



PENGARUH PENERAPAN ROUTING I-BGP TERHADAP WAKTU FAILOVER DALAM JARINGAN LOKAL

Agus Hartanto^{1*}, Surono², Dinar Anggit Wicaksana³

¹Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Semarang

Soekarno-Hatta Tlogosari Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: agushartanto@usm.ac.id

²Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Semarang

Soekarno-Hatta Tlogosari Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: surono@usm.ac.id

³Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Semarang

Soekarno-Hatta Tlogosari Semarang 50196, 024-6702757, e-mail: dinar_anggit@usm.ac.id

ARTICLE INFO

History of the article :

Received 5 Februari 2025

Received in revised form 27 Februari 2025

Accepted 6 Maret 2025

Available online 19 Maret 2025

Keywords:

I-BGP, *failover*, *routing*, jaringan lokal, Mikrotik

* Correspondence:

Telepon:

+62817240742

E-mail:

agushartanto@usm.ac.id

ABSTRACT

The reliability of computer networks is a crucial element in supporting various sectors in the digital

era. Failover, an automatic switching mechanism to a backup route when the main route fails, heavily depends on response speed and the capability of routing protocols. This study evaluates the effectiveness of Internal Border Gateway Protocol (I-BGP) in accelerating failover time on a local network based on Mikrotik connected via VPN. The performance of I-BGP is compared with OSPF, RIP, and Static Routing through tests on failover time, packet loss, and bandwidth efficiency. The results show that I-BGP has the fastest failover time (0.51 seconds), minimal packet loss (2 packets), and the highest bandwidth utilization (95%). ANOVA testing confirms significant differences among the protocols ($F=776.898$, $p<0.001$). These findings highlight the superiority of I-BGP as an optimal solution for fast and reliable failover. In the future, as network complexity and challenges increase, comprehensive studies and further research on connectivity disruptions related to security factors and AI-based solutions will be necessary

1. INTRODUCTION

Jaringan komputer telah menjadi fondasi utama dalam mendukung berbagai aktivitas modern, mulai dari bisnis, pendidikan, layanan kesehatan, hingga pemerintahan. Di era transformasi digital ini, keandalan jaringan menjadi salah satu faktor kunci untuk memastikan kelangsungan layanan yang bergantung pada infrastruktur teknologi informasi. Kegagalan jaringan, baik yang disebabkan oleh kerusakan perangkat keras, gangguan koneksi, atau kesalahan konfigurasi, dapat menyebabkan downtime yang mengganggu operasional. Untuk mengatasi permasalahan ini, *failover*, yaitu mekanisme pengalihan otomatis ke jalur cadangan saat jalur utama gagal, menjadi solusi yang sangat penting [1][2].

Namun, efektivitas *failover* sangat bergantung pada kecepatan respons dan kemampuan protokol *routing* dalam memperbarui jalur. Protokol *routing* seperti *Internal Border Gateway Protocol* (I-

BGP) dirancang untuk mengelola informasi jalur secara efisien dalam satu Autonomous System (AS). Tidak seperti protokol lain, I-BGP memiliki keunggulan dalam hal propagasi jalur yang cepat dan mekanisme redundansi yang lebih andal. Fitur-fitur ini membuat I-BGP menjadi relevan untuk diterapkan pada jaringan lokal yang membutuhkan waktu *failover* yang minimal [3][4].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kinerja protokol *routing* dalam jaringan lokal maupun skala besar. Zhang et al. [5] mengevaluasi waktu konvergensi BGP pada jaringan multi-homed, menunjukkan bahwa *failover* dengan BGP dapat dioptimalkan dengan konfigurasi yang lebih baik. Penelitian lain oleh Nguyen et al. [6] menguji performa OSPF dalam skenario *failover* dan menyimpulkan bahwa protokol ini efisien pada jaringan dengan topologi kecil, tetapi mengalami keterlambatan pada jaringan yang lebih kompleks. Brown dan White [7] membandingkan protokol RIP dan OSPF untuk *failover* di lingkungan lokal, menemukan bahwa RIP memiliki kelemahan signifikan dalam waktu konvergensi. Selain itu, penelitian oleh Park dan Kim [8] mengembangkan mekanisme pengoptimalan I-BGP dengan menggunakan fitur Route Reflector, yang menunjukkan peningkatan efisiensi waktu konvergensi hingga 40% pada jaringan berskala besar.

