

# Simulasi dan Analisis BGP pada Jaringan ISP dengan Metode Konfigurasi *Multihoming*

Lukmanul Hakim<sup>1</sup>, Aswandi<sup>2\*</sup>, Afla Nevrisa<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknologi Informasi dan Komputer, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: aswandi@pnl.ac.id

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Abstrak

Pengelolaan jaringan *Internet Service Provider* (ISP) berskala besar membutuhkan mekanisme *routing* yang andal untuk memastikan kontinuitas layanan, terutama saat terjadi gangguan pada jalur koneksi. *Border Gateway Protocol* (BGP) sebagai protokol antar *Autonomous System* (AS) memainkan peran penting dalam pemilihan jalur terbaik dan penyediaan redundansi koneksi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menyimulasikan BGP dengan metode konfigurasi *multihoming* pada jaringan ISP menggunakan platform simulasi PNetLab. Fokus utama penelitian adalah menganalisis tiga parameter, yaitu *AS Path Prepending*, *Local Preference*, dan *Route Filtering*. Melalui simulasi yang dilakukan, penelitian ini mengevaluasi pengaruh dari setiap parameter terhadap kestabilan *routing*, respons *failover* saat terjadi gangguan koneksi, dan efisiensi distribusi trafik pada skenario *Multihoming*. Selain itu, penelitian ini juga membuktikan bahwa konfigurasi *Multihoming* secara signifikan lebih unggul dalam menjaga kestabilan dan ketersediaan jaringan dibandingkan konfigurasi jaringan *single homing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan ketiga parameter BGP secara tepat dapat meningkatkan keandalan jaringan, mempercepat pemulihan koneksi, serta mengoptimalkan jalur lalu lintas internet.

**Kata kunci:** *Border Gateway Protocol* (BGP), PnetLab, *Multihoming*, *AS Path Prepending*, *Local Preference*, *Route Filtering*

## 1. Pendahuluan

Dalam era digital saat ini, kebutuhan untuk konektivitas internet telah meningkat menjadi peran penting dalam memfasilitasi beragam kegiatan, meliputi komunikasi, perdagangan, pendidikan, dan fungsi layanan publik. Sesuai temuan yang diterbitkan oleh Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) tahun 2024, jumlah pengguna internet di Indonesia mencapai 221.563.479 orang dari total populasi 278.696.200 orang pada tahun 2023. Tingkat penetrasi internet yang tercatat di Indonesia sebesar 79,5%, meningkat 1,4% dibandingkan periode sebelumnya. Data ini menggarisbawahi ketergantungan masyarakat yang signifikan terhadap layanan internet, sehingga mengharuskan *Internet Service Provider* (ISP) untuk terus meningkatkan kualitas, stabilitas, dan keandalan layanan jaringan yang mereka sediakan. Namun dalam realitasnya, ISP masih berhadapan dengan tantangan besar terkait ketersediaan dan stabilitas jaringan. Gangguan pada satu jalur *uplink* saja dapat menyebabkan *downtime* yang merugikan secara finansial. Data dari *Uptime Institute* menyebutkan bahwa 80% operator data center mengalami gangguan dalam tiga tahun terakhir, dengan 60% di antaranya menyebabkan kerugian lebih dari US\$100.000. Biaya *downtime* bahkan dapat mencapai US\$500.000 per jam.

Untuk mengatasi risiko tersebut, ISP memanfaatkan protokol *routing Border Gateway Protocol* (BGP) yang digunakan dalam komunikasi antar jaringan atau *Autonomous System* (AS). BGP memungkinkan ISP untuk memilih jalur terbaik dalam pertukaran data, serta membangun redundansi jaringan agar tetap beroperasi saat salah satu jalur mengalami gangguan. Penerapan *multihoming* menjadi strategi utama untuk meningkatkan keandalan layanan dengan menghubungkan ke lebih dari satu penyedia *upstream*.

Meski demikian, penerapan BGP *multihoming* tidak lepas dari tantangan teknis, terutama dalam pengelolaan pemilihan jalur, Atribut BGP seperti *Local Preference*, dan *AS Path Prepending* berperan penting dalam menentukan arah lalu lintas masuk dan keluar, kesalahan konfigurasi dapat menyebabkan jalur tidak efisien atau beban trafik tidak merata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak konfigurasi atribut BGP dalam skenario *multihoming* pada jaringan ISP melalui simulasi terstruktur.

## 2. Dasar Teori

### A. *Internet Service Provider*

*Internet Service Provider* adalah perusahaan atau badan yang menyediakan jasa sambungan internet dan jasa lainnya yang berhubungan. ISP ini mempunyai jaringan yang baik secara domestik maupun internasional sehingga pelanggan atau pengguna dari sambungan yang disediakan oleh *Internet Service Provider* dapat terhubung ke jaringan internet global [3].

### B. *Routing Protocol*

*Routing Protocol* adalah komunikasi antar *router* untuk menemukan jalur terbaik dalam mencari sebuah alamat tertentu dengan cara pertukaran informasi antar *router* satu dengan yang lain. Menurut Bradley Mitchell setiap *routing protocol* mempunyai 3 fungsi dasar yaitu *discovery* (mengenal *router* lain pada jaringan), *route management* (melacak semua jalur yang memungkinkan untuk dilewati data), *path determination* (menentukan jalur secara dinamis) [6].

### C. *Packet Network Emulator Tool Lab (PnetLab)*

*Packet Network Emulator Tool Lab* adalah sebuah *platform* yang dapat digunakan untuk membuat, berbagi, dan mempraktekan laboratorium jaringan komputer yang mendukung beragam vendor dari perangkat-perangkat jaringan [7].

### D. *Autonomous System (AS)*

*Autonomous System* adalah satu jaringan atau sekumpulan jaringan yang berada di bawah kontrol satu administrasi. Contoh AS adalah seperangkat komputer di perusahaan atau di perguruan tinggi yang memiliki kontrol administrator yang sama. AS terdiri dari sekelompok *router* yang membentuk jaringan yang masih berada dalam satu hak administrasi, satu kepemilikan, satu kepentingan, dan dikonfigurasi menggunakan *policy* yang sama. Biasanya dalam satu AS, *router-router* di dalamnya dapat bebas berkomunikasi dan memberikan informasi. Umumnya, *routing protocol* yang digunakan untuk bertukar informasi *routing* adalah sama pada semua *router* di dalamnya [5].

