

Implementasi dan Analisis Pelayanan VoIP pada Jaringan MPLS dengan Menggunakan Traffic Engineering

Ahmad Zainuri

Jurusan Teknik Informatika S1, Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Dian Nuswantoro Semarang

Email : ahmad.zainuri02@gmail.com

Abstrak

VoIP adalah teknologi yang menawarkan telepon yang melewati trafik suara melalui jaringan IP (Internet Protocol), namun jaringan IP yang digunakan oleh teknologi VoIP mempunyai kelemahan pada implementasi QoS (*Quality of Service*), selain itu teknologi VoIP juga membutuhkan jaringan yang handal karena menggunakan *real-time forwarding packet data*, dimana data dikirim dan diterima secara *real-time*, sehingga apabila terdapat kegagalan pengiriman packet, maka akan mempengaruhi kualitas suara yang dihasilkan. Salah satu solusi yang diberikan oleh IETF adalah jaringan MPLS *Traffic Engineering*. Jaringan ini memadukan mekanisme *label swapping* di *layer 2* dan *routing* di *layer 3* dengan menyeimbangkan beban trafik (*Traffic Engineering*) pada berbagai jalur dan titik dalam *network*. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan *router* mikrotik untuk membuktikan kebenaran perbaikan kualitas jaringan dengan menggunakan MPLS *Traffic Engineering*. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian pada saat telepon, telepon dan bandwidth penuh serta telepon dan terjadi link down. Sedangkan parameter QoS yang dibandingkan adalah parameter *delay*, *jitter*, *packet loss*, *mos* dan *r-factor*. Dari hasil analisa data, dapat disimpulkan bahwa jaringan MPLS *Traffic Engineering* memiliki kualitas QoS yang lebih efisien dibandingkan dengan jaringan IP.

Kata kunci: voice over internet protocol, multi protocol label switching, rekayasa trafik, kualitas layanan

I. PENDAHULUAN

Teknologi yang saling menghubungkan berbagai komputer di dunia dapat bertukar informasi dan data, serta dapat digunakan untuk saling berkomunikasi berupa gambar, suara, maupun video. Perkembangan jaringan komputer yang begitu pesat dapat mengirimkan trafik suara melalui jaringan komputer yang dikenal dengan nama VoIP (Voice Over Internet Protocol).

VoIP adalah teknologi yang menawarkan telepon yang mengirimkan trafik suara melalui jaringan IP (Internet Protocol). Dengan teknologi ini dapat mengubah suara menjadi kode digital melalui jaringan paket-paket data, bukan sirkuit analog telepon biasa. Penggunaan jaringan IP untuk komunikasi telepon memungkinkan untuk meminimalisasi biaya dikarenakan tidak perlu membangun infrastruktur baru untuk komunikasi suara dan penggunaan lebar data (*bandwidth*) yang lebih kecil dibandingkan dengan telepon biasa.

Penggunaan teknologi VoIP sudah pasti menguntungkan bagi penggunanya, namun jaringan IP yang digunakan oleh teknologi VoIP

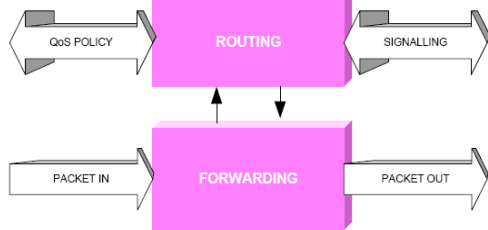
mempunyai kelemahan pada implementasi QoS (Quality of Service), selain itu teknologi VoIP juga membutuhkan jaringan yang handal karena menggunakan *real-time forwarding packet data*, dimana data dikirim dan diterima secara *real-time*, sehingga apabila terdapat kegagalan pengiriman paket, maka akan mempengaruhi kualitas suara yang dihasilkan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk meningkatkan performansi QoS jaringan ke dalam jaringan IP salah satunya yaitu MPLS (Multi Protocol Label Switching). Penggunaan MPLS merupakan salah satu alternatif pengiriman komunikasi suara yang lebih cepat dan handal karena telah memanfaatkan *layer 2* (*switching*) dan *layer 3* (*routing*) dan menggunakan proses pelabelan setiap pengiriman paket data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

3.1 MPLS

Multi-protocol label switching (MPLS) adalah arsitektur *network* yang didefinisikan oleh IETF untuk memadukan mekanisme *label*

swapping di *layer 2* dengan *routing* di *layer 3* untuk mempercepat pengiriman paket.



Gambar 1: Mekanisme pada jaringan MPLS

Pada gambar 1 merupakan ilustrasi pemisahan antara *routing* dan *forwarding* yang mana *routing* merupakan jaringan global yang membutuhkan kerjasama antar *router* sebagai partisipan. Protokol *routing* menentukan arah pengiriman paket dengan bertukar info *routing*. Sedangkan *forwarding* merupakan hal yang ada pada *local router*.

