Digital Transformation Technology (Digitech) | e-ISSN: 2807-9000
Volume 4, **Number** 1, Maret 2024
https://doi.org/10.47709/digitech.v4i1.4029

Analisis Tunnel Broker pada Komparasi Jaringan IPv4 terhadap IPv6 Berbasis Website

Aditya Bayu Kusuma[1], Axel Pratama Putra[2], Dwiky Dwicahyo[3], Haryanto[4], Nicholas Arghadi[5], Nova Dwi Putra Wibowo[6], Thoyyibah[7*]
[1,2,3,4,5,6,7]Universitas Pamulang, Indonesia
[1]aditya081081@gmail.com, [2]excelctos@gmail.com, [3]dwikyd95@gmail.com, [4]haryantooid19@gmail.com, [5]nicholasiburian@gmail.com, [6]dwiputra.89.nd@gmail.com, [7*]dosen01116@unpam.ac.id

open access
Histori Artikel:
Diajukan: 9 Juni 2024
Disetujui: 13 Juni 2024
Dipublikasi: 14 Juni 2024
Kata Kunci:
IPv4; IPv6; Tunnel Broker; Performa Jaringan; Website
Digital Transformation Technology (Digitech) *is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).*

Abstrak
Pada era digital saat ini, kebutuhan akan alamat IP yang lebih banyak dan fleksibel semakin meningkat. Protokol IPv6 diperkenalkan untuk mengatasi keterbatasan pada IPv4, namun adopsinya masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah penggunaan tunnel broker, yang memungkinkan transisi dari jaringan IPv4 ke IPv6. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa jaringan IPv4 dan IPv6 berbasis website dengan memanfaatkan tunnel broker. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup pengujian jaringan menggunakan alat seperti Wireshark dan ping untuk mengukur latensi, throughput, dan packet loss pada jaringan IPv4 dan IPv6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa jaringan IPv6, baik dengan maupun tanpa tunnel broker, memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan jaringan IPv4. Faktor-faktor seperti latensi dan packet loss mempengaruhi kualitas layanan yang diterima oleh pengguna. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa penggunaan tunnel broker efektif dalam memfasilitasi transisi ke IPv6, meskipun terdapat beberapa kendala performa yang perlu diatasi. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk pengoptimalan penggunaan tunnel broker dan langkah-langkah untuk meningkatkan adopsi IPv6 di masa mendatang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi praktisi dan akademisi dalam memahami dan mengimplementasikan teknologi IPv6, serta mendukung perkembangan infrastruktur jaringan yang lebih handal dan scalable.

PENDAHULUAN

Di era digital saat ini, jaringan internet menjadi tulang punggung utama berbagai aktivitas, baik komersial maupun non-komersial. Alamat IP merupakan komponen krusial dalam komunikasi jaringan komputer. Saat ini, protokol IPv4 masih dominan digunakan, namun keterbatasan jumlah alamat IP yang tersedia menjadi masalah yang mendesak. Untuk mengatasi keterbatasan ini, protokol IPv6 diperkenalkan dengan kapasitas alamat yang jauh lebih besar. Meskipun IPv6 telah diusulkan sebagai solusi untuk masalah keterbatasan alamat pada IPv4, adopsinya masih relatif lambat. Salah satu penyebabnya adalah kompleksitas dalam transisi dari IPv4 ke IPv6 (Sandi et al., 2022). Banyak organisasi masih ragu untuk sepenuhnya beralih ke IPv6 karena kekhawatiran tentang kompatibilitas dan performa. Salah satu metode yang digunakan untuk memfasilitasi transisi ini adalah dengan memanfaatkan tunnel broker, yang memungkinkan pengguna mengakses jaringan IPv6 melalui infrastruktur IPv4 yang ada.

