

## BAB IV

### PEMBAHASAN DAN HASIL

#### 4.1 Umum

Pada bab ini akan membahas mengenai analisis kinerja layanan *Internet Protocol Television* (IPTV) pada jaringan VLAN WiMAX IEEE 802.16d. Ada beberapa tahap pembahasan dan analisis yang dilakukan, antara lain:

1. Konfigurasi jaringan antara *server* dan *user* dengan menggunakan sistem jaringan VLAN WiMAX IEEE 802.16d.
2. Melakukan analisis perhitungan data sekunder maupun pengambilan data primer dengan menggunakan perangkat lunak yaitu *packet analyzer Wireshark* di salah satu laptop *user*, meliputi *delay*, *packet loss*, dan *throughput*.
3. Terdapat pembebanan trafik tambahan ketika melakukan permintaan data informasi terhadap layanan IPTV dengan menggunakan perangkat lunak *Solarwinds*. Nilai trafik yang dibangkitkan bervariasi dimulai dari 0 Mbps, 3 Mbps, 6 Mbps, dan 9 Mbps pada resolusi HDTV dan *full HDTV*.
4. Membandingkan nilai perhitungan kedua jaringan dengan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T.

#### 4.2 Pembahasan

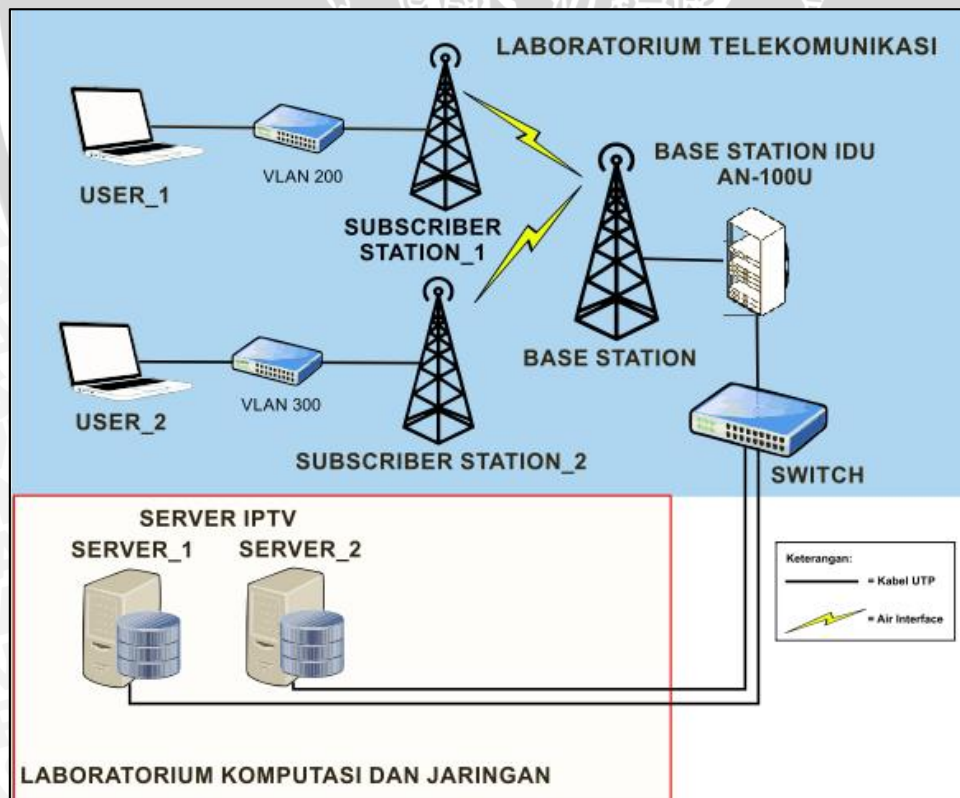
Pembahasan yang dilakukan terkait perancangan instalasi dan analisis layanan IPTV pada jaringan VLAN WiMAX 802.16d di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Tahapan pembahasan yang dilakukan antara lain: perancangan blok diagram, instalasi perangkat keras dan lunak pada sisi *server*, instalasi perangkat keras dan lunak pada sisi pengguna, pengujian koneksi dan pengujian layanan IPTV.

##### 4.2.1 Perancangan Blok Diagram

Perancangan konfigurasi perangkat teknologi VLAN WiMAX dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan luas ruangan 90 m<sup>2</sup>. Perangkat ini terdiri dari RedMAX *Base Station* (BS) sebagai pemancar yang bekerja pada pita *frekuensi* 3,5 GHz dan RedMAX *Subscriber Station* sebagai unit penerima disisi pelanggan dengan menggunakan topologi jaringan *point-to-multipoint*. Pada penelitian ini

RedMAX *Base Station* (BS) diatur untuk memancarkan pada level daya 0 dbm atau 1 mW. *Bandwidth* kanal radio yang digunakan dalam transmisi layanan yang diatur pada RedMAX *Base Station* (BS) adalah sebesar 3,5 MHz. Modulasi yang digunakan dalam perangkat ini menggunakan modulasi 64 QAM. Kapasitas transmisi data yang digunakan untuk komunikasi antara *Base Station* (BS) dengan *Subscriber Station* (SS) diatur sebesar 9 Mbps untuk masing-masing sisi *uplink* maupun *downlink*. Untuk mengetahui perbandingan kualitas kinerja maka dilakukan dengan variasi pembebanan trafik. Pembebanan trafik ini diperoleh dengan mengirimkan paket UDP dari *user* ke *server*. Nilai pembebanan trafik dibangkitkan bervariasi dimulai dari 0 Mbps, 3 Mbps, 6 Mbps dan 9 Mbps.

Perancangan blok diagram berisi tentang komponen-komponen dari sistem yang dibuat dan hubungannya. Blok diagram sistem terdiri dari tiga bagian, yakni media *server* sebagai penyedia layanan IPTV, jaringan VLAN WiMAX IEEE 802.16d sebagai media penghubung antara *server* dan *user*, dan *user* sebagai penikmat layanan IPTV. Perangkat utama yang digunakan pada jaringan VLAN WiMAX IEEE 802.16d adalah *switch*. Penggunaan *switch* pada jaringan ini adalah sebagai konfigurasi jaringan VLAN. *Port* yang ada pada *switch* akan diaktifkan sebagai mode VLAN. Gambar 4.1 menunjukkan blok diagram jaringan VLAN WiMAX IEEE 802.16d untuk layanan IPTV



Gambar 4.1 Konfigurasi Jaringan VLAN WiMAX  
(Sumber:perancangan)



Kegunaan dari masing-masing perangkat keras dalam gambar 4.1 diuraikan di tabel 4.1

Tabel 4.1 Kegunaan Perangkat Keras

No.	Jenis Perangkat Keras	Fungsi
1.	PC Server	Penyedia layanan (IPTV)
2.	Switch	Konfigurator jaringan VLAN
3.	Kabel UTP	Menghubungkan perangkat dengan konekor RJ-45
4.	Laptop (User)	Menerima files dan menjalankan layanan IPTV
5.	Base Station (BS)	Menghubungkan <i>Subscriber Station</i> (SS) dengan <i>transport site</i>
6.	Subscriber Station (SS)	Menerima data dari <i>Base Station</i> (BS) selanjutnya akan terhubung dengan <i>user</i> .

(Sumber: Penelitian)

Penelitian ini menggunakan perangkat-perangkat yang memiliki spesifikasi tertentu agar sistem dapat berjalan. Berikut adalah spesifikasi perangkat yang digunakan.

a. PC Server

HP Proliant Server adalah merk pc yang digunakan sebagai *media server*. Spesifikasi PC server HP Proliant ML110G7-SATA ditunjukkan pada tabel 4.2

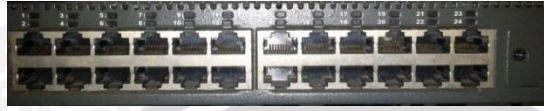
Tabel 4.2 Spesifikasi PC Server

Spesifikasi	Keterangan
Processor	Quad Core Intel ® Xeon ® E3-1220 (3.10GHz/4-core/8MB/80W, 1333, Turbo 1/2/3/4
RAM	2GB (1×2GB) PC3-10600E DDR3 UB ECC NOTE: Total 4 DIMM slots
Kapasitas Hard Disk	1×250GB 3.5" Non-hot plug SATA
Operating System	Windows Server 2003
NIC	10 Gb/detik (2 buah)
VGA	Integrated Matrox G200eH, 16MB video standard 16 bit color: maximum resolution of 1920×1200 32 bit color: maximum resolution of 1280×1024
Port USB	Ada, 2×4 buah port

(Sumber: Perancangan)

b. *Switch*

*Switch* adalah perangkat yang menghubungkan *segmen* jaringan. *Switch* digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai konfigurasi VLAN. *Switch* yang digunakan adalah merk SMC. Pada gambar 4.2 merupakan *switch* yang digunakan pada penelitian ini dan spesifikasi *switch* ditunjukkan pada Tabel 4.3

Gambar 4.2 *Switch*Tabel 4.3 Spesifikasi *Switch*

Spesifikasi	Keterangan
LAN Ports	24
Input Voltage	100-240V AC, 50/60 Hz
Type	Manageable Switch

(Sumber: Perancangan)

## c. Kabel UTP

Kabel UTP yang digunakan ini memiliki konfigurasi *cross*, kabel ini digunakan untuk menghubungkan perangkat PC *server* dengan *switch*, dan SS ke *user*. Spesifikasi kabel UTP ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Spesifikasi Kabel UTP

Spesifikasi	Keterangan
Panjang	80 m
<i>Impedansi</i> Karakteristik	100 Ohm +/- 15%
Kecepatan <i>Propagasi</i>	0.64c
<i>Delay Propagasi</i>	4.8-5.3 ns/m
Kapasitansi	52 pF/m
Induktansi	525 nH/m
Diameter Kabel	0.51054 mm
Ketebalan Isolasi	0.245 mm
Merk	BELDEN Cat 5
Temperatur Kerja	-55 <sup>0</sup> C~60 <sup>0</sup> C

(Sumber: Perancangan)



d. *Base Station (BS)*

*Base Station (BS)* merupakan produk keluaran RedMAX yang memfasilitasi pengadaan cepat dari layanan-layanan yang diberikan oleh *provider*. Pada gambar 4.3 merupakan antenna pemancar *Base Station (BS)* yang digunakan pada penelitian ini dan spesifikasi *Base Station (BS)* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.5



Gambar 4.3 Antena Pemancar *Base Station (BS)*

Tabel 4.5 Spesifikasi *Base Station (BS)* RedMAX

Spesifikasi	Keterangan
<i>System Capability</i>	<i>Line-of-Sight (LOS), non LOS</i>
<i>RF Band</i>	3,5 GHz
<i>Channel Size</i>	3,5 MHz
<i>Sector Capacity</i>	9 Mbps (3,5 MHz channel size)
<i>Modulation</i>	64 QAM
<i>Antenna Gain</i>	17,5 dB
<i>Tx Power</i>	-12,91 dBm (LOS)
<i>Range</i>	1 km
<i>Operating Temperature</i>	IDU: 0 °C to 40 °C (32 °F to 104 °F) ODU: -40 °C to 60 °C (-40 °F to 140 °F)

(Sumber: Perancangan)

e. *Subscriber Station (SS)*

Penelitian ini menggunakan dua SS dengan panjang 10 meter dari BS yang telah tersambung dengan laptop *user*. Pada gambar 4.4 merupakan antenna pemancar

*Subscriber Station* (SS) yang digunakan. Spesifikasi *Subscriber Station* (SS) yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 4.6



Gambar 4.4 Antena Penerima *Subscriber Station*

Tabel 4.6 Spesifikasi *Subscriber Station* (SS) RedMAX

Spesifikasi	Keterangan
<i>System Capability</i>	<i>Line-of-Sight</i> (LOS), non LOS
<i>RF Band</i>	3,5 GHz
<i>Modulation</i>	64 QAM
<i>Channel Size</i>	3,5 MHz
<i>Range</i>	1 km
<i>Operating Temperature</i>	40°C to +60°C (-40°F to +140 °F)

(Sumber: Perancangan)

#### 4.2.2 Instalasi Perangkat Keras dan Lunak pada sisi *Server*

Pada tahap ini dilakukan instalasi perangkat keras sesuai dengan perancangan blok diagram dan perangkat lunak yang dibutuhkan masing-masing perangkat untuk melaksanakan fungsinya pada sisi *server*.

