

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Umum

Pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini tentang analisis kualitas jaringan LTE untuk media layanan VoD di Kota Malang. Ada beberapa tahap pembahasan dan analisis yang dilakukan:

- 1) Melakukan perhitungan berdasarkan teori yang didapat dari data sekunder dan pengambilan data primer yang bersifat aplikatif untuk layanan VoD menggunakan jaringan LTE yang sudah ada, meliputi *delay*, *packet loss*, dan *throughput*
- 2) Membandingkan nilai hasil pengukuran dengan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T G.1010 dan ITU-T G.114 untuk standar layanan *video streaming*

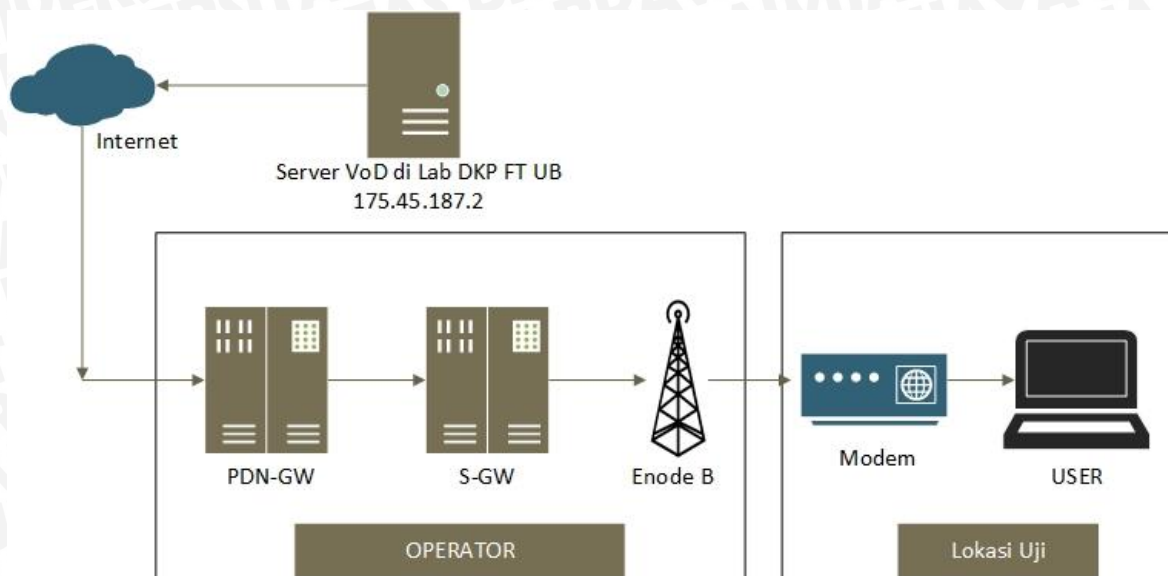
#### 4.2 Pembahasan

Pembahasan terkait analisis layanan *Video on Demand* (VoD) pada jaringan *Long Term Evolution* (LTE) di wilayah Kota Malang. Tahapan pembahasan yang dilakukan antara lain: perancangan blok diagram, konfigurasi *server* dan *user*, pengujian koneksi, hingga analisis kualitas layanan VoD pada LTE

##### 4.2.1 Perancangan Blok Diagram

Blok diagram sistem ini terdiri dari 3 bagian, yakni media *server* sebagai penyedia layanan VoD atau penyedia *file streaming* kemudian jaringan sebagai media penghubung dan pengguna sebagai penikmat layanan VoD.

Gambar 4.1 menunjukkan konfigurasi dasar jaringan pada penelitian VoD menggunakan LTE. Pada sisi pengguna terpasang laptop dan modem yang terhubung dengan jaringan LTE. Pada sisi server penyedia layanan VoD terdapat media server terhubung menuju *cloud* atau internet dan jaringan LTE. Jaringan LTE yang dilalui adalah jaringan LTE milik operator telekomunikasi seluler Smartfren.



Gambar 4.1 Blok Diagram Konfigurasi Jaringan LTE Media Layanan VoD

Sumber: Perancangan

Kegunaan dari masing-masing perangkat keras dalam blok diagram tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kegunaan Perangkat Keras VoD pada LTE

No	Perangkat Keras	Kegunaan
1	Media Server (PC Server)	Penyedia layanan VOD
2	Internet (Cloud)	Jaringan luas sebagai media lewatnya data
3	PDN-GW	Menangani paket-paket data dan menghubungkan ke UE ke jaringan
4	S-GW	Meneruskan paket data antara EnodeB dan PDN-GW
5	eNodeB	Perngelolaan <i>radio resource</i> dan transmisi data langsung ke UE
6	Modulator Demodulator (Modem)	Mengubah sinyal analog ke digital dan sebaliknya untuk komunikasi
7	Komputer User	Menerima <i>file streaming</i> dan memainkan <i>file streaming</i>

Sumber: Perancangan

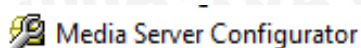
#### 4.2.2 Konfigurasi Server dan User

Pada tahap dilakukan instalasi perangkat lunak pada sisi server dan sisi user yang dibutuhkan untuk melaksanakan fungsinya masing-masing.

##### 4.2.2.1 Konfigurasi Server

Berikut langkah-langkah instalasi dan konfigurasi layanan VoD pada sisi server:

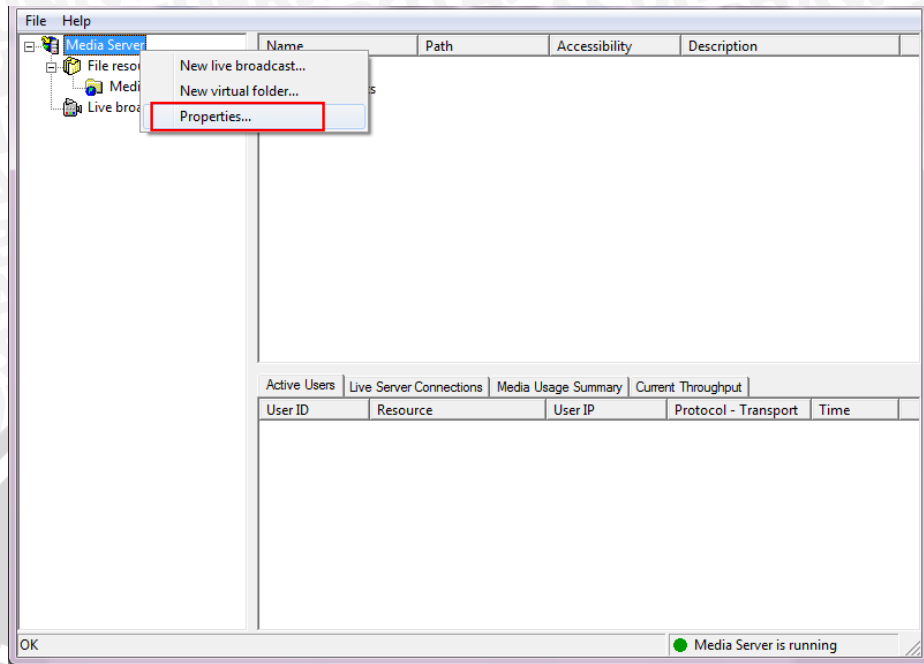
- 1) Buka file aplikasi dengan cara klik “Media Server Configurator”



Gambar 4.2 Media Server Configurator

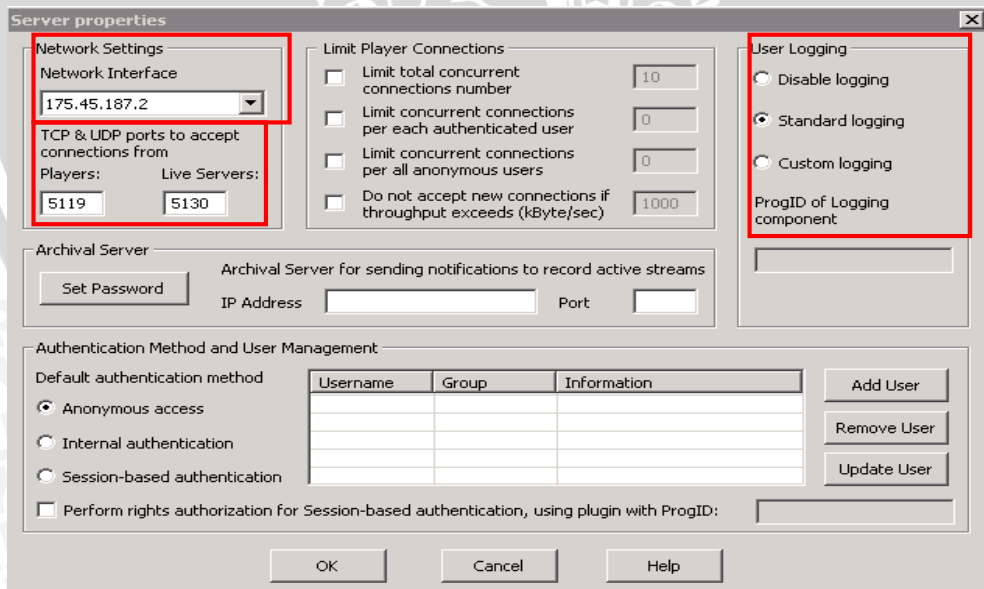


- 2) Klik kanan pada “Media Server” yang terletak di bawah menubar dan pilih “Properties”



Gambar 4.3 Tampilan Menu *Media Server*

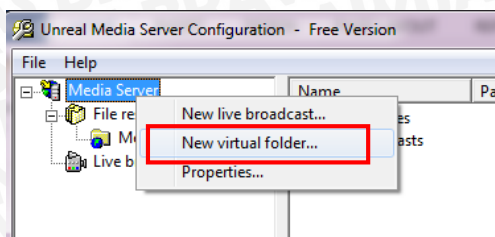
- 3) Pada jendela *Properties*, atur IP *broadcast* pada “Network Interface” dengan nip 175.45.187.2 . Kemudian atur *port firewall* pada “Players” dan “Live Servers”. Atur “User Logging” pada “Standard Logging” untuk memudahkan.



Gambar 4.4 Tampilan *Server Properties*

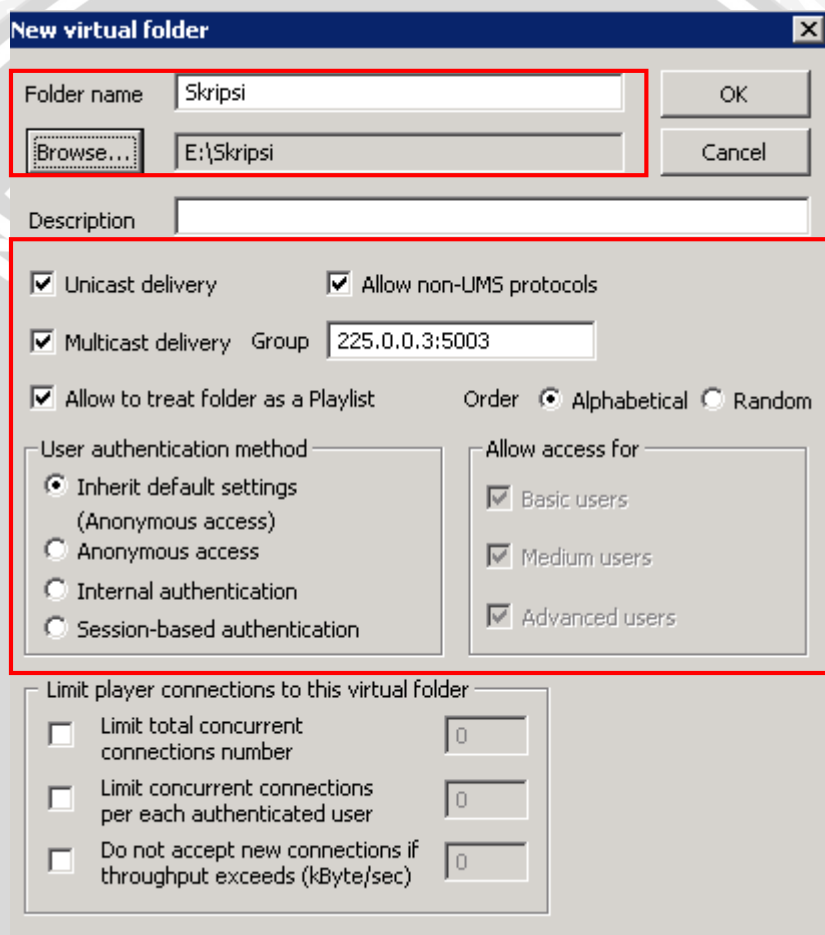
- 4) Kembali ke layar awal kemudian klik kanan pada “Media Server” dan pilih “New Virtual Folder”





