

ANALISIS PERFORMA *ROUTING* OSPF PADA TOPOLOGI *HYBRID STAR-MESH* DAN TOPOLOGI *TREE* MENGGUNAKAN GNS3

Muhammad Naufal Musyafa^{1*}, Ayman Human Sukma², Sybil Auzi³
Dedy Kiswanto⁴

Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatra Utara, Indonesia¹

Email* : naufalmusyafaa@gmail.com

Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatra Utara, Indonesia²

Email : ahsukma15@gmail.com

Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatra Utara, Indonesia³

Email : anmarjo1311@gmail.com

Universitas Negeri Medan, Medan, Sumatra Utara, Indonesia⁴

Email : dedykiswanto@unimed.ac.id

(*) *Corresponding Author*

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis perbandingan performa protokol *routing* OSPF (*Open Shortest Path First*) pada topologi *hybrid star-mesh* dan topologi *tree*. Pengujian dilakukan melalui simulasi menggunakan GNS3 dengan *router* Mikrotik yang dikonfigurasi dengan protokol OSPF. Parameter kinerja yang diukur meliputi *throughput*, *jitter*, *delay*, dan *packet loss*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa topologi *hybrid star-mesh* memberikan performa yang lebih baik, khususnya dalam hal *delay* dengan rata-rata 2,548 ms (15,46% lebih cepat dibandingkan topologi *tree*) dan *jitter* yang lebih stabil dengan rata-rata 3,193 ms (10,4% lebih rendah dibandingkan topologi *tree*). Sementara itu, kedua topologi menunjukkan *throughput* yang relatif setara dengan nilai rata-rata 958 Kbits/s untuk *hybrid star-mesh* dan 962,7 Kbits/s untuk *tree*, serta tidak ditemukan *packet loss* pada kedua topologi. Meskipun perbedaan performa tidak terlampau signifikan, topologi *hybrid star-mesh* terbukti lebih unggul dalam penyediaan jalur komunikasi yang lebih responsif dan konsisten. Penelitian ini memberikan rekomendasi yang komprehensif terkait pemilihan topologi jaringan yang optimal untuk implementasi protokol OSPF dalam konteks kebutuhan jaringan enterprise dan pendidikan.

Kata kunci: OSPF, Topologi *Hybrid Star-Mesh*, Topologi *Tree*, GNS3, *Router* Mikrotik

ABSTRACT

This research analyzes the performance comparison of OSPF (Open Shortest Path First) routing protocol on hybrid star-mesh topology and tree topology. Testing was conducted through simulation using GNS3 with Mikrotik routers configured with OSPF protocol. Performance parameters measured include throughput, jitter, delay, and packet loss. The results show that the hybrid star-mesh topology provides better performance, particularly in terms of delay with an average of 2.548 ms (15.46% faster compared to tree topology) and more stable jitter with an average of 3.193 ms (10.4% lower than tree topology). Meanwhile, both topologies showed relatively equivalent throughput with average values of 958 Kbits/s for hybrid star-mesh and 962.7 Kbits/s for tree, with no packet loss observed in either topology. Although the performance differences are not highly

significant, the hybrid star-mesh topology proves superior in providing more responsive and consistent communication paths. This research provides comprehensive recommendations regarding the selection of optimal network topology for OSPF protocol implementation in the context of enterprise and educational network requirements.

Keywords: OSPF, Hybrid Star-Mesh Topology, Tree Topology, GNS3, Mikrotik Router

1. PENDAHULUAN

Protokol routing merupakan pada *layer network* yang berfungsi bertanggung jawab membawa data melewati sekumpulan jaringan dengan cara memilih jalur terbaik untuk di lewati data [1]. Salah satu protokol routing yang banyak di implementasikan dalam jaringan *enterprise* adalah OSPF (*Open Shortest Path First*) [2]. Protokol OSPF menerapkan algoritma *link-state* berbasis Dijkstra untuk menghitung jalur tercepat secara efisien dalam jaringan [3]. *Routing* dinamis merupakan mekanisme otomatis pada *router* yang berfungsi untuk menghitung dan menentukan jalur pengiriman paket data berdasarkan algoritma tertentu [4]. Dalam penerapan OSPF, pemilihan topologi jaringan yang sesuai tidak hanya berpengaruh pada efisiensi protokol *routing*, tetapi juga menentukan tingkat konvergensi dan keandalan sistem komunikasi secara keseluruhan [5].