##### a. Instalasi Perangkat Keras

Instalasi perangkat keras dilakukan untuk menghubungkan masing-masing perangkat keras dengan media fisik untuk menjadi satu jaringan yang terhubung. Perangkat keras pada sisi *server* antara lain, pc *server*.

##### b. Instalasi Perangkat Lunak

Instalasi perangkat lunak yaitu *Windows Server* 2003 dan *Unreal Media Server* sehingga perangkat lunak pendukung layanan IPTV dapat dijalankan pada *windows*.

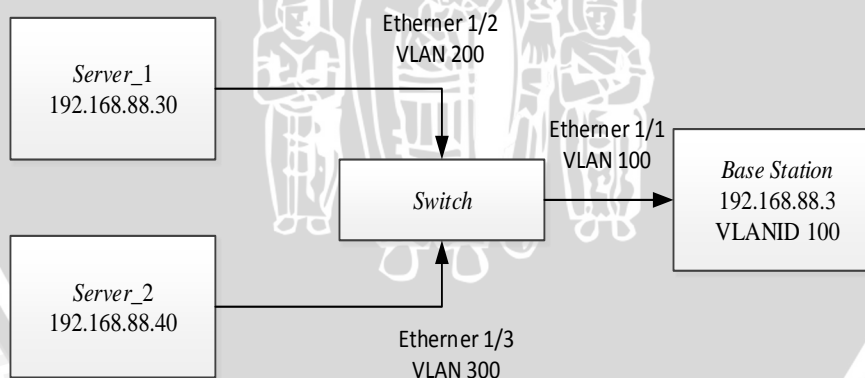


Setelah aplikasi *Unreal Media Server* berhasil terpasang, langkah selanjutnya konfigurasi aplikasi tersebut dengan langkah-langkah sebagai berikut,

1. Membuka *file* aplikasi dengan cara memilih menu “*Media Server Configurator*”
2. Mengatur IP *broadcast* pada “*Network Interface*”. Kemudian mengatur *port firewall* pada “*Players*” dan “*Live Servers*”. Dan mengatur “*User Logging*” pada “*Disable logging*”.
3. Kembali ke layar awal kemudian memilih menu “*Media Server*” dan menu “*New Virtual Folder*”.
4. Mengisikan nama acara streaming pada kolom “*Folder Name*”. Mencari lokasi file yang akan diputar pada tombol “*Browse*”.

#### 4.2.3 Konfigurasi Port VLAN WiMAX pada Switch

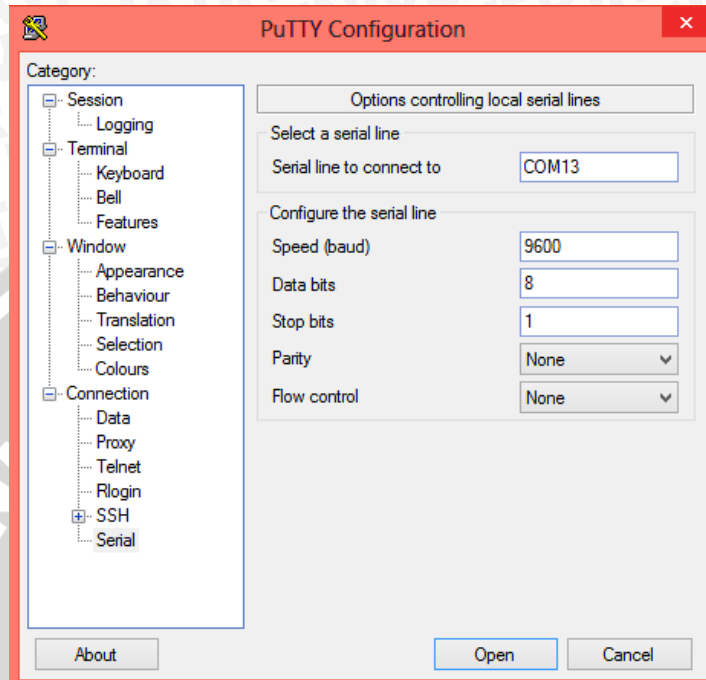
Pada langkah ini *port* pada *switch* disesuaikan dengan kebutuhan *port* VLAN dengan perancangan jaringan. *Interface Ethernet 1/1 switch* akan dihubungkan dengan *Base Station* (BS) sebagai mode *trunk* (VLAN 100). *Interface Ethernet 1/2* akan dihubungkan dengan *server\_1* sebagai VLAN 200 dan *Interface Ethernet 1/3* akan dihubungkan dengan *server\_2* sebagai VLAN 300. Gambar 4.5 merupakan blok diagram konfigurasi VLAN antara *server* dengan *Base Station*



Gambar 4.5 Blok Diagram VLAN

Pembagian dua *segmen* VLAN ini akan dilakukan pada konfigurasi *switch* melalui *port RS-232* pada laptop. Instalasi *port* VLAN ditunjukkan sebagai berikut :

1. Menghubungkan kabel RS-232 *Serial port device switch* ke *COMM port RS-232 serial* di laptop.
2. Selanjutnya menjalankan aplikasi *PuTTY* dan menentukan data format *speed (baud)* 9600, data *bits* 8, stop *bits* 1 dan *flow control none* seperti pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Konfigurasi *PuTTY*

(Sumber: penelitian)

3. Kemudian memilih *session* dengan cara memilih *connection type* : *Serial* dan *Close window on Exit* : *Only on clean exit*.

4. Mengatur *switch* menggunakan perintah seperti dibawah ini

```
Console#configure
```

```
Console(config)#vlan database
```

```
Console(config-vlan)#vlan 100 name Trunk media ethernet state active
```

```
Console(config-vlan)#vlan 200 name Server1 media ethernet state active
```

```
Console(config-vlan)#vlan 300 name Server2 media ethernet state active
```

```
Console(config-vlan)#exit
```

```
Console(config)#Interface Ethernet 1/1
```

```
Console(config-if)#switchport allowad vlan add 100 tagged
```

```
Console(config-if)#switchport allowad vlan add 200 tagged
```

```
Console(config-if)#switchport allowad vlan add 300 tagged
```

```
Console(config-if)#switchport allowad vlan add 100 untagged
```

```
Console(config-if)#switchport native vlan 100
```



```

Console(config-if)#switchport allowed vlan remove 1
Console(config-if)#switchport mode trunk
Console(config-vlan)#exit
Console(config)#Interface Ethernet 1/2
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 100 tagged
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 200 tagged
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 200 untagged
Console(config-if)#switchport native vlan 200
Console(config-if)#switchport allowed vlan remove 1
Console(config-if)#exit
Console(config)#Interface Ethernet 1/3
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 100 tagged
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 300 tagged
Console(config-if)#switchport allowed vlan add 300 untagged
Console(config-if)#switchport native vlan 300
Console(config-if)#switchport allowed vlan remove 1
Console(config-if)#exit

```

5. Untuk melihat vlan yang aktif, dapat menggunakan perintah :

```

Console#sh vlan
Vlan ID:      1
Type:         Static
Name:         DefaultVlan
Status:       Active
Ports/Port channel: Eth1/ 4(S) Eth1/ 5(S) Eth1/6(S) Eth1/7(S) Eth1/8(S) Eth1/9(S)
                  Eth1/10(S) Eth1/11(S) Eth1/12(S) Eth1/13(S) Eth1/14(S) Eth1/15(S)
                  Eth1/16(S) Eth1/17(S) Eth1/18(S) Eth1/19(S) Eth1/20(S) Eth1/21(S)
                  Eth1/22(S) Eth1/23(S) Eth1/24(S) Eth1/25(S)

Vlan ID:      100
Type:         Static
Name:         Trunk
Status:       Active
Ports/Port channel: Eth1/ 1(S) Eth1/ 2(S) Eth1/ 3(S)

Vlan ID:      200
Type:         Static

```

Name: Server\_1  
 Status: Active  
 Ports/Port channel: Eth1/ 1(S) Eth1/ 2(S)  
 Vlan ID: 300  
 Type: Static  
 Name: Server\_2  
 Status: Active  
 Ports/Port channel: Eth1/ 2(S) Eth1/ 3(S)

#### 4.2.4 Konfigurasi WiMAX

Dalam konfigurasi penelitian, beberapa aspek yang perlu dicermati dalam mengkonfigurasi WiMAX (*Base Station AN-100U dan SU-O AN-100U*) yaitu mengkonfigurasi *management configuration* pada *browser* seperti kecepatan kanal, *mode trafik*, dan maksimal *user* kemudian mengatur *radio frekuensi*, *channel size* dan mode VLANID dengan besaran nilai yang telah ditentukan seperti pada gambar 4.7 dan gambar 4.9

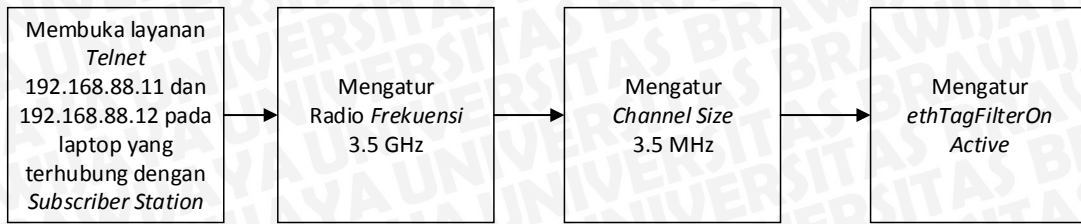


Gambar 4.7 Konfigurasi pada *Base Station*.

**Management Configuration**  
 IP Parameters  
 Obtain IP Parameters from DHCP Server  
 Use the following IP Parameters:  
 IP Address: 192.168.88.3  
 Subnet Mask: 255.255.255.0  
 Default Gateway: 192.168.88.1  
 Time Server (SNTP): 0.0.0.0 Refresh Time  
 Time Zone: 0 : 0  
 Daylight Savings:   
 Syslog Server: 0.0.0.0  
 DHCP Relay Agent Parameters  
 SS's should use the same DHCP Server as SC  
 SS's should use the following DHCP server:  
 DHCP Server: 192.168.88.1  
 VLAN Management  
 Enable Management with VLAN tagged traffic  
 VLAN ID: 100  
 Save Cancel Default

Gambar 4.8 *Management Configuration*  
(Sumber: perancangan)





Gambar 4.9 Konfigurasi pada *Subscriber Station*  
(Sumber: perancangan)

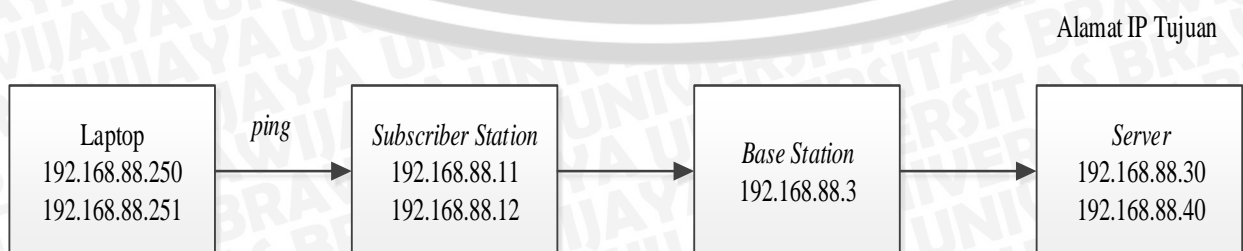
IP 192.168.88.11 digunakan untuk *user\_1* dan IP 192.168.88.12 digunakan untuk *user\_2*. Berikut adalah langkah-langkah pengaturan parameter pada *Subscriber Station* (SS):

```

SUO#>
SUO#> set
SUO(set->)#> rfConfig LoRfFreq1 3500000
SUO(set->)#> rfConfig HiRfFreq1 3500000
SUO(set->)#> phyConfig Bandwidth 3500
SUO(set->)#> ethTag Active 0
SUO(set->)#> ManagedSS 0
SUO(set->)#> VLANID 200 // (Untuk IP 192.168.88.11)
SUO(set->)#> VLANID 300 // (Untuk IP 192.168.88.12)
  