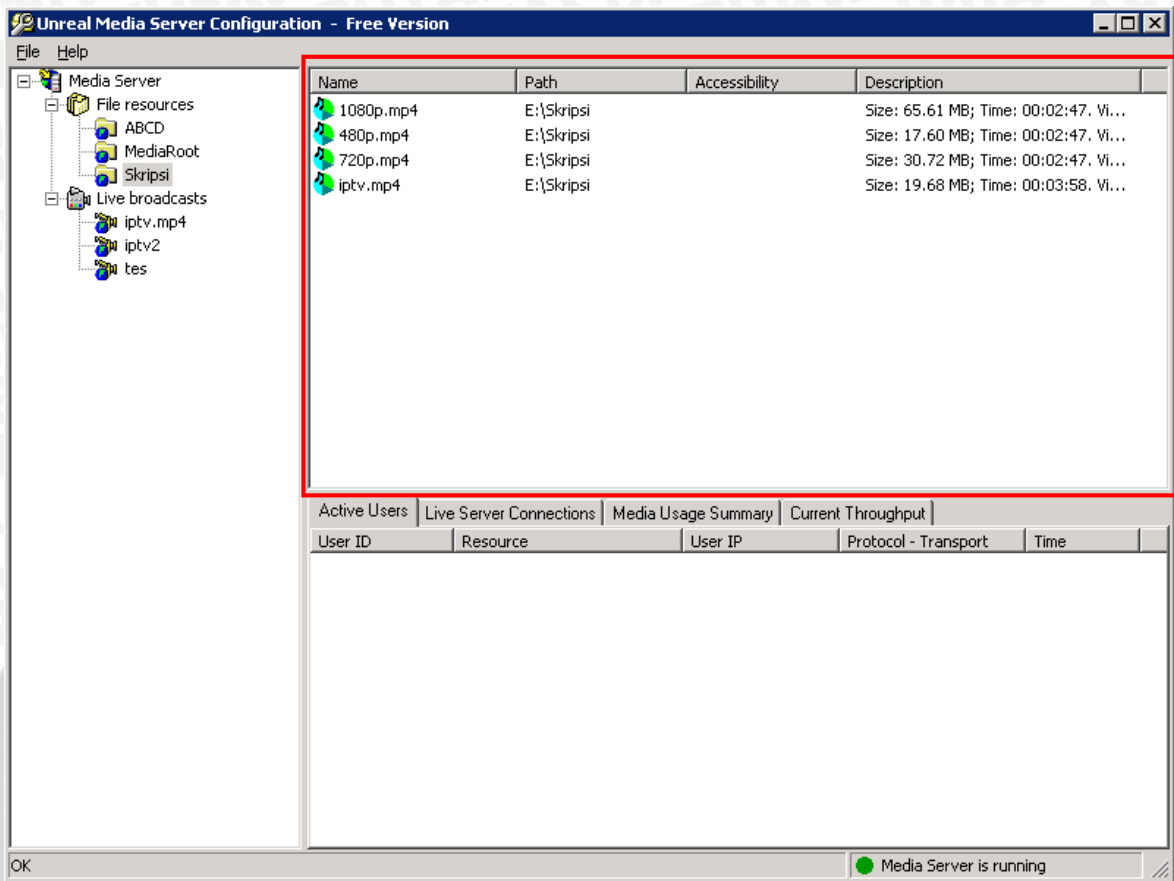
Gambar 4.5 Penambahan *Virtual Folder*  
Sumber: Perancangan

- 5) Isikan nama acara *streaming* pada kolom "Folder Name". Cari lokasi *file* yang akan diputar pada tombol "Browse". Klik "OK" jika telah selesai.



Gambar 4.6 Pengaturan *Virtual Folder*

6) *Media Server Configurator* akan menampilkan beberapa *file* yang diputar.

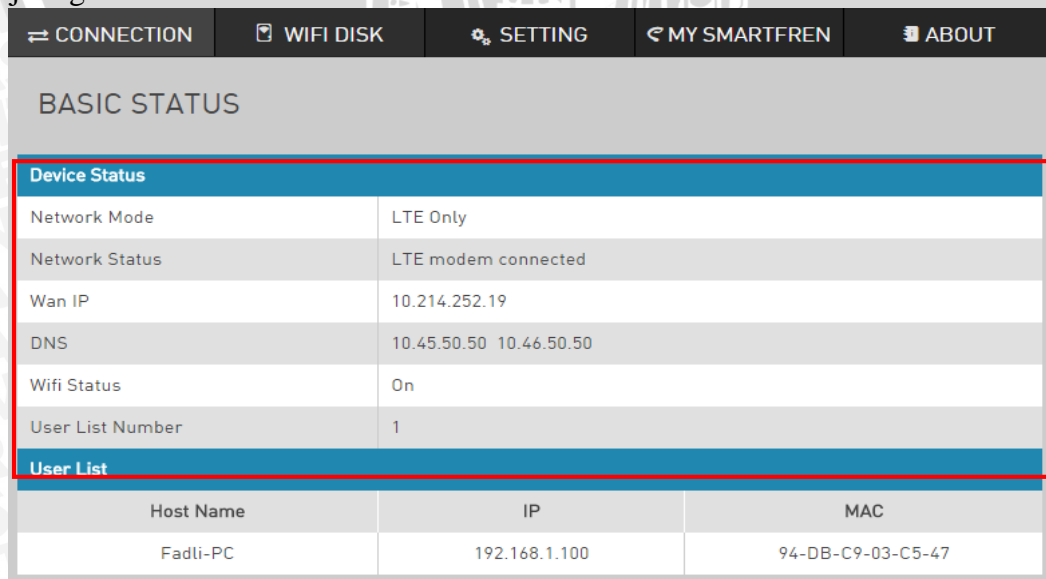


Gambar 4.7 Tampilan Akhir

#### 4.2.2.2 Konfigurasi User

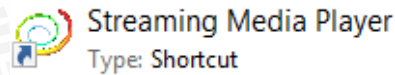
Berikut beberapa tahapan agar *user* dapat terhubung dengan layanan VoD:

- 1) Karena menggunakan Modem Wifi, laptop harus terhubung dengan modem wifi jaringan LTE.



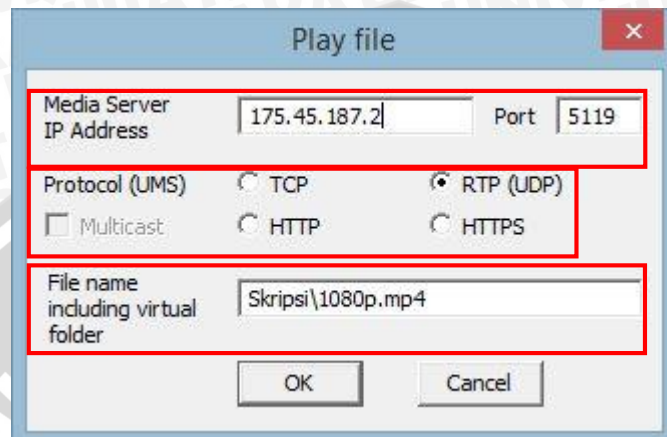
Gambar 4.7 Tampilan LTE Connection

- 2) Setelah terhubung, buka file aplikasi Streaming Media Player



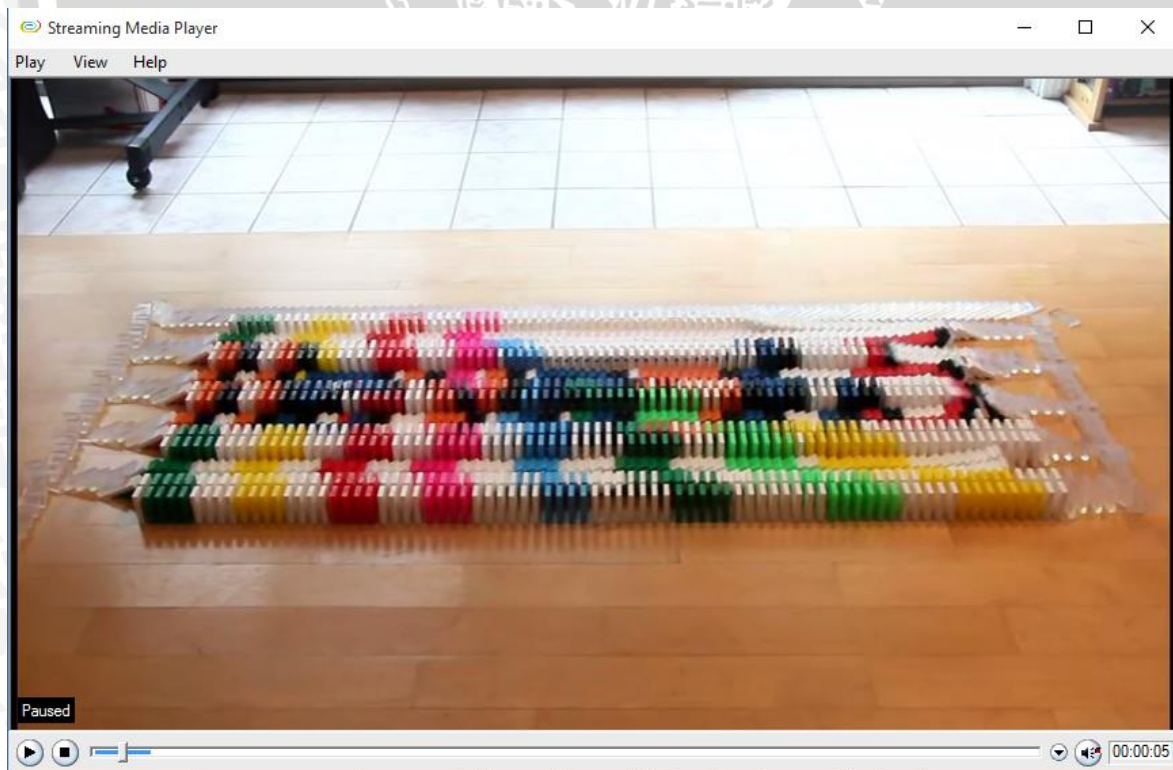
Gambar 4.8 Icon *Streaming Media Player*

- 3) Pemilihan menu “Play” pada *menubar* dan “Play File” sesuai gambar 4.9



Gambar 4.9 Streaming Media Player *Playlist Menu File*

- 4) Pengisian alamat dengan IP *server* pada kotak dialog tersebut
- 5) Pemilihan protokol yang digunakan RTP (UDP) pada kotak dialog tersebut
- 6) Pengisian nama *virtual folder* sesuai pada *server* pada kotak dialog tersebut



Gambar 4.10 Tampilan Akhir



### 4.2.3 Pengujian Sistem

Pengujian yang dilakukan pada penelitian yakni pengujian koneksi jaringan *server* hingga *user* melalui LTE dengan tujuan untuk memastikan koneksi telah terpasang. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan paket data dari laptop *user* menuju pc *server*.

#### a. Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian koneksi jaringan *server* hingga *user*, antara lain:

- Laptop *user* (1 unit)
- Modem Wifi

#### b. Prosedur

Langkah-langkah dalam pengujian adalah sebagai berikut,

- 1) Pengaturan alamat IP *server* pada NIC pertama dengan IP Public Address yang diberikan PPTI UB, yakni 175.45.187.2
- 2) Penghubungan laptop *user* dengan internet melalui modem dan pastikan berada pada jaringan LTE
- 3) Menjalankan terminal pada laptop *user*
- 4) Pengetikan perintah ping dengan tujuan IP 175.45.187.2 dengan jumlah paket yang diinginkan kemudian “Enter”
- 5) Pengamatan terhadap hasil ping

#### c. Hasil Pengujian

Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.3 yang berisi informasi perintah, alamat tujuan, jumlah paket dan hasil yang diterima.

```
Pinging 175.45.187.2 with 32 bytes of data:
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=47ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=50ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=61ms TTL=116
Reply from 175.45.187.2: bytes=32 time=47ms TTL=116

Ping statistics for 175.45.187.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 47ms, Maximum = 61ms, Average = 51ms
```

Gambar 4.11 PING menuju Destinasi

Dan dari gambar tersebut, pengamatan dari hasil pengujian ini adalah:

- Jumlah paket yang dikirim adalah 4 hal ini dibuktikan oleh hasil *Packets Sent* = 4

- Jumlah paket yang diterima adalah 4 hal ini dibuktikan oleh hasil *Packets Received* = 4
- *Packet Loss* yang terjadi adalah 0% hal ini dibuktikan oleh hasil jumlah *Received* = *Sent*
- TTL yang ada sebanyak 116. 116 merupakan jumlah *node* maksimal yang bisa dilewati paket data.

d. Kesimpulan Pengujian Koneksi

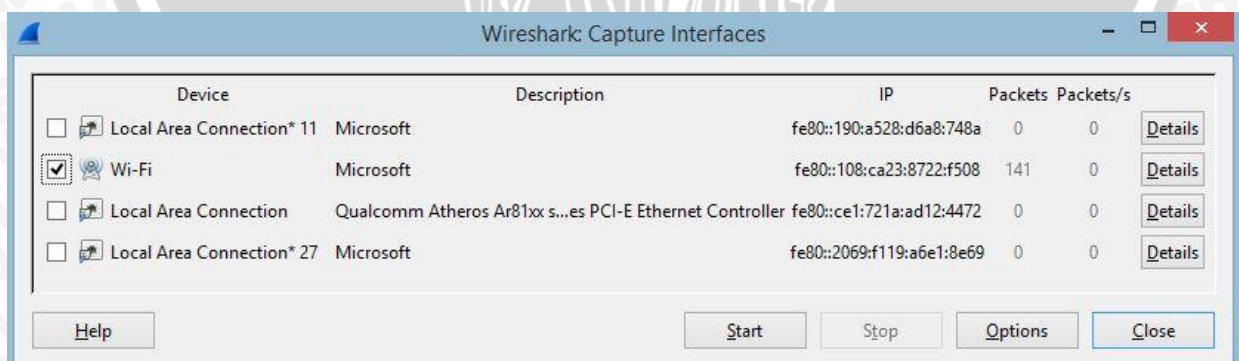
Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.3 , kesimpulan pengujian adalah:

- *Server* dan *User* telah tersambung

### 4.3 Pengambilan, Analisis dan Pengolahan Data

Penelitian ini memiliki sistem komunikasi satu arah, yakni dari *server* menuju *user*. Pada media *server* disiarkan tiga (3) *file video* dengan format mp4 yang berbeda resolusi, yakni 480p, 720p dan 1080p dan waktu pengamatan pada jam 05.00 dan jam 19.00. Jumlah *user* yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu *user*, sehingga akan didapatkan enam konfigurasi yang berbeda. Dari enam konfigurasi tersebut akan diambil data sebanyak sepuluh kali pada 05.00 dan 19.00 untuk mendapatkan hasil yang optimal dan menunjukkan kualitas jaringan.

