

**PERFORMANSI VIDEO CONFERENCE PADA JARINGAN
LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :
I GUSTI BAGUS WIRA SATYA A.P.
NIM. 0710630004-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

PENGANTAR

Segenap puji syukur penulis panjatkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa karena dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Performansi *Video conference* pada Jaringan *Long Term Evolution (LTE)*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis mengucapkan terima kasih bagi berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Kepada :

1. Keluarga tercinta,
Bapak I Gusti Gede Suradnyana, Ibu Sri Handayani, Kakakku I Gusti Ayu Widya, Adik I Gusti Ayu Artha dan I Gusti Ayu Atyantha yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini.
2. Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc. dan Ibu Rusmi Ambarwati, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.
3. Bapak DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc. selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
5. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.
6. Teman-teman kost “JUPITER 6” Teja, Komang, Purna, Wisesa, Penjor, Lukman dan Made.
7. Keluarga besar Angkatan 2007 (Core), terima kasih atas persahabatan, semangat, dan untuk segalanya.
8. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidak sempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Kontribusi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 LTE (<i>Long Term Evolution</i>).....	5
2.2.1 Spesifikasi Teknis LTE	6
2.2.2 Arsitektur Jaringan LTE	7
2.2.3 Arsitektur RAN (<i>Radio Access Network</i>).....	9
2.2.4 Arsitektur Radio Protokol	10
2.2.5 Alokasi Spektrum Pada LTE	11
2.2.6 Teknik Modulasi Pada LTE	12
2.3 <i>Video Conference</i>	15
2.3.1 Kompresi Audio	16
2.3.2 Kompresi Video	16
2.3.3 <i>Coder Decoder</i> (CODEC)	17
2.3.4 Protokol <i>Video Conference</i>	18

2.3.5	Perhitungan <i>Payload Video Conference</i>	22
2.4	Parameter Performansi <i>Video Conference</i> Pada LTE	23
2.4.1	<i>Delay end to end</i>	23
2.4.2	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	33
2.4.3	<i>Throughput</i>	37
BAB III METODOLOGI		39
3.1	Pengambilan Data	39
3.2	Pengkajian Data.....	40
3.3	Pengolahan Data.....	40
3.4	Kerangka Acuan Berpikir.....	44
3.5	Pembahasan dan Hasil.....	45
3.6	Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Umum	48
4.2	Analisis Performansi <i>Video Conference</i> pada LTE	49
4.2.1	Analisis <i>Delay End to End Video Conference</i> pada LTE	50
4.2.2	Analisis Probabilitas <i>Packet Loss Video Conference</i> Pada LTE.....	76
4.2.3	Analisis <i>Throughput Video Conference</i> pada LTE	81
BAB V PENUTUP		86
5.1	Kesimpulan.....	86
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA		88
LAMPIRAN		89



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1	Arsitektur jaringan LTE 7
Gambar 2.2	Perbandingan RAN arsitektur antara LTE dan WCDMA/HSPA 10
Gambar 2.3	<i>User and control plane protocol stack</i> 10
Gambar 2.4	Sinyal Pada <i>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)</i> 13
Gambar 2.5	<i>Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) constellation</i> 14
Gambar 2.6a	16-QAM <i>constellation</i> 15
Gambar 2.6b	64-QAM <i>constellation</i> 15
Gambar 2.7	Struktur Layer TCP/IP 19
Gambar 2.8	Format Header RTP 20
Gambar 2.9	Format Header UDP 21
Gambar 2.10	Format Header IP 22
Gambar 2.11	<i>Delay end to end</i> pada jaringan LTE 24
Gambar 2.12	Model antrian M/M/1 31
Gambar 2.13	<i>Link level transmission between station A and B</i> 37
Gambar 2.14	<i>Go-Back-N analysis</i> 38
Gambar 3.1	Langkah penyusunan penelitian 39
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan <i>Delay end to end</i> 41
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan Probabilitas <i>Packet Loss</i> 43
Gambar 3.4	Diagram Alir Perhitungan <i>Throughput</i> 44
Gambar 3.5	Diagram Alir Proses Analisis <i>Delay end to end</i> 45
Gambar 3.6	Diagram Alir Proses Analisis Probabilitas <i>Packet Loss</i> 46
Gambar 3.7	Diagram Alir Proses Analisis <i>Throughput</i> 47
Gambar 4.1	Konfigurasi <i>video conference</i> pada jaringan LTE 49
Gambar 4.2	Format paket data <i>video conference</i> pada jaringan LTE 49
Gambar 4.3	<i>Delay end to end</i> pada jaringan LTE 50
Gambar 4.4	Paket data <i>video conference</i> 51
Gambar 4.5	Analisis <i>delay</i> enkapsulasi dan dekapsulasi pada jaringan LTE 52
Gambar 4.6	Paket data pada UE 53

