

BAB IV

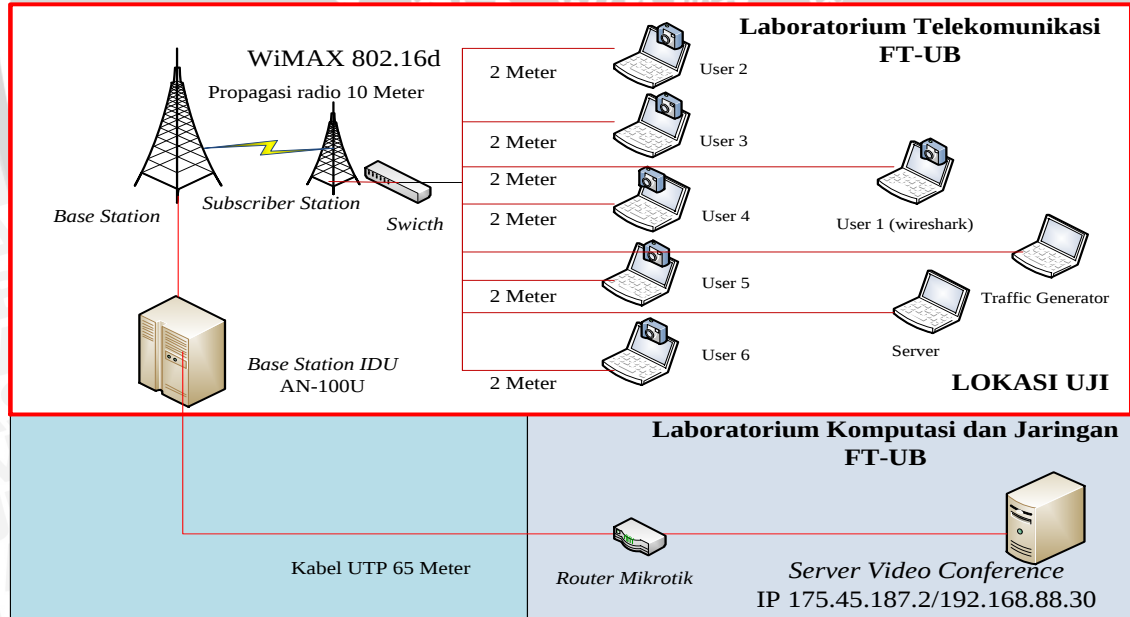
PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Umum

Pembahasan penelitian berkaitan dengan rancang bangun performansi jaringan WiMAX IEEE 802.16d untuk layanan *video conference* menggunakan *codec* H.323, adapun tahap-tahap yang dilakukan adalah tahapan perancangan hingga pengujian rancang bangun sistem, tahapan melakukan analisis perhitungan data sekunder maupun pengambilan data primer meliputi *delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput*, tahapan membandingkan hasil pengujian, pengambilan data dan rekomendasi ITU-T G.1010 dan ITU-T G.114.

4.2 Perancangan Blok Diagram

Perancangan menjabarkan tentang perangkat-perangkat yang berkaitan dengan media server *video conference*, jaringan penghubung antara server dan user.



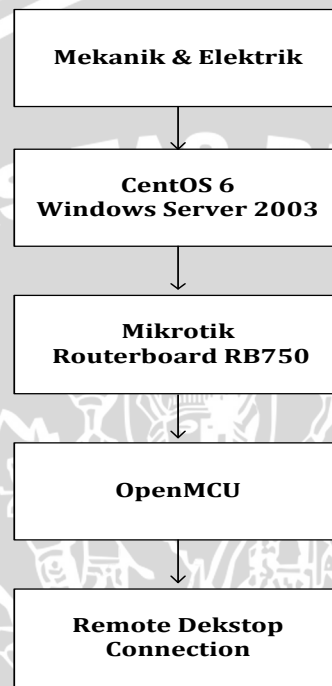
Gambar 4.1 Rancang bangun blok diagram.

(Sumber: perancangan)

4.3 Konfigurasi Perancangan

Konfigurasi perancangan terdiri dari konfigurasi server dan konfigurasi WiMAX 802.16d. Adapun langkah-langkah konfigurasi server dan konfigurasi WiMAX 802.16d sebagai berikut:

4.3.1 Konfigurasi Server



Gambar 4.2 Konfigurasi server.

(Sumber: perancangan)

Dalam konfigurasi penelitian rancang bangun *server*, beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan dalam mengkonfigurasi pada *server*, yaitu:

a. Mekanik dan Elektrik

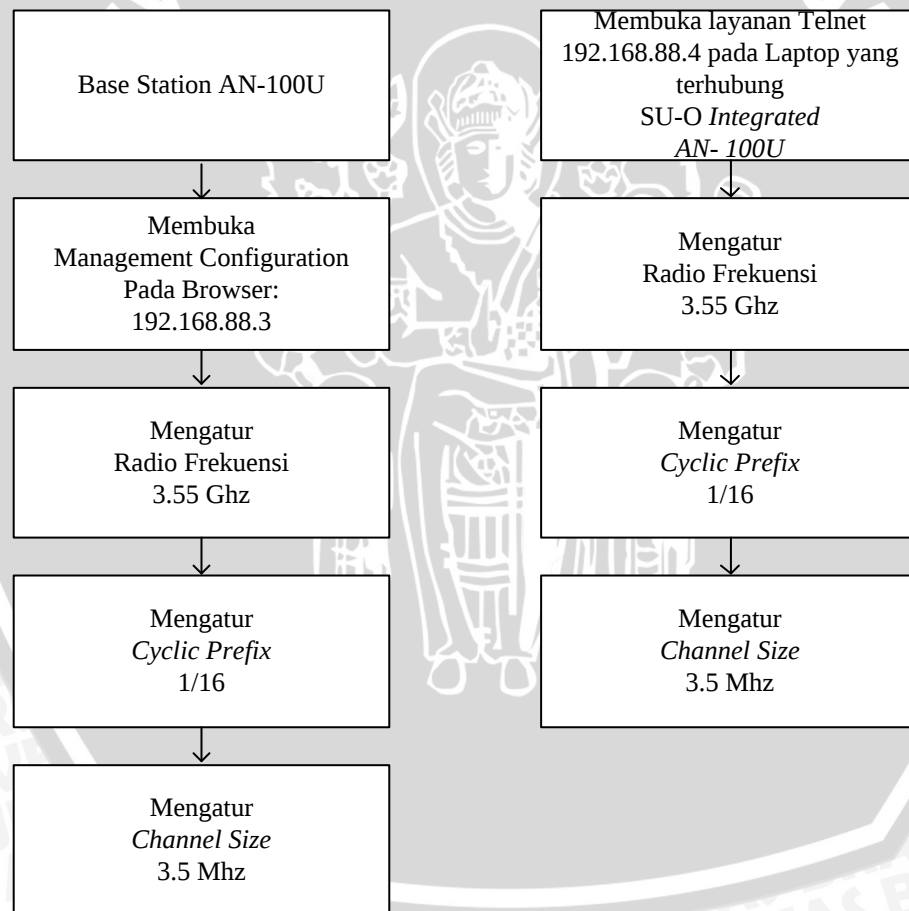
Menghubungkan masing-masing perangkat keras dengan media fisik, *server rack*, UPS yang berada pada Laboratorium Komputasi dan Jaringan.

b. CentOS 6 dan Windows Server 2003

Instalasi perangkat lunak yaitu *Operating System* (OS) CentOS 6 dan Windows Server 2003 sehingga perangkat lunak pendukung layanan *video conference* dapat dijalankan pada *windows*.

- c. Mikrotik Routerboard RB750
Mengkonfigurasi *interface Ethernet* 1 dari ISP dan *Ethernet* 2 menuju *client*, *DHCP server*, *DHCP client*, *IP DNS*, *IP Firewall*, dan *IP Client*
- d. OpenMCU
Mengkonfigurasi resolusi *video*, *codec* H.264, *codec* G.711, mengatur banyak percakapan berdasarkan *IP* pengguna layanan *video conference*
- e. Remote Dekstop Connection
Mengkonfigurasi komputer *server* sehingga dapat dikendalikan dengan perangkat komputer lain atau laptop yang terhubung melalui jaringan.