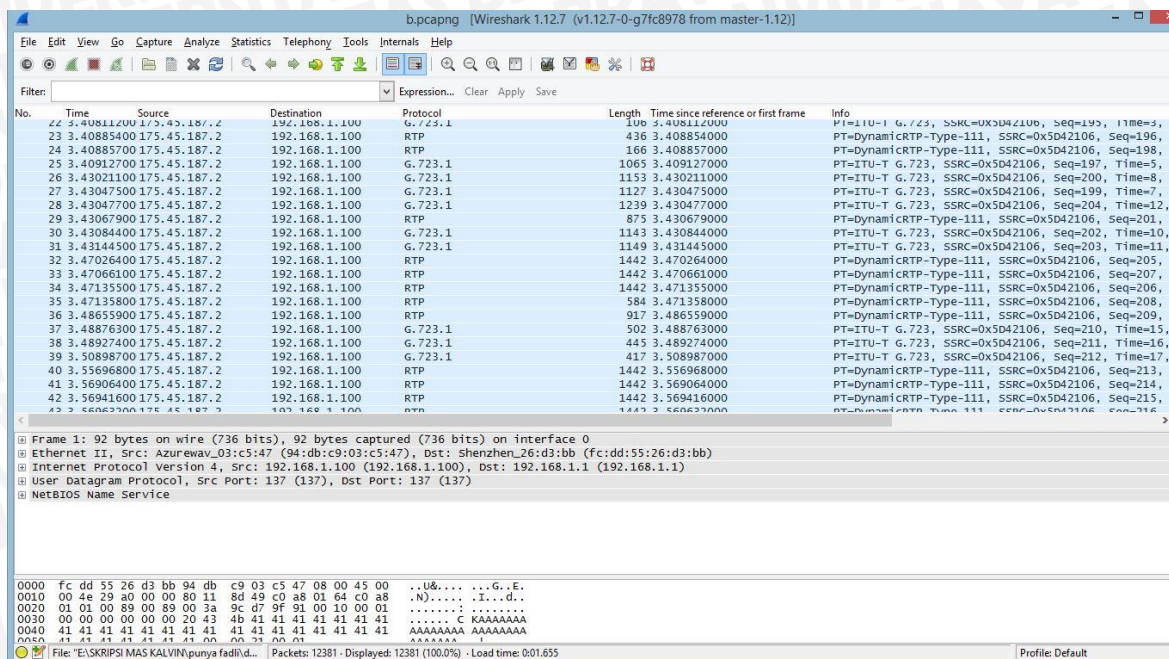
Pada proses pengambilan data dilaksanakan dengan menggunakan aplikasi Wireshark yang terletak pada sisi *user*. Wireshark akan menangkap, membaca dan menganalisis aliran data yang melewati *interface user*. *Interface* pada *user* menggunakan *wireless* karena modem yang digunakan berbentuk modem wifi. Penggunaan dan pemilihan adapter ini dapat dilakukan sesuai dengan Gambar 4.12



Gambar 4.12 Wireshark

Untuk menjalankan proses *capturing*, maka centang *adapter* yang dipilih dan klik “Start” seperti Gambar 4.12. Maka pada gambar 4.13 akan muncul gambar proses *capturing* dari wirshark sesuai dengan *interface* yang dipilih.





Gambar 4.13 Capturing Wireshark

Proses *capturing* paket data dilakukan selama 1 menit. Paket data yang tertangkap oleh wireshark kemudian disimpan menjadi *file* dengan ekstensi *media library* pcap (\*.pcap). Karena ada 6 tipe konfigurasi pengambilan data, maka akan didapatkan 60 *file* dengan ekstensi *media library* pcap (\*.pcap)

Setelah mendapatkan data, data yang berupa RTP bisa langsung dianalisis untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan, apabila protokol masih berupa UDP maka supaya dienkodkan dulu menjadi RTP. Ketika data sudah menjadi aliran RTP, maka data dapat diolah menjadi parameter-parameter yang dibutuhkan, yakni *throughput*, *packet loss* dan *delay*.

Pengolahan data dilakukan setelah pengambilan data di wireshark. Pengolahan data yang ada di wireshark menghasilkan parameter-parameter QoS (*throughput*, *delay* dan *packet loss*) dan jumlah paket pada setiap konfigurasi.

#### 4.3.1 Hasil Pengamatan

Pada bagian ini ditampilkan hasil pengamatan langsung yaitu dilakukan selama 3 hari mulai tanggal 2 Februari 2016 – 4 Februari 2016 dengan 2 waktu berbeda yaitu pukul 05.00 dan pukul 19.00 menggunakan aplikasi wireshark menghasilkan parameter yang dibutuhkan yaitu *throughput*, *delay* dan *packet loss*.

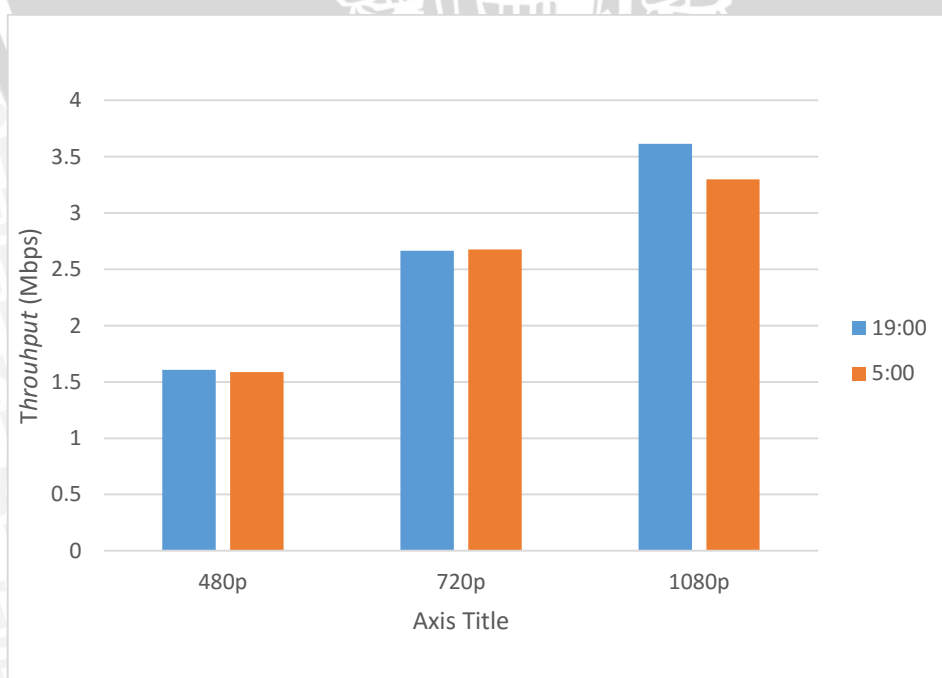
### 4.3.1.1 Throughput

*Throughput* menunjukkan kecepatan penerimaan paket data yang diterima pengguna dengan benar. *Throughput* memiliki satuan bit/detik. Hasil pengamatan terhadap parameter *throughput* untuk setiap konfigurasi pada penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Throughput

Throughput (Mbps)						
No.	Resolusi 480p 2 Februari 2016		Resolusi 720p 3 Februari 2016		Resolusi 1080p 4 Februari 2016	
	19.00	05.00	19.00	05.00	19.00	05.00
1	1,651	1,754	2,561	2,567	3,441	3,463
2	1,706	1,773	2,684	2,940	4,270	3,454
3	1,722	1,688	2,686	2,922	4,269	3,463
4	1,712	1,242	2,680	2,729	3,455	3,460
5	1,237	1,736	2,943	2,258	3,486	2,731
6	1,712	1,306	2,936	2,946	3,458	3,441
7	1,704	1,736	2,684	2,256	3,451	3,439
8	1,697	1,238	2,699	2,960	3,445	2,853
9	1,687	1,700	2,676	2,149	3,438	3,231
10	1,236	1,703	2,115	2,949	3,438	3,445
<b>Rata-Rata</b>	1,6064	1,5876	2,664	2,6676	3,6151	3,298

Kemudian jika Tabel 4.2 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.14





Gambar 4.14 Hubungan Resolusi Video dan *Throughput*

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Semakin besar nilai resolusi video yang digunakan, maka semakin besar nilai rata-rata *throughput* yang diperoleh. Hal ini terjadi karena saat pengukuran dengan durasi yang sama (60 s), semakin besar resolusi video maka akan semakin banyak juga jumlah bit yang dikirimkan tiap detik, sehingga *throughput* yang dihasilkan semakin besar.

#### 4.3.1.2 Delay

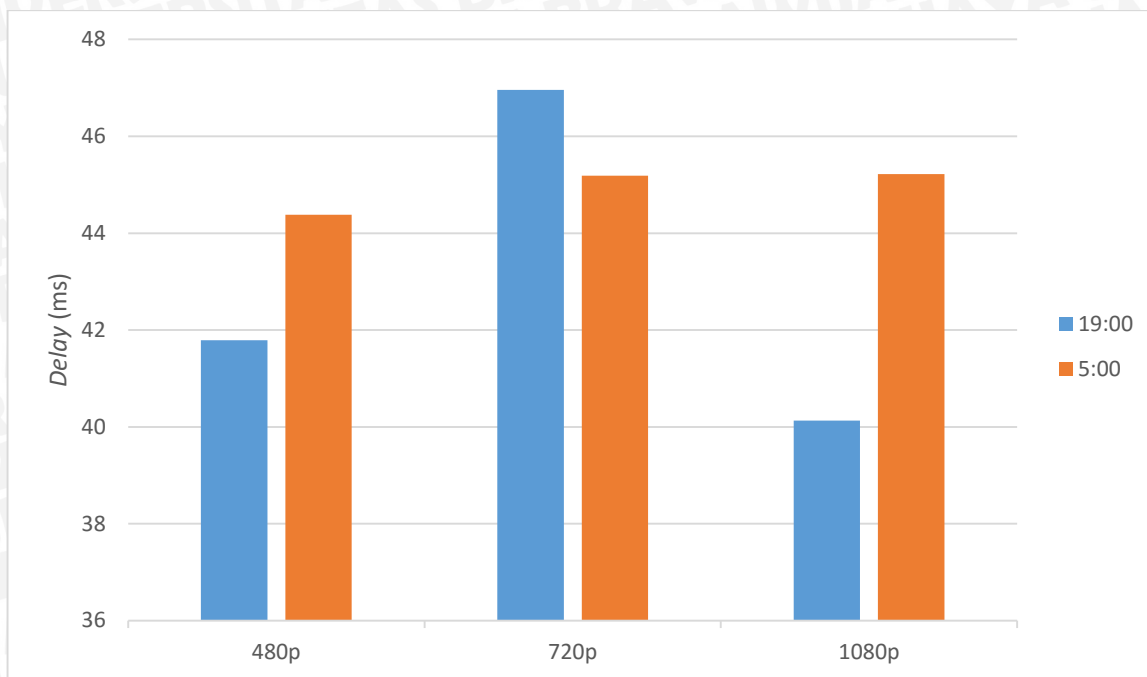
*Delay* menunjukkan besarnya waktu tunda mulai dari *server* yang terletak di Laboratorium Jaringan Komputer Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang hingga pengguna yang terletak di lokasi Jalan Jombang. Hasil pengamatan terhadap *delay* media layanan VoD ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 *Delay*

<i>Delay</i> (ms)						
No.	Resolusi 480p 2 Februari 2016		Resolusi 720p 3 Februari 2016		Resolusi 1080p 4 Februari 2016	
	19.00	05.00	19.00	05.00	19.00	05.00
1	41,39	43,74	41,65	44,99	43,02	50,06
2	43,07	41,66	41,009	46,97	40,02	49,57
3	41,86	45,39	48,83	45,91	40,10	41,12
4	43,06	46,99	42,03	45,13	38,98	42,34
5	41,42	41,39	37,86	46,05	40,02	42,78
6	40,35	41,47	40,02	46,55	37,05	45,04
7	42,56	40,31	43,01	45,98	40,20	40,006
8	42,43	44,20	40,21	46,24	40,16	46,49
9	41,67	53,93	89,96	44,03	37,05	44,05
10	40,09	44,81	45,08	40,009	44,70	50,76
<b>Rata-Rata</b>	41,79	44,38	46,96	45,185	40,13	45,221

Kemudian jika Tabel 4.3 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *delay* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.15.





Gambar 4.15 Hubungan Resolusi Video dan Delay

Berdasarkan pengamatan diketahui bahwa :

- Semakin besar resolusi video yang digunakan untuk streaming, maka rata-rata delay yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar resolusi video yang digunakan menyebabkan paket data yang ditransmisikan semakin banyak, sehingga waktu yang diperlukan untuk memproses, mentransmisikan, merambatkan paket data pada media transmisi semakin lama (delay semakin besar).

