

SIMULASI PERBANDINGAN PERFORMANSI TUNNELING 6TO4, TUNNELING ISATAP DAN DUAL-STACK

Rukhi Ali Effendi¹, Ade Nurhayati²

^{1,2}Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta

^{1,2}Jl. Daan Mogot KM. 11 11710, Jakarta Barat, Indonesia

Email : Rukhi.a@mhs.akademitelkom.ac.id¹

Abstrak – Seiring dengan berkembangnya zamana, banyak perangkat yang sudah terhubung ke dalam jaringan internet. Karena banyaknya perangkat yang sudah terhubung ini yang mengakibatkan keterbatasan alokasi pengalamatan Internet Protocol (IP) yang dimiliki oleh IPv4, salah satu solusinya adalah dengan transisi ke Internet Protocol (IP) versi 6. Metode Tunneling 6to4, Tunneling ISATAP, dan Dual-Stack adalah beberapa metode yang digunakan untuk proses transisi dari IPv4 ke IPv6. Pada proyek akhir ini dilakukan simulasi dengan menggunakan software GNS3 dan hasil analisa dilakukan menggunakan software wireshark, dengan tujuan membandingkan nilai Quality of Services dari metode yang di uji. Penulis menggunakan 3 skenario untuk simulasi yaitu jaringan dengan Tunneling 6to4, jaringan dengan Tunneling ISATAP, dan jaringan dengan Dual-Stack. Ketiga skenario ini menggunakan konfigurasi routing OSPF dan beban pengukuran menggunakan FTP dan HTTP. Parameter pengukuran QoS yang digunakan yaitu transfer time, throughput, delay, dan packet loss ratio. Hasil pengukuran dan analisa simulasi menunjukkan nilai QoS pada kategori sangat bagus (very good) dengan indeks 4 berdasarkan standar TIPHON dan ITU-T dari semua metode yang di uji, hanya saja pada pengujian dengan packet loss ratio pada protokol HTTP yang menghasilkan nilai buruk (bad). Secara keseluruhan simulasi dan analisa bahwa metode Dual-Stack memiliki nilai QoS yang lebih baik diantara metode Tunneling 6to4 dan Tunneling ISATAP. Sebagai alternatif edua, Tunneling ISATAP memiliki nilai QoS masih lebih baik daripada Tunneling 6to4.

Kata kunci – IPv4, IPv6, Tunneling 6to4, Tunneling ISATAP, Dual-Stack, QoS, FTP, HTTP, Transfer Time, Throughput, Delay, Packet Loss Ratio.

Abstract – Along with the times, many devices have been connected to the intrernet network. Because of the large number of connected devices that have caused the limited allocation of Internet Protocol (IP) addresses owned by IPv4, one solution is to transition to Internet Protocol (IP) version 6. Method of Tunneling 6to4, Tunneling ISATAP, and Dual-Stack are some of the methods used for the transition from IPv4 to IPv6. In this final project a simulation using GNS3 software was carried out and the results of the analysis were carried out using Wireshark software, with the aim of comparing the Quality of Services value from the method tested. The author uses 3 scenarios for simulation namely network with 6to4 Tunneling, network with ISATAP Tunneling, and network with Dual Stacking. These three scenarios use the OSPF protocol routing configuration and measurement load using FTP and HTTP. The QoS measurement parameters used are transfer time, throughput, delay, and packet loss ratio. The measurement results and simulation analysis show that the QoS values in the category are very good with index 4 based on the TIPHON and ITU-T standards of all the methods tested, only on the test packet loss ratio on the HTTP protocol that produces a bad value. Overall the simulation and analysis that the Dual-Stack method has better QoS values include the 6to4 Tunneling method and the ISATAP Tunneing method. As an alternative to the second ISATAP Tunneling the QoS value is still better than Tunneling 6to4.

Keywords – IPv4, IPv6, 6to4 Tunneling, ISATAP Tunneling, Dual-Stack, QoS, FTP, HTTP, Transfer Time, Throughput, Delay, Packet Loss Ratio.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan cepatnya pertumbuhan pengguna internet, kebutuhan akan penggunaan *Internet Protocol* (IP) juga semakin meningkat. IPv4 adalah salah satu protokol yang banyak digunakan dalam jaringan internet yang terbatas pada alokasi pengalamatannya hanya sekitar 4 milyar alamat. Untuk mengatasi hal tersebut dikembangkan *Internet Protocol* (IP) versi baru, yaitu IPv6 (*Internet Protocol Version 6*) yang

memiliki panjang total adalah 128-bit dan secara teoritis mampu mengalami hingga $2^{128} = 3,4 \times 10^{38}$ host komputer di seluruh dunia.

Implementasi IPv6 dilakukan secara bertahap untuk dapat terhubung dengan infrastruktur protokol IPv4 yang sudah ada. Oleh karena itu, digunakan beberapa metode transisi dari IPv4 ke IPv6 diantaranya yaitu metode Tunneling 6to4, metode Tunneling ISATAP, dan metode Dual – Stack. Metode Tunneling 6to4 dan

ISATAP adalah mekanisme yang bertujuan mengirimkan paket IPv6 pada jaringan IPv4, sedangkan Dual – Stack merupakan teknik menggunakan dua jaringan yang berbeda (IPv4 & IPv6 dalam satu interface).