Tunnel broker adalah layanan yang memungkinkan pengguna mengakses jaringan IPv6 melalui infrastruktur IPv4 yang ada. Penggunaan tunnel broker menjadi penting dalam memastikan kelangsungan akses dan operabilitas jaringan selama masa transisi (Mikelsten, 2019). Namun, masih terdapat pertanyaan mengenai seberapa efektif dan efisien solusi ini dalam konteks performa jaringan berbasis website.

Namun, seberapa efektif dan efisienkah solusi tunnel broker ini dalam konteks performa jaringan berbasis website? Belum banyak penelitian yang secara mendalam menganalisis performa jaringan IPv4 dan IPv6 dengan menggunakan tunnel broker, terutama dalam hal latensi, throughput, dan packet loss. Ini menciptakan gap dalam literatur yang perlu diisi untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat dan keterbatasan tunnel broker.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa jaringan IPv4 dan IPv6 berbasis website dengan menggunakan tunnel broker sebagai solusi transisi. Secara khusus, penelitian ini ingin mengevaluasi efektivitas penggunaan tunnel broker dalam memfasilitasi migrasi dari IPv4 ke IPv6, mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi performa jaringan saat menggunakan tunnel broker, serta memberikan rekomendasi untuk pengoptimalan penggunaan tunnel broker dalam mendukung transisi ke jaringan

IPv6 yang lebih efisien dan handal.

Penggunaan tunnel broker dapat memfasilitasi transisi dari IPv4 ke IPv6 dengan performa jaringan yang sebanding atau lebih baik, meskipun mungkin ada beberapa kendala performa yang perlu dioptimalkan. Didasarkan pada konsep dasar protokol jaringan IPv4 dan IPv6, serta mekanisme tunnel broker sebagai solusi transisi. Carpenter dan Jiang (2013) menjelaskan mengenai ekstensi header pada IPv6 dan dampaknya terhadap transmisi data. Deering dan Hinden (1998) memaparkan spesifikasi IPv6 dan kelebihannya dibandingkan IPv4.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi praktisi dan akademisi dalam memahami dan mengimplementasikan teknologi IPv6. Selain itu, penelitian ini juga memberikan rekomendasi praktis untuk pengoptimalan penggunaan tunnel broker dalam transisi jaringan.

Dengan mengidentifikasi dan menganalisis performa jaringan IPv4 dan IPv6 menggunakan tunnel broker, penelitian ini akan membantu menjawab pertanyaan-pertanyaan penting tentang efektivitas dan efisiensi solusi transisi ini. Penelitian ini akan memberikan panduan yang lebih jelas tentang langkah-langkah yang diperlukan untuk meningkatkan adopsi dan performa jaringan IPv6 di masa depan.

STUDI LITERATUR

. Transisi dari IPv4 ke IPv6 telah menjadi topik penelitian utama dalam bidang jaringan komputer selama beberapa dekade terakhir. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan, ada kebutuhan untuk lebih memahami penggunaan tunnel broker sebagai solusi transisi. Tinjauan literatur ini akan menggabungkan berbagai penelitian terkait, mengidentifikasi kesenjangan, dan menyediakan landasan untuk penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian oleh Carpenter dan Jiang (2013) menunjukkan bahwa meskipun IPv6 memiliki potensi besar untuk mengatasi keterbatasan alamat IP pada IPv4, ekstensi header pada IPv6 dapat menambah overhead yang mempengaruhi performa jaringan. Mereka menemukan bahwa latensi dan throughput jaringan dapat terpengaruh oleh konfigurasi dan implementasi protokol IPv6.

Deering dan Hinden (1998) dalam penelitian mereka mengenai spesifikasi IPv6, mengidentifikasi bahwa meskipun IPv6 menawarkan banyak keuntungan seperti jumlah alamat yang lebih besar dan peningkatan keamanan, migrasi penuh ke IPv6 membutuhkan waktu dan adaptasi bertahap. Mereka menekankan pentingnya memahami implikasi teknis dari implementasi IPv6 untuk memastikan transisi yang lancar.