#### 4.3.1.3 Packet Loss

Packet Loss pada penelitian menunjukkan nilai rasio dalam persen paket yang hilang dengan jumlah paket keseluruhan yang dikirimkan. Nilai packet loss pada sistem VOD penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.4

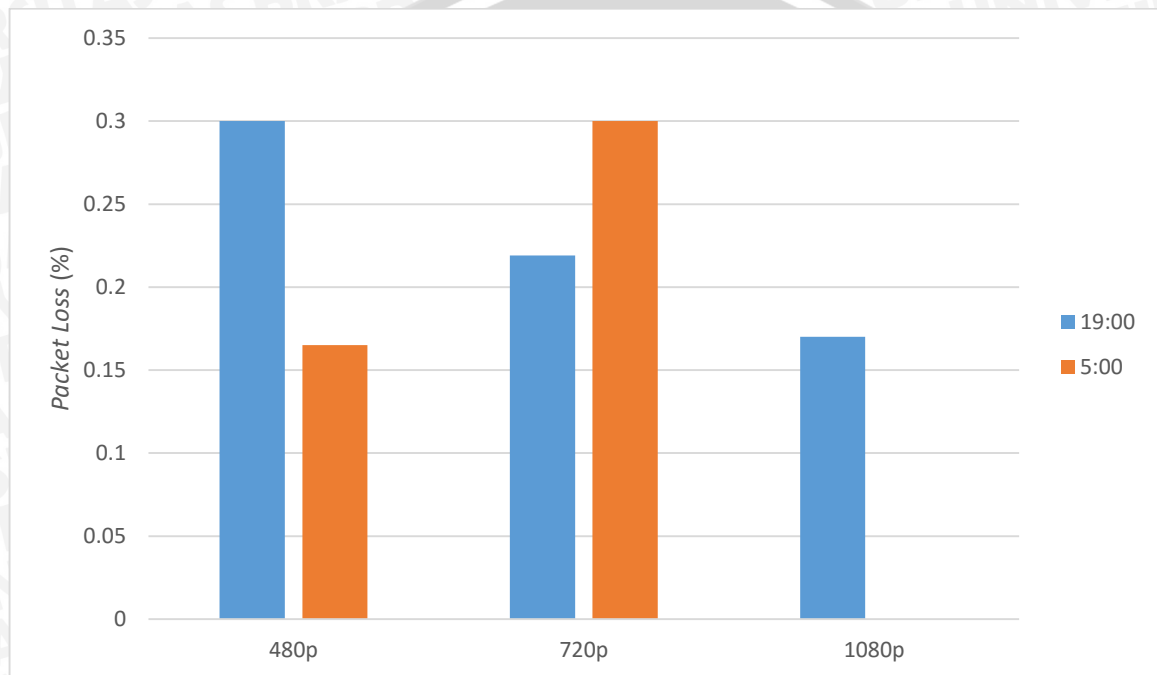
Tabel 4.4 Packet Loss

Packet Loss (%)						
No.	Resolusi 480p 2 Februari 2016		Resolusi 720p 3 Februari 2016		Resolusi 1080p 4 Februari 2016	
	19.00	05.00	19.00	05.00	19.00	05.00
1	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	1,5	0	0	1	0
4	1	0	0,19	1	0	0
5	0	0	0	0	0,7	0



6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0
8	1	0,15	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0
<b>Rata-Rata</b>	0,3	0,165	0,219	0,3	0,17	0

Kemudian jika Tabel 4.4. direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *packet loss* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hubungan Resolusi Video dan *Packet Loss*

Berdasarkan pengamatan diketahui bahwa:

- Untuk jam 05:00, Nilai rata-rata PLR semakin besar mengikuti besar resolusi video yang digunakan. Nilai rata-rata PLR untuk jam 19:00 WIB semakin kecil berbanding terbalik dengan semakin besarnya resolusi video yang digunakan.

#### 4.3.2 Data Sekunder

Pada bagian ini dihasilkan nilai-nilai parameter performansi jaringan (*delay end-to-end, throughput, packet loss*) berdasarkan perhitungan teoretis dan standar perangkat yang digunakan.

##### 4.3.2.1 Spesifikasi LTE

Data spesifikasi LTE diperlukan dalam perhitungan *throughput, delay* jaringan LTE dan probabilitas *packet loss*. Beberapa data sekunder terkait spesifikasi LTE yang digunakan antara lain:

Downlink budget untuk jaringan LTE pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Downlink Link Budget untuk LTE

Parameter Link Budget	LTE
Max Tx Power	46 dBm
Tx Antenna Gain	18 dBi
Cable Loss	2 dB
EIRP	62 dBm
UE Noise Figure	7 dB
Thermal Noise	-104,5 dBm
Receiver Noise Floor	-97,5 dBm
SINR	-10 dB
Receiver Sensitivity	-107,5 dBm
Rx Antenna Gain	0 dB
Body Loss	0 dB
Interference Margin	3 dB

Sumber: LTE Encyclopedia

#### 4.3.2.2 Delay End-to-End

*Delay End-to-End* pada penelitian ini dapat dianalisis berdasarkan konfigurasi jaringan sistem VOD yang telah dibuat. *Delay end-to-end* dimulai dari *media server* yang berada di Lab. Komputasi Jaringan Teknik Elektro Universitas Brawijaya hingga *user* pada lokasi uji yaitu di Jalan Jombang. *Delay end-to-end* didapatkan dengan cara menjumlahkan *delay codec video on demand* dan *delay* jaringan LTE.

##### 4.3.2.2.1 Delay Codec Video on Demand

Aplikasi *video on demand* pada penelitian menggunakan *codec* video jenis H.264/AVC MPEG-4 dan *codec* audio jenis AAC dan menggunakan parameter sesuai dengan Tabel 2.5 pada Bab 2. Spesifikasi *file video on demand* untuk masing-masing resolusi ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Spesifikasi File Video

No.	Jenis Resolusi Video	VIDEO		AUDIO	
		Bitrate (kbps)	Frame Size (ms)	Bitrate (kbps)	Frame Size (ms)
1	480p	712	33,33	125	33,33
2	720p	1336	33,33	125	33,33
3	1080p	3008	33,33	125	33,33

Untuk menghitung besar *payload* video dan *payload* audio *file video on demand* tiap frame ditentukan dengan persamaan 2-8 dan 2-9.

- Untuk video 480p,



$$\begin{aligned}
 P_v 480p &= \text{bitrate video} \times \text{frame length video} \\
 &= 712 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 33,33 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\
 &= 23731 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

Sedangkan *payload* audionya,

$$\begin{aligned}
 P_a 480p &= \text{bitrate audio} \times \text{frame length audio} \\
 &= 125 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 33,33 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\
 &= 4167 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan untuk *payload* video dan audio untuk *file* beresolusi 720p dan 1080p dapat ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 *Payload* Video dan Audio

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Payload</i> VIDEO (bit)	<i>Payload</i> AUDIO (bit)
1	480p	23731	4167
2	720p	44529	4167
3	1080p	100257	4167

*Payload* video dan audio kemudian dienkodkan menggunakan *codec*. *Payload* video dienkodkan H.264/AVC MPEG-4 dan *payload* audio dienkodkan AAC. Jumlah *payload* yang disegmentasi berdasarkan *payload* maksimum dari ketentuan *codec*. Sehingga, jumlah paket data video dan audio sesuai dengan persamaan 2-10 dan 2-11. Nilai  $P_v$  Maksimum dan  $P_a$  Maksimum mengacu pada Tabel 4.7 spesifikasi *Audio* dan *Video Codec* yang ada di bab 2.

- Untuk video 480p,

$$\begin{aligned}
 N_v &= \frac{P_v}{P_v \text{ maksimum}} \\
 &= \frac{23731 \text{ bit}}{254 \text{ byte} \times 8} \\
 &= 11,6786417 \approx 12 \text{ paket}
 \end{aligned}$$

Sedangkan jumlah paket audionya,

$$\begin{aligned}
 N_a &= \frac{P_a}{P_a \text{ maksimum}} \\
 &= \frac{4167 \text{ bit}}{63 \text{ byte} \times 8} \\
 &= 8,267195767 \approx 9 \text{ paket}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan untuk jumlah paket video dan audio untuk *file* beresolusi 720p dan 1080p dapat ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Jumlah Paket *Payload* Audio dan Video

No.	Jenis Resolusi Video	N <sub>v</sub>	N <sub>a</sub>
1	480p	12 paket	9 paket
2	720p	22 paket	9 paket
3	1080p	50 paket	9 paket

*Payload video on demand* (video dan audio) masing-masing ditambahkan *header* NALU, RTP, UDP dan IPv4. Besarnya paket video dan audio setelah dienkodkan dan ditambah *header* ditentukan dengan persamaan 2-12 dan 2-13. Sehingga besarnya *payload* video dan audio untuk video 480p,

$$P_v(\text{encoded}) = P_v + N_v \times (H_{\text{NALU}} + H_{\text{RTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}})$$

$$P_v(\text{encoded})_{480p} = 23731 \text{ bit} + 12 \times (8 + 96 + 64 + 160) \text{ bit} \\ = 27667 \text{ bit}$$

$$P_a(\text{encoded}) = P_a + N_a \times (H_{\text{NALU}} + H_{\text{RTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}})$$

$$P_a(\text{encoded})_{480p} = 4167 \text{ bit} + 9 \times (8 + 96 + 64 + 160) \text{ bit} \\ = 7119 \text{ bit}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan untuk *payload* video dan audio setelah penambahan *header* NALU, RTP, UDP, IPv4 untuk *file* beresolusi 720p dan 1080p dapat ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 *Payload* Audio dan Video dengan *Header* NALU, RTP, UDP, IPv4

No.	Jenis Resolusi Video	P <sub>v</sub> (encoded) (bit)	P <sub>a</sub> (encoded) (bit)
1	480p	27667	7119
2	720p	51745	7119
3	1080p	116657	7119

Sehingga besarnya paket data aplikasi *video on demand* yang ditransmisikan pada sistem ditentukan dengan persamaan 2-14. Untuk video beresolusi 480p maka,

$$P_{\text{vod size}} = P_v(\text{encoded}) + P_a(\text{encoded})$$



$$\begin{aligned} P_{\text{vod size 480p}} &= 27667 \text{ bit} + 7119 \text{ bit} \\ &= 34886 \text{ bit} = 4360,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan besar paket data aplikasi *video on demand* untuk *file* beresolusi 720p dan 1080p dapat ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 *Payload Video On Demand*

No.	Jenis Resolusi Video	P vod size (byte)
1	480p	4360,75
2	720p	7358
3	1080p	15472

Berdasarkan tabel 2.5, nilai *delay* untuk *codec* video sebesar 300 ms dan *codec* audio sebesar 37.5 ms. Sehingga besarnya *delay codec* maksimal yang terjadi pada aplikasi *video on demand* sesuai dengan persamaan 2-1. Nilai *delay codec audio* dan *video* mengacu pada tabel Spesifikasi *Audio dan Video Codec*

$$\begin{aligned} t_{\text{codec}} &= t_{\text{audio}} + t_{\text{video}} \\ &= 50 \text{ ms} + 60 \text{ ms} = 110 \text{ ms} \end{aligned}$$

#### 4.3.2.2.2 Delay Proses

Perhitungan delay proses secara teoritis sebagai berikut,

- **Server (IP network)**

Pada penelitian ini protokol aplikasi yang digunakan adalah RTP/RTCP untuk mendownload file *streaming video* yang bersifat *real time*, maka digunakan header UDP. Paket data *video on demand* ditambahkan header RTP, UDP, NALU dan IPv4 pada layer *Transport*. Dari *transport layer* data dibawa menuju ke *network layer*. IP diubah menjadi datagram. Jika datagram IP tidak melebihi MTU *Ethernet*, maka datagram IP akan langsung ditambahkan dengan header *Ethernet* dan FCS (Heywood et.all, 1997).

Jika datagram IP melebihi *Maximum Transmission Unit (MTU) Ethernet* sebesar 1.500 byte, maka datagram IP tersebut akan disegmentasi terlebih dahulu baru ditambahkan dengan header *Ethernet* dan FCS sesuai dengan persamaan 2-15. Untuk video beresolusi 480p,

$$N_{\text{frame Ethernet}} = \frac{P_{\text{VOD-size}}}{\text{MTU}_{\text{ethernet}}}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{4360,75 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\
 &= 2,9071 \text{ frame} \approx 3 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Jumlah *frame* yang dihasilkan sebanyak 3 *frame*, diantaranya 1 *frame* berisi 1453,583 byte karena tidak melebihi MTU Ethernet. Maka, besar *frame* yang dikirimkan server menuju ditentukan dengan persamaan 2-16.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame server}} &= P_{\text{VOD-size}} + [N_{\text{paket Ethernet}} \times (H_{\text{Ethernet}} + \text{FCS})] \\
 &= 4360,75 \text{ byte} + [3 \times (14 + 4)] \text{ byte} \\
 &= 4414,75 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi pada server ditentukan dengan persamaan 2-17.

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-server}} &= \frac{W_{\text{frame server}} - P_{\text{VOD-size}}}{C_{\text{server}}} \times 8 \\
 &= \frac{(4414,75 - 4360,75) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 4,32 \cdot 10^{-8} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *delay* enkapsulasi server untuk resolusi video 720p dan 1080p ditunjukkan

Tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Delay* Enkapsulasi Server

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi Server (s)
1	480p	$4,32 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$7,2 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$14,4 \cdot 10^{-7}$

- **PDN-GW ( Packet Data Network – Gateway)**

Pada PDN-GW, paket data yang diterima dari server mengalami proses dekapsulasi kemudian enkapsulasi kembali untuk dikirim ke *node* selanjutnya. Paket data yang didekapsulasi pada PDN-GW ditunjukkan persamaan 2-18. Untuk video beresolusi 480p maka,

$$\begin{aligned}
 W_{\text{VoD PDN-GW}} &= W_{\text{frame server}} - H_{\text{Ethernet}} - \text{FCS} \\
 &= 4414,75 \text{ byte} - (3 \times 14) \text{ byte} - (3 \times 4) \text{ byte} \\
 &= 4360,75 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Maka delay dekapsulasi berdasarkan persamaan 2-19

$$\begin{aligned} t_{d-PDN-GW} &= \frac{W_{frame\ sever} - W_{Vod\ PDN-GW}}{C_{PDN-GW}} \times 8 \\ &= \frac{(4414,75 - 4360,75)\ \text{byte}}{10^9\ \text{bps}} \times 8 \\ &= 4,32 \cdot 10^{-7}\ \text{s} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* dekapsulasi untuk video beresolusi 720p dan 1080p ditentukan dengan perhitungan yang sama dan ditunjukkan Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Delay* Dekapsulasi pada PDN-GW

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi (s)
1	480p	$4,32 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$7,2 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$14,4 \cdot 10^{-7}$

Paket data yang telah didekapsulasi dan diterima oleh PDN-GW, selanjutnya dien kapsulasi kembali untuk ditransmisikan ke S-GW. Pada PDN-GW terdapat ukuran maksimum *frame*, yakni MSS. MSS adalah *Maximum Segment Size*. Nilai MSS didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-20.

$$\begin{aligned} MSS &= MTU - H_{GTP} - H_{UDP} - H_{IPv4} \\ &= 1500\ \text{byte} - 8\ \text{byte} - 8\ \text{byte} - 20\ \text{byte} \\ &= 1464\ \text{byte} \end{aligned}$$

Datagram *video on demand* (video 480p, 720p maupun 1080p) pada PDN-GW disegmentasi dengan MSS, jika datagram tersebut melebihi ukuran MSS. Paket data yang disegmentasi oleh MSS ditentukan dengan persamaan 2-21. Untuk video 480p yaitu,

$$\begin{aligned} N_{\text{datagram}} &= \frac{W_{VOD\ PDN-GW}}{MSS} \\ &= \frac{4360,75\ \text{byte}}{1464\ \text{byte}} \\ &= 2,97865437 \approx 3\ \text{frame} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan 3 *frame*, yakni 1 *frame* berisi 1453,583 byte. Datagram *video on demand* dienkapsulasi kembali dengan penambahan *header* GTP, UDP dan IP sesuai dengan persamaan 2-22.

