

## Perkembangan Konsep *Open Radio Access Network* (O-RAN) dalam Arsitektur Jaringan Seluler Modern: Tinjauan Literatur

Taura Ramadhani<sup>1</sup>, Yulindon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Terapan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang,  
Padang, Sumatera Barat, Indonesia.

\*Penulis Korespondensi: [tauraramadhani10@gmail.com](mailto:tauraramadhani10@gmail.com)

**Abstract.** *The development of cellular networks toward 5G and 6G introduces new challenges related to flexibility, efficiency, and interoperability in the Radio Access Network (RAN) architecture. Traditional RAN architectures, which are monolithic and proprietary in nature, are considered insufficient to meet the increasingly complex demands of modern communication networks. Therefore, the concept of Open Radio Access Network (O-RAN) has emerged as a solution through an open, distributed, and virtualization-based approach. This study aims to examine the development of the O-RAN concept in modern cellular network architectures using a literature review method with a qualitative approach. The research data were obtained from 10 reputable international journals published between 2020 and 2025 and analyzed using descriptive, comparative, and critical approaches. The results show that O-RAN represents a significant evolution from previous RAN architectures by improving network flexibility and interoperability through the implementation of open interfaces and the multi-vendor concept. The integration of supporting technologies such as Software Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV), and Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML) also enhances network efficiency, automation, and adaptive capabilities in real-time. Furthermore, several implementation studies indicate that O-RAN is capable of delivering competitive network performance while supporting deployment flexibility for 5G networks and future 6G development. However, the implementation of O-RAN still faces several challenges, including system integration complexity, interoperability among vendors, high computational requirements, and network security issues. This study contributes a comprehensive literature synthesis regarding the evolution, supporting technologies, implementation challenges, and future development directions of O-RAN in modern cellular networks. The findings are expected to serve as a reference for developing more open, flexible, adaptive, and sustainable cellular network architectures.*

**Keywords:** *AI/ML; network virtualization; NFV; Open Radio Access Network (O-RAN); RAN architecture; SDN; multi-vendor interoperability*

**Abstrak.** Perkembangan jaringan seluler menuju 5G dan 6G menghadirkan tantangan baru terkait fleksibilitas, efisiensi, dan interoperabilitas dalam arsitektur *Radio Access Network* (RAN). Arsitektur RAN tradisional yang bersifat monolitik dan *proprietary* dinilai kurang mampu memenuhi kebutuhan jaringan modern yang semakin kompleks. Oleh karena itu, konsep *Open Radio Access Network* (O-RAN) muncul sebagai solusi dengan pendekatan terbuka, terdistribusi, dan berbasis virtualisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan konsep O-RAN dalam arsitektur jaringan seluler modern melalui metode *literature review* dengan pendekatan kualitatif. Data penelitian diperoleh dari 10 jurnal internasional bereputasi yang dipublikasikan pada periode 2020–2025 dan dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif, komparatif, dan kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa O-RAN merupakan evolusi signifikan dari arsitektur RAN sebelumnya yang mampu meningkatkan fleksibilitas dan interoperabilitas jaringan melalui konsep *multi-vendor* dan antarmuka terbuka. Integrasi teknologi pendukung seperti *Software Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV), dan *Artificial Intelligence/Machine Learning* (AI/ML) juga mendukung peningkatan efisiensi, otomatisasi, dan kemampuan adaptif jaringan secara *real-time*. Selain itu, beberapa penelitian implementatif menunjukkan bahwa O-RAN mampu memberikan performa jaringan yang kompetitif serta mendukung fleksibilitas *deployment* pada jaringan 5G dan pengembangan menuju 6G. Namun demikian, implementasi O-RAN masih menghadapi berbagai tantangan, seperti kompleksitas sistem, interoperabilitas antar vendor, kebutuhan komputasi tinggi, dan aspek keamanan jaringan. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa sintesis literatur yang komprehensif mengenai evolusi, teknologi pendukung, tantangan, dan arah pengembangan O-RAN dalam jaringan seluler modern. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan arsitektur jaringan seluler yang lebih terbuka, fleksibel, adaptif, dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** AI/ML; arsitektur RAN; interoperabilitas *multi-vendor*; NFV; *Open Radio Access Network* (O-RAN); SDN; virtualisasi jaringan