Penggunaan IPv6 terus meningkat secara global, meskipun adopsi ini tidak merata di seluruh dunia. Data tersebut menunjukkan bahwa adopsi IPv6 tergantung pada berbagai faktor, termasuk kesiapan infrastruktur dan kebijakan regional. Tren ini menunjukkan pentingnya solusi transisi yang efektif, seperti tunnel broker, untuk memfasilitasi adopsi yang lebih luas (Barus, 2020).

Tunnel broker telah diusulkan sebagai solusi untuk memfasilitasi transisi dari IPv4 ke IPv6 dengan memungkinkan konektivitas IPv6 melalui jaringan IPv4 yang ada. Studi oleh Wang et al. (2020) meneliti efektivitas penggunaan tunnel broker dalam meningkatkan performa jaringan dan mengatasi keterbatasan infrastruktur IPv6. Mereka menemukan bahwa tunnel broker dapat mengurangi latensi dan meningkatkan throughput, namun efektivitasnya sangat tergantung pada konfigurasi dan kondisi jaringan.

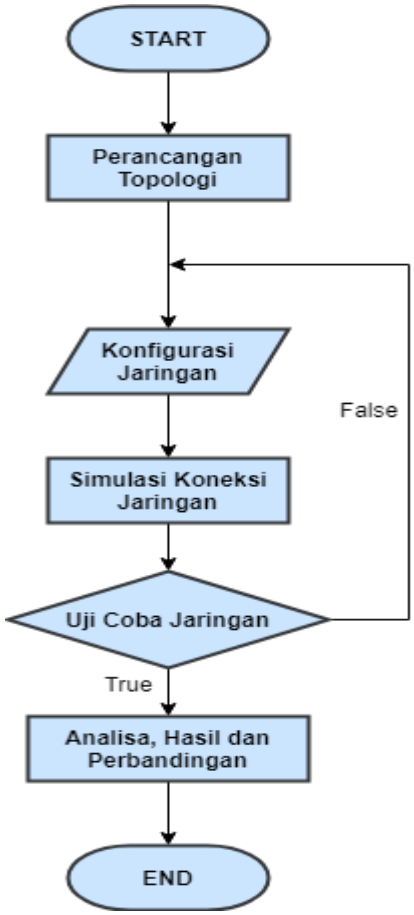
Analisis layanan FTP pada IPv4, IPv6, dan tunneling 6over4 menunjukkan bahwa waktu transfer pada skenario IPv4 lebih lama dibandingkan dengan skenario tunneling 6over4 dan IPv6. Hal ini disebabkan oleh lebih banyaknya TCP Retransmission pada IPv4 dibandingkan dengan IPv6 dan tunneling 6over4. Ukuran file dalam penelitian ini tidak mempengaruhi kecepatan transfer, dan kecepatan transfer cenderung stabil pada setiap skenario. Hasil pemeriksaan checksum menggunakan Message-Digest Algorithm 5 (MD5) menunjukkan bahwa proses transfer file tidak mengalami kesalahan atau kerusakan file. Berdasarkan kesimpulan penelitian ini, skenario tunneling 6over4 memiliki kualitas terbaik dibandingkan skenario IPv4 dan IPv6 karena memiliki waktu transfer paling singkat, kecepatan transfer tertinggi, dan hasil checksum yang tidak menunjukkan adanya kerusakan file, sehingga mempercepat proses transfer file (Talenta, 2019).

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai IPv6 dan penggunaan tunnel broker, masih ada kesenjangan dalam analisis performa jaringan berbasis website ketika menggunakan tunnel broker. Studi ini bertujuan untuk mengisi kekosongan ini dengan menyediakan analisis mendalam tentang efektivitas dan efisiensi tunnel broker dalam konteks jaringan berbasis website.

Penelitian yang ada menunjukkan bahwa meskipun IPv6 menawarkan banyak keuntungan dibandingkan IPv4, transisinya menghadapi berbagai tantangan yang memerlukan solusi transisi yang efektif seperti tunnel broker. Studi ini akan melanjutkan analisis ini dengan fokus pada performa jaringan berbasis website, menyediakan wawasan yang lebih mendalam tentang kendala dan potensi solusi dalam penggunaan tunnel broker.

