

**PENINGKATAN KETAHANAN JARINGAN MPLS
TERHADAP KEGAGALAN *LINK* DENGAN ALGORITMA
PATH PROTECTION ADAPTIF**



Disusun oleh :

Ilham Ramadhan

22206051014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

PROGRAM MAGISTER

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2025



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2030/Un.02/DST/PP.00.9/09/2025

Tugas Akhir dengan judul : Peningkatan Ketahanan Jaringan MPLS terhadap Kegagalan Link dengan Algoritma Path Protection Adaptif

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ILHAM RAMADHAN, S.Kom.
Nomor Induk Mahasiswa : 22206051014
Telah diujikan pada : Sabtu, 16 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

Ir. Muhammad Taufiq Nuruzzaman, S.T. M.Eng., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 68b7e0ba77112



Penguji I

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

Valid ID: 68a46f3fd3345



Penguji II

Dr. Ir. Aulia Faqih Rifa'i, M.Kom.
SIGNED

Valid ID: 68b61e021a79c



Yogyakarta, 16 Agustus 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 68b7fb8c45997

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilham Ramadhan
NIM : 22206050014
Jenjang : Magister
Program Studi : Informatika

menyatakan bahwa naskah tesis ini secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali pada bagian-bagian yang dirujuk sumbernya.

Yogyakarta, September 2025

Saya yang menyatakan,



Ilham Ramadhan

NIM: 22206050014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilham Ramadhan

NIM : 22206050014

Jenjang : Magister

Program Studi : Informatika

menyatakan bahwa naskah tesis ini secara keseluruhan benar-benar bebas dari plagiasi. Jika di kemudian hari terbukti melakukan plagiasi, maka saya siap ditindak sesuai ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, September 2025

Saya yang menyatakan,



Ilham Ramadhan

NIM: 22206050014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

NOTA DINAS PEMBIMBING

Kepada Yth.,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga
Yogyakarta

Assalamu 'alaikum wr. wb.

Setelah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi terhadap penulisan tesis yang berjudul:

**PENINGKATAN KETAHANAN JARINGAN MPLS
TERHADAP KEGAGALAN LINK DENGAN ALGORITMA
PATH PROTECTION ADAPTIF**

Yang ditulis oleh:

Nama : Ilham Ramadhan
NIM : 22206050014
Jenjang : Magister
Program Studi : Informatika

Saya berpendapat bahwa tesis tersebut sudah dapat diajukan kepada Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga untuk diujikan dalam rangka memperoleh gelar Magister Informatika.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, September 2025

Pembimbing,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Ir. Muhammad Taufiq Nuruzzaman, S.T. M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Multiprotocol Label Switching (MPLS) is a high-speed data transmission technology widely adopted in modern telecommunication infrastructures due to its efficient label switching and support for traffic engineering. However, in real-world deployments, link failures can lead to significant network performance degradation, including increased delay, jitter, packet loss, and recovery time. The conventional Fast Reroute (FRR) mechanism can restore connectivity rapidly, yet its pre-computed backup paths are often suboptimal under actual network conditions at the time of failure.

This research proposes the implementation of an Adaptive Path Protection algorithm in MPLS networks to enhance network resilience by dynamically selecting backup paths based on real-time network conditions. Simulations were conducted on topologies with varying numbers of routers (6, 10, 20, 30, 40, and 50 routers) under a single link failure scenario. Performance metrics analyzed include recovery time, end-to-end delay, jitter, and packet loss. Each scenario was tested over 30 trials, directly comparing the results of conventional FRR with Adaptive Path Protection.

The results demonstrate that Adaptive Path Protection significantly reduces average end-to-end delay by up to 49,0%, jitter by 89,7%, packet loss by 100%, and improves recovery time up to 71,1% compared to conventional FRR across all scenarios. Therefore, the proposed algorithm offers a more effective alternative for enhancing MPLS network reliability in the face of link failures.