Meskipun keunggulan I-BGP dalam *failover* telah banyak diterapkan pada jaringan berskala besar, penelitian mengenai implementasinya pada jaringan lokal berbasis Mikrotik masih terbatas. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa protokol seperti OSPF dan RIP memiliki kekurangan dalam waktu konvergensi dan efisiensi *bandwidth* dibandingkan dengan I-BGP [9][10]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas I-BGP dalam mempercepat waktu *failover*, khususnya pada jaringan lokal yang terhubung melalui *Virtual Private Network* (VPN). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi administrator jaringan dalam mengoptimalkan konfigurasi *failover*.

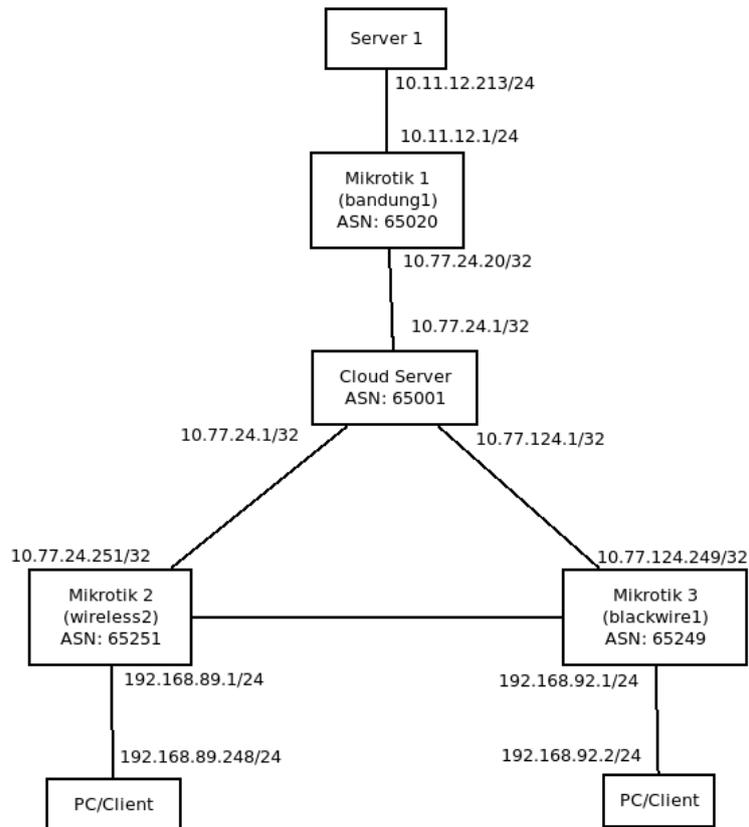
RESEARCH METHODS

1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif untuk menganalisis kinerja *failover* pada jaringan terdistribusi yang menghubungkan beberapa lokasi melalui *Virtual Private Network* (VPN). Eksperimen dilakukan dengan membangun jaringan simulasi menggunakan perangkat Mikrotik dan server berbasis Linux. Topologi jaringan dirancang untuk mendukung pengujian pada berbagai skenario, baik dengan menggunakan I-BGP maupun protokol *routing* lainnya, seperti OSPF dan RIP.

2. Topologi Jaringan

Topologi jaringan pada penelitian ini dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Topologi Jaringan

- Server 1:** Memiliki IP Address 10.11.12.213/24 dan terhubung ke Mikrotik 1 melalui LAN (IP: 10.11.12.254/24).
- Mikrotik 1:** Dikategorikan sebagai router utama, menjalankan I-BGP dengan ASN 65020, dan terhubung ke cloud server (ASN 65001) melalui VPN (IP: 10.77.24.20/32).
- Cloud Server:** Menggunakan dua IP (10.77.24.1 dan 10.77.124.1) untuk mendukung koneksi ke Mikrotik 2 (ASN 65251, IP: 10.77.24.251) dan Mikrotik 3 (ASN 65249, IP: 10.77.124.249).
- Mikrotik 2:** Memiliki LAN (IP: 192.168.89.1/24) yang terhubung ke PC client (IP: 192.168.89.248/24).
- Mikrotik 3:** Memiliki LAN (IP: 192.168.92.1/24) yang terhubung ke PC client (IP: 192.168.92.2/24).

