

Model Infrastruktur *Edge* Adaptif untuk *Smart City* dan *IoT* Berbasis *Software Defined Networking*

Lalu Delsi Samsumar*¹, Zaenudin², Supardianto³, Muh. Nasirudin Karim⁴, Zumratul Muahidin⁵

^{1,2,3,4,5} Fakultas Ilmu Komputer dan Kecerdasan Artifisial, Universitas Teknologi Mataram, Mataram

e-mail: *¹samsumarld@utmmataram.ac.id, ²zen3d.itb@gmail.com, ³supardianto88mkom@gmail.com, ⁴karimmuhnasirudin@gmail.com, ⁵muahidinzumratul@gmail.com

Abstrak

Perkembangan *Smart City* dan *Internet of Things (IoT)* menuntut ketersediaan infrastruktur jaringan yang mampu merespons dinamika trafik secara cepat, efisien, dan adaptif. Arsitektur *edge* konvensional memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas, skalabilitas, serta kemampuan pengelolaan sumber daya pada kondisi trafik yang berubah-ubah. Penelitian ini mengusulkan model infrastruktur *edge* adaptif berbasis *Software Defined Networking (SDN)* untuk meningkatkan kinerja jaringan pada lingkungan *Smart City* dan *IoT*. Model dirancang dengan memanfaatkan pemisahan *control plane* dan *data plane* guna memungkinkan orkestrasi jaringan yang dinamis melalui pengaturan jalur, alokasi *bandwidth*, dan manajemen beban secara *real-time*. Metode penelitian meliputi perancangan arsitektur, implementasi prototipe menggunakan *controller SDN*, serta pengujian performa melalui simulasi pada *Mininet* dengan lima skenario trafik *IoT*. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter *Quality of Service (QoS)*, yaitu *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan *jitter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model adaptif berbasis *SDN* memberikan peningkatan performa signifikan dibandingkan arsitektur *edge* konvensional, dengan peningkatan *throughput* sebesar 51,1%, penurunan *delay* sebesar 35,2%, pengurangan *packet loss* sebesar 47,4%, serta stabilitas *jitter* yang lebih baik pada seluruh skenario. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi *SDN* pada infrastruktur *edge* merupakan pendekatan efektif untuk mendukung layanan *Smart City* dan *IoT* yang bersifat *real-time*, masif, dan heterogen.

Kata kunci: *edge computing*, *software defined networking (SDN)*, *smart city*, *Internet of Things (IoT)*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan konsep *Smart City* dan *Internet of Things (IoT)* telah mendorong peningkatan kebutuhan akan infrastruktur jaringan yang mampu menangani pertumbuhan perangkat, volume data, serta kebutuhan layanan *real-time* yang semakin kompleks. *IoT* diproyeksikan mencapai lebih dari 30 miliar perangkat pada tahun 2030, sehingga menimbulkan tantangan besar terkait latensi (*delay*), konsumsi *bandwidth*, skalabilitas, dan keamanan data dalam jaringan tradisional [1], [2]. Pada konteks *Smart City*, tantangan tersebut semakin

signifikan karena layanan seperti transportasi cerdas, pemantauan lingkungan, dan manajemen energi membutuhkan respons cepat dan pemrosesan data yang efisien [3].

Edge computing muncul sebagai solusi untuk mengurangi beban jaringan dan meningkatkan kecepatan pemrosesan dengan memindahkan komputasi lebih dekat ke sumber data. Penelitian menunjukkan bahwa *edge computing* mampu menurunkan delay hingga 40–60% pada aplikasi IoT real-time [4]. Namun, arsitektur edge tradisional masih menghadapi keterbatasan dalam fleksibilitas, orkestrasi sumber daya, dan kemampuan adaptasi terhadap dinamika trafik yang berubah-ubah. Kondisi ini menyebabkan performa layanan Smart City sering kali tidak stabil ketika terjadi lonjakan trafik atau perubahan pola komunikasi antarperangkat [5].

