

LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN JARINGAN BERBASIS *SOFTWARE DEFINED NETWORKING* (SDN) MENGGUNAKAN GRAPHIC NETWORK SIMULATOR-3 (GNS3)

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S-1

Program Studi Informatika



Muhammad Hilva Surya Dilaga Yasin

NIM 20106050062

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

2025

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1872/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Perancangan dan Pengujian Jaringan Berbasis Software Defined Networking (SDN) Menggunakan Simulator GNS3

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD HILYA SURYA DILAGA YASIN
Nomor Induk Mahasiswa : 20106050062
Telah diujikan pada : Selasa, 19 Agustus 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, M.T., IPU., ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 68a4d9fca5765



Penguji I

Nurochman, S.Kom., M.Kom
SIGNED

Valid ID: 68a71c7257007



Penguji II

Eko Hadi Gunawan, M.Eng.
SIGNED

Valid ID: 68a72a9693caa



Yogyakarta, 19 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 68a76796679d8

LEMBAR PERNYATAAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Hilya Surya Dilaga Yasin
NIM : 20106050062
Program Studi : Informatika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya tugas akhir ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 11 Agustus 2025



Muhammad Hilya Surya Dilaga Yasin

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Muhammad Hilya Surya Dilaga Yasin

NIM : 20106050062

Judul Skripsi : Perancangan dan Pengujian Jaringan Berbasis *Software Defined Networking* (SDN) menggunakan Simulator GNS3.

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 11 Agustus 2024

Pembimbing

Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, M.T., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 19751024 200912 1 002

LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini tidak dipublikasikan, tetapi tersedia di perpustakaan dalam lingkungan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, diperkenankan dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun, dan harus menyebutkan sumbernya sesuai dengan kebiasaan ilmiah. Dokumen Tugas Akhir ini merupakan hak milik UIN Sunan

Kalijaga Yogyakarta.



ABSTRAK

Perancangan dan Pengujian Jaringan Berbasis *Software Defined Networking* (SDN) Menggunakan Simulator GNS3

Muhammad Hilva Surya Dilaga Yasin

NIM. 20106050062

Saat ini jaringan komputer tradisional atau konvensional masih menjadi pilihan umum pada berbagai segmen. Meskipun umum digunakan pada setiap lini, implementasi jaringan komputer menghadapi tantangan seperti biaya, skalabilitas, keamanan, dan lain sebagainya. *Software Defined Networking* (SDN) dipilih karena mampu memisahkan *control plane* dan *data plane*, sehingga memberikan fleksibilitas, efisiensi, dan kemudahan pengelolaan jaringan. Perancangan dilakukan dengan topologi *leaf-spine*, memanfaatkan RYU Controller sebagai pusat kendali dan OpenvSwitch sebagai *switch* utama. Implementasi mencakup instalasi perangkat lunak pendukung, pembangunan topologi, konfigurasi Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), dan pengembangan kode Python untuk penerapan jalur terpendek (*shortest path*). Pengujian mencakup parameter *Quality of Service* (QoS) seperti *delay*, *throughput*, dan *jitter*. Hasil menunjukkan *delay* rata-rata 6,7–7,9 ms dengan variasi minimum 2,6 ms dan maksimum >20 ms; *throughput* 733–779 Mbps dengan *retransmission* rendah; serta *jitter* 0,006–0,008 ms dan *packet loss* <0,01%. Evaluasi mengungkap perlunya RSTP untuk mencegah *looping* dan penggunaan CPU berlebih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi SDN dengan GNS3 dapat merepresentasikan performa jaringan modern secara efektif dan berpotensi menjadi acuan pengembangan lebih lanjut.

Kata kunci: *Software Defined Networking*, GNS3, RYU Controller, OpenvSwitch, *Quality of Service* (QoS).

ABSTRACT

Design and Testing of Software Defined Networking (SDN) Based Networks Using GNS3 Simulator

Muhammad Hilya Surya Dilaga Yasin

NIM. 20106050062

Currently, traditional or conventional computer networks remain the standard choice across various sectors. Despite their widespread use, network implementations face challenges such as cost, scalability, security, and others. Software Defined Networking (SDN) is chosen because it separates the control plane and data plane, thereby providing flexibility, efficiency, and ease of network management. The design was implemented using a leaf-spine topology, leveraging the RYU Controller as the control centre and OpenvSwitch as the main switch. The implementation included installing supporting software, building the topology, configuring the Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), and developing Python code for implementing the shortest path. Testing included Quality of Service (QoS) parameters such as delay, throughput, and jitter. Results showed an average delay of 6.7–7.9 ms with a minimum variation of 2.6 ms and a maximum of >20 ms; throughput of 733–779 Mbps with low retransmission; and jitter of 0.006–0.008 ms and packet loss <0.01%. The evaluation revealed the necessity of RSTP to prevent looping and excessive CPU usage. The research findings indicate that SDN simulations using GNS3 can effectively represent modern network performance and have the potential to serve as a benchmark for further development.