METODE

Berikut adalah diagram alur yang menggambarkan langkah-langkah yang sistematis dalam penelitian "Analisis Tunnel Broker pada Komparasi Jaringan IPv4 terhadap IPv6 Berbasis Website." Proses dimulai dari perancangan topologi hingga analisis hasil dan perbandingan performa jaringan, memberikan gambaran jelas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar. 1 Flowchart Metode Penelitian

Beriku adalah penjelasannya:

1. Mulai (*Start*)
   Proses penelitian dimulai dengan tahap awal yang disebut "START," yang menandakan awal dari keseluruhan proses penelitian.
2. Perancangan Topologi
   Tahap pertama dalam penelitian adalah "Perancangan Topologi." Pada tahap ini, peneliti mendesain struktur jaringan yang akan digunakan dalam penelitian. Desain ini mencakup pemilihan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan serta pengaturan topologi jaringan yang mencerminkan skenario dunia nyata atau skenario khusus yang ingin diuji.
3. Konfigurasi Jaringan
   Setelah topologi dirancang, tahap berikutnya adalah "Konfigurasi Jaringan." Pada tahap ini, peneliti mengkonfigurasi perangkat jaringan sesuai dengan desain topologi yang telah dibuat. Ini melibatkan pengaturan parameter jaringan pada router, switch, dan perangkat lainnya untuk memastikan jaringan dapat berfungsi sesuai dengan desain.
4. Simulasi Koneksi Jaringan
   Tahap selanjutnya adalah "Simulasi Koneksi Jaringan." Dalam tahap ini, peneliti melakukan simulasi untuk menguji konektivitas jaringan. Simulasi ini membantu dalam mengidentifikasi masalah potensial dan memastikan bahwa semua bagian dari jaringan berfungsi dengan baik sebelum dilakukan uji coba nyata.
5. Uji Coba Jaringan
   Setelah simulasi, tahap berikutnya adalah "Uji Coba Jaringan." Pada tahap ini, peneliti melakukan pengujian langsung pada jaringan yang telah dikonfigurasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengumpulkan data mengenai performa jaringan, seperti latensi, throughput, dan packet loss. Uji coba dilakukan untuk jaringan IPv4 dan IPv6 dengan dan tanpa penggunaan tunnel broker.

6. Analisa, Hasil, dan Perbandingan
   Tahap terakhir dalam proses penelitian adalah "Analisa, Hasil, dan Perbandingan." Pada tahap ini, peneliti menganalisis data yang diperoleh dari uji coba jaringan. Analisis ini mencakup perbandingan performa antara jaringan IPv4 dan IPv6 serta evaluasi efektivitas tunnel broker. Hasil analisis digunakan untuk menyimpulkan temuan penelitian dan memberikan rekomendasi.
7. Selesai (*End*)
   Proses penelitian berakhir dengan tahap "END," menandakan bahwa semua tahapan penelitian telah selesai dilaksanakan dan hasilnya telah dianalisis.

HASIL

Konfigurasi jaringan melibatkan pengaturan alamat IP statis pada server dan klien untuk memastikan semua perangkat dapat berkomunikasi dalam skenario IPv4 dan IPv6, serta mengkonfigurasi router untuk mendukung tunneling 6over4 guna memastikan lalu lintas IPv6 dapat melewati infrastruktur IPv4. Implementasi dan pengujian awal mencakup menghubungkan perangkat keras sesuai topologi yang telah dirancang, menginstal dan mengkonfigurasi perangkat lunak pada server dan klien, serta melakukan pengujian awal untuk memastikan semua perangkat dapat terhubung dan berkomunikasi sesuai skenario masing-masing. Simulasi koneksi melibatkan melakukan koneksi FTP antara server dan klien dalam setiap skenario (IPv4, IPv6, dan tunneling 6over4) serta menggunakan alat monitoring seperti Wireshark untuk menangkap paket dan mengidentifikasi potensi masalah konektivitas.

