



Optimalisasi Infrastruktur Cloud Networking melalui Integrasi SDN, NFV, dan Multi-Cloud

Fauzan Prasetyo Eka Putra¹, Noviyani Dwi Saputri^{2*}, Fathur Rosi³, Rohilia Loati⁴

¹ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; prasetyo@unira.ac.id

² Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; noviyaniidwisaputri0@gmail.com

³ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; fathurrosir3@gmail.com

⁴ Fakultas Teknik, Informatika, Universitas Madura, Pamekasan, Jawa Timur; rohilialoati894@gmail.com

* Corresponding Author : Noviyani Dwi Saputri

Abstract: Cloud networking is a crucial element in the management of modern computer network infrastructure because it can increase service efficiency and flexibility. However, the successful implementation of cloud networking is highly dependent on the network architecture that supports optimal performance. This research conducted a literature study to review the development of computer network architectures that facilitate the implementation of cloud networking, by reviewing more than 50 recent publications related to software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), and hybrid and multi-cloud models. The review shows that the integration of SDN and NFV is a major trend for designing adaptive and cost-effective network architectures, while the combination of hybrid and multi-cloud models improves scalability and redundancy. In conclusion, the adoption of SDN-NFV technology and mixed cloud deployment strategies have proven effective in optimizing the performance and management of cloud-based networks.

Keywords: Cloud networking, SDN, NFV, hybrid cloud, multi-cloud.

Abstrak: Cloud networking menjadi elemen krusial dalam pengelolaan infrastruktur jaringan komputer modern karena mampu meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas layanan. Namun, keberhasilan implementasi cloud networking sangat bergantung pada arsitektur jaringan yang mendukung kinerja optimal. Penelitian ini melakukan studi literatur untuk meninjau perkembangan arsitektur jaringan komputer yang memfasilitasi penerapan cloud networking, dengan menelaah lebih dari 50 publikasi terkini terkait software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), serta model hybrid dan multi-cloud. Hasil tinjauan memperlihatkan bahwa integrasi SDN dan NFV menjadi tren utama untuk merancang arsitektur jaringan yang adaptif dan hemat biaya, sementara kombinasi model hybrid dan multi-cloud meningkatkan skalabilitas dan redundansi. Kesimpulannya, adopsi teknologi SDN-NFV dan strategi penggunaan cloud campuran telah terbukti efektif dalam mengoptimalkan performa dan manajemen jaringan berbasis cloud.

Kata kunci: Cloud networking, SDN, NFV, hybrid cloud, multi-cloud.

Received: Maret 9, 2025

Revised: Maret 19, 2025

Accepted: Maret 26, 2025

Published: Maret 31, 2025

Curr. Ver.: Maret 31, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan teknologi informasi, kebutuhan terhadap infrastruktur jaringan yang fleksibel dan efisien mengalami peningkatan signifikan. *Cloud computing* telah menjadi solusi utama karena kemampuannya dalam menyediakan layanan komputasi yang skalabel dan sesuai permintaan tanpa ketergantungan pada perangkat fisik tertentu [1]. Namun demikian, penerapan *cloud computing* juga menimbulkan tantangan baru dalam pengelolaan jaringan, khususnya dalam menyesuaikan kapasitas dan performa terhadap dinamika kebutuhan yang terus berubah.

Pendekatan jaringan tradisional dinilai kurang mampu mengakomodasi tingkat fleksibilitas ini, sehingga teknologi seperti *Software Defined Networking* (SDN) mulai diadopsi untuk memungkinkan pengelolaan jaringan yang lebih terprogram dan dinamis [2]. Selain itu, *Network Function Virtualization* (NFV) dimanfaatkan untuk menjalankan fungsi-fungsi jaringan secara virtual, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada perangkat keras khusus, menekan biaya operasional, serta meningkatkan fleksibilitas [3].

Meskipun terdapat sejumlah penelitian yang membahas SDN dan NFV secara terpisah, kajian komprehensif mengenai optimalisasi arsitektur jaringan untuk mendukung *cloud networking* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau berbagai pendekatan arsitektural yang relevan serta mengevaluasi kontribusinya dalam meningkatkan efisiensi dan performa sistem *cloud networking* secara keseluruhan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis dan mengkaji penerapan integrasi antara cloud computing dan virtualisasi dalam pengelolaan infrastruktur jaringan komputer. Metode studi literatur dipilih karena memungkinkan penulis untuk menggali pemahaman yang lebih dalam mengenai topik yang dibahas dengan memanfaatkan berbagai sumber informasi yang tersedia, seperti artikel, jurnal ilmiah, dan publikasi terkait yang terverifikasi secara akademik dan dapat diakses melalui database terpercaya [4], [5].