### E. *Autonomous System Number (ASN)*

*Autonomous System Number* adalah definisi dari alamat protokol internet, alamat identifikasi yang diberikan pada sebuah perangkat untuk terhubung ke jaringan internet dengan menggunakan protokol internet. Sedangkan Nomor Sistem Otonom adalah nomor yang digunakan sebagai pengidentifikasi suatu kelompok yang terdiri dari satu atau lebih protokol internet yang terkoneksi ke kelompok lainnya dalam suatu kebijakan koneksi yang didefinisikan dengan jelas [4].

### F. *Regional Internet Registry (RIR)*

*Regional Internet Registry* adalah organisasi nirlaba yang bertanggung jawab untuk mengelola, mendistribusikan, dan mencatat sumber daya alamat internet dalam suatu wilayah tertentu. Menurut RIR melaporkan bahwa daerah control mereka masing-masing telah mencapai nilai maksimum pengguna yang ditawarkan oleh IPv4. Untuk saat ini hanya RIR di daerah Afrika saja yang hampir mengalami hal serupa di alamat IPv4. Sebagai pengganti IPv4. IPv6 menyediakan *system* pengalamatan perangkat dengan ukuran 128-bit. Sehingga IPv6 dapat menyediakan ruangan yang lebih lebar untuk menggantikan pengalamatan IPv4. Selain itu IPv6 juga menawarkan penyederhanaan *header* paket data, keamanan yang lebih tinggi [2].

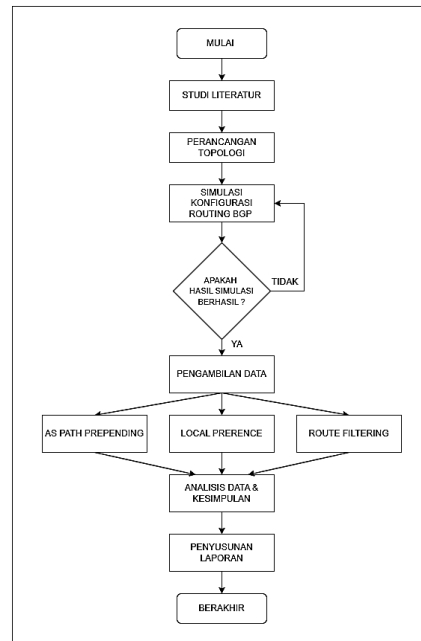
### G. *Multihoming*

*Multihoming* adalah kondisi atau teknik menghubungkan suatu jaringan ke dua atau lebih penyedia layanan internet secara bersamaan, dengan tujuan untuk meningkatkan ketersediaan (*availability*), keandalan (*reliability*), redundansi, dan kinerja jaringan. Hal tersebut dikarenakan adanya dua atau lebih jalur yang dapat dilewati untuk menuju AS yang dituju [1].

## 3. Metode

### 3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif berbasis simulasi jaringan guna mengevaluasi performa protokol *Border BGP* dengan konfigurasi *Multihoming*. Pengujian dilakukan menggunakan *platform PNetLab* berbasis *VMware Workstation Pro* dan *router virtual MikroTik*, yang merepresentasikan kondisi jaringan ISP dengan jalur *uplink* ganda ke beberapa AS. Penelitian ini membutuhkan tahapan yang sistematis untuk memastikan penyusunan penelitian dilakukan secara lebih struktur. Untuk memastikan bahwa penelitian selaras dengan hasil yang disusun, fase penelitian diilustrasikan dan dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 tahapan penelitian diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur adalah tahapan awal dalam penelitian yang melibatkan pengkajian berbagai sumber yang relevan dengan topik penelitian, pada tahapan ini penulis akan melakukan *research* untuk mendalami pemahaman mengenai teori BGP, *Multihoming* dan *failover*, serta atribut BGP seperti *AS Path Prepending*, *Local Preference*, dan *Route Filtering*.

#### 2. Perancangan Topologi

Perancangan Topologi merupakan strategi dan pengaturan arsitektur untuk merancang struktur atau *layout* dari jaringan komputer yang akan dibangun. Setelah memperoleh pemahaman teoritis, dilakukan perancangan topologi jaringan yang akan digunakan dalam simulasi. Topologi ini mencerminkan kondisi jaringan yang mendukung implementasi *multihoming* BGP dengan beberapa jalur keluar (*uplink*).

#### 3. Simulasi Konfigurasi Routing BGP

Tahapan ini melibatkan implementasi konfigurasi *routing* BGP pada topologi yang telah dirancang, menggunakan perangkat lunak simulator jaringan PnetLab. Konfigurasi tersebut mengalami pengujian yang terstruktur sesuai protokol BGP agar bisa berjalan sebagaimana mestinya.

#### 4. Pengujian

Tahapan pengujian bertujuan untuk memastikan konfigurasi *multihoming* dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan ketersediaan koneksi, meminimalisir *downtime*, dan mengoptimalkan jalur trafik pada jaringan ISP. Pengujian dilakukan secara simulatif menggunakan PNetLab dengan beberapa skenario yang meliputi:

- *Failover Test*: Untuk melihat seberapa cepat dan efektif jalur cadangan aktif saat jalur utama gagal.
- *Efektivitas Routing*: Menganalisis efisiensi jalur berdasarkan parameter yang diterapkan.

#### 5. Evaluasi Keberhasilan Simulasi

Tahapan ini melibatkan implementasi konfigurasi *routing* BGP pada topologi yang telah dirancang, menggunakan perangkat lunak simulator jaringan PnetLab. Konfigurasi diuji untuk memastikan protokol BGP berjalan sebagaimana mestinya.

#### 6. Pengambilan Data

Setelah simulasi berhasil, dilakukan proses pengambilan data berupa parameter jaringan seperti jalur yang dipilih, metrik, kestabilan koneksi, dan pengaruh dari konfigurasi terhadap *routing*.

#### 7. Analisis Data

Data dari hasil simulasi dianalisis untuk mengukur efektivitas dan keandalan konfigurasi. Evaluasi mencakup waktu pemulihan saat *failover*, kestabilan *routing*, dan penggunaan parameter BGP dalam mendukung redundansi serta optimalisasi trafik.