Di sisi lain, *Software Defined Networking* (SDN) menawarkan pendekatan yang lebih fleksibel melalui pemisahan control plane dan data plane. SDN memungkinkan pengelolaan jaringan secara terpusat, otomatis, dan adaptif, sehingga cocok untuk mengoptimalkan infrastruktur edge dalam ekosistem *Smart City* dan *IoT* [6], [7]. Integrasi SDN dan edge computing telah terbukti meningkatkan efisiensi jaringan, tetapi penelitian yang mengembangkan model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN masih terbatas, terutama dalam konteks implementasi Smart City di negara berkembang.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas integrasi SDN dan edge computing. Li et al. (2018) menunjukkan bahwa SDN dapat meningkatkan efisiensi manajemen trafik pada edge, namun belum menyediakan mekanisme adaptasi yang responsif terhadap perubahan kondisi jaringan secara real-time [8]. Penelitian lain lebih berfokus pada optimasi aplikasi Smart City, bukan pada arsitektur jaringan yang menopang layanan tersebut [3]. Selain itu, penelitian-penelitian lokal menunjukkan bahwa infrastruktur IoT dan jaringan modern di Indonesia masih menghadapi tantangan performa dan skalabilitas. Evaluasi performa jaringan IoT berbasis LoRa menunjukkan adanya variasi signifikan pada throughput dan stabilitas komunikasi [9], [10]. Sementara penelitian lain menyoroti isu pengelolaan trafik dan keamanan jaringan [11], [12]. Temuan-temuan ini memperkuat urgensi pengembangan model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN yang lebih responsif dan efisien.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji integrasi SDN dan edge computing, sebagian besar masih berfokus pada optimasi sebagian parameter jaringan atau pada skenario trafik yang terbatas. Li et al. menekankan bahwa SDN dapat meningkatkan efisiensi jalur data, namun belum menyediakan mekanisme adaptasi yang responsif terhadap perubahan kondisi jaringan secara real-time. Penelitian lain lebih menitikberatkan pada pengembangan aplikasi Smart City tanpa mengevaluasi arsitektur jaringan yang menopang layanan tersebut secara komprehensif. Selain itu, belum banyak penelitian yang menguji performa integrasi SDN–edge pada skenario trafik IoT yang bersifat dinamis dan fluktuatif, sebagaimana karakteristik lingkungan Smart City di negara berkembang. Celah penelitian ini menunjukkan perlunya model infrastruktur edge yang tidak hanya efisien, tetapi juga adaptif terhadap variasi beban trafik.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan Model Infrastruktur *Edge* Adaptif Berbasis SDN yang dirancang untuk merespons perubahan trafik secara real-time melalui mekanisme dynamic rerouting, load balancing, dan alokasi bandwidth adaptif. Kebaruan lainnya terletak pada pengujian performa menggunakan lima skenario trafik IoT yang merepresentasikan kondisi nyata *Smart City*, sehingga menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif dibandingkan penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN yang mampu meningkatkan performa jaringan pada ekosistem Smart City dan IoT berdasarkan parameter Quality of Service (QoS), yaitu delay, throughput, packet loss, dan jitter [13]. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan arsitektur jaringan modern yang responsif, efisien, dan adaptif terhadap dinamika trafik.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini disusun untuk mengembangkan dan mengevaluasi Model Infrastruktur Edge Adaptif Berbasis Software Defined Networking (SDN) dalam mendukung layanan Smart City dan Internet of Things (IoT). Tahapan penelitian meliputi analisis kebutuhan, perancangan arsitektur, implementasi model pada lingkungan simulasi, serta pengujian performa jaringan. Seluruh proses dilakukan secara sistematis agar hasil penelitian dapat direplikasi dan divalidasi [14], [15].

