

# IMPLEMENTASI DAN ANALISA PERFORMANSI LAYANAN VOIP DAN VIDEO CALL PADA JARINGAN TRANSISI IPV4/IPV6 DENGAN METODE DUAL STACK DAN CONFIGURED TUNNELING

## IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF VOIP AND VIDEO CALL SERVICE ON IPV4/IPV6 TRANSITION NETWORK WITH DUAL STACK AND CONFIGURED TUNNELING METHOD

Reza Fahlevi Zulkarnaen<sup>1</sup>, Dr. Rendy Munadi, Ir., M.T.<sup>2</sup>, Tengku Ahmad Riza, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>3</sup>Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[rezazulkarnaen@telkomuniversity.ac.id](mailto:rezazulkarnaen@telkomuniversity.ac.id),

<sup>2</sup>[rendymunadi@telkomuniversity.ac.id](mailto:rendymunadi@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[tengkuriza@telkomuniversity.ac.id](mailto:tengkuriza@telkomuniversity.ac.id).

### Abstrak

Saat ini, ketersediaan alamat IPv4 sudah hampir habis, sehingga dieprkirakan tidak dapat mengakomodasi seluruh *host* yang berada di internet, sehingga dikembangkan protokol IPv6 sebagai pengganti IPv4 yang mampu memberikan jumlah alamat lebih banyak dibandingkan IPv4. Agar tidak menginterferensi jaringan *existing*, migrasi IPv4 ke IPv6 perlu dilakukan secara bertahap, dengan mempertimbangkan komabilitas perangkat *existing*. Mekanisme *dual stack* dan *configured tunneling* merupakan metode transisi yang memiliki komabilitas terhadap perangkat *existing* <sup>[5][14]</sup>. Tugas akhir ini mengimplementasikan mekanisme *dual stack* dan *configured tunneling*, dan dilewatkan layanan VoIP dan *video call*. Dari pengukuran QoS yang diperoleh, terlihat bahwa layanan VoIP dan *video call* yang dilewatkan pada jaringan *dual stack* cenderung memiliki nilai *throughput* lebih rendah dibandingkan dengan mekanisme *dual stack*. Hasil *one way delay* dan *jitter* juga demikian, nilai yang diperoleh oleh mekanisme *tunneling* cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan mekanisme *dual stack*. Keseluruhan skenario yang dilakukan masih memenuhi standar yang telah ditentukan oleh ETSI. Pada pengukuran MOS, semua skenario yang dilakukan masih memenuhi standar yang ditentukan berdasarkan ITU-T P.800 dengan memenuhi kategori “*Satisfied*”. Pada pengukuran CPU *usage* dan *memory usage*, nilai yang didapatkan oleh mekanisme *tunneling* baik *tunneling 6in4* maupun *tunneling 4in6* cenderung lebih tinggi dibanding *dual stack*.

**Kata Kunci :** IPv6, Dual Stack, 6in4, 4in6, VoIP, Video Call

### Abstract

Currently, the availability of IPv4 addresses is running low, so it is unlikely to accommodate all hosts on the internet, so IPv6 protocols are developed instead of IPv4 that can provide more IPv4 addresses. In order not to interfere with the existing network, IPv4 to IPv6 migration needs to be done gradually, consider with compatibility of existing devices. The mechanism of dual stack and configured tunneling is a transition method that has compatibility with existing devices <sup>[5][14]</sup>. This final task implements a dual stack and configured tunneling mechanism, and VoIP and video call service. From QoS measurements, it appears that VoIP and video call services that are passed on dual stack networks tend to have lower throughput values than dual stack mechanisms. The result of one way delay and jitter also, the value obtained by the tunneling mechanism tends to be higher when compared with the dual stack mechanism. The entire scenario still meets the standards set by ETSI. For MOS measurement, all scenarios performed still meet the standards determined under ITU-T P.800 with "Satisfied" category. In the measurement of CPU usage and memory usage, the values obtained by tunneling mechanisms both tunneling 6in4 and 4in6 tunneling tend to be higher than dual stack.

**Keywords :** IPv6, Dual Stack, 6in4, 4in6, VoIP, Video Call

### 1. Pendahuluan

Internet Protocol Version 4 (IPv4) yang merupakan mekanisme pengalamatan pada jaringan *internet* saat ini, dimana mengalami masalah pada jumlah alamat yang hampir habis. Hal tersebut disebabkan karena pengalamatan IPv4 hanya berbasis 32-bit, yang artinya jumlah total alamat IPv4 hanya sekitar 4 milyar alamat untuk total seluruh *host* yang ada di *internet*. Keterbatasan tersebut mendasari pengembangan protokol *Internet Protocol Version 6* (IPv6). IPv6 memiliki panjang 128 bit, atau jika dihitung jumlah keseluruhan dari alamat IPv6 adalah  $2^{128}$ . Perbandingan kapasitas alamat yang sangat jauh lebih banyak pada IPv6 telah mendasari implementasi protokol IPv6 untuk menggantikan IPv4, yang merupakan pilar *new generation network*.