```

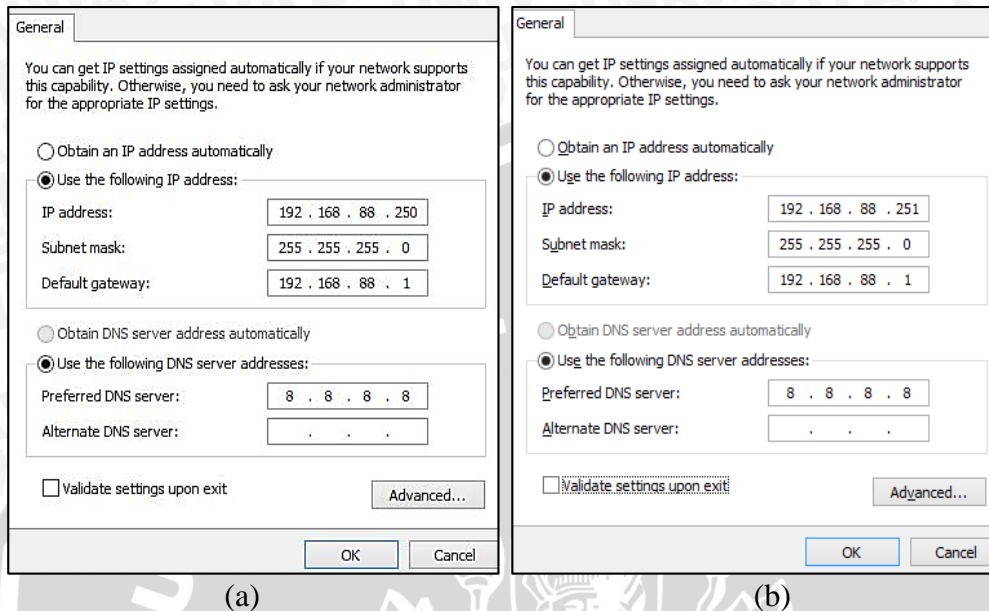
#### 4.2.5 Pengujian Koneksi Jaringan

Tujuan pengujian koneksi jaringan bertujuan mengetahui koneksi antar perangkat pada sistem setelah terhubung dengan baik, yaitu *server* menuju *Base Station* (BS), *Subscriber Station* (SS) hingga *user* (laptop). Pengujian dilakukan dengan mengirimkan pesan perintah *ping* melalui *command prompt* dari laptop pengguna menuju *server*. Pada gambar 4.10 merupakan blok diagram pengujian koneksi jaringan.



Gambar 4.10 Blok Diagram Pengujian Koneksi Jaringan.

Sesuaikan *IP address*, *subnet mask*, *default gateway* dan *preferred DNS server* untuk setiap masing-masing *user*. Pada gambar 4.11 (a) merupakan pengaturan IP untuk *user\_1* dan gambar 4.11 (b) untuk *user\_2*.



(a) (b)  
Gambar 4.11 Setting IP Address pada User

Hasil pengujian koneksi dapat dilihat pada gambar 4.12, gambar tersebut berisi informasi perintah *ping*, alamat tujuan, jumlah paket terkirim dan yang diterima, hasil yang diterima, waktu dan banyaknya jumlah perangkat yang dilewati oleh IP tujuan.

```
C:\Users\Arief>ping 192.168.88.30

Pinging 192.168.88.30 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.88.30: bytes=32 time=27ms TTL=128
Reply from 192.168.88.30: bytes=32 time=28ms TTL=128
Reply from 192.168.88.30: bytes=32 time=22ms TTL=128
Reply from 192.168.88.30: bytes=32 time=26ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.88.30:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 22ms, Maximum = 28ms, Average = 25ms
```

Gambar 4.12 Hasil Uji Koneksi dengan *Segmen* VLAN Sama  
(Sumber: Hasil Pengujian)

Penjelasan dari gambar diatas adalah

- Perintah *ping* 192.168.88.30  
Alamat 192.168.88.30 menunjukkan alamat pada *server\_1* digunakan untuk menguji perangkat pada WiMAX sudah terhubung pada *switch* dengan jalur yang benar.
- Informasi *reply from* 192.168.88.30



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=27ms

Mengidentifikasi respon waktu yang didapatkan saat melakukan proses pengujian koneksi.

- TTL=128

TTL merupakan “*time-to-live*” yang menunjukkan jumlah maksimal melewati alamat IP sebanyak 128 kali. Dan mengindikasikan juga berapa jumlah perangkat antara sumber dan tujuan.

Pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa apabila *segmen* VLAN berbeda maka hasil uji koneksi adalah tidak saling terhubung.

```
C:\Users\Arief>ping 192.168.88.40
Pinging 192.168.88.40 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.

Ping statistics for 192.168.88.40:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

C:\Users\Arief>ping 192.168.88.251
Pinging 192.168.88.251 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.88.250: Destination host unreachable.

Ping statistics for 192.168.88.251:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
```

Gambar 4.13 Hasil Uji Koneksi dengan *Segmen* VLAN Berbeda.  
(Sumber: Hasil Pengujian)

Penjelasan dari gambar diatas adalah

- Perintah *ping* 192.168.88.40 dan *ping* 192.168.88.251

Alamat 192.168.88.40 dan 192.168.88.251 menunjukkan alamat pada *server\_2* dan alamat *user\_2* yang digunakan untuk menguji perangkat pada WiMAX. Hasil Uji koneksi tidak terhubung dengan keterangan *reply : destination host unreachable*.

#### 4.2.6 Pengujian Layanan IPTV

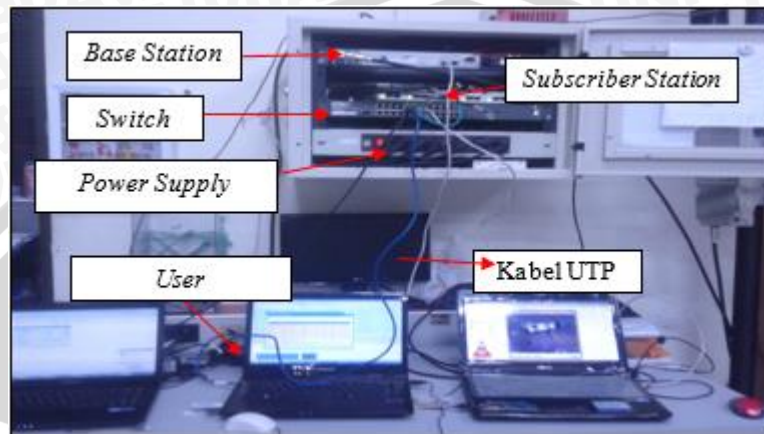
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komunikasi yang terhubung antara perangkat *user* yang berada di laboratorium Telekomunikasi dengan *server* yang berada di

Laboratorium Komputasi dan Jaringan dengan menggunakan layanan IPTV. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan *file* dari *server* menuju pengguna dan pengguna akan memainkan *file* tersebut menggunakan *media player*.

a. Peralatan Pengujian

Gambar 4.14 merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan pengamatan.

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian layanan IPTV, antara lain :



Gambar 4.14 Pengujian Layanan IPTV

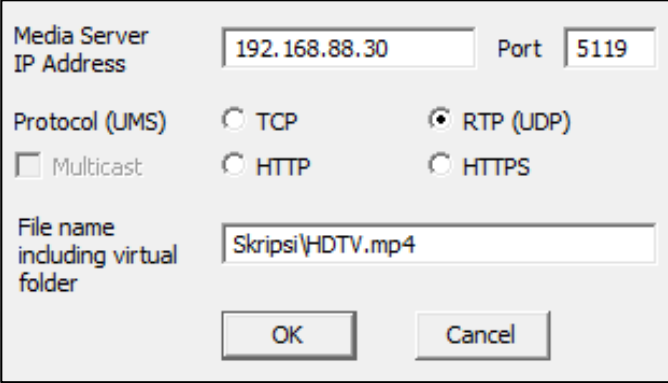
1. Dua buah laptop dan dua buah PC *server*
2. Perangkat lunak *packet analyzer Wireshark* dan perangkat lunak *Solarwind*
3. Perangkat lunak *Streaming Media Player*
4. *Base Station* dan *Subscriber Station SUO-AN100U*
5. *Switch* dan kabel UTP

b. Langkah-langkah pengujian.

Adapun langkah – langkah pengujian layanan IPTV yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengatur alamat IP *server* yang menjadi tujuan dengan alamat IP *address* 192.168.88.30 dan 192.168.88.40
2. Menghubungkan dua PC *server* dengan perangkat *switch* yang sudah dikonfigurasi menjadi mode VLAN
3. Menghubungkan laptop dengan perangkat *Subscriber Station SUO 100U*
4. Menjalankan aplikasi perangkat lunak *Unreal Media Server* pada *server* dengan bantuan layanan *remote desktop connection* dan proses siaran pada *server*.
5. Menjalankan aplikasi *Unreal Streaming Media Player* pada laptop pengguna. Pilih menu “Play” pada *menubar* dan “Play File” sesuai dengan gambar 4.15.





Media Server IP Address	192.168.88.30	Port	5119
Protocol (UMS)	<input type="radio"/> TCP	<input checked="" type="radio"/> RTP (UDP)	
<input type="checkbox"/> Multicast	<input type="radio"/> HTTP	<input type="radio"/> HTTPS	
File name including virtual folder	Skripsi\HDTV.mp4		
OK		Cancel	

Gambar 4.15 Play Playlist Unreal Streaming

6. Mengisi alamat sesuai dengan IP server masing-masing.
7. Memilih *protocol* RTP (UDP) pada kotak dialog tersebut.
8. Mengisi nama *virtual folder* pada server
9. Hasil pengujian layanan terhadap hasil IPTV ditunjukkan oleh gambar 4.16



Gambar 4.16 Hasil Tampilan layanan IPTV  
(Sumber: Hasil Pengujian)

### 4.3 Hasil

Sistem komunikasi pada penelitian adalah satu arah, yakni dari *server* menuju *user*. Pada pengamatan IPTV akan ditampilkan dengan resolusi HDTV dengan resolusi  $1280 \times 720$  dan *full* HDTV dengan resolusi  $1920 \times 1080$ . Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini berjumlah empat tahap dengan menggunakan topologi jaringan *point-to-multipoint*. Pengamatan pertama menggunakan pembebanan trafik 0 Mbps, pengamatan kedua menggunakan pembebanan trafik 3 Mbps, pengamatan ketiga menggunakan pembebanan 6 Mbps dan pengamatan keempat menggunakan pembebanan trafik 9 Mbps. Proses pembebanan trafik menggunakan aplikasi *Solarwind*. Pengamatan data dilakukan

sebanyak sepuluh kali per tiap pengamatan untuk mendapatkan hasil optimal dan menunjukkan kualitas jaringan. Proses pengambilan data primer 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 UTP. Proses *captur* paket data dilakukan selama 60 detik. Paket data yang ditangkap oleh *Wireshark* kemudian disimpan menjadi *file* dengan ekstensi *media library pcap (\*.pap)*. Kemudian data diolah sehingga parameter *delay*, *packet loss*, dan *throughput* diketahui.