Gambar 4.7	Format Fragmentasi MTU <i>Ethernet</i>	53
Gambar 4.8	Format paket data pada eNodeB.....	55
Gambar 4.9	Format paket data pada S-GW	57
Gambar 4.10	Format paket data pada PDN-GW.....	58
Gambar 4.11	Model antrian M/M/1	62
Gambar 4.12	Hubungan Antara Faktor <i>Utilisasi</i> Dengan Jumlah <i>User</i>	63
Gambar 4.13a	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>delay end to end</i> dengan jarak UE ke eNodeB 2000 m	71
Gambar 4.13b	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>delay end to end</i> dengan jarak UE ke eNodeB 10000 m	71
Gambar 4.13c	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>delay end to end</i> dengan jarak UE ke eNodeB 20000 m	72
Gambar 4.13d	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>delay end to end</i> dengan jarak UE ke eNodeB 30000 m	72
Gambar 4.13e	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>delay end to end</i> dengan jarak UE ke eNodeB 40000 m	73
Gambar 4.14a	Grafik hubungan antara jarak terhadap <i>delay end to end</i> dengan faktor utilisasi 0,1	73
Gambar 4.14b	Grafik hubungan antara jarak terhadap <i>delay end to end</i> dengan faktor utilisasi 0,2.....	74
Gambar 4.14c	Grafik hubungan antara jarak terhadap <i>delay end to end</i> dengan faktor utilisasi 0,3.....	74
Gambar 4.14d	Grafik hubungan antara jarak terhadap <i>delay end to end</i> dengan faktor utilisasi 0,4.....	75
Gambar 4.14e	Grafik hubungan antara jarak terhadap <i>delay end to end</i> dengan faktor utilisasi 0,5.....	75
Gambar 4.15	Grafik hubungan jarak antara UE dan eNodeB dengan probabilitas <i>packet loss</i>	80
Gambar 4.16a	Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap <i>throughput</i> sistem dengan jarak UE ke eNodeB 2000 m	83