Keywords: *Software Defined Networking, GNS3, RYU Controller, OpenvSwitch, Quality of Service (QoS).*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbal'alamin, puji syukur dihaturkan kepada Allah SWT. atas segala limpahan rahmat, nikmat, serta hidayatnya. Selawat serta salam tidak lupa saya haturkan kepada *sayyidina wa nabiyyina* Muhammad SAW. sebagai suri tauladan serta sebagai seorang revolusioner sejati, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “Perancangan dan Pengujian Jaringan Berbasis *Software Defined Networking* (SDN) Menggunakan Simulator GNS3”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu pada Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung dalam proses penyusunan tugas akhir ini, di antaranya:

1. Kedua orang tua tercinta dan terkasih, Ayahanda Prof., Dr., Muhammad Yasin, M.Pd. dan Ibunda Bidayatul Munawaroh, S.H. S.Pd., yang selalu mendukung penuh serta senantiasa mendoakan yang terbaik kepada penulis dalam proses menempuh pendidikan.
2. *Almaghfurlah* K.H. Imam Haromain Asy'ari (Bapak Imam), *Almaghfurlah* K.H. Ahmad Wazier Ali (Ayah Wazier), selaku guru, orang tua, dan panutan yang sangat dihormati penulis. Beliau-beliau selalu memberikan nasihat-nasihat yang menjadi semangat penulis dalam menuntut ilmu dan menyelesaikan penulisan ini.
3. Bapak Prof. Noorhaidi, M.A., M.Phil., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Prof., Dr., Dra., Hj., Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
5. Bapak Dr. Muhammad Mustakim, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Bapak Dr. Ir. Bambang Sugiantoro, M.T., IPU., ASEAN Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis.

7. Bapak Mandahadi Kusuma, M.Eng., selaku dosen pembimbing akademik penulis.
8. Bapak Akbari Indra Basuki, M.T., selaku pembimbing di kelompok riset keamanan siber KST Samaun Samadikun Bada Riset dan Inovasi Nasional, yang memberikan ide penulisan tentang *Software Defined Networking* (SDN).
9. Seluruh Dosen Program Studi Informatika yang telah mengajarkan ilmu yang bermanfaat.
10. Sahabati Maulida yang senantiasa memberikan dukungan terbaiknya, mendengar keluh kesah, dan menemani penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
11. Sahabat dan Sahabati Korp Sapphire, senantiasa memberikan semangat dan motivasi untuk penuntasan tugas akhir, menjadi ruang untuk bertumbuh bersama-sama, sebagai “rumah” untuk penulis selama menjalankan perkuliahan. Korp Sapphire abadi, selamanya tak terganti.
12. Teman-teman Program Studi Informatika yang telah memberikan semangat dan pembelajaran.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan sebagai penunjang perbaikan atau pengembangan selanjutnya. Semoga tugas akhir dapat bermanfaat dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Aamiin Yaa Rabbal'alam

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 8 Agustus 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SKRIP.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Perancangan Jaringan.....	3
1.5 Manfaat Perancangan Jaringan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Jaringan Komputer	8
2.2.2 <i>Software Defined Networking (SDN)</i>	9
2.2.3 Openflow	10
2.2.4 Ryu Controller	11
2.2.5 OpenvSwitch	11
2.2.6 <i>Graphical Network Simulator-3 (GNS3)</i>	12
2.2.7 <i>Linux Operating System</i>	13
BAB III METODE PENGEMBANGAN SISTEM.....	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Langkah-langkah Pengembangan Sistem Jaringan	14
3.2.1 Studi Literatur.....	15

3.2.2	Analisis Kebutuhan	15
3.2.3	Desain	15
3.2.4	Implementasi	16
3.2.5	Pengujian	16
3.2.6	Evaluasi	16
BAB IV PERANCANGAN DAN EVALUASI SISTEM		18
4.1	Perancangan Sistem	18
4.1.1	Analisis Kebutuhan	18
4.1.2	Desain	20
4.1.3	Implementasi	21
4.1.4	Pengujian	32
4.1.5	Evaluasi	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		40
5.1.	Kesimpulan.....	40
5.2.	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		42
LAMPIRAN		45

