

## BAB IV

### PEMBAHASAN DAN HASIL

#### 4.1 Umum

Pada penelitian dilakukan beberapa tahap pembahasan untuk mendapatkan hasil, antara lain:

- 1) Perancangan, instalasi, hingga pengujian sistem
- 2) Melakukan perhitungan dan pengambilan data kualitas jaringan HSDPA untuk layanan VOD yang telah dibangun, meliputi *delay end-to-end*, *packet loss*, dan *throughput* melalui teoretis dan pengamatan.
- 3) Membandingkan nilai hasil pengukuran dengan rekomendasi ITU-T G.1010 untuk standar layanan *video streaming*.

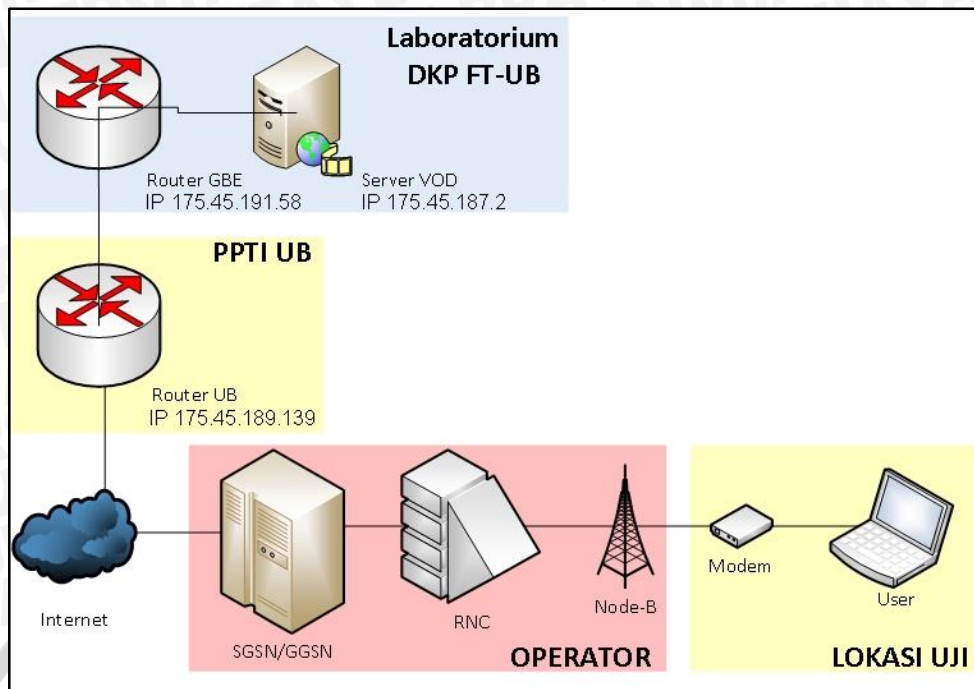
#### 4.2 Pembahasan

Pembahasan dilakukan terkait desain dan analisis layanan *Video On Demand* (VOD) pada jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) di wilayah urban Kota Malang. 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 *streaming*, hingga analisis kualitas layanan VOD pada HSDPA.

##### 4.2.1 Perancangan Blok Diagram

Perancangan blok diagram berisi tentang komponen-komponen dari sistem yang dibuat dan hubungannya antar komponen. Blok diagram sistem terdiri dari 3 bagian, yakni media *server* sebagai penyedia layanan VOD, jaringan sebagai media penghubung antara server dan pengguna, pengguna sebagai penikmat layanan VOD.

Gambar 4.1 menunjukkan konfigurasi dasar jaringan untuk sistem VOD menggunakan HSDPA. Pada sisi pengguna terdapat laptop dan modem. Pada sisi server terdapat pc server dan router untuk terhubung menuju cloud dan jaringan HSDPA. Jaringan HSDPA yang digunakan adalah jaringan HSDPA milik operator telekomunikasi seluler, PT. TELKOMSEL Tbk.



Gambar 4.1 Blok Diagram Instalasi Perangkat Keras VOD pada HSDPA

Kegunaan dari masing-masing perangkat keras dalam Gambar 4.1 diuraikan di Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kegunaan Perangkat Keras VOD pada HSDPA

No.	Perangkat Keras	Kegunaan
1	Media Server (PC Server)	Penyedia layanan VOD
2	Router DAP dan UB	Pengatur jalannya data dan proses switching dari server menuju jaringan HSDPA dan pengguna
3	Internet (Cloud)	Jaringan luas sebagai media lewatnya data
4	SGSN/GGSN	Jaringan inti UMTS yang menghubungkan jaringan backbone dengan internet
5	Radio Network Controller (RNC)	Mengatur kinerja sumber radio Node B
6	Node B	Mengirim atau menerima frekuensi pada sel
7	Modulator Demodulator (Modem)	Mengubah sinyal analog ke digital dan sebaliknya untuk komunikasi
8	Komputer Pengguna	Menerima <i>file streaming</i> dan memainkan <i>file streaming</i>
9	Network Interface Card (NIC)	Mengirim dan menerima aliran data dalam jaringan kabel maupun <i>wireless</i> pada komputer
10	Kabel UTP	Menghubungkan perangkat dengan konektor RJ-45
11	UPS	Cadangan energi untuk mengatasi trip atau <i>electrical failure</i> .



Penelitian membutuhkan perangkat-perangkat dengan spesifikasi tertentu agar sistem dapat berjalan. Spesifikasi yang digunakan untuk masing-masing perangkat keras pada penelitian adalah sebagai berikut,

a. *Media Server (PC Server)*

HP Proliant Server adalah merk pc yang digunakan sebagai *media server* pada penelitian ini. Gambar server dan spesifikasi dari HP Proliant *Server ML110G7-SATA* sebagai server VOD diuraikan pada Lampiran 1.

b. Router

Router adalah perangkat yang digunakan untuk proses *switching* dari server menuju jaringan *cloud* dan jaringan HSDPA. Router yang digunakan penelitian adalah merk Juniper. Spesifikasi dan gambar perangkat diuraikan pada Lampiran 1.

c. Modem

Modem digunakan untuk menghubungkan node B dengan perangkat laptop. Modem menangkap sinyal HSDPA dan mengkonversi sinyal tersebut menjadi aliran bit data. Spesifikasi dan gambar modem yang digunakan dalam penelitian diuraikan pada Lampiran 1.

d. Komputer Pengguna

Komputer pengguna sebagai penikmat layanan VOD. Jenis komputer pengguna yang digunakan pada penelitian adalah laptop. Spesifikasi minimal yang dibutuhkan untuk komputer pengguna untuk menjalankan program *streaming* dan *capture data* diuraikan di Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Komputer Pengguna

Spesifikasi	Keterangan
<i>Processor</i>	Intel Pentium IV <i>or higher</i>
RAM	576Mb <i>or higher</i>
VGA	Intel HD Display
NIC	Realtek Gigabit Ethernet
USB	USB 2.0

Gambar dan spesifikasi perangkat laptop yang digunakan pada penelitian diuraikan pada Lampiran 1.

e. *Network Interface Card (NIC)*

Jenis NIC yang digunakan dalam penelitian ada 2 jenis, yakni NIC pada *media server* dan NIC pada komputer pengguna. Spesifikasi NIC pada *media server* diuraikan pada Lampiran 1.

f. Kabel *Unshielded Twisted Pair* (UTP) dan Konektor RJ-45

Kabel UTP dalam penelitian memiliki konfigurasi *cross*, karena digunakan untuk menghubungkan perangkat *media server* dan router PPTI UB (perangkat tidak sejenis). Spesifikasi kabel UTP yang digunakan pada penelitian diuraikan pada Lampiran 1.

g. UPS

Perangkat UPS adalah perangkat tambahan yang harus dimiliki *server* untuk mengatasi perubahan tegangan yang mungkin terjadi. Selain itu, UPS juga mampu memberikan cadangan energi yang cukup saat pemutusan listrik terjadi dalam waktu singkat. UPS yang digunakan pada penelitian diuraikan gambar dan spesifikasinya pada Lampiran 1.

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

Pada tahap ini dilaksanakan 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* dan router. Instalasi perangkat keras dimulai dari pemasangan *server* dan rak *server*. Langkah-langkah dalam memasang *server* dan raknya adalah sebagai berikut,

- 1) Pemilihan ruangan untuk peletakan *server* dan rak *server*. Ruangan ini tidak sering digunakan untuk aktivitas manusia, jadi ruangan ini khusus untuk ruangan *server*. Ruangan tersebut memiliki pendingin ruangan atau *Air Conditioner* (AC) agar tidak menyebabkan *overheat* pada perangkat.
- 2) Peletakan rak *server* pada tempat yang diinginkan.
- 3) Pemasangan stop kontak terdekat.
- 4) Proses instalasi UPS kemudian instalasi *pc server* (sambungan listrik).

Perangkat keras yang dipasang selanjutnya adalah router dan penarikan kabel dari router hingga *server*. Router yang digunakan dalam penelitian adalah milik PPTI UB dan Laboratorium DAP FT-UB. Langkah yang dilakukan adalah penarikan kabel dari router PPTI UB dan DAP menuju *server*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut,

- 1) Perhitungan panjang kabel UTP yang dibutuhkan dari router hingga *server*.
  - 2) Pengecekan konektivitas kabel dengan *command ping* antara 2 komputer terlebih dahulu untuk memastikan kehandalan kabel.
  - 3) Konfigurasi kabel UTP dengan konfigurasi *cross*.
  - 4) Pengecekan *command ping* dari 1 komputer dengan komputer 1 yang lain.
  - 5) Pengecekan kehandalan kabel dan panjang kabel.
  - 6) Pemasangan kabel ke router hingga turun ke *server*.
- b. Instalasi Perangkat Lunak

Instalasi perangkat lunak terkait pemasangan perangkat lunak pada *server*, baik *operating system* maupun *streaming media server*. Langkah-langkah pemasangan perangkat lunak *operating system* pada *server* menggunakan CentOS 6 ditunjukkan sebagai berikut,

- 1) *Booting* PC server.
- 2) *Loading* CentOS 6.4 DVD pada *DVD-drive* pc server. Pilih “Install or upgrade an existing system”
- 3) Lewati *installation media test* dengan cara klik “Skip”
- 4) Pilih “Next” pada *Welcome Screen* CentOS 6
- 5) Pilih pilihan bahasa kemudian tekan “Next”
- 6) Pilih pilihan tampilan *keyboard* kemudian tekan “Next”
- 7) Karena menggunakan *hard drive* pada pc, pilih “Basic Storage Devices”
- 8) Apabila muncul kotak dialog “Storage Device Warning”, centang “Apply my choice to all devices with undetected partitions or filesystems”. Kemudian pilih “Yes, discard any data”.
- 9) Isi nama dari *server* (*hostname*), kemudian klik “Configure Network”
- 10) Pilih tab “Wired” kemudian pilih “System eth0”. Klik “Edit”
- 11) Centang “Connect automatically”. Pilih tab “Ipv4 Settings”. Pilih “Manual” pada kolom “Method”. Kemudian masukkan *IP address*, *netmask*, *gateway* hingga *DNS* yang diberikan *provider*. Klik “Add”. Kemudian klik “Apply”.
- 12) Konfigurasi jaringan telah selesai. Kemudian Pilih “Next”.

Setelah proses instalasi *Operating System* (OS) selesai, maka langkah selanjutnya adalah instalasi perangkat lunak untuk *media server*. Pada penelitian ini menggunakan aplikasi Unreal Media Server. Aplikasi Unreal Media Server bersifat *freeware* dengan kapasitas maksimal 10 pengguna. Untuk menambah jumlah

pengguna, maka diwajibkan membeli lisensi dengan harga sebesar US\$695 melalui situs resmi [www.umediaserver.net](http://www.umediaserver.net).

Ada berbagai macam jenis media *server*, namun pada penelitian ini memilih untuk menggunakan Unreal Media Server dibandingkan perangkat yang lebih sering digunakan orang lain (VLC, Video LAN Client). Kelebihan yang dimiliki oleh Unreal Media Server dibandingkan VLC menurut penelitian ini antara lain:

- Fitur *Virtual Folder* memudahkan pengaturan dalam memulai *streaming*.
- *Interface* sederhana.
- Mampu menampilkan beberapa aktivitas *streaming* dengan menunjukkan identitas pengguna yang menyaksikan.
- Ukuran *file* Unreal hanya 4MB, sedangkan VLC berukuran 22MB.

Langkah-langkah dalam memasang Unreal Media Server adalah sebagai berikut,

- 1) Instal *file master* aplikasi Unreal Media Server yang dapat diunduh dari [umediaserver.net](http://umediaserver.net).
- 2) Ketika *Welcome Screen* muncul, klik “Next”
- 3) Pilih “I Agree” dan klik “Next”
- 4) Pilih lokasi direktori untuk memasang *unreal* dengan cara klik “Browse” untuk memilih direktori dan klik “Next” untuk lanjut.
- 5) Klik “Next” untuk menuju proses instalasi.
- 6) Tunggu proses instalasi selesai dan klik “Finish”

Kemudian untuk menjalankan aplikasi maka langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut,

- 1) Buka file aplikasi dengan cara klik “Media Server Configurator”
- 2) Klik kanan pada “Media Server” yang terletak di bawah menubar dan pilih “Properties”.
- 3) Pada jendela *Properties*, atur *IP broadcast* pada “Network Interface”. Kemudian atur *port firewall* pada “Players” dan “Live Servers”. Atur “Pengguna Logging” pada “Disable logging” untuk memudahkan pengguna dan klik “OK”.
- 4) Kembali ke layar awal kemudian klik kanan pada “Media Server” dan pilih “New Virtual Folder”.
- 5) Isikan nama acara *streaming* pada kolom “Folder Name”. Cari lokasi *file* yang akan diputar pada tombol “Browse”. Klik “OK” jika telah selesai.

- 6) *Media Server Configurator* akan menampilkan beberapa *file* yang diputar dan jumlah pengguna yang sedang melakukan *streaming*.

#### 4.2.3 Instalasi Perangkat Keras dan Lunak pada Sisi Pengguna

##### a. Instalasi Perangkat Keras

Pada sisi pengguna terdapat 2 perangkat keras, yakni modem dan laptop. Laptop yang digunakan dalam penelitian adalah merk DELL tipe N4110 dengan spesifikasi pada Lampiran 1.

Modem yang digunakan adalah modem merk PROLINK PHS 300. Untuk instalasi modem PROLINK tidak memerlukan langkah rumit karena PROLINK bersifat *plug and play*.

##### b. Instalasi Perangkat Lunak

Instalasi perangkat lunak pada sisi pengguna terdapat 2 tahap, yakni instalasi *media player* dan instalasi Wireshark. Pada sisi pengguna menggunakan *media player* dari Unreal dengan nama aplikasi Unreal Streaming Media Player.

Unreal Streaming Media Player memiliki tahap-tahap instalasi sebagai berikut,

- 1) Instal *file master* aplikasi Unreal Media Player yang dapat diunduh dari [umediasever.net](http://umediasever.net).
- 2) Ketika *Welcome Screen* muncul, klik “Next”.
- 3) Pilih lokasi direktori untuk memasang *unreal* dengan cara klik “Browse” untuk memilih direktori dan klik “Next” untuk lanjut.
- 4) Klik “Next” untuk menuju proses instalasi.
- 5) Tunggu hingga proses instalasi selesai dan klik “Finish”.