## 1. LATAR BELAKANG

Perkembangan jaringan seluler modern mengalami transformasi signifikan seiring meningkatnya kebutuhan layanan komunikasi yang semakin beragam, seperti enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable low latency communication (URLLC), dan massive machine-type communication (mMTC) pada era 5G hingga menuju 6G. Kompleksitas jaringan meningkat akibat pertumbuhan jumlah pengguna, densifikasi jaringan, serta tuntutan kualitas layanan (QoS) dan kualitas pengalaman pengguna (QoE) yang semakin tinggi (Alam et al., 2025). Selain itu, integrasi berbagai teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan aplikasi real-time turut mendorong kebutuhan akan arsitektur jaringan yang lebih fleksibel, adaptif, dan efisien (Brik et al., 2022; Polese et al., 2023). Meskipun demikian, arsitektur Radio Access Network (RAN) tradisional masih didominasi oleh pendekatan monolitik dan proprietary yang bergantung pada satu vendor. Model ini menyebabkan keterbatasan dalam fleksibilitas, interoperabilitas, dan inovasi jaringan, serta memunculkan masalah vendor lock-in yang meningkatkan biaya operasional dan menghambat pengembangan teknologi baru. Selain itu, keterbatasan dalam keterbukaan antarmuka dan kontrol jaringan juga menyulitkan penerapan optimasi berbasis data dan otomatisasi secara menyeluruh (Wypiór et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut dan mendukung kebutuhan jaringan generasi berikutnya.

Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, konsep Open Radio Access Network (O-RAN) diperkenalkan sebagai paradigma baru dalam arsitektur RAN yang mengedepankan prinsip keterbukaan, virtualisasi, dan disaggregasi fungsi jaringan. O-RAN memungkinkan pemisahan komponen RAN menjadi beberapa entitas seperti Radio Unit (RU), Distributed Unit (DU), dan Central Unit (CU) yang saling terhubung melalui antarmuka terbuka dan standar, sehingga memungkinkan interoperabilitas multi-vendor (Alavirad et al., 2023). Selain itu, O-RAN juga mengintegrasikan teknologi Software Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV), serta kecerdasan buatan melalui RAN Intelligent Controller (RIC) untuk meningkatkan efisiensi, otomatisasi, dan kemampuan adaptif jaringan. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas dalam deployment, meningkatkan inovasi melalui ekosistem terbuka, serta menurunkan biaya implementasi dan operasional jaringan (Wani et al., 2024).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji konsep dan implementasi O-RAN dari berbagai perspektif. Iturria-Rivera et al. (2022) mengeksplorasi penggunaan multi-agent team learning dalam O-RAN untuk meningkatkan performa optimasi jaringan secara kolaboratif. Azariah et al. (2024) menyajikan tinjauan komprehensif terkait perkembangan Open RAN, termasuk tantangan dan arah penelitian di masa depan. (Singh, 2025) menyoroti isu interoperabilitas dan integrasi dalam lingkungan multi-vendor sebagai tantangan utama implementasi O-RAN. Alam et al. (2025) mengkaji peran O-RAN dalam mendukung network slicing serta orkestrasi jaringan pada sistem 5G dan 6G. Selain itu, (Wypiór et al., 2022) membahas evolusi RAN menuju Open RAN serta dampaknya terhadap tren industri dan model bisnis jaringan seluler. Penelitian lainnya juga menyoroti aspek implementasi dan penerapan praktis O-RAN. Damayanti et al. (2023) mengembangkan jaringan Open RAN berbasis 4G LTE dalam lingkungan laboratorium dan mengevaluasi performansinya menggunakan parameter seperti

throughput, SINR, dan RSRP . Studi oleh Alavirad et al. (2023) meneliti arsitektur dan standardisasi O-RAN serta penerapan kecerdasan buatan untuk optimasi admission control dalam jaringan . Sementara itu, Wani et al., (2024) memberikan gambaran ringkas mengenai prinsip, komponen, dan implikasi keamanan dalam O-RAN .Meskipun berbagai penelitian tersebut telah membahas aspek arsitektur, teknologi pendukung, serta tantangan implementasi O-RAN, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek tertentu secara terpisah, seperti optimasi berbasis AI, interoperabilitas multi-vendor, atau implementasi pada skenario spesifik. Namun, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan secara menyeluruh perkembangan konsep O-RAN mulai dari evolusi arsitektur RAN hingga implikasinya terhadap jaringan seluler modern dalam satu kajian literatur yang komprehensif dan terstruktur.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menyajikan tinjauan literatur komprehensif mengenai perkembangan konsep Open Radio Access Network (O-RAN) dalam arsitektur jaringan seluler modern dengan mengintegrasikan aspek evolusi RAN, prinsip arsitektur O-RAN, teknologi pendukung seperti AI/ML, SDN, dan NFV, serta tantangan dan peluang implementasinya menuju jaringan 5G dan 6G. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih holistik serta menjadi referensi bagi penelitian dan pengembangan teknologi jaringan seluler di masa depan.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

### **A. Evolusi Arsitektur Radio Access Network (RAN)**

Perkembangan Radio Access Network (RAN) menunjukkan evolusi bertahap dari arsitektur yang bersifat terpusat menuju sistem yang lebih fleksibel, terdistribusi, dan berbasis perangkat lunak. Pada tahap awal, Distributed RAN (D-RAN) menawarkan implementasi yang sederhana dengan integrasi fungsi Radio Unit (RU) dan Baseband Unit (BBU) dalam satu lokasi. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan signifikan dalam efisiensi pengelolaan sumber daya serta skalabilitas jaringan, sehingga kurang mampu mengakomodasi kebutuhan jaringan modern yang semakin kompleks dan dinamis (Azariah et al., 2024).