$$\begin{aligned} W_{\text{data PDN-GW}} &= W_{\text{VOD PDN-GW}} + N_{\text{datagram}} \times (H_{\text{GTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}} + H_{\text{Ethernet}} + \text{FCS}) \\ &= 4360,75 \text{ byte} + 3 \times (8 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 20 \text{ byte} + 14 \text{ byte} + 4 \text{ byte}) \\ &= 4522,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada PDN-GW untuk video beresolusi 480p ditentukan berdasarkan persamaan 2.25.

$$\begin{aligned} t_{e\text{-PDN-GW}} &= \frac{W_{\text{data PDN-GW}} - W_{\text{VOD PDN-GW}}}{C_{\text{PDN-GW}}} \times 8 \\ &= \frac{(4522,75 - 4360,75) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 12,96 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, maka nilai *delay* enkapsulasi pada PDN-GW untuk video beresolusi 720p dan 1080p dihasilkan dan ditunjukkan Tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Delay* Enkapsulasi PDN-GW

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi (s)
1	480p	$12,96 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$21,6 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$43,2 \cdot 10^{-7}$

- **Service Gateway (S-GW)**

Paket data yang diterima dari PDN-GW didekapsulasi selanjutnya dienkapsulasi untuk dikirimkan menuju *node* berikutnya. Paket data yang diterima pada S-GW dari PDN-GW ditunjukkan dengan persamaan 2-26. Untuk video dengan resolusi 480p maka,

$$\begin{aligned} W_{\text{VOD S-GW}} &= W_{\text{data PDN-GW}} - H_{\text{GTP}} - H_{\text{UDP}} - H_{\text{IPv4}} - H_{\text{Ethernet}} - \text{FCS} \\ &= 4522,75 \text{ byte} - 3(8) \text{ byte} - 3(8) \text{ byte} - 3(20) \text{ byte} - 3(14) \text{ byte} - \\ &\quad 3(4) \text{ byte} \\ &= 4360,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* dekapsulasi S-GW didapatkan dengan persamaan 2-27 yaitu,

$$t_{d\text{-S-GW}} = \frac{W_{\text{data PDN-GW}} - W_{\text{VOD S-GW}}}{C_{\text{S-GW}}} \times 8$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{(4522,75 - 4360,75) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 12,96 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk jenis resolusi video 720p dan 1080p, *delay* dekapsulasi pada S-GW dengan perhitungan yang sama dengan 480p ditunjukkan hasilnya pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 *Delay* Dekapsulasi S-GW

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi (s)
1	480p	$12,96 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$21,6 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$43,2 \cdot 10^{-7}$

Datagram *video on demand* pada S-GW disegmentasi dengan MTU, jika datagram tersebut melebihi ukuran MTU. Paket data yang disegmentasi oleh MTU ditentukan dengan persamaan 2-28.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{datagram S-GW}} &= \frac{W_{\text{VOD S-GW}}}{\text{MTU}} \\
 &= \frac{4360,75}{1500 \text{ byte}} \\
 &= 2,90716667 \approx 3 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Jumlah paket datagram S-GW yang terbentuk adalah 3 *frame*, yakni 1 *frame* berisi 1453,583 byte. Datagram *video on demand* dienkapsulasi kembali dengan penambahan *header* GTP, UDP dan IP sesuai dengan persamaan 2-29.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{data S-GW}} &= W_{\text{VOD S-GW}} + N_{\text{datagram S-GW}} \times (H_{\text{GTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}} + H_{\text{Ethernet}} + \text{FCS}) \\
 &= 4360,75 \text{ byte} + 3 \times (8 + 8 + 20 + 14 + 4) \text{ byte} \\
 &= 4522,75 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada S-GW untuk video dengan resolusi 480p ditunjukkan oleh persamaan 2-30.

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-S-GW}} &= \frac{W_{\text{data S-GW}} - W_{\text{VOD S-GW}}}{C_{\text{S-GW}}} \times 8 \\
 &= \frac{(4522,75 - 4360,75) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 12,96 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Hasil *delay* enkapsulasi pada S-GW untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 *Delay* Enkapsulasi S-GW

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi (s)
1	480p	$12,96 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$21,6 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$43,2 \cdot 10^{-7}$

- **Evolution (ENodeB)**

Paket data yang diterima oleh ENodeB dari S-GW mengalami proses dekapsulasi dan selanjutnya mengalami proses enkapsulasi untuk dikirim menuju UE. Paket data untuk video dengan resolusi 480p yang diterima ENode B mengalami proses dekapsulasi dengan persamaan 2-31.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{VOD EnodeB}} &= W_{\text{data S-GW}} - H_{\text{GTP}} - H_{\text{UDP}} - H_{\text{IPv4}} - H_{\text{Ethernet}} - \text{FCS} \\
 &= 4522,75 \text{ byte} - 3(8)\text{byte} - 3(8)\text{byte} - 3(20)\text{byte} - 3(14)\text{byte} - \\
 &\quad 3(4)\text{byte} \\
 &= 4360,75 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* dekapsulasi ENodeB didapatkan dengan persamaan 2-32 yaitu,

$$\begin{aligned}
 t_{\text{d-EnodeB}} &= \frac{W_{\text{data S-GW}} - W_{\text{VOD EnodeB}}}{C_{\text{S-GW}}} \times 8 \\
 &= \frac{(4522,75 - 4360,75) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 12,96 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk jenis resolusi video 720p dan 1080p, *delay* dekapsulasi pada ENodeB dengan perhitungan yang sama dengan 480p ditunjukkan hasilnya pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 *Delay* Dekapsulasi ENodeB

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi (s)
1	480p	$12,96 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$21,6 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$43,2 \cdot 10^{-7}$

Datagram *video on demand* pada ENodeB disegmentasi dengan MTU, jika datagram tersebut melebihi ukuran MTU. Paket data yang disegmentasi oleh MTU ditentukan dengan persamaan 2-33.

$$\begin{aligned} N_{\text{datagram ENodeB}} &= \frac{W_{\text{VoD ENodeB}}}{\text{MTU}} \\ &= \frac{4360,75}{1500 \text{ byte}} \\ &= 2,90716667 \approx 3 \text{ frame} \end{aligned}$$

Kemudia paket data *video on demand* dienkapsulasi menambahkan header PDCP yang berfungsi mengenkapsulasi datagram IP sesuai dengan persamaan 2-34 yaitu,

$$\begin{aligned} W_{\text{frame PDCP}} &= W_{\text{VoD ENODEB}} + H_{\text{PDCP}} \\ &= 4360,75 + (3 \times 2) \\ &= 4366,75 \end{aligned}$$

Pada saat memasuki RLC, paket data disegmentasi menjadi paket sebesar 40 byte, jumlah frame RLC sesuai dengan persamaan 2-35

$$\begin{aligned} N_{\text{frame RLC}} &= \frac{W_{\text{frame PDCP}}}{40 \text{ byte}} \\ &= \frac{4366,75}{40 \text{ byte}} \\ &= 109,1687 \approx 109 \text{ frame} \end{aligned}$$

Setiap frame diberi *header* RLC sebesar 2 *byte* sehingga panjang data *frame* RLC setelah penambahan *header* sesuai dengan persamaan 2-36

$$\begin{aligned} W_{\text{frame RLC total}} &= W_{\text{frame PDCP}} + H_{\text{frame RLC}} \\ &= 4366,75 + (109 \times 2) \\ &= 4584,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada saat memasuki *layer* MAC, paket data disegmentasi menjadi paket sebesar 42 *byte*, jumlah *frame* MAC diketahui sesuai dengan persamaan 2-37

$$\begin{aligned} N_{\text{frame MAC}} &= \frac{W_{\text{frame RLC total}}}{42 \text{ byte}} \\ &= \frac{4584,75 \text{ byte}}{42 \text{ byte}} \\ &= 109,160714 \approx 109 \text{ frame} \end{aligned}$$



Panjang paket data *video on demand* pada ENodeB yang siap ditransmisikan menuju UE merupakan panjang data *frame* MAC setelah penambahan header sesuai dengan persamaan 2-38

$$W_{\text{frame MAC}} = W_{\text{frame RLC total}} + (N_{\text{frame MAC}} \times H_{\text{mac}})$$

$$\begin{aligned} W_{\text{frame MAC}} &= 4584,75 + (109 \times 3) \\ &= 4911,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi pada ENode B ditentukan dengan persamaan 2-39.

$$\begin{aligned} t_{e\text{-Node B}} &= \frac{W_{\text{frame MAC}} - W_{\text{VoD Node-B}}}{C_{\text{Node-B}}} \times 8 \\ &= \frac{(4911,75 - 4360,75) \text{ byte}}{574,7 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 7,669 \cdot 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* enkapsulasi untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p juga dapat ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 *Delay* Enkapsulasi ENodeB

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi (s)
1	480p	$76,69 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$128,88 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$270,71 \cdot 10^{-7}$

- **User Equipment (UE)**

Pada *user equipment* terjadi proses dekapsulasi. Proses dekapsulasi memproses paket data dari ENode B dengan video dengan resolusi 480p dan dimodelkan dengan persamaan 2-40.

$$\begin{aligned} W_{\text{VoD UE}} &= W_{\text{frame MAC}} - (N_{\text{frame}} \times H_{\text{PDCP}}) - (N_{\text{frame}} \times H_{\text{RLC}}) - (N_{\text{frame}} \times H_{\text{MAC}}) \\ &= 4911,75 - (3 \times 2) - (109 \times 2) - (109 \times 3) \\ &= 4360,75 \text{ byte} \end{aligned}$$

Maka, besarnya *delay* dekapsulasi pada UE ditentukan dengan persamaan 2-41.

$$\begin{aligned} t_{d\text{-UE}} &= \frac{W_{\text{frame MAC}} - W_{\text{VoD UE}}}{C_{\text{UE}}} \times 8 \\ &= \frac{(4911,75 - 4360,75) \text{ byte}}{574,8 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8 \end{aligned}$$

$$= 76,687 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Dan besarnya *delay* dekapsulasi untuk video 720p dan 1080p ditentukan dengan langkah perhitungan yang sama dan ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 *Delay* Dekapsulasi pada UE

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi UE (s)
1	480p	$76,687 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$128,88 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$270,71 \cdot 10^{-7}$

Adapun besarnya *delay* enkapsulasi pada LTE didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-5. Untuk video dengan resolusi 480p, maka

$$\begin{aligned} t_{\text{enc}} &= t_{e\text{-server}} + t_{e\text{-PDN-GW}} + t_{e\text{-S-GW}} + t_{e\text{-ENodeB}} \\ &= 4,32 \cdot 10^{-7} + 12,96 \cdot 10^{-7} + 12,96 \cdot 10^{-7} + 76,69 \cdot 10^{-7} \\ &= 106,93 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Kemudian besarnya *delay* dekapsulasi pada LTE didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-6

$$\begin{aligned} t_{\text{dec}} &= t_{d\text{-PDN-GW}} + t_{d\text{-S-GW}} + t_{d\text{-ENodeB}} + t_{d\text{-UE}} \\ &= 4,32 \cdot 10^{-7} + 12,96 \cdot 10^{-7} + 12,96 \cdot 10^{-7} + 76,687 \cdot 10^{-7} \\ &= 106,927 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya *delay* proses pada jaringan LTE ditunjukkan persamaan 2-7.

$$\begin{aligned} t_{\text{proses}} &= t_{\text{enc}} + t_{\text{dec}} \\ &= 106,93 \cdot 10^{-7} + 106,927 \cdot 10^{-7} \text{ s} \\ &= 213,317 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Dan perhitungan *delay* proses (enkapsulasi dan enkapsulasi) untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 *Delay* Proses

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Proses (s)
1	480p	$213,317 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$358,56 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$743,02 \cdot 10^{-7}$

#### 4.3.2.2.3 Delay Transmisi

Delay transmisi total pada LTE, yakni meliputi Server ke PDN-GW, PDN-GW ke S-GW, S-GW ke ENode B, EnodeB ke UE.

- **Delay Transmisi pada Server ke PDN-GW**

Hubungan antara Server dengan PDN-GW diasumsikan menggunakan *Fast Ethernet* dengan kecepatan transmisi 10 Gbps sesuai dengan spesifikasi perangkat server. Sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi sesuai dengan persamaan 2-42. Untuk video dengan resolusi 480p,

$$\begin{aligned} t_{T1} &= \frac{W_{\text{frame Server}}}{C_{\text{Server}}} \\ &= \frac{4414,75 \text{ byte} \times 8}{10 \times 10^9 \text{ bps}} \\ &= 35,318 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Sedangkan *delay* transmisi untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Delay Transmisi Server-PDN-GW

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	480p	$35,318 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$59,296 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$124,208 \cdot 10^{-7}$

- **Delay Transmisi pada PDN-GW ke S-GW**

Sehingga *delay* transmisi pada PDN-GW ke S-GW diasumsikan menggunakan kabel perangkat standar yaitu dengan kecepatan maksimal 1Gbps ditentukan sesuai dengan persamaan 2-42. Untuk video dengan resolusi 480p,

$$\begin{aligned} t_{T2} &= \frac{W_{\text{frame PDN - GW}}}{C_{\text{ethernet}}} \\ &= \frac{4522,75 \text{ byte} \times 8}{10^9 \text{ bps}} \\ &= 361,82 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$



*Delay* transmisi pada PDN-GW ke S-GW untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 *Delay* Transmisi PDN-GW ke S-GW

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Transmisi (s)
1	480p	$361,82 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$610,24 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$1280,96 \cdot 10^{-7}$

- ***Delay* Transmisi pada S-GW ke ENodeB**

Hubungan antara S-GW dengan ENodeB menggunakan jenis media transmisi yang diasumsikan dengan kecepatan transmisi maksimal 1Gbps. Sehingga *delay* transmisi dari S-GW menuju ENodeB ditentukan sesuai dengan persamaan 2-42. Untuk video dengan resolusi 480p,

$$\begin{aligned}
 t_{T3} &= \frac{W \text{ frame S - GW}}{C} \\
 &= \frac{4552,75 \text{ byte} \times 8}{10^9 \text{ bps}} \\
 &= 361,82 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan langkah perhitungan menggunakan persamaan 2.59, nilai *delay* transmisi pada S-GW ke ENodeB untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 *Delay* Transmisi S-GW ke ENodeB

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Transmisi (s)
1	480p	$361,82 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$610,24 \cdot 10^{-4}$
3	1080p	$1280,96 \cdot 10^{-4}$

- ***Delay* Transmisi pada ENode B ke UE**

Jumlah slot ditentukan oleh *chip rate* LTE yaitu sebesar 3,8Mcps, selanjutnya dibagi menjadi radio frame 10ms. Satu slot terdiri dari 2560 *chip* dan banyaknya slot dapat dihitung menggunakan persamaan

$$n = \frac{cr \times rf}{2560 \text{ chip}}$$

dengan :

$n$  = banyaknya slot

$cr$  = *chip rate*

$rf$  = *radio frame* (Harri Holma dan Otto Lehtien, 2009 : 353).