4.3.2 Konfigurasi WiMAX



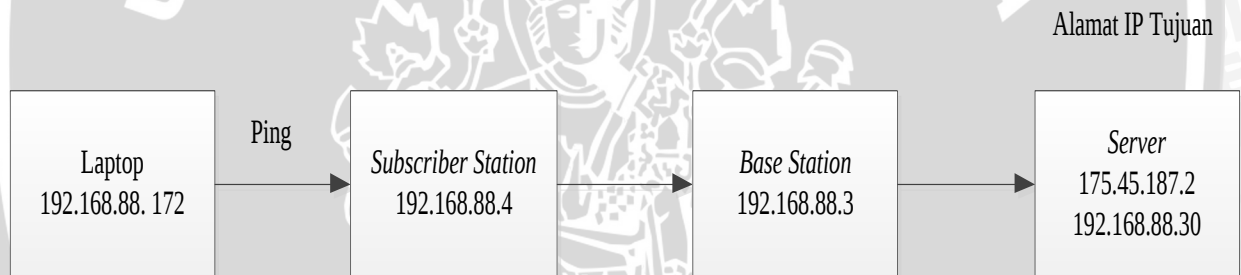
Gambar 4.3 Konfigurasi WiMAX.

(Sumber: perancangan)

Dalam konfigurasi penelitian rancang bangun, beberapa aspek yang perlu dicermati dalam mengkonfigurasi pada WiMAX (Base Station AN-100U dan SU-O AN-100U) seperti mengkonfigurasi *management configuration* pada browser seperti kecepatan kanal, *mode* trafik, dan maksimal *user* kemudian mengatur radio frekuensi, *cyclic prefix* dan *channel size* dengan besaran nilai yang telah ditentukan seperti radio frekuensi 3.55 Ghz, *cyclic prefix* 1/16 dan *channel size* 3.5 Mhz.

4.4 Pengujian Koneksi Jaringan

Tujuan pengujian koneksi jaringan bertujuan mengetahui koneksi antar perangkat pada sistem telah terhubung dengan baik, yaitu *server* menuju *base station*, *subscriber station* hingga *user* (laptop). Pengujian dilakukan dengan mengirimkan pesan perintah “PING” melalui *command prompt* dari laptop pengguna menuju *server*.



Gambar 4.4 Blok diagram pengujian koneksi jaringan.
(Sumber: perancangan)

4.4.1 Langkah-Langkah Pengujian Koneksi Jaringan

Adapun langkah-langkah pengujian koneksi adalah sebagai berikut:

- 1) Mengatur alamat IP *server* pada NIC pertama dengan alamat IP *Public Address* yang diberikan PPTI UB, yakni 175.45.187.2
- 2) Kemudian mengubah alamat IP lokal pada *subscriber station* 1 yang sebelumnya alamat *default* perangkat 192.168.101.1 menjadi alamat IP 192.168.88.4 menggunakan aplikasi perangkat lunak telnet atau puTTY, mengubah alamat *default* IP lokal sebelumnya 192.168.101.11 menjadi alamat

IP lokal 192.168.88.172 yang berada pada laptop yang digunakan sebagai pengujian koneksi jaringan.

- 3) Mengubah pengaturan alamat pada *default gateway* pada laptop menjadi alamat IP 192.168.88.1 dan alamat DNS server 8.8.8.8
- 4) Menghubungkan koneksi jaringan antara perangkat WiMAX di Laboratorium Telekomunikasi dengan perangkat *server* di Laboratorium Komputasi dan Jaringan menggunakan kabel UTP dengan panjang 65 meter
- 5) Membuka aplikasi layanan *command prompt* pada laptop *user* yang alamat IP lokal 192.168.88.172
- 6) Menuliskan layanan perintah “Ping” pada *command prompt* dengan tujuan alamat IP 175.45.187.2 kemudian perintah “Enter”
- 7) Pengamatan terhadap hasil ping

4.4.2 Hasil Pengujian Koneksi Jaringan

Hasil pengujian koneksi dapat dilihat pada gambar 4.5, gambar tersebut berisi informasi perintah ping, alamat tujuan, jumlah paket terkirim dan yang diterima, hasil yang diterima, waktu dan banyaknya jumlah router yang dilewati oleh alamat IP tujuan.

```
C:\Users\Irfan Maulana>ping 175.45.187.2

Pinging 175.45.187.2 with 32 bytes of data:
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=22ms TTL=126
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=23ms TTL=126
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=24ms TTL=126
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=24ms TTL=126

Ping statistics for 175.45.187.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 22ms, Maximum = 24ms, Average = 23ms
```

Gambar 4.5 Hasil ping.

(Sumber: Hasil Pengujian)

Penjelasan dari gambar diatas adalah

- Perintah Ping 175.45.187.2

Alamat 175.45.187.2 menunjukkan alamat pada *server* digunakan untuk menguji perangkat pada WiMAX sudah terhubung pada *router* dengan jalur yang benar.

- Informasi *reply from* 175.45.187.2

Merupakan pengamatan respon yang menunjukkan perangkat WiMAX sudah terhubung pada sistem jaringan.

- Bytes=32

Menunjukkan keterangan jumlah data yang dikirimkan pada saat proses pengujian.

- Time=22ms

Mengidentifikasi respon waktu yang didapatkan saat melakukan proses pengujian koneksi.

- Time=22ms

Mengidentifikasi respon waktu yang didapatkan saat melakukan proses pengujian koneksi.

- TTL=126

TTL merupakan “time-to-live” yang menunjukkan jumlah maksimal melewati alamat IP sebanyak 126 kali. Dan mengindikasikan juga berapa jumlah *router* antara sumber dan tujuan.

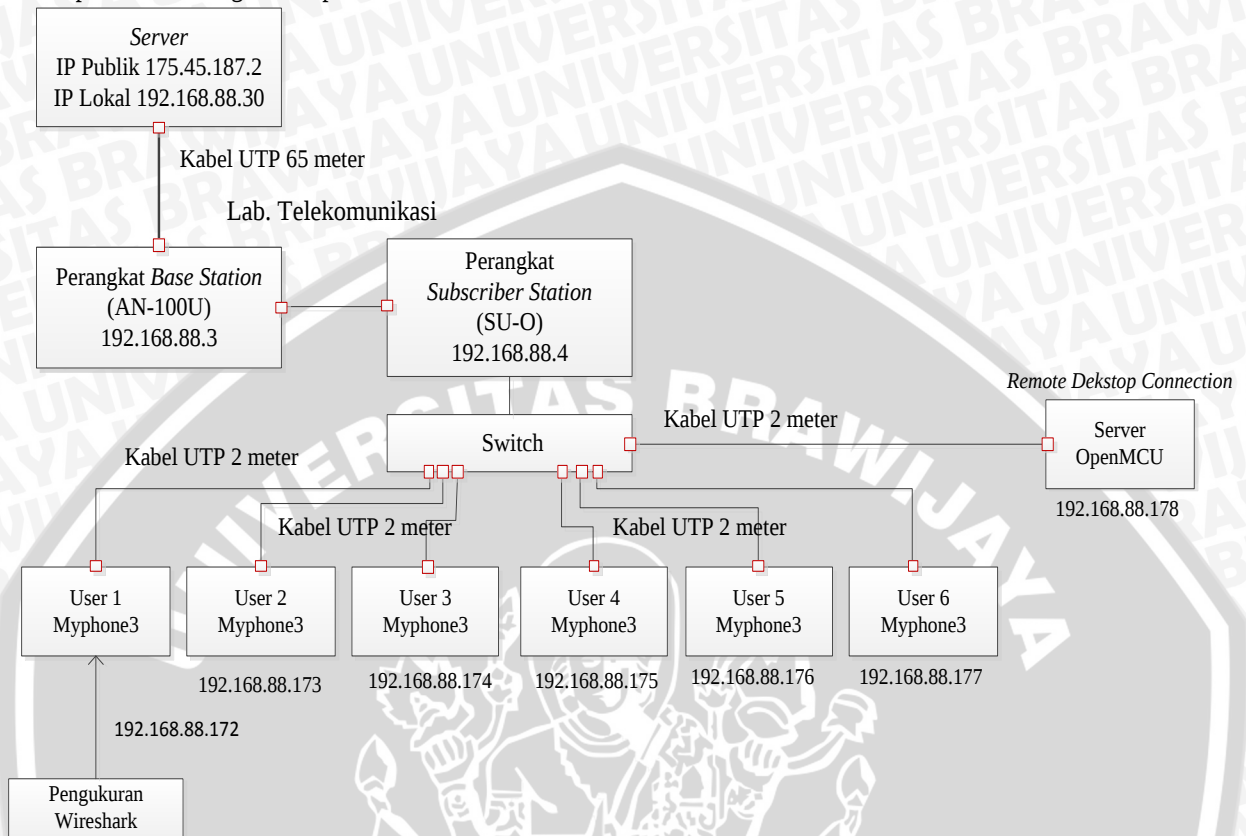
4.4.3 Kesimpulan Pengujian Koneksi

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.5, kesimpulan pengujian adalah pengujian koneksi jaringan antara *user* melalui WiMAX terhubung dengan *server*.

