Kata kunci: *Network Slicing in 5G; network slicing architecture; network slicing security; 5G Network Virtualization; 5G Network Slicing Challenges*

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi jaringan seluler generasi kelima (5G) telah membawa transformasi signifikan dalam sistem komunikasi modern untuk memenuhi kebutuhan konektivitas yang semakin kompleks. Jaringan 5G mampu mendukung berbagai layanan dengan kebutuhan tinggi seperti *virtual reality*, *augmented reality*, dan *mobile online gaming*, yang menuntut kecepatan tinggi, latensi rendah, serta kapasitas besar (Subedi et al., 2021). Berbeda dengan generasi sebelumnya, 5G juga mengedepankan fleksibilitas arsitektur jaringan untuk mendukung berbagai layanan secara simultan, seperti *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, *Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC)*, dan *massive Machine-Type Communications (mMTC)* (Li et al., 2021).

Untuk mengakomodasi keragaman kebutuhan tersebut, diperlukan pendekatan yang lebih adaptif, salah satunya melalui konsep *network slicing* yang memungkinkan pembentukan beberapa jaringan virtual dalam satu infrastruktur fisik. Berbagai penelitian telah mengkaji *network slicing* dari aspek arsitektur, isolasi, keamanan, hingga pemanfaatan *machine learning* (Li et al., 2021; Afolayan et al., 2022; Min et al., 2024; Dias et al., 2025; Wijethilaka & Liyanage, 2021). Namun, implementasinya masih menghadapi tantangan seperti orkestrasi end-to-end, alokasi sumber daya dinamis, serta risiko keamanan dalam lingkungan *multi-domain* dan *multi-tenant*.

Di sisi lain, sebagian besar penelitian masih membahas tantangan tersebut secara terpisah dan belum mengintegrasikannya dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam memahami keterkaitan antar aspek teknis, operasional, dan keamanan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyajikan kajian literatur yang sistematis menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* guna mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis berbagai tantangan implementasi *network slicing* secara terintegrasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh serta menjadi dasar bagi pengembangan solusi dan penelitian lanjutan.

KAJIAN TEORITIS

Jaringan seluler generasi kelima (5G) merupakan evolusi teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk mendukung kebutuhan konektivitas modern dengan

karakteristik performa yang tinggi, fleksibel, dan efisien. Berbeda dengan generasi sebelumnya, 5G mengintegrasikan berbagai teknologi kunci seperti *software-defined networking* (SDN) dan *network function virtualization* (NFV) yang memungkinkan pemisahan antara fungsi kontrol dan data, serta virtualisasi fungsi jaringan pada infrastruktur berbasis perangkat lunak. Pendekatan ini memberikan kemampuan konfigurasi jaringan yang lebih dinamis dan adaptif terhadap berbagai kebutuhan layanan (Li et al., 2021). Secara umum, arsitektur 5G mendukung tiga kategori layanan utama, yaitu *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) untuk kebutuhan data berkecepatan tinggi, *Ultra-Reliable Low-Latency Communications* (URLLC) untuk komunikasi dengan latensi rendah dan keandalan tinggi, serta *massive Machine-Type Communications* (mMTC) untuk konektivitas perangkat dalam jumlah besar.

Konsep *network slicing* merupakan salah satu komponen utama dalam arsitektur jaringan 5G yang memungkinkan pembentukan beberapa jaringan virtual (*slice*) di atas satu infrastruktur fisik yang sama. Setiap *slice* dirancang dengan karakteristik tertentu sesuai dengan kebutuhan layanan, seperti kapasitas, latensi, dan tingkat keandalan. Dengan demikian, *network slicing* memungkinkan diferensiasi layanan secara fleksibel dalam satu jaringan terpadu. Implementasi konsep ini didukung oleh teknologi virtualisasi dan orkestrasi jaringan yang memungkinkan pengelolaan siklus hidup *slice*, mulai dari perencanaan, penyediaan, hingga pengelolaan operasional secara otomatis dan terintegrasi (Afolayan et al., 2022).