Maka, banyaknya *time slot* untuk radio frame 10 ms,

$$\begin{aligned} n &= \frac{cr \times rf}{2560 \text{ chip}} \\ &= \frac{3,8410^6 \text{ cps} \times 10 \cdot 10^{-3}}{2560 \text{ chip}} \\ &= 15 \end{aligned}$$

- *Delay* transmisi pada ENodeB ke UE dengan jenis media transmisi yang digunakan dari ENodeB ke UE adalah udara. Maka, *delay* transmisi pada ENodeB ke UE dengan resolusi video 480p sesuai dengan persamaan 2-42,

$$\begin{aligned} t_{T4} &= \frac{W \text{ frame ENode B}}{n \times C} \\ &= \frac{(4911,75 \times 8)}{15 \times 574,8 \times 10^6} \\ &= 45,57 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* transmisi pada ENodeB ke UE untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditentukan dan ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 *Delay* Transmisi ENodeB ke UE

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Transmisi (s)
1	480p	$45,57 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$76,86 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$161,605 \cdot 10^{-7}$

- ***Delay* Transmisi Total**

Besarnya nilai *delay* transmisi total pada jaringan LTE yang dihitung menggunakan persamaan 2-43 untuk video dengan resolusi 480p,

$$\begin{aligned} t_{T \text{ total}} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \\ &= 35,318 \cdot 10^{-7} + 361,82 \cdot 10^{-7} + 361,82 \cdot 10^{-7} + 45,57 \cdot 10^{-7} \\ &= 804,528 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Delay transmisi total untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Delay Transmisi Total

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	480p	$804,528 \cdot 10^{-7}$
2	720p	$1356,64 \cdot 10^{-7}$
3	1080p	$2847,73 \cdot 10^{-7}$

#### 4.3.2.2.4 Delay Propagasi

Menurut Forouzan dalam bukunya *Data Communications and Networking* tahun 2000, delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan oleh paket data untuk merambat dari ENodeB menuju UE. Jarak ENode B menuju UE adalah 950 m sesuai dengan cepat rambat gelombang elektromagnetik sebesar  $3 \cdot 10^8$  m/s. Nilai delay propagasi pada penelitian ditentukan oleh persamaan 2-44. Untuk video 480p, 720p dan 1080p

$$t_p = \frac{d_{max}}{v}$$

$$t_p = \frac{950 \text{ meter}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$= 3,16 \cdot 10^{-6}$$

#### 4.3.2.2.5 Delay Antrian

- **Delay Antrian pada PDN-GW**

Kecepatan pemrosesan data pada PDN-GW diasumsikan menggunakan standar *interface Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Maka sesuai persamaan 2-48 untuk mendapat delay antrian pada PDN-GW pada video 480p,

$$\mu_{PDN-GW} = \frac{C_{PDN-GW}}{W_{frame PDN-GW}}$$

$$= \frac{10^9}{(4522,75 \times 8)}$$

$$= 27440,86 \text{ paket/s}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2-49, besarnya kecepatan kedatangan paket pada PDN-GW diperoleh.

$$\lambda_{PDN-GW} = \mu_{PDN-GW} \times \rho$$



$$\begin{aligned}
 &= 27440,86 \times 0,1 \\
 &= 2744,086 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada PDN-GW untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2-45

$$\begin{aligned}
 t_{WPDN-GW} &= t_{\text{queue}} + t_{\text{serv}} \\
 &= \frac{\lambda_{PDN-GW}}{\mu_{PDN-GW}(\mu_{PDN-GW} - \lambda_{PDN-GW})} + \frac{1}{\mu_{PDN-GW}} \\
 &= \frac{2744,086}{27440,86(27440,86 - 2744,086)} + \frac{1}{27440,86} \\
 &= 404,911 \cdot 10^{-7} \text{s}
 \end{aligned}$$

#### • Delay Antrian pada S-GW

*Interface* yang digunakan S-GW diasumsikan menggunakan standar *interface Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Maka sesuai persamaan 2-48 untuk mendapat *delay* antrian pada S-GW pada video 480p,

$$\begin{aligned}
 \mu_{S-GW} &= \frac{C_{S-GW}}{W_{\text{frame } S-GW}} \\
 &= \frac{10^9}{(4522,75 \times 8)} \\
 &= 27440,86 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2-49, besarnya kecepatan kedatangan paket pada S-GW diperoleh.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{S-GW} &= \mu_{S-GW} \times \rho \\
 &= 27440,86 \times 0,1 \\
 &= 2744,086 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada S-GW untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2-45.

$$\begin{aligned}
 t_{WS-GW} &= t_{\text{queue}} + t_{\text{serv}} \\
 &= \frac{\lambda_{S-GW}}{\mu_{S-GW}(\mu_{S-GW} - \lambda_{S-GW})} + \frac{1}{\mu_{S-GW}} \\
 &= \frac{2744,086}{27440,86(27440,86 - 2744,086)} + \frac{1}{27440,86}
 \end{aligned}$$

$$= 404,911 \cdot 10^{-7} \text{s}$$

- **Delay Antrian pada ENode B**

Interface yang digunakan ENode B untuk dikirim menuju UE dengan kecepatan 574,8 Mbps. Maka sesuai persamaan 2-48 untuk mendapat *delay* antrian pada ENodeB pada video 480p,

$$\begin{aligned} \mu_{ENODE B} &= \frac{C_{ENODE B}}{W_{frame ENODE B}} \\ &= \frac{574,8 \times 10^6}{(4911,75 \times 8)} \\ &= 14628,1875 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2-49, besarnya kecepatan kedatangan paket pada ENodeB diperoleh.

$$\begin{aligned} \lambda_{ENODE B} &= \mu_{ENODE B} \times \rho \\ &= 14628,1875 \times 0,1 \\ &= 1462,81875 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada ENodeB untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2-45.

$$\begin{aligned} t_{W ENODE B} &= t_{queue} + t_{serv} \\ &= \frac{\lambda_{ENODE B}}{\mu_{ENODE B}(\mu_{ENODE B} - \lambda_{ENODE B})} + \frac{1}{\mu_{ENODE B}} \\ &= \frac{1462,81875}{14628,1875 (14628,1875 - 1462,81875)} + \frac{1}{14628,1875} \\ &= 751,561 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

- **Delay Antrian Total**

*Delay* antrian total yang terjadi pada jaringan LTE ditentukan dengan persamaan 2-50. Untuk video dengan resolusi 480p dan faktor utilisasi 0,1,

$$\begin{aligned} t_{w total} &= t_{w PDN-GW} + t_{w S-GW} + t_{w ENodeB} \\ &= 404,911 \cdot 10^{-7} \text{ s} + 404,911 \cdot 10^{-7} \text{ s} + 751,561 \cdot 10^{-7} \text{ s} \\ &= 1561,383 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama untuk menentukan nilai *delay* antrian total jaringan LTE, maka *delay* antrian total untuk video dengan resolusi 720p dan 1080p untuk faktor utilisasi 0,2 hingga 0,9 ditunjukkan Tabel 4.25,.

Tabel 4.25 *Delay* Antrian Total

$\rho$	<i>Delay</i> Antrian Total (s) video 480P	<i>Delay</i> Antrian Total (s) video 720p	<i>Delay</i> Antrian Total (s) video 1080p
0,1	0.000156939	0.000263715	0.000554
0,2	0.000176556	0.00029668	0.00062325
0,3	0.000201779	0.000339063	0.000712285
0,4	0.000235409	0.000395573	0.000831
0,5	0.00028249	0.000474688	0.0009972
0,6	0.000353113	0.000593359	0.001246499
0,7	0.000470817	0.000791146	0.001661999
0,8	0.000706226	0.001186719	0.002492999
0,9	0.001412452	0.002373438	0.004985998

Faktor utilisasi merupakan perbandingan antara banyaknya aktifitas yang dilakukan dengan kapasitas yang tersedia. Berdasarkan perhitungan dan Tabel 4.25 dapat diketahui bahwa semakin tinggi faktor utilisasi, maka semakin besar *delay* antriannya.

#### 4.3.2.2.6 *Delay* Total (*Delay* End-to-End)

Besarnya nilai *delay* total dihitung dengan menjumlahkan nilai *delay* *codec* dan *delay* jaringan LTE (*delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian). Sehingga besarnya nilai *delay* *end-to-end* sesuai dengan persamaan 2-2. Untuk video dengan resolusi 480p dan faktor utilisasi 0,1,

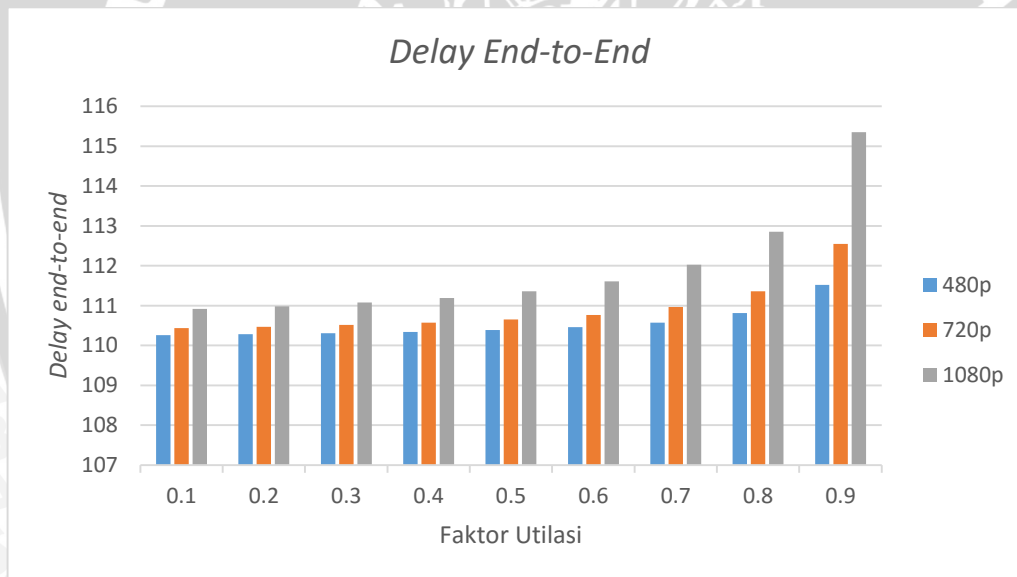
$$\begin{aligned}
 t_{total} &= t_{delay\ codec} + t_{delay\ end-to-end\ LTE} \\
 &= t_{delay\ codec} + (t_{proses} + t_{T\ total} + t_p + t_{W\ total}) \\
 &= 110\ ms + (0,0213 + 0,0804 + 0,00316 + 0,1561\ ms) \\
 &= 110,267230\ ms
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan dengan faktor utilitas 0,2 hingga 0,9 dan video dengan resolusi 720p dan 1080p ditunjukkan pada Tabel 4.26.



Tabel 4.26 *Delay Total Video on Demand*

$\rho$	<i>Delay Total</i> (ms) video 480p	<i>Delay Total</i> (ms) video 720p	<i>Delay Total</i> (ms) video 1080p
0,1	110.267230	110.4383913	110.9162318
0,2	110.2814965	110.4713557	110.9854817
0,3	110.3067188	110.5137385	111.0745174
0,4	110.3403486	110.5702489	111.1932317
0,5	110.3874304	110.6493635	111.3594316
0,6	110.458053	110.7680354	111.6087315
0,7	110.5757573	110.9658218	112.0242313
0,8	110.8111659	111.3613948	112.855231
0,9	111.5173918	112.5481135	115.3482299

Gambar 4.17 Grafik Hubungan Antara Faktor Utilisasi dan Video terhadap *Delay Total*

Berdasarkan perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Resolusi video mempengaruhi *bitrate* dan jumlah paket data yang dikirimkan dari server yang diterima di *user*. Dengan kapasitas jaringan yang tetap, resolusi video yang semakin besar menyebabkan *bitrate* yang digunakan pada video semakin besar sehingga jumlah paket data yang dikirimkan atau diterima semakin besar. Ini

mengakibatkan proses tiap node semakin besar, antrian paket data semakin besar sehingga delay keseluruhan dihasilkan semakin besar

- Semakin besar faktor utilisasi, maka semakin besar nilai *delay end to end*. Hal tersebut ditunjukkan, untuk video 480p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 110.267230 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 111.5173918 ms. Untuk video 720p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 110.4383913 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 112.5481135 ms. Untuk video 1080p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 110.9162318 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 115.3482299 ms.
- Faktor utilisasi menunjukkan rasio perbandingan antara banyaknya pengguna dan kapasitas jaringan. Semakin banyak pengguna pada jaringan dengan kapasitas jaringan yang tetap, maka beban pada tiap-tiap *node* semakin besar, yakni beban untuk melakukan proses enkapsulasi dekapsulasi, pemrosesan dan pengiriman tiap paket data menuju node berikutnya.