Topologi jaringan seperti *Star* dan *Mesh* telah lama menjadi subjek kajian dalam jaringan *Local Area Network* (LAN), khususnya dalam lingkungan perkantoran. Berdasarkan Penelitian [6] menunjukkan bahwa *Mesh* unggul dalam fleksibilitas dan redundansi berkat struktur terdistribusinya, di mana setiap node dapat berfungsi sebagai titik transit data. Sebaliknya, topologi *Star* dinilai efektif dalam pengelolaan lalu lintas jaringan secara terpusat, terutama pada lingkungan organisasi yang membutuhkan kontrol dan keamanan tinggi dalam manajemen jaringan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa tidak ada satu solusi topologi yang cocok untuk semua kondisi dan menyarankan pendekatan hybrid guna menggabungkan keunggulan masing-masing topologi.

Sebagai pengembangan dari studi tersebut, dilakukan analisis terhadap performa topologi lainnya, yaitu topologi *tree* dan *hybrid star-mesh*, dalam konteks implementasi protokol *routing* OSPF. Topologi *hybrid star-mesh* merupakan kombinasi dari dua topologi dasar yang menggabungkan kemudahan manajemen dari topologi *Star* dan redundansi dari topologi *Mesh*. Sementara itu, topologi *tree* mengadopsi struktur hierarkis yang memungkinkan ekspansi jaringan secara vertikal dengan efisien. Kedua topologi tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal performa dan reliabilitas ketika digunakan bersama protokol OSPF.

Penelitian sebelumnya membandingkan performa topologi *Star* dan *Mesh* dalam aplikasi video konferensi *real-time* pada jaringan LAN. Hasilnya, topologi *Mesh* menunjukkan performa lebih stabil dengan kecepatan rata-rata 60 Mbps dan penurunan performa hanya 15% saat beban tinggi, serta lebih unggul dalam *latensi* dan *jitter*. Sementara itu, topologi *Star* lebih cocok untuk jaringan kecil karena kemudahan implementasi dan efisiensi biaya, meski mengalami penurunan performa hingga 30% pada kondisi serupa [7].

Selanjutnya, beberapa studi mulai memfokuskan analisisnya pada performa *routing protocol* OSPF. Penelitian terdahulu telah mengkaji performa protokol OSPF pada berbagai topologi secara terpisah. Namun, studi komparatif yang spesifik membandingkan topologi hybrid star-mesh dengan topologi *tree* masih terbatas. Berdasarkan penelitian [6] meneliti performa OSPF pada topologi *star* dan *mesh* dalam jaringan kantor menggunakan GNS3, dan menyimpulkan bahwa topologi *star* lebih unggul dalam hal *latency* dan *jitter*, sedangkan *mesh* lebih andal dalam skenario dengan

beban tinggi dan gangguan jaringan. Sementara itu berdasarkan penelitian [8] membahas pengaruh topologi jaringan (*Star*, *Ring*, dan *Point-to-Point*) terhadap jaringan OSPF dan pemanfaatan CPU *router* menggunakan simulator Opnet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa topologi jaringan memiliki dampak signifikan terhadap performa dan keandalan jaringan, di mana topologi *loop* memberikan keseimbangan yang baik dalam hal kinerja, redundansi, dan pemanfaatan CPU *router* dibandingkan dengan topologi lainnya. Lalu pada Penelitian [9] membahas analisis kinerja jaringan komputer pada topologi *star* dan *ring* di PT Indonesia Comnets Plus SBU Semarang dengan menggunakan protokol *routing* OSPF menggunakan Wireshark. Hasil pengujian menunjukkan bahwa implementasi OSPF memberikan peningkatan signifikan terhadap performa jaringan, dengan *delay* rendah, *jitter* stabil, *throughput* tinggi, dan tanpa kehilangan paket. Kemudian Penelitian [10] membandingkan performa otomatisasi konfigurasi OSPF dan EIGRP menggunakan Django dan Paramiko. Hasilnya, EIGRP lebih cepat dikonfigurasi (3,438 detik) dibanding OSPF (4,037 detik), dengan QoS keduanya tetap sangat baik. Dalam kondisi normal, EIGRP mencatat *throughput* 4,995 Mbps dan OSPF 3,932 Mbps, serta tetap stabil saat terjadi gangguan jaringan.