Dalam kerangka operasionalnya, *network slicing* melibatkan beberapa fungsi utama, antara lain orkestrasi jaringan, manajemen sumber daya, serta mekanisme isolasi antar-*slice*. Orkestrasi jaringan berperan dalam mengoordinasikan berbagai sumber daya jaringan dan fungsi virtual untuk memastikan bahwa setiap *slice* dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan layanan yang ditetapkan. Manajemen sumber daya bertujuan untuk mengalokasikan kapasitas jaringan secara efisien pada setiap *slice*, sehingga dapat mendukung performa layanan yang optimal. Sementara itu, isolasi antar-*slice* merupakan mekanisme yang memastikan bahwa setiap *slice* beroperasi secara independen tanpa saling memengaruhi, baik dari segi performa maupun keamanan, khususnya dalam lingkungan jaringan yang bersifat *multi-tenant* dan *multi-domain*.

Aspek keamanan dalam *network slicing* menjadi bagian penting yang berkaitan dengan perlindungan data, kontrol akses, serta integritas sistem jaringan. Arsitektur

berbasis virtualisasi memungkinkan pemisahan sumber daya secara logis, namun juga memerlukan mekanisme pengamanan yang mampu menjaga isolasi antar-*slice* serta mencegah akses tidak sah terhadap sumber daya jaringan. Pendekatan keamanan dalam konteks ini mencakup autentikasi, otorisasi, serta pengelolaan identitas yang terintegrasi dalam sistem orkestrasi jaringan. Selain itu, penggunaan perangkat Internet of Things (IoT) dalam jaringan 5G menambah kompleksitas pengelolaan keamanan karena karakteristik perangkat yang beragam dan tersebar (Dias et al., 2025; Min et al., 2024).

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan kecerdasan buatan dan *machine learning* dalam jaringan 5G semakin banyak diterapkan, khususnya dalam pengelolaan *network slicing*. Teknologi ini digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan secara otomatis dalam alokasi sumber daya, prediksi pola trafik, serta optimasi performa jaringan secara real-time. *Machine learning* memungkinkan sistem untuk mengenali pola penggunaan jaringan dan menyesuaikan konfigurasi *slice* secara dinamis berdasarkan kondisi aktual jaringan. Pendekatan ini berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi operasional serta kualitas layanan yang diberikan kepada pengguna (Wijethilaka & Liyanage, 2021).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi dalam pengembangan konsep dan implementasi *network slicing* pada jaringan 5G. Subedi et al. (2021) mengkaji karakteristik jaringan 5G serta kebutuhan layanan yang menjadi dasar pengembangan arsitektur jaringan modern. Li et al. (2021) membahas integrasi teknologi virtualisasi dalam mendukung fleksibilitas jaringan, sedangkan Afolayan et al. (2022) meninjau prinsip dan mekanisme *network slicing* secara menyeluruh. Penelitian oleh Min et al. (2024) dan Dias et al. (2025) menyoroti aspek integrasi IoT serta keamanan jaringan dalam lingkungan 5G. Selain itu, Wijethilaka dan Liyanage (2021) mengkaji penerapan *machine learning* dalam pengelolaan *network slicing*. Berbagai penelitian tersebut menjadi landasan teoritis yang mendukung pemahaman mengenai konsep, arsitektur, serta mekanisme operasional *network slicing* dalam jaringan 5G.

Berdasarkan uraian tersebut, kajian teoritis ini memberikan landasan konseptual yang mencakup arsitektur jaringan 5G, konsep *network slicing*, mekanisme pengelolaan sumber daya, aspek keamanan, serta pemanfaatan teknologi cerdas dalam pengelolaan jaringan. Landasan ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis dan memahami

berbagai aspek yang berkaitan dengan implementasi *network slicing* secara komprehensif.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkaji secara komprehensif berbagai aspek terkait implementasi *network slicing* pada jaringan 5G. Metode SLR dipilih karena mampu mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil penelitian secara sistematis sehingga menghasilkan pemahaman yang objektif, terstruktur, serta dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Pelaksanaan metode ini mengacu pada pedoman yang dikemukakan oleh Kitchenham dan Charters (2007), serta diperkuat dengan standar pelaporan *systematic review* dari Moher et al. (2009) melalui kerangka PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang mencakup tahapan identifikasi, penyaringan (*screening*), kelayakan (*eligibility*), dan inklusi (*inclusion*).

A. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini bersifat kualitatif dengan pendekatan *systematic literature review*. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi, mengkaji, dan mensintesis berbagai penelitian yang relevan dengan topik *network slicing* pada jaringan 5G. Secara konseptual, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi perkembangan penelitian terkait *network slicing*, menganalisis berbagai aspek implementasi yang dilaporkan dalam literatur, serta menyusun sintesis temuan penelitian secara tematik.

Pendekatan SLR banyak digunakan dalam bidang teknologi informasi karena mampu meningkatkan transparansi proses penelitian serta meminimalkan potensi bias dalam pemilihan dan analisis literatur (Kitchenham & Charters, 2007; Snyder, 2019).

B. Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data ilmiah bereputasi, yaitu IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, dan Scopus, yang dipilih karena relevansinya dalam bidang teknologi komunikasi dan jaringan. Proses pencarian menggunakan kata kunci seperti “*network slicing in 5G*”, “*5G network slicing challenges*”, “*network slicing architecture*”, “*network slicing security*”, dan “*5G network virtualization*” untuk mencakup berbagai aspek implementasi.

Kriteria literatur yang digunakan meliputi publikasi tahun 2020–2025, berbahasa Inggris, serta berupa artikel jurnal dan prosiding konferensi yang telah melalui proses *peer-review*, guna memastikan kualitas dan kebaruan sumber yang digunakan.

C. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Setelah proses pencarian, artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas *network slicing* pada jaringan 5G, dipublikasikan pada jurnal atau prosiding *peer-reviewed*, terbit pada tahun 2020–2025, serta relevan dengan aspek implementasi dan tantangan.

Sebaliknya, kriteria eksklusi mencakup artikel yang tidak relevan secara langsung, hanya membahas 5G secara umum, tidak tersedia *full-text*, atau merupakan duplikasi. Proses ini bertujuan untuk memastikan literatur yang digunakan sesuai dengan fokus penelitian.

D. Proses Seleksi dan Analisis Literatur

Proses seleksi literatur dilakukan berdasarkan kerangka PRISMA yang meliputi tahap identifikasi, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion*. Pada tahap identifikasi, seluruh artikel dikumpulkan berdasarkan kata kunci yang telah ditentukan. Selanjutnya, tahap *screening* dilakukan dengan meninjau judul dan abstrak untuk mengeliminasi artikel yang tidak relevan.

Artikel yang lolos kemudian dianalisis pada tahap *eligibility* melalui *full-text review* untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria inklusi. Artikel yang memenuhi kriteria dimasukkan ke tahap *inclusion* dan digunakan dalam analisis. Proses analisis dilakukan dengan pendekatan tematik, yaitu mengelompokkan temuan berdasarkan aspek seperti arsitektur, manajemen sumber daya, dan keamanan, sehingga menghasilkan sintesis yang lebih terstruktur dan komprehensif.

E. Teknik Analisis Literatur

Setelah proses seleksi selesai, tahap berikutnya adalah analisis literatur menggunakan pendekatan *thematic analysis*, yaitu dengan mengidentifikasi dan mengelompokkan tema-tema utama dari penelitian terkait *network slicing* pada jaringan 5G. Setiap artikel dianalisis untuk menemukan konsep, temuan, dan isu utama, kemudian dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik untuk membentuk pola analisis.

Pendekatan ini memungkinkan penyusunan sintesis literatur yang terstruktur serta mengidentifikasi keterkaitan antar penelitian, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif dan tidak hanya bersifat deskriptif.

F. Kerangka Analisis Tantangan

Berdasarkan Berdasarkan hasil kajian literatur, analisis dilakukan menggunakan kerangka tiga aspek utama, yaitu teknis, operasional, dan keamanan, untuk mengelompokkan berbagai tantangan implementasi *network slicing* pada jaringan 5G secara sistematis. Aspek teknis mencakup arsitektur, orkestrasi, dan pengelolaan sumber daya, aspek operasional berkaitan dengan skalabilitas, efisiensi, dan kualitas layanan, sedangkan aspek keamanan meliputi perlindungan data, keamanan virtualisasi, dan risiko pada lingkungan *multi-tenant*.