Jaringan IP *existing* saat ini masih berbasis IPv4. Selain kendala pada SDM, proses migrasi IPv4 ke IPv6 memiliki kendala pada komabilitas. IPv4 dan IPv6 merupakan dua protokol yang berbeda, sehingga tidak dapat saling interkoneksi satu sama lain. Untuk itu, diperlukan suatu metode yang digunakan agar proses migrasi tidak menginterferensi jaringan *existing*, seperti *dual stack* dan *configured tunneling*. *Dual stack* merupakan mekanisme dimana menyediakan dukungan untuk komunikasi baik IPv4 maupun IPv6 secara bersamaan, sehingga dapat

diimplementasikan pada semua perangkat yang mendukung IPv6. Sedangkan *configured tunneling* merupakan mekanisme melewati traffic IPv6 pada jaringan IPv4 dan juga sebaliknya. Berdasarkan RFC 7059, mekanisme *configured tunneling* merupakan mekanisme *tunneling* yang paling umum digunakan saat ini, dengan adanya vendor *tunnel broker* yang menggunakan mekanisme ini, seperti *Hurricane Electric* dan *SIXXS*, lalu beberapa sistem operasi dan perangkat jaringan seperti *router*, *ONT*, dan *access point* menyediakan fasilitas *configured tunneling* [14]. Oleh karena itu, tugas akhir ini bertujuan melakukan penelitian terhadap kedua metode transisi tersebut.

Penelitian ini akan melakukan implementasi dari kedua metode tersebut serta mengkaji performa dari kedua metode tersebut pada layanan *realtime* dengan layanan *voice over IP* dan *video call* dimana kedua layanan tersebut rentan terhadap *delay*. dengan *IP Multimedia Subsystem (IMS)* sebagai penyedia layanan. Dari implementasi tersebut lalu dianalisa aspek *quality of services* meliputi *throughput*, *delay*, *jitter*, dan dilakukan perhitungan *Mean Opinion Score* dengan pendekatan matematis berdasarkan ITU-T G.107.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Internet Protocol Version 6 (IPv6)

*Internet Protocol Version 6 (IPv6)* adalah protokol *addressing* pada layer 3 terbaru, yang dikembangkan oleh *Internet Engineering Task Force (IETF)* yang didesain sebagai solusi dalam keterbatasan pengalaman IPv4. IPv4 memiliki panjang sekitar 32-bit yang artinya memiliki jumlah alamat sebanyak  $2^{32}$  atau sekitar 4 milyar alamat untuk total seluruh *host* yang ada pada jaringan IP, oleh karena itu IPv6 didesain dengan panjang 128-bit, sehingga total alamat yang dapat diimplementasikan jauh lebih banyak, sekitar  $2^{128}$  [7]. Selain itu, IPv6 memiliki penambahan fitur-fitur yang diharapkan dapat mengatasi kekurangan pada IPv4, diantaranya sebagai berikut : [7]

1. IPv6 memiliki format *header* yang lebih sederhana, dengan menggapus *field-field* yang dianggap tidak efisien dan menggantinya dengan *extension header*.
2. Format pengalaman yang lebih luas, yakni sebanyak  $2^{128}$  alamat.
3. Mendukung *Quality Of Services*, dengan adanya *field* baru pada IPv6 yang berisi informasi bagaimana trafik ditangani.
4. Ekstensibilitas, dengan adanya *extension header* maka dapat mempermudah IPv6 dalam menambahkan fitur-fitur baru.
5. Fragmentasi paket dilakukan secara *end-to-end*.

### 2.2. Mekanisme Transisi IPv4 ke IPv6

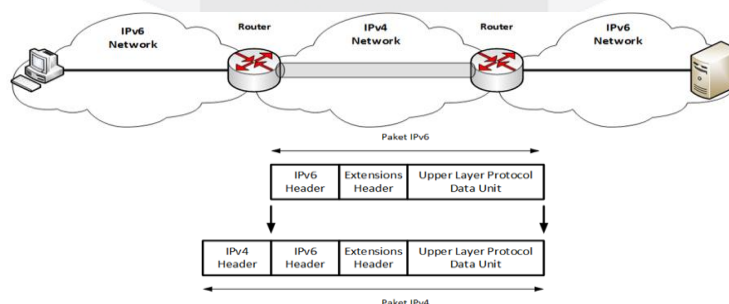
Ketersediaan alamat IPv4 yang semakin menipis, maka untuk mendukung teknologi-teknologi terbaru, diharuskan melakukan migrasi dari penggunaan alamat IPv4 ke dalam alamat IPv6. Sebagai efisiensi, dalam melakukan migrasi dari IPv4 ke IPv6 dilakukan secara bertahap agar tidak mengganggu jaringan IPv4 yang ada saat ini, serta mampu menghemat *cost*. Beberapa metode yang dapat diterapkan dalam melakukan migrasi ke IPv6 diantaranya sebagai berikut.

#### 2.2.1. Configured Tunneling

IPv4 dan IPv6 merupakan dua protokol yang berbeda. Oleh karena itu, host dengan alamat IPv4 tidak dapat berkomunikasi langsung dengan host IPv6. Metode *tunneling* merupakan suatu metode yang dapat digunakan dalam mengatasi permasalahan tersebut. *Tunneling* merupakan mekanisme enkapsulasi suatu *network protocol* ke dalam *delivery protocol* yang berbeda, sehingga pada penerapannya, paket-paket IPv6 dapat dilewatkan pada jaringan IPv4, begitu juga sebaliknya. [5] [14]

##### 2.2.1.1. 6in4 Tunneling

*Tunneling 6in4* berarti enkapsulasi header IPv6 dalam header IPv4. Sedangkan sehingga paket-paket IPv6 dapat dikirim pada jaringan IPv4. Mekanisme ini telah distandarkan dalam IETF 2473. *Configured tunneling 6in4* mengkoneksikan dua jaringan IPv6 secara *point-to-point* dengan penggunaan *protocol 41*. *Tunneling 6in4* merupakan mekanisme yang paling umum digunakan saat ini, karena hampir seluruh perangkat jaringan maupun sistem operasi mendukung mekanisme *tunneling 6in4* [14].