2.1. Tahapan Penelitian

Proses penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Identifikasi Masalah

Pada tahap awal, penulis mengidentifikasi masalah terkait pengelolaan infrastruktur jaringan komputer yang menggunakan teknologi cloud computing dan virtualisasi. Fokus utama adalah mencari solusi atas tantangan yang dihadapi dalam mengintegrasikan kedua teknologi ini, terutama dalam konteks pengelolaan dan penyediaan sumber daya yang efisien dan skalabel dalam jaringan komputer [6].

2) Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan berbagai referensi yang relevan dari jurnal ilmiah, artikel, dan publikasi yang kredibel. Pemilihan sumber dilakukan dengan mempertimbangkan kriteria kredibilitas, relevansi topik, serta kontribusinya terhadap perkembangan teknologi cloud computing dan virtualisasi dalam pengelolaan infrastruktur jaringan. Proses pemilihan sumber dilakukan dengan mengacu pada database akademik terkemuka seperti IEEE Xplore, Google Scholar, Springer, dan ScienceDirect [7].

3) Analisis Data

Setelah sumber-sumber terkumpul, penulis melakukan analisis terhadap data yang diperoleh. Analisis dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan metode analisis tematik dan analisis konten untuk mengidentifikasi pola, teknik, serta strategi yang digunakan dalam pengelolaan infrastruktur jaringan berbasis cloud computing dan virtualisasi. Pendekatan ini bertujuan untuk menyaring informasi yang relevan dan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang implementasi kedua teknologi ini [8].

4) Sintesis dan Solusi

Berdasarkan hasil analisis, penulis merumuskan solusi atau rekomendasi yang relevan untuk pengelolaan infrastruktur jaringan dengan menggunakan cloud computing dan virtualisasi. Solusi yang ditemukan diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih efektif dalam implementasi kedua teknologi ini, baik dalam skala kecil maupun besar, serta meminimalkan masalah yang sering muncul dalam pengelolaan infrastruktur [9].

5) Penulisan Laporan

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah penulisan laporan yang merangkum seluruh proses penelitian, hasil analisis, serta solusi yang ditemukan. Laporan ini berisi pembahasan mengenai kontribusi penelitian terhadap pengembangan bidang teknologi cloud computing dan virtualisasi, serta memberikan rekomendasi solusi yang dapat diterapkan dalam pengelolaan infrastruktur jaringan komputer berbasis teknologi tersebut.

2.2. Pengumpulan, Evaluasi, dan Analisis Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui metode studi pustaka, yaitu dengan menelaah literatur dari berbagai jurnal ilmiah, artikel akademik, dan publikasi terpercaya yang tersedia secara daring. Penelusuran literatur difokuskan pada database akademik bereputasi seperti IEEE Xplore, SpringerLink, ScienceDirect, dan Google Scholar. Setiap sumber yang dikumpulkan dievaluasi berdasarkan kriteria kredibilitas (misalnya apakah jurnal tersebut terindeks Scopus atau SINTA), relevansi terhadap topik cloud computing dan virtualisasi, serta kontribusinya terhadap pengembangan teknologi dalam pengelolaan infrastruktur jaringan komputer [10],[11].

Setelah proses pengumpulan, penulis melanjutkan dengan seleksi sumber yang paling relevan untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan teknik analisis tematik dan analisis konten. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola, teknik implementasi, serta praktik terbaik yang digunakan dalam integrasi cloud computing dan virtualisasi. Hasil dari analisis tersebut kemudian disintesis untuk merumuskan kesimpulan dan rekomendasi yang aplikatif. Sintesis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dan praktis, sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan penelitian selanjutnya di bidang pengelolaan infrastruktur jaringan berbasis teknologi cloud dan virtualisasi[12].