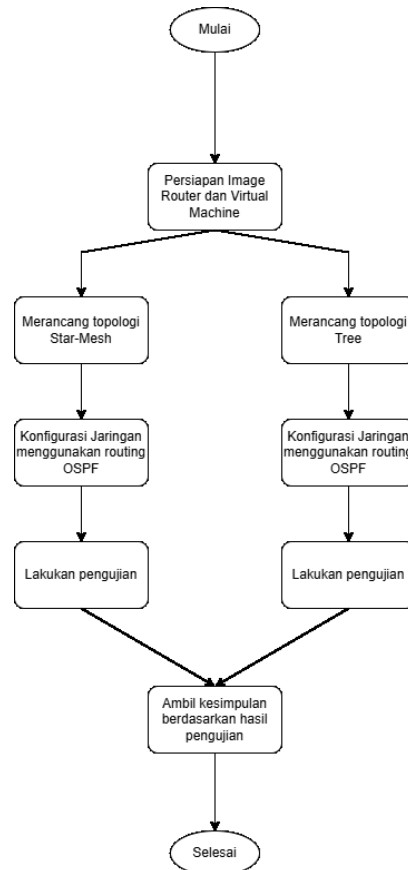
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa protokol *routing* OSPF pada dua jenis topologi jaringan, yakni *hybrid star-mesh* dan topologi *tree*, dengan berfokus pada parameter kinerja seperti *jitter*, *delay*, *throughput*, dan *packet loss*. Dengan demikian, hasil dari analisis dan evaluasi ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang komprehensif terkait pemilihan topologi jaringan yang paling optimal untuk penerapan protokol OSPF, khususnya dalam konteks kebutuhan jaringan di lingkungan *enterprise* dan pendidikan.

Penelitian dilakukan melalui simulasi menggunakan GNS3 dengan GNS3 VM dan perangkat Mikrotik. Simulasi ini memungkinkan rekayasa jaringan secara mendetail dan pengukuran parameter performa secara akurat. Penggunaan sistem operasi Linux dalam lingkungan *virtual* juga turut memengaruhi kestabilan dan efisiensi simulasi jaringan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa distribusi Linux seperti Linux Mint dan Fedora memiliki perbedaan signifikan dalam performa, stabilitas, dan efisiensi sumber daya yang dapat berpengaruh pada hasil pengukuran performa jaringan [11]. Diharapkan hasil studi ini dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan desain topologi jaringan yang efisien, andal, dan sesuai dengan kebutuhan organisasi modern.

2. METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan membandingkan dua model topologi jaringan melalui simulasi. Simulasi dilakukan di GNS3 yang terintegrasi dengan GNS3 VM untuk virtualisasi perangkat, dengan *router* Mikrotik sebagai perangkat utama yang dikonfigurasi menggunakan protokol OSPF. Data dari pengujian dianalisis untuk melihat apakah terdapat perbedaan signifikan antara performa kedua topologi. Proses penelitian dapat dilihat dalam flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart mengenai perancangan topologi hingga pengujian performanya

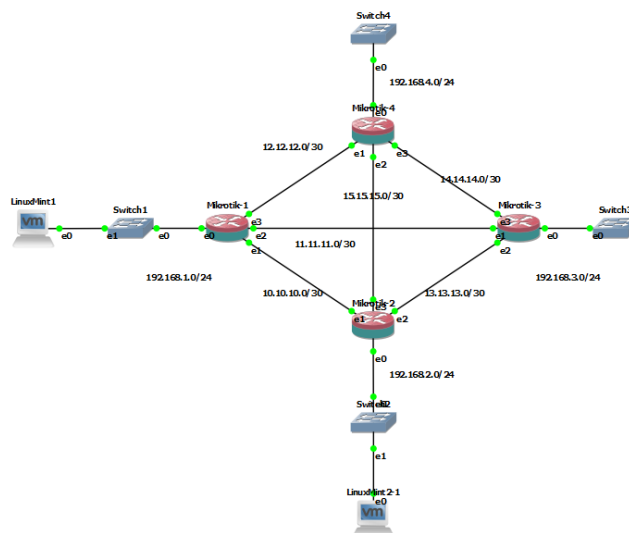
Perangkat Lunak dan Tools

Penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa perangkat lunak antara lain:

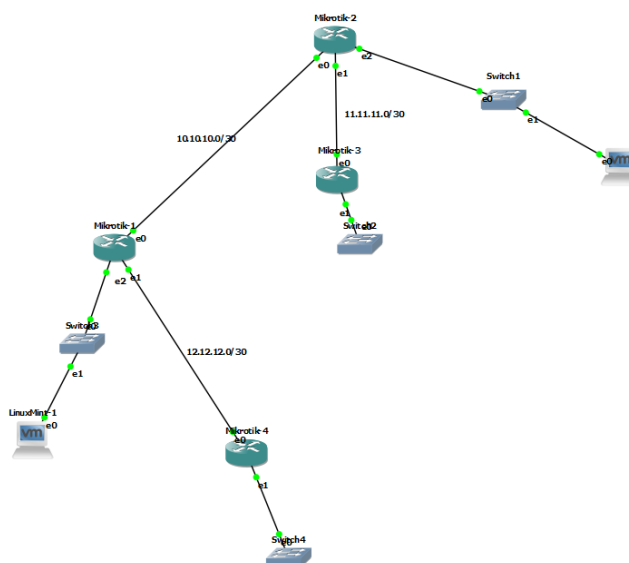
1. GNS3 (*Graphical Network Simulator-3*) sebagai platform simulasi jaringan virtual dengan berbagai perangkat.
2. *Virtual Machine* (VM) berupa 2 VM Linux Mint yang digunakan sebagai client dan server untuk mengukur performa jaringan.
3. *Router* Mikrotik dikonfigurasi sebagai *router* OSPF untuk menyebarkan jalur secara dinamis dalam topologi.
4. Iperf3 sebagai *tools* untuk mengukur *throughput* dan *jitter*.

Perancangan Topologi

Topologi dirancang menggunakan 4 router yang dimana 1 *router* akan terhubung dengan server iperf3 dan *router* lainnya terhubung sebagai *client*. Berikut adalah gambar topologi *star-mesh* dan topologi *tree* yang dirancang dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan topologi *hybrid star-mesh*



Gambar 3. Rancangan topologi *tree*

Subnetting

Setelah merancang kedua topologi, langkah selanjutnya adalah memberi IP address pada setiap perangkat dalam topologi tersebut seperti berikut:

Tabel 1. *Subnetting* pada topologi *star-mesh*

No	Hardware	IP Address
1	Router 1	e0: 192.168.1.1/24 e1: 10.10.10.1/30 e2: 11.11.11.1/30 e3: 12.12.12.1/30
2	Router 2	e0: 192.168.2.1/24 e1: 10.10.10.2/30 e2: 13.13.13.1/30 e3: 15.15.15.1/30

3	Router 3	e0: 192.168.3.1/24 e1: 11.11.11.2/30 e2: 13.13.13.2/30 e3: 14.14.14.2/30
4	Router 4	e0: 192.168.4.1/24 e1: 12.12.12.2/30 e2: 15.15.15.2/30 e3: 14.14.14.1/30
5	Server yang terhubung dengan Router 1	192.168.1.2/24
6	Server yang terhubung dengan Router 2	192.168.2.2/24
7	Server yang terhubung dengan Router 3	192.168.3.2/24
8	Server yang terhubung dengan Router 4	192.168.4.2/24

Tabel 2. Subnetting pada topologi tree

No	Hardware	IP Address
1	Router 1	e0: 10.10.10.2/30 e1: 12.12.12.1/30 e2: 192.168.1.1/24
2	Router 2	e0: 10.10.10.1/30 e1: 11.11.11.1/30 e2: 192.168.2.1/24
3	Router 3	e0: 11.11.11.2/30 e1: 192.168.3.1/24
4	Router 4	e0: 192.168.4.1/24 e1: 12.12.12.2/30 e2: 15.15.15.2/30 e3: 14.14.14.1/30
5	Server yang terhubung dengan Router 1	192.168.1.2/24
6	Server yang terhubung dengan Router 2	192.168.2.2/24
7	Server yang terhubung dengan Router 3	192.168.3.2/24
8	Server yang terhubung dengan Router 4	192.168.4.2/24