Sebagai upaya peningkatan efisiensi, Centralized RAN (C-RAN) diperkenalkan dengan memisahkan fungsi BBU ke pusat data terpusat. Pendekatan ini memungkinkan optimalisasi sumber daya dan koordinasi antar sel yang lebih baik. Namun demikian, C-RAN menghadapi tantangan teknis yang signifikan, terutama terkait kebutuhan kapasitas fronthaul yang tinggi dan sensitivitas terhadap latensi, yang dapat membatasi implementasi pada skala luas (Wypiór et al., 2022).

Selanjutnya, Virtualized RAN (vRAN) dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi virtualisasi untuk meningkatkan fleksibilitas deployment dan efisiensi operasional. Dibandingkan dengan C-RAN, vRAN menawarkan pendekatan yang lebih fleksibel melalui pemisahan fungsi perangkat keras dan perangkat lunak. Namun, pendekatan ini masih belum sepenuhnya menyelesaikan permasalahan utama, khususnya dalam hal keterbukaan sistem dan interoperabilitas antar vendor, yang tetap menjadi hambatan dalam pengembangan ekosistem jaringan yang terbuka .

Dengan demikian, Open RAN (O-RAN) muncul sebagai solusi evolusioner yang tidak hanya melanjutkan konsep virtualisasi, tetapi juga memperkenalkan prinsip keterbukaan dan standarisasi antarmuka. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, O-RAN secara eksplisit dirancang untuk mendukung interoperabilitas multi-vendor serta

fleksibilitas arsitektur jaringan. Oleh karena itu, O-RAN dapat dipandang sebagai tahap evolusi yang tidak hanya meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas, tetapi juga mengatasi keterbatasan struktural yang masih terdapat pada generasi RAN sebelumnya (Alam et al., 2025).

### **B. Konsep Dan Arsitektur Open RAN (O-RAN)**

Open RAN merupakan paradigma baru yang secara fundamental mengubah cara desain dan implementasi jaringan seluler. Berbeda dengan arsitektur tradisional yang bersifat tertutup, O-RAN mengusung konsep disaggregasi dan keterbukaan antarmuka yang memungkinkan integrasi multi-vendor (Alavirad et al., 2023).

Meskipun konsep ini menawarkan fleksibilitas yang tinggi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa disaggregasi juga meningkatkan kompleksitas sistem, terutama dalam hal integrasi dan orkestrasi jaringan (Polese et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa keuntungan fleksibilitas yang ditawarkan O-RAN tidak datang tanpa trade-off terhadap kompleksitas implementasi.

Selain itu, keberadaan RAN Intelligent Controller (RIC) memungkinkan penerapan kontrol berbasis data dan kecerdasan buatan. Namun, efektivitas RIC sangat bergantung pada kualitas data dan algoritma yang digunakan, sehingga membuka tantangan baru dalam pengelolaan data dan pengembangan model AI yang adaptif (Brik et al., 2022).

Dengan demikian, meskipun O-RAN menawarkan pendekatan yang lebih fleksibel dan terbuka, implementasinya masih memerlukan penyempurnaan dalam aspek integrasi dan manajemen kompleksitas jaringan.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa keberhasilan implementasi O-RAN tidak hanya bergantung pada konsep arsitekturalnya, tetapi juga pada kemampuan sistem dalam mengelola kompleksitas integrasi dan orkestrasi secara efisien.

### **C. Teknologi Pendukung O-RAN (SDN, NFV, dan AI/ML)**

Keberhasilan implementasi O-RAN sangat bergantung pada integrasi teknologi pendukung seperti SDN, NFV, dan AI/ML. SDN memberikan fleksibilitas dalam pengendalian jaringan, sementara NFV memungkinkan efisiensi melalui virtualisasi fungsi jaringan (Wani et al., 2024). Teknologi Pendukung O-RAN (SDN, NFV, dan AI/ML)

Namun, integrasi teknologi ini juga menimbulkan tantangan baru. Misalnya, virtualisasi melalui NFV dapat meningkatkan overhead sistem dan mempengaruhi performa jika tidak dikelola dengan baik. Selain itu, penerapan AI/ML dalam O-RAN memerlukan data dalam jumlah besar serta kemampuan komputasi tinggi, yang berpotensi meningkatkan kompleksitas dan biaya sistem (Polese et al., 2023).

Di sisi lain, penggunaan AI/ML dalam RIC memberikan peluang besar dalam optimasi jaringan secara real-time. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada skenario simulasi, sehingga validasi pada lingkungan nyata masih terbatas (Brik et al., 2022).

Dengan demikian, teknologi pendukung O-RAN memberikan potensi besar, tetapi juga menghadirkan tantangan implementasi yang signifikan.