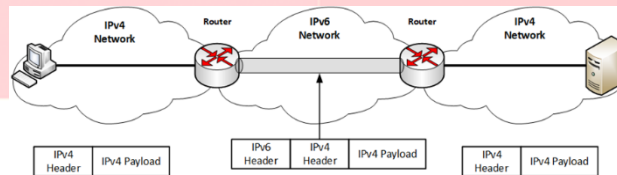


Gambar 1. Mekanisme Tunneling 6in4

Dari gambar di atas, agar *host* tersebut dapat berkomunikasi dengan *server*, maka pada *gateway* yang terhubung dengan jaringan *backbone* dibuatlah suatu *tunnel* yang melewati jaringan *backbone* tersebut. Dalam hal ini, kedua *router* tersebut memerlukan informasi dari *local address* dan *remote address* untuk membangun sebuah koneksi *tunneling*. *Local address* merupakan alamat IPv4 pada *router* itu sendiri, sedangkan *remote address* merupakan alamat IPv4 pada *router* tujuan. Selanjutnya pengiriman trafik dilakukan pada *link virtual* yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Setelah mencapai *router endpoint*, selanjutnya paket IPv4 akan didekapsulasi oleh *router endpoint* sehingga paket yang dikirimkan oleh *sender* IPv6 dapat diterima oleh penerima.

### 2.2.1.2. 4in6 Tunneling

Merupakan kebalikan dari 6in4, *tunneling* 4in6 berarti enkapsulasi *header* IPv4 dalam *header* IPv6, sehingga paket-paket IPv4 dapat dikirim pada jaringan IPv6 secara *point-to-point*. Mekanisme ini telah distandarkan pada IETF RFC 2473 [2]. Sama seperti *tunneling* 6in4, perbedaannya *host* tersebut menggunakan IPv4 akan berkomunikasi dengan *server* yang juga terletak di jaringan IPv4, namun pada jaringan *backbone* menggunakan IPv6.

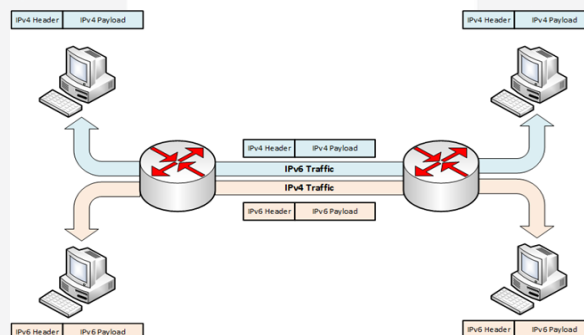


Gambar 2. Mekanisme Tunneling 4in6

Dari gambar di atas, agar *host* tersebut dapat berkomunikasi dengan *server*, maka pada *gateway* yang terhubung dengan jaringan *backbone* dibuatlah suatu *tunnel* yang melewati jaringan *backbone* tersebut. Sama halnya dengan *tunneling* 6in4, kedua *router* tersebut memerlukan informasi dari *local address* dan *remote address* untuk membangun sebuah koneksi *tunneling*. Setelah koneksi berhasil dibangun, paket-paket IPv6 dari *host* tersebut dienkapsulasi ke dalam paket IPv4, dan di dekapsulasi pada *router endpoint*.

### 2.2.2. Dual Stack

*Dual stack* adalah sebuah metode transisi dari IPv4 menuju IPv6, yang di dalamnya telah disediakan dukungan terhadap IPv4 dan IPv6, jadi dalam metode ini akan mengirimkan dan menerima paket data dalam format IPv4 dan IPv6, dan dapat berjalan bersamaan dalam sebuah perangkat di semua protokol *layer* tanpa saling mengganggu dan terpengaruh satu sama lainnya [5].



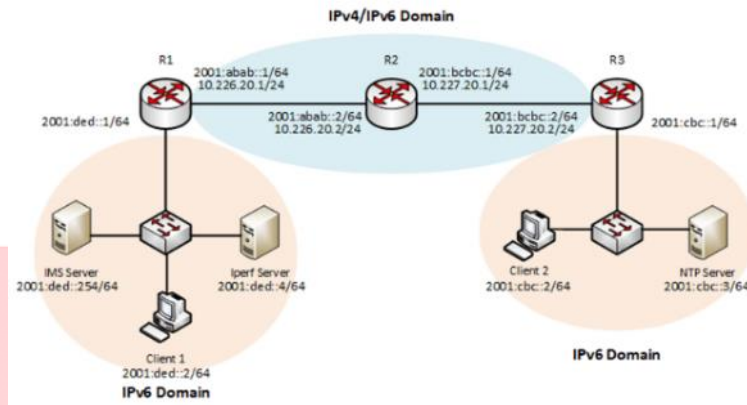
Gambar 3. Mekanisme Dual Stack

Berdasarkan gambar di atas, jika komunikasi menggunakan IPv4, maka *host* akan bertindak sebagai *host* IPv4 murni, dan jika komunikasi menggunakan IPv6 maka *host* akan bertindak sebagai *host* IPv6 murni. Proses pengiriman dan penerimaan paket data akan dilakukan secara terpisah. Untuk menggunakan metode *dual stack* ini, maka sistem operasi harus mendukung IPv6, sangat memungkinkan digunakan karena saat ini kebanyakan perangkat telah mendukung IPv6.