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menganalisis kebutuhan jaringan pada lingkungan Smart City dan IoT. Analisis mencakup karakteristik trafik IoT yang bersifat masif, heterogen, dan membutuhkan latensi (delay) rendah [2], [3]. Selain itu, dilakukan identifikasi terhadap keterbatasan arsitektur jaringan tradisional yang tidak mampu melakukan orkestrasi dinamis karena control plane dan data plane terikat secara statis [7]. Hasil analisis menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih fleksibel dan adaptif untuk mengelola trafik secara real-time [5].

2.1.1. Identifikasi Permasalahan Jaringan

Permasalahan utama yang ditemukan meliputi tingginya latensi (delay), ketidakstabilan throughput, meningkatnya packet loss pada kondisi padat, serta tidak adanya mekanisme adaptasi jaringan yang responsif. Permasalahan tersebut menjadi dasar pengembangan model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN [8], [15].

2.2. Perancangan Arsitektur Model

Perancangan arsitektur dilakukan untuk menghasilkan model jaringan edge yang mampu beradaptasi terhadap perubahan trafik. Arsitektur terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapisan perangkat IoT, lapisan edge-SDN, dan lapisan cloud [4]. Pada lapisan edge, SDN controller berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur aliran data, melakukan pemantauan trafik, serta menerapkan kebijakan adaptasi jaringan [6].

2.2.1. Desain Arsitektur Logis

Arsitektur logis dirancang untuk memungkinkan pemisahan fungsi kontrol dan data. SDN controller mengelola flow rules, melakukan dynamic path selection, dan mengatur prioritas trafik berdasarkan jenis layanan Smart City [7], [8].

2.2.2. Mekanisme Adaptasi Jaringan

Model adaptif menerapkan mekanisme seperti load balancing otomatis, dynamic rerouting, dan alokasi bandwidth berbasis kondisi trafik. Mekanisme ini dirancang agar jaringan mampu merespons perubahan beban secara real-time [6].

2.3. Implementasi Model

Implementasi dilakukan menggunakan emulator jaringan Mininet yang terintegrasi dengan SDN controller seperti Ryu atau ONOS. Lingkungan simulasi ini dipilih karena mampu merepresentasikan kondisi jaringan edge secara realistis dan banyak digunakan dalam penelitian SDN [14].

2.3.1. Lingkungan Simulasi

Simulasi dijalankan pada topologi jaringan yang terdiri dari beberapa node IoT, edge switch, dan SDN controller. Pengaturan flow rules dilakukan menggunakan Python, sedangkan pemantauan trafik dilakukan menggunakan Wireshark [9], [10].

2.3.2. Skenario Pengujian

Untuk mengevaluasi performa model adaptif berbasis SDN, penelitian ini menggunakan lima skenario trafik IoT yang merepresentasikan kondisi jaringan Smart City secara lebih realistis dan dinamis. Kelima skenario tersebut adalah:

1. Skenario 1: Trafik Ringan (S1) Beban trafik rendah, jumlah paket sedikit, dan interval pengiriman stabil. Digunakan untuk menguji baseline performa.
2. Skenario 2: Trafik Sedang (S2) Beban trafik meningkat dengan variasi interval pengiriman. Menggambarkan kondisi operasional normal Smart City.
3. Skenario 3: Trafik Padat (S3) Jumlah paket meningkat signifikan, potensi kemacetan mulai muncul. Digunakan untuk menguji ketahanan throughput dan delay.
4. Skenario 4: Trafik Sangat Padat (S4) Beban trafik ekstrem, potensi bottleneck tinggi. Digunakan untuk menguji kemampuan load balancing dan rerouting.
5. Skenario 5: Trafik Dinamis/Adaptif (S5) Beban trafik berubah-ubah secara acak (fluktuatif). Digunakan untuk menguji kemampuan adaptasi real-time model SDN.

Kelima skenario ini dipilih untuk menggambarkan kondisi nyata pada lingkungan Smart City yang memiliki trafik tidak stabil dan sering berubah secara tiba-tiba. Setiap skenario dirancang untuk menguji kemampuan model dalam mempertahankan performa jaringan [13].