#### 4.3.1 Hasil Pengamatan

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter *delay*, *packet loss* dan *throughput* berdasarkan hasil pengamatan menggunakan aplikasi *Wireshark*.

##### a. Delay

*Delay* menunjukkan besarnya waktu mulai dari *server* yang terletak di Laboratorium Dasar Komputasi dan Jaringan sampai *user* yang terletak di Laboratorium Telekomunikasi. Hasil pengamatan terhadap *delay* diuraikan di tabel 4.7 dan tabel 4.8

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan *Delay* pada Resolusi HDTV

No	<i>Delay</i>			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 6 Mbps	Pembebanan Trafik 9 Mbps
1	5,67 ms	5,55 ms	6,03 ms	6,40 ms
2	5,5 ms	5,71 ms	5,97 ms	6,54 ms
3	5,55 ms	5,54 ms	6,08 ms	6,32 ms
4	5,52 ms	5,45 ms	6,18 ms	6,28 ms
5	5,58 ms	6,17 ms	5,73 ms	6,31 ms
6	5,52 ms	5,86 ms	5,61 ms	5,89 ms
7	5,47 ms	5,45 ms	6,36 ms	6,11 ms
8	5,52 ms	6,11 ms	5,57 ms	5,81 ms
9	5,52 ms	5,89 ms	6,47 ms	6,62 ms
10	5,47 ms	5,76 ms	5,54 ms	5,90 ms
Rata-rata	5,532 ms	5.749 ms	5,98 ms	6,21 ms

(Sumber: pengamatan)

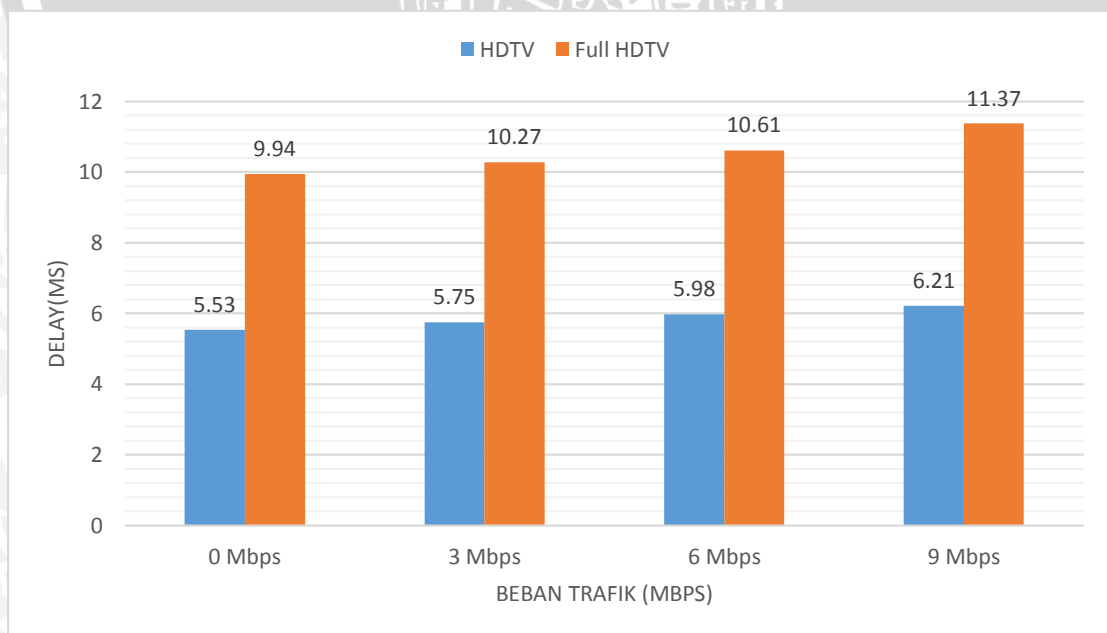


Tabel 4.8 Hasil Pengamatan *Delay* pada Resolusi *Full HDTV*

No	<i>Delay</i>			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 6 Mbps	Pembebanan Trafik 9 Mbps
1	9,92 ms	10,20 ms	10,51 ms	11,39 ms
2	9,97 ms	9,99 ms	10,62 ms	11,21 ms
3	9,93 ms	9,98 ms	10,71 ms	11,33 ms
4	9,98 ms	10,40 ms	10,59 ms	11,49 ms
5	9,74 ms	10,45 ms	10,61 ms	11,27 ms
6	9,95 ms	10,20 ms	10,59 ms	11,31 ms
7	9,89 ms	10,23 ms	10,62 ms	11,32 ms
8	9,97 ms	10,37 ms	10,68 ms	11,37 ms
9	9,86 ms	10,25 ms	10,55 ms	11,40 ms
10	9,96 ms	10,27 ms	10,68 ms	11,32 ms
Rata-rata	9,94 ms	10,27 ms	10,61 ms	11,37 ms

(Sumber : Pengamatan)

Kemudian jika tabel 4.7 dan tabel 4.8 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik, maka dapat diuraikan pada gambar 4.17

Gambar 4.17 Grafik Hubungan Beban Trafik dengan *Delay*  
(Sumber: Pengamatan)

Berdasarkan hasil pengamatan, dapat diperoleh informasi bahwa seiring dengan meningkatnya resolusi dan beban trafik jaringan (yang direpresentasikan oleh pembebanan trafik) di dalam sistem jaringan maka terjadi peningkatan nilai *delay*. Rentang nilai *delay* masih dibawah 150 ms, menunjukkan bahwa *delay* yang terjadi masih dapat ditoleransi. Peningkatan nilai *delay* disebabkan oleh adanya *processing delay time* akibat adanya antrian pengolahan paket di dalam sistem, padat trafik pada suatu jaringan akan menyebabkan paket data yang ditransmisikan semakin banyak, sehingga waktu yang diperlukan untuk memproses, mentransmisikan paket data pada media transmisi semakin lama (*delay* semakin besar).

#### b. *Packet loss*

*Packet loss* menunjukkan nilai rasio pada beberapa persen paket yang hilang dengan semua jumlah paket yang dikirimkan. Nilai *packet loss* melalui pengamatan diuraikan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10

Tabel 4.9 Hasil Pengamatan *Packet loss* Resolusi HDTV

No	<i>Packet loss</i>			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps
1	0 %	0 %	0 %	0,8 %
2	0 %	0,7 %	0%	2 %
3	0 %	0 %	0%	0,7 %
4	0 %	0,4 %	0%	0 %
5	0,4 %	0,2 %	2,1 %	0 %
6	0,01 %	0 %	0 %	0,4 %
7	0 %	0 %	0,4 %	0 %
8	0.01 %	0 %	0,1 %	0 %
9	0.02 %	0,5 %	0,5 %	0 %
10	0,01 %	0,2 %	0 %	0,5 %
Rata-rata	0,05 %	0,2 %	0,31 %	0,44 %

(Sumber: pengamatan)

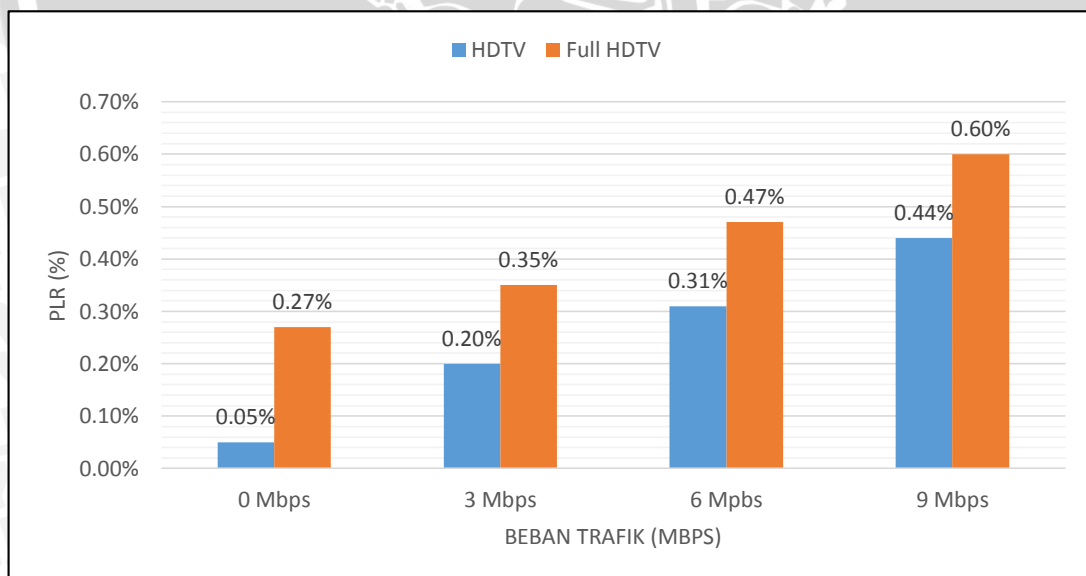


Tabel 4.10 Hasil Pengamatan *Packet loss* Resolusi *Full HDTV*

No	<i>Packet loss</i>			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps
1	0 %	0 %	0 %	0 %
2	0,7 %	0 %	0%	0 %
3	0 %	0,8 %	1,3 %	0,8 %
4	0,5 %	0,6 %	0 %	0,7 %
5	0,4 %	0 %	2,1 %	0 %
6	0,2 %	0,6 %	0 %	0 %
7	0 %	0,7 %	0,4 %	0,4 %
8	0.4 %	0 %	0,1 %	1,6 %
9	0 %	0 %	0,7 %	0 %
10	0,5 %	0,8 %	0 %	0,5 %
Rata-rata	0,27 %	0,35 %	0,47 %	0,60 %

(Sumber: pengamatan)

Kemudian tabel 4.9 dan tabel 4.10 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara pembebanan trafik dengan *packet loss* yang diterima ditunjukkan oleh gambar 4.18



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Beban Trafik dengan *Packet loss*  
(Sumber: Pengamatan)

### c. *Throughput*

*Throughput* merupakan parameter yang menunjukkan jumlah data yang diterima oleh pengguna dengan benar setelah melalui media transmisi. *Throughput* memiliki

satuan *byte/sekond*. Nilai *throughput* melalui pengamatan ditunjukkan pada tabel 4.11 untuk resolusi HDTV dan tabel 4.12 untuk resolusi *full* HDTV.