4.5 Pengujian Video Conference

Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui koneksi yang terhubung antara WiMAX yang berada di laboratorium Telekomunikasi dengan *server* yang berada di laboratorium Komputansi dan Jaringan dengan menggunakan layanan *video conference*. Gambar 4.6 menunjukkan pengujian yang dilakukan.

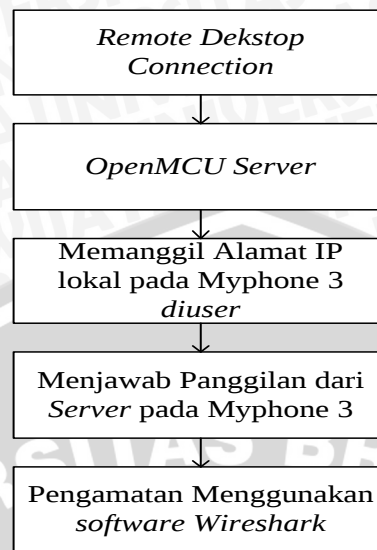
Lab. Komputasi dan Jaringan Komputer



Gambar 4.6 Blok diagram pengujian layanan *video conference*.

(Sumber: perancangan)

Adapun gambar 4.7 merupakan konfigurasi langkah-langkah pengujian *video conference* sebagai berikut:

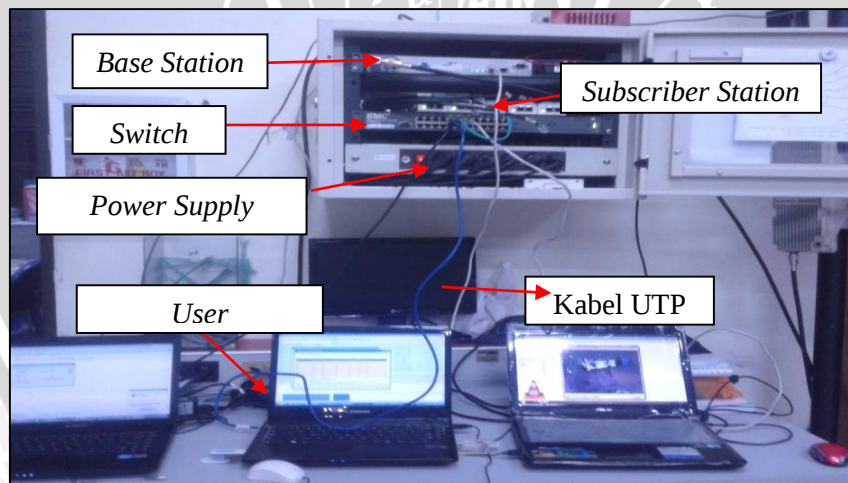


Gambar 4.7 Konfigurasi langkah-langkah pengujian *video conference*.

(Sumber: perancangan)

4.5.1 Peralatan Pengujian

Adapun peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian layanan *video conference*, antara lain:



Gambar 4.8 Pengujian *video conference*.

(Sumber: perancangan)

- Laptop 6 *item* dan komputer 1 *item*
- Perangkat lunak *OpenMCU Server* versi 4.13

- Perangkat lunak MyPhone3 versi 3.15
- 2 Webcam *Camera*
- Kabel UTP (90 Meter)
- Switch 1 *item*
- *Base Station* AN-100U
- *Subscriber Station* SUO-AN100U

4.5.2 Langkah-Langkah Pengujian Layanan *Video Conference*

Adapun langkah-langkah pengujian layanan *video conference* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengatur alamat *IP server* yang menjadi tujuan dengan alamat *IP address* yang telah diberikan oleh PPTI UB 175.45.187.2
- 2) Menghubungkan laptop yang telah diatur sebagai *remote server area* dan telah dikonfigurasi, kemudian laptop-laptop lainnya dihubungkan dengan perangkat *subscriber station* SUO 100U
- 3) Menjalankan aplikasi perangkat lunak OpenMCU pada laptop yang terhubung dengan perangkat *subscriber station* sebagai *server* dengan bantuan layanan *remote desktop connection*
- 4) Membuka dan menjalankan aplikasi perangkat lunak MyPhone 3 pada laptop-laptop yang digunakan untuk melakukan pengujian layanan *video conference*
- 5) Mengundang alamat-alamat IP lokal pada laptop-laptop yang terhubung dengan *subscriber station* menggunakan aplikasi perangkat lunak OpenMCU di *server*
- 6) Mengklik tombol “Answer” sehingga dapat terhubung dengan *user-user* lain
- 7) Hasil pengujian layanan terhadap hasil *video conference* ditunjukkan oleh gambar 4.9



Gambar 4.9 Tampilan pengambilan melalui Myphone3.

(Sumber: Hasil Pengujian)

4.5.3 Hasil Pengujian Layanan *Video Conference*

Hasil pengujian layanan *video conference* yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- *Delay* yang didapat rata-rata 49,59 ms (0,04 s)
- *Packet loss* yang didapat rata-rata sebesar 0,19 %
- *Throughput* yang didapat rata-rata 1,06 Mbps

4.5.4 Kesimpulan Pengujian Koneksi Layanan *Video Conference*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan bahwa tahapan atau proses pengujian layanan *video conference* yang dilakukan dengan perangkat *base station*, *subscriber station* dan 6 laptop berhasil terhubung dengan baik.

4.6 Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan

Pengujian *video conference* akan ditampilkan dengan resolusi 704 x 576 p. Metode pengujian dilakukan dua tahap, pengujian pertama tanpa menggunakan pembebanan trafik dan pengujian kedua dilakukan dengan pembebanan trafik dengan beban trafik sebesar 1 Mbps, 3 Mbps dan 5 Mbps yang menggunakan perangkat lunak “traffic generator”. Pengujian data dilakukan sebanyak 10 kali per tiap pengujian tanpa menggunakan pembebanan trafik dan pengujian dilakukan dengan pembebanan trafik dengan beban trafik sebesar 1 Mbps, 3 Mbps dan 5 Mbps pada tiap resolusi *video* 704 x 576 p, sehingga pengujian mendapatkan hasil optimal dan menunjukkan kualitas jaringan WiMAX.

Proses pengambilan data menggunakan aplikasi Wireshark yang terletak pada sisi *user*. Wireshark menangkap, membaca dan menganalisis aliran data yang melewati *interface user*. *Interface* pada *user* melalui jaringan kabel (*adapter* RJ-45). Proses *capturing* paket data dilakukan selama 1 menit (60 detik). Paket data yang tertangkap oleh wireshark kemudian disimpan menjadi *file* dengan ekstensi *media library* pcap (*.pcap). Data yang didapatkan kemudian dianalisis (didekodekan) menjadi aliran RTP. Ketika data sudah menjadi aliran RTP, maka data dapat diolah menjadi parameter-parameter yang dibutuhkan, yakni *delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput*. Luaran dari analisis data adalah *file* wireshark pcap yang telah didekodekan sebagai protokol RTP.

Pengolahan data dilakukan setelah pengambilan dan analisis data. Pengolahan data menghasilkan parameter-parameter QoS (*delay end-to-end*, *packet loss*, *throughput*) dan jumlah paket pada setiap konfigurasi ditampilkan pada subbab 4.6.2.1 dan data hasil perhitungan ditampilkan pada subbab 4.6.2.2, 4.6.2.3 dan 4.6.2.4

4.6.1 Hasil Melalui Pengujian

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter *delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput*, adapun pengamatan menggunakan perangkat lunak wireshark.

