



**Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel
IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF**

**TUGAS AKHIR
APLIKATIF**

**HANS TAMBANG
41424110031**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel
IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF**

**TUGAS AKHIR
APLIKATIF**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**HANS TAMBANG
41424110031**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hans Tambang
NIM : 41424110031
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir berjudul:

“Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF”

adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 14 Februari 2026



Hans Tambang.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Hans Tambang
NIM : 41424110031
Fakultas/Program Studi : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan
Multi Tunnel IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 27 Januari 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



Fadli Sirait, S.Si,M.T,Ph.D.

NIDN/NUPTK: 1852754655131132

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 14 Februari 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN/NUPTK: 6639750651230130

Ketua Program Studi

Tenik Elektro



Dr.Eng. Heru Suwoyo, ST., M.Sc.

NIDN/NUPTK: 2146770671130403

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : **Hans Tambang**
NIM : **41424110031**
Program Studi : **Teknik Elektro**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Selasa, 10 Februari 2026** dengan hasil presentase sebesar **5 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 10 Februari 2026

Administrator Turnitin,

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



Itmam Haidi Syarif

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng. selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Dr.Eng. Heru Suwoyo, ST., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
4. Fadli Sirait, S.Si,M.T,Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini
5. Seluruh Dosen S1 dan Staff Teknik Elektro yang telah memberi ilmu dan membantu proses pembelajaran selama masa perkuliahan di mercubuana
6. Ester Anita selaku Ibu Tercinta yang selalu mendoakan keberhasilan anaknya
7. Netty Sm selaku Istri Tercinta yang selalu mendukung dan menemani dalam proses perkuliahan selama ini
8. Samgar Hanson Tambunan selaku Anak Tercinta yang memberi sukacita dan semangat dalam menempuh proses pendidikan
9. Boni Kurniawan, Ribka Uli dan Parsiah selaku adik-adik yang memberi doa dan dukungan moral dalam menempuh pendidikan

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 14 Februari 2026



Hans Tambang

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hans Tambang
NIM : 41424110031
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 14 Februari 2026

Yang menyatakan,



(Hans Tambang)

Optimalisasi Utilisasi Bandwidth Pada Jaringan Multi Tunnel IPSEC Dengan Penerapan Routing Dinamis OSPF

Hans Tambang

ABSTRAK

Kebutuhan konektivitas antar site yang aman, handal dan memiliki kapasitas *bandwidth* tinggi menjadi tantangan utama pada jaringan *enterprise* modern. Pemanfaatan teknologi Internet *Virtual Private Network* (VPN) berbasis *IPsec* merupakan solusi yang ekonomis, namun penggunaan *single tunnel* sering menimbulkan keterbatasan kapasitas dan penurunan kualitas layanan ketika lalu lintas jaringan meningkat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan optimalisasi utilisasi *bandwidth* dengan menerapkan arsitektur *multi tunnel IPsec* yang dikombinasikan dengan protokol *routing* dinamis *Open Shortest Path First* (OSPF) menggunakan mekanisme *Equal-Cost Multi-Path* (ECMP).

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental kuantitatif dalam lingkungan simulasi GNS3 dengan topologi *dual-homed site-to-site* yang terhubung melalui dua penyedia layanan internet (ISP) dengan kapasitas masing-masing 10 Mbps. Pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja jaringan pada konfigurasi *single tunnel* dan *multi tunnel* berdasarkan parameter *throughput*, utilisasi *bandwidth*, *packet loss*, *delay*, *jitter*, serta waktu *failover*. Selain itu, dilakukan variasi pengaturan OSPF *hello interval* dan *dead interval* untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kecepatan konvergensi jaringan saat terjadi kegagalan jalur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan OSPF ECMP pada jaringan *multi tunnel IPsec* mampu meningkatkan *throughput* agregat hingga mendekati kapasitas maksimum 20 Mbps dengan distribusi trafik yang merata pada kedua *tunnel*. Selain itu, kualitas layanan jaringan mengalami peningkatan yang signifikan dengan penurunan *packet loss*, *delay*, dan *jitter* dibandingkan konfigurasi *single tunnel*. Pengujian redundansi menunjukkan bahwa konfigurasi OSPF dengan *hello interval* 10 detik menghasilkan waktu *failover* rata-rata sebesar 40,40 detik, sedangkan pengaturan *hello interval* 5 detik menurunkan waktu *failover* menjadi 22,60 detik, dan *hello interval* 1 detik mampu mempercepat waktu *failover* hingga rata-rata 8,80 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa tuning OSPF *timer* yang lebih agresif secara signifikan mempercepat proses *failover* dan konvergensi jaringan. Dengan demikian, kombinasi *multi tunnel IPsec* dan OSPF ECMP terbukti efektif dalam mengoptimalkan utilisasi *bandwidth*, meningkatkan kualitas layanan, serta memperbaiki keandalan jaringan WAN berbasis Internet VPN.

