

ARSITEKTUR CLOUD NETWORKING UNTUK MIGRASI INFRASTRUKTUR TELEKOMUNIKASI KE PUBLIC CLOUD: TINJAUAN SISTEMATIK

Sultha Redysa^{1*}, Andi Ahmad Dahlan², Yulindon³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Padang, Indonesia

^{1*}sultha.redysa3@gmail.com, ²aadfuty@gmail.com, ³yulindon@pnp.ac.id

ABSTRACT

This study examines the transformation of telecommunication network architectures toward public cloud environments through a cloud networking approach. Although technologies such as Network Function Virtualization (NFV), Software Defined Networking (SDN), edge computing, and virtualization have developed rapidly, the integration of cloud networking architectures capable of supporting comprehensive multi-domain communication remains limited. This research employs a Systematic Literature Review (SLR) of publications from 2020–2024 to identify development trends, challenges, and research gaps in cloud networking architectures. The analysis indicates that multi-domain interconnection, particularly communication among cloud, edge, and virtual networks, remains a major unresolved challenge, while most studies still focus on optimizing individual components rather than comprehensive architectural integration. As its main contribution, this study proposes the Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF), integrating multiple communication mechanisms into a hierarchical unified system to enable more coordinated, scalable, and efficient multi-domain communication, supporting telecommunication infrastructure migration toward public cloud and providing a conceptual framework for next-generation cloud networking systems.

Keywords:

Cloud Networking, Public Cloud, Telecommunications, Multi-Domain Interconnection, Network Function Virtualization

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi menuju era 5G dan seterusnya telah mendorong perubahan besar pada arsitektur jaringan, dari yang sebelumnya berbasis perangkat keras menuju infrastruktur yang bertumpu pada perangkat lunak dan teknologi cloud. Paradigma seperti *Network Function Virtualization* (NFV) dan *Software Defined Networking* (SDN) memungkinkan fungsi-fungsi jaringan diwujudkan dalam bentuk perangkat lunak yang lebih fleksibel dan scalable (Adoga et al., 2022), sekaligus meningkatkan fleksibilitas dalam implementasi fungsi jaringan (Jiang et al., 2021). Dalam perkembangan ini, public cloud mulai dimanfaatkan sebagai platform untuk mendukung deployment fungsi jaringan, termasuk implementasi core network berbasis cloud-native (Zieba et al., 2024), yang menunjukkan kelayakan baik dari sisi teknis maupun ekonomi (Takano et al., 2024).

Migrasi infrastruktur telekomunikasi menuju public cloud tidak sebatas memindahkan fungsi jaringan ke lingkungan cloud, tetapi juga menuntut adanya perancangan ulang arsitektur cloud networking agar mampu memenuhi kebutuhan performa tinggi, seperti latency rendah, throughput tinggi, dan keandalan layanan. Keterbatasan cloud terpusat dalam memenuhi kebutuhan tersebut mendorong penerapan edge computing, yang memungkinkan sumber daya komputasi ditempatkan lebih dekat dengan pengguna sehingga dapat mendukung komunikasi berlatensi rendah (Charyyev et al., 2020). Di sisi lain, pendekatan hybrid edge-cloud membuka peluang pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien sekaligus mengurangi latency komunikasi melalui distribusi komputasi antara cloud dan edge (Alamouti et al., 2022; Sonkoly et al., 2020; Zhou et al., 2021).

Selain itu, performa jaringan di lingkungan cloud juga sangat dipengaruhi oleh desain arsitektur internal, khususnya yang berkaitan dengan routing, load balancing, dan pengelolaan trafik. Berbagai studi menunjukkan bahwa optimasi routing pada data center network mampu meningkatkan performa jaringan sekaligus efisiensi penggunaan bandwidth (Cheng & Jia, 2020). Lebih lanjut, pendekatan berbasis load balancing dan traffic scheduling terbukti dapat meningkatkan performa jaringan melalui distribusi trafik yang lebih merata, sehingga bottleneck dapat dikurangi dan utilisasi bandwidth menjadi lebih optimal dalam data center network (Liu et al., 2021). Di samping itu, optimalisasi infrastruktur cloud melalui pendekatan Virtual Network Embedding (VNE) yang terintegrasi dengan Software Defined Network (SDN) juga menunjukkan peningkatan signifikan pada efisiensi energi dan utilisasi sumber daya, terutama melalui mekanisme alokasi sumber daya yang adaptif, optimasi routing, serta pengurangan konsumsi daya pada data center dan jaringan inter-cloud (Hamzaoui et al., 2022; Udayaprasad et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas virtualisasi, edge computing, dan optimasi jaringan secara terpisah, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada masing-masing komponen secara individual dan belum

banyak mengulas integrasi arsitektur cloud networking secara menyeluruh. Selain itu, mekanisme interkoneksi jaringan antar domain cloud—yang mencakup komunikasi antar jaringan virtual, antar region, serta integrasi antara cloud dan edge—masih belum dibahas secara sistematis dalam literatur yang tersedia.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menyajikan tinjauan sistematis terhadap arsitektur cloud networking untuk mendukung migrasi infrastruktur telekomunikasi menuju public cloud, sekaligus mengusulkan kerangka arsitektur terintegrasi berbasis Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF). Pendekatan ini dirancang untuk mengintegrasikan berbagai mekanisme komunikasi ke dalam satu sistem terpadu guna meningkatkan skalabilitas, efisiensi, dan performa jaringan dalam lingkungan multi-domain cloud.