Kerangka ini digunakan sebagai dasar analisis tematik untuk menyusun sintesis literatur yang terarah dan komprehensif, sehingga memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kompleksitas implementasi *network slicing* pada jaringan 5G.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Klasifikasi Tantangan Implementasi Network Slicing pada Jaringan

Hasil Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa implementasi *network slicing* pada jaringan 5G menghadapi tantangan teknis yang kompleks, terutama pada aspek orkestrasi jaringan, pengelolaan sumber daya, dan interoperabilitas antar domain. Hal ini dipicu oleh kebutuhan untuk mendukung berbagai layanan seperti *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-Reliable Low-Latency Communications* (URLLC), dan *massive Machine-Type Communications* (mMTC) dengan karakteristik yang berbeda (Subedi et al., 2021). Dalam lingkungan *multi-domain*, kompleksitas orkestrasi meningkat akibat perbedaan karakteristik jaringan yang menyebabkan *signaling overhead* serta memperlambat pengambilan keputusan, sehingga berdampak pada performa layanan (Afolayan et al., 2022; Li et al., 2021).

Dari sisi manajemen sumber daya, alokasi secara dinamis menjadi semakin sulit akibat meningkatnya jumlah *slice* dan heterogenitas kebutuhan layanan. Kondisi ini memunculkan *trade-off* antara efisiensi sumber daya, isolasi performa, dan konsumsi energi. Pemanfaatan sumber daya bersama dapat meningkatkan efisiensi, namun

berpotensi menurunkan isolasi antar-*slice* (Afolayan et al., 2022), sementara optimasi end-to-end pada arsitektur *cloud-RAN* dapat mengurangi konsumsi energi tetapi meningkatkan latensi (Masoudi et al., 2022).

Selain itu, integrasi Internet of Things (IoT) semakin menambah kompleksitas akibat karakteristik trafik yang dinamis dan heterogen, sehingga menyulitkan klasifikasi dan alokasi sumber daya (Min et al., 2024; Singh et al., 2020). Pendekatan berbasis *machine learning*, seperti PCA dan *K-Means*, serta konsep *sub-slicing*, dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan jaringan. Integrasi SDN, NFV, dan *machine learning* juga mendukung orkestrasi yang lebih adaptif (Wijethilaka & Liyanage, 2021; Martins et al., 2023). Namun demikian, tantangan seperti efektivitas isolasi dan keterbatasan interoperabilitas antar domain masih menjadi isu utama (Afolayan et al., 2022).

Secara keseluruhan, tantangan teknis *network slicing* berakar pada kompleksitas pengelolaan sumber daya secara real-time dalam lingkungan yang heterogen serta adanya *trade-off* antara fleksibilitas layanan, performa, dan efisiensi energi.

1. Tantangan Teknis

Implementasi *network slicing* pada jaringan 5G menghadapi tantangan teknis pada aspek orkestrasi, pengelolaan sumber daya, dan interoperabilitas antar domain. Hal ini dipengaruhi oleh kebutuhan untuk mendukung layanan seperti eMBB, URLLC, dan mMTC dengan karakteristik performa yang berbeda (Subedi et al., 2021). Dalam lingkungan *multi-domain*, kompleksitas orkestrasi meningkat akibat perbedaan karakteristik jaringan yang menyebabkan *signaling overhead* serta memperlambat pengambilan keputusan, sehingga berdampak pada performa layanan (Afolayan et al., 2022; Li et al., 2021).

Dari sisi sumber daya, alokasi dinamis menjadi semakin kompleks akibat meningkatnya jumlah *slice* dan heterogenitas kebutuhan layanan. Kondisi ini menimbulkan *trade-off* antara efisiensi, isolasi, dan konsumsi energi, di mana optimasi end-to-end dapat meningkatkan efisiensi namun berpotensi menambah latensi (Masoudi et al., 2022). Selain itu, karakteristik trafik IoT yang dinamis turut memperumit klasifikasi dan alokasi sumber daya (Min et al., 2024; Singh et al., 2020).

Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan berbasis *machine learning* seperti PCA, *K-Means*, dan konsep *sub-slicing* digunakan untuk meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya. Integrasi SDN, NFV, serta arsitektur *slice-as-a-service* juga mendukung orkestrasi yang lebih adaptif (Wijethilaka & Liyanage, 2021; Martins et al., 2023). Namun demikian, tantangan isolasi antar-*slice* dan interoperabilitas masih menjadi isu utama, terutama pada kondisi jaringan dengan beban tinggi.