2.4. Metode Pengukuran dan Analisis

Pengukuran performa dilakukan menggunakan parameter Quality of Service (QoS), yaitu: throughput, delay, packet loss, dan jitter [13]. Data dikumpulkan menggunakan perintah ping, iperf, serta log dari SDN controller.

2.4.1. Pengumpulan Data

Setiap skenario dijalankan beberapa kali untuk memperoleh data yang konsisten. Hasil pengukuran dicatat dan dibandingkan antara model adaptif dan arsitektur edge konvensional [13].

2.4.2. Analisis Performa

Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai QoS pada setiap skenario. Peningkatan performa dihitung berdasarkan persentase perbaikan terhadap baseline jaringan konvensional. Hasil analisis digunakan untuk menilai efektivitas model adaptif yang diusulkan [6], [8].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

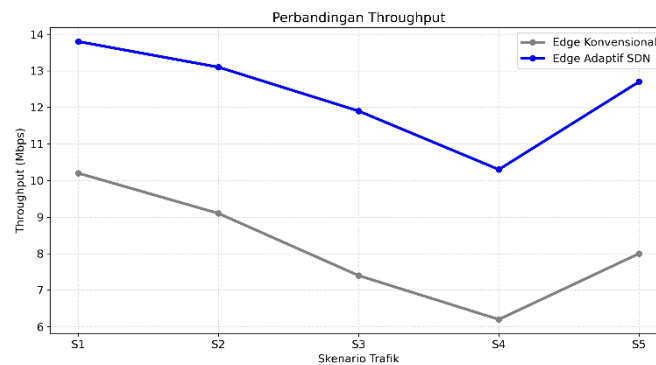
Pengujian dilakukan pada lima skenario trafik IoT—mulai dari beban ringan hingga kondisi dinamis—untuk membandingkan performa antara arsitektur Edge Konvensional dan Edge Adaptif Berbasis SDN. Hasil pengujian menunjukkan pola yang konsisten bahwa model adaptif SDN memberikan peningkatan performa pada seluruh parameter Quality of Service (QoS), yaitu throughput, delay, packet loss, dan jitter [6], [13]. Ringkasan hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Edge Konvensional dan Edge Adaptif SDN

Parameter QoS	Edge Konvensional	Edge Adaptif SDN	Peningkatan
Throughput (Mbps)	8,18	12,36	+51,1%

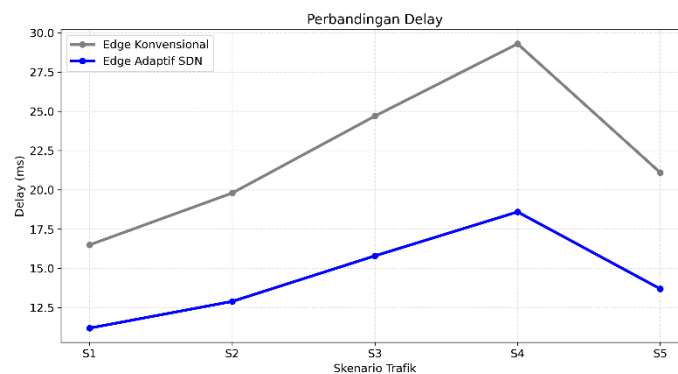
Delay (ms)	22,28	14,44	-35,2%
Packet Loss (%)	5,02	2,64	-47,4%
Jitter (ms)	1,75	1,02	-41,5%

Secara visual, perbedaan performa ini dapat dilihat pada grafik perbandingan throughput (Gambar 1). Grafik tersebut menunjukkan bahwa Throughput model adaptif SDN selalu lebih tinggi dibandingkan edge konvensional pada seluruh skenario. Pada S1 (ringan), throughput SDN mencapai 13,8 Mbps, sedangkan edge konvensional hanya 10,2 Mbps. Tren ini berlanjut hingga S5 (dinamis), menunjukkan bahwa SDN mampu mengelola jalur data secara lebih efisien ketika trafik meningkat [8], [14].