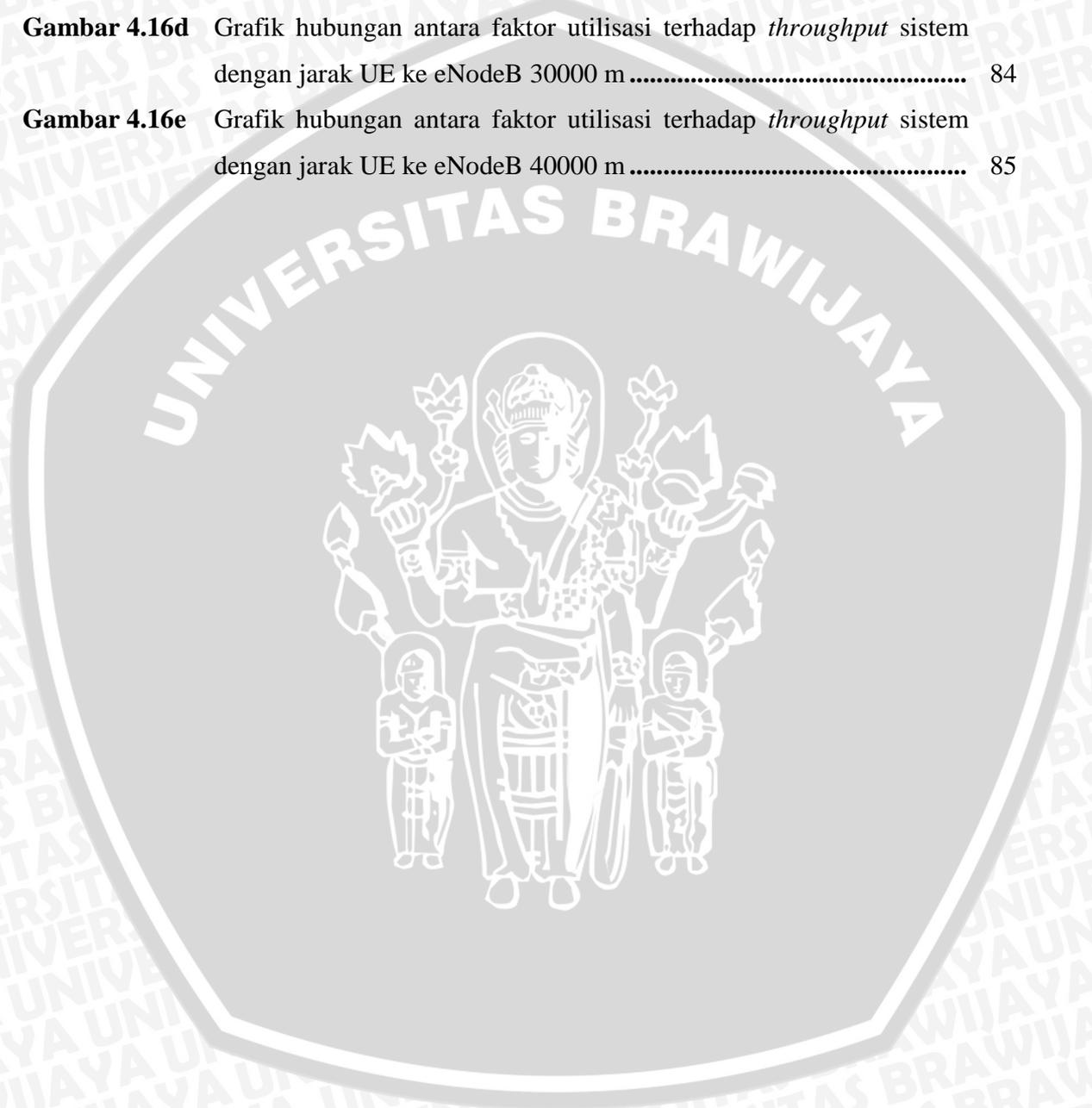


Gambar 4.16b Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 10000 m 83

Gambar 4.16c Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 20000 m 84

Gambar 4.16d Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 30000 m 84

Gambar 4.16e Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 40000 m 85



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis LTE	6
Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi LTE	12
Tabel 2.3 Kompresi suara	16
Tabel 2.4 Audio dan video Coding.....	18
Tabel 4.1 Spesifikasi CODEC	48
Tabel 4.2 Header Pada Jaringan LTE	52
Tabel 4.3 Hasil Analisis <i>Delay</i> Propagasi dari UE ke eNodeB Dengan Jarak Yang Berbeda.....	61
Tabel 4.4 Hasil perhitungan <i>Delay</i> Propagasi Total Dengan Jarak UE ke eNodeB Berbeda.....	62
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Delay Antrian Pada UE Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda.....	64
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Delay Antrian Pada eNodeB Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda	65
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Delay Antrian Pada S-GW Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda	66
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Delay Antrian Pada PDN-GW Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda	67
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Delay Antrian Pada Server Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda	68
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Delay Antrian Total Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda.....	69
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan <i>Delay end to end Video Conference</i> Pada Jaringan LTE dengan UE Jarak ke eNodeB Serta Faktor Utilisasi yang Berbeda	70
Tabel 4.12 Parameter <i>Link Budget</i> LTE	77
Tabel 4.13 Probabilitas <i>Bit Error</i> Pada jaringan Untuk Jarak Yang Berbeda.....	78
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Probabilitas <i>Packet Loss</i> dengan Jarak antara UE dan eNodeB yang Berubah-ubah.....	79

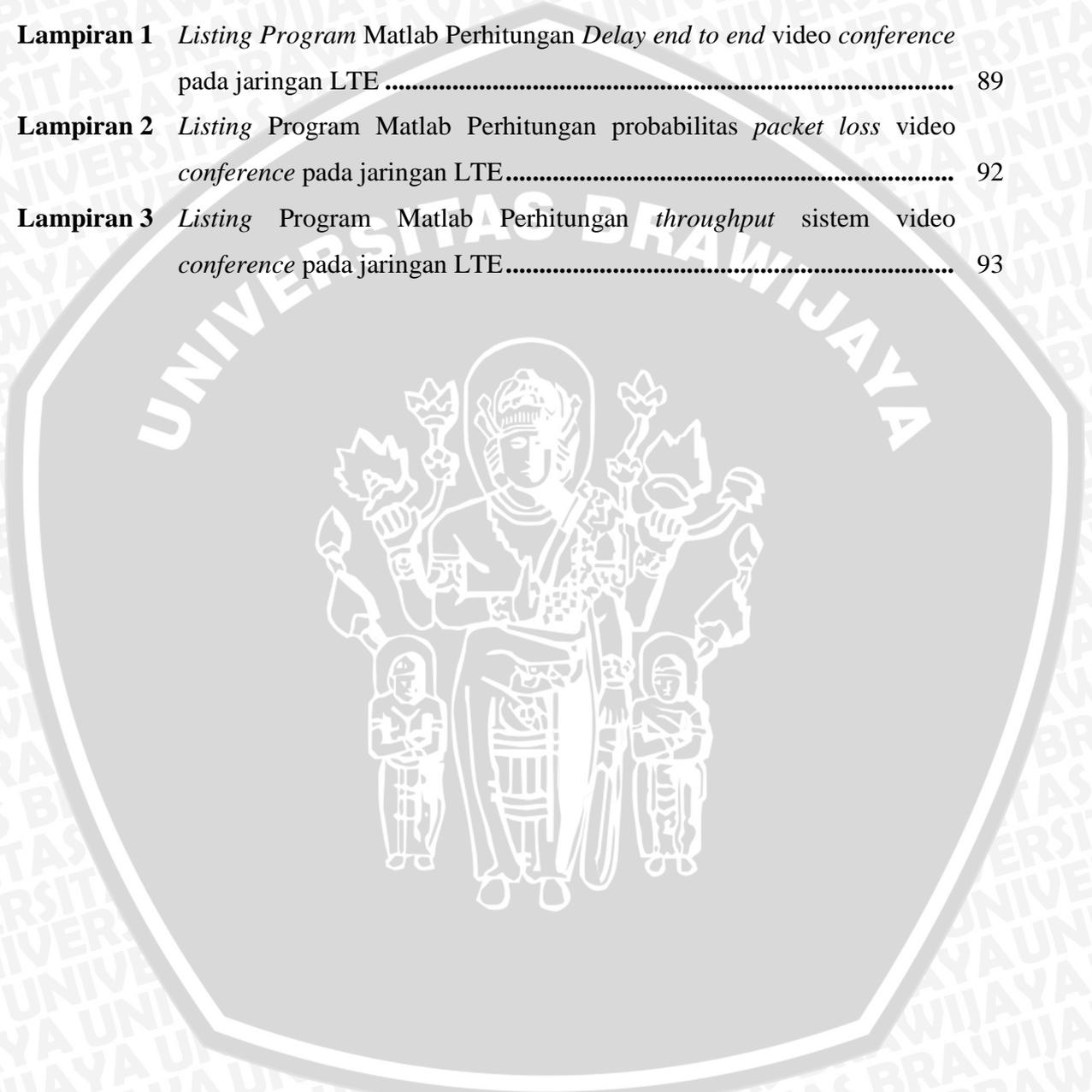
Tabel 4.15 Prosentase *Packet Loss* Jarak antara UE dan eNodeB yang Berubah-ubah 80