Selain itu, masih terdapat keterbatasan dalam penelitian yang mengintegrasikan aspek evolusi arsitektur, teknologi pendukung, serta implementasi O-RAN secara menyeluruh dalam satu kerangka analisis yang sistematis. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk kajian literatur yang lebih komprehensif dan terstruktur.

#### **D. Penelitian Terkait O-RAN**

Penelitian mengenai O-RAN telah berkembang pesat dengan fokus pada berbagai aspek, seperti optimasi jaringan, interoperabilitas, dan implementasi sistem. Iturria-Rivera et al. (2022) menunjukkan bahwa pendekatan multi-agent learning mampu meningkatkan performa jaringan dalam lingkungan O-RAN. Namun, pendekatan ini masih terbatas pada skenario tertentu dan belum banyak diuji dalam lingkungan jaringan nyata yang kompleks, sehingga generalisasi hasil penelitian masih menjadi tantangan.

Azariah et al. (2024) dan Singh (2025) menyoroti bahwa interoperabilitas multi-vendor merupakan salah satu tantangan utama dalam implementasi O-RAN. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara konsep teoretis yang menjanjikan fleksibilitas tinggi dengan realisasi implementasi yang masih menghadapi berbagai kendala teknis dan standar.

Sementara itu, penelitian implementatif seperti Damayanti et al. (2023) memberikan gambaran nyata terkait performa O-RAN melalui pengujian pada jaringan berbasis 4G LTE. Namun, penelitian ini masih terbatas pada skala laboratorium, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kompleksitas dan dinamika jaringan pada skala operasional yang lebih besar.

Di sisi lain, penelitian oleh Alam et al. (2026) dan Wypiór et al. (2022) menekankan potensi O-RAN dalam mendukung network slicing serta transformasi industri telekomunikasi. Meskipun demikian, sebagian besar studi tersebut masih bersifat konseptual atau berbasis simulasi, sehingga diperlukan validasi lebih lanjut dalam konteks implementasi komersial.

#### **E. Tantangan Dan Arah Penelitian O-RAN**

Meskipun O-RAN menawarkan berbagai keunggulan, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan signifikan. Interoperabilitas antar vendor menjadi salah satu isu utama yang membutuhkan standar yang lebih matang dan mekanisme integrasi yang efisien (Singh, 2025).

Selain itu, aspek keamanan menjadi perhatian penting karena keterbukaan sistem meningkatkan potensi kerentanan terhadap serangan siber (Wani et al., 2024). Tantangan lainnya meliputi latensi, kebutuhan komputasi tinggi, serta kompleksitas manajemen jaringan akibat integrasi berbagai teknologi (Brik et al., 2022).

Di sisi lain, arah penelitian O-RAN menunjukkan peluang besar, terutama dalam pengembangan algoritma AI yang lebih efisien, peningkatan interoperabilitas, serta integrasi dengan teknologi jaringan masa depan seperti 6G (Alam et al., 2026).

#### **F. Sintesis Literatur**

Berdasarkan analisis literatur, dapat disimpulkan bahwa O-RAN merupakan solusi potensial dalam mengatasi keterbatasan RAN tradisional dengan menawarkan fleksibilitas dan interoperabilitas yang lebih tinggi. Namun, implementasi O-RAN masih menghadapi berbagai tantangan, terutama dalam hal kompleksitas sistem, interoperabilitas, dan keamanan.

Sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek tertentu secara terpisah dan belum memberikan pendekatan yang terintegrasi. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih komprehensif untuk mengintegrasikan berbagai aspek tersebut dalam satu kerangka analisis yang sistematis.

Sintesis ini menunjukkan bahwa meskipun O-RAN memiliki potensi besar dalam meningkatkan fleksibilitas dan interoperabilitas jaringan, implementasinya masih

memerlukan pendekatan integratif yang mampu mengatasi kompleksitas sistem dan keterbatasan teknologi yang ada.

### **3. METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur (literature review) dengan pendekatan kualitatif. Metode ini bertujuan untuk mengkaji, menganalisis, dan mensintesis berbagai penelitian terkait perkembangan konsep Open Radio Access Network (O-RAN) dalam arsitektur jaringan seluler modern. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai evolusi, konsep, teknologi pendukung, serta tantangan implementasi O-RAN tanpa melakukan eksperimen langsung di lapangan.