II. KAJIAN PUSTAKA

A. TCP/IP

Transmissin Control Protocol atau *Internet Protocol (TCP/IP)* adalah sekelompok protokol yang mengatur komunikasi data komputer di internet. Tujuan desain utama TCP/IP adalah untuk membangun interkoneksi jaringan. Berikut ini beberapa protokol TCP/IP yang digunakan [9]. Tujuan desain utama TCP/IP adalah untuk membangun interkoneksi jaringan, disebut sebagai *internetwork* atau internet, yang disediakan universal untuk layanan komunikasi melalui jaringan fisik yang heterogen. Jelas manfaat dari *internetwork* seperti adalah memungkinkan komunikasi antara *host* pada jaringan yang berbeda yang dipisahkan oleh wilayah geografis yang luas [7].

a) *Internet Protocol (IP) Version 4*

Internet Protocol (IP) Version 4 merupakan *Internet Protocol (IP)* yang paling banyak digunakan saat ini. IPv4 memiliki panjang alamat total 32-bit, dengan panjang *header* IP paling tidak panjangnya 5 *word* (20 *byte*) [9].

b) *Internet Protocol (IP) Version 6*

Internet Protocol (IP) Version 6 adalah protokol lapisan 3 yang baru dirancang untuk menggantikan IPv4. Perubahan utama di IPv6 adalah desain ulang dari *header*, termasuk peningkatan jumlah *address* dari 32-bit menjadi 128-bit dengan panjang *header* 40 *byte*.

B. Routing Protocol

Routing protocol adalah suatu aturan dalam mempertukarkan informasi *routing* yang akan membentuk sebuah tabel *routing* sehingga pengalamatan pada paket data yang akan dikirim menjadi lebih jelas dan *routing* protokol mencari rute tersingkat untuk mengirimkan paket data menuju alamat yang dituju berdasarkan tabel *routing*. Berikut ini beberapa jenis *routing* protokol [7]. Protokol *routing* dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan *autonomous system*, yaitu *Interior Gateway Protocol (IGP)* dan *Exterior Gateway Protocol (EGP)* [8].

a) *Interior Routing Protocol (IGP)*

IGP biasanya digunakan pada jaringan yang bernama *autonomous system*, yaitu sebuah jaringan yang berada hanya dalam satu kendali teknik yang terdiri dari beberapa *subnetwork* dan *gateway* yang saling berhubungan satu sama lain.

1. Routing Information Protocol (RIP)

RIP merupakan *routing* protokol yang memberikan *routing table* berdasarkan router yang terhubung langsung. Algoritma yang digunakan *routing* protokol RIP yaitu menggunakan algoritma *distance vektor* [12].

2. Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF bekerja dengan sebuah algoritma yang sebut algoritma *djikstra*, pertama sebuah pohon jalur terpendek (*shortestpath tree*) akan dibangun, dan kemudian *routing table* akan diisi dengan jalur-jalur terbaik yang dihasilkan dari pohon tersebut [12].

b) *Exterior Routing Protocol (EGP)*

Pada dasarnya internet terdiri dari beberapa *autonomous system* yang saling berhubungan satu sama lain dan untuk menghubungkan *autonomous system* dengan *autonomous system* yang lainnya maka *autonomous system* menggunakan *exterior routing protocol* sebagai pertukaran informasi routingnya.

1. Exterior Gateway Protocol (EGP)

EGP merupakan protokol yang mengumumkan kepada *autonomous system* yang lain tentang jaringan yang berada dibawahnya maka jika sebuah *autonomous system* ingin berhubungan dengan jaringan yang ada dibawahnya maka mereka harus melaluinya sebagai router utama. Akan tetapi kelemahan protokol ini tidak bisa memberikan rute terbaik untuk pengiriman paket data [1].

2. Border Gateway Protocol (BGP)

BGP adalah *routing* protokol yang berfungsi sebagai *exterior gateway protocol* yang dapat menghubungkan router yang berbeda *autonomous system*. Salah satu kelebihan BGP yakni telah mendukung VLSM dan CIDR [3].

C. Metode Transisi IPv4 ke IPv6

Dalam penelitian ini, digunakan 3 metode transisi dari IPv4 ke IPv6 yang akan dibahas performansinya. Metode yang akan dibahas sebagai berikut.

a) *Metode Tunneling 6to4*

Metode ini adalah salah satu jenis sistem *tunneling* yang memperbolehkan paket IPv6 lewat pada jaringan protokol IPv4 dengan melakukan proses enkapsulasi dan dekapsulasi paket. Karakteristik dari metode *tunneling* ini yaitu menggunakan prefix 2002: sebagai identifikasi metode ini. Selain itu, metode *tunneling* ini bersifat *manual* konfigurasi pada setiap *interface* yang akan digunakan sebagai *tunneling* [6].

b) *Metode Tunneling ISATAP*

Salah satu mekanisme *tunneling* dipergunakan untuk transisi IPv4 ke IPv6, yakni

dipakai untuk *tunneling* antara jaringan dan merupakan *tunneling* yang bersifat *autoconfigure*. ISATAP sendiri dapat berjalan dalam *local-site* IPv6 yaitu FE80:: yang merupakan *prefix* untuk *local-site* IPv6 [6].

c) *Metode Dual-Stack*

Dual-Stack merupakan teknik dengan menggunakan dua jaringan yang berbeda (IPv4 dan IPv6) dalam satu *interface*. Jadi, satu *interface* dalam router melibatkan dua *Internet Protocol* (IPv4 dan IPv6) yang dapat berjalan dalam waktu yang sama [5].

D. *Beban Pengukuran*

Untuk melakukan test kualitas pada jaringan digunakan pengujian dengan beberapa beban pengukuran yaitu sebagai berikut.

a) *File Transfer Protocol (FTP)*

Protokol yang digunakan untuk menyediakan layanan pengaksesan *file* dan pertukaran data. Pada FTP server terdapat beberapa kategori yang setiap direktori berisi beberapa *file* yang dapat di transfer. FTP dirancang untuk membuat sambungan ke server internet tertentu atau komputer, sehingga *user* dapat mengirimkan *file* ke komputer (*download*) atau mengirimkan *file* ke server (*upload*) [6].

b) *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*

Protokol yang digunakan untuk memberikan layanan berbasis data dan berfungsi menerima permintaan dari *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)* atau *Hypertext Transfer Protocol Secure (HTTPS)* yang biasa dikenal dengan nama *web browser (Mozilla Firefox, Google Chrome, dll)* dan untuk mengirimkan kembali yang hasilnya dalam bentuk beberapa halaman web dan pada umumnya akan berbentuk dokumen HTML.