#### 4.3.2.3 Probabilitas Packet Loss

Probabilitas *packet loss* total pada LTE ditentukan oleh probabilitas *packet loss* ditentukan berdasarkan probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE dan probabilitas *packet loss* pada server.

- **Perhitungan Probabilitas Packet Loss pada VoD**

Nilai probabilitas *packet loss* pada VoD dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{\text{server}} = P_{\text{Va VoD}} \times p_b$$

Probabilitas *packet loss* layanan *video on demand* menggunakan *payload audio* dan *payload video*, kemudian header sebesar 40 byte (320 bit) yang terdiri atas header UDP 8 byte, header RTP 12 byte dan header IP 20 byte. Maka untuk mencari *packet loss* pada server dengan resolusi video 480p

$$\begin{aligned} P_{\text{va}} &= \text{header} + (X_{\text{LV}} + X_{\text{LA}}) \\ &= 320 + (23731 + 4167) \\ &= 28218 \text{ bit} \\ &= 3527,25 \text{ byte} \end{aligned}$$

Maka, probabilitas *packet loss* pada server dengan probabilitas bit salah pada server sebesar  $10^{-8}$  pada resolusi video 480p,

$$P_{\text{VoD}} = P_{\text{Va VoD}} \times p_b$$

$$= 28218 \times 10^{-8}$$

$$= 2,8218 \times 10^{-4}$$

- **Perhitungan Probabilitas Packet Loss Jaringan LTE**

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE sesuai dengan persamaan

$$P_{LTE} = P_{Va} \times P_{VoD} \times p_{LTE}$$

Dengan panjang paket data *video on demand* pada resolusi 480p adalah sebesar 28218 bit, dan modulasi standar yaitu 64-QAM dengan bandwidth sistem 20 MHz. Untuk menghitung probabilitas bit salah pada LTE, terlebih dahulu menghitung *bit rate* dan *EB/No* untuk modulasi 64-QAM. Sesuai dengan persamaan 2-61 maka bit rate pada modulasi 64-QAM dengan bandwidth sistem 20 MHz,

$$R = 2B \times \log_2 n$$

$$R = 40 \times 10^6 \times \log_2 64$$

$$R = 240 \text{ Mbps}$$

Dan *EB/No* terlebih dahulu mencari nilai *SNR* yaitu mencari parameter  $P_r$  dan  $N_0$  sesuai dengan persamaan

$$SNR = 10 \text{ Log } P_r / N_0$$

Untuk mencari nilai  $N_0$  sesuai dengan *link budget* LTE dan menggunakan persamaan 2-58

$$N_0 = 10 \text{ log } kT + 10 \text{ Log } B + NF$$

$$N_0 = 10 \text{ log } (1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) (300^\circ \text{ K}) + 10 \text{ log } 30 \times 10^6 + 5$$

$$= -203,93 + 75 + 5$$

$$= -123,93 \text{ dBm}$$

Dan daya terima yang di dapat oleh penerima sesuai dengan persamaan 2-59

$$P_r (\text{dBm}) = P_t - \text{FSL} - L_t - L_r + G_r + G_t$$

$$P_r (\text{dBm}) = 46 - \text{FSL} - 2 - 0 + 0 + 16$$

Dengan *free space loss* yang menggunakan panjang jarak ENode ke *user* yaitu 950 m sesuai persamaan 2-60

$$\text{FSL} = 20 \text{ log } \frac{4\pi d}{c} \cdot f$$

$$\text{FSL} = 20 \text{ log } \frac{4 \times 3,14 \times 950}{3 \times 10^8} \cdot 2,3 \times 10^9$$

$$\text{FSL} = 20 \text{ log } \frac{11942,85}{1,3 \times 10^{-1}}$$

$$= 99,263$$



sehingga,

$$P_r(\text{dBm}) = 46 - 99,263 - 2 - 0 + 0 + 16 \\ = -39,263$$

Dan SNR pada jaringan LTE untuk sesuai dengan persamaan 2-62

$$SNR = 10 \log \frac{P_r}{N_o} \\ SNR = 10 \log \frac{1,18 \times 10^{-4} \text{ mW}}{4,05 \times 10^{-13} \text{ mW}} \\ SNR = 84,63 \text{ dB}$$

Dan  $E_b/N_0$  didapat dengan persamaan 2-62

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR - 10 \log \frac{B}{R} \\ \frac{E_b}{N_o} = 84,63 - 10 \log \frac{20 \times 10^6}{240 \times 10^6} \\ = 95,43$$

Sehingga probabilitas bit salah pada sistem,,

$$P_{b \text{ LTE}} = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} x \operatorname{erfc} x \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{2(M-1)}} x \frac{E_b}{N_o} \right) \\ = \frac{2(\sqrt{64}-1)}{\sqrt{64} \log_2(64)} x \operatorname{erfc} x \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(64)}{2(64-1)}} x 95,43 \right) \\ = \frac{14}{48} x \operatorname{erfc} x \left( \sqrt{\frac{18}{126}} x 95,43 \right) \\ = 0,292 x \operatorname{erfc} (3,69)$$

Dimana,

$$\operatorname{erfc} (x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\ \approx \frac{1}{\sqrt{3,14} x 3,69} e^{-(3,69)^2} \\ \approx \frac{1}{6,53} e^{-13,61} \\ \approx 1,88 \times 10^{-7}$$

Maka,

$$P_{b \text{ LTE}} = 0,292 x \operatorname{erfc} (3,69) \\ = 0,292 x 1,88 \times 10^{-7} \\ = 0,548 \times 10^{-7}$$

Probabilitas *packet loss* untuk jaringan LTE dengan resolusi video 480p,

$$P_{\text{LTE}} = P_{V_a} V_{oD} x P_{b \text{ LTE}} \\ = 28218 x 0,548 \times 10^{-7} \\ = 0,00154$$

Sehingga probabilitas *packet loss* total untuk media layanan *video on demand* dengan resolusi video 480p sesuai dengan persamaan 2-53,

$$\begin{aligned} p_{tot} &= 1 - [(1 - p_{lte})(1 - p_{VoD})] \\ &= 1 - [1 - 0,00154)(1 - 0,00028218)] \\ &= 0,0019 \end{aligned}$$

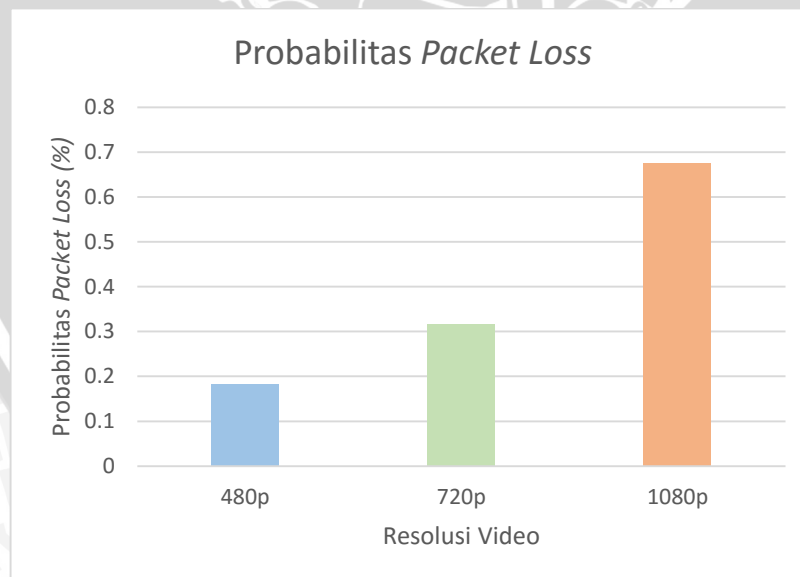
Dan nilai prosentase probabilitas *packet loss* resolusi video 480p,

$$\begin{aligned} p_{tot}(\%) &= p_{tot} \times 100 \% \\ &= 0,0019 \times 100 \% \\ &= 0,19\% \end{aligned}$$

Maka dengan menggunakan persamaan yang sama untuk mendapatkan *packet loss* total pada resolusi video 720p dan 1080p ditunjukkan pada tabel 4.27

Tabel 4.27 Probabilitas *Packet Loss* Total

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Packet loss</i> (%)
1	480p	0,19
2	720p	0,31
3	1080p	0,67



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Resolusi Video dengan Probabilitas *Packet Loss*

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar nilai resolusi video, maka semakin besar nilai probabilitas *packet loss*. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari hasil perhitungan, bahwa video dengan resolusi 480p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 0,19%, video dengan resolusi 720p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 0,31 % dan video dengan resolusi 1080p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 0,67%.
- Resolusi video memengaruhi nilai jumlah paket / besar frame yang dikirimkan dari server yang diterima pada *user*. Semakin besar resolusi video menyebabkan besar *frame* semakin besar untuk dikirimkan, semakin besar *frame* yang dikirim maka semakin besar probabilitas *packet loss* tiap-tiap *node* yang dilewati, sehingga semakin besar paket data yang dikirimkan maka semakin besar kemungkinan untuk terjadi *packet loss* pada data yang dikirimkan.

#### 4.3.2.4 Throughput

Perhitungan *throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima oleh UE dalam keadaan benar per waktu total transmisi yang dibutuhkan dari ENodeB ke UE. Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah frame dari ENodeB ke UE untuk video dengan resolusi 480p dengan berdasarkan persamaan 2-63,

$$\gamma = \frac{1 - P_{tot}}{t_1 [1 + (\alpha - 1) P_{tot}]}$$

$$= \frac{1 - 0,0019}{t_1 [1 + (\alpha - 1) 0,0019]}$$

Untuk mendapatkan nilai  $t_1$  menggunakan persamaan 2-66

$$t_1 = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}}$$

$$= \frac{4911,75 \times 8}{3,6 \times 10^6}$$

$$= 0,0109 \text{ s}$$

Dengan  $\alpha$  sesuai dengan persamaan 2-64

$$\alpha = \left( 3 + \frac{2t_p}{t_t} \right)$$

$$= \left( 3 + \frac{2 \times 3,16 \times 10^{-6}}{0,0109} \right)$$

$$= 3,000579$$

Maka,

$$\gamma = \frac{1 - 0,0019}{0,0109 [1 + (3,000579 - 1) 0,0019]}$$

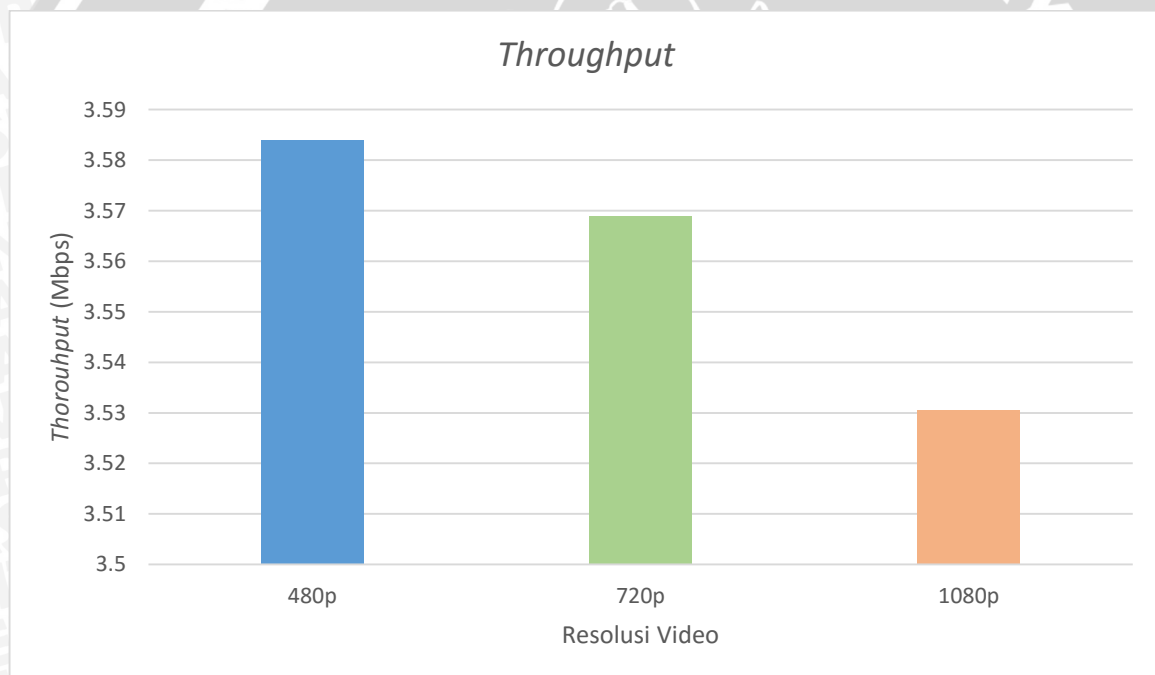


$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,9981}{0,01094} \\
 &= 91,234 \text{ paket per detik} \\
 &= (91,234 \times 4911,75 \text{ byte}) \times 8 \\
 &= 3584948,94 \text{ Mbps} \\
 &= 3,584 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Maka dengan persamaan yang sama untuk mendapatkan nilai *throughput* pada resolusi video 720p dan 1080p ditunjukkan pada tabel 4.28

Tabel 4.28 *Throughput*

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Throughput</i> (Mbps)
1	480p	3,584
2	720p	3,569
3	1080p	3,5306



Gambar 4.19 Hubungan Resolusi Video dengan *Throughput*

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar nilai resolusi video, maka semakin kecil nilai *throughput* yang didapatkan, karena semakin besar nilai resolusi video menyebabkan nilai probabilitas packet loss semakin besar sehingga menurunkan kecepatan penggunaan untuk mendapatkan data dalam keadaan benar. Dilihat dari hasil perhitungan pada saat menggunakan video 480p yang didapatkan nilai probabilitas *packet loss*

sebesar 0,19% dengan throughput 3,584 Mbps. Kemudian menggunakan video 720p yang didapatkan nilai probabilitas *packet loss* sebesar 0,31% dengan throughput 3,569 Mbps dan menggunakan video 1080p yang didapatkan nilai probabilitas *packet loss* sebesar 0,67% dengan throughput 3,5306 Mbps.