Konfigurasi Routing OSPF Pada Router

Pada penelitian ini, *routing* OSPF diimplementasikan pada empat *router* MikroTik dengan kedua topologi. Tujuan utama konfigurasi ini adalah untuk memastikan bahwa seluruh jaringan pada setiap *router* saling terhubung secara dinamis melalui OSPF, sehingga *route* terbaik dapat dipilih secara otomatis berdasarkan algoritma *Shortest Path First* (SPF). Berikut adalah perintah-perintah konfigurasi yang digunakan dan penjelasan fungsinya:

1. Menambahkan antarmuka *routing* menggunakan perintah *routing ospf interface add*, sehingga *interface* yang menghubungkan *router* terintegrasi ke dalam proses OSPF.
2. Menetapkan *router ID* unik pada masing-masing *router* menggunakan perintah *routing ospf instance set default router-id*, dengan nilai yang berbeda sesuai dengan identitas *router*. Pada penelitian ini, kami menggunakan empat *router* MikroTik dengan *Router ID* masing-masing yaitu 1.1.1.1 untuk *router* 1, 2.2.2.2 untuk *router* 2, 3.3.3.3 untuk *router* 3, dan 4.4.4.4 untuk *router* 4.

3. Mengiklankan *network* yang terhubung di setiap *router* menggunakan perintah *routing ospf network add*, yang memungkinkan seluruh jaringan pada masing-masing router saling dikenal dan di-*update* secara dinamis melalui protokol OSPF.

Dengan konfigurasi tersebut, penelitian ini dapat menganalisis performa routing OSPF pada kedua topologi tersebut serta mengukur parameter performa pada masing-masing topologi.

Pengujian Performa

Pengujian performa dalam penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas *routing* OSPF pada topologi jaringan yang telah dibangun di GNS3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua VM Linux Mint yang terhubung ke topologi jaringan sebagai berikut:

1. VM Linux Mint 1: Dikonfigurasi sebagai server *iperf3* dan terhubung langsung ke Router 1 pada kedua topologi jaringan.
2. VM Linux Mint 2: Dikonfigurasi sebagai client dan secara bergantian dihubungkan ke Router 2, Router 3, dan Router 4 untuk menguji performa jaringan dari sisi klien terhadap server.

Adapun parameter yang diuji meliputi:

1. *Throughput*

Dilakukan menggunakan *iperf3* dengan perintah *iperf3 -c <IP_server> -t 60*. Pengujian ini mengukur kemampuan jaringan dalam mentransfer data secara terus-menerus tanpa batasan *bandwidth* pada *protocol* TCP, sehingga memberikan gambaran kapasitas maksimum secara teoritis. *Throughput* diambil dari hasil pengukuran selama durasi pengujian TCP, dan kemudian dianalisis rata-ratanya pada saat pengesanan.

2. *Jitter*

Dilakukan dengan *iperf3* menggunakan perintah *iperf3 -c <IP_server> -u -b 50M -t 60*

Pada pengujian ini, *bandwidth* telah dibatasi sebesar 50 Mbits/detik untuk mensimulasikan kondisi trafik pada protokol UDP untuk mengukur *jitter*. *Jitter* diambil dari hasil pengukuran selama durasi pengujian UDP, dan kemudian dianalisis rata-ratanya untuk menggambarkan stabilitas waktu pengiriman paket.