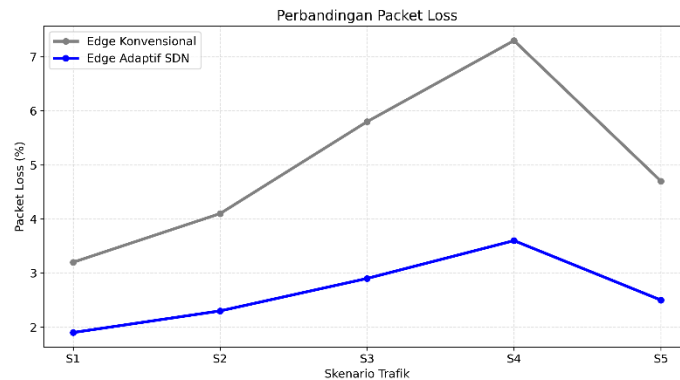
Gambar 1. Perbandingan throughput pada lima skenario trafik

Hasil pengujian delay juga menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada Gambar 2 terlihat bahwa Delay pada arsitektur konvensional meningkat tajam pada skenario padat dan sangat padat, mencapai 29,3 ms pada S4. Sebaliknya, model adaptif SDN mampu menjaga delay tetap rendah dan stabil, dengan nilai tertinggi hanya 18,6 ms. Hal ini menunjukkan efektivitas mekanisme dynamic rerouting dan pengaturan prioritas trafik pada SDN [4].



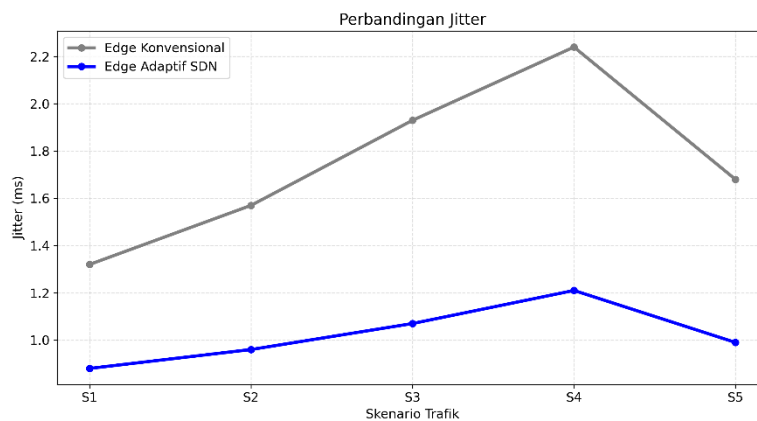
Gambar 2. Perbandingan delay pada lima skenario trafik

Perbedaan performa juga terlihat pada parameter packet loss. Pada Gambar 3, Packet loss pada edge konvensional meningkat signifikan pada skenario padat, mencapai 7,3% pada S4. Model adaptif SDN menunjukkan packet loss yang jauh lebih rendah, yaitu 3,6% pada skenario yang sama. Rata-rata packet loss SDN hanya 2,64%, hampir setengah dari arsitektur konvensional. Hal ini menunjukkan kemampuan SDN dalam mengurangi penumpukan paket melalui load balancing dan pengaturan jalur adaptif [6], [14].



Gambar 3. Perbandingan packet loss pada lima skenario trafik

Parameter jitter juga menunjukkan pola yang serupa. Pada Gambar 4 terlihat bahwa Jitter pada edge konvensional meningkat seiring bertambahnya beban trafik, sedangkan model adaptif SDN mampu menjaga kestabilan jitter pada seluruh skenario. Rata-rata jitter SDN adalah 1,02 ms, lebih rendah dibandingkan 1,75 ms pada arsitektur konvensional. Stabilitas jitter ini sangat penting untuk aplikasi IoT sensitif waktu seperti video surveillance dan sistem transportasi cerdas [3], [9].