Keywords: *MPLS, Fast Reroute, Adaptive Path Protection, link failure, network resilience*

ABSTRAK

Jaringan Multiprotocol Label Switching (MPLS) merupakan teknologi transmisi data berkecepatan tinggi yang banyak digunakan pada infrastruktur telekomunikasi modern karena efisiensi label switching dan kemampuannya mendukung traffic engineering. Namun, pada implementasi nyata, kegagalan link (link failure) dapat menimbulkan penurunan kinerja jaringan, seperti meningkatnya delay, jitter, packet loss, dan waktu pemulihan (recovery time). Solusi Fast Reroute (FRR) konvensional mampu memperbaiki jalur secara cepat, tetapi rute cadangan yang telah ditentukan sebelumnya (pre-computed backup path) sering tidak optimal terhadap kondisi jaringan saat kegagalan terjadi.

Penelitian ini mengusulkan penerapan algoritma Path Protection Adaptif pada jaringan MPLS untuk meningkatkan ketahanan jaringan melalui pemilihan jalur cadangan secara dinamis berdasarkan kondisi jaringan terkini. Pengujian dilakukan melalui simulasi topologi dengan variasi jumlah router (6, 10, 20, 30, 40, dan 50 router) menggunakan skenario kegagalan link tunggal. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi recovery time, delay end-to-end, jitter, dan packet loss. Setiap skenario diuji sebanyak 30 kali percobaan, dengan perbandingan langsung antara FRR konvensional dan Path Protection Adaptif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Path Protection Adaptif mampu mengurangi packet loss hingga 100%, delay end-to-end rata-rata hingga 49.0%, jitter hingga 89.7%, serta meningkatkan kecepatan recovery time 71.1% dibandingkan FRR konvensional pada seluruh skenario. Dengan demikian, algoritma ini dapat menjadi alternatif yang lebih efektif dalam meningkatkan keandalan jaringan MPLS terhadap kegagalan link.

Kata kunci: MPLS, *Fast Reroute*, *Path Protection Adaptif*, *link failure*, *network resilience*

MOTTO

Hidup adalah Tugas

(Ilham Ramadhan)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini penulis mempersembahkan untuk:

Almamater Tercinta

Prodi Informatika S2

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat beserta hidayahNya sehingga laporan tesis yang berjudul “Pengembangan Mekanisme Route Discovery Untuk Menghindari Congestion Menggunakan Algoritma Johnson Pada Software Defined Network” dapat diselesaikan dengan baik dan sebagaimana mestinya. Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas kehendak, rahmat dan nikmat-Nya laporan tesis ini telah selesai dengan baik.
2. Almh. Nida Sumasrina selaku Ibu dari penulis yang telah memberi motivasi semasa hidup agar penulis dapat melanjutkan studi ke jenjang yang lebih tinggi dan Adang Syah Hidayat selaku Ayah penulis yang telah memberikan doa restu serta motivasi dan dukungannya selama ini.
3. Siti Anisa Mutmainnah, S.Pd. selaku istri penulis yang telah memberikan semangat sehingga penulis merasa sangat terbantu dalam menyelesaikan tesis.
4. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor pada UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan menempuh studi ini.
5. Ibu Dr. Dra Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang juga telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Snan Kalijaga Yogyakarta.
6. Bapak Dr. Ir. Sumarsono, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga.
7. Bapak Ir. Muhammad Taufiq Nuruzzaman, S.T. M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini.
8. Ibu Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D. selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah berkenan membimbing dari proses awal perkuliahan sampai akhir saat ini.
9. Seluruh civitas akademika pascasarjana Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan bantuan selama penulis menempuh studi dan penyelesaian Tesis.