Tabel 4.16 Hasil perhitungan nilai *throughput video conference* pada jaringan LTE dengan Jarak UE ke eNodeB antara 2000m sampai 40000m untuk faktor utilisasi yang berbeda 82



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1 <i>Listing Program Matlab Perhitungan Delay end to end video conference pada jaringan LTE</i>	89
Lampiran 2 <i>Listing Program Matlab Perhitungan probabilitas packet loss video conference pada jaringan LTE.....</i>	92
Lampiran 3 <i>Listing Program Matlab Perhitungan throughput sistem video conference pada jaringan LTE.....</i>	93



ABSTRAK

I GUSTI BAGUS WIRA SATYA A.P., Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *PERFORMANSI VIDEO CONFERENCE PADA JARINGAN LONG TERM EVOLUTION (LTE)*, Dosen Pembimbing : Ir. Wahyu Adi P., MSc. dan Rusmi Ambarwati, ST., MT.

Perkembangan dunia telekomunikasi yang relatif cepat menghasilkan teknologi-teknologi baru. *Video conference* merupakan suatu layanan yang bisa memenuhi keinginan seseorang untuk melakukan komunikasi dua arah secara *realtime*. *Video conference* membutuhkan *bandwidth* yang lebar untuk melakukan komunikasi antar user atau multi user dengan *delay* yang seminimal mungkin. Sehingga teknologi LTE merupakan satu solusi tepat untuk mendukung sistem *video conference* ini. Karena memiliki *bandwidth* yang mencapai 100 Mbps serta mendukung *mobilitas* pengguna sistem *video conference* dengan memberikan *latency* yang rendah.

Hal inilah yang mendasari penelitian mengenai performansi *video conference* pada jaringan LTE yang meliputi parameter *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput* sistem.

Untuk mengetahui performansi *video conference* pada jaringan LTE, maka dilakukan dengan perhitungan secara matematis terhadap nilai beberapa parameter antara lain *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*. Dalam penelitian ini juga akan dibahas mengenai jarak maksimum antara user dengan eNodeB serta jumlah user maksimum sesuai dengan standar (ITU.T G.114).

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan diperoleh bahwa penempatan lokasi user dengan eNodeB akan berpengaruh terhadap *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput* sistem. Semakin jauh penempatan lokasi user dari eNodeB maka *delay end to end* semakin besar, probabilitas *packet loss* semakin besar dan *throughput* sistem menurun. Selain itu jumlah user atau pemakai akan berpengaruh terhadap faktor utilisasi. Sehingga semakin besar faktor utilisasi maka *delay end to end* semakin besar, probabilitas *packet loss* semakin besar dan *throughput* sistem menurun. Nilai *delay end to end* terendah adalah 343,507 ms dengan faktor utilisasi 0,02 untuk penempatan lokasi antara user dengan eNodeB sejauh 2000m, serta nilai *delay end to end* tertinggi yaitu 967,663 ms dengan faktor utilisasi 0,98 untuk penempatan lokasi antara user dengan eNodeB sejauh 40000m. Nilai probabilitas *packet loss* tertinggi yaitu $4,17440 \times 10^{-4}$ terjadi pada saat penempatan lokasi antara user dengan eNodeB sejauh 20000m dan yang terendah yaitu $53,8358 \times 10^{-4}$ pada jarak 40000m. Nilai *throughput* tertinggi yaitu 3,03783 Mbps pada saat penempatan lokasi antara user dengan eNodeB sejauh 2000m dengan faktor utilisasi 0,02 dan nilai *throughput* terendah yaitu 2,39866 Mbps pada jarak 40000m dengan faktor utilisasi 0,98. Sesuai dengan standar (ITU.T G.114) dengan nilai *delay* 400 ms maka, penempatan lokasi maksimum antara user dengan eNodeB adalah 40000m untuk jumlah user 40.