Wireshark adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengetahui aliran paket data yang melewati *interface node* baik melalui *Network Interface Card* atau *Adapter Wireless*. Langkah-langkah dalam memasang Wireshark adalah sebagai berikut,

- 1) Klik dan jalankan *file master* dari Wireshark.
- 2) Pada *Welcome Screen*, klik “Next”.
- 3) Klik “I Agree” untuk melanjutkan.
- 4) Centang semua komponen yang akan dipasang dan klik “Next >”.
- 5) Centang seluruh pilihan. Klik “Next”.
- 6) Kemudian pilih direktori tempat pemasangan Wireshark. Untuk *default* maka akan tersimpan dalam direktori C. Klik “Next” untuk melanjutkan.
- 7) Ketika muncul kotak dialog untuk memasang “WinPcap”, maka klik “Next”

- 8) Klik “Next” pada halaman awal WinPcap.
- 9) Klik “I Agree” untuk persyaratan lisensi dari WinPcap.
- 10) Tunggu hingga proses pemasangan selesai hingga klik “Finish”.

#### 4.2.4 Pengujian Koneksi Jaringan

Pengujian koneksi bertujuan untuk mengetahui koneksi antar perangkat pada sistem telah terhubung atau belum terhubung, yakni dari *server* hingga pengguna (laptop) sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4.1. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan pesan PING dari laptop pengguna menuju *pc server*.

##### a. Peralatan Pengujian

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

- Laptop pengguna (1 unit)
- Modem

##### b. Langkah-Langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujian koneksi 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 pengguna dengan internet melalui modem dan pastikan berada pada jaringan HSDPA
- 3) Menjalankan terminal pada laptop pengguna
- 4) *Input* perintah ping dengan tujuan IP 175.45.187.2 dengan jumlah paket yang diinginkan kemudian “Enter” sesuai dengan Gambar 4.2.

```
C:\Users\kalvin>ping 175.45.187.2 -t
```

Gambar 4.2 PING

- 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 4.3 Hasil PING

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 Pengguna telah terhubung (*connection established*).

### 4.2.5 Pengujian Streaming

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komunikasi yang terjalin antar perangkat sehingga layanan VOD dapat dijalankan dan dimainkan pengguna. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan *file streaming* dari *server* menuju pengguna dan pengguna akan memainkan *file* tersebut menggunakan *media player*.

#### a. Peralatan Pengujian

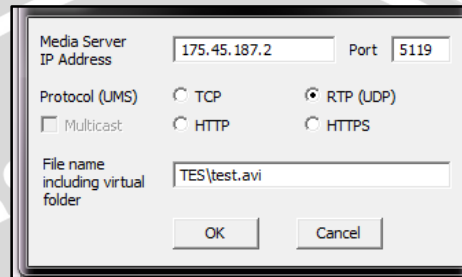
Peralatan yang digunakan dalam pengujian kegiatan *streaming* jaringan *server* hingga pengguna, antara lain:

- Laptop pengguna (1 unit)
- Jaringan HSDPA dari Operator Telkomsel
- Modem 3G+ Prolink PHS 300
- *Software Unreal Media Server*
- *Software Unreal Streaming Media Player*

#### b. Langkah-Langkah Pengujian

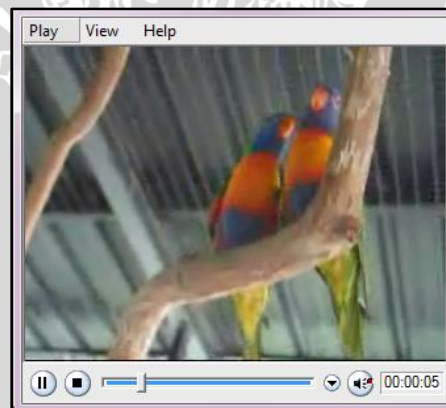
Langkah-langkah dalam pengujian adalah sebagai berikut,

- 1) Pengaturan alamat IP *server* pada NIC pertama dengan IP Public Address yang diberikan PPTI UB, yakni 175.45.187.2
- 2) Penghubungan laptop pengguna dengan internet melalui modem dan memastikan berada pada jaringan HSDPA
- 3) Menjalankan aplikasi Unreal Media *Server* dan proses siaran pada *server*
- 4) Menjalankan aplikasi Unreal Streaming Media Player pada laptop pengguna. Pemilihan menu “Play” pada *menubar* dan “Play File” sesuai Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Play Playlist Unreal Streaming*

- 5) Pengisian alamat dengan IP *server* pada kotak dialog tersebut
- 6) Pemilihan protokol RTP (UDP) pada kotak dialog tersebut
- 7) Pengisian nama *virtual folder* sesuai pada *server* pada kotak dialog tersebut
- 8) Pengamatan terhadap hasil *streaming* ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengujian *Streaming File test.avi*

#### c. Hasil Pengujian

Hasil pengujian adalah sebagai berikut:

- Kecepatan *streaming* adalah relatif cepat.
- Proses *buffering* yang terjadi sebesar 10 detik.

#### d. Kesimpulan Pengujian Koneksi

Berdasarkan hasil pengamatan, kesimpulan pengujian adalah:

- Proses *streaming* dari *server* menuju pengguna sukses.

Berdasarkan hasil pengujian koneksi jaringan dan *streaming*, komunikasi antar perangkat mulai dari server hingga pengguna melalui jaringan HSDPA dapat terjalin dengan kategori kenyamanan yang dapat diuraikan dalam Tabel 4.3

Tabel 4.3 Kategori Kenyamanan

Kategori	Parameter	Saran
Baik	1. <i>Delay</i> rendah ( $t \leq 10$ s) 2. <i>Pathloss</i> rendah ( $L < 140$ dB) 3. Sinyal Penerimaan Baik (-50 dBm hingga -90 dBm) 4. <i>Packet Loss</i> (PLR $\leq 1\%$ )	-
Buruk	1. <i>Delay</i> tinggi ( $t > 10$ s) 2. <i>Pathloss</i> tinggi ( $L \geq 140$ dB) 3. Sinyal Penerimaan Rendah ( <i>Preceived</i> $< -90$ dBm) 4. <i>Packet Loss</i> (PLR $> 1\%$ )	1. Menggunakan video dengan resolusi $< 360p$ 2. Mencari tempat bebas hambatan/ <i>obstacle</i> dengan <i>Node B</i> 3. Mencari tempat bebas hambatan/ <i>obstacle</i> dengan <i>Node B</i> , menggunakan indoor BTS jika berada dalam ruangan. 4. Menggunakan paket data yang mahal.

#### 4.3 Hasil

Sistem komunikasi pada penelitian adalah satu arah, yakni dari *server* menuju pengguna. Pada media *server* disiarkan tiga (3) *file video* dengan format mp4 dengan jenis resolusi berbeda-beda, yakni 144p, 240p dan 360p. Waktu pengamatan *streaming* menggunakan jam sibuk (19:00 WIB) dan jam renggang (04:00 WIB) jaringan operator Telkomsel sesuai Lampiran 1. Jumlah pengguna yang digunakan dalam penelitian adalah satu pengguna, sehingga akan didapatkan enam konfigurasi yang berbeda. Dari enam konfigurasi diambil data sebanyak sepuluh kali pengamatan pada jam sibuk dan jam renggang (berdasarkan trafik operator) untuk mendapatkan hasil optimal dan menunjukkan kualitas jaringan.

Proses pengambilan data primer menggunakan aplikasi Wireshark yang terletak pada sisi pengguna. Wireshark menangkap, membaca dan menganalisis aliran data yang melewati *interface* pengguna. *Interface* pada pengguna melalui jaringan *wireless* dan menggunakan *wireless* adapter.

Proses *capturing* paket data dilakukan selama 60 detik. Paket data yang ditangkap oleh Wireshark kemudian disimpan menjadi *file* dengan ekstensi *media library* pcap (\*.pcap). Pada proses ini dihasilkan 60 *file* pcap wireshark.

Data kemudian didekodekan menjadi aliran RTP. Data setelah diencodekan menjadi aliran RTP, data diolah sehingga parameter-parameter, yakni *throughput*, *packet loss* dan *delay end-to-end* diketahui.

Pengolahan data menghasilkan parameter-parameter QoS (*throughput*, *delay end-to-end* dan *packet loss*) dan jumlah paket pada setiap konfigurasi dan ditampilkan pada subbab 4.3.1 Hasil Pengamatan. Sedangkan data hasil perhitungan ditampilkan pada subbab 4.3.2.

#### 4.3.1 Hasil Pengamatan

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter (*throughput*, *delay end-to-end* dan *packet loss*) berdasarkan hasil pengamatan menggunakan wireshark (*network analyzer*).

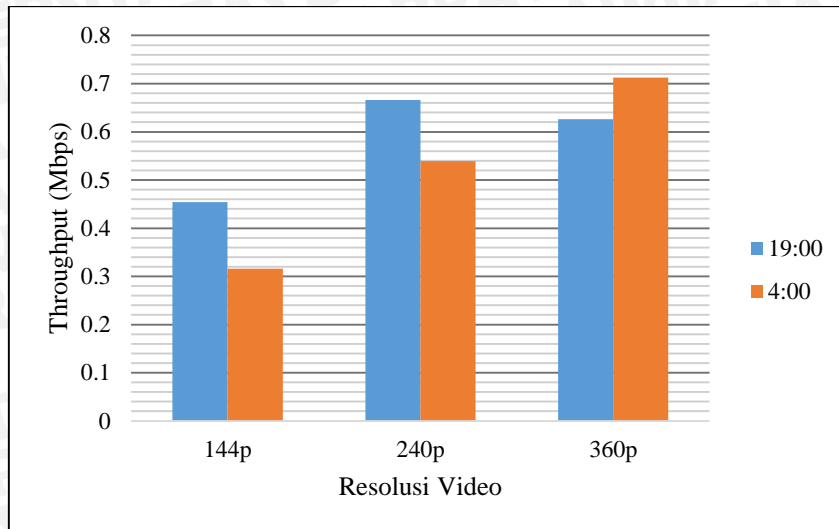
##### a. Throughput

*Throughput* menunjukkan kecepatan penerimaan paket data dalam keadaan benar yang diterima pengguna. *Throughput* memiliki satuan byte/detik. Hasil pengamatan terhadap parameter *throughput* untuk setiap konfigurasi pada penelitian diuraikan di Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai *Throughput*

No.	<i>Throughput</i> (Mbps)					
	Resolusi 144p		Resolusi 240p		Resolusi 360p	
	19:00	04:00	19:00	04:00	19:00	04:00
1	0,537	0,355	0,743	0,526	0,786	0,785
2	0,343	0,423	0,613	0,591	0,773	1,384
3	0,512	0,190	0,751	0,619	0,124	0,699
4	0,455	0,396	0,751	0,538	0,774	0,709
5	0,420	0,349	0,725	0,110	0,627	0,775
6	0,489	0,288	0,383	0,626	0,456	0,519
7	0,487	0,299	0,733	0,559	0,691	0,533
8	0,463	0,471	0,679	0,759	0,535	0,616
9	0,335	0,285	0,673	0,534	0,744	0,582
10	0,503	0,103	0,610	0,531	0,751	0,523
<b>Rata-Rata</b>	0,4544	0,3159	0,6661	0,5393	0,6261	0,7125

Kemudian jika Tabel 4.4 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *throughput* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Resolusi Video dan *Throughput* berdasarkan Hasil Pengamatan

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.

#### b. *Delay End-to-End*

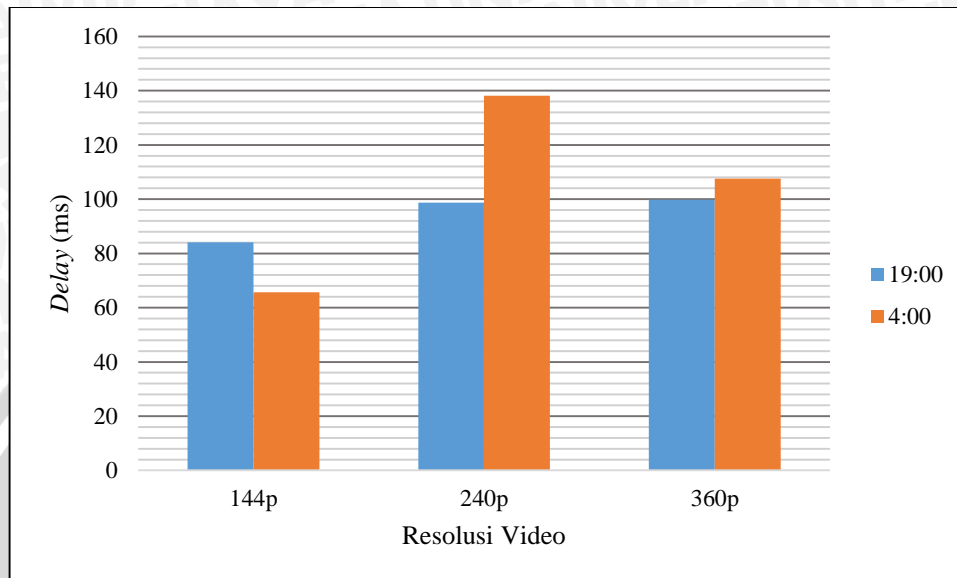
*Delay end-to-end* menunjukkan besarnya waktu tunda mulai dari *server* yang terletak di Laboratorium Dasar Komputasi dan Jaringan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang hingga pengguna yang terletak di lokasi Rumah Sakit Syaiful Anwar Malang (ujung ke ujung). Hasil pengamatan terhadap *delay end-to-end* sistem VOD diuraikan di Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai *Delay End-to-End*

No.	Resolusi 144p		Resolusi 240p		Resolusi 360p	
	19:00	04:00	19:00	04:00	19:00	04:00
1	31,76 ms	103,88 ms	91,25 ms	99,45 ms	103,57 ms	60,65 ms
2	167,43 ms	65,60 ms	105,40 ms	101,82 ms	96,54 ms	272,66 ms
3	233,99 ms	40,05 ms	103,84 ms	111,51 ms	111,15 ms	111,14 ms
4	82,83 ms	98,89 ms	122,95 ms	118,41 ms	60,94 ms	99,81 ms
5	49,89 ms	31,84 ms	47,62 ms	70,19 ms	139,83 ms	58,74 ms
6	41,42 ms	30,14 ms	123,34 ms	117,01 ms	83,1 ms	100,39 ms
7	66,40 ms	40,02 ms	134,60 ms	125,44 ms	89,63 ms	152,21 ms
8	51,79 ms	97,76 ms	107,78 ms	138,50 ms	135,05 ms	61,15 ms
9	68,70 ms	30,06 ms	99,99 ms	249,03 ms	51,66 ms	50,89 ms
10	46,74 ms	118,22 ms	50,29 ms	250,39 ms	125,91 ms	108,18 ms

<b>Rata-Rata</b>	84,095 ms	65,646 ms	98,706 ms	138,175 ms	99,738 ms	107,582 ms
------------------	-----------	-----------	-----------	------------	-----------	------------

Kemudian jika Tabel 4.5 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *delay end-to-end* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Resolusi Video dan *Delay End-to-End* berdasarkan Hasil Pengamatan.

Berdasarkan hasil 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).