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Spesifikasi Perangkat Keras	19
Tabel 4. 2 Spesifikasi Perangkat Lunak.....	19
Tabel 4. 3 Perintah Aktivasi Rapid Spanning Tree Protocol	28
Tabel 4. 4 Perintah untuk menghubungkan OpenvSwitch ke Controller	29
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Delay	34
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Throughput	36
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Jitter.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	14
Gambar 4. 1 Desain Topologi Jaringan	20
Gambar 4. 2 Proses Mengunduh Appliance OpenvSwitch	26
Gambar 4. 3 Proses Instalasi Appliance OpenvSwitch	27
Gambar 4. 4 Instalasi Appliance OpenvSwitch Berhasil.....	27
Gambar 4. 5 Pengujian Konektivitas antar Host	32
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Konektivitas Controller.....	33

DAFTAR SKRIP

Skrip 4. 1 Melakukan Clone dari Repository Ryu.....	21
Skrip 4. 2 Proses Instalasi Ryu Controller.....	22
Skrip 4. 3 Menjalankan Ryu Controller.....	23
Skrip 4. 4 Menambahkan Repository GNS3	24
Skrip 4. 5 Instalasi GNS3-server	25



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini jaringan komputer tradisional atau konvensional masih menjadi pilihan umum pada berbagai segmen. Contohnya seperti pada instansi pemerintahan, universitas atau sekolah tinggi, sekolah, hingga masyarakat umum. Jaringan komputer konvensional umumnya terdiri dari berbagai perangkat seperti *switch*, *router*, *hub*, *repeater*, dan lain-lain. Pada perangkat jaringan konvensional tersebut, terdapat berbagai protokol kompleks yang digunakan dengan perangkat-perangkat ini seperti TCP, UDP, HTTP, SMTP, dan lain sebagainya[1]. Meskipun umum digunakan pada setiap lini, implementasi jaringan komputer menghadapi tantangan seperti biaya, skalabilitas, keamanan, dan lain sebagainya. Pengembangan jaringan komputer membutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak yang berkualitas atau yang memenuhi standar minimum dalam perancangan jaringan, serta koneksi internet yang stabil. Selain itu, skalabilitas juga merupakan tantangan penting. Seiring dengan pertumbuhan bisnis atau organisasi, jaringan komputer harus dapat berkembang secara fleksibel untuk menampung peningkatan jumlah pengguna dan perangkat. Kemudian untuk keamanan, jaringan yang terhubung ke internet rentan terhadap serangan dari luar, seperti virus, malware, dan serangan peretas. Oleh karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah perlindungan, seperti penggunaan *firewall*, enkripsi data, dan pembaruan sistem secara teratur[2].

Software Defined Networking (SDN) adalah pendekatan inovatif terhadap arsitektur jaringan yang memungkinkan pengelolaan dan mengontrol sumber daya jaringan melalui aplikasi perangkat lunak[3]. SDN hadir dengan model kontrol jaringan terpusat menggunakan perangkat lunak yang disebut sebagai kontroler dengan memisahkan fungsi kontrol dan bidang jaringan konvensional supaya mencapai lebih banyak fleksibilitas, manajemen, dan kemampuan untuk beradaptasi[4]. Hal ini memungkinkan pemantauan dan pengelolaan jaringan dengan fleksibel dan efisien. Konfigurasi dan mengatur lalu lintas jaringan tanpa perlu melakukan perubahan pada perangkat keras secara langsung, sehingga meningkatkan responsivitas terhadap perubahan kebutuhan juga merupakan keunggulan dari SDN[5][6]. Keunggulan lain dari SDN yakni memiliki biaya perawatan yang rendah dibandingkan dengan jaringan tradisional, kemudahan dalam manajemen, dan penerapan *Access Control List* (ACL). Hal ini menjadi langkah dalam menyederhanakan manajemen dan kontrol jaringan dengan mengelola seluruh jaringan dari kontrol jaringan terpusat[7].