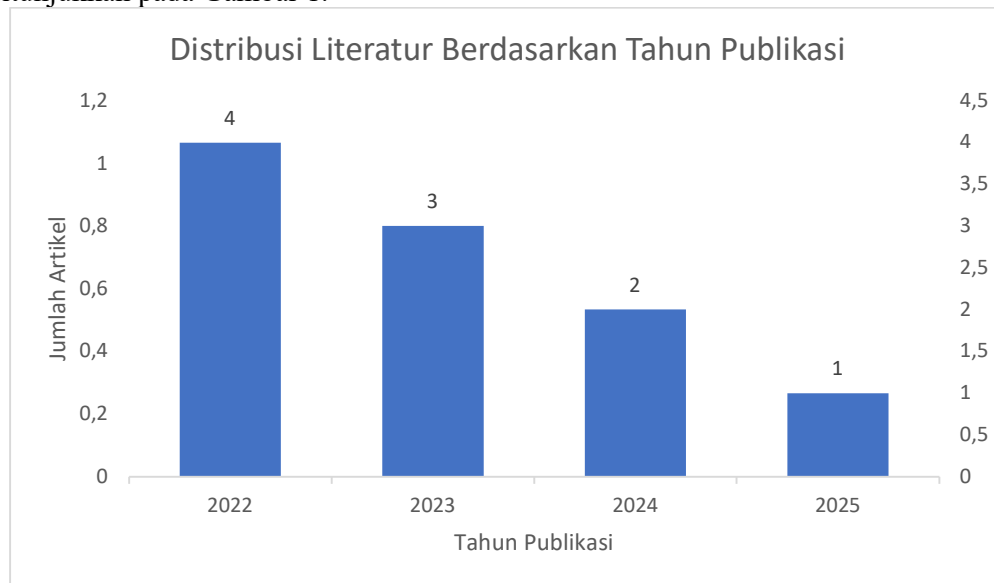
#### **B. Sumber Data dan Kriteria Literatur**

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari jurnal ilmiah internasional bereputasi yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2020–2026. Sumber literatur diperoleh dari database ilmiah seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, MDPI, dan Google Scholar

Kriteria pemilihan literatur dalam penelitian ini meliputi:

1. Jurnal membahas topik terkait Open RAN (O-RAN), RAN, atau evolusi jaringan seluler
2. Jurnal memiliki fokus pada arsitektur, teknologi pendukung, atau implementasi O-RAN
3. Publikasi berada dalam rentang waktu lima tahun terakhir
4. Jurnal memiliki kualitas akademik yang baik (terindeks dan memiliki DOI yang valid)

Berdasarkan kriteria tersebut, diperoleh 10 jurnal utama yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini. Distribusi literatur berdasarkan tahun publikasi ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Distribusi Literatur Berdasarkan Tahun Publikasi**

### **C. Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan mengidentifikasi, mengunduh, dan mengkaji artikel ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Proses pencarian literatur dilakukan menggunakan kata kunci seperti:

- a. Open RAN
- b. O-RAN architecture
- c. RAN evolution
- d. Virtualized RAN
- e. AI in O-RAN

Selanjutnya, artikel yang diperoleh diseleksi berdasarkan kesesuaian dengan topik penelitian serta kualitas publikasinya.

### **D. Teknik Analisis Data**

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan analisis deskriptif, komparatif, dan kritis. Pendekatan ini bertujuan untuk tidak hanya mendeskripsikan isi literatur, tetapi juga mengevaluasi serta membandingkan kontribusi masing-masing penelitian.

Tahapan analisis meliputi:

1. Klasifikasi literatur, yaitu mengelompokkan penelitian berdasarkan tema utama, seperti evolusi RAN, arsitektur O-RAN, teknologi pendukung, serta implementasi dan tantangan
2. Analisis isi (content analysis), yaitu mengidentifikasi konsep utama, metode, serta temuan dari setiap literatur
3. Analisis komparatif (comparative analysis), yaitu membandingkan kelebihan, keterbatasan, dan pendekatan yang digunakan dalam berbagai penelitian
4. Sintesis literatur, yaitu mengintegrasikan hasil analisis untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terkait perkembangan O-RAN

Pendekatan analisis yang digunakan dalam penelitian ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga kritis, dengan menekankan pada identifikasi kesenjangan penelitian (research gap), keterbatasan studi sebelumnya, serta potensi pengembangan di masa depan. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh diharapkan mampu memberikan kontribusi konseptual terhadap pengembangan arsitektur O-RAN dalam jaringan seluler modern.

### **E. Alur Penelitian**

Alur penelitian dalam studi ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Identifikasi topik dan perumusan masalah
2. Pengumpulan literatur dari database ilmiah
3. Seleksi literatur berdasarkan kriteria yang telah ditentukan
4. Analisis dan klasifikasi literatur
5. Sintesis hasil analisis
6. Penyusunan laporan penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk menghasilkan analisis literatur yang terstruktur dan komprehensif, sehingga mampu mendukung tujuan penelitian dalam mengkaji perkembangan konsep O-RAN secara menyeluruh. Hasil dari proses ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembahasan dan analisis pada bagian berikutnya, khususnya dalam mengidentifikasi tren perkembangan, tantangan, serta peluang implementasi O-RAN pada jaringan seluler modern. Alur penelitian dalam

studi ini meliputi proses identifikasi topik, pengumpulan literatur, seleksi artikel, analisis data, hingga penyusunan kesimpulan. Tahapan penelitian tersebut dilakukan secara sistematis untuk memperoleh hasil kajian yang komprehensif. Alur penelitian yang dilakukan dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 2. Diagram Alur Penelitian**