4.6.1.1 Delay End-to-End

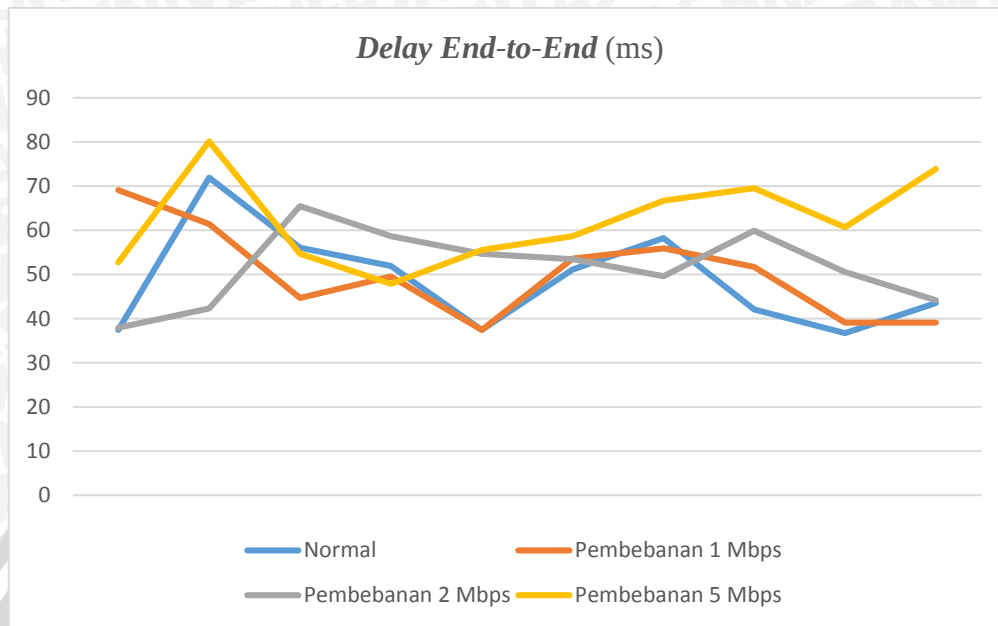
Delay End-to-End menunjukkan besarnya waktu tunda mulai dari *server* yang terletak di Laboratorium Komputasi dan Jaringan Komputer, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya hingga *user* yang terletak di Laboratorium Telekomunikasi menggunakan aplikasi *remote desktop connection*. Nilai *delay end-to-end* melalui pengujian diuraikan pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Delay End-to-End*

No	<i>Delay End-to-End</i>			
	Normal	Pembebanan Trafik 1 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 5 Mbps
1	37,46 ms	69,11 ms	37,96 ms	52,71 ms
2	71,91 ms	61,45 ms	42,28 ms	80,11 ms
3	56,07 ms	44,66 ms	65,47 ms	54,66 ms
4	51,94 ms	49,53 ms	58,68 ms	47,9 ms
5	37,46 ms	37,46 ms	54,68 ms	55,55 ms
6	51,11 ms	53,60 ms	53,47 ms	58,66 ms
7	58,22 ms	55,93 ms	49,65 ms	66,76 ms
8	42,06 ms	51,73 ms	59,91 ms	69,57 ms
9	36,68 ms	39,14 ms	50,56 ms	60,68 ms
10	43,50 ms	39,14 ms	44,17 ms	73,92 ms
Rata-rata	48,64 ms	50,17 ms	51,68 ms	62,05 ms

(Sumber: Hasil Pengujian)

Kemudian jika tabel 4.1 direpresentasikan kedalam bentuk grafik perbandingan *delay end-to-end* berdasarkan tanpa pembebanan dan pembebanan ditunjukkan dalam gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hubungan perbandingan *delay end-to-end*.

(Sumber: Pengujian)

4.6.1.2 Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas *Packet Loss* menunjukkan nilai rasio pada berapa persen paket yang hilang dengan semua jumlah paket yang dikirimkan. Nilai probabilitas *packet loss* melalui pengujian diuraikan pada tabel 4.2 berikut:

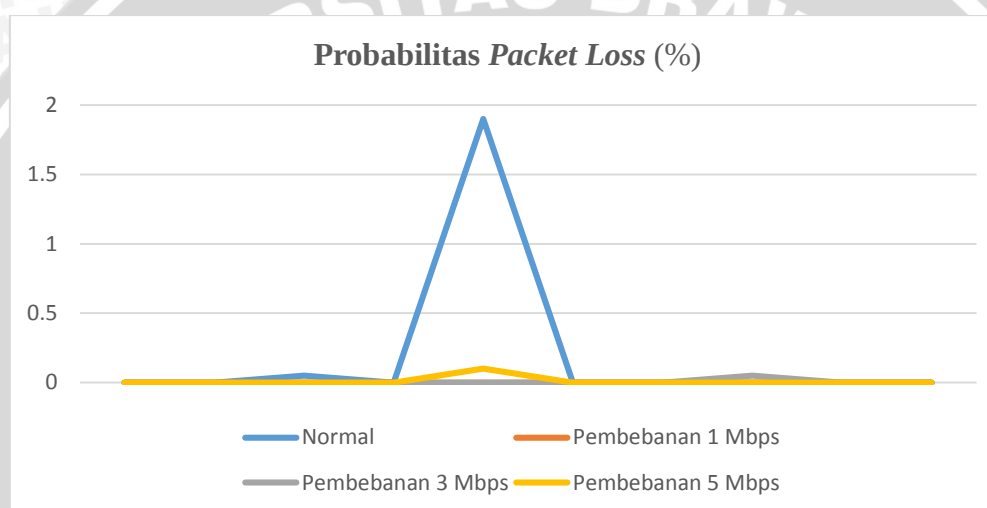
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Probabilitas *Packet Loss*.

No	Probabilitas <i>Packet Loss</i>			
	Normal	Pembebanan Trafik 1 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 5 Mbps
1	0 %	0 %	0 %	0 %
2	0 %	0 %	0 %	0 %
3	0,05 %	0 %	0 %	0 %
4	0 %	0 %	0 %	0 %
5	0 %	0 %	0 %	0,1 %
6	1,9 %	0 %	0 %	0 %
7	0 %	0 %	0 %	0 %
8	0 %	0 %	0,05 %	0 %

9	0 %	0 %	0 %	0 %
10	0 %	0 %	0 %	0 %
Rata-rata	0,19 %	0 %	0,005 %	0,01 %

(Sumber: Hasil Pengujian)

Kemudian jika tabel 4.2 direpresentasikan kedalam bentuk grafik perbandingan probabilitas *packet loss* berdasarkan tanpa pembebanan dan pembebanan ditunjukkan dalam gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik hubungan perbandingan probabilitas *packet loss*.

(Sumber: Pengujian)

4.6.1.3 Throughput

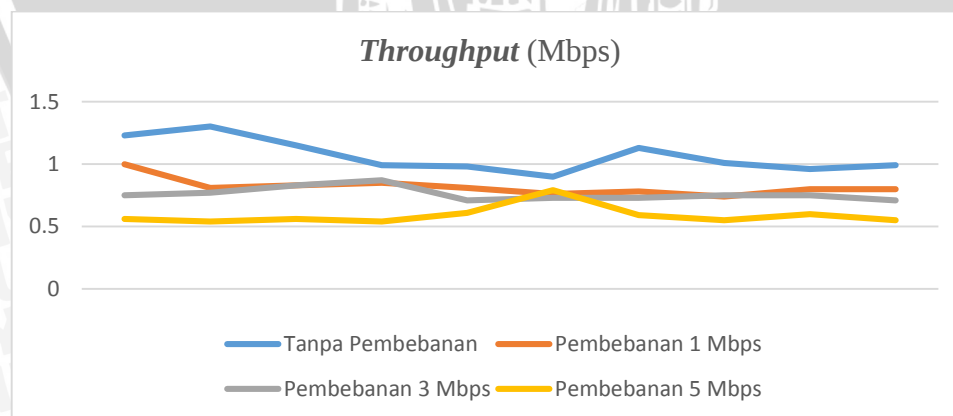
Throughput menunjukkan kecepatan penerimaan paket data yang diterima pengguna. *Throughput* memiliki satuan *byte/detik*. Nilai *throughput* melalui pengujian diuraikan pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Throughput*