### 3.1.1. Variabel Penelitian

Penelitian ini berfokus pada dua klasifikasi variabel yang berbeda, khususnya variabel independen dan variabel dependen. Penjelasan masing-masing variabel ini disajikan sebagai berikut:

#### 1. Variabel Independen

Variabel independen didefinisikan sebagai variabel yang bisa dimanipulasi atau dikendalikan oleh peneliti untuk mengamati pengaruhnya terhadap performa jaringan. Adapun variabel independen dalam penelitian ini adalah:

- *Local Preference* untuk menentukan prioritas jalur keluar (*outbound*).
  - *AS Path Prepending* untuk manipulasi panjang jalur keluar (*inbound route*).
  - *Route Filtering* untuk menyaring rute berdasarkan kebijakan tertentu.
  - Dalam penelitian ini digunakan 3 *uplink* dengan 3 *upstream* yang berbeda.
2. Variabel Dependen

Variabel dependen didefinisikan sebagai variabel yang dipengaruhi oleh perubahan yang dilakukan pada variabel independen. Dalam penelitian ini, variabel dependen mengukur performa jaringan yang dihasilkan dari konfigurasi BGP *multihoming*, yaitu:

- Waktu *Failover* (*Convergence Time*): Mengukur waktu yang dibutuhkan sistem untuk beralih ke jalur cadangan saat jalur utama gagal (dalam ms).
- Distribusi Trafik: Penggunaan *bandwidth* tiap jalur (dalam %).
- Stabilitas Rute: Jumlah perubahan rute (*route-flap*) per menit.
- *Packet Loss* dan *Delay* diukur menggunakan ICMP

### 3.2. Data dan Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan berasal dari data sekunder. Berikut merupakan tabel data sekunder yang mencakup informasi dan statistik yang relevan dengan penelitian Analisis dan Simulasi *Border Gateway Protocol* pada Jaringan *Internet Service Provider* Dengan Metode Konfigurasi *Multihoming*. Data sekunder dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Sekunder

| No | Jenis Data   | Nilai Data (Angka/Persentase)                            | Sumber Data   |
|----|--|--|---|
| 1. | Persentase ISP yang menggunakan <i>multiple uplink</i>               | 65% dari total ISP global                                | Laporan tahunan dari Global ISP Trends Report           |
| 2. | Latensi rata-rata <i>uplink</i> pada jaringan berbasis BGP           | 25 ms ( <i>uplink A</i> ) dan 35 ms ( <i>uplink B</i> )  | Studi kasus dari jurnal IEEE Xplore                     |
| 3. | Tingkat kehilangan paket pada jaringan tanpa BGP                     | Hingga 15% dibandingkan dengan metode konvensional       | Studi kasus dari Jurnal Internasional <i>Networking</i> |
| 4. | <i>Downtime</i> rata-rata akibat kegagalan <i>uplink</i>             | <i>Downtime</i> rata-rata akibat kegagalan <i>uplink</i> | Laporan dari Verizon DBIR                               |
| 5. | Peningkatan stabilitas koneksi dengan <i>failover</i> BGP            | 90% lebih stabil setelah implementasi <i>failover</i>    | Studi kasus dari komunitas operator jaringan            |
| 6. | Utilisasi <i>bandwidth</i> pada <i>uplink</i> setelah BGP diterapkan | 75% ( <i>uplink A</i> ) dan 65% ( <i>uplink B</i> )      | Laporan industri dari <i>Netfilter</i> dan RIPE NCC     |

Berdasarkan tabel 1 sebanyak 65% ISP global telah menggunakan *multiple uplink* untuk meningkatkan ketersediaan jaringan. Latensi rata-rata pada jaringan berbasis BGP tercatat 25 ms (*uplink A*) dan 35 ms (*uplink B*), sedangkan jaringan tanpa BGP mengalami *packet loss* hingga 15% lebih tinggi. Penerapan *failover* BGP mampu meningkatkan stabilitas koneksi hingga 90% dan menekan risiko *downtime* akibat kegagalan *uplink*. Selain itu, utilisasi *bandwidth* setelah BGP diterapkan tercatat 75% pada *uplink A* dan 65% pada *uplink B*, menunjukkan bahwa BGP efektif dalam optimasi rute dan distribusi beban jaringan.

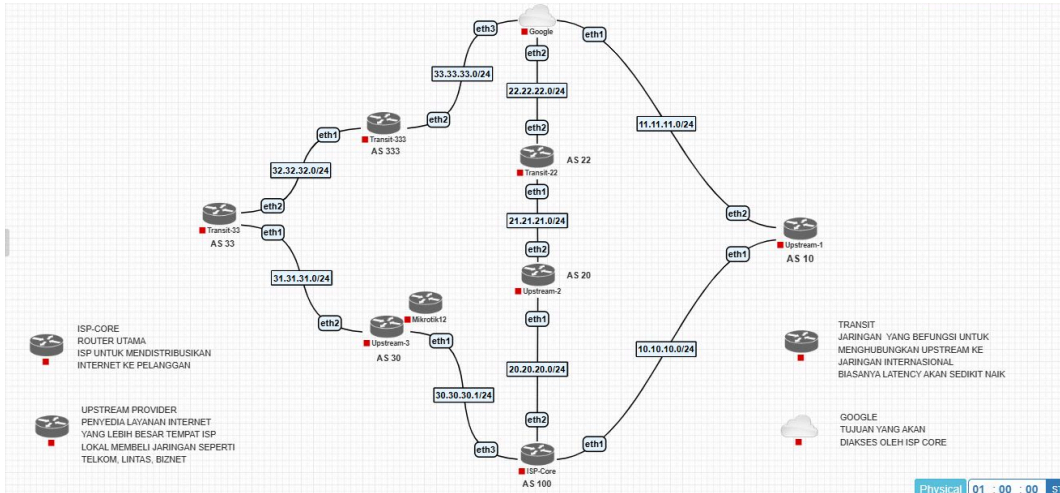
### 3.3. Rancangan Sistem

Dalam penelitian ini, fokus diarahkan pada simulasi dan analisis BGP pada jaringan ISP dengan menggunakan metode konfigurasi *multihoming*. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menguji efektivitas BGP dalam menangani koneksi ganda (*multiple uplinks*) ke beberapa ISP, serta menganalisis bagaimana kebijakan *routing* seperti *Local*

Preference, AS Path Prepending, dan route filtering dalam memengaruhi pemilihan jalur.