Kata kunci: IPsec VPN, Multi Tunnel, OSPF, Utilisasi Bandwidth, Failover

Optimization of Bandwidth Utilization in Multi-Tunnel IPsec Networks through Dynamic OSPF Routing Implementation

Hans Tambang

ABSTRACT

The need for secure, realible and high-bandwidth inter-site connectivity is a major challenge in modern enterprise networks. Internet-based Virtual Private Network (VPN) technology using IPsec provides a cost-effective solution. however, single tunnel implementations often suffer from limited capacity and degraded quality of service under high traffic conditions. To address this issue, this study proposes bandwidth utilization optimization through a multi-tunnel IPsec architecture combined with the Open Shortest Path First (OSPF) dynamic routing protocol using the Equal-Cost Multi-Path (ECMP) mechanism.

This research employs a quantitative experimental approach conducted in a controlled GNS3 simulation environment using a dual-homed site-to-site topology connected through two Internet Service Providers (ISPs), each with a bandwidth capacity of 10 Mbps. Network performance is evaluated by comparing single tunnel and multi-tunnel configurations based on throughput, bandwidth utilization, packet loss, delay, jitter, and failover time. In addition, variations of OSPF hello and dead intervals are implemented to analyze their impact on network convergence speed during link failures.

The experimental results show that the implementation of OSPF ECMP in a multi-tunnel IPsec network is able to increase aggregate throughput to nearly the maximum capacity of 20 Mbps with balanced traffic distribution across both tunnels. Furthermore, network Quality of Service (QoS) is significantly improved, as indicated by reductions in packet loss, delay, and jitter compared to the single-tunnel configuration. Redundancy testing indicates that an OSPF configuration with a 10-second hello interval results in an average failover time of 40.40 seconds, while reducing the hello interval to 5 seconds decreases the failover time to 22.60 seconds, and a 1-second hello interval further accelerates the failover time to an average of 8.80 seconds. These results demonstrate that more aggressive OSPF timer tuning significantly accelerates the failover and network convergence process. Therefore, the combination of multi-tunnel IPsec and OSPF ECMP is proven to be effective in optimizing bandwidth utilization, improving service quality, and enhancing the reliability of Internet-based WAN networks

Keywords: IPsec VPN, Multi-Tunnel, OSPF, Bandwidth Utilization, Failover

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH DI REPOSITORI UMB.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Kontribusi Penelitian	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Wide Area Network.....	8
2.3 Virtual Private Network.....	8
2.4 Tunneling.....	9
2.5 IPSEC	9
2.5.1 Authentication Header (AH)	10
2.5.2 Encapsulating Security Payload	10
2.5.3 Transport Mode dan Tunnel Mode.....	12
2.5.4 Internet Key Exchange (IKE)	14
2.5.5 Security Association (SA)	15
2.6 Open Shortest Path Firsts (OSPF)	16
2.7 Quality of Services (QoS)	18
2.7.1 Delay	19