TINJAUAN PUSTAKA

Cloud Networking dalam Telekomunikasi

Transformasi arsitektur jaringan telekomunikasi menuju cloud didorong oleh kebutuhan akan fleksibilitas, skalabilitas, dan efisiensi operasional. Teknologi seperti Network Function Virtualization (NFV) dan Software Defined Networking (SDN) memungkinkan fungsi jaringan direalisasikan sebagai perangkat lunak yang fleksibel dan scalable, serta meningkatkan fleksibilitas dan programmability dalam implementasi fungsi jaringan (Adoga et al., 2022; Jiang et al., 2021). Dalam konteks jaringan 5G, penerapan arsitektur *cloud-native* memungkinkan deployment core network pada lingkungan cloud dan menunjukkan kelayakan implementasi pada public cloud dari sisi teknis maupun ekonomi (Kumar et al., 2020; Takano et al., 2024). Selain itu, integrasi analitik dalam arsitektur berbasis cloud juga mendukung peningkatan efisiensi operasional jaringan (Zieba et al., 2024).

Network Function Virtualization (NFV) dan Software Defined Networking (SDN)

NFV dan SDN menjadi fondasi transformasi jaringan telekomunikasi menuju arsitektur berbasis cloud dengan memungkinkan pemisahan fungsi jaringan dari perangkat keras dan meningkatkan fleksibilitas pengelolaan jaringan (Adoga et al., 2022; Jiang et al., 2021). Selain itu, optimalisasi infrastruktur cloud melalui pendekatan Virtual Network Embedding (VNE) yang terintegrasi dengan SDN menunjukkan peningkatan efisiensi energi dan utilisasi sumber daya melalui alokasi resource yang adaptif dan optimasi *routing* (Hamzaoui et al., 2022; Udayaprasad et al., 2024).

Edge computing dan Arsitektur Hybrid Cloud-Edge

Keterbatasan cloud terpusat dalam memenuhi kebutuhan latency rendah mendorong adopsi *edge computing*, yang memungkinkan pemrosesan data lebih dekat ke pengguna (Charyyev et al., 2020). Integrasi edge dan cloud mendukung mekanisme offloading, distribusi komputasi, dan efisiensi komunikasi antar komponen jaringan (Alamouti et al., 2022; Sonkoly et al., 2020; Zhou et al., 2021). Di sisi lain, virtual machine, container, dan serverless computing berperan dalam mendukung fleksibilitas deployment fungsi jaringan, dengan karakteristik performa yang berbeda sesuai kebutuhan layanan (Savi et al., 2022; Tran & Kim, 2022; Valsamas et al., 2022).

Routing, Load balancing, dan Optimasi Jaringan

Performa jaringan cloud dipengaruhi oleh *routing*, *load balancing*, dan pengelolaan trafik. Optimasi *routing* dalam data center network dapat meningkatkan performa jaringan dan efisiensi bandwidth (Cheng & Jia, 2020), sedangkan pendekatan berbasis *load balancing* dan *traffic scheduling* mendukung distribusi trafik yang lebih merata serta mengurangi bottleneck (Liu et al., 2021). Perkembangan pendekatan berbasis SDN dan kecerdasan buatan juga menunjukkan peningkatan kemampuan pengelolaan *routing* pada jaringan berskala besar.

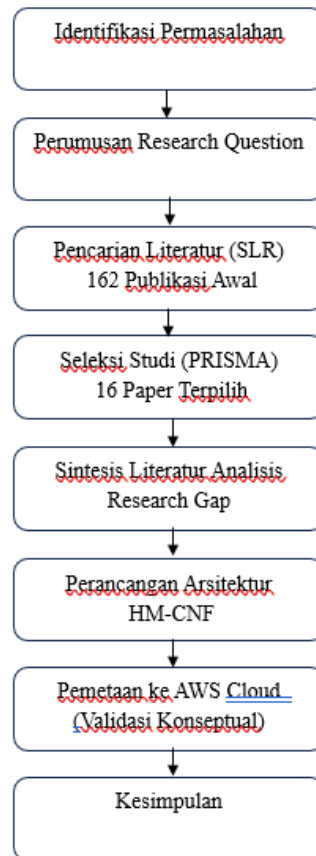
Interconnection Multi-Domain dalam Cloud Networking

Cloud networking modern mencakup berbagai pendekatan seperti *overlay network*, SD-WAN, *service mesh*, dan cloud backbone untuk mengelola komunikasi pada level yang berbeda. Namun, implementasi pendekatan tersebut umumnya masih dilakukan secara terpisah, sehingga arsitektur cloud networking berpotensi menjadi kompleks dan terfragmentasi. Kondisi ini menjadi tantangan dalam mendukung sistem telekomunikasi berbasis cloud yang bersifat terdistribusi dan multi-domain.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mensintesis berbagai penelitian yang berkaitan dengan arsitektur *cloud networking* dalam konteks migrasi infrastruktur telekomunikasi menuju *public cloud*. Pendekatan ini dipilih agar proses kajian dilakukan secara sistematis serta mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan penelitian pada topik tersebut.

Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan dan perumusan *research question*, kemudian dilanjutkan dengan proses pencarian literatur, seleksi publikasi, sintesis literatur, hingga perancangan arsitektur yang diusulkan. Alur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flow Penelitian

Proses penelusuran literatur dilakukan melalui beberapa basis data utama, yaitu IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, dan ACM Digital Library, dengan cakupan publikasi pada periode 2020–2024. Penelusuran dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci utama, seperti cloud networking, NFV, telecommunication/5G, dan edge computing, untuk memperoleh publikasi yang relevan dengan fokus penelitian.

Seleksi literatur mengikuti alur PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), yang mencakup empat tahapan, yaitu identification, screening, eligibility, dan inclusion. Dari total 162 publikasi awal yang berhasil diidentifikasi, dilakukan proses penghapusan duplikasi serta penyaringan berdasarkan relevansi judul, abstrak, dan full-text, hingga akhirnya diperoleh 16 publikasi utama yang digunakan sebagai dasar analisis dalam penelitian ini.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini mencakup publikasi ilmiah bereputasi, memiliki relevansi dengan topik cloud networking dan telekomunikasi, serta tersedia dalam bentuk full-text. Sementara itu, publikasi yang tidak melalui proses peer-reviewed, tidak relevan dengan aspek networking, maupun publikasi yang teridentifikasi sebagai duplikasi dikeluarkan dari proses seleksi.

Hasil dari keseluruhan proses tersebut kemudian digunakan untuk mengidentifikasi tren penelitian, menemukan kesenjangan penelitian (research gap), serta menyusun sintesis arsitektur cloud networking yang terintegrasi. Berdasarkan hasil sintesis tersebut, penelitian ini mengusulkan arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF) sebagai kerangka konseptual untuk mendukung komunikasi multi-domain pada lingkungan telekomunikasi berbasis public cloud.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Literatur dan Analisis Kesenjangan

Berdasarkan hasil seleksi literatur menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR), diperoleh 15 publikasi utama yang relevan dengan topik arsitektur cloud networking dalam konteks migrasi infrastruktur telekomunikasi ke public cloud. Literatur yang terpilih kemudian dianalisis dan disintesis berdasarkan teknologi yang digunakan, komponen arsitektur yang dibahas, serta kontribusi utama masing-masing penelitian.

Hasil sintesis tersebut disajikan pada Table 1 yang mengintegrasikan pemetaan teknologi utama dengan komponen arsitektur cloud networking, meliputi virtualisasi, edge computing, routing, serta interconnection dalam konteks telekomunikasi.

Table 1 Sintesis Literatur dan Pemetaan Komponen Arsitektur Cloud Networking

No	Penulis	Teknologi Utama	Fokus Arsitektur	Kontribusi Utama
1	Adoga (2022)	NFV, SDN	Virtualisasi, Telco	Evaluasi VNF
2	Jiang (2021)	NFV	Virtualisasi, Telco	Security NFV
3	Takano (2024)	Cloud-native	Virtualisasi, Telco	Deployment 5G core
4	Zieba (2024)	Virtualisasi	Virtualisasi, Telco	Implementasi 5G cloud
5	Kumar (2020)	Cloud infra	Telco	Efisiensi biaya
6	Charyyev (2020)	Edge computing	Edge, Telco	Reduksi latency
7	Alamouti (2022)	Edge-cloud	Edge, Telco	Optimasi hybrid cloud
8	Zhou (2020)	MEC	Edge, Telco	Efficient offloading
9	Sonkoly (2020)	Edge cloud	Edge, Telco	Platform scalable
10	Cheng (2020)	SDN	Routing	Multipath routing
11	Liu (2021)	AI Routing	Routing	Traffic prediction
12	Hamzaoui	VNE	Virtualisasi, Routing, Interconnection	VNE optimization
13	Udayaprasad (2024)	SDN-AI Routing	Routing, Telco	AI-based routing
14	Tran (2022)	Container	Virtualisasi	Container benchmark
15	Savi (2022)	Serverless	Virtualisasi, Telco	Serverless NFV
16	Valsamas (2022)	VM/Container	Virtualisasi	Virtualization comparison

Berdasarkan hasil klasifikasi pada Tabel 1, terlihat bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada aspek virtualisasi dan edge computing sebagai pendekatan utama dalam mendukung transformasi jaringan telekomunikasi berbasis cloud. Virtualisasi, yang mencakup NFV, container, dan serverless computing, secara konsisten dimanfaatkan untuk meningkatkan fleksibilitas deployment sekaligus efisiensi pemanfaatan sumber daya. Sementara itu, edge computing banyak digunakan untuk menjawab kebutuhan latency rendah melalui distribusi komputasi yang ditempatkan lebih dekat dengan pengguna.

Namun demikian, dominasi kedua pendekatan tersebut menunjukkan bahwa mayoritas penelitian masih menggunakan paradigma optimasi berbasis komponen (*component-level optimization*), di mana setiap teknologi dikembangkan dan dikaji secara terpisah tanpa mempertimbangkan integrasi arsitektur secara utuh. Konsekuensinya, hubungan antar komponen dalam sistem cloud networking, khususnya pada skenario multi-domain, masih belum terdefinisi secara sistematis.

Di sisi lain, penelitian yang secara khusus membahas aspek routing dan cloud networking masih relatif terbatas. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa optimasi routing dan distribusi trafik pada data center network memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi komunikasi sekaligus mengurangi bottleneck melalui pemilihan jalur yang lebih adaptif.