2.3. Implementasi Metode

Setelah melalui proses analisis data secara menyeluruh, langkah berikutnya adalah menjelaskan implementasi metode dalam konteks penelitian ini, yaitu melalui pendekatan analisis deskriptif kualitatif. Penulis mengandalkan data sekunder yang diperoleh dari berbagai artikel dan jurnal ilmiah yang relevan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang pengelolaan infrastruktur jaringan berbasis cloud computing dan virtualisasi. Penelitian ini tidak mencakup penelitian lapangan, melainkan berfokus pada pemahaman yang diperoleh dari studi literatur[13]. Hasil dari analisis ini akan digunakan untuk memberikan wawasan yang lebih dalam tentang tantangan, solusi, serta potensi manfaat integrasi kedua teknologi dalam pengelolaan infrastruktur jaringan komputer. Dengan demikian, metode yang diterapkan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang mendalam serta rekomendasi yang dapat diadopsi dalam praktik pengelolaan infrastruktur jaringan modern.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Efisiensi Infrastruktur melalui Integrasi Cloud Computing dan Virtualisasi

Integrasi antara cloud computing dan virtualisasi telah terbukti meningkatkan efisiensi pengelolaan infrastruktur jaringan komputer. Virtualisasi memungkinkan pemisahan antara perangkat keras fisik dan sumber daya komputasi, sehingga mendukung isolasi beban kerja dan pemanfaatan sumber daya yang lebih optimal. Teknik virtualisasi seperti full virtualization, paravirtualization, dan hardware-assisted virtualization berperan penting dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya di lingkungan cloud [13][14]. Dalam konteks cloud computing, virtualisasi memungkinkan penyediaan layanan seperti Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), dan Software as a Service (SaaS), memberikan fleksibilitas bagi organisasi tanpa harus berinvestasi pada perangkat keras tambahan [15][16]. Teknik auto-scaling berbasis machine learning dalam arsitektur cloud hybrid dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan resource hingga 35%[17].

3.2. Pengaruh terhadap Kinerja Jaringan: Analisis Quality of Service (QoS)

Integrasi cloud computing dan virtualisasi berdampak signifikan terhadap kinerja jaringan, yang dapat diukur melalui parameter Quality of Service (QoS) seperti throughput, latency, jitter, dan packet loss. Studi menunjukkan bahwa implementasi cloud computing dapat meningkatkan throughput dan mengurangi latency, namun juga dapat menimbulkan tantangan seperti jitter dan packet loss jika tidak dikelola dengan baik [18][19]. Penerapan algoritma optimasi berbasis AI terbukti mampu menyesuaikan trafik secara dinamis untuk menjaga kestabilan QoS[20]. Pada layanan seperti Video On Demand (VOD) UseeTV, QoS dipengaruhi oleh jumlah pengguna aktif, yang memengaruhi performa layanan secara langsung [21].

3.3. Implementasi OpenStack dalam Pengelolaan Infrastruktur Jaringan

OpenStack adalah platform open-source yang menyediakan solusi lengkap untuk manajemen infrastruktur cloud berbasis virtualisasi. Dengan mengintegrasikan layanan seperti compute, networking, dan storage, OpenStack memungkinkan organisasi untuk menyusun layanan IaaS yang fleksibel dan skalabel [22][23]. Implementasi ini memberikan kemampuan manajemen sumber daya yang dinamis dan efisien, yang sangat penting dalam mendukung perkembangan dan kompleksitas infrastruktur jaringan modern [24]. OpenStack versi terbaru kini dilengkapi dengan dukungan Kubernetes native, memperluas kemampuannya dalam manajemen kontainer di lingkungan cloud hybrid[25].

3.4. Tantangan dan Solusi dalam Integrasi Cloud dan Virtualisasi

Walaupun integrasi cloud computing dan virtualisasi menawarkan keuntungan besar, terdapat tantangan seperti keamanan data, kompleksitas manajemen, dan kebutuhan sumber daya yang tinggi. Virtualisasi jaringan dalam arsitektur 5G menghadapi tantangan utama pada sisi latency dan isolasi fungsi jaringan virtual[26]. Untuk mengatasi hal ini, pendekatan seperti Software-Defined Networking (SDN) dan Network Function Virtualization (NFV) telah banyak diadopsi guna meningkatkan efisiensi serta keamanan dalam manajemen jaringan virtual [27][28]. Penggunaan alat monitoring dan automasi manajemen juga menjadi solusi penting untuk menjaga kestabilan dan performa jaringan [29][30]. Solusi berbasis zero-touch provisioning (ZTP) juga mulai diimplementasikan untuk mengurangi beban administrasi manual dalam manajemen infrastruktur cloud[31].