### c. *Packet Loss*

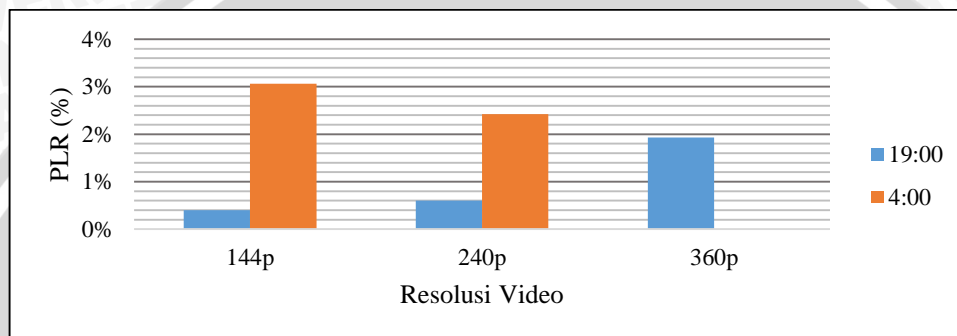
*Packet Loss* pada penelitian menunjukkan nilai rasio dalam persen paket yang hilang dengan jumlah paket keseluruhan yang dikirimkan. Nilai *packet loss* pada sistem VOD penelitian diuraikan di Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai *Packet Loss*

No.	Resolusi 144p		Resolusi 240p		Resolusi 360p	
	19:00	04:00	19:00	04:00	19:00	04:00
1	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %
2	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
3	1 %	12,7 %	0 %	0 %	17,3 %	0 %
4	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %

5	0 %	0 %	1 %	24,2 %	0 %	0 %
6	1 %	0,12 %	1 %	0 %	0 %	0 %
7	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %
8	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %
9	0 %	0,4 %	0 %	0 %	0 %	0 %
10	1 %	17,4 %	1 %	0 %	0 %	0 %
<b>Rata-Rata</b>	0,4 %	3,062 %	0,6 %	2,42 %	1,83 %	0 %

Kemudian Tabel 4.6 direpresentasikan ke dalam bentuk grafik hubungan antara resolusi video dengan *packet loss* yang diterima ditunjukkan oleh Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Resolusi Video dan *Packet Loss* berdasarkan Hasil Pengamatan.

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Untuk jam sibuk (19:00 WIB), Nilai rata-rata PLR semakin besar mengikuti besar resolusi video yang digunakan. Nilai rata-rata PLR untuk jam renggang (04:00 WIB) semakin kecil berbanding terbalik dengan semakin besarnya resolusi video yang digunakan.

### 4.3.2 Hasil Perhitungan secara Teoretis

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 HSDPA

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

- *Downlink budget* untuk jaringan HSDPA pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Downlink Link Budget untuk HSDPA

Parameter Link Budget	HSDPA
HS-DSCH Tx Power	37,4 dBm
CPICH Tx Power	33 dBm
Total Tx Power	43 dBm
Tx Antenna Gain	18 dBi
Cable Loss	2 dB
HS-DSCH EIRP	57 dBm
Node B Antenna Height	40 m
Cell Radius	0,93 km
UE Noise Figure	8 dB
Thermal Noise	-174 dBm
Rx Antenna Gain	0 dB
Body Loss	0 dB
Processing Gain	12 dB
Orthogonality Factor ( $\alpha$ )	0,6
Interference Margin	9 dB

Sumber: PT. Telkomsel, Tbk, 2013

- Terminal pengguna yang digunakan adalah kategori 5 sesuai dengan Pengguna *Terminal Categories* HSDPA menggunakan skema modulasi 16QAM, jumlah *Transport Block Size* pada layer MAC-hs di *Node B* adalah 7298 bit dan *data rate* maksimal sebesar 3,6 Mbps (Siemens HSDPA White Paper, 2004).
- *Physical interface* pada GGSN, SGSN, RNC dan *Node B* sesuai dengan protokol *stack* pada Bab 2 Gambar 2.11 dan Tabel 2.12.
- Panjang bit header dan frame yang digunakan pada setiap proses memiliki nilai yang disesuaikan dengan Tabel 2.11.

#### 4.3.2.2 Model Propagasi COST 231-Walfisch Ikegami

Model propagasi COST 231-Walfisch Ikegami digunakan untuk menyempurnakan model propagasi sebelumnya, yakni Okumura Hata. Model propagasi COST 231-Walfisch Ikegami valid untuk frekuensi 800 MHz hingga 2000 MHz, tinggi antena Tx 4 m hingga 50 m, tinggi antena ms 1 m hingga 3 m dan jarak Tx-Rx 0.02 km hingga 5 km (Vijay K. Garg, 2007). Ketinggian antena *Node B* beserta gedung yang diamati pada penelitian adalah 40 m (RSSA Malang, 2014).

Parameter yang digunakan dalam perhitungan, antara lain:

- Frekuensi *carrier*,  $f_c = 1900$  MHz
- Lebar jalan,  $w = 24$  meter
- Jarak antar gedung,  $b = 44$  meter
- Sudut insiden,  $\Phi = 59^\circ$
- Tinggi antena *Node B*,  $h_b = 40$  meter

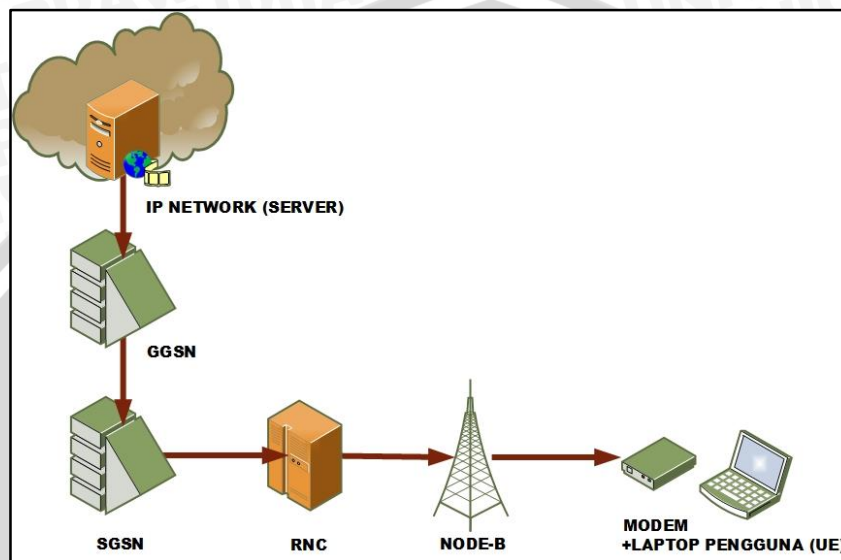


- Tinggi antenna ms,  $h_m = 1,5$  meter
- Tinggi gedung uji,  $h_r = 21$  meter
- Jarak Tx – Rx,  $d = 0,24$  km
- Delta  $h_m$  ( $h_r - h_m$ ),  $\Delta h_m = 21 - 1,5$   
 $\Delta h_m = 19,5$  meter
- Delta  $h_b$  ( $h_b - h_r$ ),  $\Delta h_b = 40 - 21$   
 $\Delta h_b = 19$  meter
- *Free Space Path Loss*,  $L_f = 32,4 + 20 \log d + 20 \log f_c$   
 $= 32,4 + 20 \log (0,24) + 20 \log (1900)$   
 $= 85,58$  dB
- *Rooftop to Street Diffraction and Scatter Loss*  
 $L_{rts} = -16,9 - 10 \log w + 10 \log f_c + 20 \log \Delta h_m + I_o$   
 $= -16,9 - 10 \log (24) + 10 \log (1900) + 20 \log (19,5) + [4 - 0,114 (59 - 55)]$   
 $= 31,43$  dB
- $L_{bsh} = -18 \log (11 + \Delta h_b)$   
 $= -18 \log (11 + 19)$   
 $= -26,59$  dB
- $k_a = 54$  ;  $h_b > h_r$
- $k_d = 18 - (15 \times \Delta h_b / \Delta h_m)$  ;  $h_b \geq h_r$   
 $= 18 - (15 \times 19 / 19,5)$   
 $= 3,38$
- $k_f = 4 + 1,5 (f_c / 925 - 1)$   
 $= 4 + 1,5 (1900 / 925 - 1)$   
 $= 5,58$
- *Multiscreen / Multiscatter Loss*  
 $L_{ms} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f_c - 9 \log b$   
 $= -26,59 + 54 + 3,38 \log (0,24) + 5,58 \log (1900) - 9 \log (44)$   
 $= 28,82$  dB
- $Pathloss = 85,58$  dB +  $31,43$  dB +  $28,82$  dB =  $145,83$  dB

#### 4.3.2.3 Delay End-to-End

*Delay End-to-End* pada penelitian ini dapat dianalisis berdasarkan konfigurasi jaringan sistem VOD yang telah dibuat. Konfigurasi jaringan yang digambarkan pada Gambar 4.53.

*Delay end-to-end* dimulai dari *media server* hingga pengguna pada lokasi uji. *Delay end-to-end* didapatkan dengan cara menjumlahkan *delay codec* pada layanan *video on demand* dan *delay* jaringan HSDPA. Namun pada penelitian ini perhitungan dimulai dari Internet/Cloud (sebagai IP network) dengan asumsi *delay* yang terjadi dari server → router DAP → router PPTI memiliki nilai yang sangat kecil, sehingga perhitungan akan dilakukan sesuai dengan konfigurasi jaringan yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pemodelan Jaringan untuk Perhitungan

Cloud pada penelitian merupakan jaringan *World Wide Web* (WWW) atau *IP network* yang memiliki banyak *node*. Untuk memudahkan perhitungan, *Cloud/IP network* diasumsikan sebagai server penyedia layanan *Video On Demand* (VOD).

### 1) Delay Codec pada Layanan 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 2.6 pada Bab 2. Spesifikasi *file video on demand* untuk masing-masing resolusi ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Spesifikasi File Video

No.	Jenis Resolusi Video	VIDEO		AUDIO	
		Bitrate (kbps)	Frame Size (ms)	Bitrate (kbps)	Frame Size (ms)
1	144p (256x144)	109	33,33	125	33,33
2	240p (426x240)	238	33,33	125	33,33
3	360p (640x360)	250	33,33	125	33,33

Untuk menghitung besar *payload* video dan *payload* audio *file video on demand* tiap frame ditentukan dengan persamaan 2.12 dan 2.13.

Untuk video 144p,

$$\begin{aligned}
 P_v 144p &= \text{bitrate video} \times \text{frame size video} \\
 &= 109.10^3 \text{ bps} \times 33,33.10^{-3} \text{ s} \\
 &= 3634 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

Sedangkan *payload* audionya,

$$\begin{aligned}
 P_a 144p &= \text{bitrate audio} \times \text{frame size audio} \\
 &= 125.10^3 \text{ bps} \times 33,33.10^{-3} \text{ s} \\
 &= 4167 \text{ bit}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan untuk *payload* video dan audio untuk *file* beresolusi 240p dan 360p dapat ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.9.

Tabel 4.9 *Payload* Video dan Audio

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Payload</i> VIDEO (bit)	<i>Payload</i> AUDIO (bit)
1	144p (256x144)	3634	4167
2	240p (426x240)	7934	4167
3	360p (640x360)	8334	4167

*Payload* video dan audio kemudian diencodekan menggunakan *codec*. *Payload* video diencodekan H.264/AVC MPEG-4 dan *payload* audio diencodekan AAC. Jumlah *payload* yang disegmentasi berdasarkan *payload* maksimum dari ketentuan *codec*. Sehingga, jumlah paket data video dan audio sesuai dengan persamaan 2.14 dan 2.15. Nilai  $P_v$  maksimum dan  $P_a$  maksimum mengacu pada Tabel 2.6 Spesifikasi Audio dan Video *Codec* pada Bab 2.

Untuk video 144p,

$$\begin{aligned}
 N_v &= \frac{P_v}{P_v \text{ maksimum}} \\
 &= \frac{3634 \text{ bit}}{254 \text{ byte} \times 8} \\
 &= 1,788057743 \approx 2 \text{ paket}
 \end{aligned}$$

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 240p dan 360p dapat ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Jumlah *Payload* Audio dan Video

No.	Jenis Resolusi Video	N <sub>v</sub>	N <sub>a</sub>
1	144p (256x144)	2 paket	9 paket
2	240p (426x240)	4 paket	9 paket
3	360p (640x360)	5 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 2.16 dan 2.17. Sehingga besarnya *payload* video dan audio untuk video 144p,

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

$$\begin{aligned} Pv(\text{encoded})_{144p} &= 3634 \text{ bit} + 2 \times (8 + 96 + 64 + 160) \text{ bit} \\ &= 4290 \text{ bit} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Pa(\text{encoded})_{144p} &= 4167 \text{ bit} + 9 \times (8 + 96 + 64 + 160) \text{ bit} \\ &= 7119 \text{ bit} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan untuk *payload* video dan audio setelah penambahan *header* NALU, RTP, UDP, IPv4 untuk *file* beresolusi 240p dan 360p dapat ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Payload* Audio dan Video dengan *Header* NALU, RTP, UDP, IPv4

No.	Jenis Resolusi Video	P <sub>v</sub> (encoded) (byte)	P <sub>a</sub> (encoded) (byte)
1	144p (256x144)	4290	7119
2	240p (426x240)	9246	7119
3	360p (640x360)	9974	7119

Sehingga besarnya paket data aplikasi *video on demand* yang ditransmisikan pada sistem ditentukan dengan persamaan 2.18. Untuk video beresolusi 144p maka,

$$Pv\text{od size} = Pv(\text{encoded}) + Pa(\text{encoded})$$

$$\begin{aligned} Pv\text{od size}_{144p} &= 4290 \text{ bit} + 7119 \text{ bit} \\ &= 11409 \text{ bit} = 1426,125 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka perhitungan besar paket data aplikasi *video on demand* untuk *file* beresolusi 240p dan 360p dapat ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Payload Video On Demand*

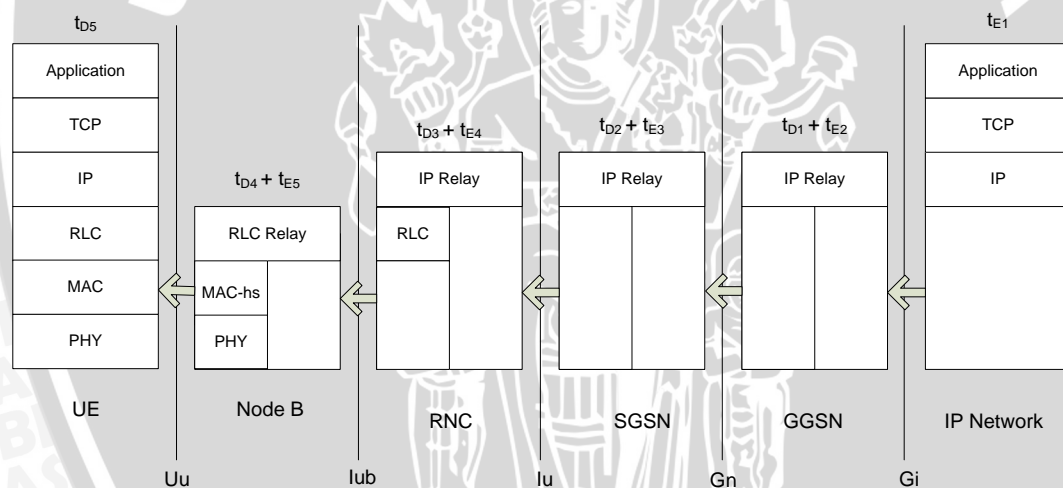
No.	Jenis Resolusi Video	P vod size (byte)
1	144p (256x144)	1426,125
2	240p (426x240)	2045,625
3	360p (640x360)	2136,625

Berdasarkan tabel 2.12, nilai *delay* untuk *codec* video sebesar 300ms dan *codec* audio sebesar 37.5 ms. Sehingga besarnya *delay codec* maksimal yang terjadi pada aplikasi *video on demand* sesuai dengan persamaan 2.5. Nilai *delay codec* audio dan video mengacu pada Tabel 2.5 Spesifikasi Audio dan Video *Codec*.

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

## 2) Delay Proses

Perhitungan pada jaringan HSDPA berlaku untuk masing-masing layer seperti yang ditunjukkan Gambar 4.10.