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **A. Analisis Perkembangan Arsitektur RAN menuju O-RAN**

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, evolusi arsitektur Radio Access Network (RAN) menunjukkan adanya pergeseran paradigma dari sistem yang bersifat tertutup menuju arsitektur yang lebih terbuka dan fleksibel. D-RAN sebagai arsitektur awal menawarkan kesederhanaan implementasi, namun memiliki keterbatasan dalam efisiensi dan skalabilitas. Selanjutnya, C-RAN meningkatkan efisiensi melalui sentralisasi, tetapi menghadapi kendala pada fronthaul dan latensi.

Perkembangan vRAN memperkenalkan virtualisasi yang meningkatkan fleksibilitas, namun belum mampu mengatasi keterbatasan interoperabilitas. Dalam konteks ini, O-RAN muncul sebagai solusi yang tidak hanya melanjutkan evolusi

teknologi sebelumnya, tetapi juga mengubah paradigma desain jaringan melalui keterbukaan dan standarisasi antarmuka.

Hasil analisis menunjukkan bahwa O-RAN tidak sekadar evolusi teknis, tetapi merupakan transformasi konseptual dalam arsitektur jaringan seluler, yang memungkinkan integrasi multi-vendor dan inovasi yang lebih cepat dibandingkan pendekatan tradisional.

Temuan ini menunjukkan bahwa pergeseran menuju O-RAN bukan hanya didorong oleh kebutuhan teknis, tetapi juga oleh tuntutan industri terhadap fleksibilitas, efisiensi biaya, dan percepatan inovasi dalam ekosistem jaringan seluler. Untuk memperjelas perbedaan karakteristik pada setiap evolusi arsitektur RAN, dilakukan perbandingan berdasarkan fleksibilitas, interoperabilitas, kompleksitas, dan skalabilitas jaringan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

**Table 1. Perbandingan Karakteristik Evolusi Arsitektur RAN**

<b>Arsitektur</b>	<b>Fleksibilitas</b>	<b>Interoperabilitas</b>	<b>Kompleksitas</b>	<b>Skalabilitas</b>
D-RAN	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
C-RAN	Sedang	Rendah	Sedang	Sedang
vRAN	Tinggi	Sedang	Tinggi	Tinggi
O-RAN	Sangat Tinggi	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi

Berdasarkan Tabel 1, O-RAN memiliki tingkat fleksibilitas dan interoperabilitas yang lebih tinggi dibandingkan arsitektur RAN sebelumnya.

#### **B. Analisis Peran Teknologi Pendukung dalam O-RAN**

Implementasi O-RAN sangat dipengaruhi oleh integrasi teknologi pendukung seperti SDN, NFV, dan AI/ML. Berdasarkan literatur yang dianalisis, SDN berperan dalam meningkatkan fleksibilitas pengendalian jaringan, sementara NFV memungkinkan efisiensi melalui virtualisasi fungsi jaringan.

Di sisi lain, penerapan AI/ML melalui RAN Intelligent Controller (RIC) menjadi komponen kunci dalam meningkatkan kemampuan adaptif jaringan. AI memungkinkan optimasi sumber daya secara real-time, termasuk pengelolaan spektrum dan mobilitas pengguna.

Namun demikian, hasil analisis juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi ini menghadirkan tantangan baru, seperti peningkatan kompleksitas sistem, kebutuhan komputasi tinggi, serta ketergantungan pada kualitas data. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi O-RAN tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada kesiapan infrastruktur dan manajemen sistem yang memadai.

Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan implementasi O-RAN sangat bergantung pada sinergi antar teknologi pendukung, sehingga pendekatan integratif menjadi faktor kunci dalam pengembangan sistem jaringan yang optimal.

#### **C. Evaluasi Implementasi dan Kinerja O-RAN**

Berdasarkan penelitian yang dianalisis, implementasi O-RAN masih berada pada tahap pengembangan dan uji coba, baik dalam skenario simulasi maupun lingkungan laboratorium. Studi implementatif menunjukkan bahwa O-RAN mampu memberikan performa yang kompetitif dibandingkan arsitektur tradisional, terutama dalam hal fleksibilitas dan efisiensi deployment.

Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada skala kecil dan belum sepenuhnya mencerminkan kondisi jaringan komersial yang kompleks. Selain itu, terdapat keterbatasan dalam pengujian interoperabilitas multi-vendor secara nyata, yang menjadi salah satu tujuan utama O-RAN.

Dengan demikian, diperlukan pengujian lebih lanjut dalam lingkungan jaringan skala besar untuk memastikan bahwa performa O-RAN dapat memenuhi kebutuhan operasional jaringan komersial.