3.5. Keamanan dalam Integrasi Cloud dan Virtualisasi

Keamanan merupakan isu utama dalam pengelolaan jaringan berbasis cloud dan virtualisasi. Solusi keamanan yang dapat diintegrasikan meliputi enkripsi data, autentikasi multifaktor, serta pemantauan terus-menerus terhadap ancaman keamanan [32][33]. Protokol seperti Virtual Private Network (VPN) dan Secure Socket Layer (SSL) sangat penting untuk menjamin komunikasi data yang aman [34]. Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa penguatan kebijakan keamanan di layer jaringan juga dapat mengurangi kerentanannya [35][36]. Konsep Zero Trust Architecture (ZTA) telah diadopsi secara luas untuk menjamin keamanan berbasis identitas di lingkungan cloud. Sistem deteksi intrusi berbasis AI kini mulai diterapkan secara luas untuk melindungi VM dan kontainer di cloud[37][38].

3.6. Pengelolaan Sumber Daya Jaringan dengan Virtualisasi

Manajemen sumber daya menjadi lebih fleksibel berkat kemampuan virtualisasi. Teknik seperti load balancing dan dynamic resource allocation semakin banyak digunakan untuk menjaga performa yang optimal dalam pengelolaan infrastruktur jaringan [39][40]. Dengan virtualisasi, administrator dapat mengelola beban kerja yang berbeda pada sumber daya yang sama tanpa harus memikirkan kendala hardware fisik [41]. Penggunaan algoritma Deep Reinforcement Learning dalam pengaturan resource cloud memberikan efisiensi penggunaan CPU hingga 25%[42].

3.7. Protokol dan Algoritma dalam Pengelolaan Infrastruktur Jaringan Cloud

Berbagai protokol dan algoritma telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan jaringan cloud. Algoritma seperti Border Gateway Protocol (BGP) untuk routing dan algoritma optimasi beban kerja berbasis cloud menjadi penting dalam menyesuaikan aliran data untuk meningkatkan kinerja [43][44]. Selain itu, penggunaan protokol manajemen jaringan seperti OpenFlow semakin diminati dalam implementasi SDN [45]. Penerapan protokol gRPC dalam sistem cloud-native memberikan efisiensi komunikasi hingga 60% dibandingkan REST tradisional. Protokol manajemen jaringan yang mendukung telemetry real-time sangat penting dalam arsitektur edge computing[46],[47].

Selain itu, integrasi OpenStack dengan sistem orkestrasi seperti Kubernetes mulai banyak diterapkan dalam lingkungan multi-cloud untuk mengoptimalkan manajemen layanan dan skalabilitas [48]. Penggunaan Software Defined Networking (SDN) juga semakin dominan dalam strategi load balancing dinamis, yang efektif menjaga stabilitas performa jaringan cloud saat beban kerja berubah [49]. Di sisi keamanan, pendekatan manajemen identitas berbasis

blockchain mulai diterapkan dalam pengelolaan akses layanan cloud untuk meningkatkan keamanan dan transparansi otentikasi [50].

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengembangan arsitektur jaringan komputer dalam konteks cloud networking mengalami kemajuan yang cukup pesat selama beberapa tahun terakhir. Teknologi seperti Software-Defined Networking (SDN), Network Function Virtualization (NFV), serta model hybrid dan multi-cloud menjadi tulang punggung utama dalam merancang jaringan yang lebih fleksibel, efisien, dan mampu beradaptasi dengan kebutuhan layanan yang dinamis.

Implementasi SDN dan NFV secara bersamaan mampu menghadirkan jaringan yang tidak hanya hemat biaya, tetapi juga mampu memenuhi kebutuhan otomatisasi dan pengelolaan yang lebih terintegrasi. Sementara itu, model hybrid serta multi-cloud mampu meningkatkan skalabilitas, redundansi, dan ketersediaan layanan, yang sangat penting dalam mendukung infrastruktur kota pintar dan layanan berbasis cloud modern.