Pada proses *forwarding*, protokol ini menentukan *forwarding* berdasarkan label pada paket. Label yang pendek dan berukuran tetap mempercepat proses *forwarding* dan mempertinggi fleksibilitas pemilihan *path*. Hasil *forwarding* adalah *network datagram* yang bersifat lebih *connection-oriented* yaitu setiap *virtual circuit* harus disetup dengan protokol persinyalan sebelum transmisi (proses *signaling*).

Kebijakan kualitas paket (QoS Policy) menentukan paket yang sesuai dengan ketentuan administratif tingkat lalu lintas. Pada proses ini dapat dilakukan *mark packet* atau *packet drop*^[7]. Sngghn dth thrtf fg th tddt hdthhtrhrt hrth rth rth h rhrthr

3.2 MPLS Traffic Engineering

MPLS TE mengkombinasi kemampuan *traffic engineering* dengan fleksibilitas IP dan pembagian kelas layanan (Class of Service). MPLS TE memperbolehkan untuk pembuatan *Label-Switched Paths* (LSPs) lewat jaringan yang kemudian dapat diturunkan (*traffic down*). MPLS TE menggunakan sebuah mekanisme yang disebut *autoroute* (hanya penggantian lingkaran-rute protocol dengan nama yang sama) untuk membuat daftar rute menggunakan MPLS TE LSP tanpa membentuk banyak lubang dari rute yang bersebelahan.

MPLS TE menyediakan *bandwidth* pada jaringan ketika MPLS TE membuat LSP. Penyediaan *bandwidth* untuk sebuah LSP memperkenalkan konsep sumber yang siap dikonsumsi (*consumable resource*)^[7].

3.3 VoIP

VoIP (Voice Over Internet Protocol) adalah teknologi berupa hardware atau software yang memungkinkan percakapan telepon dengan menggunakan jalur komunikasi data pada suatu jaringan komputer. Teknologi ini dengan cara mengubah format suara menjadi format digital tertentu sehingga dapat dilewatkan melalui jalur IP.

Penggunaan VoIP memiliki keuntungan seperti dari segi biaya, jelas lebih murah dibandingkan dengan tarif telepon analog, karena menggunakan teknologi IP yang bersifat global sehingga dapat memanfaatkan infrastruktur yang ada tanpa melakukan pengadaan infrastruktur tersendiri untuk pelayanan voice, serta biaya maintenance yang lebih murah karena voice dan data menggunakan infrastruktur yang sama^[3]

3.4 QOS

Quality of Service adalah istilah yang digunakan untuk menentukan kemampuan sebuah jaringan untuk menyediakan berbagai tingkat layanan jaminan untuk berbagai bentuk trafik. Hal ini memungkinkan *administrator* jaringan untuk menetapkan prioritas lalu lintas data sesuai dengan tingkat kepekaan data yang berhubungan dengan *bandwidth* jaringan atau *end-to-id delay*.

Secara khusus, fitur-fitur yang menyediakan peningkatan dan kemudahan memprediksi *service network* adalah dengan menyediakan layanan-layanan berikut :

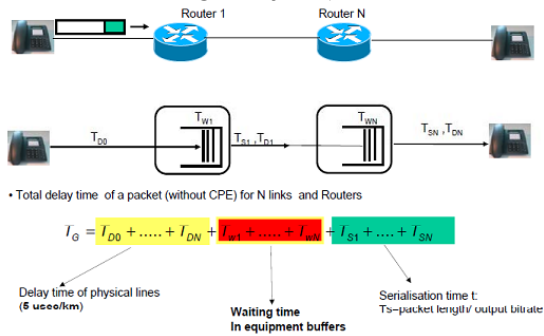
- a. Mendukung dedikasi *bandwidth*.
- b. Menghindari kemacetan jaringan.
- c. Membentuk lalu lintas jaringan.
- d. Menetapkan prioritas lalu lintas di seluruh jaringan.

3.5 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket data terhitung dari saat pengiriman oleh *transmitter* sampai saat diterima oleh *receiver*. *Delay* untuk komunikasi suara :

- a. *Propagation delay* (delay yang terjadi akibat transmisi melalui jarak antar pengirim dan penerima).
- b. *Serialization delay* (delay pada saat proses peletakan bit ke dalam circuit).
- c. *Processing delay* (delay yang terjadi saat proses coding, compression, decompression dan decoding).