### 3.3.1. Topologi Jaringan

Dalam penelitian ini tipe untuk topologi jaringan yang digunakan adalah *partial mesh* yaitu jenis topologi jaringan di mana hanya sebagian perangkat (*node*) yang saling terhubung langsung satu sama lain. Topologi jaringan dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Topologi BGP

Gambar 2 menunjukkan simulasi jaringan yang digunakan dalam penelitian ini dengan pendekatan topologi *partial mesh*, di mana satu router pusat (ISP-CORE) pada *Autonomous System* (AS 100) terhubung ke tiga penyedia layanan internet (*upstream provider*) berbeda, tanpa ada koneksi langsung antar ISP. Desain ini merepresentasikan skenario BGP *multihoming*, yaitu metode konektivitas yang memungkinkan satu jaringan memiliki lebih dari satu jalur keluar (*uplink*) guna meningkatkan ketersediaan dan keandalan koneksi internet. Struktur topologi terdiri dari tujuh router MikroTik, masing-masing berada dalam AS yang berbeda, serta satu entitas eksternal, yaitu Google (AS 80) dengan alamat IP tujuan akhir 8.8.8.8. Adapun beberapa perangkat lunak yang dibutuhkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

### 3.4. Teknik Pengujian

Pengujian dilakukan secara simulatif menggunakan *virtual machine* VMware *workstation pro* dan akan dijalankan dengan software PNetLab didalam *virtual machine* tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mensimulasikan penerapan BGP dengan metode konfigurasi *multihoming* pada jaringan ISP, guna meningkatkan ketersediaan (*availability*) dan keandalan (*reliability*) koneksi internet. Teknik pengujian dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Teknik Pengujian

| No | Aspek yang Diuji                   | Teknik Pengujian  | Parameter Keberhasilan   | Hasil yang Diharapkan   |
|----|------------------------------------|---|--|---|
| 1  | Konfigurasi BGP <i>Multihoming</i> | Konfigurasi sesi BGP antara router CORE (AS100) dengan Ups-1 (AS10), Ups-2 (AS20), dan Ups-3 (AS30) | Semua sesi BGP dalam status <i>Established</i> di router CORE                        | Terbentuk 3 sesi BGP aktif di router CORE                                   |
| 2  | <i>Local Preference</i>            | Modifikasi nilai <i>local-pref</i> pada jalur keluar  | Jalur keluar mengikuti nilai <i>Local Preference</i> tertinggi                       | Lalu lintas dari CORE ke 8.8.8.8 keluar melalui Ups-3 selama jalur tersedia |
| 3  | <i>AS Path Prepending</i>          | Menambahkan ASN 10 milik Ups-1 sebanyak empat kali  | Jalur masuk dari luar (Google) cenderung menghindari Ups-1 karena path lebih panjang | Jalur masuk dari Google ke CORE lebih memilih via Ups-2 atau Ups-1          |

| No | Aspek yang Diuji     | Teknik Pengujian   | Parameter Keberhasilan   | Hasil yang Diharapkan   |
|----|----------------------|--|--|---|
| 4  | Route Filtering      | Menerapkan filter rule di MikroTik untuk memblokir prefix privat | Prefix privat tidak diadvertisekan ke luar dari AS100                    | Tidak ada prefix privat yang muncul di tabel routing router eksternal |
| 5  | Failover Jalur ISP   | Memutus link Ups-3 di gui winbox os                              | CORE secara otomatis berpindah ke Ups-2 sebagai jalur cadangan           | Koneksi ke 8.8.8.8 tetap berlangsung melalui Ups-2                    |
| 6  | Recovery Jalur Utama | Mengaktifkan kembali link Ups-1                                  | CORE kembali memilih jalur Ups-1 karena nilai Local Preference tertinggi | Koneksi dari CORE ke 8.8.8.8 kembali melalui Ups-1 secara otomatis    |

Berdasarkan tabel 2 pengujian dilakukan untuk memastikan konfigurasi BGP *Multihoming* berjalan optimal. Pengujian dimulai dengan memastikan tiga sesi BGP *Established* di router CORE. Pengaturan *Local Preference* diuji agar trafik ke 8.8.8.8 keluar melalui Ups-3. Selanjutnya, *AS Path Prepending* dilakukan agar jalur masuk dari luar lebih memilih Ups-2 dibanding Ups-1. Pada *Route Filtering*, prefix privat dicegah agar tidak teriklan keluar. Pengujian *failover* memastikan CORE otomatis berpindah ke Ups-2 saat Ups-3 terputus, dan *recovery* memastikan CORE kembali ke Ups-1 saat jalur utama aktif.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan pada topologi jaringan BGP *multihoming* menggunakan tujuh router. Eksperimen dilakukan pada platform virtualisasi VMware *Workstation Pro* menggunakan emulator jaringan PNetLab, dengan tujuh router MikroTik berbasis RouterOS v4.69. Topologi *partial mesh* dibangun untuk merepresentasikan lingkungan jaringan ISP *multihomed* dengan tiga jalur *uplink* ke AS eksternal.

#### 4.1.1. Spesifikasi Lingkungan Uji

Pengujian dilakukan pada lingkungan *virtual* yang mendukung kebutuhan simulasi jaringan BGP *multihoming*. Spesifikasi *software* dan *hardware* yang digunakan selama eksperimen dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Spesifikasi Lingkungan Uji

| No | Komponen          | Spesifikasi                       |
|----|-------------------|-----------------------------------|
| 1  | Emulator Jaringan | PNetLab v4.2.10                   |
| 2  | Virtual Machine   | VMware Workstation Pro            |
| 3  | Router OS         | MikroTik RouterOS v6.49           |
| 4  | Host machine      | Ryzen 5 3500U, 8GB RAM, SSD 512GB |
| 5  | Tools Pengujian   | RoutersOS WinBox v3.41            |

Berdasarkan tabel 3 pengujian dilakukan pada lingkungan *virtual* menggunakan PNetLab v4.2.10 sebagai emulator jaringan. Virtualisasi dijalankan melalui VMware *Workstation Pro* untuk memudahkan pengelolaan perangkat *virtual*. Perangkat jaringan menggunakan MikroTik RouterOS v6.49 sebagai sistem operasi utama, sedangkan *host machine* memiliki spesifikasi Ryzen 5 3500U, RAM 8GB, dan SSD 512GB untuk mendukung kinerja yang stabil selama pengujian. Selain itu, pengujian dan konfigurasi jaringan dilakukan menggunakan RouterOS WinBox v3.4 sebagai tools utama untuk memantau dan mengelola router secara *visual*.