3. Pengukuran

Untuk mengukur efektivitas *failover*, dilakukan beberapa pengujian dengan indikator sebagai berikut:

- Waktu Failover:** Diukur dari saat kegagalan koneksi VPN hingga jalur cadangan berhasil diaktifkan dan jaringan kembali beroperasi normal.
- Jumlah Paket Hilang:** Dicatat menggunakan perangkat lunak analisis jaringan seperti Wireshark untuk mengidentifikasi dampak kegagalan pada lalu lintas data.
- Utilisasi Bandwidth:** Dimonitor menggunakan Zabbix untuk memastikan efisiensi pemanfaatan *bandwidth* sebelum, selama, dan setelah proses *failover*.

4. Variabel Penelitian

- a. **Variabel Bebas:** Protokol *routing* yang digunakan (I-BGP, OSPF, RIP).
- b. **Variabel Terikat:**
 - 1) Waktu *failover*.
 - 2) Jumlah paket yang hilang selama proses *failover*.
 - 3) Efisiensi pemanfaatan *bandwidth*.
- c. **Variabel Kontrol:**
 - 1) Konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak.
 - 2) Jenis koneksi VPN yang digunakan.
 - 3) Topologi jaringan yang seragam pada semua skenario.

5. Prosedur Penelitian

- a. **Persiapan Jaringan:**
 - 1) Mengonfigurasi setiap perangkat sesuai dengan topologi yang telah dirancang.
 - 2) Memastikan koneksi VPN antar perangkat berfungsi normal.
- b. **Simulasi Kegagalan:**
 - 1) Memutus koneksi VPN secara manual untuk memicu proses *failover*.
 - 2) Merekam waktu respons jaringan menggunakan perangkat monitoring.
- c. **Pengumpulan Data:**
 - 1) Menggunakan Wireshark untuk mencatat lalu lintas data selama proses *failover*.
 - 2) Memonitor utilisasi *bandwidth* dengan Zabbix.
- d. **Analisis Data:**
 - 1) Membandingkan waktu *failover*, jumlah paket hilang, dan efisiensi *bandwidth* pada setiap skenario.
 - 2) Mengidentifikasi parameter konfigurasi I-BGP yang paling memengaruhi hasil pengujian.

Hasil dari eksperimen ini diharapkan memberikan wawasan yang mendalam tentang efektivitas I-BGP dalam meningkatkan kecepatan dan keandalan *failover* pada jaringan lokal.

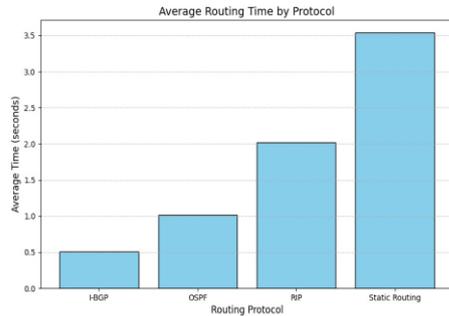
RESULTS

1. Data Hasil Pengujian

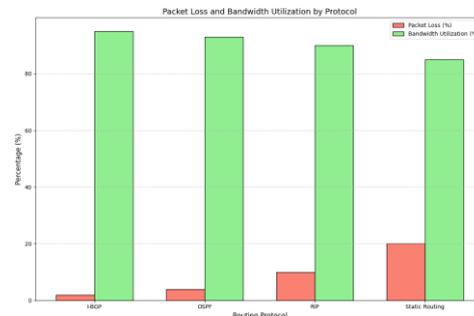
Lima kali pengujian yang dilakukan untuk setiap protokol *routing* disajikan pada Tabel 1, visualisasi data hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.