- d. *Packetization delay* (delay yang terjadi saat proses pakettisasi digital voice sample).
- e. *Queuing delay* (delay akibat waktu tunggu paket sampai dilayani)
- f. *Jitter buffer* (delay akibat adanya buffer untuk mengatasi jitter)



Gambar 2: Proses terjadinya delay

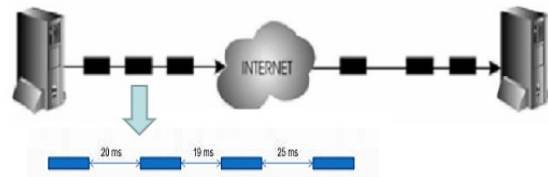
Tingkat kualitas jaringan IP berdasarkan waktu delay dapat dilihat pada tabel berikut :

Waktu Delay	Kategori
0 - 150ms	Dapat diterima untuk kebanyakan aplikasi pengguna
150 - 30ms	Masih dapat diterima jika pelaksana (administrator) telah mengetahui akibat waktu transmisi pada QoS aplikasi pengguna
Lebih dari 300ms	Tidak dapat diterima untuk perencanaan rancangan jaringan pada umumnya; bagaimana pun juga, hal ini disadari bahwa kasus-kasus tertentu batas ini akan terlampaui

Tabel 1: Kategori Waktu Delay

3.6 Jitter

Jitter adalah variasi *delay*, yaitu perbedaan selang waktu kedatangan antar paket di terminal tujuan. Untuk mengatasi *jitter* maka paket data yang datang dikumpulkan dulu dalam *jitter buffer* selama waktu yang telah ditentukan sampai paket data diterima pada sisi penerima dengan urutan yang benar. Nilai *jitter* yang direkomendasikan oleh ITU – T Y.1541 adalah dibawah 50 ms. Ilustrasi terjadi *jitter* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3: Proses terjadinya jitter

Rumus : $J1 = (t2-t1), J2 = (t3-t2), \dots$

Jika keterlambatan dua paket berturut – turut adalah $t1$ dan $t2$, maka paket untuk variasi *delay* paket adalah $(t2-t1)$. Misalnya perangkat VoIP mengirimkan satu RTP paket setiap 20 ms, namun pada gambar tersebut menerangkan bahwa pada kenyataan paket tidak datang tepat setelah 20 ms (25 ms).

Tingkat kualitas jaringan IP berdasarkan variasi waktu tunda dapat dilihat pada tabel berikut :

Kategori Kualitas	Variasi Waktu Tunda
Baik	0 - 20ms
Dapat Diterima	20 - 50ms
Tidak Dapat Diterima	> 50ms

Tabel 2: Kualitas Jaringan IP berdasarkan Variasi Waktu Tunda

3.7 packet loss

Packet loss adalah banyak paket yang hilang selama proses transmisi ke tujuan. Penyebab terjadinya *packet loss* yaitu :

- a. Terjadi tabrakan data atau antrian penuh.
- b. *Link* atau *hardware* disebabkan *CRC error*.
- c. Perubahan rute (temporary drop) atau *blackhole route* (persistent drop).
- d. *Interface on router down*.
- e. *Misconfigured access-list*.

Tingkat kualitas jaringan IP berdasarkan tingkat paket hilang dapat dilihat pada tabel berikut :

Kategori Kualitas	Tingkat Paket Hilang
Baik	0 - 1%
Dapat Diterima	1 - 5%
Cukup Dapat Diterima	5 - 10%
Tidak Dapat Diterima	> 10%

Tabel 3: Kualitas jaringan IP berdasarkan Tingkat Paket Hilang

3.8 MOS

Merupakan sistem penilaian yang berhubungan dengan kualitas suara yang didengar pada ujung pesawat penerima. Standar penilaian MOS di keluarkan oleh International Telecommunication Union (ITU-T) pada tahun

1996 (ITU-T P.800, 1996). MOS memberikan penilaian kualitas suara dengan skala 1 (satu) sampai 5 (lima), di mana satu merepresentasikan kualitas suara yang tidak direkomendasikan dan lima merepresentasikan kualitas suara yang sangat memuaskan. Penilaian dengan menggunakan MOS masih bersifat subyektif karena kualitas pendengaran dan pendapat dari masing-masing pendengar berbeda-beda.

Metode MOS dirasakan kurang efektif untuk mengestimasi kualitas layanan suara untuk VoIP, hal ini dikarenakan :

- Tidak terdapatnya nilai yang pasti terhadap parameter yang mempengaruhi kualitas layanan suara dalam VoIP.
- Setiap orang memiliki standar yang berbeda-beda terhadap suara yang mereka dengar dengan hanya melalui percakapan.