No	<i>Throughput</i>			
	Normal	Pembebanan Trafik 1 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 5 Mbps
1	1,23 Mbps	1,00 Mbps	0,75 Mbps	0.56 Mbps
2	1,3 Mbps	0,81 Mbps	0,77 Mbps	0.54 Mbps
3	1,15 Mbps	0,83 Mbps	0,83 Mbps	0.56 Mbps
4	0,99 Mbps	0,85 Mbps	0,87 Mbps	0.54 Mbps
5	0,98 Mbps	0,81 Mbps	0,71 Mbps	0.61 Mbps
6	0,9 Mbps	0,76 Mbps	0,73 Mbps	0.79 Mbps
7	1,13 Mbps	0,78 Mbps	0,73 Mbps	0.59 Mbps
8	1,01 Mbps	0,74 Mbps	0,75 Mbps	0.55 Mbps
9	0,96 Mbps	0,80 Mbps	0,75 Mbps	0.60 Mbps
10	0,99 Mbps	0,80 Mbps	0,71 Mbps	0.55 Mbps
Rata-rata	1,06 Mbps	0,81 Mbps	0,76 Mbps	0.58 Mbps

(Sumber: Hasil Pengujian)

Kemudian jika tabel 4.3 direpresentasikan kedalam bentuk grafik perbandingan *throughput* berdasarkan tanpa pembebanan dan pembebanan ditunjukkan dalam gambar 4.12.

**Gambar 4.12** Grafik hubungan perbandingan *throughput*.

(Sumber: Pengujian)

4.6.2 Hasil Melalui Perhitungan

Pada bagian ini dihasilkan parameter jaringan yaitu *delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput* melalui perhitungan dengan literatur yang ada, standar perangkat atau standar yang telah ditetapkan.

4.6.2.1 Spesifikasi Paket Video Conference

Spesifikasi paket *video conference* yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini menggunakan *codec* H.323 yang terdiri *codec* G.711 dan *codec* H.264, spesifikasi masing-masing *codec* dijelaskan dibawah:
 - *Audio codec* adalah G.711
Menggunakan *bandwidth* 32 Kbps, *delay codec* 0,75 ms dan *payload maksimum* 160 byte
 - *Video codec* adalah H.264/MPEG-4 AVC
Menggunakan *bandwidth* 10-384 Kbps, *delay codec* 16-50 ms dan *payload maksimum* 254 byte
2. *Frame rate video conference* yang dipergunakan adalah 30fps atau 33ms
3. Protokol: RTP, UDP dan IP
4. Panjang *header* RTP = 12 byte
5. Panjang *header* IP = 20 byte
6. Panjang *header* UDP = 8 byte
7. Probabilitas *bit error* = 10^{-7}

Untuk menghitung besar *payload video* dan *payload audio* pada layanan *video conference* tiap *frame* ditentukan persamaan 2.1 dan 2.2, untuk video 576p,

$$\begin{aligned}
 P_{A576p} &= \text{Bitrate}_{\text{audio}} \times \text{frame rate} \\
 &= (64. 10^3 \text{bps}) \times (33. 10^3) = 2112 \text{ bit} \\
 P_{V576p} &= \text{Bitrate}_{\text{video}} \times \text{frame rate} \\
 &= (384. 10^3 \text{bps}) \times (33. 10^3) = 12672 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

Payload video dan *audio* kemudian diencodekan menggunakan *codec*. *Payload video* diencodekan H.264/ AVC MPEG-4 dan *payload audio* diencodekan G.711. Jumlah *payload* disegmentasi berdasarkan *payload* yang ditentukan oleh *codec*.

Sehingga jumlah nilai paket untuk *audio* dan *video* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-3) dan (2-4):

$$P_A = \frac{P_{LA}}{P_{LA \max}} = \frac{2112}{160 \times 8} = 1,65 \approx 2 \text{ paket}$$

$$P_V = \frac{P_{LV}}{P_{LV \max}} = \frac{12672}{254 \times 8} = 6,23 \approx 6 \text{ paket}$$

Kemudian jumlah *payload audio* dan *video* ditambah dengan *header NALU*, *RTP*, *UDP* dan *IP* menggunakan persamaan (2-5) dan (2-6) adalah:

$$\begin{aligned} \text{Paket data audio} &= P_{LA} + (P_A \times (\text{NALU} + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \\ &= 2112 + (2 \times (8 + 96 + 64 + 160)) \text{ bit} \\ &= 2768 \text{ bit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Paket data video} &= P_{LV} + (P_V \times (\text{NALU} + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \\ &= 12672 + (6 \times (8 + 96 + 64 + 160)) \text{ bit} \\ &= 14640 \text{ bit} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah besar paket data aplikasi *video conference* yang ditransmisikan pada sistem ditentukan menggunakan persamaan (2-7) didapat:

$$W_{data} = P_{data \text{ audio}} + P_{data \text{ video}} = (2768 + 14640) \text{ bit} = 17408 \text{ bit}$$

$$W_{data} = 2176 \text{ byte}$$

4.6.2.2 Performansi Jaringan *Delay End-to-End*

Untuk mengetahui nilai *delay end-to-end* dari layanan *video conference* dapat dianalisa berdasarkan konfigurasi jaringan yang telah dibuat. Konfigurasi jaringan yang ditampilkan pada gambar 4.13, *delay end-to-end* dimulai dari *server* hingga menuju *user*. *Delay end-to-end* didapat dengan menjumlahkan *delay codec* dan *delay MAN*, dengan menggunakan persamaan 2-8 sebagai berikut:

$$t_{end-to-end} = t_{codec} + t_{MAN}$$



Gambar 4.13 Model perhitungan pada jaringan.

(Sumber: Analisis)

a. Delay Codec pada Layanan Video Conference

Berdasarkan spesifikasi *delay codec* yang telah ditentukan, *delay codec* pada layanan *video conference* terdiri *delay codec audio* G.711 sebesar 0,75 ms dan *delay codec video* H.264 sebesar 50 ms menggunakan persamaan 2-9 didapat:

$$\begin{aligned} t_{\text{codec}} &= t_a + t_v \\ &= 0,75 \text{ ms} + 50 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$t_{\text{codec}} = 50.75 \text{ ms}$$

b. Delay MAN

Merupakan *delay* total keseluruhan terdiri dari *delay* proses, *delay* propagasi, *delay* transmisi dan *delay* antrian persamaan 2-10:

$$t_{\text{MAN}} = t_{\text{proses}} + t_{\text{propagasi}} + t_{\text{transmisi}} + t_{\text{antrian}}$$

• **Delay proses**

Pada layer transportasi paket data *audio* dan data *video* mengalami perubahan *format* dengan adanya penambahan *header* RTP dan UDP sehingga *format* data menjadi *segmen*, kemudian besar data ditambah *header* RTP (persamaan 2-11):

$$W_{\text{message}} = W_{\text{data}} + \text{Header}_{\text{RTP}}$$

$$= (2176 + 12) \text{ byte}$$

$$W_{\text{message}} = 2188 \text{ byte}$$

Kemudian menambahkan *header* UDP. Pada protokol UDP memiliki panjang maksimal segmen (MSS UDP) yaitu sebesar 1640 *byte*, segmen data difragmentasi.

$$N_{\text{segmen}} = \frac{2188}{1640}$$

$$N_{\text{segmen}} = 1,33 \approx 1 \text{ segmen}$$

Dienkapsulasi adalah proses panjang maksimal data UDP di fragmentasi, dalam perhitungan UDP, terdapat 3 buah segmen yang berisi data 1460 *byte* dan 1 segmen berisi data $0,9009 \times 1460 = 1328,454 \text{ byte}$, total segmen adalah 4 segmen UDP.