E. *Parameter Pengukuran QoS*

Quality of Services (QoS) merupakan kemampuan sebuah jaringan dalam menyediakan sebuah layanan berdasarkan beberapa parameter-parameter yang telah ditentukan [15]. Berikut ini beberapa parameter QoS yang digunakan.

a) *Transfer Time*

Transfer time adalah perkiraan waktu untuk penyelesaian suatu transmisi data. Untuk nilai *transfer time* dapat dilihat pada parameter *Time Span* di menu *statistics software* wireshark. Pada saat melakukan *capture data* menggunakan wireshark lakukan *filtering* sesuai protokol yang akan diukur dan lihat pada bagian *displayed* bukan pada bagian *captured* atau juga dapat menggunakan rumus persamaan (1).

$$\text{Transfer Time} = \text{WPM} + \text{WPT} \dots (1)$$

Keterangan:

Transfer Time (s)

WPM = Waktu Paket Pertama (s)

WPT = Waktu Paket Terakhir (s)

b) *Throughput*

Throughput merupakan jumlah data yang dinyatakan dalam ukuran *bit* atau *byte* per satuan waktu. Banyak faktor yang mempengaruhi *throughput*. Diantara faktor-faktor tersebut jumlah lalu lintas, jenis lalu lintas, dan jumlah perangkat jaringan ditemui pada jaringan yang diukur [2]. Untuk nilai *throughput* dapat dilihat pada parameter Avg.bytes/sec di menu *statistics software* wireshark. Pada saat melakukan *capture data* menggunakan wireshark lakukan *filtering* sesuai protokol yang akan diukur dan lihat pada bagian *displayed* bukan pada bagian *captured* atau dapat mencari nilai *throughput* menggunakan rumus persamaan (2).

$$\text{Throughput} = \frac{\text{JDD (Bytes)}}{\text{WPD (Time Span)}} \dots (2)$$

Keterangan:

Throughput (bps)

JDD = Jumlah Data yang Dikirim (Bytes)

WPD = Waktu Pengiriman Data (Time Span)

Tabel 2.1 Standar TIPHON kategori Throughput

Kategori	Throughput (%)
Sangat Baik	75-100
Baik	50-75
Sedang	25-50
Buruk	<25

c) *Delay*

Delay adalah waktu tunda pada saat pengiriman paket data dalam jaringan. *Delay* dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kongesti atau juga waktu proses yang lama. Untuk mencari nilai *delay* dapat menggunakan rumus persamaan (3).

$$\text{Delay} = \frac{\text{WPD (Time Span)}}{\text{JD (Packet)}} \dots (3)$$

Keterangan:

Delay (ms)

WPD = Waktu Pengiriman Data (Time Span)

JD = Jumlah bit Data (Packet)

Tabel 2.2 Standar TIPHON Kategori Delay

Delay	Indeks	Kategori
<150 ms	4	Sangat Bagus
150 ms – 300 ms	3	Bagus
300 ms – 450 ms	2	Sedang
>450 ms	1	Buruk

d) Packet Loss Ratio (PLR)

Packet loss ratio (PLR) didefinisikan sebagai kegagalan transmisi mencapai tujuannya. Packet loss ratio (PLR) adalah perbandingan jumlah paket yang sukses diterima oleh end user dengan jumlah paket yang dikirimkan. Nilai packet loss ratio dinyatakan dalam persen (%) [10]. Untuk mencari nilai packet loss ratio dapat dilihat pada statistics protocol hierarchy di menu statistics software wireshark kemudian parameter dihitung menggunakan rumus persamaan (4).

$$PLR = \frac{JDD - JPD}{JDD} \times 100\% \dots (4)$$

Keterangan:

- PLR = Packet Loss Ratio (%)
- JDD = Jumlah Data Dikirim (Packets)
- JPD = Jumlah Data Diterima (End Packets)

Tabel 2.3 Standar TIPHON Kategori Packet Loss Ratio

Kategori	Indeks	Kategori
0%	4	Sangat Bagus
3%	3	Bagus
15%	2	Sedang
25%	1	Buruk

F. Aplikasi Simulasi

Aplikasi simulasi adalah aplikasi yang digunakan untuk melakukan pengujian pengukuran terhadap topologi jaringan yang telah di desain dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

a) Graphic Network Simulator 3 (GNS3)

Graphic Network Simulator (GNS3) adalah software simulasi jaringan komputer berbasis GUI memungkinkan simulasi jaringan yang kompleks, karena menggunakan operating system asli dari perangkat jaringan seperti cisco dan juniper, sehingga pada saat berada kondisi lebih nyata dalam mengkonfigurasi router langsung daripada di Cisco Packet Tracer [4].