Lebih lanjut, perkembangan pendekatan berbasis Software Defined Networking (SDN) dan kecerdasan buatan juga memperlihatkan adanya peningkatan kemampuan dalam pengelolaan routing dan trafik, terutama pada jaringan berskala besar dan kompleks. Meski demikian, pendekatan-pendekatan tersebut pada umumnya masih berfokus pada optimasi dalam lingkup domain tunggal, dan belum secara eksplisit mempertimbangkan kebutuhan arsitektur telekomunikasi berbasis cloud yang bersifat terdistribusi dan multi-domain.

Selain itu, dapat diamati bahwa hampir tidak ada penelitian yang membahas secara komprehensif mekanisme interconnection multi-domain dalam satu kerangka arsitektur yang terpadu. Sebagian besar studi belum mengkaji secara eksplisit bagaimana komunikasi berlangsung antar domain yang berbeda, seperti antar cloud region, antar virtual network, maupun integrasi antara cloud dan edge. Ketiadaan pendekatan ini menunjukkan masih adanya keterbatasan dalam memahami dan mengelola komunikasi jaringan secara end-to-end pada lingkungan cloud yang kompleks.

Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa tantangan utama dalam arsitektur cloud networking tidak hanya terletak pada pengembangan teknologi secara individual, tetapi juga pada bagaimana berbagai komponen tersebut dapat diintegrasikan dalam suatu sistem yang terkoordinasi. Tanpa integrasi yang jelas, kompleksitas sistem berpotensi

meningkat dan memunculkan bottleneck dalam komunikasi antar domain.

Dengan demikian, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian yang cukup signifikan pada aspek integrasi arsitektur cloud networking, khususnya dalam menghubungkan virtualisasi, edge computing, serta mekanisme interkoneksi jaringan ke dalam satu kerangka yang sistematis. Kesenjangan ini menjadi dasar pengembangan arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF) yang diusulkan dalam penelitian ini, dengan tujuan menyediakan pendekatan terintegrasi untuk pengelolaan komunikasi multi-domain secara scalable dan terkoordinasi.

Arsitektur Cloud Networking dalam Telekomunikasi

Transformasi arsitektur jaringan telekomunikasi menuju cloud didorong oleh kebutuhan akan fleksibilitas, skalabilitas, dan efisiensi operasional. Teknologi seperti Network Function Virtualization (NFV) dan Software Defined Networking (SDN) memungkinkan fungsi jaringan direalisasikan sebagai perangkat lunak yang fleksibel dan scalable, serta meningkatkan fleksibilitas dan programmability dalam implementasi fungsi jaringan. Selain itu, fungsi jaringan tersebut dapat diimplementasikan pada platform cloud untuk mendukung deployment yang lebih dinamis (Adoga et al., 2022; Jiang et al., 2021).

Dalam konteks jaringan 5G, penerapan arsitektur cloud-native memungkinkan deployment core network pada lingkungan cloud. Studi menunjukkan bahwa implementasi core network pada public cloud merupakan pendekatan yang feasible baik dari sisi teknis maupun ekonomi (Kumar et al., 2020; Takano et al., 2024). Selain itu, integrasi dengan teknologi analitik dalam arsitektur berbasis cloud juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional jaringan (Zieba et al., 2024).

Namun demikian, distribusi fungsi jaringan pada lingkungan cloud yang terdistribusi dapat meningkatkan kompleksitas komunikasi antar komponen. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan migrasi tidak hanya bergantung pada virtualisasi, tetapi juga pada desain arsitektur cloud networking yang mampu mengelola komunikasi secara efisien dan terintegrasi.

Desain Cloud Networking dan Keterbatasannya

Desain cloud networking modern mencakup beragam pendekatan, seperti overlay network, SD-WAN, service mesh, dan cloud backbone, yang masing-masing memiliki peran berbeda dalam mengelola komunikasi pada level tertentu. Setiap pendekatan dikembangkan untuk menjawab kebutuhan spesifik dalam arsitektur jaringan cloud yang semakin kompleks.

Secara umum, overlay network digunakan untuk mendukung isolasi jaringan virtual, SD-WAN berperan dalam menyediakan konektivitas antar lokasi, service mesh dimanfaatkan untuk mengelola komunikasi antar layanan, sedangkan cloud backbone digunakan untuk mendukung konektivitas antar region. Meskipun efektif dalam domain fungsinya masing-masing, berbagai pendekatan tersebut pada umumnya masih diterapkan secara terpisah.

Kondisi ini menyebabkan arsitektur cloud networking berpotensi menjadi kompleks dan terfragmentasi, karena belum tersedia pendekatan yang secara menyeluruh mampu mengintegrasikan komunikasi antar layer maupun antar domain. Situasi tersebut menjadi tantangan tersendiri dalam mendukung sistem telekomunikasi berbasis cloud yang bersifat terdistribusi dan multi-domain.

Sintesis Integrasi dan Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan hasil analisis literatur, dapat dilihat bahwa penelitian mengenai cloud networking di bidang telekomunikasi masih banyak berfokus pada optimasi masing-masing komponen secara individual, seperti virtualisasi, edge computing, maupun routing, tanpa mengintegrasikan seluruh komponen tersebut ke dalam satu arsitektur yang terpadu.