## 3. Perancangan

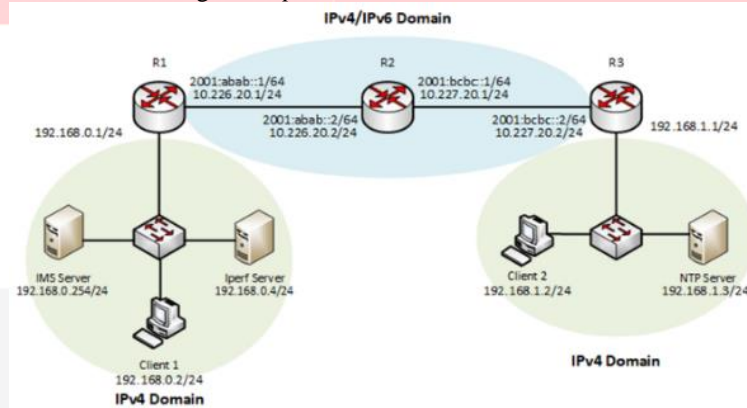
Perancangan terdiri dari 2 tipe jaringan yang diklasifikasikan berdasarkan teknik transisi, yaitu *dual stack* dan *configured tunneling*. Lalu dari masing-masing teknik transisi tersebut diklasifikasikan lagi berdasarkan pengalamatannya. Untuk mekanisme *tunneling* yaitu *tunneling* 6in4 dimana *endpoint* menggunakan pengalamatan IPv6 dan *tunneling* 4in6 dimana *endpoint* menggunakan pengalamatan IPv4. Pada mekanisme *dual stack* juga demikian, dibagi menjadi dua tipe berdasarkan pengalamatannya, yaitu dengan *endpoint* menggunakan pengalamatan IPv6 dan *endpoint* menggunakan pengalamatan IPv4. Perancangan topologi menyesuaikan dengan penelitian sebelumnya [1], [3], [13], [15]. Setelah skenario diimplementasikan, selanjutnya dilewatkan komunikasi *voice* dan *video* dengan Clearwater IMS sebagai *server*, lalu diukur performansinya meliputi *throughput*, *delay*, *jitter*, dan dilakukan perhitungan secara matematis dengan E-Model ITU-T G.107 untuk menentukan nilai MOS.

a. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv6*



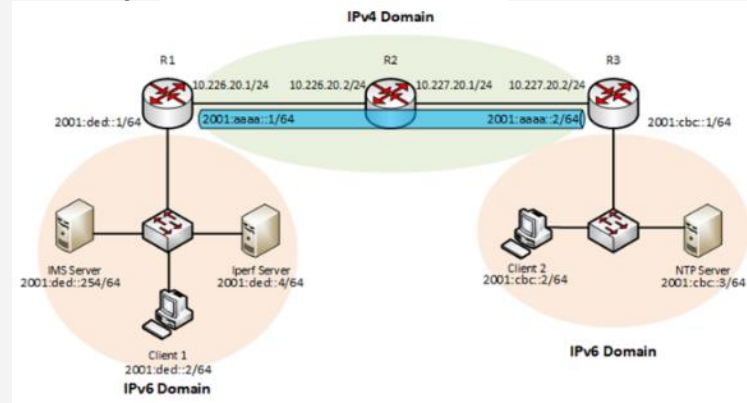
Gambar 4. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv6*

b. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv4*



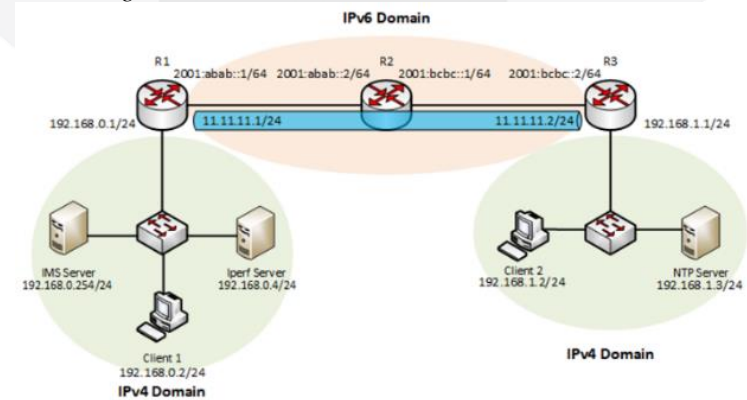
Gambar 5. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv4*