Kata Kunci : *Video conference, LTE, delay end to end, probabilitas packet loss, throughput*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi telah membawa dampak yang begitu hebat terhadap kehidupan manusia. Sehingga merasa memiliki kebutuhan untuk mengetahui hal-hal baru menyangkut perkembangan dunia. Sebagai pengguna layanan informasi dan komunikasi menginginkan sesuatu yang *realtime* dan praktis. Ditambah dengan kebutuhan untuk melakukan komunikasi secara bergerak. Salah satu aplikasi yang sering digunakan adalah *video conference*.

Video conference adalah suatu teknologi telekomunikasi interaktif yang memungkinkan dua atau lebih tempat untuk saling berhubungan *via* transmisi audio dan video melalui dua jurusan yang dilakukan secara serempak. Dalam perkembangannya *Video conference* akan menjembatani ruang dan waktu untuk mengadakan rapat untuk keperluan bisnis, termasuk untuk keperluan perusahaan, perdagangan. Dengan adanya *Video conference* maka setiap orang dapat saling berhubungan dengan tempat lain tanpa perlu berkumpul di suatu tempat. Teknologi ini merupakan layanan *realtime* dimana *user* seolah-olah bertatap muka langsung melalui *handset* yang digunakan. Selain itu layanan ini juga memberikan kemudahan dalam melakukan komunikasi jarak jauh. Sistem *video conference* ini sangat membutuhkan *bandwidth* yang lebar untuk mendukung komunikasi antar *user* maupun *multiuser*. Selain itu *delay* yang terjadi diharapkan seminimal mungkin agar komunikasi bisa berlangsung secara *realtime*. Sehingga hadirnya teknologi LTE (*Long Term Evolution*) untuk mendukung sistem *video conference* ini.

LTE (*Long Term Evolution*) merupakan teknologi radio terbaru dalam dunia komunikasi bergerak (*mobile*). Beberapa keunggulan LTE yaitu efisiensi spektrum yang tinggi, *latency* yang rendah, mendukung *scalable bandwidth* mulai 1.4 MHz sampai 20 MHz, menggunakan teknologi MIMO (*Multi Input Multi Output*), menggunakan teknik OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) untuk *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) untuk *uplink* serta mempunyai kecepatan data *downlink* sebesar 100 Mbps dan *uplink* sebesar 50 Mbps. (Jim Zyren, 2007)

Teknologi LTE ini mampu mendukung *mobilitas* pengguna sistem *video conference* karena memiliki beberapa keunggulan antara lain seperti *latency* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk tiap bit berjalan dari ujung jaringan satu ke ujung jaringan yang lain, sehingga dengan rendahnya nilai *latency* maka komunikasi bisa berjalan secara *realtime* tanpa menunggu *buffering* yang terlalu lama pada saat melakukan *video conference*. Selain itu tersedianya *bandwidth* sebesar 50 sampai 100 Mbps diharapkan mampu memenuhi kebutuhan *bandwidth* untuk kanal *video* dan kanal *audio* yang hanya sebesar 36 Kbps untuk komunikasi antar *user*. Sehingga standar yang digunakan adalah 3GPP *release 8*, karena merupakan standar yang telah dikembangkan oleh 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*).

Untuk mengetahui performansi *video conference* bila digunakan pada jaringan LTE, maka akan dilakukan analisis terhadap beberapa parameter jaringan diantaranya adalah, *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang diatas maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana teknik dan sistem *video conference*?
2. Bagaimana konfigurasi jaringan LTE?
3. Bagaimana pengaruh jumlah *user*, jarak antara *user* dengan eNodeB terhadap sistem *video conference* pada jaringan LTE?
4. Bagaimana performansi jaringan LTE yang digunakan untuk aplikasi *video conference* antara lain seperti *throughput*, *delay end to end*, dan probabilitas *packet loss*?

1.3 Ruang Lingkup

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis performansi *video confrence* pada jaringan LTE. Aspek kajian terhadap permasalahan yang telah dirumuskan, dibatasi pada:

1. Standar LTE yang digunakan adalah 3GPP *release 8*.
2. Parameter jaringan yang akan dibahas berupa seperti *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

3. Aplikasi *video conference* menggunakan CODEC H.264 untuk *video* dan CODEC G.711 untuk *audio*.
4. Aplikasi video yang digunakan adalah *video conference*.
5. Analisis performansi *video conference* pada sisi end user.
6. Teknik modulasi yang digunakan dalam perhitungan adalah QPSK.
7. Kondisi *Line of Sight* (LOS).
8. Analisis dilakukan secara perhitungan berdasarkan data sekunder yang telah ditentukan.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengkaji performansi sistem *video conference* pada jaringan LTE.