Selain itu, aspek interconnection multi-domain—yang meliputi komunikasi antara cloud, edge, dan jaringan virtual—juga masih belum banyak dibahas secara komprehensif dalam literatur yang ada. Keterbatasan pada pendekatan yang terintegrasi ini berpotensi menambah kompleksitas dalam pengelolaan komunikasi jaringan, sekaligus menimbulkan tantangan dalam menjaga efisiensi sistem secara keseluruhan.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu arsitektur cloud networking yang mampu mengintegrasikan berbagai mekanisme komunikasi ke dalam satu kerangka yang sistematis, scalable, dan terkoordinasi.

Arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF)

Untuk menjawab berbagai keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan arsitektur cloud networking terintegrasi berbasis Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF). Arsitektur ini menggabungkan berbagai mekanisme komunikasi ke dalam satu sistem terpadu yang dirancang untuk mendukung komunikasi multi-domain secara lebih terkoordinasi.

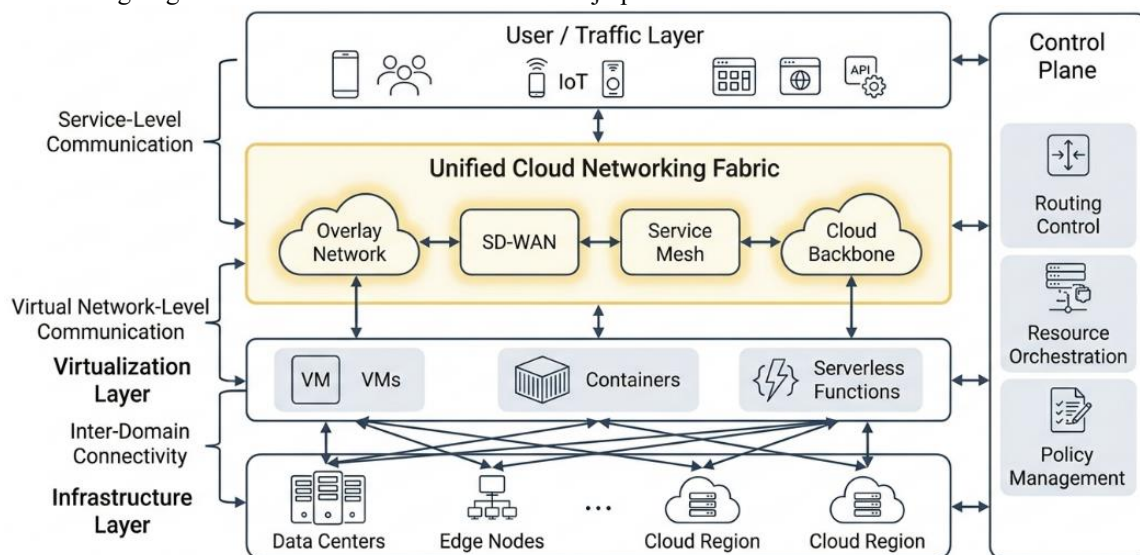
Arsitektur HM-CNF tersusun atas beberapa lapisan utama, yaitu user/traffic layer, unified cloud networking fabric, virtualization layer, infrastructure layer, serta control layer. Inti dari arsitektur ini berada pada unified cloud

networking fabric, yang mengintegrasikan overlay network, SD-WAN, service mesh, dan cloud backbone ke dalam satu kerangka komunikasi terpadu, sehingga interkoneksi antar komponen jaringan pada berbagai domain dapat berlangsung secara lebih terkoordinasi.

Berbeda dari pendekatan konvensional, HM-CNF mengorganisasi komunikasi melalui struktur hierarkis yang terdiri atas tiga level utama, yaitu service-level communication, virtual network-level communication, dan inter-domain connectivity. Pendekatan ini memungkinkan pemisahan fungsi komunikasi berdasarkan level abstraksi, sehingga pengelolaan komunikasi di lingkungan cloud yang bersifat multi-domain dapat dilakukan secara lebih terstruktur.

Selain itu, HM-CNF didukung oleh mekanisme control plane terpusat yang berfungsi mengoordinasikan routing, orkestrasi sumber daya, serta kebijakan jaringan secara dinamis. Control plane ini terhubung dengan seluruh lapisan arsitektur, sehingga memungkinkan pengelolaan komunikasi antar komponen dilakukan secara konsisten dalam lingkungan cloud yang terdistribusi.

Dengan demikian, HM-CNF memberikan kontribusi berupa arsitektur cloud networking terintegrasi yang dapat mengatasi fragmentasi pada pendekatan-pendekatan sebelumnya, sekaligus menyediakan kerangka yang sistematis untuk mendukung migrasi infrastruktur telekomunikasi menuju public cloud.



Gambar 2. Arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF)

Pada Gambar 2 ditunjukkan arsitektur HM-CNF yang mengintegrasikan berbagai mekanisme komunikasi dalam lingkungan cloud yang bersifat multi-domain. Lapisan user/traffic layer merepresentasikan sumber trafik, seperti pengguna, perangkat IoT, dan aplikasi.

Lapisan inti dari arsitektur ini adalah unified cloud networking fabric, yang mengintegrasikan overlay network, SD-WAN, service mesh, dan cloud backbone. Integrasi ini memungkinkan komunikasi antar layanan, jaringan virtual, maupun domain yang berbeda berlangsung secara terkoordinasi dalam satu kerangka sistem.