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa terdapat beberapa tantangan utama dalam implementasi O-RAN. Interoperabilitas antar vendor menjadi isu utama yang memerlukan standar yang matang dan mekanisme integrasi yang efisien.

#### **D. Analisis Tantangan Implementasi O-RAN**

Selain itu, aspek keamanan menjadi perhatian penting karena keterbukaan sistem meningkatkan potensi serangan siber. Kompleksitas sistem juga meningkat akibat integrasi berbagai teknologi seperti SDN, NFV, dan AI/ML, yang membutuhkan manajemen yang lebih canggih.

Tantangan lainnya meliputi latensi, kebutuhan komputasi tinggi, serta kesiapan infrastruktur jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi O-RAN memerlukan pendekatan holistik yang tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga pada manajemen dan kebijakan jaringan. Oleh karena itu, penyelesaian tantangan ini memerlukan pendekatan multidisiplin yang melibatkan aspek teknis, standar, serta kebijakan jaringan.

#### **E. Implikasi dan Arah Pengembangan O-RAN ke Depan**

Berdasarkan hasil analisis, O-RAN memiliki potensi besar dalam mendukung pengembangan jaringan seluler masa depan, termasuk 5G dan 6G. Fleksibilitas dan keterbukaan yang ditawarkan memungkinkan inovasi yang lebih cepat serta pengurangan biaya operasional.

Namun, untuk mencapai implementasi yang optimal, diperlukan pengembangan lebih lanjut dalam beberapa aspek, seperti:

- a. peningkatan interoperabilitas multi-vendor
- b. penguatan aspek keamanan jaringan
- c. pengembangan algoritma AI yang lebih efisien
- d. peningkatan efisiensi energi dan skalabilitas sistem

Selain itu, diperlukan kolaborasi antara industri, akademisi, dan organisasi standarisasi untuk mempercepat adopsi O-RAN secara luas.

Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan O-RAN ke depan tidak hanya bergantung pada inovasi teknologi, tetapi juga pada kolaborasi ekosistem yang kuat antara berbagai pemangku kepentingan.

#### **F. Sintesis Hasil Penelitian**

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa O-RAN merupakan solusi potensial dalam mengatasi keterbatasan arsitektur RAN tradisional. Namun, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan teknis dan non-teknis.

Sintesis ini menegaskan bahwa keberhasilan O-RAN tidak hanya ditentukan oleh keunggulan teknologi, tetapi juga oleh kemampuan dalam mengintegrasikan berbagai komponen sistem secara efektif dan efisien. Oleh karena itu, pendekatan integratif dan

komprehensif menjadi kunci dalam pengembangan dan implementasi O-RAN di masa depan.

Temuan ini menegaskan bahwa O-RAN tidak hanya merupakan inovasi teknologi, tetapi juga representasi transformasi paradigma dalam arsitektur jaringan seluler menuju sistem yang lebih terbuka, cerdas, dan berkelanjutan. Untuk memahami posisi dan kontribusi penelitian ini terhadap penelitian sebelumnya, dilakukan perbandingan beberapa studi terkait Open Radio Access Network (O-RAN) berdasarkan fokus penelitian, metode, hasil, serta keterbatasannya. Perbandingan penelitian terdahulu ditunjukkan pada Tabel 2.

**Table 2. Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu**

<b>Peneliti</b>	<b>Fokus Penelitian</b>	<b>Metode</b>	<b>Hasil</b>	<b>Keterbatasan</b>
Brik et al. (2022)	AI pada O-RAN	Survey	AI meningkatkan optimasi jaringan	Masih simulasi
Polese et al. (2023)	Arsitektur O-RAN	Literatur	O-RAN fleksibel dan open	Kompleksitas tinggi
Damayanti et al. (2023)	Implementasi 4G Open RAN	Eksperimen	Throughput cukup baik	Skala laboratorium
Penelitian ini	Kajian komprehensif O-RAN	Literature Review	Integrasi evolusi, teknologi, tantangan, dan implementasi	Belum implementasi langsung

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur terhadap 10 jurnal internasional bereputasi yang dipublikasikan pada periode 2020–2025, dapat disimpulkan bahwa konsep *Open Radio Access Network* (O-RAN) merupakan evolusi signifikan dalam arsitektur jaringan seluler modern yang menawarkan fleksibilitas, interoperabilitas, dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan arsitektur RAN tradisional seperti D-RAN, C-RAN, dan vRAN. Hasil analisis menunjukkan bahwa O-RAN memiliki tingkat fleksibilitas dan interoperabilitas yang sangat tinggi melalui penerapan antarmuka terbuka dan konsep *multi-vendor*.

Integrasi teknologi pendukung seperti *Software Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV), dan *Artificial Intelligence/Machine Learning* (AI/ML) melalui *RAN Intelligent Controller* (RIC) terbukti mampu meningkatkan kemampuan adaptif, otomatisasi, dan efisiensi pengelolaan jaringan secara *real-time*. Selain itu, beberapa penelitian implementatif menunjukkan bahwa O-RAN mampu memberikan performa jaringan yang kompetitif serta mendukung fleksibilitas *deployment* pada jaringan 5G dan pengembangan menuju 6G.