1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi yang dapat diberikan dengan penulisan skripsi ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran mengenai teknologi komunikasi seluler khususnya 3GPP *Long Term Evolution* (LTE),
- Masyarakat memiliki alternatif pilihan untuk menikmati layanan komunikasi seluler dengan cakupan layanan yang lebih baik dan dapat meningkatkan kepuasan serta kenyamanan dalam penggunaan layanan komunikasi seluler, terutama akses untuk *video conference*.
- Bagi Penyelenggara Layanan Telekomunikasi, dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam meningkatkan performansi layanan komunikasi seluler, khususnya 3GPP *Long Term Evolution* (LTE).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab yang terdiri dari :

- **Bab I Pendahuluan**

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika penulisan.

- **Bab II Tinjauan Pustaka**

Membahas tentang teori dasar tentang LTE, *video conference*, komponen dan protokol yang digunakan untuk menghitung parameter jaringan yang digunakan untuk mengetahui performansi *video conference* pada jaringan LTE.

- **Bab III Metodologi Penelitian**

Membahas tentang metode yang digunakan dalam mengkaji analisis performansi layanan *video conference* pada jaringan LTE yang terdiri dari metode pengambilan data, pengkajian data, pengolahan data, dan analisis data serta pemberian kesimpulan.

- **Bab IV Analisa dan Pembahasan**

Melakukan analisis terhadap performansi *video conference* pada jaringan LTE berdasarkan beberapa parameter jaringan seperti *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

- **Bab V Penutup**

Memberikan kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang diperoleh.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkembangan teknologi telekomunikasi yang begitu pesat sangat ditujukan untuk mendukung mobilitas manusia yang cukup tinggi. Sehingga munculah beberapa aplikasi multimedia yang digunakan dalam melayani kebutuhan komunikasi secara bergerak. Salah satu aplikasi yang digunakan adalah *video conference*. Teknologi ini memungkinkan dua atau lebih tempat untuk saling berhubungan secara interaktif *via* transmisi *audio* dan *video* melalui dua jurusan yang dilakukan secara serempak. Aplikasi ini bersifat *realtime* dimana *user* seolah-olah bertatap muka langsung melalui *handset* yang digunakan.

Salah satu jaringan yang dapat mendukung layanan *video conference* adalah jaringan LTE (*Long Term Evolution*) dengan menggunakan standar *3GPP release 8* sesuai dengan pengembangan oleh *3GPP (The 3rd Generation Partnership Project)*. Teknologi ini mampu mendukung mobilitas pengguna sistem *video conference*, karena memiliki nilai *latency* yang rendah tidak membutuhkan waktu *buffering* yang lama. Ketersediaan *bandwith* sebesar 100 Mbps pada kanal *downlink* dan 50 Mbps pada kanal *uplink* diharapkan mampu memenuhi kebutuhan *bandwidth* untuk kanal *audio* dan *video* yang sebesar 36 Kbps dalam komunikasi antar *user*.

Pada bab ini akan dijelaskan teori penunjang mengenai teknologi LTE dan sistem *video conference* antara lain seperti pengertian jaringan LTE, teknik dan sistem *video conference* serta parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui performansi LTE.

2.2 LTE (*Long Term Evolution*)

LTE disebut juga sebagai E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) dan diperkenalkan oleh *3GPP* sebagai *release 8*. LTE adalah teknologi telekomunikasi seluler yang merupakan pengembangan dari teknologi UMTS/WCDMA/HSPA. LTE menggunakan spesifikasi *air interface* yang baru untuk meningkatkan kecepatan data dibandingkan dengan HSPA.

Perbedaan utama antara LTE dengan teknologi sebelumnya adalah penggunaan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) pada sisi *uplink*, sehingga LTE memiliki kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan tinggi mencapai 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*. Peningkatan kecepatan ini juga disebabkan kemampuan LTE menggunakan teknologi MIMO. LTE dirancang untuk meningkatkan *throughput*, meningkatkan kapasitas *base station*, mengurangi *latency*, dan beroperasi baik untuk mobilitas penuh.

2.2.1 Spesifikasi Teknis LTE

Standar LTE yang digunakan untuk komunikasi seluler mengacu pada standar yang telah ada yaitu 3GPP *release 8*. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis LTE