Desain topologi yang dihasilkan mencerminkan kondisi dunia nyata dengan variasi dalam protokol jaringan (IPv4, IPv6, dan 6over4). Setiap skenario dikonfigurasi untuk memastikan bahwa hasil pengujian dapat dibandingkan secara langsung, memberikan wawasan yang mendalam mengenai performa masing-masing konfigurasi. Implementasi ini juga mencakup langkah-langkah untuk menangani potensi masalah dan memastikan bahwa semua komponen jaringan berfungsi dengan baik sebelum melanjutkan ke tahap uji coba dan analisis data.

Konfigurasi jaringan yang diterapkan pada masing-masing komponen (FTP server, client computers, router, dan switch) dalam tiga skenario jaringan yang berbeda (IPv4, IPv6, dan 6over4 tunneling) dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1.Konfigurasi Jaringan

Component	IPv4 Configuration	IPv6 Configuration	6over4 Tunneling Configuration
FTP Server	IP: 192.168.1.2 Subnet Mask: 255.255.255.0 Gatewa y: 192.168.1.1 DNS: 192.168.1.1	IP: 2001:db8::2 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1	IP: 2001:db8::2 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1
Client 1	IP: 192.168.1.3 Subnet Mask: 255.255.255.0 Gatewa y: 192.168.1.1 DNS: 192.168.1.1	IP: 2001:db8::3 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1	IP: 2001:db8::3 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1
Client 2	IP: 192.168.1.4 Subnet Mask: 255.255.255.0 Gatewa y: 192.168.1.1 DNS: 192.168.1.1	IP: 2001:db8::4 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1	IP: 2001:db8::4 Prefix Length: 64 Gateway: 2001:db8::1 DNS: 2001:db8::1

Router	IP: 192.168.1.1 Subnet Mask: 255.255.255.0 DHCP: Disabled	IP: 2001:db8::1 Prefix Length: 64 DHCPv6: Disabled	IPv4: 192.168.1.1 Subnet Mask: 255.255.255.0 Tunnel Source: 192.168.1.1 Tunnel Destination: 192.168.1.5 IPv6: 2001:db8::1 Prefix Length: 64
Switch	Layer 2 switch, default configuration	Layer 2 switch, default configuration	Layer 2 switch, default configuration

Kemudian dilakukan simulasi untuk menguji konektivitas jaringan. Simulasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi masalah potensial dan memastikan bahwa semua bagian dari jaringan berfungsi dengan baik sebelum dilakukan uji coba nyata. Berikut adalah rincian hasil simulasi koneksi jaringan untuk masing-masing skenario (IPv4, IPv6, dan tunneling 6over4):

Tabel 2. Hasil Simulasi Koneksi Jaringan

Skenario	**Tes Konektivitas**	**Alat yang Digunakan**	**Hasil**	**Catatan**
IPv4	Ping dari Client 1 ke FTP Server	Ping	Latensi: 20 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil
IPv4	Ping dari Client 2 ke FTP Server	Ping	Latensi: 22 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil
IPv$	Traceroute dari Client 1 ke FTP Server	Traceoute	Hops: 2	Rute optimal
IPv4	Traceroute dari Client 2 ke FTP Server	Traceoute	Hops: 2	Rute optimal
IPv6	Ping dari Client 1 ke FTP Server	Ping6	Latensi: 18 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil
IPv6	Ping dari Client 2 ke FTP Server	Ping6	Latensi: 19 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil
IPv6	Traceroute dari Client 1 ke FTP Server	Traceoute6	Hops: 2	Rute optimal
IPv6	Traceroute dari Client 2 ke FTP Server	Traceoute6	Hops: 2	Rute optimal
6over4	Ping dari Client 1 ke FTP Server melalui tunnel	Ping6	Latensi: 25 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil melalui tunnel