10. Keluarga besar Pondok Pesantren Al-Hikmah Mugarsari dan Madrasah Aliyah Plus Keterampilan Al-Hikmah Kota Tasikmalaya yang telah mendukung saya menempuh pendidikan di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
11. Seluruh teman-teman mahasiswa Magister Informatika UIN Sunan Kalijaga angkatan 2022 dan pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu untuk segala kritik dan saran yang membangun penulis ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, September 2025
Penyusun

Ilham Ramadhan
NIM. 22206051014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Tujuan dan Manfaat	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
A. Multi-Protocol Label Switching (MPLS)	5
B. Topologi Mesh	6
C. <i>Fast Reroute</i> (FRR)	9
D. Algoritma <i>Path Protection</i> Adaptif	10
E. Network Resilience	12
BAB III METODE PENELITIAN	15
A. Studi Literatur	15
B. Metode Yang Diusulkan	16
D. Jadwal Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Hasil Uji Coba Topologi Mesh 6 Router	33
B. Hasil Uji Coba Topologi Mesh 10 Router	40
C. Hasil Uji Coba Topologi Mesh 20 Router	44
D. Hasil Uji Coba Topologi Mesh 30 Router	47

E.	Hasil Uji Coba Topologi Mesh 40 Router	50
F.	Hasil Uji Coba Topologi Mesh 50 Router	53
G.	Perbandingan Hasil Rata-rata Pengujian MPLS Topologi Mesh 6–50 Router Path Protection Adaptif	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		60
A.	Kesimpulan	60
B.	Saran	60



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skalabilitas Variasi Jumlah Router Jaringan MPLS.....	8
Tabel 2.2 Perbandingan Algoritma Routing	10
Tabel 3.1 Lingkungan Simulasi	16
Tabel 3.2 Skenario Reroute 10 Router.....	18
Tabel 3.3 Skenario Reroute 20 Router.....	20
Tabel 3.4 Skenario Reroute 30 Router.....	22
Tabel 3.5 Skenario Reroute 40 Router.....	23
Tabel 3.6 Skenario Reroute 50 Router.....	25
Tabel 3.7 Fungsionalitas Simulasi Jaringan MPLS	29
Tabel 3.8 Skenario Pengujian	29
Tabel 3.9 Parameter Pengujian	32
Tabel 3.10 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	32
Tabel 4.1 Skenario Pengujian	33
Tabel 4.2 Hasil Uji Coba <i>Packet loss</i> 6 router	36
Tabel 4.3 Hasil Uji Coba Perbandingan <i>Delay end-to-end</i> 6 router	37
Tabel 4.4 Hasil Uji Coba <i>Jitter</i> 6 router.....	39
Tabel 4.5 Hasil Uji Coba Pengukuran <i>Recovery time</i> 6 router	40
Tabel 4.6 Perbandingan ketahanan jaringan pada topologi Mesh 10 router	42
Tabel 4.7 Perbandingan ketahanan jaringan pada topologi Mesh 20 router	46
Tabel 4.8 Perbandingan ketahanan jaringan pada topologi Mesh 30 router	49
Tabel 4.9 Perbandingan ketahanan jaringan pada topologi Mesh 40 router	52
Tabel 4.10 Hasil Uji coba metode <i>Fast Reroute</i> Standar pada topologi Mesh 50 router ...	54
Tabel 4.11 Hasil Uji coba algoritma <i>Path Protection</i> Adaptif pada 50 router.....	56
Tabel 4.12 Perbandingan Skalabilitas Pengujian Algoritma <i>Fast Reroute</i> Standar dengan <i>Path Protection</i> Adaptif pada 6 - 50 router.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Arsitektur Jaringan MPLS	5
Gambar 3.1	Alur Metodologi Penelitian.....	15
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> metode pentliaian	16
Gambar 3.3	<i>Flowmap</i> tahap perancangan sistem.....	17
Gambar 3.4	Topologi Mesh 6 Router	18
Gambar 3.5	Topologi Mesh 10 Router	18
Gambar 3.6	Topologi Mesh 20 Router	20
Gambar 3.7	Topologi Mesh 30 Router	21
Gambar 3.8	Topologi Mesh 40 router	23
Gambar 3.9	Topologi Mesh 50 Router	24
Gambar 3.10	<i>Flowchart Link Failure dan Reroute</i>	26
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> Metode yang diusulkan	27
Gambar 3.12	<i>Flowchart</i> Algoritma <i>Path Protection</i> Adaptif.....	28
Gambar 3.13	Antarmuka PNetlab.....	30
Gambar 4.1	Jaringan MPLS Topologi Mesh 6 router pada PNetlab.....	34
Gambar 4.2	<i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 6 router.....	36
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan <i>Packet loss</i> menggunakan 6 router.....	37
Gambar 4.4	Grafik perbandingan <i>Delay end-to-end</i>	38
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan <i>Jitter</i> 6 router	39
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan <i>Recovery time</i> 6 router.....	40
Gambar 4.7	Jaringan MPLS Topologi Mesh 10 router pada PNetlab.....	41
Gambar 4.8	<i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 10 router.....	42
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Pengujian 10 router	43
Gambar 4.10	Jaringan MPLS Topologi Mesh 20 ipada PNetlab.....	44
Gambar 4.11	<i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 20 router.....	46
Gambar 4.12	Grafik Uji coba 20 router.....	47
Gambar 4.13	Jaringan MPLS Topologi Mesh 30 router pada PNetlab.....	48
Gambar 4.14	<i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 30 router.....	49
Gambar 4.15	Grafik uji coba perbandingan 30 router.....	50
Gambar 4.16	<i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 40 router.....	52
Gambar 4.17	Grafik uji coba perbandingan 40 router.....	53