2. Tantangan Operasional

Selain aspek teknis, implementasi *network slicing* juga menghadapi tantangan operasional yang berkaitan dengan manajemen jaringan, skalabilitas sistem, serta pemenuhan kualitas layanan. Kompleksitas manajemen siklus hidup (*lifecycle management*) *network slice*, yang mencakup perencanaan, penyediaan, pemantauan, dan optimasi, menjadi semakin tinggi terutama dalam lingkungan *multi-domain* yang memerlukan orkestrasi end-to-end (Afolayan et al., 2022). Di sisi lain, peningkatan jumlah perangkat dan layanan, khususnya pada skenario mMTC, menuntut kemampuan jaringan untuk beradaptasi secara dinamis terhadap fluktuasi trafik (Subedi et al., 2021).

Pemenuhan kualitas layanan (QoS) dan *Quality of Experience* (QoE) menjadi tantangan penting karena setiap *slice* memiliki kebutuhan performa yang berbeda. Variasi ini menyulitkan proses penjadwalan dan alokasi sumber daya secara optimal (Min et al., 2024). Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan berbasis *machine learning* digunakan untuk mendukung otomatisasi pengelolaan jaringan serta prediksi trafik (Wijethilaka & Liyanage, 2021). Konsep *slice-as-a-service* juga memungkinkan fleksibilitas dalam penyediaan layanan jaringan (Martins et al., 2023).

Lebih lanjut, pengembangan orkestrasi berbasis *machine learning* yang lebih canggih, seperti yang diusulkan oleh A. Efunogbon et al. (2025), memungkinkan pengelolaan sumber daya secara real-time dan otomatis melalui pendekatan *sub-slicing*. Pendekatan ini mendukung efisiensi operasional serta model layanan baru seperti *Network as a Service* (NaaS). Namun demikian, tantangan dalam integrasi sistem, kebutuhan komputasi, serta efisiensi energi tetap menjadi isu penting, sebagaimana ditunjukkan oleh Masoudi et al. (2022).

3. Tantangan Keamanan

Keamanan menjadi aspek krusial dalam implementasi *network slicing* karena arsitektur virtualisasi dan lingkungan *multi-tenant* meningkatkan potensi kerentanan, terutama terkait isolasi antar-*slice* dan serangan pada lapisan SDN/NFV (Afolayan et al., 2022). Dalam konteks IoT, risiko semakin meningkat akibat heterogenitas perangkat dan keterbatasan keamanannya (Min et al., 2024). Penelitian oleh Dias et al. (2025) dan Gao et al. (2024) mengidentifikasi berbagai vektor serangan serta ancaman keamanan, sekaligus menekankan pentingnya *real-time monitoring*, kontrol akses, dan mekanisme mitigasi yang komprehensif.

Untuk mengatasi hal tersebut, pendekatan berbasis *machine learning* mulai digunakan dalam deteksi ancaman secara proaktif, serta didukung oleh konsep *slice-tailored security* untuk meningkatkan perlindungan sistem (Wijethilaka & Liyanage, 2021; Martins et al., 2023). Secara keseluruhan, keamanan *network slicing* memerlukan pendekatan yang holistik dan adaptif guna menjaga keandalan jaringan 5G.

B. Sintesis dan Keterkaitan Antar Tantangan

Berdasarkan Berdasarkan hasil analisis, berbagai tantangan dalam implementasi *network slicing* pada jaringan 5G saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan. Tantangan teknis, seperti kompleksitas orkestrasi *multi-domain* dan pengelolaan sumber daya dinamis, secara langsung memengaruhi aspek operasional, khususnya dalam manajemen siklus hidup *slice*, skalabilitas, dan kualitas layanan. Ketidakefisienan pada aspek teknis dapat menurunkan performa sekaligus meningkatkan kompleksitas pengelolaan jaringan (Afolayan et al., 2022; Min et al., 2024).

Di sisi lain, tantangan operasional juga berdampak pada aspek keamanan, terutama dalam lingkungan *multi-tenant* yang rentan terhadap kegagalan isolasi dan kerentanan orkestrasi. Selain itu, integrasi teknologi seperti SDN, NFV, dan *machine learning* meningkatkan fleksibilitas sekaligus membuka potensi risiko baru pada lapisan virtualisasi dan sistem pembelajaran (Dias et al., 2025; Gao et al., 2024; Wijethilaka & Liyanage, 2021). Secara keseluruhan, tantangan teknis, operasional, dan keamanan membentuk sistem yang saling terintegrasi, sehingga diperlukan pendekatan yang holistik untuk mengatasinya secara efektif.

C. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Untuk menunjukkan posisi dan kebaruan penelitian, Tabel 1 menyajikan perbandingan antara penelitian ini dengan beberapa studi terdahulu terkait implementasi *network slicing* pada jaringan 5G.

Tabel 1. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti & Tahun	Fokus	Temuan Utama	Keterbatasan & Kontribusi Penelitian Ini
Subedi et al. (2021)	Arsitektur dan karakteristik 5G	Mengidentifikasi kebutuhan layanan eMBB, URLLC, dan mMTC sebagai dasar 5G	Terbatas pada konsep umum 5G → Penelitian ini mengkaji implementasi <i>network slicing</i> secara spesifik
Li et al. (2021)	Arsitektur dan orkestrasi slicing	Menjelaskan virtualisasi dan orkestrasi jaringan	Fokus arsitektur → Penelitian ini mengintegrasikan aspek teknis, operasional, dan keamanan
Afolayan et al. (2022)	Virtualisasi dan slicing	Menyoroti isolasi antar-slice dan multi-domain	Belum mengkaji keterkaitan antar aspek → Penelitian ini menyusun analisis terintegrasi
Min et al. (2024)	IoT dan slicing	Kompleksitas trafik IoT dan kebutuhan ML	Fokus IoT → Penelitian ini menghubungkan IoT dengan aspek lain secara komprehensif
Singh et al. (2020)	Sub-slicing berbasis ML	Pembagian slice menjadi sub-slice untuk efisiensi	Terbatas teknis → Penelitian ini mengaitkan dengan operasional dan keamanan

Wijethilaka & Liyanage (2021)	ML dalam slicing	ML meningkatkan efisiensi orkestrasi dan resource	Fokus solusi ML → Penelitian ini membahas tantangan implementasi ML
Martins et al. (2023)	Arsitektur slicing modern	Slice-as-a-service dan integrasi ML	Fokus arsitektur → Penelitian ini menambahkan analisis trade-off dan implementasi
Masoudi et al. (2022)	Efisiensi energi	Trade-off antara energi dan performa	Fokus energi → Penelitian ini mengintegrasikan dengan resource dan QoS
Dias et al. (2025)	Keamanan slicing	Identifikasi attack vector dan monitoring	Fokus keamanan teknis → Penelitian ini mengaitkan keamanan dengan operasional
Gao et al. (2024)	Survey keamanan	Identifikasi >70 ancaman dan requirement	Fokus klasifikasi → Penelitian ini mengintegrasikan dengan analisis implementasi
Efunogbon et al. (2025)	Orkestrasi ML	Orkestrasi otomatis real-time	Fokus sistem spesifik → Penelitian ini membahas skalabilitas dan integrasi
Penelitian ini (2025)	Analisis komprehensif <i>network slicing</i> 5G	Mengklasifikasikan tantangan menjadi teknis, operasional, dan keamanan serta menganalisis keterkaitan antar aspek	Mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya dengan pendekatan SLR terintegrasi lintas aspek serta sintesis hubungan antar tantangan

Secara keseluruhan, kajian ini tidak hanya mengonfirmasi temuan dari penelitian terdahulu, tetapi juga memberikan kontribusi dengan menghadirkan analisis yang bersifat multidimensi serta mengungkap keterkaitan dan hubungan kausal antar tantangan yang sebelumnya belum dikaji secara terintegrasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, implementasi *network slicing* pada jaringan 5G menghadapi tantangan kompleks yang mencakup aspek teknis, operasional, dan keamanan. Tantangan teknis meliputi kompleksitas orkestrasi *multi-domain*, pengelolaan sumber daya dinamis, serta *trade-off* antara efisiensi, performa, dan energi. Pada aspek operasional, tantangan muncul dalam manajemen siklus hidup *slice*, skalabilitas, dan pemenuhan kualitas layanan, sementara aspek keamanan berkaitan dengan isolasi antar-*slice*, kerentanan virtualisasi, serta risiko serangan dalam lingkungan *multi-tenant*.