Gambar 4.10 Analisis *Delay* Enkapsulasi dan Dekapsulasi

### ➤ Server (IP network)

Jaringan IP *network* pada Gambar 4.61 dianggap sebagai server yang terletak di antara *media server* penyedia layanan dan perangkat pengguna pada penelitian ini. 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 2.19. Untuk video beresolusi 144p,

$$\begin{aligned} N_{\text{frame Ethernet}} &= \frac{P_{\text{VOD-size}}}{\text{MTU}_{\text{ethernet}}} \\ &= \frac{1426,125 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\ &= 0,95075 \text{ frame} \approx 1 \text{ frame} \end{aligned}$$

Jumlah *frame* yang dihasilkan sebanyak 1 *frame*, diantaranya 1 *frame* berisi 1426,125 byte karena tidak melebihi MTU Ethernet. Maka, besar *frame* yang dikirimkan server menuju GGSN ditentukan dengan persamaan 2.20.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame server}} &= P_{\text{VOD-size}} + [N_{\text{paket Ethernet}} \times (H_{\text{Ethernet}} + \text{FCS})] \\ &= 1426,125 \text{ byte} + [1 \times (14 + 4)] \text{ byte} \\ &= 1444,125 \text{ byte} \end{aligned}$$

Penelitian menggunakan server dengan standar *interface* Gigabit Ethernet dengan kecepatan 10 Gbps untuk terhubung menuju internet. Sehingga *delay* enkapsulasi pada server ditentukan dengan persamaan 2.21.

$$\begin{aligned} t_{e\text{-server}} &= \frac{W_{\text{frame server}} - P_{\text{VOD-size}}}{C_{\text{server}}} \times 8 \\ &= \frac{(1444,125 - 1426,125) \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 1,44 \cdot 10^{-8} \text{ s} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *delay* enkapsulasi server untuk resolusi video 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Delay* Enkapsulasi Server

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi Server (s)
1	144p (256x144)	1,44 .10 <sup>-8</sup>
2	240p (426x240)	2,88 .10 <sup>-8</sup>
3	360p (640x360)	2,88 .10 <sup>-8</sup>

➤ **Gateway GPRS Support Node (GGSN)**

Pada GGSN, paket data yang diterima dari server mengalami proses dekapsulasi kemudian enkapsulasi kembali untuk dikirim ke *node* selanjutnya. Paket data yang didekapsulasi pada GGSN ditunjukkan persamaan 2.22. Untuk video beresolusi 144p maka,

$$\begin{aligned} W_{\text{VOD GGSN}} &= W_{\text{frame server}} - H_{\text{Ethernet}} - \text{FCS} \\ &= 1444,125 \text{ byte} - (1 \times 14) \text{ byte} - (1 \times 4) \text{ byte} \\ &= 1426,125 \text{ byte} \end{aligned}$$

GGSN pada penelitian menggunakan standar *interface* sebesar 25 Gbps (Alcatel Lucent 7750). Besarnya *delay* dekapsulasi yang terjadi di titik GGSN untuk video 144p dihasilkan dengan menggunakan persamaan 2.23.

$$\begin{aligned} t_{\text{d-GGSN}} &= \frac{W_{\text{frame sever}} - W_{\text{VOD GGSN}}}{C_{\text{GGSN}}} \times 8 \\ &= \frac{(1444,125 - 1426,125) \text{ byte}}{25 \times 10^9 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 5,76 \cdot 10^{-9} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* dekapsulasi untuk video beresolusi 240p dan 360p ditentukan dengan perhitungan yang sama dan diuraikan di Tabel 4.14.

Tabel 4.14 *Delay* Dekapsulasi pada GGSN

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi GGSN (s)
1	144p (256x144)	$5,76 \cdot 10^{-9}$
2	240p (426x240)	$1,152 \cdot 10^{-8}$
3	360p (640x360)	$1,152 \cdot 10^{-8}$

Paket data yang telah didekapsulasi dan diterima oleh GGSN, selanjutnya dienapsulasi kembali untuk dikirim menuju *node* SGSN. Pada GGSN terdapat ukuran maksimum *frame*, yakni MSS. MSS adalah *Maximum Segment Size*. Nilai MSS didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.24.

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

Datagram *video on demand* (video 144p, 240p maupun 360p) pada GGSN disegmentasi dengan MSS, jika datagram tersebut melebihi ukuran MSS. Paket data yang disegmentasi oleh MSS ditentukan dengan persamaan 2.25. Untuk video 144p maka,

$$\begin{aligned}
 N_{\text{datagram}} &= \frac{W_{\text{VOD GGSN}}}{\text{MSS}} \\
 &= \frac{1426,125 \text{ byte}}{1464 \text{ byte}} \\
 &= 0,974129098 \approx 1 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan 1 *frame*, yakni 1 *frame* berisi 1426,125 byte. Datagram *video on demand* dienkapsulasi kembali dengan penambahan *header* GTP, UDP dan IP sesuai dengan persamaan 2.26.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{datagram GGSN}} &= W_{\text{VOD GGSN}} + N_{\text{datagram}} \times (H_{\text{GTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}}) \\
 &= 1426,125 \text{ byte} + 1 \times (8 \text{ byte} + 8 \text{ byte} + 20 \text{ byte}) \\
 &= 1462,125 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Datagram GGSN disegmentasi kembali jika melebihi MTU (1500 byte). Persamaan segmentasi datagram GGSN dengan MTU *Ethernet* ditunjukkan oleh persamaan 2.27.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame Ethernet GGSN}} &= \frac{W_{\text{datagram GGSN}}}{\text{MTU}_{\text{Ethernet}}} \\
 &= \frac{1462,125 \text{ byte}}{1500 \text{ byte}} \\
 &= 0,97475 \approx 1 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

1 paket GGSN terdiri atas 1 *frame* berisi 1462,125 byte dan tidak melebihi MTU *Ethernet*. Sehingga jumlah keseluruhan *frame* GGSN untuk video 144p yang dikirim menuju SGSN dapat diketahui dengan persamaan 2.28.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame GGSN}} &= W_{\text{datagram GGSN}} + [N_{\text{frame Ethernet GGSN}} \times (H_{\text{Ethernet}} + \text{FCS})] \\
 &= 1462,125 \text{ byte} + 1 \times (14 \text{ byte} + 4 \text{ byte}) \\
 &= 1480,125 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada GGSN untuk video beresolusi 144p ditentukan berdasarkan persamaan 2.29.

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-GGSN}} &= \frac{W_{\text{frame GGSN}} - W_{\text{VOD GGSN}}}{C_{\text{GGSN}}} \times 8 \\
 &= \frac{(1480,125 - 1426,125) \text{ byte}}{25 \times 10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 1,728 \cdot 10^{-8} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, maka nilai *delay* enkapsulasi pada GGSN untuk video beresolusi 240p dan 360p dihasilkan dan diuraikan di Tabel 4.15.



Tabel 4.15 Delay Enkapsulasi GGSN

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Enkapsulasi GGSN (s)
1	144p (256x144)	$1,728 \cdot 10^{-8}$
2	240p (426x240)	$3,456 \cdot 10^{-8}$
3	360p (640x360)	$3,456 \cdot 10^{-8}$

➤ **Serving GPRS Support Node (SGSN)**

Paket data yang diterima dari GGSN didekapsulasi selanjutnya dienkapsulasi untuk dikirimkan menuju *node* berikutnya. Paket data yang diterima pada SGSN dari GGSN ditunjukkan dengan persamaan 2.30. Untuk video dengan resolusi 144p maka,

$$\begin{aligned}
 W_{\text{VOD SGSN}} &= W_{\text{frame GGSN}} - H_{\text{GTP}} - H_{\text{UDP}} - H_{\text{IPv4}} - H_{\text{Ethernet}} - \text{FCS} \\
 &= 1480,125 \text{ byte} - 1(8)\text{byte} - 1(8)\text{byte} - 1(20)\text{byte} - 1(14)\text{byte} - \\
 &\quad 1(4)\text{byte} \\
 &= 1426,125 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Standar *interface* perangkat SGSN yang berhubungan dengan GGSN memiliki kecepatan 2,4 Gbps untuk teknologi 3G ke atas dan 380 Mbps untuk teknologi 3G ke bawah (Alcatel Lucent 7500). Besarnya *delay* dekapsulasi pada SGSN didapatkan dengan persamaan 2.31.

$$\begin{aligned}
 t_{d\text{-SGSN}} &= \frac{W_{\text{frame GGSN}} - W_{\text{VOD SGSN}}}{C_{\text{SGSN}}} \times 8 \\
 &= \frac{(1480,125 - 1426,125) \text{ byte}}{2,4 \times 10^9 \text{ bps}} \times 8 \\
 &= 3,6 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk jenis resolusi video 240p dan 360p, *delay* dekapsulasi pada SGSN dengan perhitungan yang sama dengan 144p diuraikan hasilnya pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Delay Dekapsulasi SGSN

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Dekapsulasi SGSN (s)
1	144p (256x144)	$1,8 \cdot 10^{-7}$
2	240p (426x240)	$3,6 \cdot 10^{-7}$
3	360p (640x360)	$3,6 \cdot 10^{-7}$

Paket data yang telah didekapsulasi dan diterima oleh SGSN, selanjutnya dienkapsulasi kembali untuk dikirim menuju *node* RNC. Pada SGSN terdapat ukuran maksimum *frame*, yakni MSS. Nilai MSS didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.32.

$$MSS = MTU - H_{\text{GTP}} - H_{\text{UDP}} - H_{\text{IPv4}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1500 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 8 \text{ byte} - 20 \text{ byte} \\
 &= 1464 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Datagram *video on demand* pada SGSN disegmentasi dengan MSS, jika datagram tersebut melebihi ukuran MSS. Paket data yang disegmentasi oleh MSS ditentukan dengan persamaan 2.33.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{datagram SGSN}} &= \frac{W_{\text{VOD SGSN}}}{\text{MSS}} \\
 &= \frac{1426,125 \text{ byte}}{1464 \text{ byte}} \\
 &= 0,974129098 \approx 1 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Jumlah paket datagram SGSN yang terbentuk adalah 1 *frame*, yakni 1 *frame* berisi 1426,125 byte. Datagram *video on demand* dienkapsulasi kembali dengan penambahan *header* GTP, UDP dan IP sesuai dengan persamaan 2.34.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{datagram SGSN}} &= W_{\text{VOD SGSN}} + N_{\text{datagram SGSN}} \times (H_{\text{GTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IPv4}}) \\
 &= 1426,125 \text{ byte} + 1 \times (8 + 8 + 20) \text{ byte} \\
 &= 1462,125 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Setelah itu, saat memasuki lapisan AAL5, paket data tersebut dibentuk menjadi *Common Part Convergence Sublayer Protocol Data Unit* (CPCS PDU) dengan ukuran maksimal 65535 byte dan dibentuk menjadi blok-blok PDU *Segmentation and Reassembly Sublayer* (SAR). Selanjutnya, besar paket data total pada CPCS PDU/AAL5 diperoleh berdasarkan persamaan 2.35.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{AAL5}} &= W_{\text{datagram SGSN}} + N_{\text{CPCS-PDU}} \times H_{\text{CPCS-PDU/AAL5}} \\
 &= 1462,125 \text{ byte} + (1 \times 8) \text{ byte} \\
 &= 1470,125 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

*Frame* CPCS-PDU dipecah menjadi blok-blok *payload* PDU SAR *Sublayer* sebesar 48 byte, dan diteruskan menuju *layer* ATM. Sehingga banyaknya *frame* ATM yang terbentuk sesuai dengan persamaan 2.36.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame ATM}} &= \frac{W_{\text{AAL5}}}{48 \text{ byte}} \\
 &= \frac{1470,125 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} \\
 &= 30,62760147 \approx 31 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Jumlah paket yang dibentuk adalah 31 *frame*. 30 *frame* berisi masing-masing 48 byte sedangkan 1 *frame* berisi 30,125 byte dan diisi tambahan bit dari *layer* ATM (*pad*) sebesar

17,875 byte agar menjadi 48 byte. Setiap *frame* ATM diberi *header* sebesar 5 byte sehingga panjang *frame* ATM menjadi 53 byte. Panjang *frame* keseluruhan yang siap ditransmisikan menuju GGSN merupakan panjang *frame* ATM total dengan besar yang didapatkan menggunakan persamaan 2.37.

$$\begin{aligned} W_{frame\ SGSN} &= N_{frame\ ATM} \times W_{frame\ ATM} \\ &= 31 \times 53\ \text{byte} \\ &= 1643\ \text{byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada SGSN untuk video dengan resolusi 144p ditunjukkan oleh persamaan 2.38.

$$\begin{aligned} t_{e-SGSN} &= \frac{W_{frame\ SGSN} - W_{VOD\ SGSN}}{C_{SGSN}} \times 8 \\ &= \frac{1643\ \text{byte} - 1426,125\ \text{byte}}{155,52 \times 10^6\ \text{Mbps}} \times 8 \\ &= 1,11561 \cdot 10^{-5}\ \text{s} \end{aligned}$$

Hasil *delay* enkapsulasi pada SGSN untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.17.

Tabel 4.17 *Delay* Enkapsulasi SGSN

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi SGSN (s)
1	144p (256x144)	$1,11561 \cdot 10^{-5}$
2	240p (426x240)	$1,74576 \cdot 10^{-5}$
3	360p (640x360)	$1,82292 \cdot 10^{-5}$

#### ➤ **Radio Network Controller (RNC)**

Paket data diterima oleh RNC dan diproses dekapsulasi dan enkapsulasi. Proses dekapsulasi dilakukan terlebih dahulu saat paket data dari SGSN diterima oleh RNC. Paket data yang diterima RNC dari SGSN untuk video dengan resolusi 144p ditunjukkan dengan persamaan 2.39.

$$\begin{aligned} W_{VOD\ RNC} &= W_{frame\ SGSN} - H_{GTP} - H_{UDP} - H_{IPv4} - H_{AAL5} - H_{ATM} \\ &= 1643\ \text{byte} - 1(8)\ \text{byte} - 1(8)\ \text{byte} - 1(20)\ \text{byte} - 1(8)\ \text{byte} - 31(5)\ \text{byte} \\ &= 1444\ \text{byte} \end{aligned}$$

Sistem transmisi *Synchronous Transport Module -1* (STM-1) merupakan *interface* sistem transmisi yang digunakan pada RNC. STM-1 memiliki kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Sehingga nilai *delay* dekapsulasi pada RNC dapat ditentukan dengan persamaan 2.40.

$$t_{d-RNC} = \frac{W_{frame\ SGSN} - W_{VOD\ RNC}}{C_{RNC}} \times 8$$

$$\begin{aligned} t_{d-RNC} &= \frac{(1643 - 1444)\ \text{byte}}{155,52 \times 10^6\ \text{bps}} \times 8 \\ &= 1,02366 \cdot 10^{-5}\ \text{s} \end{aligned}$$

Nilai *delay* dekapsulasi untuk video dengan resolusi 240p dan 360p pada RNC diuraikan di Tabel 4.18.