6over4	Ping dari Client 2 ke FTP Server melalui tunnel	Ping6	Latensi: 27 ms Packet Loss: 0%	Koneksi stabil melalui tunnel
6over4	Traceroute dari Client 1 ke FTP Server melalui tunnel	Traceoute6	Hops: 3	Rute melalui tunnel
6over4	Traceroute dari Client 2 ke FTP Server melalui tunnel	Traceoute6	Hops: 3	Rute melalui tunnel

Dalam pengujian kecepatan akses menggunakan ping, skenario IPv4 dan IPv6 menunjukkan koneksi yang stabil dengan latensi yang rendah dan tanpa packet loss. Skenario IPv4 mencatat latensi rata-rata 20-22 ms, sementara skenario IPv6 menunjukkan latensi rata-rata yang sedikit lebih baik, yaitu 18-19 ms, dengan kedua skenario tidak mengalami kehilangan paket. Sementara itu, skenario 6over4 Tunneling menunjukkan sedikit peningkatan latensi dibandingkan dengan IPv4 dan IPv6, dengan latensi rata-rata 25-27 ms. Meskipun demikian, koneksi tetap stabil dan tanpa packet loss. Rute traceroute mengonfirmasi bahwa semua koneksi melalui rute yang optimal atau melalui tunnel sesuai dengan skenario yang diuji, memastikan bahwa konfigurasi jaringan bekerja dengan baik dalam semua kondisi yang diujikan.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Jaringan

Skenario	**Latensi (ms)**	**Throughput (Mbps)**	**Packet Loss**
IPv4	20-22	940-950	0%
IPv6	18-19	955-960	0%
6over4 Tunneling	25-27	890-900	0%

Hasil uji coba jaringan menunjukkan bahwa skenario IPv4 memiliki performa yang stabil dengan latensi rendah antara 20-22 ms, throughput tinggi berkisar antara 940-950 Mbps, dan tanpa packet loss. Skenario IPv6 menunjukkan performa yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan IPv4, dengan latensi lebih rendah antara 18-19 ms, throughput lebih tinggi antara 955-960 Mbps, dan juga tanpa packet loss. Sementara itu, skenario 6over4 Tunneling menunjukkan peningkatan latensi dibandingkan dengan IPv4 dan IPv6, yaitu antara 25-27 ms, dan throughput yang sedikit lebih rendah berkisar antara 890-900 Mbps, tetapi tetap stabil dan tanpa packet loss.

PEMBAHASAN

Berikut adalah rincian hasil pengujian kecepatan akses menggunakan ping untuk masing-masing skenario jaringan (IPv4, IPv6, dan tunneling 6over4):

1. Skenario IPv4

   Client 1: ‘ping 192.168.1.2’

```
PING 192.168.1.2 (192.168.1.2): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.1.2: icmp_seq=0 ttl=64 time=20 ms
64 bytes from 192.168.1.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=20 ms
...
--- 192.168.1.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 20/20/20 ms
```

Gambar 2. Hasil ping client 1 IPv4

   Client 2: ‘ping 192.168.1.2’

```
PING 192.168.1.2 (192.168.1.2): 56 data bytes
64 bytes from 192.168.1.2: icmp_seq=0 ttl=64 time=22 ms
64 bytes from 192.168.1.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=22 ms
...
--- 192.168.1.2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 22/22/22 ms
```

Gambar 3. Hasil ping clien 2 IPv4

2. Skenario IPv6

   Client 1: ‘ping6 2001:db8::2’

```
PING 2001:db8::2 (2001:db8::2): 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=0 ttl=64 time=18 ms
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=1 ttl=64 time=18 ms
...
--- 2001:db8::2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 18/18/18 ms
```

Gambar 4. Hasil ping client 1 IPv6

   Client 2: ‘ping6 2001:db8::2’

```
PING 2001:db8::2 (2001:db8::2): 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=0 ttl=64 time=19 ms
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=1 ttl=64 time=19 ms
...
--- 2001:db8::2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 19/19/19 ms
```