Tabel 4.11 Hasil Pengamatan *Throughput* Resolusi HDTV

No	<i>Throughput</i> (Mbps)			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps
1	1,52	1,32	1,12	1,09
2	1,58	1,43	1,23	1,13
3	1,57	1,38	1,19	0,94
4	1,58	1,51	1,29	1,19
5	1,55	1,42	1,15	1,04
6	1,58	1,33	1,20	0,99
7	1,55	1,31	1,14	1,20
8	1,57	1,29	1,31	1,08
9	1,56	1,35	1,16	1,06
10	1,56	1,37	1,21	1,10
Rata-rata	1,569	1,371	1,2	1,082

(Sumber: pengamatan)

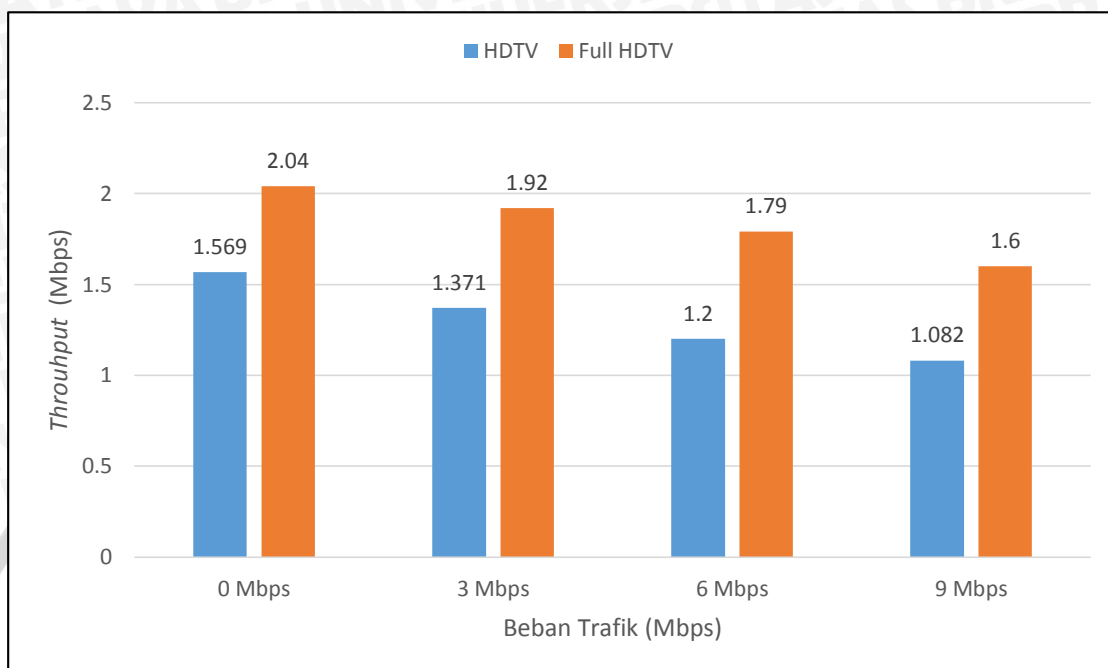
Tabel 4.12 Hasil Pengamatan *Throughput* Resolusi *Full* HDTV

No	<i>Throughput</i> (Mbps)			
	0 Mbps (Normal)	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps	Pembebanan Trafik 3 Mbps
1	1,95	1,97	1,76	1,54
2	1,97	1,87	1,75	1,51
3	2,16	1,92	1,78	1,68
4	1,96	1,8	1,87	1,67
5	2,02	1,95	1,77	1,71
6	1,98	1,97	1,72	1,66
7	1,97	1,91	1,80	1,65
8	2,18	1,96	1,81	1,54
9	1,92	1,85	1,87	1,57
10	2,28	1,98	1,97	1,67
Rata-rata	2,04	1,92	1,79	1,60

(Sumber: pengamatan)



Kemudian jika tabel 4.11 dan tabel 4.12 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara pembebanan trafik dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan oleh gambar 4.19



Gambar 4.19 Grafik Hubungan Beban Trafik dengan *Throughput* (Sumber: pengamatan)

Berdasarkan hasil pengamatan, menunjukkan hasil pengukuran terhadap uji *throughput* dengan variasi pembebanan trafik. Secara umum, berdasarkan gambar tersebut, dapat diperoleh informasi bahwa terjadi penurunan nilai *throughput* yang proporsional seiring dengan bertambahnya resolusi dan pembebanan trafik yang berada didalam sistem. Hal ini disebabkan terjadinya *kongesti* atau antrian, dimana ketika suatu paket tersebut tidak diolah akan mengakibatkan *packet drop*. Kondisi inilah yang menyebabkan nilai *throughput* menjadi lebih kecil ketika pembebanan trafik yang ada semakin besar dan *resolusi* semakin besar.

#### 4.3.2 Hasil Perhitungan secara Teoritis

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter jaringan (*delay end to end*, *throughput*, *packet loss*) berdasarkan perhitungan teoritis dengan literatur yang sesuai dengan standar WiMAX IEEE 80.16d.

##### 4.3.2.1 Spesifikasi IPTV

Aplikasi IPTV yang akan dianalisis menggunakan *codec video* jenis H.264/AVC-MPEG-4 dengan *bitrate codec* sebesar 547 kbps pada resolusi HDTV sedangkan untuk resolusi *full HDTV* besar nilai *bitrate codec* adalah 1025 kbps dan *codec audio* jenis AAC

dengan *bitrate codec* sebesar 125 kbps pada resolusi HDTV sedangkan untuk resolusi *full HDTV* besar nilai *bitrate codec* adalah 192 kbps. Dengan *frame rate* sebesar 25 ms. Berdasarkan persamaan 2-1 dan 2-2 maka didapat nilai *payload audio* dan *payload video* sebagai berikut:

$$P_A = \text{bitrate audio} \times \text{frame rate} = 125 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 25 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 3125 \text{ bit}$$

$$P_V = \text{bitrate video} \times \text{frame rate} = 547 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 25 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 13675 \text{ bit}$$

*Payload video* dan *audio* kemudian dienkodkan menggunakan *codec*. *Payload video* enkodkan H.264/AVC MPEG-4 dan *payload audio* enkodkan AAC. Jumlah *payload* maksimum untuk *payload video* sebesar 254 *byte* dan *payload audio* sebesar 63 *byte*. Sehingga jumlah paket data *video* dan *audio* sesuai persamaan 2-3 dan 2-4. Dapat diperoleh sebagai berikut:

$$N_A = \frac{P_A}{P_A \text{ maksimum}} = \frac{3125 \text{ bit}}{63 \text{ byte} \times 8} = 6.20 \approx 6 \text{ paket}$$

$$N_V = \frac{P_V}{P_V \text{ maksimum}} = \frac{13675 \text{ bit}}{254 \text{ byte} \times 8} = 6.73 \approx 7 \text{ paket}$$

*Payload audio* dan *payload video* masing-masing ditambahkan dengan *header IPv4*, *NALU*, *UDP*, *RTP*. Dengan rincian sebagai berikut:

1. Panjang *header IPv4* ( $L_{Header \text{ IPv4}}$ ) = 20 *byte/paket*
2. Panjang *header NALU* ( $L_{Header \text{ NALU}}$ ) = 1 *byte/paket*
3. Panjang *header UDP* ( $L_{Header \text{ UDP}}$ ) = 8 *byte/paket*
4. Panjang *header RTP* ( $L_{Header \text{ RTP}}$ ) = 12 *byte/paket*

Berdasarkan persamaan 2-5 dan 2-6 didapatkan besarnya *payload video* dan *audio* sebesar:

$$\begin{aligned} P_A (\text{encoded}) &= P_A + N_A \times (H_{IPv4} + H_{NALU} + H_{UDP} + H_{RTP}) \\ &= 3125 \text{ bit} + 6 \times (160 + 8 + 64 + 96) \text{ bit} \\ &= 5093 \text{ bit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_V (\text{encoded}) &= P_V + N_V \times (H_{IPv4} + H_{NALU} + H_{UDP} + H_{RTP}) \\ &= 13675 \text{ bit} + 7 \times (160 + 8 + 64 + 96) \text{ bit} \\ &= 15971 \text{ bit} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan 2-7 didapat jumlah paket data layanan IPTV yang ditransmisikan pada sistem ini sebesar:

$$\begin{aligned} P_{IPTV \text{ size}} &= P_A (\text{encoded}) + P_V (\text{encoded}) \\ &= 5093 \text{ bit} + 15971 \text{ bit} \\ &= 21064 \text{ bit} = 2633 \text{ byte} \end{aligned}$$



Dengan cara yang sama, maka perhitungan besar paket data aplikasi IPTV untuk *file* beresolusi HDTV dan *full* HDTV dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.13

Tabel 4.13 *Payload* IPTV

No.	Jenis Resolusi Video	P <sub>iptv</sub> size (byte)
1	HDTV	2633
2	Full HDTV	4746

#### 4.3.2.2 Perhitungan *Signal to Noise Ratio*

*Signal to Noise Ratio* merupakan perbandingan antara daya yang dipancarkan transmitter terhadap *noise* yang timbul pada saat proses *propagasi*. Untuk mengetahui besarnya SNR, maka perlu diketahui terlebih dahulu besarnya *noise* yang timbul.

Nilai  $P_r$  merupakan daya terima yang diperoleh oleh penerima yang sudah diatur dengan besar daya -12,91 dBm atau 0,05 mW.  $N_o$  merupakan *noise level* pada WiMAX, berdasarkan persamaan 2-9 dan tabel 4.6 *Operating temperature* antena *Subscriber Station* (SS) berkisar antara -40 °C sampai 60°C. Pada analisis dan perhitungan ini, temperatur sistem (T) diasumsikan sebesar 40°C maka :

$$T = 40^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C} = 313 \text{ K}$$

$$N_o = (10 \log kT + 10 \log B + NF) \text{ dB}$$

$$N_o = (10 \log (1,308 \times 10^{-23} \times 313)) \text{ dB} + (10 \log (3,5 \times 10^6)) \text{ dB} + 3,2 \text{ dB}$$

$$N_o = -203,88 \text{ dB} + 65,44 + 3,2 \text{ dB}$$

$$N_o = -135,24 \text{ dB}$$

Berdasarkan persamaan 2-8 dan mengacu pada nilai daya pada *receiver* ( $P_r$ ) yang telah disetting manual, maka nilai *signal to noise ratio* adalah sebagai berikut:

$$SNR = P_r - N_o$$

$$SNR = -12,91 \text{ dB} - (-135,24 \text{ dB})$$

$$SNR = 122,33 \text{ dB}$$

Berdasarkan persamaan 2-10 diperoleh persamaan  $SNR_{\text{sistem}}$  sebagai berikut:

$$SNR_{\text{sistem}} = (1 - \alpha_{CP}) \times SNR$$

$$SNR_{\text{sistem}} = \left(1 - \frac{1}{16}\right) \times 122,33$$

$$SNR_{\text{sistem}} = 114,684 \text{ dB}$$

#### 4.3.2.3 Perhitungan Kapasitas Kanal

Dengan menggunakan persamaan 2-11 maka perhitungan kapasitas kanal dengan *bandwidth* 3,5 MHz adalah:

$$C = B \log_2(1 + SNR_{sistem})$$

$$C = 3,5 \times \log_2(1 + 114,684)$$

$$C = 23,98 \text{ Mbps}$$

#### 4.3.2.4 Perhitungan *Bit Rate* pada Modulasi

Pada modulasi 64 QAM terdapat 6 *bit* untuk tiap simbol maka jumlah  $n=64$  dengan *bandwidth* kanal 3,5 MHz. Berdasarkan persamaan 2-12 besar nilai *bit rate* pada modulasi 64 QAM didapat:

$$R = B \times \log_2 n$$

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

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

#### 4.3.2.5 Perhitungan *Energi Bit to Noise*

Jarak *Base Station* (BS) ke *user* sejauh 10 meter dan *bandwidth* yang digunakan sebesar 3,5 MHz.  $R$  adalah *bit rate* dengan nilai 21 Mbps, sehingga  $E_b/N_o$  dapat dihitung dengan persamaan 2-13:

$$R_{dB} = 10 \log R$$

$$R_{dB} = 10 \log (21 \times 10^6)$$

$$R_{dB} = 73,22 \text{ dB}$$

$$B_{dB} = 10 \log B$$

$$B_{dB} = 10 \log (3,5 \times 10^6)$$

$$B_{dB} = 65,44$$

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR \times \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 114,684 \times \frac{65,44}{73,22}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 101,98 \text{ dB}$$