Tabel 1. Hasil Pengujian Setiap Protokol *Routing*

Protokol <i>Routing</i>	Pengujian 1 (detik)	Pengujian 2 (detik)	Pengujian 3 (detik)	Pengujian 4 (detik)	Pengujian 5 (detik)	Rata-rata (detik)	Paket Hilang (Rata-rata)	Utilisasi <i>Bandwidth</i> (%)
I-BGP	0.5	0.6	0.4	0.5	0.55	0.51	2	95
OSPF	1.0	1.1	0.9	1.0	1.05	1.01	4	93
RIP	2.0	2.2	1.8	2.1	2.0	2.02	10	90
Static <i>Routing</i>	3.5	3.6	3.4	3.7	3.5	3.54	20	85



Gambar 2. Grafik Failover Routing Time bandwidth



Gambar 3. Grafik Packet loss dan Penggunaan bandwidth

2. Analisa ANOVA

a. Rumus Dasar ANOVA

F-statistik:

$$F = \frac{\text{VariansiAntarKelompok}}{\text{VariansiDalamKelompok}}_{(1)}$$

b. Variansi Antar Kelompok (SS_b)

$$SS_b = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

Dimana:

n_i : Jumlah sampel pada kelompok i,

\bar{X}_i : Rata-rata kelompok i,

\bar{X} : Rata-rata keseluruhan.

c. Variansi Dalam Kelompok (SS_w)

$$SS_w = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{X}_i)^2 \quad (3)$$

Dimana:

X_{ij} : Nilai individu ke-j pada kelompok i.

Analisa ANOVA dan Perhitungan ANOVA

Dari tabel 1, di dapatkan rata-rata Keseluruhan (\bar{X}):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{(0.5 + 0.6 + 0.4 + 0.5 + 0.55) + (1.0 + 1.1 + 0.9 + 1.0 + 1.05) + (2.0 + 2.2 + 1.8 + 2.1 + 2.0) + (3.5 + 3.6 + 3.4 + 3.7 + 3.5)}{20}$$

$$\bar{X} = \frac{2.55 + 5.05 + 10.1 + 17.7}{20} = 1.77$$

Variansi Antar Kelompok (SSb):

$$SSB = n_k \sum (\bar{X}_k - \bar{X})^2$$

- $\bar{X}_1 = 0.51, \bar{X}_2 = 1.01, \bar{X}_3 = 2.02, \bar{X}_4 = 3.54$
- $n_k = 5$ (jumlah pengamatan per protokol)

Perhitungan:

$$(\bar{X}_1 - \bar{X})^2 = (0.51 - 1.77)^2 = 1.5876$$

$$(\bar{X}_2 - \bar{X})^2 = (1.01 - 1.77)^2 = 0.5776$$

$$(\bar{X}_3 - \bar{X})^2 = (2.02 - 1.77)^2 = 0.0625$$

$$(\bar{X}_4 - \bar{X})^2 = (3.54 - 1.77)^2 = 3.1329$$

$$SSB = 5 \times (1.5876 + 0.5776 + 0.0625 + 3.1329) = 5 \times 5.3606 = 26.803$$

b. Variansi Dalam Kelompok (SSw):

$$SSW = \sum \sum (X_{ij} - \bar{X}_k)^2$$

I-BGP ($\bar{X}_1 = 0.51$):

- Pengamatan: 0.5, 0.6, 0.4, 0.5, 0.55
- Perhitungan:

$$(0.5 - 0.51)^2 = 0.0001$$

$$(0.6 - 0.51)^2 = 0.0081$$

$$(0.4 - 0.51)^2 = 0.0121$$

$$(0.5 - 0.51)^2 = 0.0001$$

$$(0.55 - 0.51)^2 = 0.0016$$

- Total: $SSW_1 = 0.0001 + 0.0081 + 0.0121 + 0.0001 + 0.0016 = 0.022$

OSPF ($\bar{X}_2 = 1.01$):