### 4.2. Pembahasan Penelitian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, seluruh sesi BGP pada ISP-Core (AS100) berhasil mencapai status *Established*, menandakan koneksi antar-AS berfungsi dengan baik. *Local Preference* berhasil memprioritaskan jalur keluar melalui Ups-3 (AS30), sedangkan *AS Path Prepending* membuat jalur masuk lebih memilih AS20 dibanding AS10. Pengujian *Route Filtering* berhasil mencegah prefix privat teriklan keluar, menjaga keamanan *routing*. Mekanisme *failover* berjalan lancar, di mana trafik otomatis berpindah ke Ups-2 saat Ups-3 terputus, dan kembali ke Ups-3 saat jalur utama aktif (*recovery*).

#### 4.2.1. Status Sesi BGP Multihomig

Pada tahap awal pengujian, dilakukan konfigurasi BGP *Multihoming* pada *router* ISP-Core (AS100) yang terhubung ke tiga *upstream*, yaitu AS10 (Ups-1), AS20 (Ups-2), dan AS30 (Ups-3). Tujuan dari konfigurasi ini adalah memastikan semua sesi BGP dapat saling berkomunikasi dan mencapai status *Established*, yang menandakan pertukaran *routing* informasi berlangsung normal. Tampilan tab *peers* menu BGP di *RouterOS* dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

| Name    | Instance | Remote Address | Remote AS | M... | R... | TTL | Remote ID  | Uptime   | Prefix Co... | State       |
|---------|----------|----------------|-----------|------|------|-----|------------|----------|--------------|-------------|
| to-UPS1 | default  | 10.10.10.1     | 10        | no   | no   | 255 | 10.10.10.1 | 00:05:23 | 9            | established |
| to-UPS2 | default  | 20.20.20.1     | 20        | no   | no   | 255 | 20.20.20.1 | 00:05:23 | 7            | established |
| to-UPS3 | default  | 30.30.30.1     | 30        | no   | no   | 255 | 30.30.30.1 | 00:05:23 | 7            | established |

Gambar 3. Konfigurasi BGP Router Core

Gambar 3 menampilkan hasil konfigurasi berhasil, ketiga jalur aktif dan menerima *update* rute dari masing-masing jalur *upstream* dengan keadaan *established*, menunjukkan stabilitas awal protokol BGP berjalan dengan baik. Hasil konfigurasi dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Konfigurasi BGP

| No | Router CORE | Neighbor   | ASN | Status BGP  | Established Time | Jumlah Prefix |
|----|-------------|------------|-----|-------------|------------------|---------------|
| 1. | ISP-Core    | 10.10.10.1 | 10  | Established | 00:05:23         | 9             |
| 2. | ISP-Core    | 20.20.20.1 | 20  | Established | 00:05:23         | 7             |
| 3. | ISP-Core    | 30.30.30.1 | 30  | Established | 00:05:23         | 7             |

Tabel 4 menampilkan hasil monitoring BGP pada *router* ISP-Core, di mana semua sesi BGP dengan ketiga *upstream* (Ups-1, Ups-2, dan Ups-3) telah berhasil aktif dengan status *established*. Koneksi BGP ke *Upstream-1* dengan ASN 10 melalui IP 10.10.10.1 telah stabil selama 5 menit 23 detik dengan menerima 9 prefix. Sesi BGP ke *Upstream-2* dengan ASN 20 melalui IP 20.20.20.1 juga dalam kondisi stabil dengan *uptime* yang sama dan menerima 7 prefix. Sementara itu, koneksi ke *Upstream-3* dengan ASN 30 pada IP 30.30.30.1 menunjukkan status *established* dengan waktu aktif yang sama dan menerima 7 prefix.

#### 4.2.2. Pengaruh Local Preference Terhadap Jalur Outbound

Eksperimen dilakukan dengan konfigurasi *local preference* sebagai berikut:

1. Ups-1 10.10.10.1 (AS10) : 100
2. Ups-2 20.20.20.1 (AS20) : 200
3. Ups-3 30.30.30.1 (AS30) : 300

Pada tahap ini, dilakukan pengaturan *Local Preference* untuk menentukan prioritas jalur *outbound* dari ISP-Core (AS100) menuju Google (8.8.8.8). Nilai *Local Preference* yang lebih tinggi akan membuat BGP memilih jalur tersebut sebagai rute utama. Dalam pengujian ini, Ups-1 (AS10) diberikan nilai *Local Preference* 100 agar diprioritaskan sebagai jalur utama dibandingkan Ups-2 (AS20) dan Ups-3 (AS30). Perbandingan *local preference* dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan Local Preference

| No | Kondisi          | Jalur Terpilih                     | Hop Count | Rata – rata Latency (ms) |
|----|------------------|------------------------------------|-----------|--------------------------|
| 1  | Jalur Utama      | AS100 → AS10 → AS80                | 2         | 2.4                      |
| 2  | Jalur Local Pref | AS100 → AS30 → AS33 → AS333 → AS80 | 4         | 3.8                      |

Pada tabel 5 diatas menunjukkan Pengujian ini membandingkan dua jalur BGP menuju IP 8.8.8.8, yaitu jalur utama dan jalur alternatif yang dipilih berdasarkan pengaturan *Local Preference*. Pada kondisi normal, *router* memilih jalur melalui AS100 → AS10 → AS80 karena jalur ini paling pendek dengan 2 hop dan rata-rata latensi 2,4 ms. Namun, setelah diberi pengaturan *Local Preference* yang lebih tinggi, *router* memilih jalur lain yaitu AS100 → AS30 → AS33 → AS333 → AS80, meskipun jalur ini lebih panjang (4 hop) dan latensinya lebih tinggi

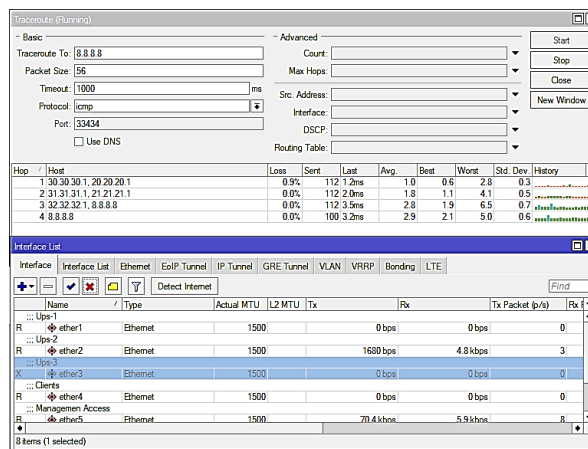
(3,2 ms). Hal ini terjadi karena BGP lebih mengutamakan nilai *Local Preference* dalam memilih rute. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan BGP bisa memengaruhi arah lalu lintas jaringan sesuai kebijakan, bukan hanya berdasarkan kecepatan atau jumlah hop. Dengan kata lain, administrator jaringan bisa mengarahkan jalur trafik sesuai kebutuhan, seperti untuk *backup*, distribusi beban, atau kebijakan bisnis.