Selain itu, berbagai tantangan tersebut saling berkaitan, di mana kompleksitas teknis berdampak pada operasional dan meningkatkan risiko keamanan. Oleh karena itu, implementasi *network slicing* memerlukan pendekatan yang holistik dan terintegrasi. Penelitian ini berkontribusi melalui analisis multidimensi yang mengintegrasikan berbagai aspek serta mengungkap keterkaitan antar tantangan, sehingga memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya.

B. SARAN

Pengembangan *network slicing* pada jaringan 5G ke depan memerlukan pendekatan yang lebih adaptif dan terintegrasi untuk menghadapi kompleksitas lingkungan *multi-domain* dan heterogenitas layanan. Penelitian selanjutnya diharapkan mampu mengembangkan orkestrasi yang lebih cerdas dan dinamis, serta meningkatkan pemanfaatan *machine learning* tidak hanya pada simulasi, tetapi juga pada implementasi nyata dengan dukungan dataset yang representatif.

Selain itu, aspek efisiensi energi dan keamanan perlu menjadi fokus utama, melalui optimasi end-to-end serta pengembangan mekanisme perlindungan yang lebih adaptif, seperti deteksi ancaman berbasis kecerdasan buatan dan peningkatan isolasi antar-*slice*.

Secara keseluruhan, diperlukan pendekatan yang mengintegrasikan aspek teknis, operasional, dan keamanan untuk menghasilkan sistem *network slicing* yang efisien, fleksibel, dan andal dalam mendukung layanan 5G.

DAFTAR REFERENSI

- Afolayan, A. O., Taleb, T., Samdanis, K., & Ksentini, A. (2022). Network slicing and softwarization: A survey on principles, enabling technologies, and solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(1), 245–289. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3119121>.
- Dias, J., Pinto, P., Santos, R., & Malta, S. (2025). 5G network slicing: Security challenges, attack vectors, and mitigation approaches. *Sensors*, 25(13), 3940. <https://doi.org/10.3390/s25133940>.
- Efunogbon, A., Liu, E., Qiu, R., & Efunogbon, T. (2025). Optimal 5G network sub-slicing orchestration in a fully virtualised smart company using machine learning. *Future Internet*, 17(2), 69. <https://doi.org/10.3390/fi17020069>.
- Gao, S., Lin, R., Fu, Y., Li, H., & Cao, J. (2024). Security threats, requirements and recommendations on creating 5G network slicing system: A survey. *Electronics*, 13(10), 1860. <https://doi.org/10.3390/electronics13101860>.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. EBSE Technical Report, Keele University and Durham University.
- Li, X., Samdanis, K., Taleb, T., Corici, M., Fu, Y., & Elmokashfi, A. (2021). Network slicing for 5G: Challenges and opportunities. *IEEE Internet Computing*, 25(3), 20–27. <https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3056675>.
- Martins, J. S. B., Carvalho, T. C., Moreira, R., Both, C. B., Donatti, A., Corrêa, J. H., & Silva, F. D. O. (2023). Enhancing network slicing architectures with machine learning, security, sustainability and experimental networks integration. *IEEE Access*, 11, 69144–69163. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3290000>.
- Masoudi, M., Demir, Ö. T., Zander, J., & Cavdar, C. (2022). Energy-optimal end-to-end network slicing in cloud-based architecture. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 574–592. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3150000>.

- Min, Z., Gokhale, S., Shekhar, S., Mahmoudi, C., Kang, Z., Barve, Y., & Gokhale, A. (2024). Enhancing 5G network slicing for IoT traffic with a novel clustering framework. *Pervasive and Mobile Computing*, 104, 101974. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2023.101974>.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- Singh, S. K., Salim, M. M., Cha, J., Pan, Y., & Park, J. H. (2020). Machine learning-based network sub-slicing framework in a sustainable 5G environment. *Sustainability*, 12(15), 6250. <https://doi.org/10.3390/su12156250>.
- Subedi, R., Nguyen, T. H., & Jung, H. (2021). A comprehensive survey on 5G network slicing: Architecture and challenges. *IEEE Access*, 9, 110842–110867. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102300>.
- Wijethilaka, S., & Liyanage, M. (2021). Survey on network slicing for Internet of Things realization in 5G networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(2), 957–994. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3055905>