3. *Delay dan Packet Loss*

Pengukuran *delay* dan *packet loss* dilakukan dengan menggunakan perintah *ping* pada VM Linux Mint 2 untuk mengirimkan paket ke VM Linux Mint 1 (*server*) yang terhubung ke Router 1. Perintah yang digunakan adalah: *ping -w 60 <alamat_tujuan>*. Perintah ini mengirimkan paket *ping* selama 60 detik. Dari *output* yang dihasilkan, nilai rata-rata *delay* dan *presentase packet loss* dianalisis. Hasil dari pengujian performa ini akan dianalisis untuk menunjukkan perbandingan nilai *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* antar topologi. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana pengaruh struktur topologi *star-mesh* dengan topologi *tree* terhadap efisiensi dan kestabilan routing OSPF dalam memenuhi kebutuhan trafik jaringan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pada Topologi Hybrid Star-Mesh

Pengujian pada topologi ini dilakukan dengan cara satu *client* yang terhubung dengan *router* 1 bertindak sebagai *server* dan yang lainnya bertindak sebagai *client*. Status ping atau *delay*, *throughput*, dan lain-lain didapatkan dari *output command prompt client* lain ke server.

Tabel 3. Hasil keadaan hubungan jaringan topologi *hybrid star-mesh*

No	Router	Throughput (Kbits/s)	Delay (ms)	Jitter (ms)	Packet Loss (%)
1	Router 2	979	2,262	3,22	0
2	Router 3	946	2,755	3,184	0
3	Router 4	949	2,262	3,174	0

Dari hasil pengujian yang tertera, dapat disimpulkan bahwa rata-rata keadaan pengiriman data tidak mengalami kehilangan pada lintasannya dan berhasil mengirim data sebesar 958 kilobit setiap detik dan waktu proses pengirimannya selama ~2,426 milidetik dan keberagaman waktu pengiriman sebesar ~3,193 milidetik.

Pengujian pada Topologi Tree

Pengujian pada topologi ini dilakukan dengan cara yang sama dengan topologi sebelumnya, melalui satu *client* yang terhubung dengan *router* 1 yang bertindak sebagai server dan perangkat-perangkat lainnya yang bertindak sebagai *client*. Status ping atau *delay*, *throughput*, dan lain-lain didapatkan dari *output command prompt client* lain ke server.

Tabel 4. Hasil keadaan hubungan jaringan topologi *tree*

No	Router	Throughput (Kbits/s)	Delay (ms)	Jitter (ms)	Packet Loss (%)
1	Router 2	961	3,53	3,31	0
2	Router 3	965	3,065	3,866	0
3	Router 4	962	2,229	3,399	0

Dari hasil pengujian yang di atas, dapat disimpulkan bahwa rata-rata keadaan pengiriman data tidak mengalami kehilangan pada lintasannya dan berhasil mengirim data sebesar ~962,7 kilobit setiap detik atau 0,49% lebih banyak dari jumlah kiriman dari topologi sebelumnya, waktu proses pengirimannya selama 2,941 milidetik atau 21,23% lebih lama dari topologi sebelumnya, dan keberagaman waktu pengiriman sebesar 3,525 milidetik atau 10,4% lebih banyak dari topologi sebelumnya.

Dari kedua hasil pengujian pada topologi di atas, dapat dinyatakan bahwa performa jaringan pada topologi *hybrid star-mesh* lebih unggul pada waktu pemrosesan pengiriman paket data dan berupa lebih stabil waktu pengirimannya dibandingkan dengan topologi *star*, kedua topologi tersebut mengirim data dengan jumlah yang hampir sama dan tidak mengalami kehilangan data.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, performa routing OSPF pada dua jenis topologi, yaitu topologi *hybrid star-mesh* dan topologi *tree*, telah diuji menggunakan simulasi di GNS3. Dari hasil

pengujian, terlihat bahwa kedua topologi mampu mencapai *throughput* yang hampir sama, dimana topologi *tree* hanya memiliki keunggulan sebesar 0,49% dibandingkan dengan topologi *star-mesh*, sehingga kapasitas *transfer* data tidak menjadi faktor pembeda utama antara kedua konfigurasi tersebut. Namun, terdapat perbedaan pada parameter *delay* dan *jitter*, di mana topologi *hybrid star-mesh* menunjukkan rata-rata nilai *delay* yang lebih rendah yaitu selama 2,426 milidetik atau 17,51% lebih cepat dari topologi *tree* serta *jitter* yang 9,42% lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa topologi *hybrid star-mesh* memiliki keunggulan dalam penyediaan jalur komunikasi yang lebih responsif dan konsisten, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan secara keseluruhan.