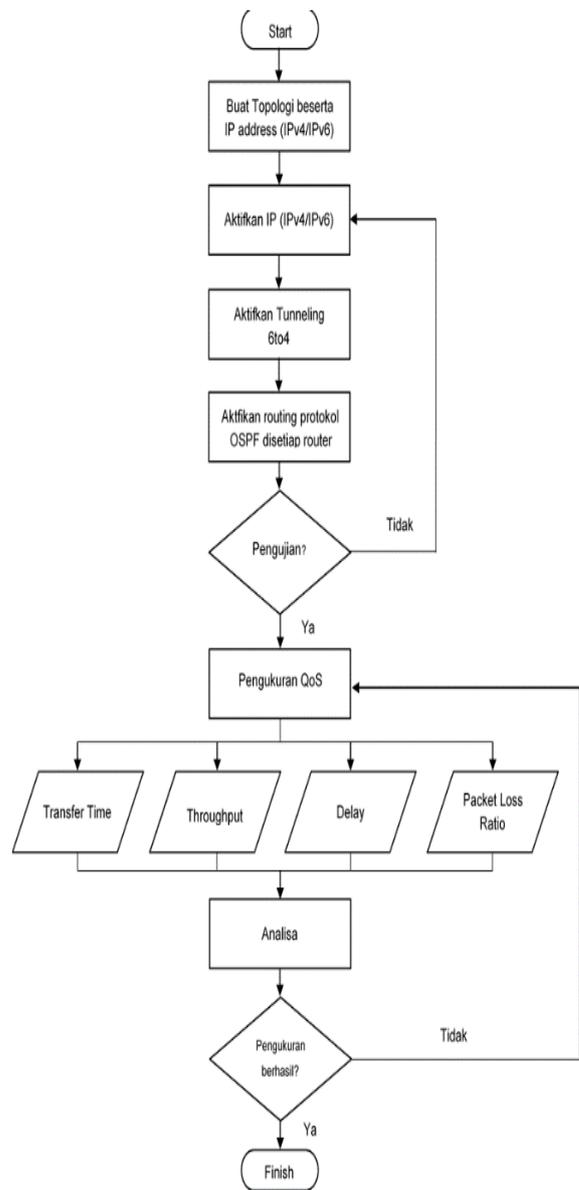
b) Wireshark

Wireshark merupakan salah satu tools atau aplikasi Network analyzer atau penganalisa jaringan. Pengalisan kinerja jaringan itu dapat melingkupi berbagai hal, mulai dari proses menangkap paket-paket data atau informasi yang berlalu-lalang dalam jaringan, sampai pada digunakan pula untuk sniffing (memperoleh informasi penting seperti password email, dll). Wireshark sendiri merupakan tampilan grafis atau GUI (Graphical User Interface) [11].

III. METODELOGI PENELITIAN

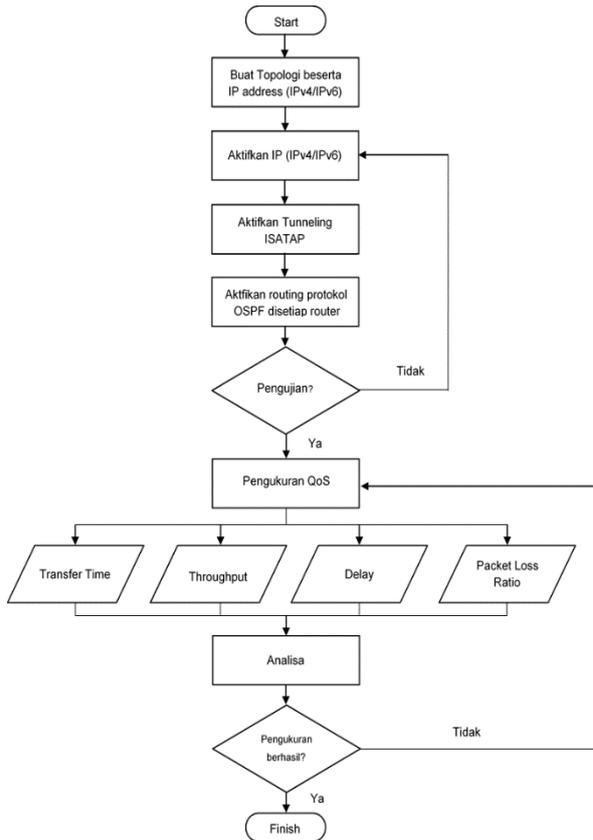
Dalam penelitian digunakan beberapa skenario untuk pengujiannya. Berikut ini skenario diagram alir untuk pengujian masing-masing metode yang di uji.

A. Skenario Perancangan Simulasi Tunneing 6to4



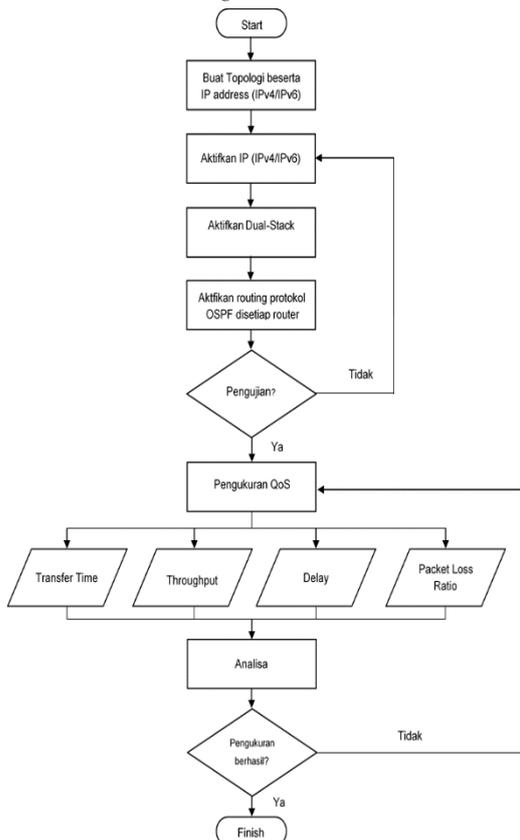
Gambar 3.1 Flowchart Tunneling 6to4

B. Skenario Perancangan Simulasi Tunneing 6to4



Gambar 3.2 Flowchart Tunneling ISATAP

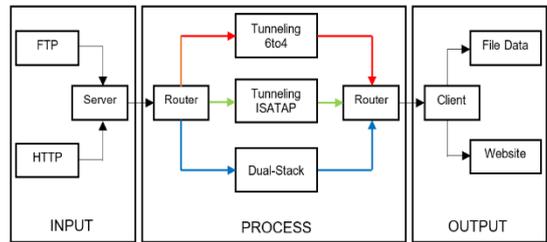
C. Skenario Perancangan Simulasi Dual-Stack