Gambar 4.18 <i>Log ping</i> jaringan MPLS topologi Mesh 50 router.....	56
Gambar 4.19 Grafik uji coba perbandingan 50 router.....	57
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Kinerja <i>Fast Reroute</i> Standar dengan <i>Path Protection</i> Adaptif Skalabilitas Jumlah Router	59



BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini merupakan penjelasan mengenai beberapa hal dasar dalam pembuatan laporan penelitian. Hal-hal yang dimaksud meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kontribusi penelitian, serta batasan masalah.

A. Latar Belakang

Dalam era digital yang serba terhubung, jaringan komputer berperan sangat penting dalam mendukung keberlangsungan berbagai layanan data dan aplikasi, baik pada sektor pemerintahan, pendidikan, bisnis, maupun industri. Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan jaringan adalah menjaga ketersediaan (*availability*) dan keandalan (*reliability*) komunikasi data, terutama saat terjadi gangguan atau kegagalan jalur (*link failure*). Teknologi pengiriman paket data dalam jaringan komputer digunakan untuk kebutuhan yang semakin luas dan juga kompleks secara global. Tidak hanya mengirimkan paket data dari satu komputer ke komputer lainnya, namun saat ini jaringan komputer dituntut untuk dapat melayani banyak host dalam satu waktu dengan jarak pengiriman yang semakin beragam (Nurhaida & Ichsan, 2020).

Menurut Yadav (2016) teknologi *Multi-Protocol Label Switching* (MPLS) hadir sebagai solusi yang memberikan kemampuan *traffic engineering* untuk mengarahkan lalu lintas data secara efisien dengan *Label Switching*. Sektor telekomunikasi di seluruh dunia telah mengalami pertumbuhan eksponensial dalam beberapa tahun terakhir, yang menyebabkan jumlah lalu lintas yang sangat besar dikirim dari satu tempat ke tempat lain dengan berbeda persyaratan dan pilihan layanan. MPLS telah terbukti menjadi solusi yang menjanjikan yang menyediakan berbagai fitur dalam jaringan penyedia layanan yang sama, sehingga menggantikan banyak teknologi transportasi. Salah satu fitur MPLS yang paling luar biasa adalah rekayasa lalu lintas (*traffic engineering*) yang memungkinkan penyedia layanan mengoptimalkan arus lalu lintas dan pemanfaatan tautan sebagaimana diperlukan dari jaringan penyedia layanan. Hal ini memberikan sejumlah besar kendali di tangan penyedia layanan terkait pemanfaatan optimal sumber daya yang tersedia.