Gambar 4. Perbandingan jitter pada lima skenario trafik

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa model adaptif SDN memberikan peningkatan performa yang signifikan pada seluruh parameter QoS. Peningkatan throughput, penurunan delay, pengurangan packet loss, dan stabilitas jitter menunjukkan bahwa model ini lebih efisien dan lebih adaptif dalam menghadapi dinamika trafik yang menjadi karakteristik utama lingkungan Smart City dan IoT [4], [6].

3.2. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa model Edge Adaptif Berbasis SDN memberikan peningkatan performa yang konsisten pada seluruh parameter QoS. Peningkatan throughput pada seluruh skenario menunjukkan bahwa SDN controller mampu memilih jalur transmisi yang lebih efisien dan menyesuaikan flow rules secara real-time, sehingga kapasitas kanal dapat dimanfaatkan secara optimal bahkan ketika trafik meningkat [6].

Penurunan delay hingga 35,2% menunjukkan bahwa mekanisme pengaturan jalur dan prioritas trafik pada SDN mampu mengurangi kemacetan pada node tertentu. Pada skenario padat dan sangat padat, arsitektur konvensional mengalami lonjakan delay yang signifikan, sedangkan model adaptif SDN tetap menjaga delay pada tingkat yang lebih rendah dan stabil. Hal ini sangat penting untuk aplikasi Smart City yang membutuhkan respons cepat, seperti sistem transportasi cerdas dan layanan darurat [3], [4].

Perbedaan performa yang semakin jelas terlihat pada parameter packet loss. Pada skenario padat, packet loss pada arsitektur konvensional meningkat drastis, sedangkan model adaptif SDN mampu menjaga packet loss tetap rendah. Hal ini menunjukkan efektivitas mekanisme load balancing dan dynamic rerouting dalam mengurangi penumpukan paket pada jalur tertentu [6], [14].

Parameter jitter juga menunjukkan bahwa model adaptif SDN mampu menjaga kestabilan variasi delay antar paket. Stabilitas jitter sangat penting untuk aplikasi IoT sensitif waktu seperti telemedicine, video surveillance, dan sistem peringatan dini [9], [10].

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil penelitian ini menunjukkan konsistensi dengan tren global dalam pengembangan arsitektur jaringan berbasis SDN dan edge computing. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi tambahan berupa evaluasi performa pada lima skenario trafik IoT yang lebih realistis dan dinamis, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai efektivitas integrasi SDN–edge dalam lingkungan Smart City.

Secara keseluruhan, model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN tidak hanya unggul secara teoritis, tetapi juga memberikan peningkatan performa yang signifikan secara praktis. Model ini mampu meningkatkan throughput, menurunkan delay, mengurangi packet loss, dan menjaga kestabilan jitter secara konsisten pada berbagai kondisi trafik. Dengan demikian, model ini sangat potensial untuk diterapkan pada implementasi Smart City dan IoT yang membutuhkan jaringan yang responsif, efisien, dan adaptif terhadap perubahan beban trafik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa Model Infrastruktur Edge Adaptif Berbasis Software Defined Networking (SDN) mampu meningkatkan performa jaringan secara signifikan dibandingkan arsitektur edge konvensional. Berdasarkan pengujian pada lima skenario trafik IoT, model adaptif menunjukkan peningkatan throughput sebesar 51,1%, penurunan delay sebesar 35,2%, pengurangan packet loss sebesar 47,4%, serta peningkatan stabilitas jitter sebesar 41,5%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa mekanisme dynamic rerouting, load balancing, dan alokasi bandwidth adaptif yang diterapkan SDN efektif dalam merespons perubahan trafik secara real-time.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi SDN dan edge computing merupakan pendekatan yang tepat untuk mendukung kebutuhan jaringan Smart City dan IoT yang bersifat masif, heterogen, dan dinamis. Model yang diusulkan tidak hanya meningkatkan efisiensi jaringan, tetapi juga memberikan kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap variasi beban trafik, sehingga layak diterapkan pada lingkungan jaringan modern yang membutuhkan kualitas layanan stabil dan respons cepat.