Tabel 4.18 *Delay* Dekapsulasi RNC

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi RNC (s)
1	144p (256x144)	$1,02366 \cdot 10^{-5}$
2	240p (426x240)	$1,56893 \cdot 10^{-5}$
3	360p (640x360)	$1,62037 \cdot 10^{-5}$

*Packet Data Convergence Protocol* (PDCP) adalah *layer* RNC yang berfungsi mengenkapsulasi datagram IP *video on demand* sesuai segmen MTU Ethernet pada RNC. Persamaan untuk enkapsulasi *video on demand* adalah persamaan 2.41.

$$\begin{aligned} N_{\text{datagram RNC}} &= \frac{W_{VOD\ RNC}}{\text{MTU Ethernet}} \\ &= \frac{1444\ \text{byte}}{1500\ \text{byte}} \\ &= 0,962666667 \approx 1\ \text{frame} \end{aligned}$$

1 *frame* datagram RNC yang terbentuk terdiri atas 1 *frame* dengan besar 1444 byte. *Frame* PDCP yang terbentuk adalah *payload* data ditambah *header* PDCP. Besar *frame* total pada *layer* PDCP dapat ditentukan dengan persamaan 2.42.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame PDCP}} &= W_{VOD\ RNC} + (N_{\text{datagram RNC}} \times H_{\text{PDCP}}) \\ &= 1444\ \text{byte} + (1 \times 1\ \text{byte}) \\ &= 1445\ \text{byte} \end{aligned}$$

Selanjutnya pada *layer Radio Link Control* (RLC), *frame* PDCP disegmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* sebesar 40 byte (ETSI TS 125-322 v6.3.0). Sehingga persamaan untuk menentukan jumlah *frame* RLC ditunjukkan persamaan 2.43.

$$\begin{aligned} N_{\text{frame RLC}} &= \frac{W_{\text{frame PDCP}}}{40\ \text{byte}} \\ &= \frac{1445\ \text{byte}}{40\ \text{byte}} \\ &= 36,125 \approx 37\ \text{frame} \end{aligned}$$

37 *frame* RLC terdiri atas 36 *frame* berisi masing-masing 40 byte dan 1 *frame* berisi 5 byte dan diisi tambahan bit (*pad*) sebesar 35 byte sehingga mencapai 40 byte. Panjang setiap *frame* RLC adalah sebanyak 42 byte karena setiap *frame* selanjutnya diberi *header* sebanyak 2 byte. Panjang *frame* RLC total yang diteruskan menuju *layer Medium Access Control-dedicated* (MAC-d) ditentukan sesuai persamaan 2.44.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame RLC total}} &= N_{\text{frame RLC}} \times W_{\text{frame RLC}} \\ &= 37 \times 42 \text{ byte} \\ &= 1554 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada saat sampai di *layer* MAC-d, RLC PDU disegmentasi menjadi MAC-d *Service Data Unit* (MAC-d SDU) sebesar 42 byte. Jumlah *frame* MAC-d SDU ditentukan sesuai persamaan 2.45.

$$\begin{aligned} N_{\text{frame MAC-d}} &= \frac{W_{\text{frame RLC total}}}{42 \text{ byte}} \\ &= \frac{1554 \text{ byte}}{42 \text{ byte}} \\ &= 37 \text{ frame} \end{aligned}$$

Sedangkan panjang tiap *frame* MAC-d ditentukan dengan persamaan 2.46.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame MAC-d}} &= H_{\text{MAC-d}} + \text{MAC-d SDU} \\ &= 0,5 \text{ byte} + 42 \text{ byte} \\ &= 42,5 \text{ byte} \end{aligned}$$

Setiap *frame* MAC-d ditambahkan *header Frame Protocol* (FP) dan *Cyclic Redundancy Check* (CRC) untuk dilakukan enkapsulasi pada kanal *High Speed Downlink Shared Channel-Frame Protocol* (HS-DSCH FP) dengan besar tiap *frame* FP yang dihasilkan sesuai dengan persamaan 2.47.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame FP}} &= W_{\text{frame MAC-d}} + H_{\text{FP}} + \text{CRC} \\ &= 42,5 \text{ byte} + 7 \text{ byte} + 2 \text{ byte} \\ &= 51,5 \text{ byte} \end{aligned}$$

Panjang *frame* HS-DSCH FP total diperoleh melalui persamaan 2.48.

$$\begin{aligned} W_{\text{frame FP total}} &= N_{\text{frame MAC-d}} \times W_{\text{frame FP}} \\ &= 37 \times 51,5 \text{ byte} \\ &= 1905,5 \text{ byte} \end{aligned}$$

Saat paket data masuk menuju lapisan AAL2 seperti yang ditunjukkan Gambar 2.22, paket data dibentuk menjadi *Common Part Sublayer* (CPS) dan blok-blok PDU SAR. Untuk menentukan banyaknya paket data CS-PDU digunakan persamaan 2.49..

$$\begin{aligned}
 N_{\text{CS-PDU}} &= \frac{W_{\text{frame FP total}}}{24 \text{ byte}} \\
 &= \frac{1905,5 \text{ byte}}{24 \text{ byte}} \\
 &= 79,39583333 \approx 80 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

80 blok PDU terdiri atas 79 blok PDU yang berisi 24 byte dan 1 blok berisi 9,5 byte. Untuk menentukan besar paket data total pada CS-PDU diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.50.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame CS-PDU total}} &= W_{\text{frame FP total}} + (N_{\text{CS-PDU}} \times H_{\text{CS-PDU}}) \\
 &= 1905,5 \text{ byte} + (80 \times 3 \text{ byte}) \\
 &= 2145,5 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Setelah menentukan nilai besar paket data total, *frame* CS-PDU dibagi menjadi blok-blok *payload* PDU (*Segmentation and Reassembly Sublayer*) atau PDU SAR sebesar 47 byte dan dihitung menggunakan persamaan 2.51.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{PDU-SAR}} &= \frac{W_{\text{frame CS-PDU total}}}{\text{PDU SAR}} \\
 &= \frac{2145,5 \text{ byte}}{47 \text{ byte}} \\
 &= 45,64893617 \text{ frame} \approx 46 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Blok PDU SAR ditambahkan *header* AAL2 sebesar 1 byte sehingga besar tiap blok PDU SAR menjadi sebesar 48 byte. Persamaan untuk menentukan panjang paket data PDU SAR diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.52.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{frame PDU SAR/AAL2}} &= N_{\text{PDU-SAR}} \times 48 \text{ byte} \\
 &= 46 \times 48 \text{ byte} \\
 &= 2208 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

*Frame* AAL2 dipecah menjadi *fixed cell* ATM dengan besar 48 byte pada *layer* ATM. Sehingga jumlah *frame* ATM yang terbentuk dapat ditentukan dengan persamaan 2.53.

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame ATM}} &= \frac{W_{\text{frame PDU-SAR}}}{48 \text{ byte}} \\
 &= \frac{2208 \text{ byte}}{48 \text{ byte}} \\
 &= 46 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Setiap *frame* ATM diberi *header* sebesar 5 byte. Panjang *frame* yang ditransmisikan menuju *Node-B* merupakan panjang *frame* ATM total dan ditunjukkan dengan persamaan 2.54.

$$\begin{aligned}
 W_{frame\ RNC} &= N_{frame\ ATM} \times W_{frame\ ATM} \\
 &= 46 \times (48\ \text{byte} + 5\ \text{byte}) \\
 &= 2438\ \text{byte}
 \end{aligned}$$

Sehingga besar *delay* dekapsulasi yang terjadi pada RNC untuk video dengan resolusi 144p ditentukan dengan persamaan 2.55.

$$\begin{aligned}
 t_{e-RNC} &= \frac{W_{frame\ RNC} - W_{VOD\ RNC}}{C_{RNC}} \times 8 \\
 &= \frac{(2438 - 1444)\ \text{byte}}{155,52 \times 10^6\ \text{bps}} \times 8 \\
 &= 5,11317 \cdot 10^{-5}\ \text{s}
 \end{aligned}$$

*Delay* enkapsulasi video beresolusi 240p dan 360p pada titik RNC didapatkan dengan langkah perhitungan yang sama dan diuraikan nilainya pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 *Delay* Enkapsulasi pada RNC

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi RNC (s)
1	144p (256x144)	$5,11317 \cdot 10^{-5}$
2	240p (426x240)	$7,29424 \cdot 10^{-5}$
3	360p (640x360)	$7,29424 \cdot 10^{-5}$

#### ➤ **Node B**

Paket data yang diterima oleh *Node B* dari RNC mengalami proses dekapsulasi dan selanjutnya mengalami proses enkapsulasi untuk dikirim menuju UE. Paket data untuk video dengan resolusi 144p yang diterima *Node B* mengalami proses dekapsulasi dengan persamaan 2.56.

$$\begin{aligned}
 W_{VOD\ Node-B} &= W_{frame\ RNC} - H_{ATM} - H_{CS-PDU} - H_{PDU-SAR} - H_{FP} - CRC \\
 &= 2438\ \text{byte} - 46(5\ \text{byte}) - 80(3\ \text{byte}) - 46(1\ \text{byte}) - 37(7\ \text{byte}) - \\
 &\quad 37(2\ \text{byte}) \\
 &= 1589\ \text{byte}
 \end{aligned}$$

*Node B* menggunakan *interface* STM-1 dengan kecepatan pemrosesan 155,52 Mbps. Sehingga *delay* dekapsulasi pada *Node B* dihitung dengan persamaan 2.57.

$$\begin{aligned}
 t_{d-Node\ B} &= \frac{W_{frame\ RNC} - W_{VOD\ Node-B}}{C_{Node\ B}} \times 8 \\
 &= \frac{(2438 - 1589)\ \text{byte}}{155,52 \times 10^6\ \text{bps}} \times 8 \\
 &= 4,36728 \cdot 10^{-5}\ \text{s}
 \end{aligned}$$

Nilai *delay* dekapsulasi pada *Node B* untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.20.

Tabel 4.20 *Delay* Dekapsulasi *Node B*

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi <i>Node B</i> (s)
1	144p (256x144)	$4,36728 \cdot 10^{-5}$
2	240p (426x240)	$6,25 \cdot 10^{-5}$
3	360p (640x360)	$6,48148 \cdot 10^{-5}$

Pada *layer* MAC-hs, *frame* MAC PDU dan *header* MAC-hs dibentuk menjadi satu blok, yakni *Transport Block Size* (TBS) dengan besar 7298 bit (Holma, et al, 2004). Jumlah blok TBS yang dikirimkan menuju UE dihitung dengan persamaan 2.58.

$$\begin{aligned} N_{TBS} &= \frac{W_{VOD \text{ Node-B}}}{7298 \text{ bit}} \times 8 \\ &= \frac{1589 \text{ byte}}{7298 \text{ bit}} \times 8 \\ &= 1,741847081 \approx 2 \text{ paket} \end{aligned}$$

Blok-blok TBS yang dihasilkan sebanyak 2 paket, 1 paket diantaranya berisi 7298 bit dan 1 paket berisi 5414 bit. Setiap blok TBS ditambahkan *header* CRC sebesar 2 byte sebelum dikirimkan menuju UE. Besar *frame* pada *Node B* dengan penambahan *header* CRC dihitung menggunakan persamaan 2.59.

$$\begin{aligned} W_{frame \text{ Node-B}} &= W_{VOD \text{ Node B}} + N_{TBS} \times \text{CRC} \\ &= 1589 \text{ byte} + (2 \times 2 \text{ byte}) \\ &= 1593 \text{ byte} \end{aligned}$$

*Delay* enkapsulasi pada *Node B* ditentukan dengan persamaan 2.56.

$$\begin{aligned} t_{e-\text{Node B}} &= \frac{W_{frame \text{ Node-B}} - W_{VOD \text{ Node-B}}}{C_{\text{Node-B}}} \times 8 \\ &= \frac{(1593 - 1589) \text{ byte}}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 2,05761 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* enkapsulasi untuk video dengan resolusi 240p dan 360p juga dapat ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.21.

Tabel 4.21 *Delay* Enkapsulasi *Node B*

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Enkapsulasi <i>Node B</i> (s)
1	144p (256x144)	$2,05761 \cdot 10^{-7}$
2	240p (426x240)	$3,08642 \cdot 10^{-7}$



3	360p (640x360)	$3,08642 \cdot 10^{-7}$
---	----------------	-------------------------

➤ **User Equipment (UE)**

Pada UE terjadi proses dekapsulasi. Proses dekapsulasi memproses paket data dari *Node B* dan dimodelkan dengan persamaan 2.61.

$$W_{\text{VOD UE}} = W_{\text{frame Node-B}} - H_{\text{RTP}} - H_{\text{UDP}} - H_{\text{IP}} - H_{\text{PDPCP}} - H_{\text{RLC}} - H_{\text{MAC-d}} - H_{\text{MAC-hs}} - \text{CRC}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{VOD UE}} &= 1593 \text{ byte} - 11(12 \text{ byte}) - 11(8 \text{ byte}) - 11(20 \text{ byte}) - 1(1 \text{ byte}) \\ &\quad - 37(2 \text{ byte}) - 37(0,5 \text{ byte}) - 2\left(\frac{21}{8} \text{ byte}\right) - 2(2 \text{ byte}) \\ &= 1050,5 \text{ byte} \end{aligned}$$

Maka, besarnya *delay* dekapsulasi pada UE ditentukan dengan persamaan 2.62.

$$\begin{aligned} t_{\text{d-UE}} &= \frac{W_{\text{frame Node-B}} - W_{\text{VOD UE}}}{C_{\text{UE}}} \times 8 \\ &= \frac{(1593 - 1050,25) \text{ byte}}{3,6 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8 \\ &= 1,206111 \cdot 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dan besarnya *delay* dekapsulasi untuk video 240p dan 360p ditentukan dengan langkah perhitungan yang sama dan diuraikan di Tabel 4.22.

Tabel 4.22 *Delay* Dekapsulasi pada UE

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Dekapsulasi UE (s)
1	144p (256x144)	$1,206111111 \cdot 10^{-3}$
2	240p (426x240)	$1,485277778 \cdot 10^{-3}$
3	360p (640x360)	$1,585277778 \cdot 10^{-3}$

Adapun besarnya *delay* enkapsulasi pada HSDPA didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.9. Untuk video dengan resolusi 144p, maka

$$\begin{aligned} t_{\text{enc}} &= t_{\text{e-server}} + t_{\text{e-GGSN}} + t_{\text{e-SGSN}} + t_{\text{e-RNC}} + t_{\text{e-NodeB}} \\ &= 1,44 \cdot 10^{-8} \text{ s} + 1,728 \cdot 10^{-8} \text{ s} + 1,1156121 \cdot 10^{-5} \text{ s} + 5,1131687 \cdot 10^{-5} \text{ s} + \\ &\quad 2,05761 \cdot 10^{-7} \text{ s} \\ &= 6,252525 \cdot 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Kemudian besarnya *delay* dekapsulasi pada HSDPA didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.10.

$$t_{\text{dec}} = t_{\text{d-GGSN}} + t_{\text{d-SGSN}} + t_{\text{d-RNC}} + t_{\text{d-NodeB}} + t_{\text{d-UE}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5,76 \cdot 10^{-9} \text{ s} + 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ s} + 1,0236626 \cdot 10^{-5} \text{ s} + 4,367284 \cdot 10^{-5} \text{ s} + \\
 &\quad 1,206111111 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\
 &= 1,260206336 \cdot 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya *delay* proses pada jaringan HSDPA ditunjukkan persamaan 2.11.

$$\begin{aligned}
 t_{\text{proses}} &= t_{\text{enc}} + t_{\text{dec}} \\
 &= 6,252525 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-4} \text{ s} + 1,260206336 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\
 &= 1,322731586 \cdot 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dan perhitungan *delay* proses (enkapsulasi dan dekapsulasi) untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.23.

Tabel 4.23 *Delay* Proses

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Proses (s)
1	144p (256x144)	$1,322731586 \cdot 10^{-3}$
2	240p (426x240)	$1,654610549 \cdot 10^{-3}$
3	360p (640x360)	$1,758725775 \cdot 10^{-3}$

### 3) *Delay* Transmisi

*Delay* transmisi total pada HSDPA, yakni meliputi *interface* Gi (Server-GGSN), Gn (GGSN-SGSN), Iu (SGSN-RNC), Iub (RNC-Node B), Uu (Node B-UE) sesuai Gambar 2.26 pada Bab 2.