Gambar 3.3 Flowchart Dual-Stack

D. Blok Diagram

Blok diagram berikut ini menunjukkan sistem kerja dari masing-masing metode yang di uji. Untuk garis panah berwarna merah menunjukkan router akan menjalankan proses *tunneling* 6to4 pada router, untuk garis panah berwarna hijau menunjukkan router akan menjalankan proses *tunnelng* ISATAP pada router, dan untuk garis panah berwarna biru menunjukkan router akan menjalankan proses *dual-stack* router.



Gambar 3.4 Blok Diagram

E. Konsep Perancangan

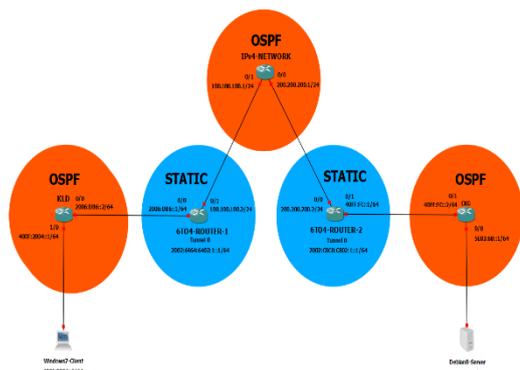
Secara bertahap pada konsep perancangan langkah-langkah untuk implementasi jaringan.

1. Instalasi *software simulator* GNS3 dan menambahkan IOS *image* router cisco ke dalam GNS3.
2. Membuat topologi *tunneling* 6to4, *tunneling* ISATAP, dan dual-stack.
3. Melakukan konfigurasi demi konfigurasi untuk membangun jaringan *tunneling* 6to4, *tunneling* ISATAP, dan dual-stack.
4. Melakukan konfigurasi untuk metode *tunneling* 6to4, *tunneling* ISATAP, dan dual-stack.
5. Menguji simulasi jaringan tersebut dan mengukur *transfer time*, *throughput*, *delay*, dan *packet loss ratio* (PLR) yang dihasilkan.

F. Topologi Jaringan

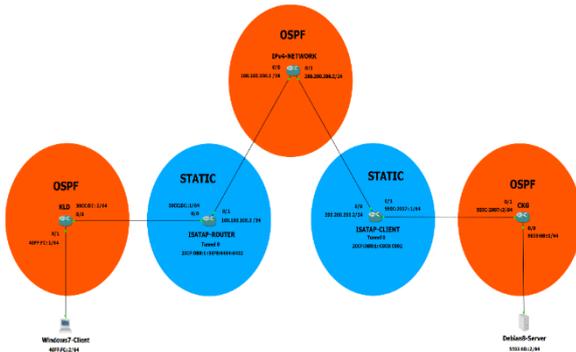
Berikut ini arsitektur yang digunakan dalam membangun jaringan *tunneling* 6to4, *tunneling* ISATAP, dan dual-stack.

a) Topologi Tunneling 6to4



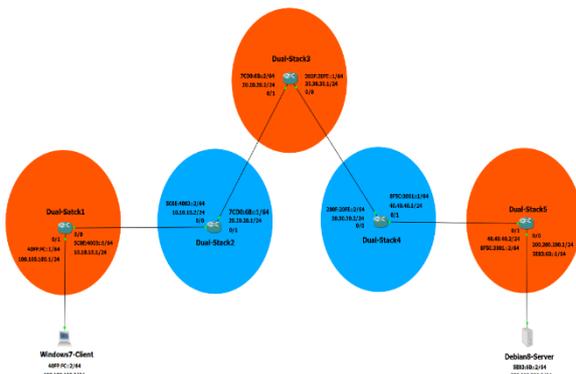
Gambar 3.5 Topologi Jaringan Tunneling 6to4

b) Topologi Tunneling ISATAP



Gambar 3.6 Topologi Jaringan Tunneling ISATAP

c) Topologi Dual-Stack



Gambar 3.6 Topologi Jaringan Dual-Stack

Untuk arsitektur jaringan yang digunakan pada masing-masing metode yang di uji, menggunakan 5 buah router dan 2 buah *end device*. Pada metode *tunneling* terdapat 2 router utama yang dijadikan router *tunneling*. Untuk *end device* sendiri 1 berfungsi sebagai *client* dan 1 lainnya berfungsi sebagai server.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari keseluruhan rata-rata hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali. Pengujian dilakukan dengan menggunakan protokol FTP dan HTTP, untuk protokol FTP sendiri terdapat 2 proses pengujian yaitu proses *upload* dan *download*. Pada masing-masing proses menggunakan 2 buah ukuran file yang berbeda yaitu 45 MB dan 75 MB. Parameter pengujian yang digunakan yaitu transfer time, throughput, delay, dan packet loss ratio (PLR) dapat dilihat pada rangkuman tabel hasil berikut ini.