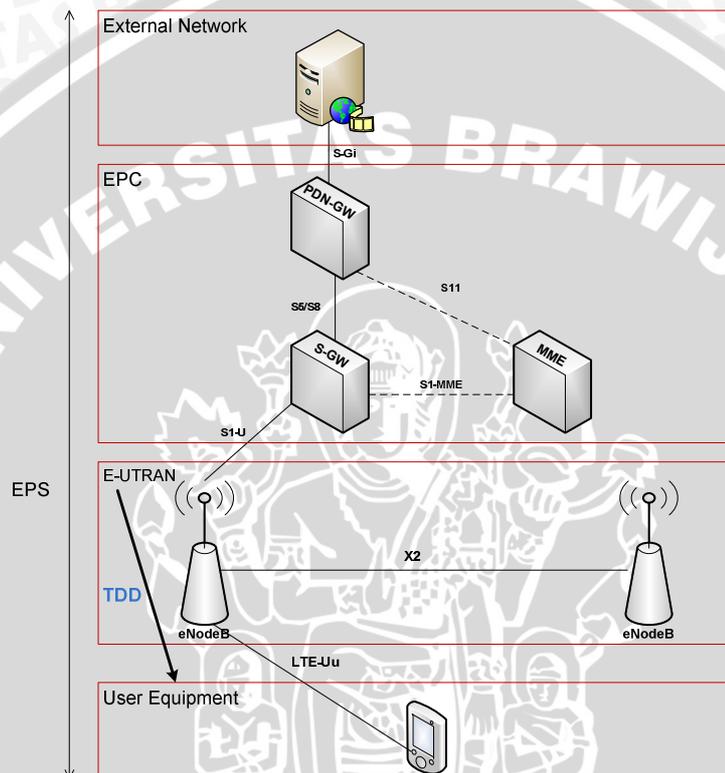
Parameter Spesifikasi Teknis	Jenis/Nilai
<i>Peak data rate</i>	100 Mbit/s for <i>downlink</i> ; 50 Mbit/s for <i>uplink</i>
<i>Average user throughput per MHz than HSPA Release 6</i>	3-4 higher for <i>downlink</i> ; 2-3 higher for <i>uplink</i>
<i>Mobility</i>	0-15 km/h (optimum); 15-120 km/h (high performance guaranteed); 120-350 km/h (connection maintained)
<i>Bandwidth</i>	1.25-20 MHz
<i>Spectrum allocation</i>	Operation in paired spectrum (FDD) and unpaired spectrum (TDD) should be supported
<i>Multiple access</i>	OFDMA (<i>downlink</i>) SC-FDMA (<i>uplink</i>)
MIMO	<i>Downlink</i> 2x2, 4x2, 4x4 <i>Uplink</i> 1x2, 1x4
<i>Modulation</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>Latency</i>	5ms user-plane latency at IP layer, for one-way 100 ms control-plane latency from idle to active state
<i>User per cell</i>	At least 200 at 5MHz bandwidth At least 400 at bandwidth > 5MHz

(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

2.2.2 Arsitektur Jaringan LTE

Keseluruhan jaringan LTE disebut juga dengan 3GPP EPS (*Evolved Packet Access*).

Arsitektur jaringan LTE ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Arsitektur LTE

(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)

- UE (*User Equipment*)

UE merupakan perangkat yang digunakan pada sisi pengguna untuk berkomunikasi. UE terdiri dari *Terminal Equipment* (TE) yang berfungsi sebagai terminal radio yang digunakan untuk komunikasi lewat radio dan *Universal Subscriber Identity Module* (USIM) yang berfungsi sebagai bukti dan identitas pengguna serta untuk memperoleh *security key* dalam melindungi *interface* transmisi radio (H. Holma dan A. Toskala, 2009).

- E-UTRAN (*Evolved – UMTS Terrestrial Radio Access Network*)

Jaringan akses LTE yang disebut E-UTRAN adalah jaringan radio akses yang menyediakan koneksi antara UE dan EPC (*Evolved Packet Core*). E-UTRAN hanya terdiri dari eNB (*Evolved Node B*). eNB sendiri adalah unit fisik yang berfungsi untuk mengirim/menerima frekuensi pada sel. Perangkat ini sama dengan BTS (*Base Transceiver Station*) dalam suatu jaringan GSM.

UE berhubungan dengan eNB dan selanjutnya eNB berhubungan dengan EPC serta yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.1. Untuk trafik pengguna biasa, tidak ada pengontrol terpusat pada E-UTRAN, maka arsitektur E-UTRAN bisa dikatakan *flat*. [Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, 2009]

- EPC (*Evolved Packet Access*)

EPC berfungsi untuk melakukan pengontrolan secara menyeluruh dari eNodeB dan pembentukan *bearer*. EPC terdiri dari :

1. PCRF (*Policy Control and Charging Rules Function*)

PCRF berfungsi untuk mengontrol kebijakan pembuatan keputusan dan kemampuan aliran data berdasarkan PCEF (*Policy Control Enforcement Function*) yang terletak pada PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*). PCRF menyediakan otorisasi QoS (*Quality Of Service*) yang menentukan bagaimana aliran data tertentu akan diperlakukan dalam PCEF dan memastikan bahwa hal ini sesuai dengan profil pengguna berlangganan.

2. HSS (*Home Subscription Server*)

HSS berfungsi untuk menyimpan data dan informasi mengenai pelanggan agar tersimpan secara permanen. HSS juga berisi rekaman lengkap lokasi terkini dari *user*.

3. PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*)

PDN-GW merupakan jangkar untuk mobilitas antara 3GPP dengan teknologi *non-3GPP* seperti WiMAX, 3GPP2 dan WLAN (*Wireless Local Area Network*) melalui beberapa *interface*. PDN-GW menyediakan konektivitas dengan jaringan paket data eksternal. Selain itu PDN-WG bertanggung jawab untuk mengalokasikan alamat IP UE,

pengisian aliran data berdasarkan aturan dari PCRF dan menyaring *downlink* paket IP *user* kedalam *bearer* QoS yang berbeda.