#### 4.3.2.6 Perhitungan *Bit Error Rate*

Pada penelitian ini, modulasi yang digunakan adalah standar perangkat yaitu 64 QAM, dengan *bandwidth* kanal sebesar 3,5 MHz. Kemudian  $P_{network}$  dapat dihitung dengan persamaan 2-14 :

$$k = \log_2(64) = 6$$

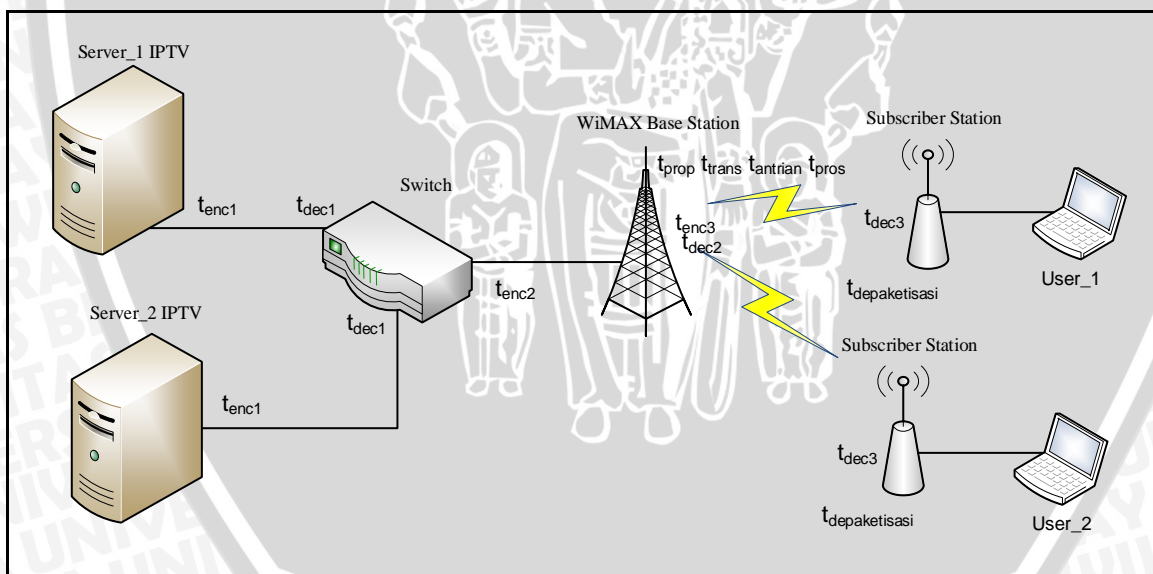
$$P_{network} = \frac{3}{2k} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{k \cdot E_b}{10 N_o}} \right)$$

$$P_{network} = \frac{3}{2 \times 6} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{6}{10} \times 101,98} \right)$$

$$P_{network} = 4,774 \times 10^{-29}$$

#### 4.3.2.7 *Delay End to End*

Perhitungan *delay-to-end* secara teoritis terdiri dari *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian, dan *delay* paketisasi dan *depaketisasi*. Hasil penjumlahan kelima nilai *delay* tersebut merupakan nilai *delay-to-end*. Gambar 4.20 menunjukkan ilustrasi proses terjadi *delay end to end*.



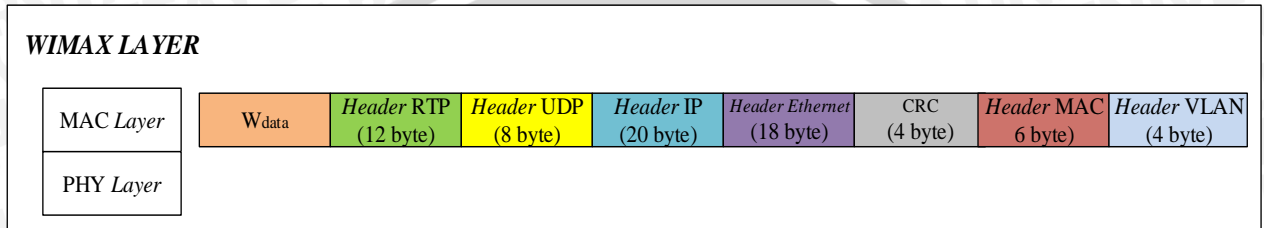
Gambar 4.20 *Delay End to End*  
(Sumber: Mischa Schwartz, 1994)

Berdasarkan gambar 4.20 *delay end to end* dihitung dengan menggunakan persamaan 2-15 (Mischa Schwartz, 1994) yaitu

$$t_{end\ to\ end} = t_{proses} + t_t + t_p + t_w + t_{dec}$$

### a. Delay Proses

*Delay* proses terdiri dari proses *enkapsulasi* dan *dekapsulasi*. *Enkapsulasi* adalah proses penambahan *header* pada paket data, sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke tujuan. *Delay enkapsulasi* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan *header* pada sebuah paket. Sedangkan *delay dekapsulasi* adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket. Gambar 4.21 merupakan format paket data *layer* MAC WiMAX.



Gambar 4.21 Format Paket Data MAC WiMAX  
(Sumber: Nuaymi, 2007)

$$\begin{aligned}
 W_{message} &= W_{data} + \text{Header}_{RTP} \\
 &= 2633 + 12 \\
 &= 2645
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{segmen} &= W_{message} + \text{Header}_{UDP} \\
 &= 2645 + 8 \\
 &= 2653
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{datagram} &= W_{segmen} + \text{Header}_{IP} \\
 &= 2653 + 20 \\
 &= 2673
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{frame} &= W_{datagram} + \text{Header}_{ethernet} \\
 &= 2673 + 14 \\
 &= 2687
 \end{aligned}$$

Dari *Ethernet*, *frame Ethernet* dikirimkan ke *layer* MAC WiMAX, *Switch* VLAN dan mengalami penambahan *header* MAC, CRC dan VLAN. Berdasarkan persamaan 2-21 maka jumlah  $W_{frame}$  total sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ total} &= W_{frame} + \text{Header}_{MAC} + \text{Header}_{CRC} + \text{Header}_{VLAN} \\
 &= 2687 + 6 + 4 + 4 \\
 &= 2701\ \text{byte}
 \end{aligned}$$



Besar *delay dekapsulasi* dengan besar *delay enkapsulasi* dengan kecepatan *layer Ethernet* adalah 100 Mbps dan untuk modulasi 64 QAM berdasarkan perhitungan kapasitas kanal WiMAX Redline AN 100U adalah 23,98 Mbps. Maka *delay Enkapsulasi*:

$$t_{enc1} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{2701}{100 \times 10^6} \times 8 = 2,16 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$t_{enc2} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{2701}{23,98 \times 10^6} \times 8 = 9,01 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Setelah didapat nilai dari *delay enkapsulasi*, maka nilai *delay dekapsulasi* sebagai berikut:

$$t_{dec1} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{2701}{100 \times 10^6} \times 8 = 2,16 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$t_{dec2} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{2701}{23,98 \times 10^6} \times 8 = 9,01 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Dari hasil perhitungan *delay enkapsulasi* dan *delay dekapsulasi* tersebut, maka akan didapatkan nilai *delay proses* dengan persamaan 2-24 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{proses} &= t_{enc1} + t_{enc2} + t_{dec1} + t_{dec2} \\ &= 2,16 \times 10^{-4} \text{ s} + 9,01 \times 10^{-4} \text{ s} + 2,16 \times 10^{-4} \text{ s} + 9,01 \times 10^{-4} \text{ s} \\ &= 22,34 \times 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan *delay proses* untuk *file* beresolusi HDTV dan *full HDTV* dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.14

Tabel 4.14 *Delay Proses*

No.	Jenis Resolusi Video	$t_{proses}$
1	HDTV	$22,34 \times 10^{-4} \text{ s}$
2	Full HDTV	$39,82 \times 10^{-4} \text{ s}$

### b. *Delay Transmisi*

*Delay transmisi* adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah paket ke media transmisi. Berdasarkan persamaan 2-25 nilai *delay transmisi* sebagai berikut:

$$t_{trans1} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{2701}{100 \times 10^6} \times 8 = 2,16 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$t_{trans2} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{2701}{23,98 \times 10^6} \times 8 = 9,01 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Maka hasil nilai *delay transmisi* sebagai berikut:

$$t_{transmisi} = t_{trans1} + t_{trans2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,16 \times 10^{-4} \text{ s} + 9,01 \times 10^{-4} \text{ s} \\
 &= 11,17 \times 10^{-4} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan *delay* transmisi untuk *file* beresolusi HDTV dan *full* HDTV dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.15

Tabel 4.15 *Delay* Transmisi

No.	Jenis Resolusi Video	$t_{\text{proses}}$
1	HDTV	$11,17 \times 10^{-4} \text{ s}$
2	Full HDTV	$19,91 \times 10^{-4} \text{ s}$

### c. *Delay Propagasi*

*Delay propagasi* adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi. Dengan jarak *Base Station* (BS) dengan *Subscriber Station* (SS) sejauh 10 meter dan kecepatan cahaya sebesar  $3 \times 10^8$  m/s. Berdasarkan persamaan 2-26 maka perhitungan *delay propagasi* adalah sebagai berikut:

$$t_{\text{prop}} = \frac{d}{c} = \frac{10}{3 \times 10^8} = 3,33 \times 10^{-8} \text{ s}$$

### d. *Delay Antrian*

*Delay antrian* adalah lamanya waktu yang diperlukan paket data untuk diproses pada suatu perangkat, terkait dengan pengiriman dan penerimaan paket data. *Delay antrian* adalah penjumlahan dari nilai kecepatan pelayanan paket dan nilai kecepatan kedatangan paket. Berikut adalah besar nilai kecepatan pelayanan paket:

$$\mu = \frac{C_{\text{WiMAX}}}{W} = \frac{23,98 \times 10^6 \text{ bps}}{(2701 \times 8) \text{ bit/paket}} = 1109,77 \text{ paket/detik}$$

Dengan mengasumsikan dalam keadaan normal nilai faktor *utilitas* adalah 0,1. Maka besar nilai perhitungan kecepatan kedatangan paket sebagai berikut:

$$\lambda_w = \mu \times \rho = 1039,71 \times 0,1 = 110,977 \text{ paket/s}$$

Sehingga nilai *delay antrian* dapat dihitung dengan persamaan 2-27

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{110,977}{1109,77(1109,77 - 110,977)} + \frac{1}{1109,77} = 1,001 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Kemudian *delay antrian* untuk pembebanan 3 Mbps, 6 Mbps, 9 Mbps didapatkan perhitungan *delay antrian* diatas. Faktor *utilitas* yang diasumsikan adalah 0,1 dalam keadaan normal. Pada tabel 4.16 dan tabel 4.17 menunjukkan hasil *delay antrian* dengan variasi beban trafik dan resolusi berbeda.



Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Variasi *Delay* Antrian Resolusi HDTV

No	Pembebanan Trafik	$\mu$	$\lambda_w$	$t_w$
1	0 Mbps	1109,77	110,97	$1,00 \times 10^{-3}$ s
2	3 Mbps	970,93	97,093	$1,14 \times 10^{-3}$ s
3	6 Mbps	832,09	83,209	$1,33 \times 10^{-3}$ s
4	9 Mbps	693,26	69,326	$1,60 \times 10^{-3}$ s

(Sumber: Hasil Teoritis)

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Variasi *Delay* Antrian Resolusi *Full* HDTV

No	Pembebanan Trafik	$\mu$	$\lambda_w$	$t_w$
1	0 Mbps	1109,77	110,97	$1,78 \times 10^{-3}$ s
2	3 Mbps	970,93	97,093	$2,03 \times 10^{-3}$ s
3	6 Mbps	832,09	83,209	$2,38 \times 10^{-3}$ s
4	9 Mbps	693,26	69,326	$2,85 \times 10^{-3}$ s

(Sumber: Hasil Teoritis)

### e. *Delay* Paketisasi dan Depaketisasi

Berdasarkan persamaan 2-30, maka nilai *delay* paketisasi ditunjukkan sebagai berikut:

$$t_{\text{paketisasi}} = \frac{L_{\text{paket}}}{C_{\text{ethernet}}}$$

$$t_{\text{paketisasi}} = \frac{21064}{100 \times 10^6}$$

$$t_{\text{paketisasi}} = 2,11 \times 10^{-4} \text{ s}$$

dan besar nilai *delay* depaketisasi ditunjukkan sebagai berikut:

$$t_{\text{depaketisasi}} = \frac{L_{\text{paket}}}{C_{\text{WiMAX}}}$$

$$t_{\text{depaketisasi}} = \frac{21064}{23,98 \times 10^6}$$

$$t_{\text{depaketisasi}} = 8,78 \times 10^{-4} \text{ s}$$

Hasil perhitungan *delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian, dan *delay* paketisasi dan depaketisasi ditunjukkan pada tabel 4.18