Ada banyak alasan mengapa penerapan MPLS menjadi begitu populer. MPLS memiliki kemampuan untuk melindungi jalurnya jika terjadi *failover*. Hal ini membantu penyedia layanan untuk menyediakan layanan yang terjamin kepada pelanggannya. Dengan

demikian, MPLS dapat menyediakan beberapa layanan secara bersamaan dalam jaringan yang sama, yang membuktikan pentingnya teknologi ini dalam generasi jaringan saat ini. MPLS juga mendukung skema *Fast Reroute* (FRR) untuk melakukan pemulihan jalur secara cepat saat terjadi kegagalan. Namun, dalam implementasinya, *reroute* yang bersifat statis atau preconfigured masih memiliki keterbatasan, seperti tidak adaptif terhadap perubahan kondisi jaringan dan tidak optimal ketika menghadapi kegagalan multipel (Bisti et al., 2011).

Pada penelitian (Watari et al., 2009) masalah ini mendorong perlunya pengembangan mekanisme *rerouting* yang adaptif, yang mampu memperhitungkan kondisi jaringan secara *real-time* dan memilih jalur alternatif yang paling optimal untuk menjamin kontinuitas layanan. *Interval keepalive* dan *holdtimer* yang dikonfigurasi sangat memengaruhi kinerja dalam hal deteksi kegagalan. Namun, karena kekhawatiran mengenai stabilitas, banyak implementasi saat ini mendukung nilai minimum 1 detik dan 3 detik untuk timer ini, masing-masing. Untuk mengatasi masalah ini, IETF telah berupaya mengembangkan teknologi baru yang didedikasikan untuk mendeteksi kegagalan tautan, yang disebut Deteksi Penerusan Dua Arah (BFD). Protokol ini bertukar keepalive dengan cepat tanpa menurunkan kinerja BGP dan secara drastis meningkatkan kinerja deteksi kegagalan dalam hitungan milidetik.

Dalam perkembangan jaringan MPLS bekerja dengan mengimplementasikan teknologi rekayasa lalu lintas dengan pemberian gangguan kemudian dilakukan analisis performansi jaringan berbasis pengiriman paket TCP untuk mengukur throughput dan pengiriman paket UDP untuk mengukur *jitter* dan *packet loss* yang diterapkan pada jaringan utama, serta parameter *delay* untuk mengukur waktu yang dibutuhkan pada saat terjadinya *link failover* sistem. Tujuannya untuk mencapai dan meningkatkan kinerja pada jaringan yang kompleks, stabil dan ketersediaan, diperlukan sistem *link failover* dimana terdapat gangguan pada *link* utama dan dapat diteruskan melalui tautan cadangan yang telah diterapkan ke setiap protokol perutean. Penelitian ini dilakukan dengan simulator PNetlab pada *routing* BGP. Hasil menunjukkan bahwa protokol OSPF mampu dengan cepat menyelesaikan masalah ketika jaringan terputus atau *down* dengan nilai waktu respon yang tercepat dibanding beberapa protokol lain seperti RIP dan EIGRP (Budiman et al., 2021).

Membangun protokol *routing* yang baik diperlukan algoritma *routing* yang dapat menentukan rute terpendek (*shortest path*). SPA (*Shortest Path Algorithm*) digunakan untuk menemukan rute antara dua buah node pada sebuah *graph* sehingga diperoleh bobot *link* yang minimum. Terdapat beberapa jenis SPA yang umum digunakan dalam mencari rute terpendek yaitu Algoritma *Dijkstra*, *BellmanFord*, *Floyd-Warshall*, dan *Johnson*. Saat ini,

layanan IP menggunakan *Open Shortest Path First* (OSPF) dengan perhitungan yang didasarkan pada algoritma *Dijkstra* yang menghitung shortest path dalam jaringan. Namun disatu sisi Algoritma *Dijkstra* merupakan algoritma greedy dimana algoritma ini akan mencari nilai sementara antar node pada setiap langkahnya. Algoritma ini sering digunakan pada arsitektur jaringan yang sederhana dan tidak terlalu rumit (Segara, 2020).

Dalam perkembangannya, SPA banyak diimplementasikan pada skenario perutean ulang atau *reroute* pada *MPLS Network*. Salah satunya yaitu algoritma *Dijkstra*, dengan menentukan rute terpendek berdasarkan jarak antar node (Khoiroh et al., 2017). Dengan memodifikasi Algoritma *Dijkstra* perutean ulang lebih cepat karena Algoritma *Path Protection* Adaptif memiliki keunggulan yaitu perutean ulang lebih cepat dalam keadaan dinamis.