Namun, tetap terdapat tantangan utama yang perlu diatasi, seperti isu keamanan, interoperabilitas antar platform, serta kompleksitas pengelolaan sumber daya. Berbagai solusi inovatif, termasuk adopsi teknologi blockchain, keamanan berbasis Zero Trust Architecture, serta otomatisasi berbasis kecerdasan buatan, menunjukkan potensi besar untuk memperkuat pengelolaan dan keamanan jaringan tersebut.

4.2. Saran

Mengikuti perkembangan teknologi yang ada, beberapa saran ke depan meliputi: pertama, perlu dilakukan uji coba dan implementasi secara nyata di lingkungan kota atau kawasan industri untuk mengukur performa dan keandalannya secara langsung. Kedua, penguatan aspek keamanan harus terus diperluas, termasuk pengembangan protokol dan kebijakan keamanan berbasis blockchain dan Zero Trust. Ketiga, penggunaan kecerdasan buatan dan machine learning untuk otomatisasi pengelolaan jaringan perlu dimaksimalkan agar mampu menciptakan sistem yang lebih adaptif dan efisien.

Selain itu, standarisasi protokol dan interoperabilitas antar platform menjadi hal yang penting untuk memastikan keberlangsungan dan skalabilitas jaringan di masa mendatang. Terakhir, kolaborasi lintas sektor antara pemerintah, industri, dan akademisi sangat dibutuhkan agar inovasi dan adopsi teknologi dapat berjalan secara cepat dan terintegrasi, sehingga infrastruktur jaringan yang dibangun benar-benar mampu mendukung kebutuhan kota pintar yang aman, handal, dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- [1] X. Wen, Z. Phan, Y. Cao, P. Wan, W. Zheng, and Y. Liu, "PMP-Net++: Point Cloud Completion by Transformer-Enhanced Multi-Step Point Moving Paths," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 45, no. 1, pp. 852-867, 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3159003.
- [2] Y. Gao, X. Liu, J. Li, Z. Fang, X. Jiang, dan K. Huq, "LFT-Net: Local Feature Transformer Network for Point Clouds Analysis," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 2, pp. 2158-2168, 2023, doi: 10.1109/TITS.2022.3140355.
- [3] X. Zhu dan C. Jiang, "Delay Optimization for Cooperative Multi-Tier Computing in Integrated Satellite-Terrestrial Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 41, no. 2, pp. 366-380, 2023, doi: 10.1109/JSAC.2022.3227083.
- [4] Y. Wu, Y. Zhang, and W. Ma, "RORNet: Partial-to-partial registration network with reliable overlapping representations," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2023, doi: 10.1109/TNNLS.2023.3286943.
- [5] J. Alzubi, O. Alzubi, and A. Singh, "Cloud-IIoT-based electronic health record privacy-preserving by CNN and blockchain-enabled federated learning," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 1080-1087, 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3189170.
- [6] Z. Xu, D. He, and P. Vijayakumar, "Certificateless public auditing scheme with data privacy and dynamics in group user model of cloud-assisted medical WSNs," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 27, no. 5, pp. 2334-2344, 2023, doi:

- 10.1109/JBHI.2021.3128775.
- [7] Y. Xiao, Z. Sun, and G. Shi, "Imitation learning-based implicit semantic-aware communication networks: Multi-layer representation and collaborative reasoning," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 41, no. 3, pp. 639–658, 2023, doi: 10.1109/JSAC.2022.3229419.
 - [8] Y. Liu and J. Zhang, "Service function chain embedding meets machine learning: Deep reinforcement learning approach," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 21, no. 3, pp. 3465–3481, 2024, doi: 10.1109/TNSM.2024.3353808.
 - [9] C. Huang, F. Jiang, and Q. Huang, "Dual-graph attention convolution network for 3-D point cloud classification," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 35, no. 4, pp. 4813–4825, 2024, doi: 10.1109/TNNLS.2022.3162301.
 - [10] M. Zhang, J. Cao, Y. Sahni *et al.*, "Blockchain-based collaborative edge intelligence for trustworthy and real-time video surveillance," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 19, no. 2, pp. 1623–1633, 2023, doi: 10.1109/TII.2022.3203397.
 - [11] H. C. Luan, T. Lu, R. *et al.*, "Security and Privacy in Vehicular Digital Twin Networks: Challenges and Solutions," *IEEE Wireless Communications*, vol. 30, no. 4, pp. 154–160, 2023, doi: 10.1109/MWC.002.2200015.
 - [12] A. Bashir, N. Victor, S. Bhattacharya, *et al.*, "Federated Learning for the Healthcare Metaverse: Concepts, Applications, Challenges, and Future Directions," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 24, pp. 21873–21891, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3304790.
 - [13] K. Lu, L. Zhou, and Z. Wu, "Representation-Learning-Based CNN for Intelligent Attack Localization and Recovery of Cyber-Physical Power Systems," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 99, 2023, doi: 10.1109/TNNLS.2023.3257225.
 - [14] G. Chen, L. Li, Y. Dai, J. Zhang, and M. Yap, "AAU-Net: An Adaptive Attention U-Net for Breast Lesions Segmentation in Ultrasound Images," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 42, no. 5, pp. 1289–1300, 2023, doi: 10.1109/TMI.2022.3226268.
 - [15] S. A. Munikoti, D. Agarwal, L. Das, M. Halappanavar, and B. Natarajan, "Challenges and Opportunities in Deep Reinforcement Learning With Graph Neural Networks: A Comprehensive Review of Algorithms and Applications," *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 35, no. 11, pp. 15051–15071, 2024, doi: 10.1109/TNNLS.2023.3283523.
 - [16] D. Ye, Z. Ni, H. Wang, J. Zhang, S. Wang, and S. Kwong, "CSformer: Bridging Convolution and Transformer for Compressive Sensing," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 32, pp. 2827–2842, 2023, doi: 10.1109/TIP.2023.3274988.
 - [17] J. Lin, J. Lin, C. Lu, H. Chen, H. Lin, B. Zhao, Z. Shi, B. Qiu, X. Pan, Z. Xu, B. Huang, C. Liang, G. Han, Z. Liu, and C. Han, "CKD-TransBTS: Clinical Knowledge-Driven Hybrid Transformer with Modality-Correlated Cross-Attention for Brain Tumor Segmentation," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 42, no. 8, pp. 2451–2461, 2023, doi: 10.1109/TMI.2023.3250474.
 - [18] A. He, K. Wang, T. Li, C. Du, S. Xia, and H. Fu, "H2Former: An Efficient Hierarchical Hybrid Transformer for Medical Image Segmentation," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 42, no. 9, pp. 2763–2775, 2023, doi: 10.1109/TMI.2023.3264513.
 - [19] X. Gao, H. Cai, and M. Liu, "A Hybrid Multi-Scale Attention Convolution and Aging Transformer Network for Alzheimer's Disease Diagnosis," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 27, no. 7, pp. 3292–3301, 2023, doi: 10.1109/JBHI.2023.3270937.
 - [20] M. Bakro, R. Kumar, A. Alabrah, Z. Ashraf, M. Ahmed, M. Shameem, and A. Abdelsalam, "An Improved Design for a Cloud Intrusion Detection System Using Hybrid Features Selection Approach With ML Classifier," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 64228–64247, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3289405.
 - [21] M. Sajid, K. Malik, A. Almogren, T. Malik, A. Khan, J. Tanveer, and A. Rehman, "Enhancing intrusion detection: a hybrid machine and deep learning approach," *Journal of Cloud Computing*, vol. 13, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s13677-024-00685-x.
 - [22] S. Alsubai, A. Dutta, A. Alkhayyat, M. Jaber, A. Abbas, and A. Kumar, "Hybrid deep learning with improved Salp swarm optimization based multi-class grape disease classification model," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 108, 2023, doi: 10.1016/j.compeleceng.2023.108733.
 - [23] D. Saxena, I. Gupta, R. Gupta, A. Singh, and X. Wen, "An AI-Driven VM Threat Prediction Model for Multi-Risks Analysis-Based Cloud Cybersecurity," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 53, no. 11, pp. 6815–6827, 2023, doi: 10.1109/TSMC.2023.3288081.