c. Topologi Jaringan *Tunneling 6in4*



Gambar 6. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv4*

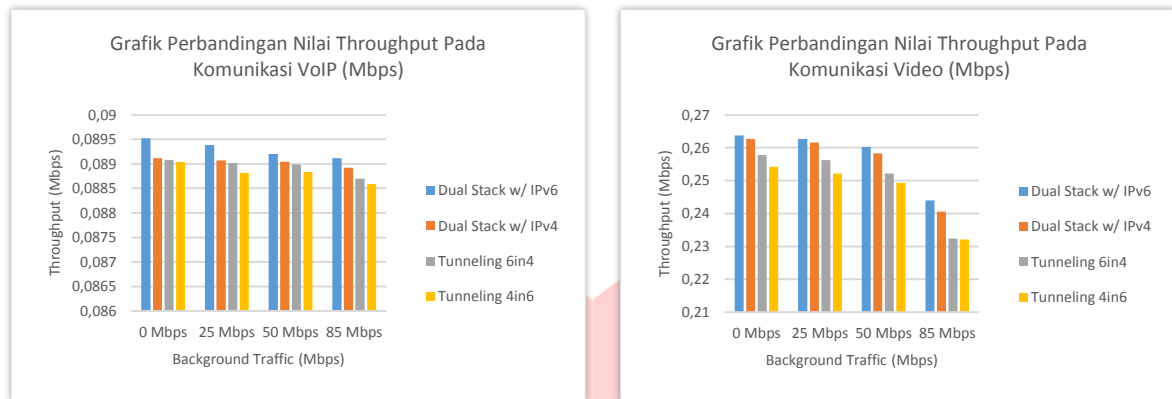
d. Topologi Jaringan *Tunneling 4in6*



Gambar 7. Topologi Jaringan *Dual Stack* Dengan *Endpoint IPv4*



#### 4.1. Pengukuran *Throughput*

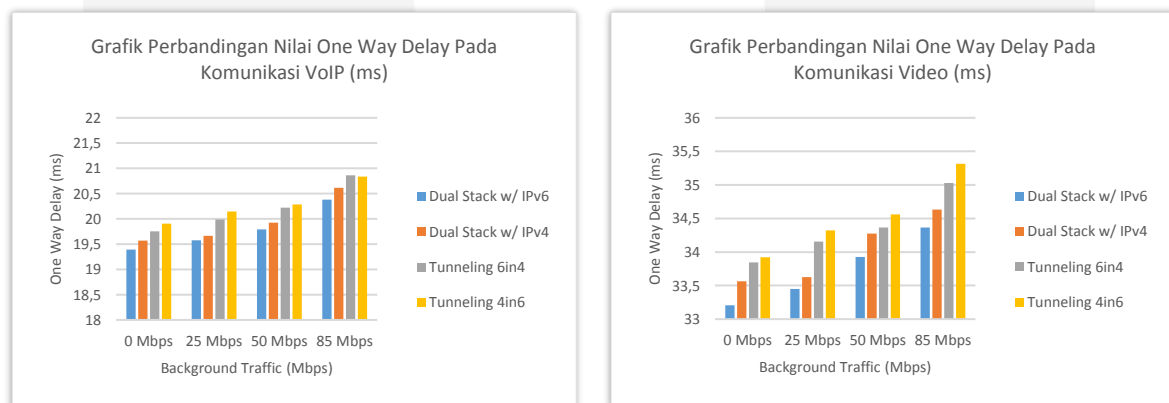


**Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai *Throughput* Untuk Layanan VoIP Dan Video Call**

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai *throughput* pada jaringan *dual stack* baik pada komunikasi IPv4 maupun IPv6 memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan mekanisme *tunneling* 6in4 dan *tunneling* 4in6. Hal ini disebabkan karena pada mekanisme *tunneling* baik *tunneling* 6in4 dan *tunneling* 4in6 terdapat 2 kali enkapsulasi dan dekapsulasi paket data, sehingga nilai mempengaruhi nilai *throughput*.

Grafik di atas juga menunjukkan komunikasi VoIP dan video call yang dilewatkan pada jaringan *tunneling* 6in4 memiliki nilai *throughput* sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan komunikasi yang dilewatkan pada jaringan *tunneling* 4in6. Sesuai yang telah tertera pada konfigurasi MikroTik, mekanisme *tunneling* 6in4 memiliki nilai MTU sebesar 1480 bytes, sedangkan pada *tunneling* 4in6 sebesar 1460 bytes. Hal tersebut mengakibatkan besaran paket yang dikirimkan pada jaringan *tunneling* 6in4 sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan mekanisme *tunneling* 4in6. Dengan demikian, *bandwidth* aktual yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket-paket data pada jaringan *tunneling* 6in4 lebih besar jika dibandingkan dengan mekanisme *tunneling* 4in6.

#### 4.2. Pengukuran *One Way Delay*



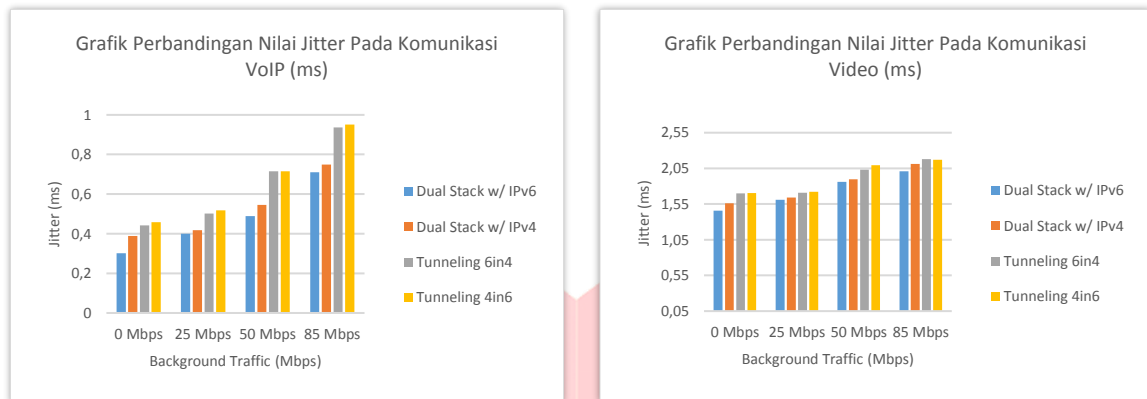
**Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai *One Way Delay* Untuk Layanan VoIP Dan Video Call**

Pada grafik di atas, terlihat nilai *delay* pada jaringan *dual stack* cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *delay* pada mekanisme *tunneling* baik *tunneling* 6in4 maupun *tunneling* 4in6. Hal ini disebabkan karena paket dilewatkan melalui sebuah koneksi *tunneling*, dimana dilakukan enkapsulasi 2 kali. Proses enkapsulasi dan dekapsulasi tersebut menambah waktu yang dibutuhkan oleh paket untuk sampai ke penerima.

Grafik di atas juga menunjukkan bahwa nilai *delay* pada *dual stack* maupun mekanisme *tunneling* dengan *host* yang menggunakan pengalamatan IPv6 memiliki nilai *delay* lebih kecil jika dibandingkan dengan *host* dengan pengalamatan IPv4. Hal tersebut dikarenakan pada IPv6, fragmentasi paket dilakukan secara *end-to-end*, sedangkan pada IPv4 fragmentasi paket dilakukan oleh setiap *host* yang dilewati, pengirim, dan penerima, yang artinya proses fragmentasi dilakukan pada tiap-tiap *node* yang dilewati, sehingga dibutuhkan waktu untuk proses fragmentasi tersebut pada setiap *node*.