Kemudian proses dienkapsulasi (2-13):

$$\begin{aligned} W_{\text{segmen}} &= W_{\text{message}} + (N_{\text{segmen}} \times \text{Header}_{\text{UDP}}) \\ &= 2188 + (1 \times 8) \end{aligned}$$

$$W_{\text{segmen}} = 2196 \text{ byte}$$

Kemudian proses penambahan *header* IP (20 *byte*) pada segmen UDP sehingga menjadi *datagram* IP (Persamaan 2-14):

$$\begin{aligned} W_{\text{datagram}} &= W_{\text{segmen}} + \text{Header}_{\text{IP}} \\ &= 2196 + 20 \end{aligned}$$

$$W_{\text{datagram}} = 2216 \text{ byte}$$

Proses selanjut yang dilakukan adalah *datagram* IP dienkapsulasi menjadi *frame ethernet* yaitu menambahkan *header ethernet* 18 *byte* pada *layer network* dengan menggunakan protokol *ethernet* (persamaan 2-15):

$$\begin{aligned} W_{\text{frame ethernet}} &= W_{\text{datagram}} + \text{Header}_{\text{ethernet}} \\ &= 2216 + 18 \end{aligned}$$

$$W_{\text{frame ethernet}} = 2234 \text{ byte}$$

Dari *frame ethernet* mengalami penambahan *header* MAC 6 *byte* dikarenakan *frame ethernet* menuju *layer* MAC WiMAX) pada *frame ethernet* persamaan 2-16:

$$\begin{aligned} W_{\text{frame total}} &= W_{\text{frame ethernet}} + \text{Header}_{\text{MAC}} \\ &= 2234 + 6 \end{aligned}$$

$$W_{frame\ total} = 2240\ byte$$

Maka besar *delay* enkapsulasi dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 100 Mbps dan mengacu *datasheet* WiMAX redline AN-100U untuk modulasi 64-QAM dengan lebar *bandwidth* 3,5 Mhz kecepatan minimal 9 Mbps

$$t_{enc1} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 = \frac{(2240 - 2176)\ byte}{10^8 bps} \times 8$$

$$= 5,12 \times 10^{-7} s$$

$$= 0,000512 \times 10^{-3} s$$

$$t_{enc2} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 = \frac{(2240 - 2176)\ byte}{9 \times 10^6 bps} \times 8$$

$$= 5,68 \times 10^{-5} s$$

$$= 0,0568 \times 10^{-3} s$$

Besar *delay* dekapsulasi dengan besar *delay* enkapsulasi dengan kecepatan *layer Ethernet* adalah 100 Mbps dan untuk modulasi 64 QAM berdasarkan acuan dari *datasheet* WiMAX redline AN 100U adalah 9 Mbps

$$t_{dec1} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 = \frac{(2240 - 2176)\ byte}{9 \times 10^6 bps} \times 8$$

$$= 5,68 \times 10^{-5} s$$

$$= 0,0568 \times 10^{-3} s$$

$$t_{dec2} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 = \frac{(2240 - 2176)\ byte}{10^8 bps} \times 8$$

$$= 5,12 \times 10^{-7} s$$

$$= 0,000512 \times 10^{-3} s$$

Sehingga didapatkan total *delay* proses (enkapsulasi dan dekapsulasi) menggunakan persamaan 2-19:

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec}$$

$$t_{proc} = t_{enc1} + t_{enc2} + t_{dec1} + t_{dec2}$$

$$= (0,000512 \times 10^{-3} + 0,0568 \times 10^{-3} + 0,0568 \times 10^{-3} + 0,000512 \times 10^{-3}) s$$

$$= 1,14624 \times 10^{-4} s$$

$$t_{proc} = 0,11 \times 10^{-3} s$$

- **Delay Propagasi**

Delay propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi (persamaan 2.20).

Jarak *base station* menuju *subscriber station* adalah dengan panjang 10 meter

$$\begin{aligned} t_{prop}(\text{radio}) &= \frac{d_{max}}{v} \\ &= \frac{10 \text{ m}}{(3 \times 10^8) \text{ m/s}} = 3,33 \times 10^{-8} \text{ s} \end{aligned}$$

- **Delay Transmisi**

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan semua data pada medium yang dipengaruhi oleh ukuran paket dan kapasitas media transmisi (persamaan 2-21):

$$\begin{aligned} t_{trans} &= \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \text{ bit /byte} \\ &= \frac{2240}{9 \times 10^6} \times 8 \text{ bit /byte} \\ t_{trans} &= 1,99 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- **Delay antrian**

Delay antrian adalah rentang waktu paket data

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{9 \times 10^6 \text{ bps}}{(2240 \times 8) \text{ bit/paket}} = 502,23 \text{ paket/s}$$

Faktor utilisasi diasumsikan adalah 0.1, dimana dalam keadaan normal.

$$\lambda_w = \mu \rho = 502,23 \times 0.1 = 50,223 \text{ paket/s}$$

$$\begin{aligned} t_w &= \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{50,223 \text{ paket/s}}{(502,23(502,23 - 50,223)) \text{ paket/s}} + \frac{1}{502,23 \text{ paket/s}} \\ &= \frac{(25223,49 + 227011,47)}{114011970,6} \\ &= 2,21 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Kemudian *delay* antrian untuk pembebanan 1 Mbps, 3 Mbps dan 5 Mbps didapatkan perhitungan delay antrian diatas. Faktor utilisasi yang diasumsikan adalah 0.1 dalam keadaan normal.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Variasi *Delay* Antrian

No	Pembebanan Trafik	μ	λ_w	t_w
1	1 Mbps	446,42	44,64	$2,48 \times 10^{-3}s$
2	3 Mbps	334,82	33,48	$3,31 \times 10^{-3}s$
3	5 Mbps	223,21	22,32	$4,97 \times 10^{-3}s$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Setelah mendapatkan nilai *delay* proses, *delay* propagasi, *delay* transmisi dan *delay* antrian, maka didapatkan *delay* MAN yang merupakan total penjumlahan *delay*-*delay* tersebut. *Delay* MAN terjadi antara SS (*Subscriber station*) – BS (*Base station*) serta BS – ISP (*Internet Service Provider*) dengan menggunakan persamaan 2-10 didapatkan jumlah *delay* MAN:

$$\begin{aligned}
 t_{MAN} &= t_{proses} + t_{propagasi} + t_{transmisi} + t_{antrian} \\
 &= 0,11 \times 10^{-3}s + 3,33 \times 10^{-8} + 1,99 \times 10^{-3} s + 2,21 \times 10^{-3}s \\
 &= 4,31 \times 10^{-3}s
 \end{aligned}$$

Besarnya nilai *delay* total (*delay end-to-end*) menjumlahkan nilai *delay* codec dan *delay* MAN meliputi *delay* proses, *delay* propagasi, *delay* transmisi dan *delay* antrian. Sehingga besarnya nilai *delay end-to-end* menggunakan persamaan 2-8:

$$\begin{aligned}
 t_{end-to-end} &= t_{codec} + t_{MAN} \\
 &= (50,75 + 2 (4,31)) \text{ ms} \\
 &= 50,75 \text{ ms} + 8,62 \text{ ms} \\
 &= 59,37 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* total (*delay end-to-end*) yang didapatkan pada pembebanan trafik dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Variasi Trafik Pada *Delay* MAN dan *Delay end-to-end*

No	Pembebanan Trafik	t_{MAN}	$t_{end-to-end}$
1	1 Mbps	$4,58 \times 10^{-3}s$	59,91 ms
2	3 Mbps	$5,41 \times 10^{-3}s$	61,57 ms
3	5 Mbps	$7,07 \times 10^{-3}s$	64,89 ms

(Sumber: Hasil Perhitungan)

4.6.2.3 Performansi Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas *packet loss* layanan *video conference* pada jaringan WiMAX dihitung melalui probabilitas *packet loss* pada server dan probabilitas *packet loss* pada jaringan WiMAX.

a. Probabilitas *Packet Loss* pada Server

Probabilitas *packet loss* layanan *video conference* menggunakan *payload audio* (2112 bit) dan *payload video* (12672 bit) kemudian header sebesar 40 byte (320 bit) terdiri atas header UDP 8 byte, header RTP 12 byte dan header IP 20 byte. Mencari nilai probabilitas *payload* pada layanan *video conference* menggunakan persamaan 2-25:

$$\begin{aligned}
 \rho &= P_{size} \cdot \rho_b \\
 &= (320 + 14784) \times (10^{-7}) \\
 &= 1.5104 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

b. Probabilitas *Packet Loss* pada Jaringan WiMAX

Probabilitas *packet loss* pada jaringan WiMAX, dapat ditentukan oleh tipe modulasi yang digunakan. Pada penelitian ini, modulasi yang digunakan adalah standar yang digunakan berdasarkan *datasheet* Redline AN100-U, modulasi pada standar perangkat adalah modulasi 64-QAM, mempunyai 6 bit untuk tiap *symbol* maka jumlah $n=64$ dengan *bandwidth* kanal (BW) yang digunakan pada penelitian 3.5 MHz. Nilai probabilitas *packet loss* dapat dicari dengan persamaan 2-23:

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{net})(1 - \rho_{vid})]$$

Dengan ρ_{net} merupakan probabilitas *bit error* pada WiMAX dan ρ_{vid} adalah probabilitas *payload* layanan *video conference* dengan nilai 1.5104×10^{-3} , maka ρ_{net} dapat dicari dengan persamaan 2-26:

$$P_{\text{network}} = \frac{e^{-\frac{Eb}{No}}}{2 \sqrt{\pi \left(\frac{Eb}{No} \right)}}$$

Untuk mencari nilai $\frac{Eb}{No}$ terlebih dahulu mencari nilai N_0 dan P_r , N_0 merupakan *noise level* pada WiMAX menggunakan persamaan 2-28 dengan nilai -104.49 dBm ($3,55 \times 10^{-11}$ dBW), nilai P_r menggunakan persamaan 2-29 merupakan daya terima yang didapat oleh penerima sebesar -12.91 dBm (0,05 mW). Untuk mendapatkan nilai $\frac{Eb}{No}$ maka perlu dicari nilai SNR dengan menggunakan persamaan 2-27:

$$SNR = 10 \log \frac{P_r}{N_0}$$

$$SNR = 10 \log \frac{0,05 \text{ mW}}{3,55 \times 10^{-11} \text{ mW}}$$

$$SNR = 91,59 \text{ dB}$$

Maka nilai *bit rate* dengan menggunakan persamaan (2-31):

$$R = Bw \text{ kanal} \times \log_2 n$$

$$R = (3,5 \times 10^6) \times \log_2 64$$

$$R = 21 \times 10^6 \text{ bps} = 21 \text{ Mbps}$$

Eb/No dengan panjang jarak BS ke user sebesar 10 m dan *bandwidth* 3,5 MHz. R adalah *bit rate* dengan nilai 21 Mbps, sehingga Eb/No dapat dihitung dengan persamaan 2-32:

$$\frac{Eb}{No} = SNR - 10 \log \frac{B}{R}$$

$$\frac{Eb}{No} = 91,59 \text{ dB} - 10 \log \frac{3,5 \times 10^6}{21 \times 10^6}$$

$$\frac{Eb}{No} = 99,37 \text{ dB}$$

Kemudian P_{network} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-32:

$$P_{\text{network}} = \frac{e^{-\frac{Eb}{No}}}{2 \sqrt{\pi \left(\frac{Eb}{No} \right)}}$$

$$= \frac{e^{-99.43 \text{ dB}}}{2 \sqrt{3,14(99,43 \text{ dB})}}$$

$$P_{\text{network}} = 3,94 \times 10^{-45}$$

Sehingga probabilitas *packet loss* pada layanan *video conference* pada WiMAX dengan modulasi 64-QAM dengan kapasitas kanal 9 Mbps dapat dihitung dengan persamaan berikut 2-28:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}} &= 1 - [(1 - \rho_{\text{net}})(1 - \rho_{\text{vid}})] \\ &= 1 - [(1 - 3,94 \times 10^{-45})(1 - 1,5104 \times 10^{-4})] \\ &= 0,0015104 \end{aligned}$$

Dan nilai prosentase probabilitas *packet loss* menggunakan persamaan 2-24 yang didapat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}}(\%) &= \rho_{\text{tot}} \times 100 \% \\ &= 0,0015104 \times 100 \% \\ &= 0,15104 \approx 0,15 \% \end{aligned}$$

4.6.2.4 Performansi Jaringan *Throughput*

Perhitungan *throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi yang dibutuhkan dari *server* ke *user*. Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* menggunakan persamaan 2-35:

$$\begin{aligned} t_l &= \frac{W_{\text{frame total}} \times 8}{C_{\text{trans}}} \\ &= \frac{2240 \times 8}{9 \times 10^6} \\ &= 1,99 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Konstanta α yang diperoleh berdasarkan persamaan 2-34:

$$\begin{aligned} \alpha &= 3 + \frac{2 \times t_{\text{prop}}}{t_l} \\ &= 3 + \frac{2 \times (3,33 \times 10^{-8})}{1,99 \times 10^{-3}} \\ &= 3,000033467 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *throughput* berdasarkan persamaan 2-33 didapat

$$\lambda = \frac{(1 - \rho)}{t_{trans}[1 + (\alpha - 1)\rho]}$$

$$\lambda = \frac{(1 - 0,0015104)}{1,99 \times 10^{-3}[1 + (3,000033467 - 1)0,0015104]}$$

$$= 501,75 \text{ paket per detik}$$

$$= (501,75 \times 2240 \text{ byte}) \times 8$$

$$= 8991360 \text{ bps}$$

$$= 8,99 \text{ Mbps}$$

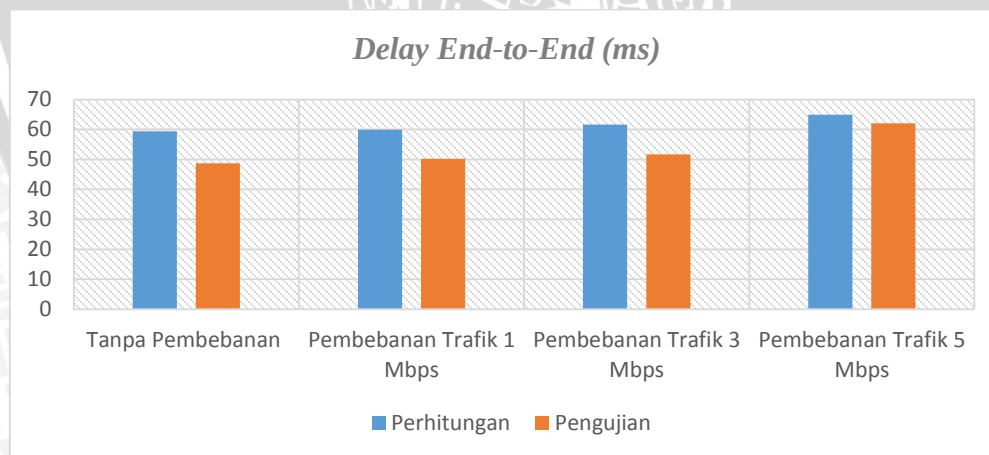
4.6.3 Perbandingan Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan

Perbandingan hasil meliputi parameter *delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput* menurut hasil perhitungan dengan hasil pengujian.

Tabel 4.6 Perbandingan *Delay End-to-End*

<i>Delay End-to-End (ms)</i>							
Perhitungan Pembebanan Trafik				Pengujian Pembebanan Trafik			
Normal	1 Mbps	3 Mbps	5 Mbps	Normal	1 Mbps	3Mbps	5 Mbps
59,37	59,91	61,57	64,89	48,64	50,17	51,68	62,05

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)



Gambar 4.14 Grafik perbandingan *delay end-to-end* berdasarkan perhitungan dan pengujian.