#### ➤ *Delay* Transmisi pada Gi (Server-GGSN)

Hubungan antara Server (IP Network) dengan GGSN menggunakan *Fast Ethernet* dengan kecepatan transmisi 10 Gbps sesuai dengan spesifikasi perangkat server. Meskipun kecepatan transmisi maksimal yang mampu ditampung GGSN dari server adalah 25 Gbps (Alcatel Lucent 7750), namun kecepatan transmisi dari server menuju GGSN lebih kecil (10 Gbps). Sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi sesuai dengan persamaan 2.63. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$\begin{aligned}
 t_{T \text{ Gi}} &= \frac{W_{\text{frame Server}}}{C_{\text{Server}}} \\
 &= \frac{1444,125 \text{ byte} \times 8}{10 \times 10^9 \text{ bps}} \\
 &= 1,1553 \cdot 10^{-6} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan *delay* transmisi untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.24.

Tabel 4.24 *Delay Transmisi Gi Interface*

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	144p (256x144)	1,1553 .10 <sup>-6</sup>
2	240p (426x240)	1,6653 .10 <sup>-6</sup>
3	360p (640x360)	1,7381 .10 <sup>-6</sup>

➤ **Delay Transmisi pada Gn (GGSN-SGSN)**

Hubungan antara GGSN dan SGSN pada Gn *interface* menggunakan kecepatan transmisi Ethernet 2,4 Gbps (Modul SGSN Alcatel Lucent 7500). Kecepatan transmisi yang GGSN adalah 25 Gbps, namun kecepatan transmisi yang mampu ditampung SGSN adalah 2,4 Gbps. Sehingga *delay* transmisi pada Gn *interface* ditentukan oleh persamaan 2.63. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$\begin{aligned}
 t_{T \text{ Gn}} &= \frac{W_{\text{frame GGSN}}}{C_{\text{ethernet}}} \\
 &= \frac{1480,125 \text{ byte} \times 8}{2,4 \times 10^9 \text{ bps}} \\
 &= 4,93375 \cdot 10^{-6} \text{ s}
 \end{aligned}$$

*Delay* transmisi pada Gn *interface* untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.25.

Tabel 4.25 *Delay Transmisi Gn Interface*

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	144p (256x144)	4,93375 .10 <sup>-6</sup>
2	240p (426x240)	7,17875 .10 <sup>-6</sup>
3	360p (640x360)	7,48208 .10 <sup>-6</sup>

➤ **Delay Transmisi pada Iu (SGSN-RNC)**

Hubungan antara SGSN dengan RNC menggunakan STM-1 (ITU-T G.703 dan Ericsson 3810 *review* vol.2). Sehingga *delay* transmisi yang terjadi pada Iu *interface* sesuai dengan persamaan 2.63. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$\begin{aligned}
 t_{T \text{ Iu}} &= \frac{W_{\text{frame SGSN}}}{C_{\text{STM 1}}} \\
 &= \frac{1643 \text{ byte} \times 8}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} \\
 &= 8,45165 \cdot 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

*Delay* transmisi pada Iu *interface* untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.26.

Tabel 4.26 *Delay* Transmisi Iu *Interface*

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Transmisi (s)
1	144p (256x144)	$8,45165 \cdot 10^{-5}$
2	240p (426x240)	$1,22685 \cdot 10^{-4}$
3	360p (640x360)	$1,28138 \cdot 10^{-4}$

➤ ***Delay* Transmisi pada Iub (RNC-Node B)**

Hubungan antara RNC dengan *Node B* pada jaringan WCDMA menggunakan transmisi dengan standar STM-1 (ITU-T G.703 dan Ericsson 3810 *review* vol.2). Sehingga *delay* transmisi dari RNC menuju *Node B* ditentukan sesuai dengan persamaan 2.63. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$\begin{aligned} t_{T \text{ Iub}} &= \frac{W \text{ frame RNC}}{C \text{ STM 1}} \\ &= \frac{2438 \text{ byte} \times 8}{155,52 \times 10^6 \text{ bps}} \\ &= 1,25412 \cdot 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

Sesuai dengan langkah perhitungan menggunakan persamaan 2.59, nilai *delay* transmisi pada Iub *interface* untuk video dengan resolusi 240p dan 360p ditentukan dan diuraikan di Tabel 4.27.

Tabel 4.27 *Delay* Transmisi Iub *Interface*

No.	Jenis Resolusi Video	<i>Delay</i> Transmisi (s)
1	144p (256x144)	$1,25412 \cdot 10^{-4}$
2	240p (426x240)	$1,79938 \cdot 10^{-4}$
3	360p (640x360)	$1,85391 \cdot 10^{-4}$

➤ ***Delay* Transmisi pada Uu (Node B-UE)**

Hubungan antara *Node B* dan UE pada penelitian menggunakan *air interface* dengan asumsi kecepatan perangkat sesuai kategori 5 dengan kecepatan 3,6 Mbps pada UE *Terminal Categories* dengan jumlah slot 3 (Siemens HSDPA White Paper, 2004). Nilai *delay* transmisi pada UU *interface* ditentukan oleh persamaan 2.63. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$t_{T \text{ Uu}} = \frac{W \text{ frame Node B}}{C \text{ UE}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(1593 \times 8)\text{bit}}{3 \times 3,6 \times 10^6 \text{ bps}} \\
 &= 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* transmisi pada *Uu interface* untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.28.

Tabel 4.28 *Delay Transmisi Uu Interface*

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	144p (256x144)	$1,18 \cdot 10^{-3}$
2	240p (426x240)	$1,6956 \cdot 10^{-3}$
3	360p (640x360)	$1,7407 \cdot 10^{-3}$

#### ➤ *Delay Transmisi Total*

Besarnya nilai *delay* transmisi total pada jaringan HSDPA yang dihitung menggunakan persamaan 2.64. Untuk video dengan resolusi 144p,

$$\begin{aligned}
 t_{T \text{ total}} &= t_{T Gi} + t_{T Gn} + t_{T lu} + t_{T lub} + T_{TUu} \\
 &= (1,1553 \cdot 10^{-6} \text{ s} + 4,93375 \cdot 10^{-6} \text{ s} + 8,45165 \cdot 10^{-5} \text{ s} + 1,25412 \cdot 10^{-4} \text{ s} + \\
 &\quad 1,18 \cdot 10^{-3} \text{ s}) \\
 &= 1,396017 \cdot 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

*Delay* transmisi total untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.29.

Tabel 4.29 *Delay Transmisi Total*

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Transmisi (s)
1	144p (256x144)	$1,396017 \cdot 10^{-3}$
2	240p (426x240)	$2,007023 \cdot 10^{-3}$
3	360p (640x360)	$2,06349 \cdot 10^{-3}$

#### 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 *Node B* menuju UE. Jarak *Node B* menuju UE adalah 0,24 km sesuai dengan nilai jarak Tx ke Rx pada perhitungan *Pathloss*. Cepat rambat gelombang elektromagnetik sebesar  $3 \cdot 10^8$  m/s. Nilai *delay* propagasi pada penelitian ditentukan oleh persamaan 2.65. Untuk video 144p,

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{N_{\text{frame}} \times R}{c} \\
 t_p &= \frac{2 \times 240 \text{ meter}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}
 \end{aligned}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Delay propagasi untuk video dengan resolusi 240p dan 360p ditentukan dengan langkah perhitungan yang sama dan diuraikan di Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Delay Propagasi

No.	Jenis Resolusi Video	Delay Propagasi (s)
1	144p (256x144)	$1,6 \cdot 10^{-7}$
2	240p (426x240)	$2,4 \cdot 10^{-7}$
3	360p (640x360)	$2,4 \cdot 10^{-7}$

### 5) Delay Antrian

#### ➤ Delay Antrian pada GGSN

Interface yang digunakan GGSN untuk dikirim menuju SGSN adalah Fast Ethernet dengan kecepatan 25 Gbps. Kecepatan pelayanan pada GGSN ditentukan dengan persamaan 2.69. Untuk video 144p maka,

$$\begin{aligned} \mu_{GGSN} &= \frac{C_{GGSN}}{W_{frame\ GGSN}} \\ &= \frac{25 \cdot 10^9 \text{ bps}}{(1480,125 \times 8) \frac{\text{bit}}{\text{paket}}} \\ &= 2111308,17 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2.70, besarnya kecepatan kedatangan paket pada GGSN diperoleh.

$$\begin{aligned} \lambda_{GGSN} &= \mu_{GGSN} \times \rho \\ &= 2111308,17 \times 0,1 \\ &= 211130,817 \text{ paket/s} \end{aligned}$$

Sehingga nilai delay antrian pada GGSN untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2.66.

$$\begin{aligned} t_{WGGSN} &= t_{queue} + t_{serv} \\ &= \frac{\lambda_{GGSN}}{\mu_{GGSN}(\mu_{GGSN} - \lambda_{GGSN})} + \frac{1}{\mu_{GGSN}} \\ &= \frac{211130,817}{2111308,17(2111308,17 - 211130,817)} + \frac{1}{2111308,17} \\ &= 5,26267 \cdot 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **Delay Antrian pada SGSN**

*Interface* yang digunakan SGSN untuk dikirim menuju RNC adalah STM-1 dengan kecepatan 155,52 Mbps. Kecepatan pelayanan pada SGSN ditentukan dengan persamaan 2.69. Untuk video 144p maka,

$$\begin{aligned}\mu_{SGSN} &= \frac{C_{SGSN}}{W_{frame\ SGSN}} \\ &= \frac{155,52 \times 10^6 \text{ bps}}{(1643 \times 8) \frac{\text{bit}}{\text{paket}}} \\ &= 11832,01 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2.70, besarnya kecepatan kedatangan paket pada SGSN diperoleh.

$$\begin{aligned}\lambda_{SGSN} &= \mu_{SGSN} \times \rho \\ &= 11832,01 \times 0,1 \\ &= 1183,201 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada SGSN untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2.66.

$$\begin{aligned}t_{WSGSN} &= t_{queue} + t_{serv} \\ &= \frac{\lambda_{SGSN}}{\mu_{SGSN}(\mu_{SGSN} - \lambda_{SGSN})} + \frac{1}{\mu_{SGSN}} \\ &= \frac{1183,201}{11832,01(11832,01 - 1183,201)} + \frac{1}{11832,01} \\ &= 9,39072 \cdot 10^{-5} \text{ s}\end{aligned}$$

➤ **Delay Antrian pada RNC**

*Interface* yang digunakan RNC untuk dikirim menuju *Node B* adalah STM-1 dengan kecepatan 155,52 Mbps. Kecepatan pelayanan pada RNC ditentukan dengan persamaan 2.69. Untuk video 144p maka,

$$\begin{aligned}\mu_{RNC} &= \frac{C_{RNC}}{W_{frame\ RNC}} \\ &= \frac{155,52 \times 10^6 \text{ bps}}{(2438 \times 8) \frac{\text{bit}}{\text{paket}}} \\ &= 7973,75 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2.70, besarnya kecepatan kedatangan paket pada RNC diperoleh.

$$\lambda_{RNC} = \mu_{RNC} \times \rho$$

$$\begin{aligned}
 &= 7973,75 \times 0,1 \\
 &= 797,375 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada RNC untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2.66.

$$\begin{aligned}
 t_{W RNC} &= t_{\text{queue}} + t_{\text{serv}} \\
 &= \frac{\lambda_{RNC}}{\mu_{RNC}(\mu_{RNC} - \lambda_{RNC})} + \frac{1}{\mu_{RNC}} \\
 &= \frac{797,375}{7973,75(7973,75 - 797,375)} + \frac{1}{7973,75} \\
 &= 1,39346 \cdot 10^{-4} \text{ s}
 \end{aligned}$$

#### ➤ **Delay Antrian pada Node B**

*Interface* yang digunakan Node B untuk dikirim menuju UE adalah STM-1 dengan kecepatan 155,52 Mbps. Kecepatan pelayanan pada Node B ditentukan dengan persamaan 2.69. Untuk video 144p maka,

$$\begin{aligned}
 \mu_{NODE B} &= \frac{C_{NODE B}}{W_{\text{frame NODE B}}} \\
 &= \frac{155,52 \times 10^6 \text{ bps}}{(1593 \times 8) \frac{\text{bit}}{\text{paket}}} \\
 &= 12203,39 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Faktor utilisasi diasumsikan berubah mulai dari 0,1 hingga 0,9. Dengan menggunakan persamaan 2.70, besarnya kecepatan kedatangan paket pada RNC diperoleh.

$$\begin{aligned}
 \lambda_{NODE B} &= \mu_{NODE B} \times \rho \\
 &= 12203,39 \times 0,1 \\
 &= 1220,339 \text{ paket/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *delay* antrian pada RNC untuk faktor utilisasi 0,1 ditentukan dengan persamaan 2.66.

$$\begin{aligned}
 t_{W NODE B} &= t_{\text{queue}} + t_{\text{serv}} \\
 &= \frac{\lambda_{NODE B}}{\mu_{NODE B}(\mu_{NODE B} - \lambda_{NODE B})} + \frac{1}{\mu_{NODE B}} \\
 &= \frac{1220,339}{12203,39(12203,39 - 1220,339)} + \frac{1}{12203,39} \\
 &= 9,10494 \cdot 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$



### ➤ **Delay Antrian Total**

*Delay* antrian total yang terjadi pada jaringan HSDPA ditentukan dengan persamaan 2.71.

Untuk video dengan resolusi 144p dan faktor utilisasi 0,1,

$$\begin{aligned} t_{w \text{ total}} &= t_{w \text{ GGSN}} + t_{w \text{ SGSN}} + t_{w \text{ RNC}} + t_{w \text{ Node B}} \\ &= 5,26267 \cdot 10^{-7} \text{ s} + 9,39072 \cdot 10^{-5} \text{ s} + 1,39346 \cdot 10^{-4} \text{ s} + 9,10494 \cdot 10^{-5} \text{ s} \\ &= 3,24829 \cdot 10^{-4} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama untuk menentukan nilai *delay* antrian total jaringan HSDPA, maka *delay* antrian total untuk video dengan resolusi 240p dan 360p untuk faktor utilisasi 0,2 hingga 0,9 diuraikan di Tabel 4.31.

Tabel 4.31 *Delay* Antrian Total

$\rho$	<i>Delay</i> Antrian Total (s) Video 144p	<i>Delay</i> Antrian Total (s) Video 240p	<i>Delay</i> Antrian Total (s) Video 360p
0,1	0,000324829	0,000467844	0,00048348
0,2	0,000365433	0,000526324	0,000543915
0,3	0,000417637	0,000601514	0,000621617
0,4	0,000487243	0,000701766	0,00072522
0,5	0,000584692	0,000842119	0,000870264
0,6	0,000730865	0,001052649	0,00108783
0,7	0,000974487	0,001403532	0,00145044
0,8	0,00146173	0,002105298	0,002175659
0,9	0,002923461	0,004210595	0,004351319

Faktor utilisasi merupakan perbandingan antara banyaknya aktifitas yang dilakukan dengan kapasitas yang tersedia. Berdasarkan perhitungan dan Tabel 4.31 dapat diketahui bahwa semakin tinggi faktor utilisasi, maka semakin besar *delay* antriannya.