Di bawah lapisan tersebut, virtualization layer terdiri dari virtual machine, container, dan serverless functions yang merepresentasikan berbagai bentuk implementasi fungsi jaringan. Lapisan ini terhubung dengan infrastructure layer yang mencakup data center, edge nodes, dan cloud region, sehingga mendukung deployment yang bersifat terdistribusi.

Selain itu, control plane berperan sebagai mekanisme pengendali yang terhubung ke seluruh lapisan dan bertugas mengelola routing, orkestrasi sumber daya, serta kebijakan jaringan secara dinamis. Struktur hierarkis pada arsitektur ini membagi komunikasi ke dalam tiga level, yaitu service-level communication, virtual network-level communication, dan inter-domain connectivity, sehingga pengelolaan komunikasi dapat dilakukan secara lebih terstruktur pada lingkungan multi-domain cloud.

Implementasi Praktis pada Platform Public Cloud (AWS)

Untuk melengkapi analisis konseptual yang telah dipaparkan pada bagian sebelumnya, bagian ini membahas implementasi arsitektur cloud networking pada platform public cloud dengan menggunakan Amazon Web Services (AWS) sebagai studi kasus. Pembahasan ini bertujuan menunjukkan keterkaitan antara arsitektur yang diusulkan dengan praktik implementasi di lingkungan industri, tanpa mengubah posisi penelitian ini sebagai kajian literatur yang bersifat konseptual.

Dalam AWS Telco Lens, dijelaskan bahwa beban kerja telekomunikasi memiliki karakteristik utama berupa kebutuhan latency rendah, skalabilitas tinggi, serta kemampuan menangani trafik dalam skala besar. Selain itu, arsitektur jaringan telekomunikasi modern di AWS umumnya menerapkan pemisahan antara control plane dan user plane, di mana control plane ditempatkan pada lokasi yang lebih terpusat untuk meningkatkan skalabilitas dan keandalan, sementara user plane didistribusikan lebih dekat ke pengguna guna menekan latency (Amazon Web Service, 2025).

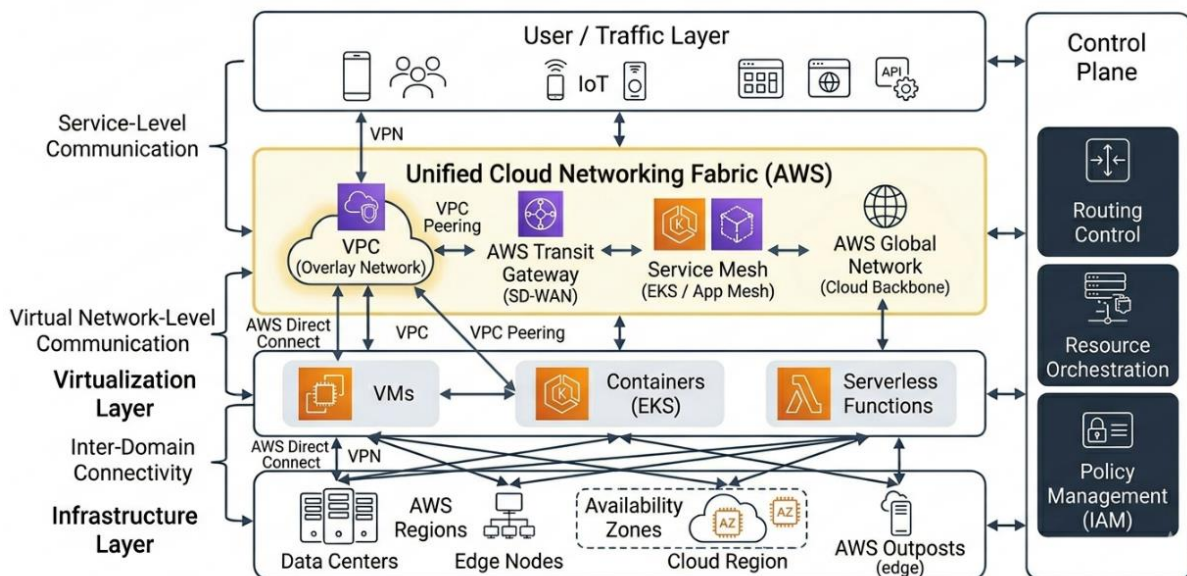
Pendekatan tersebut selaras dengan konsep arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF) yang diusulkan dalam penelitian ini. Pada HM-CNF, komunikasi dibagi ke dalam beberapa level, yaitu service-level communication, virtual network-level communication, dan inter-domain connectivity. Struktur hierarkis ini memungkinkan pemisahan tanggung jawab komunikasi berdasarkan level abstraksi, sehingga mendukung pengelolaan komunikasi yang lebih terstruktur dalam lingkungan cloud yang kompleks.

Selain itu, AWS menyediakan berbagai mekanisme interkoneksi jaringan yang mendukung komunikasi multi-domain, seperti AWS Direct Connect, Site-to-Site VPN, dan AWS Transit Gateway. Layanan-layanan ini memungkinkan integrasi antara jaringan on-premises, cloud region, dan edge environment dalam satu ekosistem yang saling terhubung (Amazon Web Service, 2023). Keberagaman mekanisme interkoneksi tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antar domain merupakan aspek yang kompleks dan membutuhkan pendekatan terintegrasi, sebagaimana telah diidentifikasi dalam kesenjangan penelitian sebelumnya.