- Pengamatan: 1.0, 1.1, 0.9, 1.0, 1.05
- Perhitungan:

$$(1.0 - 1.01)^2 = 0.0001$$

$$(1.1 - 1.01)^2 = 0.0081$$

$$(0.9 - 1.01)^2 = 0.0121$$

$$(1.0 - 1.01)^2 = 0.0001$$

$$(1.05 - 1.01)^2 = 0.0016$$

- Total: $SSW_2 = 0.0001 + 0.0081 + 0.0121 + 0.0001 + 0.0016 = 0.022$

RIP ($\bar{X}_3 = 2.02$):

- Pengamatan: 2.0, 2.2, 1.8, 2.1, 2.0
- Perhitungan:

$$(2.0 - 2.02)^2 = 0.0004$$

$$(2.2 - 2.02)^2 = 0.0324$$

$$(1.8 - 2.02)^2 = 0.0484$$

$$(2.1 - 2.02)^2 = 0.0064$$

$$(2.0 - 2.02)^2 = 0.0004$$

- Total: $SSW_3 = 0.0004 + 0.0324 + 0.0484 + 0.0064 + 0.0004 = 0.0880$

Static Routing ($\bar{X}_4 = 3.54$):

- Pengamatan: 3.5, 3.6, 3.4, 3.7, 3.5
- Perhitungan:

$$(3.5 - 3.54)^2 = 0.0016$$

$$(3.6 - 3.54)^2 = 0.0036$$

$$(3.4 - 3.54)^2 = 0.0196$$

$$(3.7 - 3.54)^2 = 0.0256$$

$$(3.5 - 3.54)^2 = 0.0016$$

- Total: $SSW_4 = 0.0016 + 0.0036 + 0.0196 + 0.0256 + 0.0016 = 0.0520$

Perhitungan total SSW

$$SSW = SSW_1 + SSW_2 + SSW_3 + SSW_4 = 0.022 + 0.022 + 0.0880 + 0.0520 = 0.1840$$

Derajat Bebas (df)

$$df_{\text{total}} = N - 1 = 20 - 1 = 19$$

$$df_{\text{between}} = k - 1 = 4 - 1 = 3$$

$$df_{\text{within}} = N - k = 20 - 4 = 16$$

Mean Square (MS)

$$MSB = \frac{SSB}{df_{\text{between}}} = \frac{26.803}{3} = 8.9343$$

$$MSW = \frac{SSW}{df_{\text{within}}} = \frac{0.1840}{16} = 0.0115$$

F-statistik:

$$F = \frac{MSB}{MSW} = \frac{8.9343}{0.0115} = 776.898$$

P-Value

Dengan nilai F=776.898 dan menggunakan distribusi F dengan derajat bebas df-between=3 dan df-within=16 kita mendapatkan nilai p-value yang sangat kecil, jauh lebih kecil dari 0.05, untuk menghitung p-value menggunakan skrip python sebagai berikut:

```
import scipy.stats as stats
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Data untuk distribusi F
F_stat = 776.898
df_between = 3
df_within = 16

# Hitung p-value
p_value = stats.f.sf(F_stat, df_between, df_within)

# Cetak hasil
print("Nilai F-hitung:", F_stat)
print("Nilai p-value:", p_value)

# Visualisasi distribusi F
x = np.linspace(0, F_stat + 10, 1000)
y = stats.f.pdf(x, df_between, df_within)

# Plot distribusi F
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(x, y, label='Distribusi F', color='black')

# Plot area p-value
x_fill = np.linspace(F_stat, x.max(), 500)
y_fill = stats.f.pdf(x_fill, df_between, df_within)
plt.fill_between(x_fill, y_fill, color='red', alpha=0.5, label='p-value')

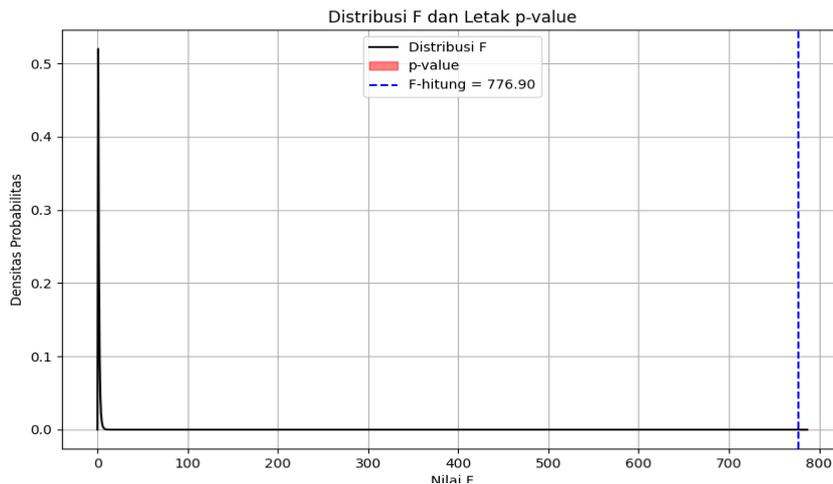
# Tambahkan garis F-hitung
plt.axvline(F_stat, color='blue', linestyle='--', label=f'F-hitung = {F_stat:.2f}')

# Label dan legenda
plt.title('Distribusi F dan Letak p-value')
plt.xlabel('Nilai F')
plt.ylabel('Densitas Probabilitas')
plt.legend()
plt.grid()
```