Selain itu, pengujian juga memperlihatkan bahwa kedua topologi berhasil menjaga integritas data dengan tidak terjadi kehilangan paket yang berarti selama proses pengiriman. Keandalan dalam mempertahankan paket ini merupakan salah satu indikator penting dari kestabilan jaringan, sehingga kedua topologi dapat dianggap layak untuk diterapkan dalam lingkungan jaringan yang memerlukan performa handal.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa meskipun topologi *hybrid star-mesh* sedikit lebih unggul pada aspek *delay* dan *jitter*, perbedaan performa antara kedua topologi tidak terlalu jauh terutama jika dilihat dari nilai *throughput* dan reliabilitas jaringan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar evaluasi dilakukan dengan skala jaringan yang lebih besar dan kompleks guna menguji ketahanan serta efisiensi *routing* OSPF dalam kondisi jaringan yang lebih realistis. Selain itu, penelitian lanjutan juga perlu mempertimbangkan pengaruh beban trafik yang bervariasi dan integrasi protokol *routing* tambahan sebagai perbandingan, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keunggulan masing-masing topologi dalam memenuhi kebutuhan jaringan modern.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Supriyatno, J. Jupriyadi, S. Ahdan, and S. D. Riskiono, "Analisis perbandingan kinerja protokol routing RIP dan OSPF pada topologi mesh," *TELEFORTECH: Journal of Telematics and Information Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2020.
- [2] P. C. D. Faliha, F. C. Sismanto, P. Handayani, and R. A. R. Aditianto, "Analisis quality of service routing protocol OSPF pada jaringan IPv4 menggunakan simulator Cisco Packet Tracer," *JUTIK: Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 9, no. 3, Juli. 2023.
- [3] D. Fadila and Y. Litanianda, "Analisis dan pengujian penggunaan routing OSPF pada topologi hybrid dengan media simulasi Cisco Packet Tracer," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 4, pp. 5669–5673, 2024.
- [4] A. Ginanjar and K. A. Santoso, "Analisis perbandingan performance video streaming dengan metode routing protocol Open Shortest Path First, Routing Information Protocol, Intermediate System–Intermediate System," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 38–45, 2021.
- [5] A. M. Soomro, A. B. Naeem, F. Ayub, B. Senapati, and M. I. Ghafoor, "Performance evaluation of routing protocol OSPF with GNS3," *Journal of Computing & Biomedical Informatics*, vol. 5, no. 1, pp. 174–182, 2023.
- [6] H. P. Fitrian, T. S. Latifah, M. Imroatuddin, I. A. Maulana, and F. A. Al Anshari, "Analisis performa topologi star dan mesh dalam implementasi jaringan LAN pada lingkungan perkantoran," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 1, pp. 1399–1403, 2025.
- [7] H. P. Fitrian, S. Pranata, F. Nurfadilla, N. Agustina, and N. A. Junaedi, "Analisis

- perbandingan topologi star dan mesh terhadap kecepatan data pada jaringan LAN untuk video konferensi real-time,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 2, pp. 1898–1902, 2025.
- [8] M. E. Mustafa and A. A. Abaker, “The impact of network topologies on OSPF networks and router’s CPU utilization,” *International Journal of Computer Networks (IJCN)*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, Apr. 2024.
- [9] A. B. Setiawan and S. Eniyati, “Analisis kinerja jaringan komputer pada topologi star dan ring dengan protokol routing OSPF (kasus PT. Indonesia Comnets Plus SBU Semarang),” *Kesatria: Jurnal Penerapan Sistem Informasi (Komputer dan Manajemen)*, vol. 5, no. 1, pp. 61–70, 2024.
- [10] Y. Hermawan , E. Wahyudi , and J.G. A. Ginting, “Analisis performansi otomasi jaringan pada routing OSPF dan EIGRP berbasis web menggunakan bahasa pemrograman Python,” *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika* , vol. 21, no. 2, pp. 59-68, 2024.
- [11] A. S. L. Gaol, G. H. Parapat, S. D. Nababan, Y. C. Sitanggang, and D. Kiswanto, “Analisis Implementasi Linux Mint dan Fedora: Studi Perbandingan Performa Kinerja di Laptop,” *Journal of Education Technology Information Social Sciences and Health*, vol. 4, no. 1, pp. 857–863, 2025.