#### 4.2.3. Evaluasi Failover dan Recovery

Evaluasi *failover* dan *recovery* dilakukan untuk mengukur ketahanan dan keandalan sistem *routing* BGP dalam menghadapi kegagalan koneksi pada jalur *Upstream* di skenario *multihoming*. Dalam simulasi ini, dilakukan tiga tahapan pengamatan yaitu sebelum *failover*, saat *failover* pertama, dan saat *failover* kedua. Setiap tahapan dianalisis dari sisi konektivitas, rute yang dipilih, status *interface*, dan waktu pemulihan koneksi.

#### 4.2.4. Failover Pertama

*Failover* pertama terjadi ketika Ups-3 (ether3) mengalami kegagalan. Hal ini menyebabkan *router* mendeteksi bahwa jalur utama tidak lagi tersedia. Hasil pengujian dari *traceroute failover* pertama dapat dilihat pada gambar 4 berikut.

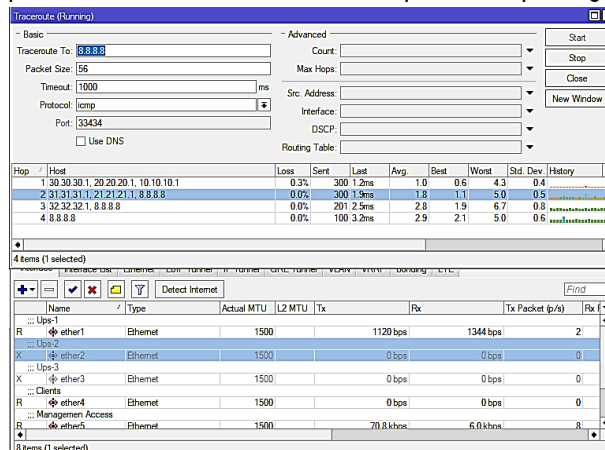


Gambar 4. Failover Pertama

Gambar 4 menampilkan bahwa *traceroute* menuju 8.8.8.8 masih melewati 3 hop, namun nilai latensi yang dicatat sedikit meningkat. Rata-rata latensi adalah 2.8 ms, dengan *best* sebesar 1.9 ms dan *worst* mencapai 6.5 ms. Terdapat *packet loss* kecil sebesar 0.9% pada hop pertama selama proses *traceroute*. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika *Upstream* 3 mengalami *down*, *router* secara otomatis beralih menggunakan *Upstream* 2 sebagai jalur *outbound*, sesuai dengan prioritas *Local Preference* sebesar 200, yang menjadi tertinggi di antara *upstream* yang masih aktif.

#### 4.2.5. Failover Kedua

*Failover* kedua terjadi saat NAP-2 (ether2) juga mengalami gangguan, sehingga satu-satunya jalur tersisa adalah NAP-1 (ether1). Hasil pengujian dari *traceroute failover* kedua dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Failover Kedua

Gambar 5 menampilkan bahwa paket *traceroute* menuju 8.8.8.8 kembali menempuh 2 hop, dengan rata-rata latensi sebesar 1.8 ms, latensi terbaik 1.1 ms, dan terburuk 5.0 ms. pada hop pertama menunjukkan 0.3% *packet loss*, menandakan jaringan tetap stabil walaupun hanya satu jalur aktif. Kondisi ini terjadi karena *Upstream* 2 dan 3 tidak tersedia (*down*), sehingga *router* otomatis memilih *Upstream* 1 sebagai jalur keluar, meskipun memiliki *Local Preference* terendah yaitu 100. Ini menunjukkan bahwa sistem *routing* BGP berfungsi dengan baik dalam mengalihkan trafik ke jalur cadangan saat jalur utama gagal.

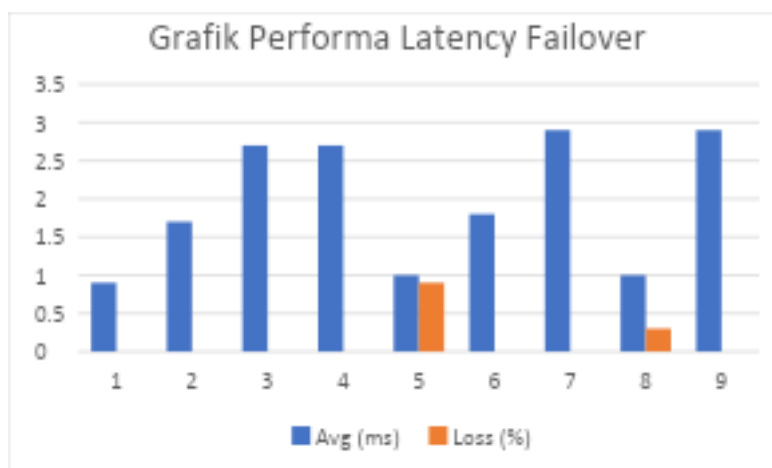
#### 4.2.6. Analisis Failover

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, berikut tabel hasil dari percobaan simulasi *failover* pada jaringan BGP *Multihoming*. Hasil percobaan *failover* dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Percobaan *Failover*

| Tahapan      | Jalur Aktif  | Rata-rata Latency (ms) | Packet Loss (%) |
|--------------|--------------|------------------------|-----------------|
| Kondisi Awal | 30.30.30.1 → | 0.9 – 2.7              | 0.0%            |
|              | 31.31.31.1 → |                        |                 |
|              | 32.32.32.1 → |                        |                 |
|              | 8.8.8.8      |                        |                 |
| Failover 1   | 20.20.20.1 → | 1.0 – 2.9              | 0.9%            |
|              | 21.21.21.1 → |                        |                 |
|              | 8.8.8.8      |                        |                 |
| Failover 2   | 10.10.10.1 → | 1.0 – 2.9              | 0.3%            |
|              | 8.8.8.8      |                        |                 |