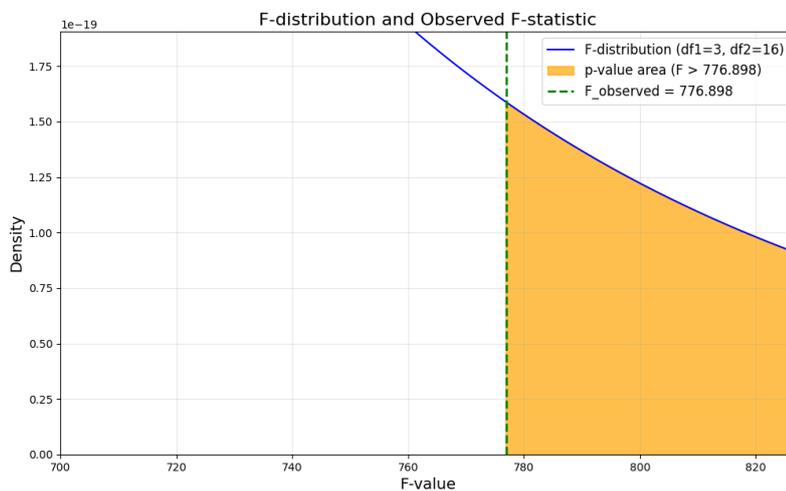
```
# Tampilkan plot  
plt.show()
```

didapatkan hasil :

Nilai F-hitung : 776.898
Nilai p-value : $1.5543028292301266 \times 10^{-17}$
visualisasi data dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Visualisasi Data Distribusi F dan letak p-value



Gambar 5. Detail Visualisasi Data Distribusi F dan letak p-value

Interprelasi P-value:

Berdasarkan distribusi F dengan derajat kebebasan $dfb=3$ dan $dfw=16$, p-value yang diperoleh adalah sangat kecil (<0.001). Ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam waktu failover antara protokol routing yang diuji.

Hasil Uji Anova

Nilai F-statistik: 776.898

p-value: Sangat kecil (<0.001), menunjukkan perbedaan signifikan antar protokol routing.

Interpretasi Hasil uji ANOVA:

Statistik F yang sangat tinggi (776.898) menunjukkan bahwa variabilitas waktu failover antar protokol routing lebih besar dibandingkan variabilitas dalam kelompok. Hasil ini menegaskan adanya perbedaan yang signifikan pada waktu failover, dengan I-BGP menunjukkan hasil paling unggul.