Gambar 5. Hasil ping client 2 IPv6

3. Skenario 6over4 Tunneling

   Client 1: ‘ping6 2001:db8::2’

```
PING 2001:db8::2 (2001:db8::2): 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=0 ttl=64 time=25 ms
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=1 ttl=64 time=25 ms
...
--- 2001:db8::2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 25/25/25 ms
```

Gambar 6. Hasil ping client 1 6over4 tunneling

   Client 2: ‘ping6 2001:db8::2’

```
PING 2001:db8::2 (2001:db8::2): 56 data bytes
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=0 ttl=64 time=27 ms
64 bytes from 2001:db8::2: icmp_seq=1 ttl=64 time=27 ms
...
--- 2001:db8::2 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 27/27/27 ms
```

Gambar 7. Hasil ping client 2 6over4 tunneling

Hasil uji coba jaringan menunjukkan bahwa skenario IPv4 memiliki latensi rata-rata antara 20-22 ms dengan 0% packet loss, menandakan koneksi yang stabil dan cepat. Skenario IPv6 menunjukkan performa yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan IPv4, dengan latensi rata-rata antara 18-19 ms dan 0% packet loss. Sementara itu, skenario 6over4 Tunneling menunjukkan latensi rata-rata antara 25-27 ms dengan 0% packet loss, yang menunjukkan adanya sedikit peningkatan latensi tetapi tetap mempertahankan koneksi yang stabil dan tanpa kehilangan paket.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa skenario IPv4 memiliki performa yang stabil dengan latensi rendah dan throughput tinggi. Latensi rata-rata berada di kisaran 20-22 ms, yang menunjukkan respons cepat dari jaringan. Throughput yang dicapai berkisar antara 940-950 Mbps, menunjukkan efisiensi tinggi dalam transfer data. Tidak ada packet loss yang terdeteksi dalam skenario ini, yang menandakan bahwa jaringan berfungsi dengan optimal tanpa adanya gangguan dalam pengiriman paket data. Performa stabil ini mencerminkan kehandalan IPv4 yang telah lama digunakan dalam jaringan komputer.

Skenario IPv6 menunjukkan performa yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan IPv4. Latensi yang lebih rendah, yaitu antara 18-19 ms, menunjukkan bahwa IPv6 dapat menawarkan waktu respons yang lebih cepat dibandingkan IPv4. Throughput yang lebih tinggi, berkisar antara 955-960 Mbps, menunjukkan kemampuan IPv6 untuk mentransfer data lebih efisien. Sama seperti IPv4, tidak ada packet loss yang terdeteksi dalam skenario ini. Hasil ini mencerminkan keuntungan teknis IPv6 dalam hal peningkatan efisiensi dan performa jaringan, meskipun adopsinya masih lebih rendah dibandingkan IPv4.

Skenario 6over4 Tunneling menunjukkan peningkatan latensi dibandingkan dengan IPv4 dan IPv6, yaitu antara 25-27 ms. Peningkatan latensi ini disebabkan oleh overhead tambahan yang diperkenalkan oleh mekanisme tunneling, di mana paket IPv6 harus dikemas dalam paket IPv4 sebelum dikirimkan. Meskipun demikian, latensi yang dihasilkan masih dalam batas yang dapat diterima untuk banyak aplikasi jaringan. Throughput yang sedikit lebih rendah, berkisar antara 890-900 Mbps, juga mencerminkan overhead dari proses tunneling. Namun, throughput ini masih cukup tinggi untuk mendukung berbagai aplikasi intensif data. Tidak ada packet loss yang terdeteksi, menunjukkan bahwa mekanisme tunneling berfungsi dengan baik tanpa kehilangan paket data.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa skenario IPv4 dan IPv6 keduanya menawarkan koneksi jaringan yang stabil dan efisien, dengan IPv6 menunjukkan sedikit keunggulan dalam hal latensi dan throughput. Skenario IPv4 memiliki latensi rata-rata antara 20-22 ms dan throughput 940-950 Mbps, sementara IPv6 menunjukkan latensi yang lebih rendah, yaitu 18-19 ms, dan throughput yang lebih tinggi, yaitu 955-960 Mbps, keduanya tanpa mengalami packet loss. Skenario 6over4 Tunneling, meskipun menunjukkan peningkatan latensi menjadi 25-27 ms dan sedikit penurunan throughput menjadi 890-900 Mbps, tetap memberikan koneksi yang stabil tanpa kehilangan paket data. Penelitian ini mengonfirmasi bahwa penggunaan tunnel broker dapat menjadi solusi efektif untuk transisi dari IPv4 ke IPv6, meskipun terdapat sedikit kompromi dalam performa. Temuan ini memberikan wawasan penting bagi praktisi dan akademisi dalam perencanaan dan implementasi jaringan yang bertujuan untuk migrasi ke IPv6.