Selain memberikan kontribusi empiris terhadap peningkatan performa jaringan, penelitian ini juga memperluas kajian akademik mengenai integrasi SDN–edge melalui evaluasi komprehensif pada lima skenario trafik yang lebih realistis. Dengan demikian, penelitian ini memberikan dasar yang kuat bagi pengembangan arsitektur jaringan adaptif pada implementasi Smart City di masa mendatang.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji model infrastruktur edge adaptif berbasis SDN pada skala jaringan yang lebih besar dan topologi yang lebih kompleks agar dapat

merepresentasikan kondisi Smart City secara lebih realistis. Integrasi kecerdasan buatan, khususnya machine learning, berpotensi meningkatkan kemampuan prediktif SDN controller dalam mengantisipasi lonjakan trafik dan melakukan optimasi jalur secara proaktif. Selain itu, aspek keamanan jaringan perlu diteliti lebih lanjut, termasuk mekanisme deteksi intrusi dan mitigasi serangan berbasis SDN yang dapat diterapkan pada lingkungan edge. Pengujian pada jaringan generasi terbaru seperti 5G atau 6G, serta penggunaan workload IoT nyata, juga diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kesiapan model ini untuk implementasi di dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. C. Nguyen et al., “6G Internet of Things: A comprehensive survey,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 1, pp. 359–383, 2021.
- [2] O. Aouedi et al., “A survey on intelligent Internet of Things: Applications, security, privacy, and future directions,” *IEEE Commun. Surv. tutorials*, vol. 27, no. 2, pp. 1238–1292, 2024.
- [3] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of Things for Smart Cities,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [4] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, “Edge computing: Vision and challenges,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2579198.
- [5] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, “Fog computing and its role in the Internet of Things,” in *Proceedings of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, 2012, pp. 13–16. doi: 10.1145/2342509.2342513.
- [6] D. Kreutz, F. M. V Ramos, P. E. Verissimo, C. E. Rothenberg, S. Azodolmolky, and S. Uhlig, “Software-defined networking: A comprehensive survey,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14–76, 2015, doi: 10.1109/JPROC.2014.2371999.
- [7] Open Networking Foundation, “Software-Defined Networking: The new norm for networks,” 2014.
- [8] Y. Li, M. Chen, and Y. Wu, “Software-defined network function virtualization: A survey,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9396–9406, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2794341.
- [9] A. P. Juledi, M. K. Huda, M. T. D. Putra, and L. D. Samsumar, “Performance evaluation of LoRa 923 MHz for the Internet of Things,” in *2024 IEEE 10th TSSA*, 2024. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10845693>
- [10] B. Uddin, L. D. Samsumar, P. D. P. Adi, H. Septanto, and P. D. A. Pamungkas, “Performance evaluation of CubeSat nanosatellite using LoRa in low Earth orbit,” in *2025 IEEE International Technology and Innovation Symposium (ITIS)*, 2025, pp. 99–104.
- [11] I. M. Sari, L. D. Samsumar, and M. Zulpahmi, “Analisis keamanan jaringan wireless menggunakan penetration testing,” *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 3, no. 2, pp. 306–315, 2025.

- [12] L. D. Samsumar, B. Imran, M. M. Efendi, R. Muslim, and Z. Muahidin, “Optimalisasi keamanan web server Ubuntu dengan teknologi IPS berbasis Iptables,” *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 9, pp. 69–76, 2024.
- [13] ITU-T, “Recommendation Y.1540: IP packet transfer and availability performance parameters,” 2016.
- [14] L. D. Samsumar, Z. Zaenudin, and S. Supardianto, “Analisis komparatif kinerja kontroler OpenDaylight dan POX pada jaringan SDN berdasarkan parameter QoS,” *Jurnal Rekayasa Teknologi Informasi*, vol. 9, no. 3, pp. 273–281, 2025.
- [15] L. D. Samsumar and M. N. Karim, “Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT,” *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science*, vol. 2, no. 1, pp. 20–26, 2025.