Namun demikian, hasil sintesis literatur juga menunjukkan bahwa implementasi O-RAN masih menghadapi berbagai tantangan, seperti kompleksitas integrasi sistem, interoperabilitas antar vendor, kebutuhan komputasi yang tinggi, serta aspek keamanan jaringan akibat keterbukaan arsitektur. Sebagian besar penelitian yang dianalisis juga masih terbatas pada skenario simulasi dan lingkungan laboratorium sehingga validasi pada jaringan komersial berskala besar masih diperlukan.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menyajikan kajian literatur yang terintegrasi mengenai evolusi arsitektur RAN, konsep O-RAN, teknologi pendukung, tantangan implementasi, serta arah pengembangan menuju jaringan seluler masa depan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan arsitektur jaringan seluler yang lebih terbuka, fleksibel, adaptif, dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan implementasi dan pengujian O-RAN pada skala jaringan yang lebih besar untuk memperoleh hasil yang lebih representatif terhadap kondisi jaringan komersial. Selain itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut dalam standarisasi dan interoperabilitas *multi-vendor* guna memastikan integrasi sistem yang lebih efisien dan stabil. Penelitian di bidang keamanan jaringan O-RAN juga perlu ditingkatkan untuk mengatasi potensi kerentanan akibat keterbukaan arsitektur.

Di sisi lain, pengembangan algoritma berbasis *Artificial Intelligence* dan *Machine Learning* yang lebih efisien dan adaptif diharapkan mampu meningkatkan performa jaringan secara *real-time*. Selain itu, kolaborasi yang lebih erat antara industri, akademisi, dan organisasi standarisasi juga diperlukan untuk mempercepat implementasi dan adopsi O-RAN secara luas pada jaringan seluler generasi mendatang.

#### DAFTAR REFERENSI

- Alhatim, A. M., & Jalal, J. K. (2026). Investigation of Software-Defined Networking (SDN) to Enhance Wi-Fi Networks in University Campus. *Journal of Communications Software and Systems*, 22(1), 17–28. <https://doi.org/10.24138/jcomss-2025-0079>
- Baharuddin, B. (2025). Implementation of Software Defined Networking (SDN) Technology in the Campus Network of Ichsan Sidenreng Rappang University. *Technologia Journal*, 2(4), 41–54. <https://doi.org/10.62872/hb72d069>
- Fernando, O. A., Xiao, H., Spring, J., & Che, X. (2025). A Performance Evaluation for Software Defined Networks with P4. *Network*, 5(2), 1–28. <https://doi.org/10.3390/network5020021>
- Hamzah, K. T. (2025). Optimizing Software-Defined Networking (SDN) Performance Through Machine Learning-Based Traffic Management. *Journal of Al-Qadisiyah for Computer Science and Mathematics*, 17(2), 190–201. <https://doi.org/10.29304/jqscsm.2025.17.22193>
- Haqmal, R., Safi, M. W., & Mohammad, F. (2026). Enhancing Security in Software-Defined Networks Using Artificial Intelligence Techniques. *Journal of Advanced Computer Knowledge and Algorithms*, 3(1), 37–54. <https://doi.org/10.29103/jacka.v3i1.25755>
- Harahap, R. P., Irmayani, D., & Muti'ah, R. (2022). Comparative Analysis of Software Defined Network Performance And Conventional Based on Latency Parameters. *Sinkron*, 7(2), 635–640. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v7i2.11424>
- Kazi, B. U., Islam, M. K., Siddiqui, M. M. H., & Jaseemuddin, M. (2025). A Survey on Software Defined Network-Enabled Edge Cloud Networks: Challenges and Future Research Directions. *Network*, 5(2), 1–28. <https://doi.org/10.3390/network5020016>
- Mbodila, M., Esan, O. A., & Elegbeleye, F. A. (2024). Optimization of Network Performance in Complex Environments with Software Defined Networks. *Journal of Information Systems and Informatics*, 6(3), 1723–1742. <https://doi.org/10.51519/journalisi.v6i3.818>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Prajapati, N. (2026). Review: Software-Defined Networking (SDN) for IT Operations: Use Cases, Benefits, and Challenges. *International Journal of Emerging Research in Engineering and Technology*, *7*(1), 30–37. <https://doi.org/10.63282/3050-922X.IJERET-V7I1P105>
- Ram, A., & Chakraborty, S. K. (2024). Analysis of Software-Defined Networking (SDN) Performance in Wired and Wireless Networks Across Various Topologies, Including Single, Linear, and Tree Structures. *Indian Journal of Information Sources and Services*, *14*(1), 39–50. <https://doi.org/10.51983/ijiss-2024.14.1.3926>