2.7.2 Packet Loss	20
2.7.3 Jitter	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metodologi Penelitian	21
3.1.1 Pendekatan Penelitian	21
3.2 Lingkungan Penelitian	21
3.2.1 Asumsi dan Batasan Penelitian	22
3.3 Desain Topologi Jaringan	22
3.3.1 Arsitektur Topologi dan Komponen Kunci	22
3.3.2 Spesifikasi Perangkat dan Lingkungan Simulasi	24
3.3.3 Skema Pengalamatan IP	24
3.3.4 Parameter Konfigurasi IPSec	24
3.3.5 Mekanisme Optimisasi dan Redudansi	25
3.4 Perancangan Kebutuhan Sistem	25
3.5 Tahapan Implementasi Sistem.....	26
3.5.1 Blok Diagram	26
3.5.2 Konfigurasi Dasar, Pengalamatan dan Traffic Shapping	28
3.5.3 Implementasi Multiple IPSec VPN Tunnel	28
3.5.4 Implementasi OSPF ECMP dan Tunning Cost	29
3.5.5 Penyetelan OSPF Timers untuk Pengujian Redudansi	29
3.6 Skenario Pengujian	30
3.6.1 Variabel Penelitian	30
3.6.2 Skenario Pengujian Utama	31
3.6.3 Indikator Keberhasilan Penelitian	33
3.7 Metode Analisis	34
3.7.1 Prosedur Pengolahan Data	34
3.7.2 Analisis Komparatif Kuantitatif	35
3.7.3 Kesimpulan Analisis	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Implementasi dan Pengujian Sistem	37
4.1.1 Arsitektur Jaringan dan Komponen Implementasi	37
4.1.2 Verifikasi Konfigurasi Dasar	38
4.2 Hasil Pengujian Skenario 1: Kondisi Baseline	39
4.3 Hasil Pengujian Skenario 2: Optimasi Throughput Agregat	40
4.4 Hasil Pengujian Skenario 3: Kualitas Layanan (QoS) ECMP	41
4.5 Hasil Pengujian Skenario 4: Analisis Kinerja Redundansi (Failover).....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan.....	46
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	51



U N I V E R S I T A S
M E R C U B U A N A

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Penjelasan perbandingan Transport dan Tunnel	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat dalam Lingkungan Simulasi	24
Tabel 3.3 Parameter Teknis Konfigurasi IPSec	25
Tabel 3.4 Software dan Image Perangkat Jaringan	26
Tabel 3.5 Variabel Penelitian	30
Tabel 3.6 Pengujian OSPF Timer	33
Tabel 3.7 Indikator Keberhasilan Penelitian	34
Tabel 4.1 Hasil Verifikasi Traffic Policing Menggunakan Iperf3	38
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Throughput Single Tunnel	39
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Quality Of Service Tunnel Saturasi	39
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Throughput dan Utilisasi Agregat	41
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Quality Of Service	42
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Failover dan Packet Loss	44



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi tunnelling	9
Gambar 2.2 Format packet data yang ada di AH	10
Gambar 2.3 Format Paket data di ESP	11
Gambar 2.4 Mode Transport dalam ESP	13
Gambar 2.5 Mode Tunnel dalam ESP	13
Gambar 2.6 Contoh pembagian area OSPF	17
Gambar 3.1 Desain Topologi Jaringan	23
Gambar 3.2 Implementasi pada GNS3	23
Gambar 3.3 Diagram alir perancangan jaringan IPSEC	27
Gambar 4.1 Implementasi Topologi Jaringan Multi Tunnel IPsec pada GNS3	37
Gambar 4.2 Verifikasi IPsec SA pada Router R1	38
Gambar 4.3 Komparasi Throughput Setelah Optimasi	41
Gambar 4.4 Komparasi Packet Loss setelah optimasi	43
Gambar 4.5 Komparasi Delay setelah optimasi	43
Gambar 4.6 Komparasi Jitter setelah optimasi	43
Gambar 4.7 Chart komparasi timer OSPF	45

DAFTAR SINGKATAN

AES	Advanced Encryption Standard
AH	Authentication Header
BDR	Backup Designated Router
bps	bit per second
CB-QoS	Class-Based Quality of Service
CLI	Command Line Interface
DES	Data Encryption Standard
DR	Designated Router
ECMP	Equal-Cost Multi-Path
ESP	Encapsulating Security Payload
GNS3	Graphical Network Simulator-3
IKE	Internet Key Exchange
IOL	IOS on Linux
IPsec	Internet Protocol Security
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
ISAKMP	Internet Security Association and Key Management Protocol
LAN	Local Area Network
LSA	Link State Advertisement
LSAck	Link State Acknowledgment
LSR	Link State Request
LSU	Link State Update
Mbps	Megabit per second
MPLS	Multi Protocol Label Switching
ms	millisecond
OSPF	Open Shortest Path First
PSK	Pre-Shared Key
QoS	Quality of Service
RTT	Round Trip Time
SA	Security Association

SHA	Secure Hash Algorithm
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
VM	Virtual Machine
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network



UNIVERSITAS
MERCU BUANA