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)

Adapun perubahan nilai *delay end-to-end* pada pengujian mengalami perubahan akibat diberi beban trafik dengan nilai beban yang telah ditentukan. Berdasarkan nilai hasil perhitungan rata-rata sebesar 61,43 ms dan nilai hasil pengujian rata-rata sebesar 53,13 ms yang telah ditampilkan tabel 4.6, dapat dihitung prosentase nilai koreksi yang didapat:

Nilai koreksi = Nilai perhitungan – Nilai pengujian

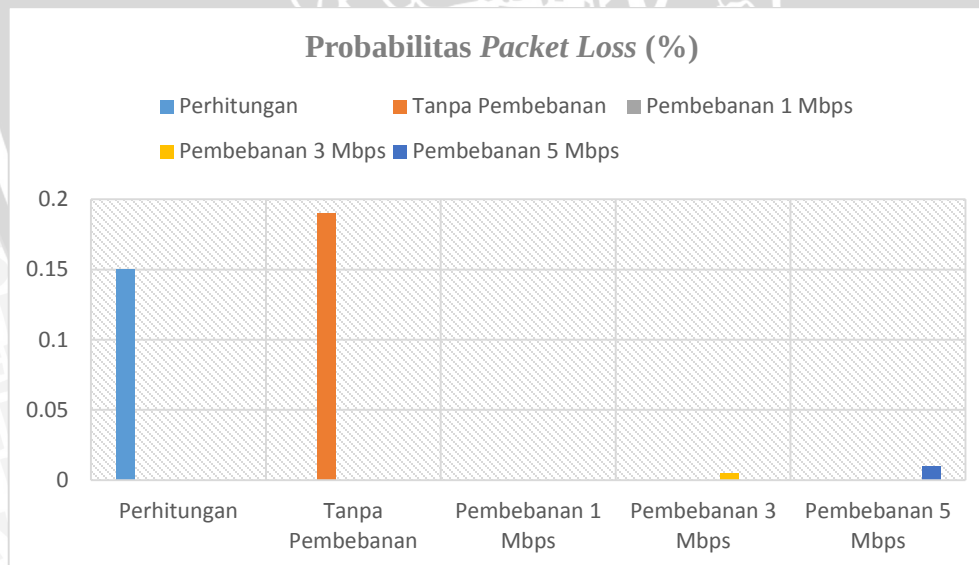
$$= 61,43 - 53,13 = 8,3$$

Prosentase nilai koreksi = $8,3/53,13 \times 100 \% = 15,62 \%$

Tabel 4.7 Perbandingan Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas <i>Packet Loss</i> (%)				
Perhitungan Pembebanan Trafik Normal	Pengujian Pembebanan Trafik			
	Normal	1 Mbps	3 Mbps	5 Mbps
0,15	0,19	0	0,005	0,01

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)



Gambar 4.15 Grafik perbandingan probabilitas *packet loss* berdasarkan perhitungan dan pengujian.

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)

Adapun hasil pengujian yang diperoleh tidak terpengaruh oleh pembebanan trafik. Berdasarkan nilai hasil perhitungan dalam keadaan normal 0,15 % dan nilai hasil pengujian dalam keadaan normal 0,19 % yang telah ditampilkan tabel 4.7, dapat dihitung prosentase nilai koreksi yang didapat:

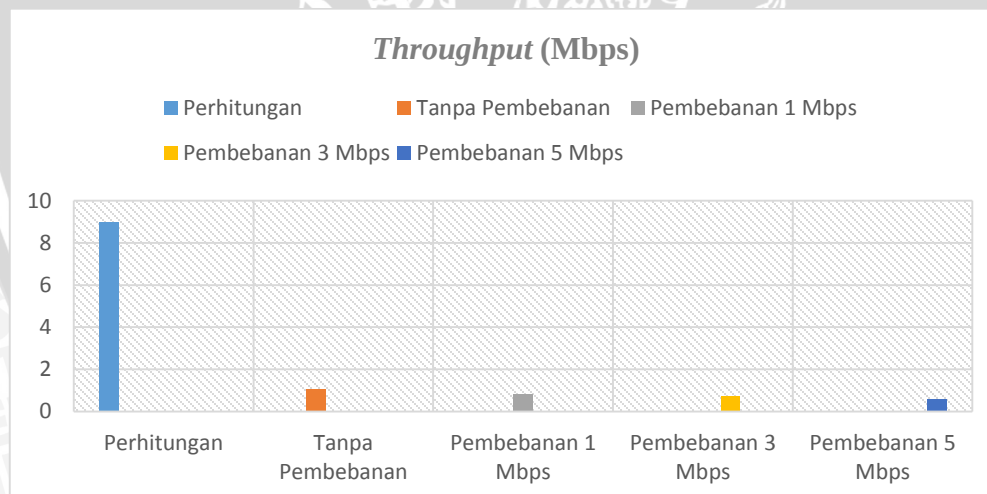
$$\begin{aligned}\text{Nilai koreksi} &= \text{Nilai perhitungan} - \text{Nilai pengujian} \\ &= 0,15\% - 0,19\% = 0,04\%\end{aligned}$$

$$\text{Prosentase nilai koreksi} = (0,04/0,19)\% = 0,21\%$$

Tabel 4.8 Perbandingan *Throughput*

<i>Throughput</i> (Mbps)				
Perhitungan Pembebanan Trafik Normal	Pengujian Pembebanan Trafik			
	Normal	1 Mbps	3 Mbps	5 Mbps
8,99	1,06	0,81	0,76	0,58

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)



Gambar 4.16 Grafik perbandingan *throughput* berdasarkan perhitungan dan pengujian.

(Sumber: Perhitungan dan Pengujian)

Adapun hasil pengujian yang diperoleh pembebanan trafik mempengaruhi nilai *throughput*. Berdasarkan nilai hasil perhitungan dalam keadaan normal 8,99 dan nilai hasil pengujian dalam keadaan normal 1,06 yang telah ditampilkan tabel 4.8, dapat dihitung prosentase nilai koreksi yang didapat:

$$\begin{aligned}\text{Nilai koreksi} &= \text{Nilai pengujian} - \text{Nilai perhitungan} \\ &= 1,06 - 8,99 = 7,93\end{aligned}$$

$$\text{Prosentase nilai koreksi} = 7,93/8,99 \times 100 \% = 88,20 \%$$

4.6.4 Hasil Perbandingan Melalui Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil perbandingan jaringan performansi dapat diketahui prosentase nilai selisih antara nilai perhitungan dan nilai pengujian pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Prosentase Nilai Koreksi

No	Keterangan	Prosentase Nilai Koreksi
1	<i>Delay end-to-end</i>	15,62 %
2	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	0,21 %
3	<i>Throughput</i>	88,20 %

(Sumber: Perhitungan)

Terjadi perbedaan nilai antara hasil pengujian dan perhitungan secara teoretis dapat terjadi karena berbagai hal, diantaranya:

Tabel 4.10 Perbedaan Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan

No	Keterangan	Alasan
1	<i>Delay end-to-end</i>	- Identifikasi jumlah <i>node</i> perangkat jaringan pada router mikrotik dan switch - Acuan nilai <i>delay codec</i> pada pengujian dan perhitungan berbeda sehingga mempengaruhi jumlah paket data <i>video conference</i> - Kondisi jaringan <i>server</i> di laboratorium komputasi jaringan komputer menuju <i>user</i> di laboratorium telekomunikasi yang terpengaruh oleh utilitas pemakai yang lain.
2	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	Nilai daya penerima (tx power) yang digunakan pada pengujian adalah mengikuti <i>default</i> perangkat

		sehingga mempengaruhi <i>daya noise</i> dan <i>signal noise to ratio</i> (SNR)
3	<i>Throughput</i>	<i>Bandwidth</i> yang diberikan oleh pihak PPTI UB terhadap penelitian skripsi ini pada server laboratorium komputasi dan jaringan komputer sebesar 1 E1, kemudian pada saat pengujian berlangsung terdapat pula beberapa pemakai non penelitian yang menggunakan sehingga mempengaruhi nilai <i>throughput</i> pengujian

4.6.5 Kualitas Performansi Layanan *Video Conference* pada WiMAX

- 1) Besarnya nilai *delay end-to-end* layanan *video conference* dengan resolusi *video* 704 x 576p pada hasil perhitungan memenuhi standar dari ITU-T G.114 $< 0,15$ s dengan kualitas baik, nilai *delay end-to-end* yang diperoleh 0,05 s, sedangkan dari hasil pengujian nilai *delay end-to-end* berdasarkan pengujian tanpa pembebanan trafik dan pengujian dengan variasi pembebanan trafik 1 Mbps, 3 Mbps dan 5 Mbps memenuhi standar ITU-T G.114 dengan kualitas baik yaitu $< 0,15$ s.
- 2) Besarnya nilai probabilitas *packet loss* layanan *video conference* dengan resolusi *video* 704 x 576p pada hasil perhitungan dan hasil pengujian yang telah dilakukan memenuhi standar ITU-T G.1010 (*videophone*) < 1 % PLR (*Packet Loss Ratio*) percakapan *video* dan *audio* dua arah.