### 4.3.3 Perbandingan Hasil Pengamatan dan Perhitungan

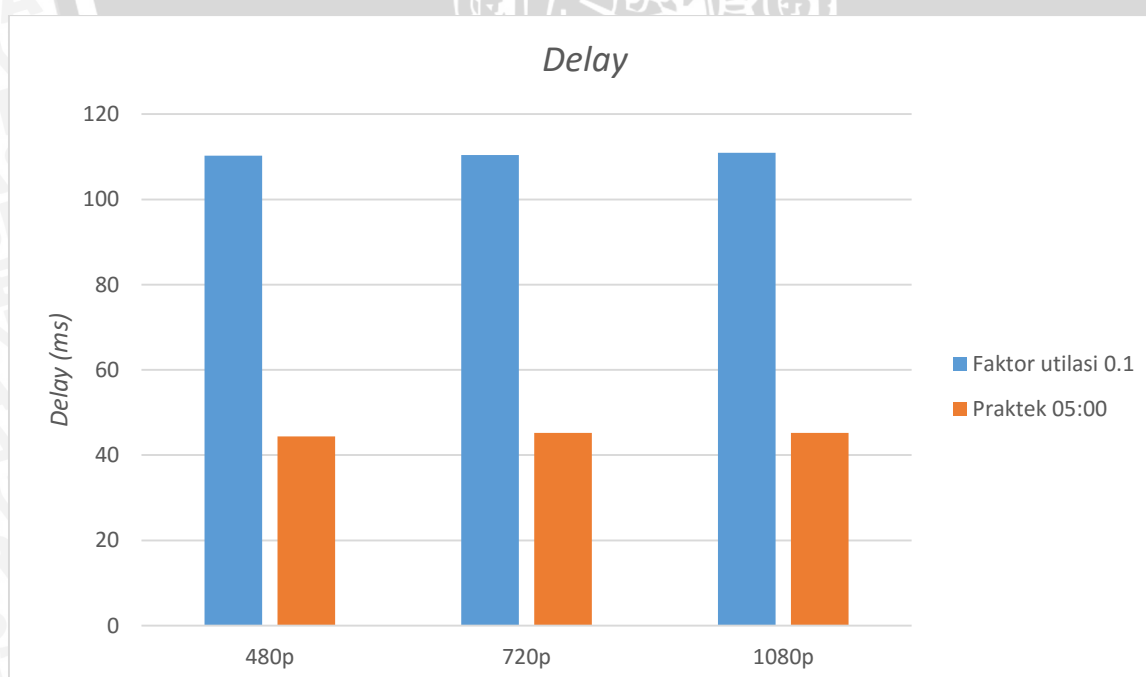
Perbandingan nilai perhitungan meliputi parameter *delay packet loss* dan *throughput* berdasarkan hasil perhitungan menurut dengan hasil pengujian.

- Delay

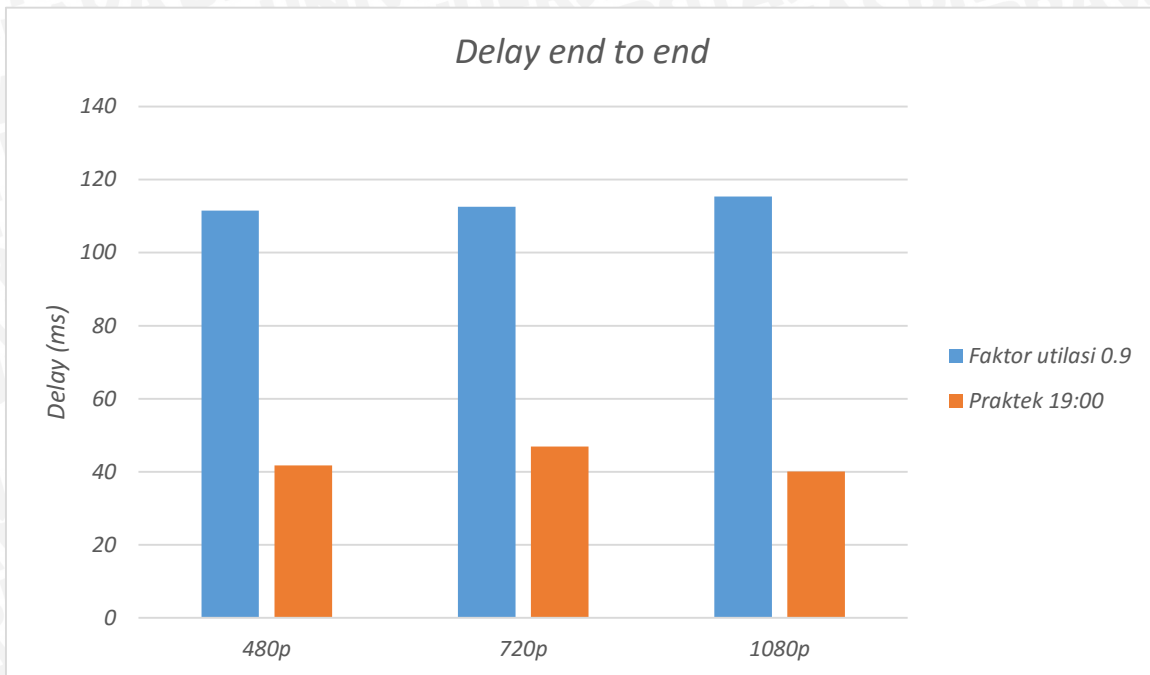
Tabel 4.29 Perbandingan *Delay*

No.	Faktor Utilisasi	<i>Delay End to End (ms)</i>					
		Video 480p		Video 720p		Video 1080p	
		Teori	Praktek	Teori	Praktek	Teori	Praktek
1	0,1	110.267230	44,38	110.4383913	45,185	110.9162318	45,221
2	0,9	111.5173918	41,79	112.5481135	46,96	115.3482299	40,13

Tabel 4.29 menunjukkan perbandingan nilai *delay end to end* secara teori dengan hasil pengamatan. Faktor utilisasi menunjukkan penggunaan jaringan saat jam tidak sibuk dan jam sibuk. Faktor utilisasi 0,1 menunjukkan penggunaan jaringan saat jam tidak sibuk. Faktor utilisasi 0,9 menunjukkan penggunaan jaringan saat jam sibuk.



Gambar 4.20 Perbandingan *Delay* Jam Renggang 05:00 secara Pengamatan dan Faktor Utilasi 0,1 secara Teoritis

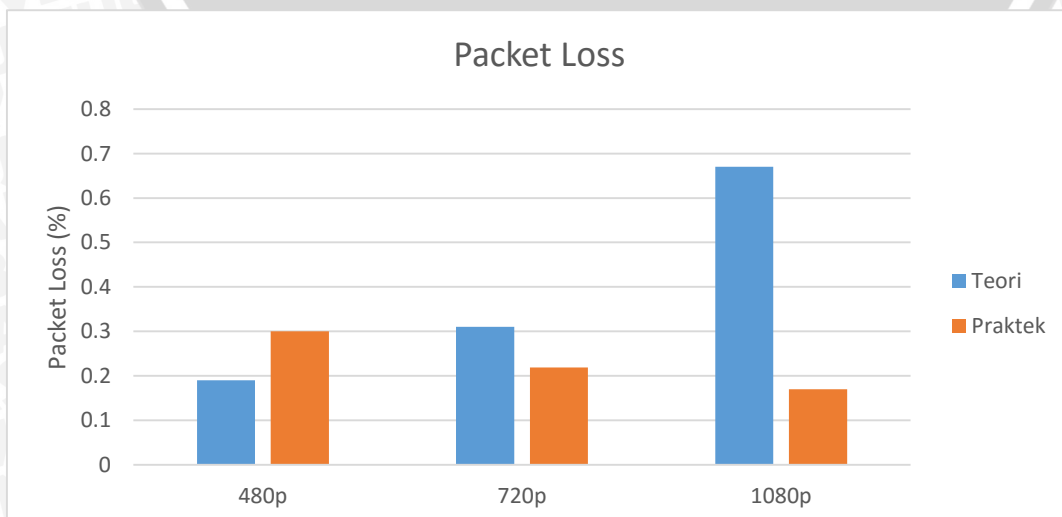


Gambar 4.21 Perbandingan *Delay* Jam sibuk 19:00 secara Pengamatan dan Faktor Utilasi 0,9 secara Teoritis

- *Packet loss*

Tabel 4.30 Perbandingan *Packet Loss*

No.	Resolusi Video	Probability Packet Loss (%)	Packet Loss (%)
1	480p	0.19	0.3
2	720p	0.31	0.219
3	1080p	0.67	0.17



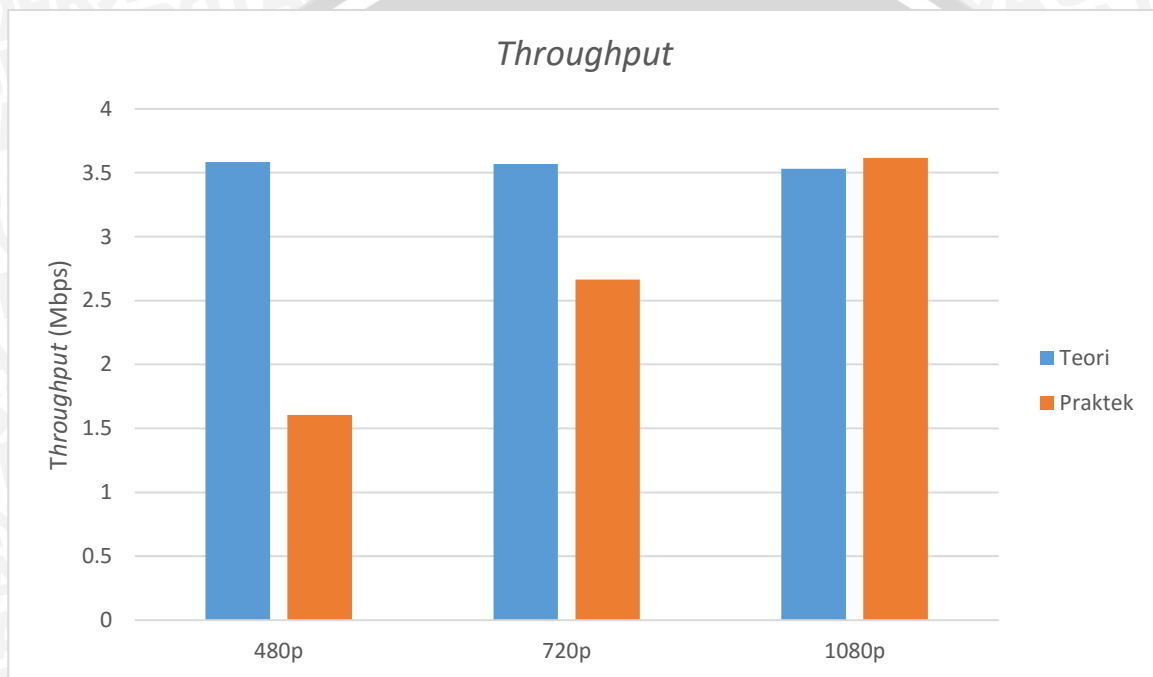


Gambar 4.22 Perbandingan *Packet Loss* secara Pengamatan dan Teoritis

- *Throughput*

Tabel 4.31 Perbandingan *Throughput*

No.	Resolusi Video	<i>Throughput</i> (Mbps)	
		Teori	Praktek (Jam Sibuk)
1	480p	3,584	1,6064
2	720p	3,569	2,664
3	1080p	3,5396	3,6151



Gambar 4.23 Perbandingan *Throughput* secara Pengamatan dan Teoritis

Terjadi perbedanan antara pengamatan dan perhitungan ini dapat terjadi karena berbagai hal berikut, diantaranya:

Tabel 4.32 Perbedaan Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan

No.	Keterangan	Pengamatan	Perhitungan
1.	Karakteristik <i>Switching</i>	Jalur data yang digunakan bersifat <i>Packet Switch</i> , karena berbentuk datagram.	Jalur data pada konfigurasi terlihat seperti <i>Circuit Switch</i> (fix).
2.	Rute Data	Karena menggunakan <i>packet switch</i> , <i>node</i> yang dilewati paket data akan memiliki rute berbeda-beda.	<i>Circuit switch</i> memiliki jalur tetap untuk seluruh paket data yang melewati, Sehingga seluruh paket data melewati <i>node</i> yang sama.

3.	Delay End to end	Identifikasi jumlah node perangkat jaringan berbeda beda untuk setiap paket data	Acuan nilai <i>delay codec</i> pada pengujian dan perhitungan berbeda sehingga berpengaruh pada delay
4.	Packet Loss	Daya pengirim (tx <i>Power</i> ) pengujian yang digunakan adalah mengikut operator LTE	Perhitungan daya pengirim menggunakan parameter <i>default</i> perangkat sehingga mempengaruhi nilai daya <i>noise</i> dan <i>signal to noise ratio</i> (SNR)
5.	Throughput	Bandwidth yang disediakan oleh pihak operator dibagi-bagi dengan user lain sehingga mempengaruhi nilai <i>throughput</i> pengujian	Perhitungan <i>throughput</i> menggunakan parameter <i>default</i> perangkat pada parameter kecepatan transmisi sehingga berpengaruh pada nilai dari <i>throughput</i>

#### 4.4 Kualitas Layanan VoD Menggunakan Jaringan LTE di Kota Malang

1. Untuk 3 file video dengan resolusi 480p, 720p dan 1080p, Besarnya nilai *delay* dari hasil perhitungan saat faktor utilisasi bernilai 0,1 hingga faktor utilisasi bernilai 0,9 dan dengan hasil pengamatan nilai *delay* layanan VOD untuk ketiga resolusi video pada jaringan LTE memenuhi standar ITU-T G.114, yakni *delay end to end* < 150 ms.
2. Nilai *packet loss* untuk 3 file video dengan resolusi 480p, 720p, dan 1080p berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan memenuhi standar ITU.T G.1010 karena memiliki  $PLR \leq 1\%$ .