Dalam konteks edge computing, layanan seperti AWS Outposts memungkinkan perluasan infrastruktur cloud ke lingkungan on-premises dengan tetap mempertahankan integrasi dengan cloud region. AWS Outposts berfungsi sebagai ekstensi dari availability zone yang memungkinkan deployment workload berlatensi rendah sekaligus mendukung kebutuhan pemrosesan lokal (Amazon Web Service, 2021). Hal ini merefleksikan pendekatan hybrid cloud-edge yang juga menjadi bagian dari arsitektur HM-CNF.

Lebih lanjut, AWS Direct Connect menyediakan konektivitas privat antara jaringan pengguna dan cloud yang memungkinkan peningkatan performa jaringan sekaligus mengurangi ketergantungan pada jaringan publik (Amazon Web Service, 2022). Pendekatan ini mendukung kebutuhan komunikasi yang lebih stabil dan terprediksi dalam sistem telekomunikasi berbasis cloud.

Dengan demikian, implementasi pada platform AWS menunjukkan bahwa tantangan yang diidentifikasi dalam kajian literatur, khususnya terkait kompleksitas interconnection multi-domain dan fragmentasi mekanisme komunikasi, merupakan persoalan nyata dalam praktik industri. Hal ini sekaligus memperkuat relevansi arsitektur HM-CNF sebagai kerangka terintegrasi yang mampu menggabungkan berbagai mekanisme komunikasi ke dalam satu sistem yang terstruktur, scalable, dan terkoordinasi.



Gambar 3. Pemetaan Arsitektur HM-CNF ke Layanan Amazon Web Services (AWS) dalam Mendukung Komunikasi Multi-Domain

Gambar 3 memperlihatkan pemetaan konseptual antara arsitektur HM-CNF yang diusulkan dengan berbagai layanan yang tersedia pada platform AWS. Pada lapisan *user/traffic layer*, ditunjukkan beragam sumber trafik, seperti pengguna, perangkat IoT, dan aplikasi, yang menghasilkan permintaan layanan di dalam sistem.

Lapisan inti pada arsitektur ini adalah unified cloud networking fabric, yang direpresentasikan melalui integrasi layanan seperti Amazon VPC, AWS Transit Gateway, service mesh, dan AWS global backbone. Integrasi tersebut memungkinkan komunikasi antar layanan, jaringan virtual, dan domain yang berbeda berlangsung secara terkoordinasi dalam satu kerangka sistem komunikasi terpadu.

Pada lapisan virtualisasi, berbagai model deployment fungsi jaringan direpresentasikan melalui layanan seperti Amazon EC2 untuk virtual machine, container berbasis Amazon EKS, serta AWS Lambda untuk pendekatan serverless. Lapisan ini berfungsi sebagai lingkungan eksekusi bagi fungsi jaringan yang berjalan di atas infrastruktur cloud.

Lapisan infrastruktur mencakup AWS Region, availability zone, serta edge environment melalui AWS Outposts, yang memungkinkan distribusi workload secara geografis guna memenuhi kebutuhan latency rendah dan skalabilitas sistem.

Selain itu, mekanisme interkoneksi multi-domain direpresentasikan melalui layanan seperti AWS Direct Connect, VPN, dan VPC peering, yang memungkinkan komunikasi antar domain jaringan, baik antara cloud, edge, maupun jaringan on-premises. Di sisi lain, control plane berperan sebagai mekanisme pengendali yang terhubung ke seluruh lapisan, dengan fungsi mengoordinasikan routing, orkestrasi sumber daya, serta kebijakan jaringan secara dinamis.

Dengan demikian, gambar ini menunjukkan bahwa konsep HM-CNF dapat dipetakan secara logis ke dalam layanan yang tersedia pada platform AWS, sekaligus menggambarkan bagaimana integrasi berbagai mekanisme komunikasi dapat direalisasikan dalam lingkungan cloud yang kompleks dan multi-domain.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan tinjauan sistematis terhadap arsitektur cloud networking dalam konteks migrasi infrastruktur telekomunikasi ke public cloud. Berdasarkan hasil analisis literatur, dapat disimpulkan bahwa penelitian yang ada masih berfokus pada optimasi komponen individual, seperti virtualisasi, edge computing, dan routing, tanpa mengintegrasikan seluruh aspek tersebut dalam satu arsitektur terpadu.

Selain itu, aspek interconnection multi-domain, yang mencakup komunikasi antar cloud, edge, dan jaringan virtual, masih belum dibahas secara komprehensif dalam literatur. Kesenjangan ini menunjukkan bahwa integrasi arsitektur cloud networking menjadi tantangan utama dalam mendukung sistem telekomunikasi berbasis cloud yang bersifat terdistribusi.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini mengusulkan arsitektur Hierarchical Multi-Domain Cloud Networking Fabric (HM-CNF) sebagai kerangka terintegrasi yang menggabungkan berbagai mekanisme komunikasi dalam satu sistem yang terstruktur. Pendekatan ini memungkinkan pengelolaan komunikasi multi-domain secara efisien melalui struktur hierarkis yang mencakup service-level, virtual network-level, dan inter-domain connectivity.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyusunan kerangka arsitektur cloud networking yang terintegrasi, yang mampu menghubungkan berbagai komponen seperti virtualisasi, edge computing, dan mekanisme networking dalam satu sistem terpadu. Dengan demikian, HM-CNF memberikan dasar konseptual untuk mendukung migrasi infrastruktur telekomunikasi ke public cloud secara lebih efisien dan scalable.