Dari hasil pengukuran *one way delay* yang diperoleh, mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh ETSI dalam *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON)* [6], menunjukkan bahwa komunikasi VoIP dan *video call* yang dilewatkan pada jaringan *tunneling* 6in4, *tunneling* 4in6, serta *dual stack* memenuhi standar yang direkomendasikan oleh ETSI [6] dengan kategori Sangat Baik.

### 4.3. Pengukuran Jitter



**Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai Jitter Untuk Layanan VoIP Dan Video Call**

Pada analisa *delay*, telah diketahui bahwa nilai *delay* pada mekanisme *tunneling* lebih besar dibandingkan dengan mekanisme *dual stack* yang disebabkan karena pada mekanisme *tunneling* terdapat tambahan *header* sebesar 20 Bytes. Semakin besar ukuran paket, maka trafik di sisi jaringan maupun *buffer* juga semakin besar, dimana hal tersebut mengakibatkan variasi nilai *delay* semakin besar.

Grafik di atas juga menunjukkan bahwa semakin meningkatnya beban trafik, maka variasi nilai *delay* juga semakin besar. Semakin besar *background trafik*, maka utilitas link juga semakin besar yang menyebabkan antrian pada trafik, yang menyebabkan nilai *delay* yang semakin bervariasi dan tidak stabil. Variasi *delay* juga disebabkan oleh besarnya *congestion* yang terjadi dalam jaringan. Hal tersebut dikarenakan waktu tunggu eksekusi paket akan semakin lama untuk di *forward*.

Dari hasil pengukuran *jitter* yang diperoleh, mengacu pada standar ETSI dalam *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON)* [6], menunjukkan bahwa komunikasi VoIP dan *video call* yang dilewatkan pada jaringan *tunneling 6in4*, *tunneling 4in6*, serta *dual stack* memenuhi standar, dengan kategori “Bagus”.

### 4.4. Mean Opinion Score Menggunakan E-Model ITU-T G.107

Penentuan nilai *R-Factor* dan *Mean Opinion Score* dilakukan untuk menentukan kualitas suara. Dalam tugas akhir ini, digunakan E-Model ITU-T G.107 dimana dilakukan pendekatan secara matematis. Parameter yang digunakan adalah *delay* dan *packet loss*, dimana kedua parameter tersebut mempengaruhi kualitas suara pada VoIP dan *video call*. Perhitungan MOS dilakukan secara manual berdasarkan nilai rata-rata *delay* dan *packet loss*, dengan contoh perhitungan dengan perhitungan sebagai berikut :

- Misalkan untuk mencari nilai MOS pada layanan VoIP pada mekanisme *tunneling 6in4* dengan nilai *delay* dan *packet loss* rata-rata sebesar 19,888 ms dan 0%, maka sesuai untuk perhitungan MOS dengan menggunakan E-Model adalah sebagai berikut :

$$R = 94,2 - Id - Ief$$

$$R = 94,2 - (0,024 (d) + 0,11 (d - 177,3) H (d - 177,3)) - (7 + 30 \ln(1 + 15 e))$$

$$R = 94,2 - (0,024 (19,391) + 0,11 (19,391 - 177,3) 0 (19,391 - 177,3)) - \left(7 + 30 \ln \left(1 + 15 \left(\frac{0}{100}\right)\right)\right)$$

$$R = 94,2 - 0,4654 - 7$$

$$R = 86,734$$

- Dengan perhitungan di atas, diperoleh nilai *R-Factor* adalah sebesar 86,7045
- Untuk menghitung MOS adalah sebagai berikut :

$$MOS = 1 + 0,035 (86,734) + 86,72(86,734 - 60)(100 - 86,734) \times 7 \times 10^{-6},$$

$$MOS = 4,2510$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti di atas, maka nilai *R-Factor* dan MOS untuk keseluruhan skenario adalah sebagai berikut :

Tabel 1. MOS Layanan VoIP

Skenario	Delay	d-177,3	H(x)	Id	Packet Loss	30 ln (1+15e)	Ief	R-Factor	MOS
<b>Perhitungan MOS VoIP - Skenario Dual Stack Dengan Endpoint IPv6</b>									
0 Mbps	19,3915	-157,9085	0,0000	0,4654	0,0000	0,0000	7,0000	86,7346	4,2510
25 Mbps	19,5755	-157,7245	0,0000	0,4698	0,0000	0,0000	7,0000	86,7302	4,2509
50 Mbps	19,7939	-157,5061	0,0000	0,4751	0,0000	0,0000	7,0000	86,7249	4,2507
85 Mbps	20,3833	-156,9167	0,0000	0,4892	0,0000	0,0000	7,0000	86,7108	4,2503
<b>Perhitungan MOS VoIP - Skenario Dual Stack Dengan Endpoint IPv4</b>									
0 Mbps	19,5727	-157,7273	0,0000	0,4697	0,0000	0,0000	7,0000	86,7303	4,2509
25 Mbps	19,6660	-157,6340	0,0000	0,4720	0,0000	0,0000	7,0000	86,7280	4,2508
50 Mbps	19,9247	-157,3753	0,0000	0,4782	0,0000	0,0000	7,0000	86,7218	4,2507
85 Mbps	20,6137	-156,6863	0,0000	0,4947	0,0000	0,0000	7,0000	86,7053	4,2502
<b>Perhitungan MOS VoIP - Skenario Tunneling 6in4</b>									
0 Mbps	19,7563	-157,5437	0,0000	0,4742	0,0000	0,0000	7,0000	86,7258	4,2508
25 Mbps	19,9898	-157,3102	0,0000	0,4798	0,0000	0,0000	7,0000	86,7202	4,2506
50 Mbps	20,2249	-157,0751	0,0000	0,4854	0,0000	0,0000	7,0000	86,7146	4,2504
85 Mbps	20,8630	-156,4370	0,0000	0,5007	0,0000	0,0000	7,0000	86,6993	4,2500
<b>Perhitungan MOS VoIP - Skenario Tunneling 4in6</b>									
0 Mbps	19,9076	-157,3924	0,0000	0,4778	0,0000	0,0000	7,0000	86,7222	4,2507
25 Mbps	20,1493	-157,1507	0,0000	0,4836	0,0000	0,0000	7,0000	86,7164	4,2505
50 Mbps	20,2832	-157,0168	0,0000	0,4868	0,0000	0,0000	7,0000	86,7132	4,2504
85 Mbps	20,8345	-156,4655	0,0000	0,5000	0,0000	0,0000	7,0000	86,7000	4,2500