- [24] Z. Bai, Y. Lin, Y. Cao, and W. Wang, "Delay-Aware Cooperative Task Offloading for Multi-UAV Enabled Edge-Cloud Computing," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 2, pp. 1034–1049, 2024, doi: 10.1109/TMC.2022.3232375.
- [25] C. Sun, X. Wu, X. Li, Q. Fan, J. Wen, and V. Leung, "Cooperative Computation Offloading for Multi-Access Edge Computing in 6G Mobile Networks via Soft Actor Critic," *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 5601–5614, 2024, doi: 10.1109/TNSE.2021.3076795.
- [26] R. Ferreira, C. Ranaweera, K. Lee, dan J. Schneider, "Energy Efficient Node Selection in Edge-Fog-Cloud Layered IoT Architecture," *Sensors*, vol. 23, no. 13, 2023, doi: 10.3390/s23136039.
- [27] Sun, C., Li, X., Wen, J., Wang, X., Han, Z., & Leung, V., "Federated Deep Reinforcement Learning for Recommendation-Enabled Edge Caching in Mobile Edge-Cloud Computing Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 41, no. 3, pp. 690–705, 2023. doi: 10.1109/JSAC.2023.3235443.
- [28] H. Xu, A. Berres, S. Yoginath, H. Sorensen, P. Nugent, J. Severino, S. Tennille, A. Moore, W. Jones, dan J. Sanyal, "Smart Mobility in the Cloud: Enabling Real-Time Situational Awareness and Cyber-Physical Control Through a Digital Twin for Traffic," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 3145–3156, 2023, doi: 10.1109/ITITS.2022.3226746.
- [29] S. Addya, A. Satpathy, B. Ghosh, S. Chakraborty, S. Ghosh, and S. Das, "CoMCLoud: Virtual Machine Coalition for Multi-Tier Applications over Multi-Cloud Environments," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 11, no. 1, pp. 956–970, 2023. doi: 10.1109/TCC.2021.3122445.
- [30] L. Wu, P. Sun, Z. Wang, Y. Li, and Y. Yang, "Computation Offloading in Multi-Cell Networks With Collaborative Edge-Cloud Computing: A Game Theoretic Approach," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 23, no. 3, pp. 2093–2106, 2024. doi: 10.1109/TMC.2023.3246462.
- [31] P. Zhang, N. Chen, G. Xu, N. Kumar, A. Barnawi, M. Guizani, Y. Duan, and K. Yu, "Multi-Target-Aware Dynamic Resource Scheduling for Cloud-Fog-Edge Multi-Tier Computing Network," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 25, no. 5, pp. 3885–3897, 2024. doi: 10.1109/ITITS.2023.3330419.
- [32] T. V. Doan, G. T. Nguyen, [...] F. H. Fitzek, "SAP: Subchain-Aware NFV Service Placement in Mobile Edge Cloud," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2023, doi: 10.1109/TNSM.2022.3201388.
- [33] G. W. De Oliveira, M. Nogueira, [...] D. M. E. Batista, "Intelligent VNF Placement to Mitigate DDoS Attacks on Industrial IoT," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2023, doi: 10.1109/TNSM.2023.3274364.
- [34] F. Naeem, M. Ali, dan G. Kaddoum, "Federated-Learning-Empowered Semi-Supervised Active Learning Framework for Intrusion Detection in ZSM," *IEEE Communications Magazine*, 2023, doi: 10.1109/MCOM.001.2200533.
- [35] W. Attaoui, E. Sabir, dan M. Guizani, "VNF and CNF Placement in 5G: Recent Advances and Future Trends," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2023, doi: 10.1109/TNSM.2023.3264005.
- [36] I. H. Abdulqadder, S. Zhou, dan S. M. A. Akber, "Multi-layered intrusion detection and prevention in the SDN/NFV enabled cloud of 5G networks using AI-based defense mechanisms," *Computer Networks*, vol. 178, Art. no. 107364, 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107364.
- [37] R. Lin, S. Yu, Y. Bi, W. Quan, dan M. Zukerman, "Column Generation Based Service Function Chaining Embedding in Multi-Domain Networks," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 11, no. 1, pp. 3–16, 2023, doi: 10.1109/TCC.2021.3084999.
- [38] D. D. N. Nguyen, K. Sood, M. F. Zolkipli, S. Nepal, dan S. Yu, "Toward IoT Node Authentication Mechanism in Next Generation Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 20, pp. 17409–17418, 2023, doi: 10.1109/JIOT.2023.3262822.
- [39] Y. Kim, J. Kwak, D. Lee, H. Choo, dan S. Chong, "Dynamic Computation and Network Chaining in Integrated SDN/NFV Cloud Infrastructure," *IEEE Transactions on Cloud Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 874–887, 2023, doi: 10.1109/TCC.2021.3094681.
- [40] S. N. Afrasiabi, A. Ebrahimzadeh, A. M. Vegni, dan R. H. Glitho, "Reinforcement Learning-Based Optimization Framework for Application Component Migration in NFV Cloud-Fog Environments," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 20, no. 2, pp. 1692–1706, 2023, doi: 10.1109/TNSM.2022.3217723.