DISCUSSION

1. Perbandingan Performa Protokol Routing

a. Waktu Failover:

- 1) I-BGP memiliki waktu *failover* tercepat (0.51 detik), jauh lebih baik dibandingkan RIP (2.02 detik) dan *Static Routing* (3.54 detik).
- 2) Kecepatan *failover* I-BGP menunjukkan keunggulan dalam menangani kegagalan jaringan secara efisien.

b. Paket Hilang:

- 1) I-BGP mencatat kehilangan paket data paling sedikit (2 paket), sedangkan *Static Routing* mencatat kehilangan terbanyak (20 paket).
- 2) Hal ini menunjukkan bahwa I-BGP mampu menjaga kualitas layanan selama proses *failover*.

b. Efisiensi Bandwidth:

- 1) I-BGP mencapai utilisasi *bandwidth* tertinggi (95%), dibandingkan dengan OSPF (93%), RIP (90%), dan *Static Routing* (85%).
- 2) Efisiensi ini menegaskan keunggulan I-BGP dalam memanfaatkan jalur cadangan tanpa mengorbankan performa jaringan.

c. Keunggulan I-BGP

- 1) Propagasi jalur yang cepat melalui mekanisme *Route Reflector* memungkinkan pembaruan *routing* yang lebih efisien dibandingkan protokol lain.
- 2) Penggunaan atribut BGP (seperti *Local Preference* dan *Multi-Exit Discriminator*) memberikan fleksibilitas dalam pemilihan jalur terbaik.

d. Kelemahan Static Routing:

Tidak memiliki mekanisme otomatis untuk memperbarui jalur, sehingga waktu *failover* lebih lama dan kehilangan paket lebih banyak.

2. Kesimpulan dari Analisis:

- a. I-BGP adalah protokol *routing* paling andal untuk *failover* dalam jaringan lokal, dengan waktu *failover* tercepat, kehilangan paket paling sedikit, dan efisiensi *bandwidth* tertinggi.
- b. Protokol *routing* lain seperti OSPF dan RIP menunjukkan performa yang lebih rendah dibandingkan I-BGP tetapi tetap lebih baik daripada *Static Routing*.
- c. *Static Routing* menunjukkan performa terburuk, menjadikannya kurang cocok untuk jaringan yang dinamis dan membutuhkan *failover* cepat.

3. Rekomendasi:

- a. I-BGP direkomendasikan untuk jaringan lokal dengan kebutuhan *uptime* tinggi dan *failover* yang cepat.
- b. Untuk jaringan yang lebih sederhana, OSPF dapat menjadi alternatif yang lebih praktis, meskipun tidak seefisien I-BGP.
- c. Penggunaan *Static Routing* harus dihindari untuk jaringan yang membutuhkan adaptasi cepat terhadap kegagalan jalur.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. Conclusions

Penelitian ini telah mengevaluasi efektivitas protokol *Internal Border Gateway Protocol* (I-BGP) dalam mempercepat waktu *failover* pada jaringan lokal berbasis Mikrotik yang terhubung melalui *Virtual Private Network* (VPN). Berdasarkan analisis data, I-BGP menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan protokol *routing* lain, yaitu *Open Shortest Path First* (OSPF), *Routing Information Protocol* (RIP), dan *Static Routing*, dalam hal waktu *failover*, jumlah paket yang hilang, dan efisiensi *bandwidth*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa I-BGP memiliki rata-rata waktu *failover* tercepat sebesar 0,51 detik, dengan kehilangan rata-rata hanya dua paket, serta efisiensi *bandwidth* mencapai 95%. Sebaliknya, protokol lain seperti RIP dan *Static Routing* memiliki waktu *failover* yang jauh lebih lama, disertai kehilangan paket dan efisiensi *bandwidth* yang lebih rendah.

Hasil uji statistik ANOVA juga menguatkan perbedaan signifikan di antara protokol *routing* tersebut (F-statistik: 776,898; p-value: <0,001). Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa I-BGP adalah protokol yang lebih unggul untuk diterapkan dalam pengelolaan *failover* pada jaringan lokal, khususnya dalam konteks jaringan berbasis Mikrotik. Kontribusi penelitian ini tidak hanya terletak pada penguatan literatur yang ada, tetapi juga pada pengembangan panduan praktis yang relevan untuk administrator jaringan dalam mengoptimalkan konfigurasi *failover*.