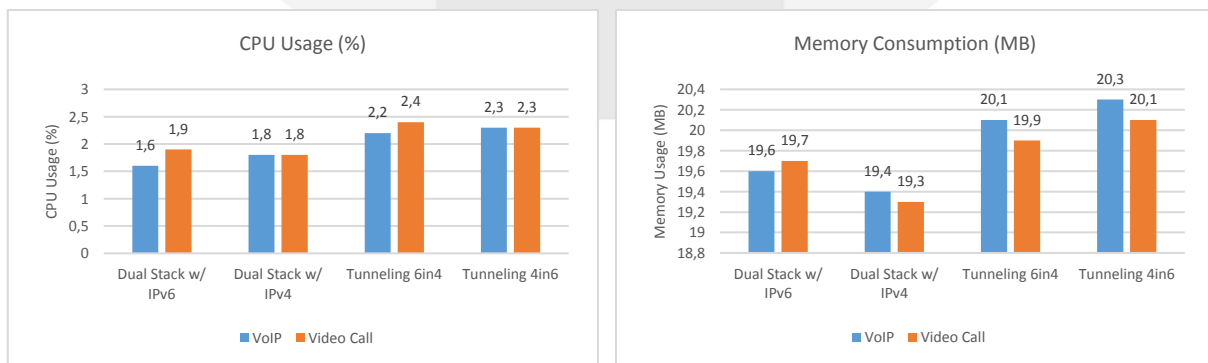
Tabel 2. MOS Layanan Video Call

Skenario	Delay	d-177,3	H(x)	Id	Packet Loss	30 ln (1+15e)	Ief	R-Factor	MOS
<b>Perhitungan MOS Video Call - Skenario Dual Stack Dengan Endpoint IPv6</b>									
0 Mbps	33,2067	-144,0933	0,0000	0,7970	0,0000	0,0000	7,0000	86,4030	4,2412
25 Mbps	33,4501	-143,8499	0,0000	0,8028	0,0000	0,0000	7,0000	86,3972	4,2411
50 Mbps	33,9289	-143,3711	0,0000	0,8143	0,0000	0,0000	7,0000	86,3857	4,2407
85 Mbps	34,3654	-142,9346	0,0000	0,8248	0,0000	0,0000	7,0000	86,3752	4,2404
<b>Perhitungan MOS Video Call - Skenario Dual Stack Dengan Endpoint IPv4</b>									
0 Mbps	33,5621	-143,7379	0,0000	0,8055	0,0000	0,0000	7,0000	86,3945	4,2410
25 Mbps	33,6275	-143,6725	0,0000	0,8071	0,0000	0,0000	7,0000	86,3929	4,2409
50 Mbps	34,2738	-143,0262	0,0000	0,8226	0,0000	0,0000	7,0000	86,3774	4,2405
85 Mbps	34,6316	-142,6684	0,0000	0,8312	0,0000	0,0000	7,0000	86,3688	4,2402
<b>Perhitungan MOS Video Call - Skenario Tunneling 6in4</b>									
0 Mbps	33,8449	-143,4551	0,0000	0,8123	0,0000	0,0000	7,0000	86,3877	4,2408
25 Mbps	34,1568	-143,1432	0,0000	0,8198	0,0000	0,0000	7,0000	86,3802	4,2406
50 Mbps	34,3641	-142,9359	0,0000	0,8247	0,0000	0,0000	7,0000	86,3753	4,2404
85 Mbps	35,0296	-142,2704	0,0000	0,8407	0,0000	0,0000	7,0000	86,3593	4,2399
<b>Perhitungan MOS Video Call - Skenario Tunneling 4in6</b>									
0 Mbps	33,9211	-143,3789	0,0000	0,8141	0,0000	0,0000	7,0000	86,3859	4,2407
25 Mbps	34,3216	-142,9784	0,0000	0,8237	0,0000	0,0000	7,0000	86,3763	4,2404
50 Mbps	34,5621	-142,7379	0,0000	0,8295	0,0000	0,0000	7,0000	86,3705	4,2403
85 Mbps	35,3154	-141,9846	0,0000	0,8476	0,0000	0,0000	7,0000	86,3524	4,2397

Berdasarkan tabel 4.2 dan 4.3, didapat nilai MOS baik untuk VoIP maupun *video call* pada skenario *background traffic* 0 hingga 85 Mbps, didasarkan pada ITU-T P.800, maka semua skenario memiliki kategori “*Satisfied*”, yang artinya nilai *delay* tersebut masih ditoleransi untuk melakukan komunikasi.