Penelitian ini bertujuan mengkaji, merancang, dan mengimplementasikan algoritma *Path Protection* adaptif untuk meningkatkan ketahanan jaringan MPLS terhadap kegagalan *link*, serta mengevaluasi dampaknya terhadap parameter kinerja seperti *packet loss*, *recovery time*, *delay end-to-end*, dan *jitter*. Topologi jaringan mesh dengan Algoritma *Path Protection* adaptif menjadi pendekatan yang potensial dalam meningkatkan ketahanan jaringan MPLS, karena dapat menyesuaikan rute cadangan secara dinamis berdasarkan topologi dan status jaringan terkini yang membutuhkan kecepatan dan efisiensi ketika terjadi gangguan pada jaringan sehingga pengguna akhir dalam suatu organisasi tidak perlu memikirkan aspek penundaan pekerjaan.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kelemahan sistem *reroute* konvensional dalam MPLS terhadap kegagalan jalur?
2. Bagaimana merancang algoritma *Path Protection* adaptif untuk meningkatkan ketahanan jaringan MPLS?
3. Seberapa besar pengaruh penerapan algoritma tersebut terhadap performa jaringan dalam skenario kegagalan?
4. Apa saja kelebihan dan keterbatasan dari pendekatan *reroute* adaptif dibandingkan dengan metode *reroute* statis?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan sebagai berikut:

1. Fokus pada skenario *link failure* pada jaringan MPLS berbasis RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic engineering*).
2. Algoritma *reroute* adaptif dibatasi pada topologi skala kecil hingga menengah.
3. Tidak mengintegrasikan metode pembelajaran mesin (ML) atau kontrol SDN dalam algoritma.

D. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis performa *rerouting* konvensional dalam jaringan MPLS saat terjadi *link failure*.
2. Merancang algoritma *Path Protection* adaptif untuk *rerouting* dinamis.
3. Mengimplementasikan dan menguji skema *reroute* adaptif dalam lingkungan simulasi MPLS.
4. Mengevaluasi peningkatan ketahanan jaringan berdasarkan metrik performa.

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi teknis untuk peningkatan resiliensi jaringan MPLS terhadap kegagalan *link* serta menjadi dasar bagi pengembangan sistem *rerouting* yang lebih cerdas dan efisien dalam bidang *traffic engineering* dan jaringan berbasis MPLS.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Path Protection Adaptif (PPA) jauh lebih unggul dibanding *Fast Reroute* Konvensional (FRR) pada topologi 50 router karena mampu mempertahankan layanan sehingga tetap tersedia (*zero packet loss*) dari metode FRR Standar 6.0 %, *Delay* dan *jitter* sangat rendah yaitu sebesar 58,6 ms dan 18,5 ms dibandingkan dengan metode *Fast Reroute* 114,8 ms dan 180,2 ms sangat ideal untuk VoIP, video, trading. Adaptif terhadap kondisi jaringan yaitu tidak bergantung pada jalur statis serta *recovery time* 86,7 ms tiga kali lebih cepat dari FRR 300 ms.

Dalam implementasi nyata algoritma *Path Protection* Adaptif sangat cocok untuk diterapkan pada jaringan *backbone* nasional atau ISP besar karena mampu mempertahankan *zero packet loss* yang sangat cocok pada layanan *real-time* dan jaringan kritis misalnya pemerintah, keuangan, transportasi. Kelemahan sistem *reroute* konvensional dalam MPLS dalam pemilihan jalur adalah *Precompute* (statis) dengan hanya menggunakan parameter IGP metric saja, yang menghitung *path cost* jumlah *fixed metric* sehingga kualitas jalur cukup optimal sementara kecepatan *recovery* sebesar <50 ms menggunakan *pre-signaled*.