Rekomendasi Rekomendasi ITU-T P.800 untuk nilai kualitas dapat dilihat pada tabel berikut :

Skala	Keterangan
1.0 - 2.5	Tidak Direkomendasikan
2.6 - 3.0	Tidak Memuaskan
3.1 - 3.5	Kurang Memuaskan
3.6 - 3.9	Puas
4.0 - 4.5	Memuaskan
4.6 - 5.0	Sangat Memuaskan

Tabel 4: Rekomendasi ITU-T P.800 untuk Nilai Kualitas

3.9 R-Factor

Di dalam jaringan VoIP, tingkat penurunan kualitas yang diakibatkan oleh transmisi data memegang peranan penting terhadap kualitas suara yang dihasilkan, hal yang menjadi penyebab penurunan kualitas suara ini di antaranya adalah delay, packet loss dan echo. Pendekatan matematis yang digunakan untuk menentukan kualitas suara berdasarkan penyebab menurunnya kualitas suara dalam jaringan VoIP dimodelkan dengan E – Model yang distandarkan kepada ITU-T G.107.

Nilai akhir estimasi E-Model disebut dengan *r-factor*. *R-factor* didefinisikan sebagai faktor kualitas transmisi yang dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti *signal to noise ratio* dan *echo* perangkat, *codec* dan kompresi, *packet loss*, dan *delay*. *R-factor* ini didefinisikan sebagai berikut :

$$R = 94.2 - I_d - I_e$$

dengan :

I_d = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh pengaruh *delay* satu arah

I_e = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh teknik kompresi dan *packet loss* yang terjadi

Nilai I_d dan I_e ditentukan dari persamaan berikut :

$$I_d = 0.024 d + 0.11(d - 177.3) H(d - 177.3)$$

$$I_e = 7 + 30 \ln(1 + 15 e)$$

Nilai I_e tergantung pada metode kompresi yang digunakan. Nilai *r-factor* secara keseluruhan dihitung dari persamaan berikut:

$$R = 94.2 - [0.024 d + 0.11(d - 177.3) H(d - 177.3)] - [7 + 30 \ln(1 + 15 e)]$$

Dengan :

R = faktor kualitas transmisi d = *delay* satu arah (ms)

H = fungsi tangga ; dengan ketentuan

$H(x) = 0$ jika $x < 0$, lainnya

$H(x) = 1$ untuk $x \geq 0$

e = persentase besarnya *packet loss* yang terjadi (dalam bentuk desimal)

Untuk mengubah estimasi dari nilai R ke dalam MOS terdapat ketentuan sebagai berikut :

- Untuk $R < 0$ maka MOS = 1

- Untuk $R = 100$ maka MOS = 4.5

- Untuk $0 < R < 100$ maka

$$MOS = 1 + 0.035R + (7 \times 10^{-6} R(R-60)(100-R))100$$

Nilai *r-factor* mengacu kepada standar MOS, hubungannya dapat dilihat pada tabel berikut :

No	MOS	R-Factor	Keterangan
1	1.0 - 2.5	0 - 49	Tidak Direkomendasikan
2	2.6 - 3.0	50 - 59	Tidak Memuaskan
3	3.1 - 3.5	60 - 69	Kurang Memuaskan
4	3.6 - 3.9	70 - 79	Puas
5	4.0 - 4.5	80 - 89	Memuaskan
6	4.6 - 5.0	90 - 99	Sangat Memuaskan

Tabel 5: Korelasi antara E-Model dengan MOS

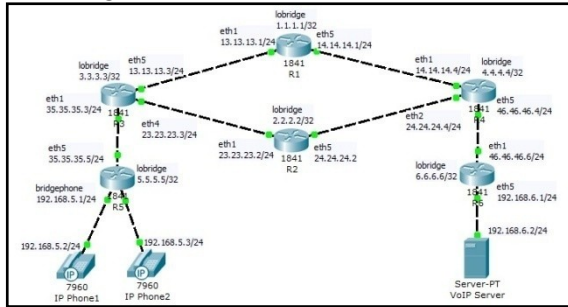
III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dirancang 2 buah jaringan yang akan dianalisis dengan menggunakan 6 buah router mikrotik, 2 buah ip phone dan sebuah server voip yang selanjutnya akan dilakukan pengujian untuk mendapatkan informasi kualitas jaringan. Berikut ini adalah jaringan yang telah dianalisis :

- a. Jaringan IP
- b. Jaringan MPLS Traffic Engineering

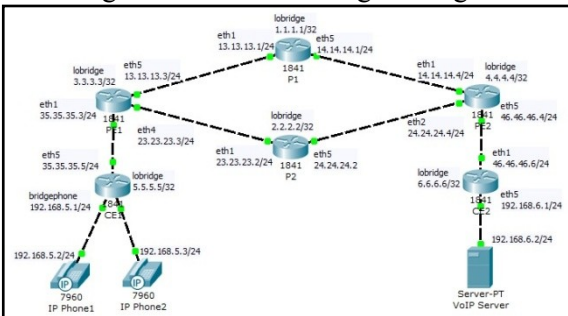
Berikut ini adalah topologi masing – masing jaringan :

a. Jaringan IP



Gambar 4. Topologi jaringan IP

b. Jaringan MPLS Traffic Engineering



Gambar 5. Topologi jaringan MPLS Traffic Engineering

Cara kerja sistem ini adalah kedua ip phone akan melakukan register ke voip server, lalu melakukan telepon dari ip phone1 ke ip phone2.

IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian

Pengujian yang dilakukan terdiri dari :

- a. Pengujian Jaringan
Pengujian jaringan dilakukan untuk mengetahui apakah jaringan yang dibuat berhasil saling terkoneksi atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan perintah ping pada cmd ke alamat 192.168.6.2.
- b. Pengujian Failover Jaringan
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui penanganan yang dilakukan oleh *protocol* jaringan IP dan MPLS Traffic Engineering saat terjadi link down pada jalur utama.
- c. Pengujian QoS
Pengujian QoS dilakukan untuk mengetahui *delay*, *jitter*, *packetloss*, *mos* dan *r-factor*.

Pengujian ini menggunakan *software ping plotter* dan *VQManager*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang valid.

4.2 Hasil Pengujian

a. Pengujian Jaringan

```
C:\Users\nurizainuri>ping 192.168.6.2

Pinging 192.168.6.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.6.2: bytes=32 time=1ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=32 time=1ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=32 time=2ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=32 time=1ms TTL=59

Ping statistics for 192.168.6.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 2ms, Average = 1ms

C:\Users\nurizainuri>tracert 192.168.6.2
```

Gambar 6. Hasil Pengujian Jaringan

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa jaringan sudah reply dari 192.168.6.2 (voip server) hal ini berarti jaringan sudah terhubung dengan server dengan *delay* 1 ms dan TTL 59.

b. Pengujian Failover Jaringan

Pengujian failover jaringan dilakukan dengan mematikan jalur utama yang digunakan oleh *router* untuk mengirimkan paket. Pada saat jalur utama dimatikan, secara otomatis *router* akan menggunakan jalur *backup* untuk menjaga konvergensi antar *router* sehingga dapat meminimalisir kehilangan paket pada saat transfer data.

Failover jaringan IP

```
C:\Users\nurizainuri>ping 192.168.6.2 -l 1500 -n 20

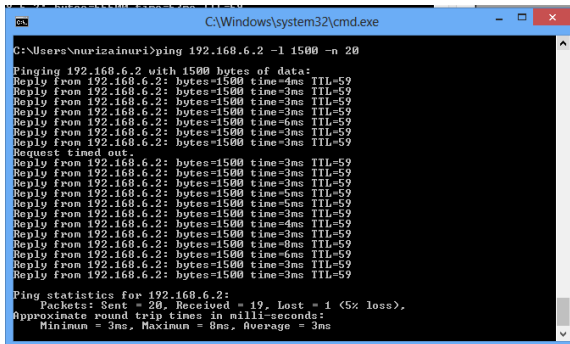
Pinging 192.168.6.2 with 1500 bytes of data:
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Request timed out.
Reply from 192.168.5.1: Destination net unreachable.
Reply from 192.168.5.1: Destination net unreachable.
Reply from 192.168.5.1: Destination net unreachable.
Reply from 35.35.35.3: Destination net unreachable.
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59
Reply from 192.168.6.2: bytes=1500 time=3ms TTL=59

Ping statistics for 192.168.6.2:
    Packets: Sent = 20, Received = 19, Lost = 1 (5% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 3ms, Maximum = 4ms, Average = 3ms
```

Gambar 7. Failover Jaringan IP

Berdasarkan gambar 7 pada jaringan IP terdapat 1 kali RTO dan 4 kali destination net unreachable dengan paket yang dikirim 20 dan paket yang diterima 19, dengan paket loss 5%.

Failover jaringan MPLS Traffic Engineering



Gambar 8. Failover Jaringan MPLS

Berdasarkan gambar 8 pada jaringan MPLS Traffic Engineering terdapat 1 kali RTO dengan paket yang dikirim 20 dan paket yang diterima 19, dengan paket loss 5%.

c. Pengujian *Quality of Service*

Pengujian QoS digunakan untuk mengetahui kualitas jaringan IP dan MPLS Traffic Engineering saat menangani proses telepon yang melewati jaringan tersebut.

c.1 Pengujian pada saat proses telepon

Proses pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan telepon dari ip phone1 ke ip phone2.