Tabel 6 menampilkan hasil pengamatan dari proses *failover* dalam skenario BGP *multihoming*, dengan tiga kondisi berbeda yang diamati untuk mengevaluasi ketahanan sistem dalam menghadapi kegagalan koneksi. Pada kondisi awal, semua jalur dalam keadaan aktif dan *router* ISP-Core secara default memilih jalur melalui *Upstream*-3 (UPS3), yaitu 30.30.30.1 → 31.31.31.1 → 32.32.32.1 → 8.8.8.8. Jalur ini digunakan karena memiliki *Local Preference* tertinggi yaitu senilai 300, sesuai dengan kebijakan BGP yang lebih mengutamakan preferensi *internal* dibanding panjang jalur. Hasil *traceroute* pada kondisi ini menunjukkan performa yang sangat baik, dengan rata-rata latensi rendah berkisar antara 0.9 hingga 2.7 mili detik, tanpa adanya *packet loss*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa jaringan berjalan dalam keadaan optimal dan konektivitas internet berlangsung stabil. Performa latensi *failover* dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Performa Latency *Failover*

Gambar 6 menampilkan gambar grafik performa latensi *failover* bahwa mekanisme *failover* BGP dengan metode *multihoming* berfungsi dengan baik, karena mampu mengalihkan rute secara otomatis saat jalur utama dan cadangan pertama tidak tersedia. Meskipun terdapat sedikit gangguan berupa peningkatan latensi pada kondisi awal secara bertahap dari Hop 1 (0.9 ms), Hop 2 (1.7 ms), hingga Hop 3 dan Hop 4 yang memiliki nilai sama sebesar 2.7 ms, pada *failover* pertama jumlah hop berkurang menjadi tiga. Hop 1 menunjukkan adanya *packet loss* sebesar 0.9%, yang terjadi saat proses konvergensi BGP berlangsung. Meski demikian, latensi tetap terkendali, dengan Hop 2 mencatat 1.8 ms dan Hop 3 naik menjadi 2.9 ms dan jaringan tetap dapat mempertahankan konektivitas menuju tujuan. Pada proses *failover* kedua menjadi 2 hop, hop 1 menunjukkan latensi 1.0 ms dengan adanya *packet loss* 0.3%, sedangkan hop 2 menunjukkan latensi tertinggi 2.9 ms, Grafik ini

menjadi bukti *visual* bahwa topologi *multihoming* dengan BGP mampu memberikan kestabilan jaringan pada kondisi kegagalan dari salah satu *upstream* yang tersedia.

#### 4.2.7. Perbandingan *Multihoming* dan *Single Homing*

Pada bagian ini dilakukan perbandingan antara skenario *multihoming* dan *single homing* dalam simulasi BGP pada jaringan ISP. Tujuannya untuk menganalisis ketersediaan dan stabilitas koneksi internet pada jaringan ISP. Sebelumnya sudah dilakukan pengujian terhadap metode *multihoming* dan sekarang hanya berfokus pada *single homing* dan nanti akan di analisa perbandingan ketersediaan dan stabilitasnya.

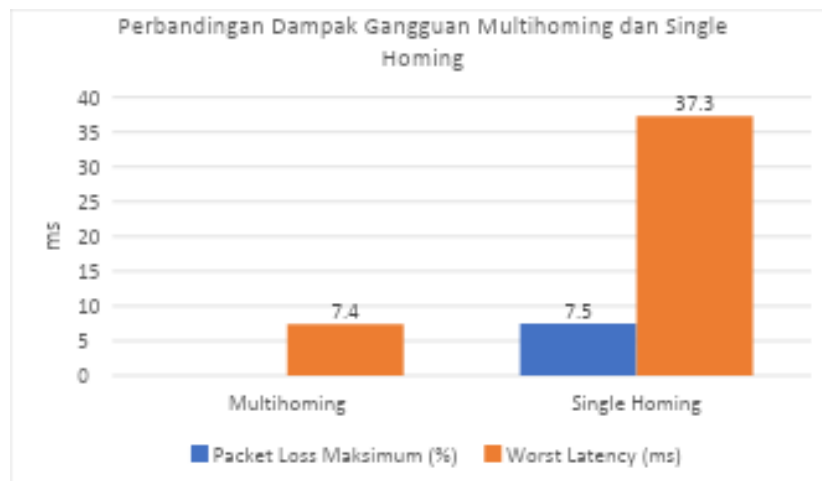
#### 4.2.8. Analisis Perbandingan *Multihoming* dan *Single Homing*

Pada analisis ini, dilakukan perbandingan koneksi jaringan dengan dua metode yang berbeda yaitu *multihoming* dan *single homing*. Perbandingan ini menggarisbawahi pada performa jaringan dan serta ketahanan terhadap gangguan yang terjadi. Untuk hasil perbandingan dari berbagai aspek dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perbandingan *Multihoming* dan *Single Homing*

| No. | Aspek                        | <i>Multihoming</i>   | <i>Single Homing</i>  |
|-----|------------------------------|--|---|
| 1.  | Jumlah <i>Upstream</i> ISP   | 3 ( <i>Upstream</i> 1,2, dan 3)  | 1 <i>Upstream</i>   |
| 2.  | Jalur yang dipilih           | Melalui <i>Upstream</i> 3 sesuai kebijakan <i>local preference</i> 300 | Hanya melalui <i>Upstream</i> 1                             |
| 3.  | Jumlah Hop Paling Banyak     | 4 Hop  | 2 Hop   |
| 4.  | Failover                     | Otomatis, berganti sesuai nilai konfigurasi <i>Local Preference</i>    | Tidak tersedia, Koneksi terganggu saat <i>Upstream</i> down |
| 5.  | Latensi Normal               | Rata – rata 2.7 ms   | Rata – rata 1.8 ms  |
| 6.  | Latensi Gangguan             | 2.8 ms ( <i>Ups</i> -2), 1.8 ms ( <i>Ups</i> -1)                       | Rata – rata 37.3 ms   |
| 7.  | Packet Loss                  | 0.0% disemua skenario (Gambar 4.14 – 4.16)                             | 7.5% di hop 1 dan 7.3% di hop 2 (Gambar 4.22)               |
| 8.  | Stabilitas                   | Sangat Stabil, tidak terganggu walaupun ada yang <i>link</i> yang down | Tidak Stabil saat terjadi gangguan pada ISP                 |
| 9.  | Ketersediaan Jalur Cadangan  | Tersedia, Otomatis <i>Failover</i> antar <i>Upstream</i>               | Tidak tersedia, koneksi tergantung satu jalur.              |
| 10. | Resiliensi terhadap gangguan | Tinggi, Mampu berpindah jalur otomatis tanpa kehilangan koneksi        | Rendah, Koneksi terganggu saat <i>Upstream</i> bermasalah   |