### 6) Perhitungan *Delay* Total (*Delay End-to-End*)

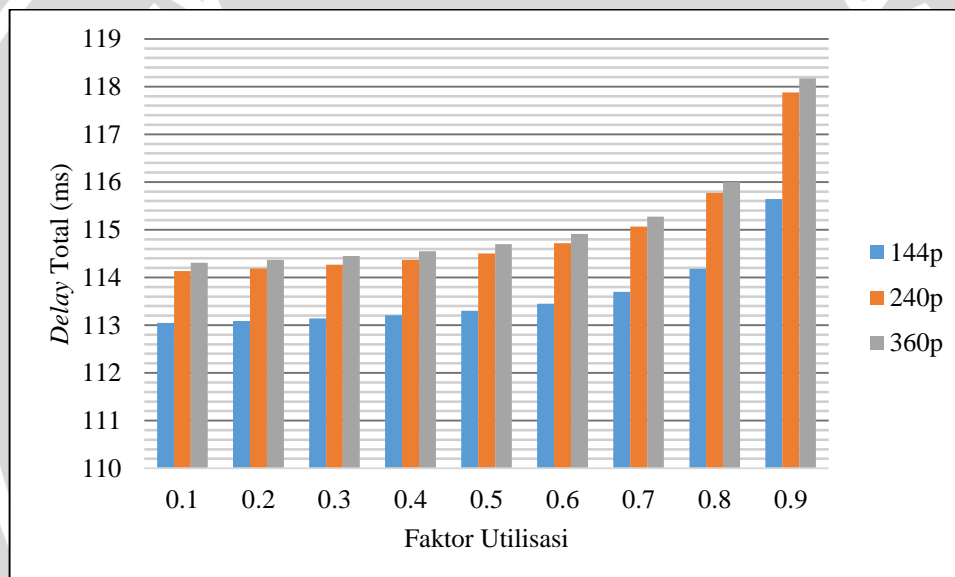
Besarnya nilai *delay* total dihitung dengan menjumlahkan nilai *delay* codec dan *delay* jaringan HSDPA (*delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian). Sehingga besarnya nilai *delay end-to-end* sesuai dengan persamaan 2.72. Untuk video dengan resolusi 144p dan faktor utilisasi 0,1,

$$\begin{aligned} t_{total} &= t_{\text{delay codec}} + t_{\text{delay end-to-end HSDPA}} \\ &= t_{\text{delay codec}} + (t_{\text{proses}} + t_{T \text{ total}} + t_p + t_{w \text{ total}}) \\ &= 110 \text{ ms} + (1,322731586 \text{ ms} + 1,396017034 \text{ ms} + 0,00016 \text{ ms} + \\ &\quad 0,324828964 \text{ ms}) \\ &= 113,0497776 \text{ ms} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk perhitungan dengan faktor utilitas 0,2 hingga 0,9 dan video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.32.

Tabel 4.32 *Delay Total Video Streaming*

$\rho$	<i>Delay Total (ms)</i> Video 144p	<i>Delay Total (ms)</i> Video 240p	<i>Delay Total (ms)</i> Video 360p
0,1	113.0451776	114.1318775	114.3080954
0,2	113.0857812	114.190358	114.3685303
0,3	113.1379859	114.2655472	114.4462324
0,4	113.2075921	114.3657995	114.5498353
0,5	113.3050408	114.5061527	114.6948792
0,6	113.4512138	114.7166824	114.9124452
0,7	113.6948355	115.0675654	115.275055
0,8	114.182079	115.7693313	116.0002748
0,9	115.6438093	117.8746289	118.1759341



Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara Faktor Utilisasi dan Resolusi Video terhadap *Delay Total*

Berdasarkan perhitungan, dapat diketahui bahwa:

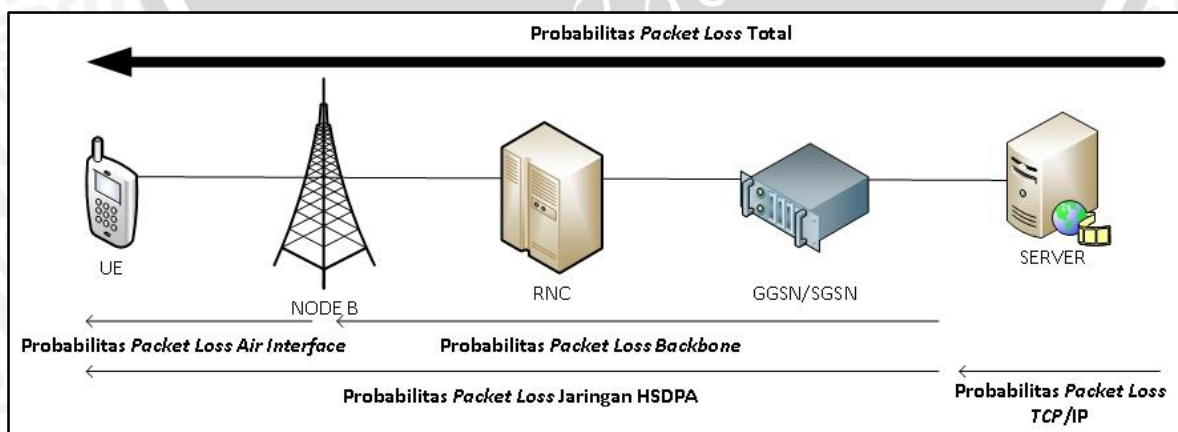
- Semakin besar resolusi video yang digunakan, maka semakin besar nilai *delay total* atau *delay end to end*. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat faktor utilisasi terbesar, yakni 0,9, video dengan resolusi 144p memiliki nilai *delay end to end* 115,64 ms, video dengan resolusi 240p memiliki nilai *delay end to end* 117,88 ms sedangkan video dengan resolusi 360p memiliki nilai *delay end to end* 118,18 ms.
- Resolusi video memengaruhi *bitrate* dan jumlah paket data yang dikirimkan dari server atau diterima oleh pengguna. Untuk kapasitas jaringan yang tetap, Resolusi

video yang semakin besar menyebabkan *bitrate* yang digunakan pada video semakin besar sehingga jumlah paket data / besar frame yang dikirimkan atau diterima semakin besar. Semakin banyaknya jumlah paket data menyebabkan proses pada tiap-tiap node juga semakin besar, antrian paket data semakin besar, waktu pengiriman paket data antar *node* semakin besar sehingga *delay* keseluruhan yang dihasilkan semakin besar.

- Semakin besar faktor utilisasi, maka semakin besar nilai *delay end to end*. Hal tersebut ditunjukkan, untuk video 144p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 113,04 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 115,64 ms. Untuk video 240p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 114,13 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 117,18 ms. Untuk video 360p, saat faktor utilisasi 0,1 memiliki nilai *delay end to end* 114,31 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end to end* 118,18 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.

#### 4.3.2.4 Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas *packet loss* total pada HSDPA ditentukan oleh probabilitas *packet loss* pada *transport layer* dan *network layer* TCP/IP serta probabilitas *packet loss* pada jaringan, seperti yang ditunjukkan Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Probabilitas *Packet Loss* HSDPA

### a. Probabilitas *Packet Loss* TCP/IP

Nilai probabilitas *packet loss* terbesar ( $P_{TCP/IP}$ ) yang terjadi pada *transport layer* dan *network layer* adalah  $10^{-8}$  berdasarkan standar *White Paper* Qualcomm.

### b. Probabilitas *Packet Loss* Jaringan HSDPA

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA dihitung dari probabilitas *packet loss* pada *Air Interface* sistem HSDPA dan jaringan *IP Backbone* yang terdiri atas RAN (*Node B* dan *RNC*) serta *Core Network* (*SGSN* dan *GGSN*).

#### 1) Probabilitas *Packet Loss* pada *Air Interface*

- ✚ Perhitungan Daya yang Diterima Kanal Trafik.

Perhitungan daya ( $P_{tr}$ ) dihitung menggunakan persamaan 2.76.

$$\begin{aligned} P_{tr} &= EIRP - L + G_{MS} - I_m \\ &= 57 - 145,83 + 0 - 9 \\ &= -97,83 \text{ dBm} \end{aligned}$$

- ✚ Perhitungan  $E_b/N_o$  Kanal Trafik menggunakan Persamaan 2.77.

$$\begin{aligned} E_b/N_o &= P_{tr} - 10 \log R_b - 10 \log 10^{0,1N_o} \\ &= -97,83 - 10 \log(3,6 \cdot 10^6) - 10 \log(10)^{0,1(-174)} \\ &= -97,83 - 65,563 + 174 \\ &= 10,61 \text{ dB} \end{aligned}$$

- ✚ Perhitungan Probabilitas *Error* Kanal Trafik menggunakan Persamaan 2.78.

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{e^{-E_b/N_o}}{\sqrt{2\pi(E_b/N_o)}} \\ &= \frac{e^{-10,61}}{\sqrt{2\pi(10,61)}} \\ &= 4,29 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- ✚ Perhitungan Probabilitas *Packet Loss* *Air Interface* HSDPA

$$\rho_{AI} = 1 - (1 - P_e)^{l+l'}$$

Untuk video dengan resolusi 144p, maka dengan menggunakan persamaan 2.79

$$\begin{aligned} \rho_{AI} &= 1 - (1 - (4,29 \cdot 10^{-6})^{1593 \text{ byte} \times 8}) \\ &= 0,053 \end{aligned}$$

Probabilitas *packet loss air interface* HSDPA untuk video dengan resolusi 240p dan 360p, ditampilkan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Probabilitas *Packet Loss* Air Interface HSDPA

Resolusi Video	Probabilitas <i>Packet Loss</i> Air Interface HSDPA
144p (256x144)	0,053
240p (426x240)	0,076
360p (640x360)	0,077

## 2) Probabilitas *Packet Loss* pada IP Backbone

IP Backbone pada jaringan HSDPA adalah GGSN, SGSN, RNC dan Node B. Maka, probabilitas *packet loss* IP pada HSDPA terjadi di GGSN, SGSN, RNC, dan Node B. Untuk video dengan resolusi 144p berdasarkan persamaan 2.80,

$$\rho_{IP \text{ backbone}} = W_{\text{frame}} \times P_e$$

✚ GGSN

$$\begin{aligned} \rho_{IP \text{ GGSN}} &= W_{\text{frame GGSN}} \times P_e \\ &= (1480,125 \text{ byte} \times 8) \times 4,29 \times 10^{-6} \\ &= 0,050841 \end{aligned}$$

✚ SGSN

$$\begin{aligned} \rho_{IP \text{ SGSN}} &= W_{\text{frame SGSN}} \times P_e \\ &= (1643 \text{ byte} \times 8) \times 4,29 \times 10^{-6} \\ &= 0,056435 \end{aligned}$$

✚ RNC

$$\begin{aligned} \rho_{IP \text{ RNC}} &= W_{\text{frame RNC}} \times P_e \\ &= (2438 \text{ byte} \times 8) \times 4,29 \times 10^{-6} \\ &= 0,083743 \end{aligned}$$

✚ Node B

$$\begin{aligned} \rho_{IP \text{ NODE B}} &= W_{\text{frame NODE B}} \times P_e \\ &= (1593 \text{ byte} \times 8) \times 4,29 \times 10^{-6} \\ &= 0,054718 \end{aligned}$$

Sedangkan, nilai probabilitas *packet loss* IP Backbone untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.34

Tabel 4.34 Probabilitas *Packet Loss* IP Backbone

Resolusi Video	$\rho_{IP \text{ GGSN}}$	$\rho_{IP \text{ SGSN}}$	$\rho_{IP \text{ RNC}}$	$\rho_{IP \text{ NODE B}}$
144p (256x144)	0,050841	0,056435	0,083743	0,054718
240p (426x240)	0,073975	0,081922	0,120153	0,078625
360p (640x360)	0,077101	0,085563	0,123794	0,080720

### 3) Perhitungan Probabilitas *Packet Loss* Jaringan HSDPA

Besarnya nilai probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.75. Untuk video 144p, maka

$$\rho_{\text{net}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{AI}})(1 - \rho_{\text{IP backbone}})^h]$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{net}} &= 1 - [(1 - \rho_{\text{AI}})(1 - \rho_{\text{IP SGSN}})(1 - \rho_{\text{IP GGSN}})(1 - \rho_{\text{IP RNC}})(1 - \rho_{\text{IP NODE B}})] \\ &= 0,265612 \end{aligned}$$

Nilai probabilitas *packet loss* jaringan HSDPA untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.35

Tabel 4.35 Probabilitas *Packet Loss* Jaringan HSDPA

Resolusi Video	$\rho_{\text{net}}$
144p (256x144)	0,265612
240p (426x240)	0,362912
360p (640x360)	0,372945

### c. Perhitungan Probabilitas *Packet Loss* Total

Nilai probabilitas *packet loss* total pada penelitian dihitung menggunakan persamaan 2.73. Untuk video dengan resolusi 144p, maka

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}} &= 1 - [(1 - \rho_{\text{net}})(1 - \rho_{\text{TCP/IP}})] \\ &= 1 - [(1 - 0,265612)(1 - 10^{-8})] \\ &= 0,265612 \end{aligned}$$

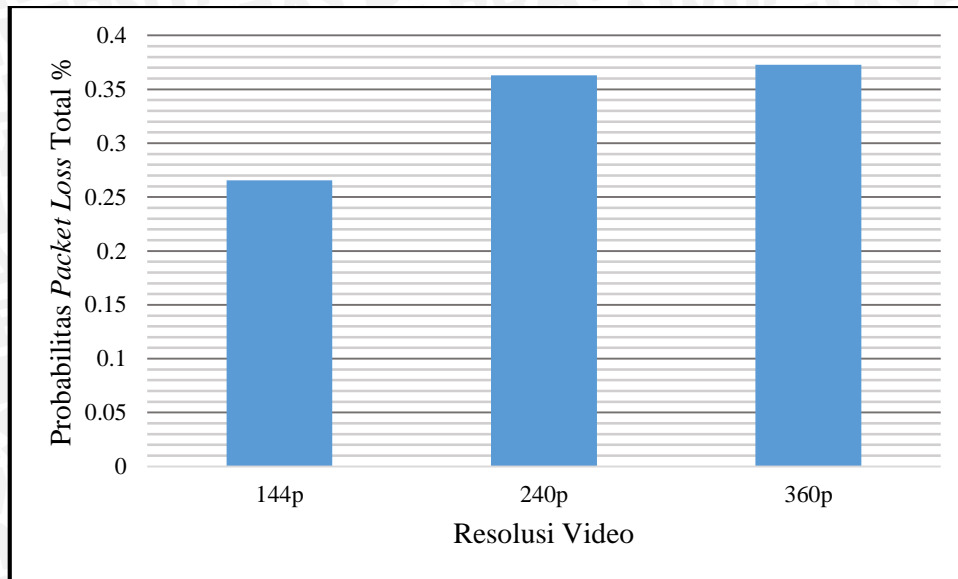
Dan,

$$\begin{aligned} \rho_{\text{tot}}(\%) &= \rho_{\text{tot}} \times 100 \% \\ &= 0,265612 \times 100 \% \\ &= 26,5612 \% \end{aligned}$$

Nilai probabilitas *packet loss* total untuk video dengan resolusi 240p dan 360p diuraikan di Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Probabilitas *Packet Loss* Total

Resolusi Video	$\rho_{\text{tot}}$	$\rho_{\text{tot}}(\%)$
144p (256x144)	0,265612	26,56
240p (426x240)	0,362912	36,29
360p (640x360)	0,372945	37,29



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Resolusi Video dengan Probabilitas *Packet Loss* Total

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar nilai resolusi video, maka semakin besar nilai probabilitas *packet loss* yang terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari hasil perhitungan, bahwa video dengan resolusi 144p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 26,56% dan video dengan resolusi 240p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 36,29 % dan video dengan resolusi 360p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 37,29%.
- Resolusi video memengaruhi nilai jumlah paket / besar frame yang dikirimkan dari server atau yang diterima pada pengguna. 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 dan probabilitas *packet loss* pada *air interface*, sehingga semakin besar paket data yang dikirimkan maka semakin besar kemungkinan untuk terjadi *packet loss*.