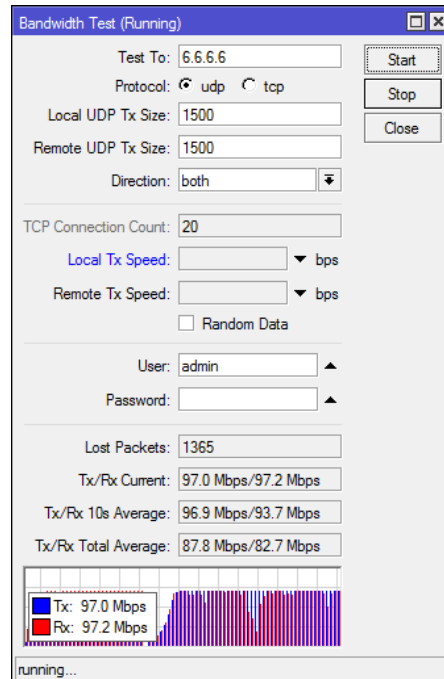
Pada saat terjadi proses telepon tersebut dilakukan pengujian dengan *software* ping plotter dan VQManager. Ping plotter akan menampilkan data *delay*, *jitter* dan *packetloss*, sedangkan VQManager akan menampilkan *mos* dan *r-factor*.

c.2 Pengujian pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

Untuk pengujian pada saat proses telepon dan *bandwith* penuh dengan cara melakukan telepon lalu melakukan *bandwith test* pada router CE2 / R6 yang merupakan router dari jaringan server agar *bandwith* dari CE1/R5 ke CE2/R6 penuh. Pengujian dilakukan dari router CE1/R5 menggunakan tool *bandwidth test* pada winbox.

Langkah untuk melakukan *bandwidth test* adalah remote router menggunakan winbox, lalu pilih menu *tools*, pilih tab *bandwidth tests*, masukkan ip router CE2/R6 192.168.6.1, masukkan *username* dan *password* dari router CE2/R6, pilih *direction both* yang berarti ada

proses *upload* dan *download*, pilih *protokol* udp karena kita akan membanjiri dengan trafik udp yang merupakan *protokol* yang digunakan voip untuk berkomunikasi, seperti pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. Bandwidth test ke router CE2/R6

Setelah klik tombol *start* akan muncul *grafik receive* dan *send bandwith* yang terdapat pada bagian bawah saat melakukan *test bandwith* pada router CE2/ R6 yang terlihat sekitar 97Mbps untuk *receive* dan *send* yang hampir memenuhi *bandwith* dari *fast ethernet*.

c.3 Pengujian pada saat proses telepon dan link down

Untuk pengujian pada saat telepon dan link down yaitu dengan melakukan proses telepon, dan mencoba mematikan salah satu *link* dengan melakukan *disable* pada salah satu *interface* untuk menguji performansi perpindahan jalur pada jaringan IP dan jaringan MPLS Traffic Engineering.

Langkah untuk membuat salah satu *link down* yaitu dengan memberikan perintah *disable* pada interface eth1 router R1 pada jaringan IP, dan untuk jaringan MPLS Traffic Engineering melakukan *disable* interface eth1 pada router P1.

Command : [admin@R1 / P1] > interface ethernet disable 0

Perintah *disable interface* tersebut dilakukan untuk men-*disbale* eth1 pada R1/P1 beberapa saat setelah proses pengambilan data dengan *software* ping plotter dan VQManagewr dimulai untuk mengetahui performansi QoS pada saat *link down*.

4.3 Hasil Pengujian Quality of Service

Tabel 6. Perbandingan *delay* pada saat proses telepon

<i>Protocol</i>	<i>Delay</i>
IP	0
MPLS TE	0

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *delay* pada saat melakukan telepon untuk jaringan IP dan jaringan MPLS *Traffic Engineering* adalah sama yaitu 0 ms yang menunjukkan bahwa kualitas telepon pada saat pengujian pada kedua jaringan adalah bagus dan juga dapat diterima

Tabel 7. Perbandingan *delay* pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

<i>Protocol</i>	<i>Delay</i>
IP	170.1
MPLS TE	122,2

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *delay* pada saat pengujian telepon dan bandwith penuh untuk jaringan IP mencapai 170,1 ms, lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai 122,2 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis, teknik penyediaan *bandwidth* yang optimal pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* dapat melewati paket data lebih cepat daripada jaringan IP.

Hal ini menunjukkan bahwa kualitas telepon dilihat dari waktu *delay* pada jaringan IP termasuk masih dapat di toleransi dan juga masih dapat diterima, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 8. Perbandingan *delay* pada saat proses telepon dan link down

<i>Protocol</i>	<i>Delay</i>
IP	0,2
MPLS TE	0

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *delay* pada saat pengujian telepon dan *link down* untuk jaringan IP mencapai 0,2 ms, lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* dengan nilai 0 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis, teknik *switching* pada jaringan MPLS untuk melewati paket data pada saat *link down* sedikit lebih cepat daripada jaringan IP.