A. Pengukuran Transfer Time

Hasil pengukuran *transfer time* dari masing-masing protokol sebanyak 5 kali percobaan pengambilan data. Pada pengujian protokol FTP proses *upload file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 40,267 *second* (69,48 %) dan 32,959 *second* (62,11 %) daripada metode *tunneling* 6to4, metode dual-stack dengan

IPv6 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 20,460 *second* (35,3 %), dan 5,812 *second* (10,95 %) daripada metode *tunneling* 6to4, dan metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 16,224 *second* (28 %), dan 7,496 *second* (14,13 %) daripada metode *tunneling* 6to4. Pada pengujian protokol FTP proses *download file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 38,455 *second* (67,45 %) dan 29,893 *second* (60,71 %) daripada metode *tunneling* 6to4, metode dual-stack dengan IPv6 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 22,712 *second* (39,84 %) dan 1,317 *second* (2,67 %) daripada metode *tunneling* 6to4, dan metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 17,100 *second* (30 %) dan 3,202 *second* (6,5 %) daripada metode *tunneling* 6to4. Pada pengujian protokol HTTP metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 0,651 *second* (23,04 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 0,413 *second* (14,61 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *transfer time* lebih cepat sekitar 0,307 *second* (10,86 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Hasil pengukuran *transfer time* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Nilai Rata-Rata Transfer Time protokol FTP

FTP Parameter Transfer Time				
FTP	Upload	45 MB	6to4	57,959 s
			ISATAP	41,726 s
			IPv4 Dual-Stack	17,689 s
			IPv6 Dual-Stack	37,496 s
	75 MB	6to4	53,063 s	
		ISATAP	45,567 s	
		IPv4 Dual-Stack	20,104 s	
		IPv6 Dual-Stack	47,251 s	
Download	45 MB	6to4	57,011 s	
		ISATAP	39,911 s	
		IPv4 Dual-Stack	18,556 s	
		IPv6 Dual-Stack	34,299 s	
	75 MB	6to4	49,243 s	
		ISATAP	46,041 s	
		IPv4 Dual-Stack	19,350 s	
		IPv6 Dual-Stack	47,926 s	

Tabel 4.2 Nilai Rata-Rata Transfer Time protokol HTTP

HTTP Parameter Transfer Time		
HTTP	6to4	2,413 s
	ISATAP	2,519 s
	IPv4 Dual-Stack	2,175 s
	IPv6 Dual-Stack	2,826 s

B. Pengukuran Throughput

Hasil pengukuran *throughput* dari masing-masing protokol sebanyak 5 kali percobaan pengambilan data. Pada pengujian protokol FTP proses *upload file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 168,24 KBps (56,84 %) dan 206,35 KBps (52,9 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 33,92 KBps (20,98 %) dan 71,58 KBps (28,04 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 21,12 KBps (14,19 %) dan 38,22 KBps (17,22 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Pada pengujian protokol FTP proses *Download file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 85,60 KBps (51,42 %) dan 216,94 KBps (37,58 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *throughput* lebih rendah sekitar 29,31 KBps (15,15 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6 dan lebih tinggi sekitar 74,84 KBps (74,84 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *throughput* lebih rendah sekitar 52,64 KBps (28,72 %) dan lebih tinggi 66,94 KBps (26,87 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Pada pengujian protokol HTTP metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 1,43 KBps (15,87 %) daripada metode *tunneling* ISATAP, metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 0,53 KBps (6,54 %) daripada metode *tunneling* ISATAP, dan metode dual-stack dengan IPv6 memiliki nilai *throughput* lebih tinggi sekitar 0,08 KBps (1,04 %) daripada metode *tunneling* ISATAP. Hasil pengukuran *throughput* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata Throughput protokol FTP

FTP Parameter Throughput				
FTP	Upload	45 MB	6to4	148,87 KBps
			ISATAP	161,67 KBps
			IPv4 Dual-Stack	295,99 KBps

Download	75 MB	IPv6 Dual-Stack	127,75 KBps
		6to4	221,93 KBps
		ISATAP	255,29 KBps
		IPv4 Dual-Stack	390,06 KBps
	IPv6 Dual-Stack	183,27 KBps	
	45 MB	6to4	130,63 KBps
		ISATAP	153,96 KBps
		IPv4 Dual-Stack	268,87 KBps
		IPv6 Dual-Stack	183,27 KBps
	75 MB	6to4	249,12 KBps
		ISATAP	257,02 KBps
		IPv4 Dual-Stack	399,12 KBps
IPv6 Dual-Stack		182,18 KBps	

Tabel 4.4 Nilai Rata-Rata Throughput protokol HTTP

HTTP Parameter Throughput		
HTTP	6to4	8,11 KBps
	ISATAP	7,58 KBps
	IPv4 Dual-Stack	9,01 KBps
	IPv6 Dual-Stack	7,66 KBps

C. Pengukuran Delay

Hasil pengukuran *delay* dari masing-masing protokol sebanyak 5 kali percobaan pengambilan data. Pada pengujian protokol FTP proses *upload file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 6,4 *milisecond* (53,78 %) dan 4,3 *milisecond* (38,04 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 1,1 *milisecond* (9,24 %) dan 2,3 *milisecond* (27,71 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 1,8 *milisecond* (15,13 %) dan 1,8 *milisecond* (21,69 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Pada pengujian protokol FTP proses *download file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 3,5 *milisecond* (38,04 %) dan 4,3 *milisecond* (50,59 %) daripada metode dual-stack dengan

IPv6, metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *delay* lebih tinggi sekitar 2,9 *milisecond* (23,97 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6 dan lebih rendah 2,2 *milisecond* (25,88 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *delay* lebih tinggi sekitar 0,5 *milisecond* (2,17 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6 dan lebih rendah sekitar 1,9 *milisecond* (22,35 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Pada pengujian protokol HTTP metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 25,76 *milisecond* (25,68 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 16,9 *milisecond* (16,85 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *delay* lebih rendah sekitar 12,76 *milisecond* (12,72 %) daripada metode dual-stack dengan IPv6. Hasil pengukuran *delay* dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Nilai Rata-Rata Delay protokol FTP