#### 4.3.2.5 Throughput

Perhitungan *throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima oleh UE dalam keadaan benar per waktu total transmisi yang dibutuhkan dari *Node B* ke UE. Waktu yang dibutuhkan untuk metransmisikan sebuah *frame* dari *Node B* menuju UE berdasarkan persamaan 2.84, untuk video dengan resolusi 144p, yaitu:

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1593 \text{ byte} \times 8}{3,6 \cdot 10^6} \\
 &= 0,00354 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk melewati sebuah *frame* dari *Node B* menuju UE berdasarkan persamaan (2.83), yaitu:

$$\begin{aligned}
 t_T &= \frac{t_{p \text{ total}}}{N_{\text{paket}}} \\
 &= \frac{1,6 \cdot 10^{-7}}{2} \\
 &= 0,8 \cdot 10^{-7} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Konstanta  $\alpha$  yang diperoleh berdasarkan persamaan (2.82), yaitu:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 3 + \frac{2t_p}{t_l} \\
 &= 3 + \frac{2 \times (1,6 \cdot 10^{-7})}{0,00354} \\
 &= 3,000903955
 \end{aligned}$$

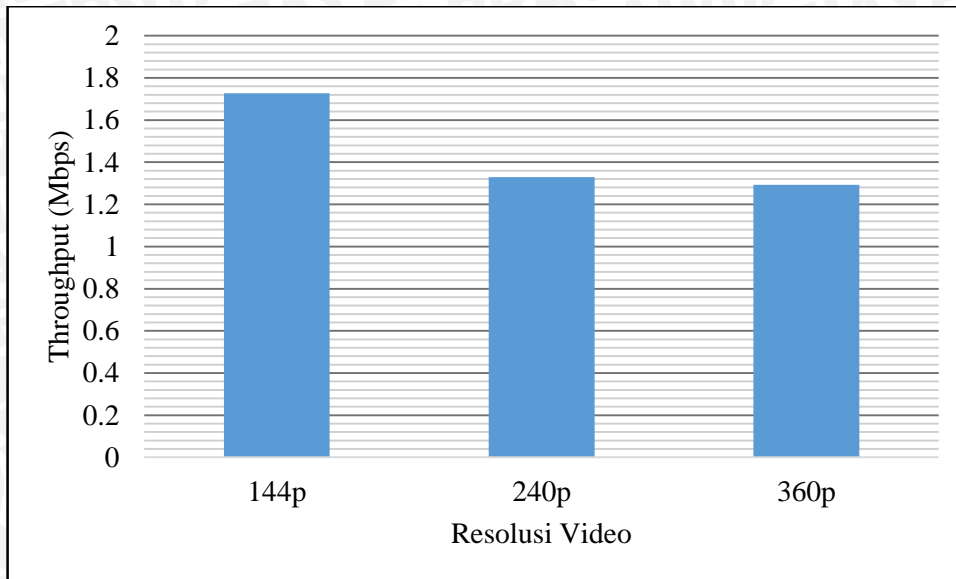
Perhitungan nilai *throughput* berdasarkan persamaan (2.81) berikut dipengaruhi oleh perubahan nilai resolusi video, sehingga besarnya nilai *throughput*, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \gamma &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_1 [1 + (\alpha - 1) \rho_{tot}]} \\
 &= \frac{(1 - 0,265612)}{0,00354 \times [1 + (3,000903955 - 1) \times 0,265612]} \\
 &= 135,461294 \text{ paket per detik} \\
 &= (135,461294 \times 1593 \text{ byte}) \times 8 \\
 &= 1726319 \text{ bps} \\
 &= 1,726319 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.37 Nilai *Throughput*

No.	Resolusi Video	Probabilitas Packet Loss (%)	Throughput (Mbps)
1	144p (256x144)	26,5612	1,726319
2	240p (426x240)	36,2912	1,328675
3	360p (640x360)	37,2945	1,292722





Gambar 4.14 Grafik Hubungan Resolusi Video dengan *Throughput*

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar nilai resolusi video yang digunakan, maka semakin kecil nilai *throughput* yang didapatkan, karena semakin besar nilai resolusi video menyebabkan nilai probabilitas *packet loss* semakin besar sehingga menurunkan kecepatan pengguna untuk mendapatkan data dalam keadaan benar. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat menggunakan video dengan resolusi 144p maka probabilitas *packet loss* yang terjadi adalah 26,56% dengan *throughput* sebesar 1,72 Mbps. Sedangkan pada saat menggunakan video dengan resolusi 240p maka probabilitas *packet loss* yang terjadi sebesar 36,29% dan *throughput* yang didapatkan sebesar 1,32 Mbps. Untuk video dengan resolusi 360p, probabilitas *packet loss* yang terjadi sebesar 37,29% dengan nilai *throughput* sebesar 1,29 Mbps.

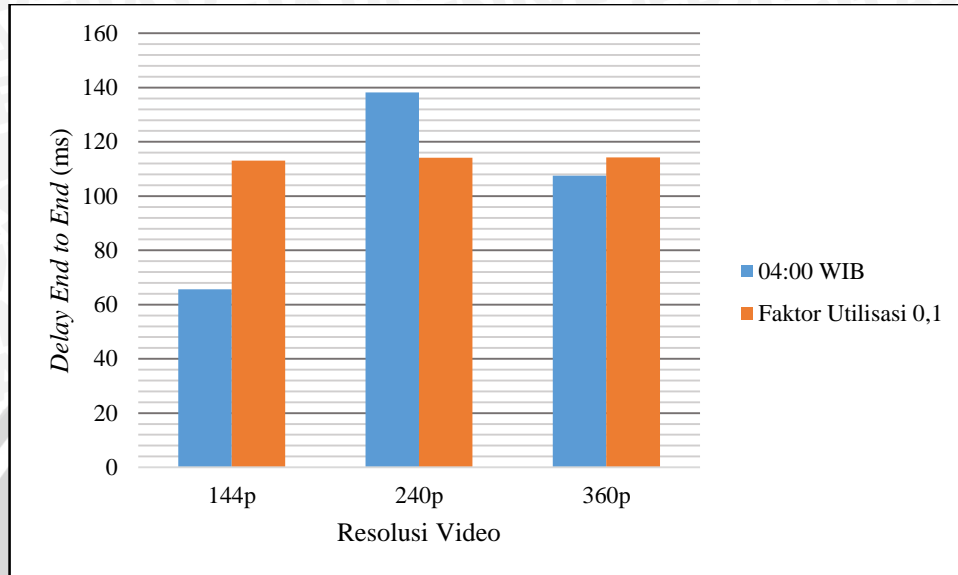
#### 4.3.3 Perbandingan Hasil Pengamatan dan Hasil Perhitungan

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

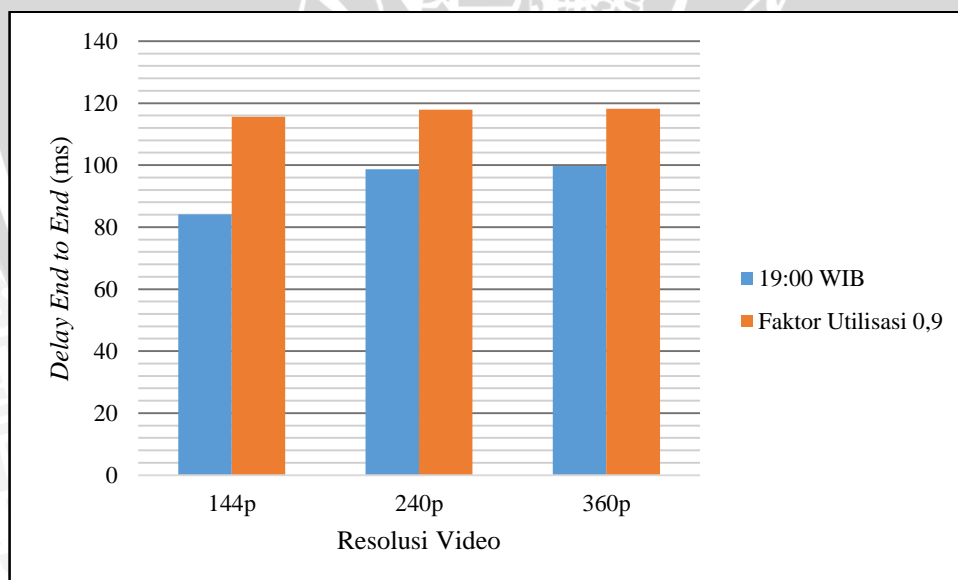
Tabel 4.38 Perbandingan *Delay End to End*

No.	Faktor Utilisasi	<i>Delay End to End</i> (ms)					
		Video 144p		Video 240p		Video 360p	
		Teori	Praktek	Teori	Praktek	Teori	Praktek
1	0,1	113,05	65,65	114,14	138,17	114,31	107,58
2	0,9	115,65	84,09	117,89	98,70	118,18	99,74

Tabel 4.48 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 4.15 Grafik Perbandingan Nilai *Delay End to End* berdasarkan Teori dan Pengamatan untuk Jam Renggang (04:00 WIB) dan Faktor Utilisasi 0,1

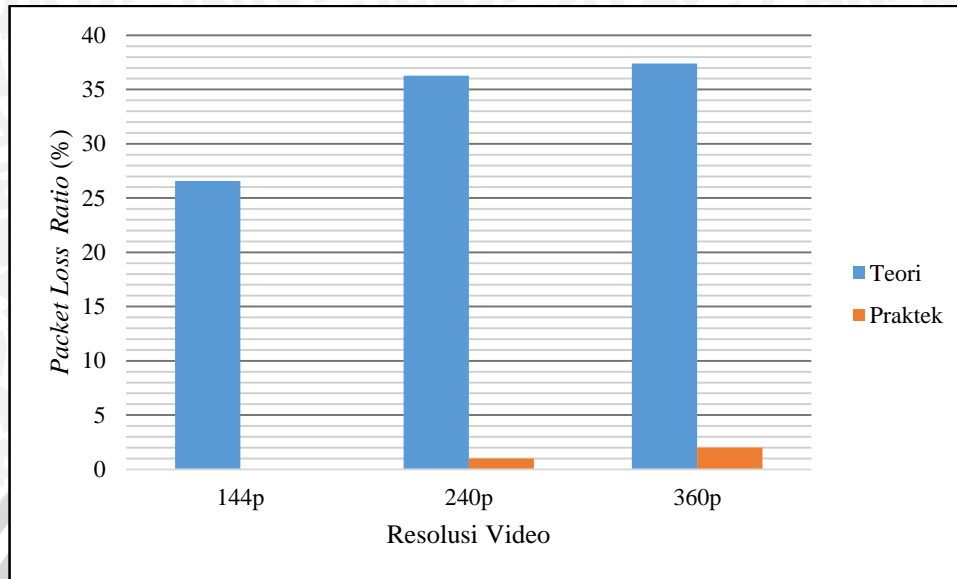


Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai *Delay End to End* berdasarkan Teori dan Pengamatan untuk Jam Sibuk (19:00 WIB) dan Faktor Utilisasi 0,9

Tabel 4.39 Perbandingan *Packet Loss*

No.	Resolusi Video	Probability Packet Loss (%)	Packet Loss (%)
1	144p (256x144)	26,5612	0.4

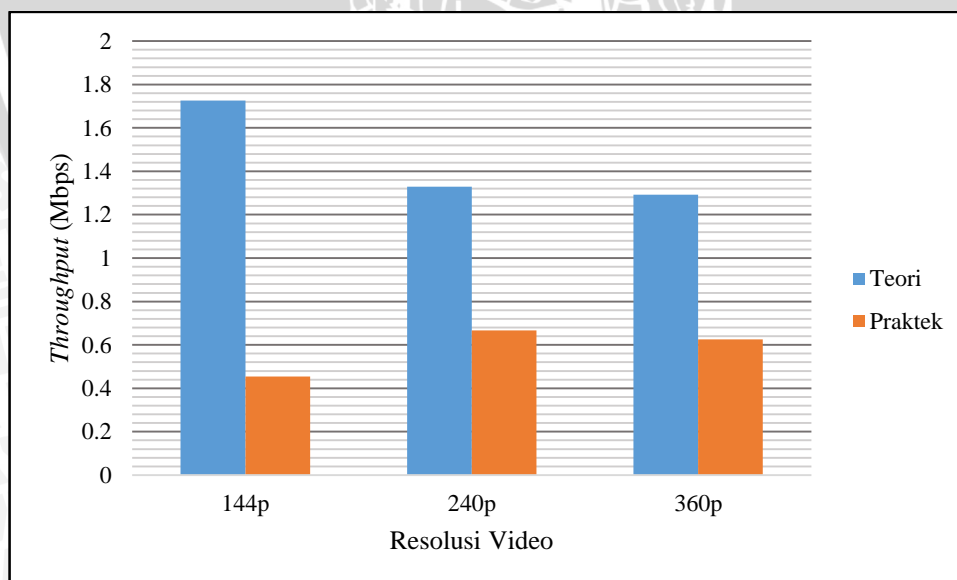
2	240p (426x240)	36,2912	0.6
3	360p (640x360)	37,2945	1.83



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai *Packet Loss* berdasarkan Teori dan Pengamatan

Tabel 4.40 Perbandingan *Throughput*

No.	Resolusi Video	<i>Throughput</i> (Mbps)	
		Teori	Praktek (Jam Sibuk)
1	144p (256x144)	1,726319	0,4544
2	240p (426x240)	1,328675	0,6661
3	360p (640x360)	1,292722	0,6261



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Nilai *Throughput* berdasarkan Teori dan Pengamatan

Dari hasil perbandingan dapat diketahui bahwa:

- 1) Terjadi perbedaan nilai antara hasil pengamatan dengan hasil perhitungan secara teoretis. Hal ini dapat terjadi karena berbagai hal, diantaranya:

Tabel 4.41 Perbedaan Pengamatan dan Perhitungan

No.	Alasan	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, 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.	Jumlah <i>Node</i>	Jumlah <i>node</i> yang dilewati berbeda-beda untuk tiap paket data.	Jumlah <i>node</i> tetap, sehingga perhitungan secara teoretis mudah.

- 2) Nilai *packet loss* berdasarkan perhitungan adalah nilai kemungkinan (*probability*) *packet loss* pada penelitian. Pada video dengan resolusi 144p memiliki nilai probabilitas *packet loss* 26,56%, namun pada pengamatan didapatkan nilai *packet loss* rata-rata sebesar 0.4%. Pada video dengan resolusi 240p memiliki nilai probabilitas *packet loss* sebesar 36,29%, namun *packet loss* yang terjadi rata-rata adalah 0.6%. Pada video dengan resolusi 360p memiliki probabilitas *packet loss* sebesar 37,29%, namun *packet loss* yang terjadi rata-rata sebesar 1.83%.

#### 4.3.4 Kualitas Layanan VOD menggunakan HSDPA di Wilayah Urban Kota Malang

- 1) Untuk 3 file video dengan resolusi berbeda (144p. 240p. 360p), Besarnya nilai *delay end to end* dari hasil perhitungan saat faktor utilisasi bernilai 0,1 hingga faktor utilisasi bernilai 0,9 sesuai dengan standar ITU-T G.1010, yakni *delay end to end* < 10 s. Sedangkan berdasarkan hasil pengamatan, nilai *delay end to end* layanan VOD untuk ketiga resolusi video pada HSDPA memenuhi standar ITU-T G.1010 (*delay end to end* < 10 s).

- 2) Nilai *packet loss* untuk file resolusi video 360p berdasarkan hasil perhitungan tidak memenuhi standar ITU.T G.1010 karena memiliki *Packet Loss Ratio* (PLR)  $> 1\%$ . Berdasarkan pengamatan, nilai *packet loss* untuk video dengan resolusi 144p dan 240p sesuai dengan standar ITU.T G.1010 karena memiliki  $PLR \leq 1\%$ .