Sebagai arah penelitian selanjutnya, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap implementasi arsitektur HM-CNF dalam lingkungan nyata, termasuk analisis performa, skalabilitas, serta integrasi dengan platform cloud modern.

REFERENSI

- Adoga, H. U., Elkhatib, Y., & Pezaros, D. P. (2022). On the Performance Benefits of Heterogeneous Virtual Network Function Execution Frameworks. *2022 IEEE 8th International Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, 109–114. <https://doi.org/10.1109/NetSoft54395.2022.9844115>
- Alamouti, S. M., Arjomandi, F., & Burger, M. (2022). Hybrid Edge Cloud: A Pragmatic Approach for Decentralized Cloud Computing. *IEEE Communications Magazine*, 60(9), 16–29. <https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2200251>
- Amazon Web Service. (2021). *AWS Outposts High Availability Design and*. <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-outposts-high-availability-design/aws-outposts-high-availability-design.html>
- Amazon Web Service. (2022). *AWS Direct Connect for Amazon Connect*. <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-direct-connect-for-amazon-connect/connect.html>
- Amazon Web Service. (2023). *Amazon Virtual Private Cloud Connectivity*. <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-vpc-connectivity-options/welcome.html>
- Amazon Web Service. (2025). *AWS Telco Lens – AWS Well-Architected Framework*. <https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/telco-lens/telco-lens.html>
- Charyyev, B., Arslan, E., & Gunes, M. H. (2020). Latency Comparison of Cloud Datacenters and Edge Servers. *GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GLOBECOM42002.2020.9322406>

- Cheng, Y., & Jia, X. (2020). NAMP: Network-Aware Multipathing in Software-Defined Data Center Networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 28(2), 846–859. <https://doi.org/10.1109/TNET.2020.2971587>
- Hamzaoui, I., Duthil, B., Courboulay, V., & Medromi, H. (2022). Proactive and Power Efficient Hybrid Virtual Network Embedding: An AWS Cloud Case Study. *IEEE Access*, 10, 57499–57513. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3178405>
- Jiang, P., Wang, Q., Huang, M., Wang, C., Li, Q., Shen, C., & Ren, K. (2021). Building In-the-Cloud Network Functions: Security and Privacy Challenges. *Proceedings of the IEEE*, 109(12), 1888–1919. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3127277>
- Kumar, D., Chakrabarti, S., Rajan, A. S., & Huang, J. (2020). Scaling Telecom Core Network Functions in Public Cloud Infrastructure. *2020 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, 9–16. <https://doi.org/10.1109/CloudCom49646.2020.00006>
- Liu, Y., Zhang, J., Li, W., Wu, Q., & Li, P. (2021). Load Balancing Oriented Predictive Routing Algorithm for Data Center Networks. In *Future Internet* (Vol. 13, Issue 2, p. 54). <https://doi.org/10.3390/fi13020054>
- Savi, M., Banfi, A., Tundo, A., & Ciavotta, M. (2022). Serverless Computing for NFV: Is it Worth it? A Performance Comparison Analysis. *2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and Other Affiliated Events (PerCom Workshops)*, 680–685. <https://doi.org/10.1109/PerComWorkshops53856.2022.9767495>
- Sonkoly, B., Haja, D., Németh, B., Szalay, M., Czentye, J., Szabó, R., Ullah, R., Kim, B.-S., & Toka, L. (2020). Scalable edge cloud platforms for IoT services. *Journal of Network and Computer Applications*, 170, 102785. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102785>
- Takano, Y., Ferguson, A. E., & Marina, M. K. (2024). On the Public Cloud Deployment of Cloud-Native Mobile Core Systems. *Proceedings of the 30th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, 1602–1604. <https://doi.org/10.1145/3636534.3697432>
- Tran, M.-N., & Kim, Y. (2022). Network Performance Benchmarking for Containerized Infrastructure in NFV environment. *2022 IEEE 8th International Conference on Network Softwarization (NetSoft)*, 115–120. <https://doi.org/10.1109/NetSoft54395.2022.9844100>
- Udayaprasad, P. K., Shreyas, J., Srinidhi, N. N., Kumar, S. M. D., Dayananda, P., Askar, S. S., & Abouhawwash, M. (2024). Energy Efficient Optimized Routing Technique With Distributed SDN-AI to Large Scale I-IoT Networks. *IEEE Access*, 12, 2742–2759. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3346679>
- Valsamas, P., Mamatas, L., & Contreras, L. M. (2022). A Comparative Evaluation of Edge Cloud Virtualization Technologies. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 19(2), 1351–1365. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2021.3130792>
- Zhou, P., Shen, K., Kumar, N., Zhang, Y., Hassan, M. M., & Hwang, K. (2021). Communication-Efficient Offloading for Mobile-Edge Computing in 5G Heterogeneous Networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(13), 10237–10247. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3029166>
- Zieba, M., Natkaniec, M., & Borylo, P. (2024). Cloud-Enabled Deployment of 5G Core Network with Analytics Features. In *Applied Sciences* (Vol. 14, Issue 16, p. 7018). <https://doi.org/10.3390/app14167018>