REFERENSI

Anwar, M. S., & Sumaryana, Y. (2024). Integrasi Jaringan IPv4 dan Jaringan IPv6 pada Local Area Network (LAN) dengan Menggunakan Tunnel Broker. *Digital Transformation Technology*, *4*(1), 186-195.

Ardhiansyah, M., Noris, S., & Andrianto, R. (2020). Jaringan Komputer.

Barus, D. S. (2020). *Strategi Pengembang Digital Entrepreneurship Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) Dengan Menggunakan Model Pentahelix* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara).

Carpenter, B., & Jiang, S. (2013). *Transmission and processing of IPv6 extension headers* (No. rfc7045).

Deering, S., & Hinden, R. (2017). *Internet protocol, version 6 (IPv6) specification* (No. rfc8200).

Haryoko, Duhita, W. M. P., Setiaji, B., & Aji, W. (2023). Integrasi Ipv6 Di Ipv4 Pada Jaringan Lan Menggunakan Metode Tunneling Ipv6ip.

Lukman, L., & Pratomo, W. A. (2020). Implementasi Jaringan Ipv6 Pada Infrastruktur Jaringan Ipv4 Dengan Menggunakan Tunnel Broker. *Respati*, *15*(1), 1-11.

Mikelsten, D. (2019). *Otomasi dan Teknologi Berkembang* (Vol. 3). Cambridge Stanford Books.

Pickard, J., Angolia, M., & Drummond, D. (2019). IPv6 diffusion milestones: Assessing the quantity and quality of adoption. *Journal of International Technology and Information Management*, *28*(1), 2-28.

Sandi, T. A. A., Purnama, R. A., Firmansyah, F., & Heristian, S. (2022). Komparasi Static Routing Menggunakan IPv4 Dengan IPv6 Guna Meningkatkan Quality Of Service. *Computer Science (CO-SCIENCE)*, *2*(1), 1-9.

Sitorus, M., & Feta, N. R. Analisis Interkoneksi Jaringan IPv6 Terhadap IPv4 Dengan Tunnel Broker Berbasis Web Analysis IPv6 in IPv4 Network Interconnection with Web Based Tunnel Broker.

Talenta, S. P. (2019). *Analisis Layanan File Transfer Protocol pada Perbandingan IPv4, IPv6, dan Tunneling 6over4 Berbasis Router menggunakan Interface Ethernet* (Doctoral dissertation, Program Studi Teknik Informatika FTI-UKSW).

Ullah, I., Yasir, M., Haq, I. U., Husnain, G., Islam, S. U., Ahmad, W., & Rizwan, S. Performance Evaluation of Secured Virtual Private Network based on Dynamic Multipoint Virtual Private Network.

Wang, Y., Wu, X., & Zhang, Y. (2020). Evaluating the effectiveness of tunnel brokers in IPv6 transition. Journal of Network and Computer Applications, 148, 102460. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102460

Yamin, M. A. (2019). *Implementasi Dual Stack IPV6 Dan IPV4 Menggunakan Mikrotik dan Cisco Router Dengan Routing OSPF (studi Kasus: Labor Jaringan Komputer TI UIR)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).