Perancangan dan pengujian jaringan berbasis SDN memerlukan media untuk merealisasikan proses tersebut, dan *Graphic Network Simulator-3* (GNS3) merupakan perangkat untuk melakukan simulasi jaringan. Dengan menggunakan GNS3, rancangan tugas akhir dapat diimplementasikan tanpa memerlukan perangkat keras seperti *switch* atau *router*. Proyek tugas akhir ini bertujuan untuk merancang jaringan berbasis SDN dengan GNS3 sebagai alat simulasi, guna mengeksplorasi potensi peningkatan efisiensi dan efektivitas dalam pengelolaan jaringan.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan pemaparan pada latar belakang, permasalahan yang dijadikan objek rancangan tugas akhir yakni, baagaimana mengimplementasikan jaringan berbasis *Software Defined Network* (SDN) dan menguji performa jaringan menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS) menggunakan *Graphic Network Simulator-3* (GNS3) sebagai media perancangan pada lingkungan simulasi?

1.3 Batasan Masalah

Pada perancangan tugas akhir ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

- a) Perancangan dilakukan dalam ruang lingkup simulasi menggunakan *Graphical Network Simulator-3* (GNS3).
- b) Pengujian yang dilakukan menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS) *delay*, *throughput*, dan *jitter*.
- c) Perancangan jaringan pada GNS3 tidak membahas aspek keamanan jaringan seperti *firewall*, *Intrusion Detection System*, *Intrusion Prevention System*.
- d) Tugas akhir ini tidak mencakup implementasi secara langsung menggunakan perangkat fisik pada dunia nyata.

1.4 Tujuan Perancangan Jaringan

Tujuan dari perancangan dan pengujian jaringan berbasis *Software Defined Networking* (SDN) adalah:

- a) Merancang topologi dalam lingkungan simulasi GNS3.

- b) Mengimplementasikan fungsi SDN menggunakan perangkat lunak pendukung seperti OpenFlow, OpenVSwitch, dan Ryu Controller.
- c) Melakukan pengujian *Quality of Service* (QoS) berdasarkan implementasi rancangan jaringan berbasis *Software Defined Networking* (SDN).

1.5 Manfaat Perancangan Jaringan

Manfaat dari perancangan dan pengujian jaringan berbasis *Software Defined Networking* (SDN) adalah:

- a) Mengetahui performa jaringan berbasis SDN berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang dilakukan pada *Graphical Network Simulator-3* (GNS3).
- b) Sebagai media pembelajaran tentang arsitektur SDN pada perangkat simulasi GNS3.
- c) Memberikan pemahaman dalam melakukan perancangan dan implementasi jaringan berbasis SDN pada lingkungan simulasi menggunakan GNS3.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan jaringan berbasis *Software Defined Networking* (SDN) dan pengujian jaringan menggunakan parameter *Quality of Service* (QoS). Perancangan jaringan SDN menggunakan topologi leaf-spine berhasil diimplementasikan. Penggunaan RYU *controller* sebagai pusat kendali dan OpenvSwitch sebagai switch utama merupakan inti dari perancangan jaringan SDN. RYU *controller* sebagai pusat kendali tidak dapat berdiri sendiri. Perlu perancangan dan pengembangan kode dengan bahasa pemrograman python. Kode pemrograman yang dirancang lebih menonjolkan tentang implementasi *shortest path* atau jalur terpendek pada topologi *leaf-spine*. Selain itu perlunya pengaktifan *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP) pada OpenvSwitch untuk mencegah terjadi *looping* dan penggunaan CPU tinggi.

Kemudian, pada hasil pengujian jaringan menggunakan tiga parameter *Quality of Service* (QoS) yaitu *delay*, *throughput*, dan *jitter* yang memiliki keterkaitan dalam menilai performa jaringan yang telah dibuat. Hasil pengujian *delay* menunjukkan bahwa rata-rata keterlambatan pengiriman paket berada dalam kisaran 6.7 ms hingga 7.9 ms dengan nilai minimum hingga 2.6 ms dan maksimum mencapai lebih dari 20 ms, hal tersebut menunjukkan adanya variasi jalur dan beban lalu lintas antar *host*. Pada pengujian *throughput* menghasilkan nilai *throughput* yang berkisar 733 Mbps hingga 779 Mbps dengan tingkat *retransmission* relatif kecil meski terdapat beberapa *retransmission* berjumlah ratusan. Namun, pengujian *jitter* menunjukkan adanya fluktuasi waktu antar paket

berkisar pada 0.006 ms–0.008 ms, dengan tingkat *packet loss* bervariasi namun tetap rendah dengan rata-rata di bawah 0.01%, memperlihatkan kestabilan jaringan dalam pengiriman data *realtime*.