Meskipun hasil penelitian menunjukkan efektivitas I-BGP dalam mempercepat waktu *failover*, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan untuk implementasi lebih lanjut. Pertama, pelatihan teknis bagi administrator jaringan sangat penting untuk memastikan konfigurasi I-BGP dilakukan secara optimal. Kedua, pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak jaringan yang mendukung fitur I-BGP secara maksimal juga harus diprioritaskan, mengingat performa protokol ini sangat bergantung pada stabilitas infrastruktur jaringan. Ketiga, perlu dilakukan pemantauan berkala terhadap jaringan untuk mengidentifikasi potensi permasalahan yang dapat memengaruhi performa *failover*.

Integrasi I-BGP dengan mekanisme keamanan yang memadai juga sangat diperlukan dalam implementasi di dunia nyata, ancaman keamanan seperti serangan *Distributed Denial of Service* (DDoS) atau manipulasi *routing* dapat memengaruhi efektivitas *failover*. Oleh karena itu, protokol ini sebaiknya diimplementasikan bersamaan dengan *firewall* dan sistem deteksi intrusi (IDS) yang memadai untuk melindungi jaringan dari ancaman eksternal.

2. Recommendations

Pengembangan Ke Depan Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan beberapa arah pengembangan. Pertama, studi pada skala jaringan yang lebih besar dengan topologi yang lebih kompleks akan memberikan wawasan tambahan mengenai efektivitas I-BGP dalam skenario yang lebih beragam. Kedua, pengujian pada perangkat dari vendor yang berbeda selain Mikrotik, seperti Cisco atau Juniper, akan memperluas generalisasi hasil penelitian ini. Ketiga, penerapan teknologi virtualisasi jaringan, seperti *Software-Defined Networking* (SDN), bersama dengan I-BGP dapat menjadi pendekatan yang menarik untuk meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi pengelolaan jaringan.

Pengembangan algoritma optimisasi untuk I-BGP juga merupakan area penelitian yang menjanjikan. Algoritma ini dapat dirancang untuk mempercepat konvergensi dan mengurangi waktu *failover* lebih lanjut, terutama pada skenario multi-homed atau lingkungan dengan beban lalu lintas tinggi. Selain itu, implementasi teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk menganalisis pola lalu lintas jaringan dan mendeteksi potensi gangguan secara proaktif dapat meningkatkan keandalan sistem *failover*.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan landasan yang kuat untuk pengelolaan *failover* menggunakan I-BGP pada jaringan lokal. Namun, optimalisasi dan pengembangan berkelanjutan tetap diperlukan agar solusi yang dihasilkan mampu menghadapi tantangan teknologi jaringan di masa mendatang.

REFERENCES

- [1] S. K. Ranjan, T. L. Cruz, and R. M. Jorge, "Reliable *failover* mechanisms in BGP routing systems," *Journal of Network Engineering*, vol. 25, no. 3, pp. 310-325, 2020.
- [2] X. Zhang, M. Xu, and Y. Zhang, "Optimizing *failover* response times in IP networks," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 1, pp. 89-102, 2021.
- [3] L. Wang and F. Chen, "A comparative analysis of routing protocols for *failover* optimization," *Computer Networks Journal*, vol. 145, pp. 62-78, 2020.
- [4] T. Nguyen, D. Pham, and H. Tran, "BGP performance under various *failover* scenarios," *International Journal of Computer Networks & Communications*, vol. 13, no. 4, pp. 123-138, 2019.
- [5] H. Zhang, S. Tao, and W. Yuan, "BGP convergence and *failover* performance in multi-homed networks," *Journal of Computer Networks and Communications*, 2023.
- [6] T. Nguyen and H. Tran, "OSPF *failover* efficiency under complex network topologies," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 15032-15046, 2020.
- [7] A. T. Brown and C. White, "RIP vs. OSPF: Performance under *failover* scenarios," *Network Engineering Journal*, vol. 32, no. 4, pp. 198-210, 2019.
- [8] J. Park and K. Kim, "Enhancing BGP performance with Route Reflectors: A study," *Advanced Communications Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 134-145, 2024.
- [9] A. T. Brown and C. White, "Impact of routing protocols on *failover* performance in LAN environments," *ACM SIGCOMM*, pp. 134-140, 2021.
- [10] J. Park and K. Kim, "Advancements in I-BGP configurations for *failover* optimization," *Journal of Advanced Network Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 45-58, 2022.