Dalam hal ini kualitas telepon dilihat dari nilai *delay* kedua jaringan baik jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 9. Perbandingan *jitter* pada saat proses telepon

<i>Protocol</i>	<i>Jitter</i>
IP	0,611
MPLS TE	0,568

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *jitter* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP mencapai 0,611 ms, lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai 0,568 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis, teknik *switching* pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* untuk melewati paket data sedikit lebih stabil daripada jaringan IP.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *jiter* pada jaringan IP maupun pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 10. Perbandingan *jitter* pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

<i>Protocol</i>	<i>Jitter</i>
IP	2,148
MPLS TE	3,325

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *jitter* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP mencapai 2,148 ms, lebih kecil daripada jaringan MPLS yang mencapai 3,325 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis jaringan IP untuk melewati paket data sedikit lebih stabil daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering*.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *jitter* pada jaringan IP maupun pada jaringan

MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 11. Perbandingan *jitter* pada saat proses telepon dan link down

<i>Protocol</i>	<i>Jitter</i>
IP	0,701
MPLS TE	0,662

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *jitter* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP mencapai 0,701 ms, lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai 0,662 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis, teknik *switching* pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* untuk melewatkan paket data sedikit lebih stabil daripada jaringan IP.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *jitter* pada jaringan IP maupun pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 12. Perbandingan *packet loss* pada saat proses telepon

<i>Protocol</i>	<i>Packet Loss</i>
IP	0
MPLS TE	0

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *packet loss* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP maupun untuk jaringan MPLS *Traffic Engineering* sama nilainya yaitu 0%.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *jitter* pada jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 13. Perbandingan *packet loss* pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

<i>Protocol</i>	<i>Packet Loss</i>
IP	32,8
MPLS TE	0

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *packet loss* pada saat pengujian telepon dan *bandwidth* penuh untuk jaringan IP mencapai 32,8% , lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai 0%.

Dalam hal ini dapat diambil analisis, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* berhasil melewatkan semua paket data tanpa ada yang hilang dan lebih baik dari jaringan IP.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon pada jaringan IP termasuk buruk dan tidak dapat diterima dan untuk jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 14. Perbandingan *packet loss* pada saat proses telepon dan link down

<i>Protocol</i>	<i>Packet Loss</i>
IP	5,4
MPLS TE	3

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *packet loss* pada saat pengujian telepon dan link down untuk jaringan IP mencapai 5,4%, lebih besar daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai 3%. Dalam hal ini dapat diambil analisis, jaringan MPLS *Traffic Engineering* lebih baik jaringannya karena tingkat *packet loss* lebih kecil dari jaringan IP.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari banyaknya *packet loss* untuk jaringan IP termasuk cukup dapat diterima dan pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk bagus.

Tabel 15. Perbandingan *mos* pada saat proses telepon

<i>Protocol</i>	<i>MOS</i>
IP	4,4
MPLS TE	4,4

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *mos* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* mempunyai nilai yang sama yaitu 4,4.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *mos* pada jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan dapat diterima

Tabel 16. Perbandingan *mos* pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

<i>Protocol</i>	<i>MOS</i>
IP	2,91
MPLS TE	4,4

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *mos* pada saat pengujian telepon dan *bandwidth* penuh untuk jaringan IP mencapai nilai 2,91, lebih kecil daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai nilai 4,4. Dalam hal ini dapat diambil analisis, jaringan MPLS memiliki kualitas jaringan yang lebih baik dari jaringan IP karena memiliki nilai *mos* yang lebih besar.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *mos* pada jaringan IP termasuk kategori buruk dan tidak memuaskan, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan memuaskan

Tabel 17. Perbandingan *mos* pada saat proses telepon dan link down

<i>Protocol</i>	<i>MOS</i>
IP	3,81
MPLS TE	4,17

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *mos* pada saat pengujian telepon dan *link down* untuk jaringan IP mencapai nilai 3,81, lebih kecil daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai nilai 4,17 ms. Dalam hal ini dapat diambil analisis, jaringan MPLS memiliki kualitas jaringan yang lebih baik dari jaringan IP karena memiliki nilai *mos* yang lebih besar .

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *mos* pada jaringan IP termasuk kategori puas, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan memuaskan

Tabel 18. Perbandingan *r-factor* pada saat proses telepon

<i>Protocol</i>	<i>R-Factor</i>
IP	93
MPLS TE	93

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *r-factor* pada saat pengujian telepon untuk jaringan IP maupun jaringan MPLS

Traffic Engineering memiliki nilai yang sama yaitu 93.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *r-factor* pada jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan sangat memuaskan

Tabel 19. Perbandingan *r-factor* pada saat proses telepon dan bandwidth penuh

<i>Protocol</i>	<i>R-Factor</i>
IP	59,1
MPLS TE	92,9

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *r-factor* pada saat melakukan pengujian telepon dan *bandwidth* penuh untuk jaringan IP mencapai nilai 59,1, lebih kecil daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai nilai 92,9.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *r-factor* pada jaringan IP termasuk kategori tidak memuaskan, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori sangat memuaskan.