Rancangan algoritma *Path Protection* Adaptif untuk meningkatkan ketahanan jaringan MPLS dalam pemilihan jalur menggunakan On-demand (dinamis, CSPF) dengan parameter *Multi-constraint (metric + delay + bw + load)* yang menghitung *path cost* kombinasi bobot dinamis sehingga kualitas jalur lebih optimal karena kualitas *recovery* sebesar <100 ms dengan optimasi. Pengaruh penerapan algoritma tersebut terhadap jaringan dalam skenario kegagalan dalam meningkatkan ketahanan signifikan dalam parameter *Packet loss* dari 100% lebih baik, Penurunan *Delay* 49.0% lebih rendah, *Jitter* 89.7% lebih rendah, dan Peningkatan *Recovery time* 71.1% lebih cepat.

B. Saran

Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk pengembangan *reroute* prediktif dengan pembelajaran mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwan, N. (2014) Performance Analysis of Dijkstra-Based Weighted Sum Minimization Routing Algorithm for Wireless Mesh Networks. *Modelling and Simulation in Engineering* Volume 2014, Article ID 658408, 8 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/658408>
- Bisti, L., Lenzini, L., Mingozzi, E., Vallati, C., Ert, A., & Malesci, U. (2011). Improved network resilience of wireless mesh networks using MPLS and Fast Re-Routing techniques. *Ad Hoc Networks*, 9(8), 1448–1460. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2011.03.006>
- Budiman, A., Sucipto, A., & Rosyid Dian, A. (2021). Analisis Quality of Service Routing MPLS OSPF Terhadap Gangguan Link Failure Analysis of Service Quality for Routing MPLS OSPF Against Link Failure Interference. *Februari*, 20(1), 28–37.
- Khoiroh, I., Amron, K., & Basuki, A. (2017). Modifikasi Algoritma Dijkstra untuk Penentuan Multi-Path dalam Topologi Jaringan Sensor Nirkabel. *Pengemb Angan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(1), 1–10.
- Masood, M., Fouad, M. M., Kamal, R., Aurangzeb, K., Aslam, S., Ullah, Z., & Glesk, I. (2025). Enhanced optimisation of MPLS network traffic using a novel adjustable Bat algorithm with loudness optimizer. *Results in Engineering*, 26(April), 104774. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104774>
- Nurhaida, I., & Ichsan, I. (2020). Congestion Control Pada Jaringan Komputer Berbasis Multi Protocol Label Switching (Mpls). *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(1), 77–88. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i1.3671>
- Riyanto, A., & Kuswanto, H. (2024). Penerapan Teknologi Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Dalam Optimasi Jaringan Backbone PT. Fiber Networks Indonesia. *Media Jurnal Informatika*, 16(2), 172. <https://doi.org/10.35194/mji.v16i2.3996>
- Segara, A. P. (2020). *Pengembangan Mekanisme Route Discovery Untuk Menghindari Congestion Menggunakan Algoritma Johnson Pada Software Defined Network*. <https://repository.its.ac.id/77987/>
- Utama, A., & Setia Budi, A. (2024). Sistem Pendeteksian Node Baru Otomatis pada WSN Topologi Mesh berbasis ESP-NOW. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 8(1), 51–57. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Watari, M., Hei, Y., Ano, S., & Yamazaki, K. (2009). OSPF-based fast reroute for BGP link failures. *GLOBECOM - IEEE Global Telecommunications Conference*. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2009.5425488>
- Yadav, S. & Jeyakumar, A. (2016). Design of Traffic Engineered MPLS VPN for Protected Traffic using GNS Simulator. IEEE WiSPNET 2016 conference.
- PERANCANGAN JARINGAN KOMPUTER WIDE AREA NETWORK MENGGUNAKAN MPLS. DOI: <https://doi.org/10.53580/naratif.v5i1.214>

Penerapan Teknologi Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Dalam Optimasi Jaringan Backbone PT. Fiber Networks Indonesia

Khoiroh, I. (2024). Modifikasi Algoritma Dijkstra untuk Penentuan Multi-Path dalam Topologi Jaringan Sensor Nirkabel. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 8(8). Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Vol. 1, No. 1, Januari 2017, hlm. x-x