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Delay* Resolusi HDTV

<i>Delay</i> Proses (ms)	<i>Delay</i> Transmisi (ms)	<i>Delay</i> Propagasi (ms)	<i>Delay</i> Antrian (ms)	<i>Delay</i> Paketisasi (ms)
2,234	1,117	$3,33 \times 10^{-5}$	1,001	1,089

(Sumber: Perhitungan, 2016)

Sehingga didapatkan nilai *delay end to end* sebagai berikut:

$$T_{end-to-end} = (2,234 + 1,117 + 3,33 \times 10^{-5} + 1,001 + 1,089) \text{ ms}$$

$$= 5,441 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan nilai *delay end to end* dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.19

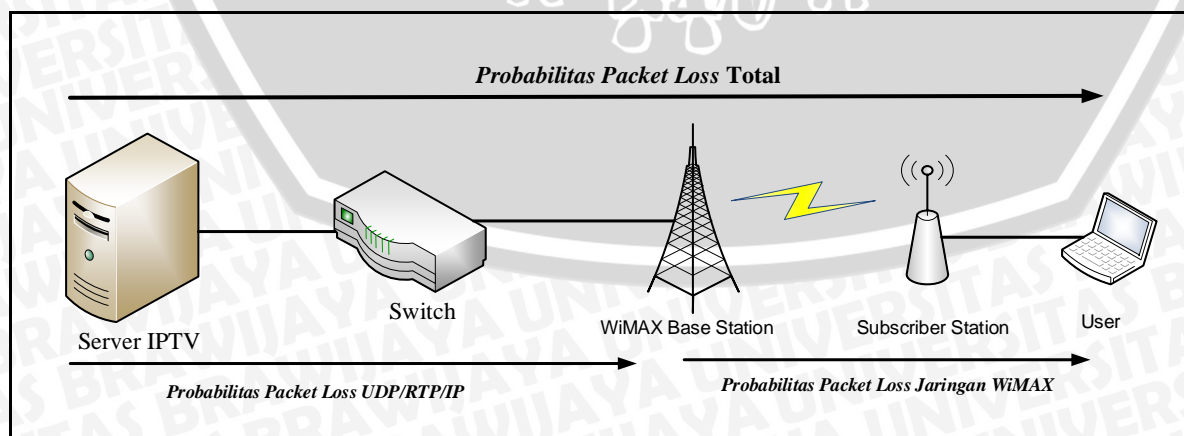
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan *Delay End to End*

No	Pembebanan Trafik	$t_{end-to-end}$ (HDTV)	$t_{end-to-end}$ (Full HDTV)
1	0 Mbps	5,441 ms	9,717 ms
2	3 Mbps	5.581 ms	9,967 ms
3	6 Mbps	5.771 ms	10,32 ms
4	9 Mbps	6.041 ms	10,79 ms

(Sumber: Hasil Perhitungan)

#### 4.3.2.8 Probabilitas Packet loss

*Packet loss* dapat diartikan sebagai hilangnya sejumlah paket data pada jaringan selama proses transmisi paket data. Pada gambar 4.22 menunjukkan ilustrasi terjadinya *probabilitas packet loss* pada jaringan WiMAX.



Gambar 4.22 *Probabilitas Packet loss*  
(Sumber: Pritchard. Et.al, 1993)



*Packet loss* pada penelitian ini terdiri dari *header* sebuah paket. Jumlah total *header* sebesar 68 *byte* serta total *payload audio* dan *video* sebesar 2633 *byte*. Berikut perhitungan *probabilitas packet loss* pada *header*.

$$\begin{aligned}
 P_{va-size} &= \text{header} + (P_{LV} + P_{LA}) \\
 &= (68 + 2633) \times 8 \\
 &= 21608 \text{ bit} \\
 \rho &= P_{size} \times \rho_b \\
 &= 21608 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan sebelumnya besar nilai *probabilitas packet loss* pada jaringan WiMAX dengan menggunakan modulasi 64 QAM sudah diketahui yaitu sebesar  $4,774 \times 10^{-29}$  dan *probabilitas packet loss* pada aplikasi IPTV sebesar  $23064 \times 10^{-7}$ . Sesuai dengan persamaan 2-32 maka *probabilitas packet loss* pada layanan IPTV pada WiMAX dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \rho_{tot} &= 1 - [(1 - \rho_{net})(1 - \rho_{IPTV})] \\
 \rho_{tot} &= 1 - [(1 - (4,774 \times 10^{-29}))(1 - (2,1608 \times 10^{-3}))] \\
 \rho_{tot} &= 0,0021 \\
 \rho_{tot} &= 0,21 \%
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan *packet loss* untuk *file* beresolusi HDTV dan *full* HDTV dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.20

Tabel 4.20 *Packet loss* IPTV

No.	Jenis Resolusi Video	$\rho_{tot}$
1	HDTV	0,21 %
2	Full HDTV	0,38 %

#### 4.3.2.9 Throughput

*Throughput* merupakan parameter yang menunjukkan jumlah data yang diterima oleh pengguna dengan benar setelah melalui media transmisi. Perhitungan *throughput* menggunakan persamaan 2-34 yaitu:

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

Symbol  $\alpha$  merupakan konstanta *propagasi* dengan nilai:

$$\alpha = \left( 3 + \frac{2t_{prop}}{t_{paketisasi}} \right)$$

$$\alpha = \left( 3 + \frac{2 \times 3,33 \times 10^{-8}}{1,089 \times 10^{-3}} \right)$$

$$\alpha = 3$$

Dengan nilai  $\alpha$  sebesar 3 maka nilai *throughput* adalah:

$$\lambda = \frac{(1 - 0,0021)}{11,17 \times 10^{-4} \times [1 + (3 - 1) \times 0,0021]}$$

$$\lambda = 889,6 \text{ paket per detik}$$

$$\lambda = 2342395 \text{ bps}$$

$$\lambda = 2,34 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan *throughput* untuk *file* beresolusi HDTV dan *full* HDTV dapat ditentukan dan diuraikan di tabel 4.15

Tabel 4.21 Perhitungan *Throughput*

No.	Jenis Resolusi Video	$\lambda$
1	HDTV	2,34 Mbps
2	Full HDTV	2,36 Mbps

#### 4.3.3 Perbandingan Hasil Pengamatan dan Hasil Perhitungan

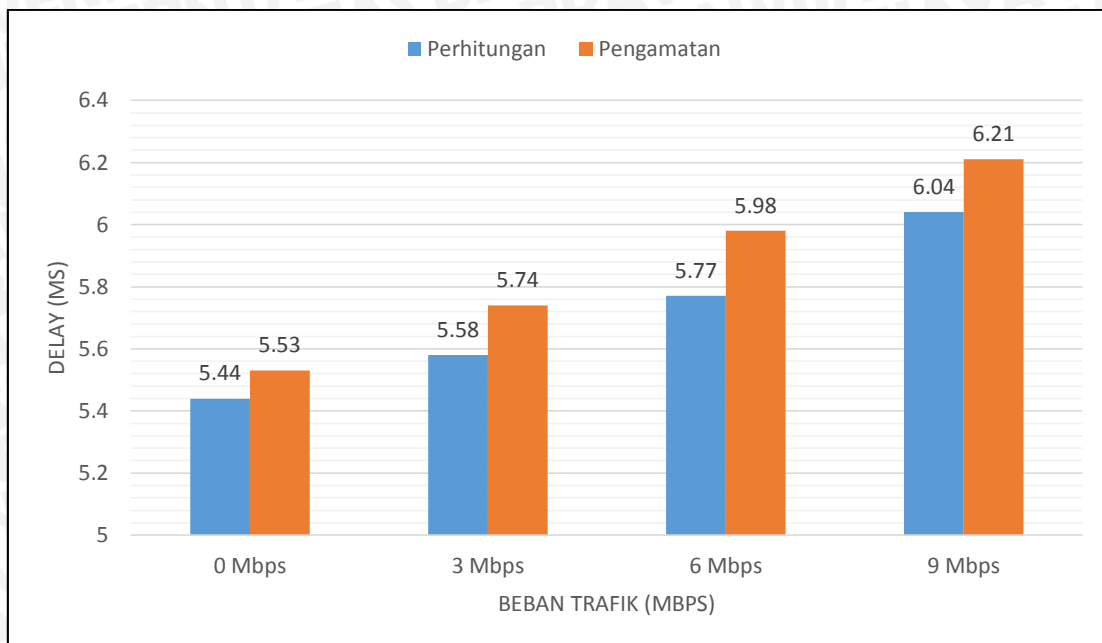
Perbandingan nilai perhitungan meliputi parameter *delay*, *packet loss* dan *throughput* berdasarkan hasil perhitungan menurut teori dengan hasil pengamatan.

Tabel 4.22 Hasil Nilai *Delay* Resolusi HDTV

<i>Delay</i> (ms)							
Perhitungan Pembebanan Trafik				Pengamatan Pembebanan Trafik			
0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps	0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps
5,44 ms	5,58 ms	5,77 ms	6,04 ms	5,53 ms	5,74 ms	5,98 ms	6,21 ms

(Sumber: perhitungan dan pengamatan)

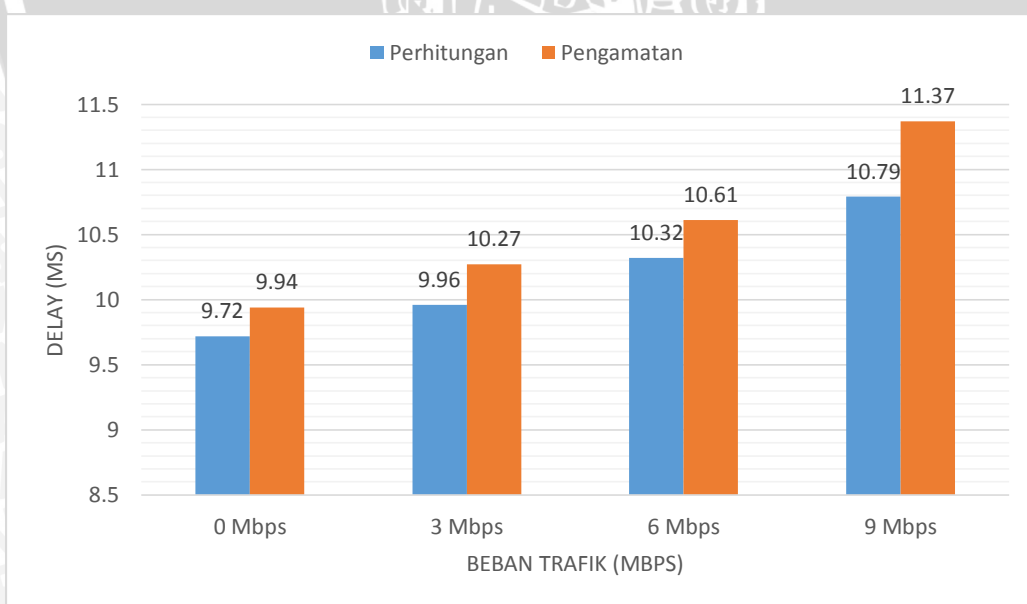




Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Beban Trafik Terhadap Delay (Sumber: perhitungan dan pengamatan)

Tabel 4.23 Nilai Delay Resolusi Full HDTV

Delay (ms)							
Perhitungan Pembebanan Trafik				Pengamatan Pembebanan Trafik			
0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps	0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps
9,72 ms	9,96 ms	10,32 ms	10,79 ms	9,94 ms	10,27 ms	10,61 ms	11,37 ms