FTP Parameter Delay				
FTP	Upload	45 MB	6to4	10,1 ms
			ISATAP	10,8 ms
			IPv4 Dual-Stack	5,5 ms
			IPv6 Dual-Stack	11,9 ms
		75 MB	6to4	6,8 ms
			ISATAP	6 ms
			IPv4 Dual-Stack	4 ms
			IPv6 Dual-Stack	8,3 ms
	Download	45 MB	6to4	12,1 ms
			ISATAP	9,7 ms
			IPv4 Dual-Stack	5,7 ms
			IPv6 Dual-Stack	9,2 ms
75 MB		6to4	6,3 ms	
		ISATAP	6,6 ms	
		IPv4 Dual-Stack	4,2 ms	
		IPv6 Dual-Stack	8,5 ms	

Tabel 4.6 Nilai Rata-Rata Delay protokol HTTP

HTTP Parameter Delay		
HTTP	6to4	83,4 ms
	ISATAP	87,5 ms
	IPv4 Dual-Stack	74,54 ms
	IPv6 Dual-Stack	100,3 ms

D. Pengukuran Packet Loss Ratio (PLR)

Hasil pengukuran *delay* dari masing-masing protokol sebanyak 5 kali percobaan pengambilan

data. Pada pengujian protokol FTP proses *upload file size* 45 MB dimana metode dual-stack dengan IPv4, *tunneling* 6to4, dan *tunneling* ISATAP memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih baik sekitar 0,02 %, daripada metode dual-stack dengan IPv6. Sedangkan, pada *file size* 75 MB metode *tunneling* 6to4 dan *tunneling* ISATAP memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih baik sekitar 0,01 % daripada metode dual-stack dengan IPv6, dan lebih baik sekitar 0,02 % daripada metode dual-stack dengan IPv4. Pada pengujian protokol FTP proses *download file size* 45 MB dan 75 MB, dimana metode dual-stack dengan IPv4 dan dual-stack dengan IPv6 memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih baik sekitar 0,01 % daripada metode *tunneling* 6to4 dan *tunneling* ISATAP. Pada pengujian protokol HTTP metode *tunneling* 6to4 memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih rendah sekitar 3,13 % daripada metode dual-stack dengan IPv4, metode *tunneling* ISATAP memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih rendah sekitar 1,72 % daripada metode dual-stack dengan IPv4, dan metode dual-stack dengan IPv4 memiliki nilai *packet loss ratio* (PLR) lebih rendah sekitar 0,67 % daripada metode dual-stack dengan IPv4. Hasil pengukuran *packet loss ratio* (PLR) dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Nilai Rata-Rata Packet Loss Ratio (PLR) protokol FTP

FTP Parameter Packet Loss Ratio (PLR)				
FTP	Upload	45 MB	6to4	0,03%
			ISATAP	0,03%
			IPv4 Dual-Stack	0,03%
			IPv6 Dual-Stack	0,05%
		75 MB	6to4	0,01%
			ISATAP	0,01%
			IPv4 Dual-Stack	0,03%
			IPv6 Dual-Stack	0,02%
	Download	45 MB	6to4	0,04%
			ISATAP	0,04%
			IPv4 Dual-Stack	0,03%
			IPv6 Dual-Stack	0,03%
		75 MB	6to4	0,01%
			ISATAP	0,07%
			IPv4 Dual-Stack	0,06%
			IPv6 Dual-Stack	0,03%

Tabel 4.8 Nilai Rata-Rata Packet Loss Ratio (PLR) protokol HTTP

HTTP Parameter Packet Loss Ratio (PLR)		
HTTP	6to4	47,88%

	ISATAP	49,29%
	IPv4 Dual-Stack	51,01%
	IPv6 Dual-Stack	50,34%

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan saat melakukan pengujian simulasi diperoleh hasil pengujian simulasi dan analisa simulasi, sehingga dapat menarik kesimpulannya sebagai berikut:

1. Secara keseluruhan pada parameter *transfer time* protokol FTP proses *upload dual-stack* lebih cepat sekitar 13,012 *second* dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih cepat sekitar 24,876 *second* dari *tunneling* 6to4. Pada protokol FTP proses *download dual-stack* lebih cepat sekitar 12,943 *second* dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih cepat sekitar 22,943 *second* dari *tunneling* 6to4. Sedangkan, pada protokol HTTP *tunneling* 6to4 lebih cepat sekitar 0,088 *second* dari *dual-stack* dan juga lebih cepat sekitar 0,106 *second* dari *tunneling* ISATAP.
2. Secara keseluruhan pada parameter *throughput* protokol FTP proses *upload dual-stack* lebih tinggi sekitar 40,90 KBps dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih tinggi sekitar 63,90 KBps dari *tunneling* 6to4. Pada protokol FTP proses *download dual-stack* lebih tinggi sekitar 52,87 KBps dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih tinggi sekitar 68,48 KBps dari *tunneling* 6to4. Sedangkan, pada protokol HTTP *tunneling* ISATAP lebih tinggi sekitar 0,53 KBps dari *tunneling* 6to4 dan juga lebih tinggi sekitar 0,76 KBps dari *dual-stack*.
3. Secara keseluruhan pada parameter *delay* protokol FTP proses *upload dual-stack* lebih cepat sekitar 0,09 *milisecond* dari *tunneling* 6to4 dan juga lebih cepat sekitar 1 *milisecond* dari *tunneling* ISATAP. Pada protokol FTP proses *download dual-stack* lebih cepat sekitar 1,3 *milisecond* dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih cepat sekitar 2,3 *milisecond* dari *tunneling* 6to4. Sedangkan, pada protokol HTTP *tunneling* 6to4 lebih cepat sekitar 4 *milisecond* dari *dual-stack* dan juga lebih cepat sekitar 4,1 *milisecond* dari *tunneling* ISATAP.
4. Secara keseluruhan pada parameter *packet loss ratio* (PLR) protokol FTP proses *upload tunneling* 6to4 dan *tunneling* ISATAP lebih kecil sekitar 0,01 % dari *dual-stack*. Pada protokol FTP proses *download dual-stack* lebih kecil sekitar 0,01 % dari *tunneling* ISATAP dan *tunneling* 6to4. Sedangkan, pada protokol HTTP *tunneling* 6to4 lebih kecil sekitar 1,4 % dari *tunneling* ISATAP dan juga lebih kecil sekitar 2,8 % dari *dual-stack*.