4.5. Pengukuran CPU Usage Dan Memory Usage

Pengukuran CPU *usage* dan *memory usage* pada *router* bertujuan untuk mengukur besarnya penggunaan *resources* dalam implementasi infrastruktur jaringan yang telah diimplementasikan, dimana dilakukan pengujian pada R2 yang difungsikan sebagai *middle router*, mengacu pada penelitian sebelumnya [1]. Pengukuran CPU dan *memory usage* dilakukan menggunakan fitur *resources monitoring* pada MikroTik. Adapun hasil dari pengukuran adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Grafik CPU Dan Memory Usage Pada Masing-Masing Skenario

Dari grafik di atas, baik pada pengukuran CPU *usage* maupun memory usage, didapatkan pada skenario dual stack memiliki konsumsi yang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan mekanisme *tunneling*. Hal tersebut disebabkan pada mekanisme *tunneling*, terdapat proses *tunnel setup*, serta terdapat dua kali enkapsulasi, yang menyebabkan paket yang dilewatkan pada jaringan *tunneling* memiliki ukuran yang lebih besar jika dibandingkan dengan jaringan *dual stack*, karena pada mekanisme *tunneling*, terdapat tambahan *header* sebesar 20 Bytes, hal tersebut mempengaruhi pemrosesan paket saat proses *forwarding*.

## 5. Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, adapun kesimpulan sebagai berikut :

1. Mekanisme transisi dengan metode *dual stack* dan *configured tunneling* baik *tunneling* 6in4 maupun 4in6 berhasil diimplementasikan menggunakan *Routerboard* MikroTik RB-941.
2. Berdasarkan pengukuran *Quality of Services* yang telah dilakukan, mekanisme *dual stack* memiliki nilai *throughput* yang sedikit lebih baik jika dibandingkan mekanisme *tunneling*.
3. Berdasarkan nilai *delay* dan *jitter*, baik pada layanan VoIP maupun *video call* yang dilewatkan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan mekanisme *tunneling*. Hal ini disebabkan karena pada mekanisme *tunneling* terdapat proses enkapsulasi 2 kali, sehingga terdapat waktu tambahan saat melewatkan trafik
4. Pada pengukuran CPU *usage* dan , mekanisme *tunneling* baik *tunneling* 6in4 maupun 4in6 cenderung sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan mekanisme *dual stack*. Hal tersebut karena pada mekanisme *tunneling* menggunakan sebuah *virtual interface* untuk pengiriman paket data.

Sedangkan saran untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Mengimplementasikan mekanisme *tunneling* 4in6 dalam *tunnel broker*.
2. Menganalisa dan melakukan pembuktian sisi keamanan IPv6 dibandingkan dengan IPv4.
3. Dapat dilanjutkan dengan pengukuran QoS dengan *client* berbasis WebRTC.
4. Melakukan implementasi dan analisis terhadap *tunneling protocol-41* lain, seperti 6over4, 6rd, ISATAP.
5. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai 4rd (4 *Rapid Deployment*).

## DAFTAR PUSTAKA :

- [1]. A. Albkerat, B. Issac. "Analysis of IPv6 Transition Technology". International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.6, No.5, September 2014.
- [2]. A. Conta. "Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification". Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 2473. December 1998.
- [3]. A. Fajar. "Implementasi Layanan Multiplay dalam Jaringan Hybrid IPv4 dan IPv6 dengan Metode Tunneling dan Dual Stack". Bandung, Repository : Telkom University. 2016.
- [4]. A. Mirsa, H. Chawla. "Performance Analysis of IPv6 Dual-Protocol Stack and Tunnel Transition". International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). pp.1494-1499. 2016
- [5]. E. Nordmark. "Basic Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers" Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 4213. October 2005.
- [6]. European Telecommunications Standards Institute (ETSI). "Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) ; General aspects of Quality of Service". ETSI TR 101 329 V2.1.1. 1999.
- [7]. G. R. Paramayudha. "Analisa Perbandingan Performansi Jaringan IPv4, IPv6, Dan Tunneling 6to4 Untuk Aplikasi File Transfer Protocol (FTP) Pada Media Wired Dan Wireless Client". Depok, Repository : Universitas Indonesia. 2010.
- [8]. ITU-T. "The E-Model : A Computational Model For Use In Transmission Planning". ITU-T Recommendation G.107, 2000.
- [9]. L. T. Switching, Modul Praktikum Switching, Bandung : Laboratorium Teknik Switching, 2015.
- [10]. MikroTik IPv6 Overview [Online]. Link : [https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:IPv6\\_Overview](https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:IPv6_Overview). Diakses : Januari 2018.
- [11]. Project Clearwater. "Clearwater Architecture" [Online]. Link : <http://www.projectclearwater.org/technical/clearwater-architecture/>. Diakses : Desember 2017.
- [12]. Purbo, Onno. W., Raharjo, Sarujih. "IPv6 Fondasi Masa Depan". Penerbit : Andi Publisher. 2016.
- [13]. S. Narayan, S. Ishrar, A. Kumar, R. Gupta, Z. Khan. "Performance Analysis of 4to6 and 6to4 Transition Mechanisms over Point to Point and IPsec VPN Protocols". Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2016 Thirteenth International Conference. ISBN: 978-1-4673-8975-4. 2016.
- [14]. S. Steffan, I. Van Beijnum. "A Comparison of IPv6-over-IPv4 Tunnel Mechanisms". Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 7059. November 2013.
- [15]. Y. Sookun. "Performance Analysis of IPv4/IPv6 Transition Techniques". IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies (EmergiTech), pp.188-193. 2016.