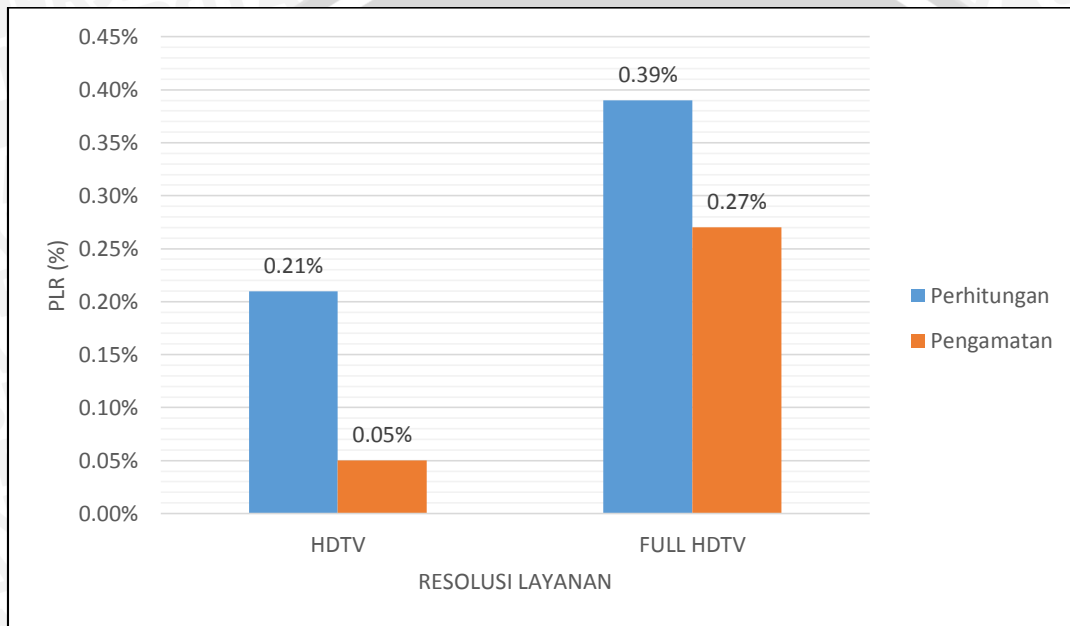


Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Beban Trafik Terhadap Delay (Sumber: perhitungan dan pengamatan)

Tabel 4.24 Hasil Nilai *Packet loss*

Resolusi	<i>Packet loss</i>	
	Perhitungan	Pengamatan
HDTV	0,21 %	0,05 %
FULL HDTV	0,39 %	0,27 %

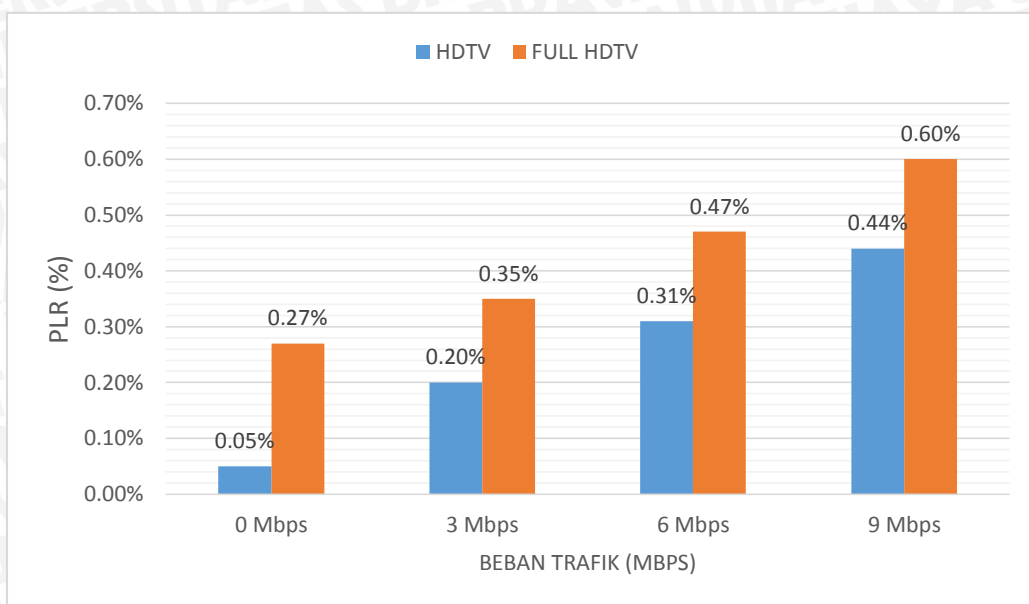
(Sumber: perhitungan dan pengamatan)

Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Resolusi Layanan Terhadap *Packet Loss*  
(Sumber: perhitungan dan pengamatan)Tabel 4.25 Hasil Pengamatan *Packet loss*

<i>Packet loss</i>							
HD TV				FULL HDTV			
0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps	0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps
0,05 %	0,20 %	0,31 %	0,44 %	0,27 %	0,35 %	0,47 %	0,60 %

(Sumber: pengamatan)



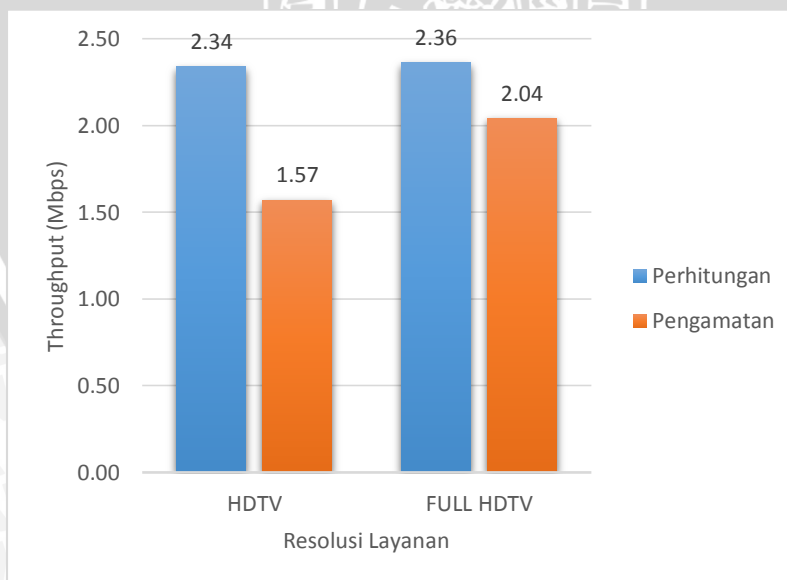


Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Beban Trafik Terhadap *Packet Loss* (Sumber: pengamatan)

Tabel 4.26 Hasil Nilai *Throughput*

Resolusi	Throughput	
	Perhitungan	Pengamatan
HDTV	2,34 Mbps	1,57 Mbps
FULL HDTV	2,36 Mbps	2,04 Mbps

(Sumber: perhitungan dan pengamatan)

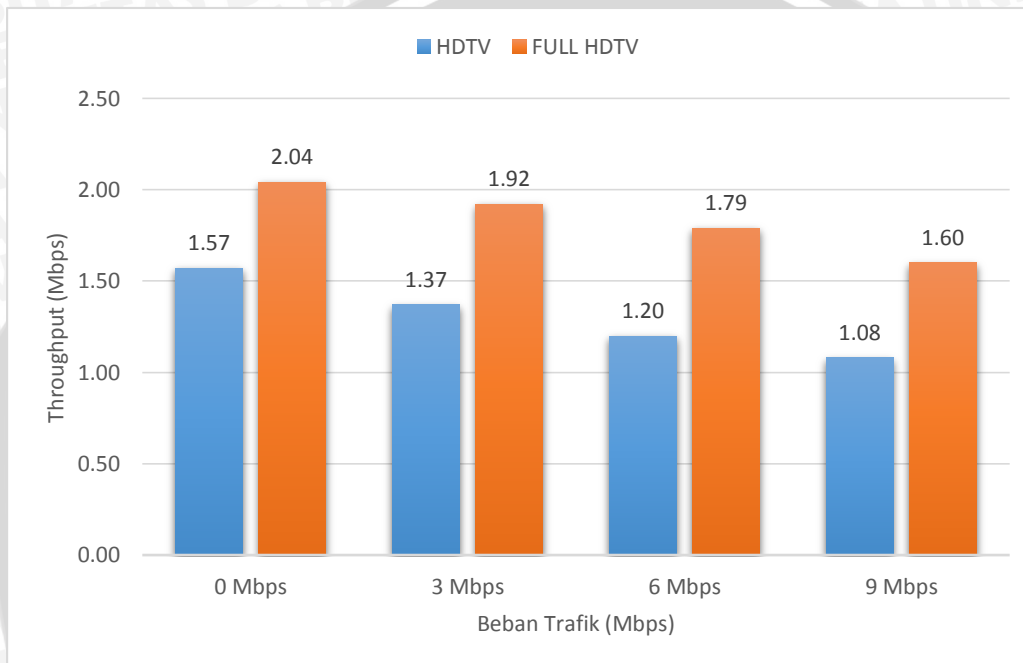


Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Nilai *Throughput* Terhadap Resolusi Layanan (Sumber: Perhitungan dan Pengamatan)

Tabel 4.27 Hasil Pengamatan *Throughput*

<i>Throughput (Mbps)</i>							
HD TV				FULL HDTV			
0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps	0 Mbps	3 Mbps	6 Mbps	9 Mbps
1,57	1,37	1,2	1,08	2,04	1,92	1,79	1.60

(Sumber: pengamatan)

Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Beban Trafik Terhadap *Throughput*  
(Sumber: pengamatan)

Dari hasil perbandingan dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan nilai antara hasil pengamatan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hal ini dapat terjadi karena berbagai hal, diantaranya:

1. Kondisi jaringan *server* di laboratorium komputasi jaringan menuju *user* di laboratorium terpengaruh dengan *user* yang lain.
2. Nilai daya penerima (*tx power*) yang digunakan mengikuti *default* perangkat sehingga mempengaruhi *daya noise* dan *Signal Noise to Ratio (SNR)*.
3. Terbatasnya jarak antara *Base Station (BS)* dengan *Subscriber Station (SS)* di laboratorium Telekomunikasi.
4. Pengaruh jumlah *node* perangkat jaringan.

#### 4.3.4 Kualitas Kinerja Layanan IPTV

- 1) Besarnya nilai *delay end to end* layanan IPTV dengan resolusi HDTV 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 pengamatan nilai *delay* berdasarkan pengamatan tanpa pembebanan trafik (0 Mbps) dan pengamatan dengan variasi pembebanan trafik 3 Mbps, 6 Mbps dan 9 Mbps memenuhi standar ITU-T G.114 dengan kualitas baik yaitu  $< 0,15$  s. Seiring dengan meningkatnya resolusi dan beban trafik jaringan di dalam sistem jaringan maka terjadi peningkatan nilai *delay*. Peningkatan nilai *delay* disebabkan oleh adanya *processing delay time* akibat adanya antrian pengolahan paket di dalam sistem, padat trafik pada suatu jaringan akan menyebabkan paket data yang ditransmisikan semakin banyak, sehingga waktu yang diperlukan untuk memproses, mentransmisikan paket data pada media transmisi semakin lama (*delay* semakin besar).
- 2) Besarnya nilai *throughput* layanan IPTV dengan resolusi HDTV dan Full HDTV terjadi penurunan nilai *throughput* yang proporsional seiring dengan bertambahnya *resolusi* dan pembebanan trafik yang berada didalam sistem. Hal ini disebabkan terjadinya *kongesti* atau antrian, dimana ketika suatu paket tersebut tidak diolah akan mengakibatkan *packet drop*. Kondisi inilah yang menyebabkan nilai *throughput* menjadi lebih kecil ketika pembebanan trafik yang ada semakin besar dan *resolusi* semakin besar.
- 3) Hasil pengamatan *packet loss* pada penelitian berkisar antara 0,05 % - 0,60 %. Berdasarkan rekomendasi standar *packet loss* ITU.T G.1010 untuk aplikasi IPTV telah memenuhi standar karena memiliki  $PLR \leq 1\%$ . Nilai *packet loss* pada *resolusi* yang lebih besar menunjukkan nilai yang besar juga hal ini disebabkan oleh kemungkinan jumlah paket data yang besar akan kehilangan paket yang besar juga.