Tabel 20. Perbandingan *r-factor* pada saat proses telepon dan link down

<i>Protocol</i>	<i>R-Factor</i>
IP	79,1
MPLS TE	87,9

Pada tabel di atas dapat dibandingkan bahwa hasil rata – rata *r-factor* pada saat melakukan pengujian telepon dan *link down* untuk jaringan IP mencapai nilai 79,1, lebih kecil daripada jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang mencapai nilai 87,9.

Hal ini menunjukkan kualitas telepon dilihat dari nilai *r-factor* pada jaringan IP termasuk kategori puas, pada jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori memuaskan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada jenis pengujian telepon baik jaringan IP maupun jaringan MPLS *Traffic Engineering* memiliki kualitas yang sama bagus, ditandai dengan nilai *delay*, *jitter*, *packet loss*, *mos* dan *r-*

- factor* yang semuanya termasuk kategori bagus dan memuaskan.
2. Pada jenis pengujian telepon dan *bandwidth* penuh, jaringan MPLS *Traffic Engineering* lebih efisien daripada jaringan IP karena nilai *delay*, *packet loss*, *mos* dan *r-factor* dari jaringan MPLS *Traffic Engineering* termasuk kategori bagus dan memuaskan sedangkan untuk jaringan IP termasuk kategori jelek dan tidak memuaskan.
 3. Pada jenis pengujian telepon dan *link down* jaringan yang lebih efisien adalah jaringan MPLS *Traffic Engineering* dengan nilai *delay*, *jitter*, *packet loss*, *mos* dan *r-factor* yang termasuk kategori memuaskan sedangkan untuk jaringan IP termasuk dalam kategori masih dapat diterima.
 4. Dari semua hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa jaringan MPLS *Traffic Engineering* memiliki QoS yang lebih efisien dibandingkan dengan jaringan IP.
 5. Jaringan MPLS *Traffic Engineering* yang telah dibuat dapat menggunakan jalur *backup* secara cepat apabila terjadi *failover* dengan tingkat *packet loss* yang lebih kecil dari jaringan IP sehingga dapat tetap menjaga keutuhan QoS dan menyediakan kualitas jaringan yang baik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supriyanto, Aji (2005). Pengantar Teknologi Informasi. Jakarta: Salemba Infotek.
- [2] Wahana Komputer (2003). Panduan Lengkap Pengembangan Jaringan Linux. Yogyakarta: Andi Offset.
- [3] Purbo, Onno W (2007). Cikal Bakal "Telkom Rakyat". Jakarta: Infokomputer.
- [4] Cisco Systems (2003). *Cisco Networking Academy Program*. Revised third edition. USA: ciscopres.com.
- [5] ITU-T (2009). G.107 : The E-model: a computational model for use in transmission planning. USA: www.itu.int.
- [6] ITU-T (1996). P.800 : Methods for subjective determination of transmission quality. USA: www.itu.int.
- [7] Fauzi, Rofiq. (2010). Modul MTCNA. Jakarta: ID-Networkers.
- [8] Fauzi, Rofiq. (2010). Modul MTCRE. Jakarta: ID-Networkers.
- [9] Gunawan, Dedi (2011). Modul CCIE Bootcamp 2011. Jakarta: ID-Networkers.
- [10] Al Haris, Miftakul Farid dkk. (2011). Implementasi dan Analisis Performansi QoS VoIP Server SipXecs 4.2 IP PBX Dalam Jaringan Wireless. Bandung: Politeknik Telkom Bandung.
- [11] Firdhanianto, Rynal dan Gufta Ega Rosadina (2012). Implementasi dan Analisis Kinerja Jaringan MPLS Traffic Engineering. Tugas Akhir Teknik Jaringan Radio dan Komputer. Politeknik Negeri Semarang.
- [12] Vhisnubrata, Agustinus Aditya (2012). Analisa Perbandingan Performansi QoS MPLS Dalam Menangani Kegagalan Link Dengan Protokol Link State Dan Traffic Engineering BFD-Triggered Fast Reroute. Tugas Akhir Sistem Informasi. Universitas Dian Nuswantoro.
- [13] <http://wiki.mikrotik.com/wiki/M anual:MPLS> diakses tanggal 20 Mei 2013.
- [14] <http://wiki.mikrotik.com/wiki/M anual:MPLS/Overview> diakses tanggal 20 Mei 2013.
- [15] http://wiki.mikrotik.com/wiki/M anual:Simple_TE diakses tanggal 25 Mei 2013.
- [16] http://wiki.mikrotik.com/wiki/M anual:TE_tunnel_auto_bandwidth diakses tanggal 25 Mei 2013.
- [17] http://wiki.mikrotik.com/wiki/M anual:Interface/Traffic_Engineering diakses tanggal 25 Mei 2013.