5. Secara keseluruhan berdasarkan pengujian dan analisa *Quality of Services* (QoS) yang telah dilakukan dengan parameter pengukuran *transfer time*, *throughput*, *delay*, dan *packet loss ratio* (PLR) semua metode baik *tunneling* 6to4, *tunneling* ISATAP, dan metode *dual-stack* tergolong sangat bagus (*very good*) berdasarkan standar TIPHON dan ITU-T, hanya saja pada pengujian *packet loss ratio* (PLR) dengan protokol HTTP yang menghasilkan nilai buruk (*bad*). Metode *dual-stack* memiliki nilai QoS yang lebih baik daripada metode *tunneling* 6to4 dan ISATAP, tetapi memiliki kelemahan yaitu IPv4 dan IPv6 tidak dapat terkoneksi secara langsung. Sebagai alternatif kedua, *tunneling* ISATAP masih lebih baik nilai QoS-nya daripada *tunneling* 6to4, pada metode *tunneling* ISATAP antara IPv4 dan IPv6 dapat terhubung secara langsung.

B. Saran

Hal-hal yang dapat dilakukan selanjutnya untuk lebih menyempurnakan penelitian dalam proyek akhir ini adalah :

1. Membandingkan data pada performa emulator router (GNS3) dengan perangkat router yang asli karena kemungkinan adanya "GAP" (kesenjangan) dapat dijadikan bahan penelitian selanjutnya, agar didapatkan nilai yang optimal.
2. Penambahan sistem manajemen *bandwidth* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh manajemen *bandwidth* pada sistem *tunneling* dan *dual-stack*.
3. Pengujian dapat dilakukan pada jaringan yang lebih besar dan memiliki struktur yang lebih kompleks.
4. Pada penelitian yang akan datang disarankan menentukan simulasi yang lebih bervariasi untuk pengambilan data, seperti ukuran *file* yang akan digunakan dan jenis *file* agar dapat mengetahui apakah ada keterkaitan jenis *file* berbeda tapi ukuran yang sama dengan performa *tunneling* dan *dual-stack*.
5. Menggunakan sistem transisi IPv4 ke IPv6 yang lain sebagai perbandingan yang lebih jelas dari masing-masing sistem metode transisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. B. Ali, M. Tabassum and K. Mathew. "A Comparative Study of IGP and EGP Routing Protocols, Performance Evaluation along Load Balancing and Redundancy across Different AS," Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computers Scientists, vol. II, 2016.
- [2] A. K. Najid, "Simulasi Implementasi Jaringan IPv6 Dengan Routing Protocol

- OSPFv3 Untuk Layanan Video Streaming Menggunakan Simulator GNS3,” ICT Penelitian, p. 22, 2016.
- [3] A. Z. Al Ghivani, “Studi Perbandingan Routing Protokol BGP dan EIGRP, Evaluasi Kerja Performansi Pada Autonomous System Berbeda,” Jurnal SISTEMASI, vol. 7, no. 2, p. 95 – 105, 2018.
 - [4] GNS3, “GNS3 Documentation,” [Online]. Available: docs.gns3.com/1FFbs5hOBbx8O855KxLetlCwlbymTN8L1zXXQzCqfmy4/index.html. [Accessed 10 Januari 2019].
 - [5] Warman and M. Y. S. Nugraha, “Analisa Implementasi Interkoneksi Antara IPv4 Dengan IPv6 Menggunakan Metode Dual Stack Pada Mikrotik Router OS (Studi Kasus : PT. Linggo Daya Energi),” Jurnal TENOIF, vol. 5, no. 2, pp. 63 – 72, 2017.
 - [6] J. Davies, Understanding IPv6, Third Edition ed., I. Octal Publishing, ed., New York: Microsoft Corporation, 2012.
 - [7] L. Parziale, D. T. Britt, C. Davis, J. Forrester, W. Liu, C. Matthews and N. Rosselot, TCP/IP Tutorial and Technical Overview, Eight Edition ed., IBM Corp., 2006.
 - [8] M. A. Indrajaya, CISCO Kung Fu Jurus-Jurus Routing, Jasakom, 2017.
 - [9] O. W. Purbo, Internet – TCP/IP: Konsep & Implementasi, Yogyakarta: ANDI, 2018.
 - [10] R. Octavian, “Simulasi Perancangan Protokol Jaringan MPLS-L3 VPN Cisco Menggunakan Aplikasi GNS3,” p. 15, 2017.
 - [11] Wireshark, “Wireshark User’s Guide: Version 3.1.0,” [Online]. Available: <https://www.wireshark.org/download/docs/user-guide.pdf>. [Accessed 8 Januari 2019].
 - [12] W. S. Jati, H. Nurwasito and M. Data, “Perbandingan Kinerja Protocol Routing Open Shortest Path First (OSPF) dan Routing Information Protocol (RIP) Menggunakan Simulator Cisco Packet Tracer,” Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 2, no. 8, pp. 2442-2448, 2018.