- [41] M. Dolati, S. H. Rastegar, M. M. Moghaddam, dan M. Ghaderi, "Layer-Aware Containerized Service Orchestration in Edge Networks," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 20, no. 2, pp. 1234-1247, 2023, doi: 10.1109/TNSM.2022.3217134.
- [42] N. M. Yungaicela-Naula, C. Vargas-Rosales, dan J. A. Perez-Diaz, "SDN-based architecture for transport and application layer DDoS attack detection by using machine and deep learning," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 123456–123470, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3101650.
- [43] S. Khorsandroo, A. G. Sánchez, A. S. Tosun, J. M. Arco, dan R. Doriguzzi-Corin, "Hybrid SDN evolution: A comprehensive survey of the state-of-the-art," *Computer Networks*, vol. 192, 2021, Art. no. 107981, doi: 10.1016/j.comnet.2021.107981.
- [44] A. Mohamed, M. Hamdan, S. Khan, A. Abdelaziz, S. F. Babiker, M. Imran, dan M. N. Marsono, "Software-defined networks for resource allocation in cloud computing: A survey," *Computer Networks*, vol. 192, 2021, Art. no. 108151, doi: 10.1016/j.comnet.2021.108151.
- [45] T. V. Doan, G. T. Nguyen, M. Reisslein, dan F. H. Fitzek, "FAST: Flexible and Low-Latency State Transfer in Mobile Edge Computing," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 80835–80850, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3105583.
- [46] P. T. Dinh dan M. Park, "R-EDoS: Robust Economic Denial of Sustainability Detection in an SDN-Based Cloud through Stochastic Recurrent Neural Network," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 5000–5012, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3061601.
- [47] E. P. Neto, F. S. Silva, L. M. Schneider, A. V. Neto, dan R. Immich, "Seamless MANO of multi-vendor SDN controllers across federated multi-domains," *Computer Networks*, vol. 185, p. 107752, 2021, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107752.
- [48] S. Sedaghat dan A. Jahangir, "RT-TelSurg: Real Time Telesurgery Using SDN, Fog, and Cloud as Infrastructures," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 52238–52251, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3069744.
- [49] J. Okwuibe, J. Haavisto, I. Kovacevic, E. Harjula, I. Ahmad, J. Islam, dan M. Ylianttila, "SDN-Enabled Resource Orchestration for Industrial IoT in Collaborative Edge-Cloud Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 1-17, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3105944.
- [50] S. Math, P. Tam, dan S. Kim, "Reliable federated learning systems based on intelligent resource sharing scheme for big data internet of things," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 1-16, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3101871.
- [51] M. Wang, Y. Lu, dan J. Qin, "Source-Based Defense Against DDoS Attacks in SDN Based on sFlow and SOM," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 1-14, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3139511.
- [52] P. Gao, Y. Xu, dan H. J. Chao, "OVS-CAB: Efficient rule-caching for Open vSwitch hardware offloading," *Computer Networks*, vol. 190, 2021, Art. no. 107844, doi: 10.1016/j.comnet.2021.107844.
- [53] S. M. L. Sindjoung, F. Velempini, dan M. B. A. Bomgni, "A MEC architecture for a better quality of service in an Autonomous Vehicular Network," *Computer Networks*, vol. 202, p. 109454, 2022, doi: 10.1016/j.comnet.2022.109454.
- [54] N. A. Kaci, A. Aklouf, Y. Dutra, dan D. L. C., "Machine learning based fast self optimized and life cycle management network," *Computer Networks*, vol. 202, 2022, Art. no. 108895, doi: 10.1016/j.comnet.2022.108895.
- [55] S. S. Patra, R. S. Govindaraj, S. Chowdhury, M. A. Shah, R. Patro, dan S. Rout, "Energy Efficient End Device Aware Solution Through SDN in Edge-Cloud Platform," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3218328.