5.2.Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian jaringan berbasis *software defined networking* (SDN), terdapat beberapa saran yang dapat ditinjau untuk pengembangan lanjutan jaringan berbasis SDN, sebagai berikut:

1. Pengembangan lanjutan pada *controller* dengan menambahkan fitur keamanan seperti *firewall* atau *Intrusion Detection System* (IDS) / *Intrusion Prevention System* (IPS) untuk meningkatkan keamanan sistem jaringan.
2. Melakukan pendalaman penggunaan GNS3 pada implementasi jaringan berbasis SDN, sehingga menghasilkan pendekatan yang lebih nyata.
3. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem jaringan modern berbasis SDN di lingkungan akademik maupun instansi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jefferson and R. Harikrishnan, "Recent Trends in Software-Defined Networking: A Bibliometric," 2021, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/353258789_Recent_Trends_in_Software-Defined_Networking_A_Bibliometric_Review.
- [2] M. M. Mutoffar, "Jaringan Komputer: Konsep Dan Aplikasi Modern." Mitra Intelektual Indonesia, 2024.
- [3] E. Oye and J. Tawkoski, "The Evolution of Network Architecture: From Traditional to Software-Defined Networking (SDN)," May 2020.
- [4] C. Urrea and D. Benítez, "Software-Defined Networking Solutions, Architecture and Controllers for the Industrial Internet of Things: A Review," *Sensors*, vol. 21, no. 19, 2021, doi: 10.3390/s21196585.
- [5] Fujiyama, "Mengenal Software Defined Network (SDN)," *Humas Tel-U Surabaya*, 2024. <https://surabaya.telkomuniversity.ac.id/mengenal-software-defined-network-sdn/> (accessed Jan. 03, 2025).
- [6] C. E. W. B. Kanigoro, "SOFTWARE DEFINED NETWORKING (SDN)," *Binus University*. <https://socs.binus.ac.id/2018/12/10/software-defined-networking-sdn/> (accessed Jan. 03, 2025).
- [7] M. Hussain, N. Shah, R. Amin, S. S. Alshamrani, A. Alotaibi, and S. M. Raza, "Software-defined networking: Categories, analysis, and future directions," *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5551, 2022.
- [8] S. H. Haji *et al.*, "Comparison of software defined networking with traditional

- networking,” *Asian J. Res. Comput. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–18, 2021.
- [9] S. Hanadwiputra, S. Subandri, and D. Prawinarko, “Implementasi Konsep Software Defined Networking (SDN) Wide Area Network (WAN) Pada Mikrotik Dengan Python 3,” *JUPITER J. Comput. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 66–79, 2023.
- [10] R. Amalia, T. U. Kalsum, and R. Riska, “Analisis dan Implementasi Software Defined Networking (SDN) untuk Automasi Perangkat Jaringan,” *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 4, no. 2, pp. 312–322, 2021.
- [11] P. H. Trisnawan and A. Basuki, “Implementasi Algoritme A* Pada Software Defined Network Untuk Mencari Jalur Terpendek,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 6, pp. 2746–2752, 2021.
- [12] A. D. Rahmawan, S. Syaifuddin, and D. Risqiwati, “Analisa Performansi Controller Pada Arsitektur Jaringan Software Defined Network (SDN),” *J. Repos.*, vol. 2, no. 12, 2020.
- [13] S. Badotra and S. N. Panda, “Software-defined networking: A novel approach to networks,” in *Handbook of computer networks and cyber security: Principles and paradigms*, Springer, 2020, pp. 313–339.
- [14] K. Alghamdi and R. Braun, “Software defined network (SDN) and OpenFlow protocol in 5G network,” *Commun. Netw.*, 2020.
- [15] Ryu SDN Framework Community, “Ryu SDN,” 2017. <https://ryu-sdn.org/> (accessed Jan. 05, 2025).
- [16] Linux Foundation Collaborative Project, “OpenvSwitch,” 2016.

<https://www.openvswitch.org/> (accessed Jan. 05, 2025).

- [17] A. Azem, “Network Analysis: Simulating Customer Networks with GNS3.” 2024.
- [18] R. Fox, *Linux with operating system concepts*. Chapman and Hall/CRC, 2021.
- [19] S. M. J. Yasini, “Implementation of segment routing and MPLS traffic engineering in software-defined network based on GNS3 network emulator and OpenDayLight SDN controller,” 2017.