Berdasarkan tabel 7 dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *multihoming* memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan dengan *single homing* dalam hal stabilitas, ketersediaan jalur, dan resiliensi jaringan. Pada konfigurasi *multihoming*, terdapat tiga jalur *upstream* yang memungkinkan pemilihan jalur terbaik berdasarkan kebijakan *local preference*, serta mendukung *failover* otomatis ketika salah satu jalur mengalami gangguan. Hal ini membuat koneksi tetap stabil dan tidak terganggu meskipun terjadi gangguan pada salah satu ISP. Sebaliknya, pada konfigurasi *single homing*, hanya tersedia satu jalur koneksi sehingga ketika jalur tersebut mengalami gangguan, koneksi akan terputus dan tidak ada mekanisme *failover*. Selain itu, *single homing* menunjukkan latensi yang lebih tinggi saat terjadi gangguan, bahkan disertai *packet loss* yang cukup signifikan. Oleh karena itu, *multihoming* lebih direkomendasikan untuk sistem yang membutuhkan ketersediaan koneksi yang tinggi dan stabilitas jaringan yang optimal. Perbandingan dampak gangguan pada metode *multihoming* dan *single homing* dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Perbandingan Dampak Gangguan

Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan antara kondisi *Multihoming* dan *Single Homing* berdasarkan dua parameter utama, yaitu *packet Loss (%)* dan *Worst Latency (ms)*. Grafik ini menggambarkan konsekuensi dan kelancaran performa jaringan ketika terjadi gangguan pada jalur *upstream*. Dari grafik terlihat bahwa *multihoming* menunjukkan performa yang jauh lebih stabil. Hal ini ditunjukkan dengan *packet loss* sebesar 0.0%, baik dalam kondisi normal maupun saat terjadi *failover*. Sebaliknya, pada kondisi *Single Homing*, terjadi *packet loss* yang signifikan saat *upstream* utama mengalami gangguan, yaitu sebesar 7.5%. Dari segi latensi terburuk (*worst*), *Multihoming* memiliki nilai maksimum hanya 7.4 ms, sedangkan pada *Single Homing* mencapai hingga 37.3 ms, yang menandakan adanya fluktuasi koneksi yang ekstrem. Dengan demikian tabel dan grafik ini memperkuat argumen bahwa metode *multihoming* memberikan keunggulan signifikan dalam hal ketersediaan dan stabilitas jaringan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisis, dan pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa penerapan BGP *multihoming* terbukti mampu meningkatkan ketersediaan dan stabilitas koneksi internet pada jaringan ISP. Melalui simulasi, tiga sesi BGP berhasil mencapai status *established*, dan koneksi tetap berjalan meskipun salah satu *uplink* mengalami gangguan. Dengan adanya beberapa jalur *uplink*, trafik dapat dialihkan secara otomatis sehingga mengurangi risiko *downtime* dan menjaga koneksi tetap stabil. Simulasi mekanisme *failover* menunjukkan hasil yang sangat efektif, di mana saat jalur utama (*ups-3*) mengalami gangguan, trafik langsung dialihkan ke jalur cadangan (*ups-2* dan *ups-1*) tanpa intervensi manual. Proses konvergensi berlangsung cepat dengan *packet loss* sangat rendah (0,9% pada tahap pertama dan 0,3% pada tahap kedua), membuktikan BGP mampu mempertahankan layanan jaringan tetap tersedia selama proses perpindahan alur.

## REFERENSI

- [1] A. A. Putra, "Implementasi Border Gateway Protocol Multihoming untuk Koneksi Internet Dua Internet Service Provider," vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: <https://doi.org/10.21070/pels.v1i1.845>
- [2] A. M. Hirzan, N. Bahaman, and W. Adhiwibowo, "Voice Over Internet Protocol Performance Evaluation in 6to4 Tunneling Network," vol. 18, no. 1, pp. 108–113, 2020, doi: <https://doi.org/10.26623/transformatika.v18i1.2356>
- [3] D. Afriansyah and T. Gunawan, "Monitoring dan Optimalisasi Bandwidth dengan Multi Internet Service Provider Menggunakan Metode PCQ pada Upt Puskesmas Rawat Inap Gadingrejo," J. Inform. Softw. dan Netw. (JISN), vol. 3, no. 1, pp. 13–17, 2022, doi: <https://jurnal.dccpringsewu.ac.id/index.php/ji/article/view/37/27>
- [4] D. Prabaningrum and V. Juwono, "Tata Kelola Kebijakan Pengelolaan Nomor Protokol Internet Di Indonesia: Sebuah Tinjauan Literatur," Spirit Publik, vol. 15, no. 2, pp. 146–157, 2020, doi: <https://doi.org/10.20961/sp.v15i2.42063>
- [5] H. A. Musril, "Simulasi Interkoneksi Antara Autonomous System (AS) Menggunakan Border Gateway Protocol (BGP)," J. Nas. Inform. dan Teknol. Jaringan, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2017, doi: <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v2i1.151>
- [6] I. D. Nurazizah, "Protocol Routing," J. Ilmu-ilmu Inform. dan Manaj. STMIK, vol. 13, no. 11, pp. 1–11, 2022.
- [7] K. A. S. Negara, G. S. Santyadiputra, and G. A. J. Saskara, "Validitas Media Pembelajaran Jaringan Komputer Berbasis Pnetlab," vol. 12, no. 1, pp. 107–111, 2023, doi: <https://doi.org/10.23887/karmapati.v12i1.51777>