4. S-GW (*Serving Gateway*)

Semua pengguna paket IP dikirimkan melalui S-GW, yang berfungsi sebagai jangkar untuk mobilitas data *bearer* bila UE bergerak di antara eNodeB. S-GW juga bertanggung jawab dalam menetapkan *routing* dan meneruskan paket data *user* dengan *interface* S-1, menangani kompresi *header* IP serta enkripsi data *user*.

5. MME (*Mobility Management Entity*)

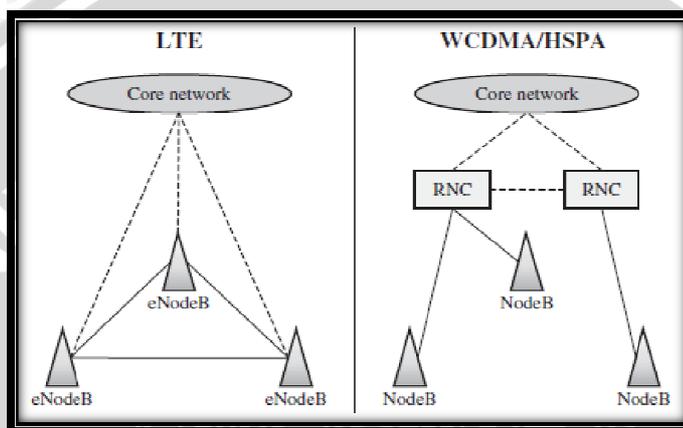
MME adalah *node* kontrol yang memproses sinyal antara UE dan CN (*Core Network*)/EPC. Selain itu MME juga berfungsi sebagai autentifikasi dan keamanan serta *mobility management*. Protokol yang berjalan antara UE dan CN dikenal sebagai protokol *Non-Access Stratum* (NAS). [Stefania Sesia, Issam Toufik dan Matthew Baker, 2009 : 25]

- *Interface* jaringan

1. *Interface* LTE-Uu, yaitu *interface* yang menghubungkan eNodeB dan UE.
 2. *Interface* X2, yaitu *interface* yang menghubungkan antar eNodeB.
 3. *Interface* S1, yaitu *interface* yang menghubungkan EPC dan eNodeB.
 4. *Interface* S1-MME, yaitu *interface* yang menghubungkan MME dan eNodeB.
 5. *Interface* S1-U, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan eNodeB.
 6. *Interface* SGi, yaitu *interface* yang menghubungkan PDN-GW dan jaringan paket data.
 7. *Interface* S5/S8, yaitu *interface* yang menghubungkan S-GW dan PDN-GW.
 8. *Interface* S11, *interface* yang menghubungkan MME dan S-GW.
- [Mustafa Ergen, 2009 : 388]

2.2.3 Arsitektur RAN (*Radio Access Network*)

Perbandingan arsitektur RAN (*Radio Access Network*) dari LTE dan WCDMA/HSPA ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perbedaan yang signifikan antara WCDMA/HSPA dan LTE adalah dalam LTE tidak mendukung *macro diversity*, yang merupakan permasalahan untuk WCDMA/HSPA. Pada LTE, *Radio Network Controller* (RNC) dihilangkan sehingga dapat mengurangi *latency* di RAN. Hal ini menyebabkan LTE memindahkan kompleksitas ke eNB.

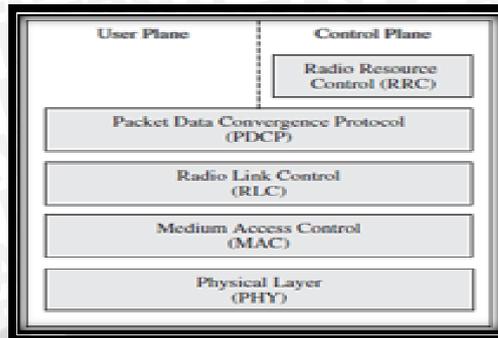


Gambar 2.2 Perbandingan RAN arsitektur antara LTE dan WCDMA/HSPA
(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Selain pengolahan lapisan fisik, eNB pada LTE juga mempunyai tugas untuk mengatur mobilitas dan manajemen sumber daya radio, yang keduanya termasuk dalam tugas RNC pada WCDMA/HSPA. eNB dalam RAN LTE masing-masing dihubungkan secara langsung satu sama lain dan tugas untuk *handover* diambil oleh eNB. Dalam WCDMA/HSPA, tugas ini dilakukan oleh RNC. [K. Fazel dan S. Kaiser, 2008]

2.2.4 Arsitektur Radio Protokol

Arsitektur radio protokol pada LTE dibagi menjadi *user plane* dan *control plane*. *User plane* membawa semua informasi pengguna dari suara ke data sementara *control plane* digunakan untuk sinyal kontrol yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 User and control plane protocol stack
(Sumber : K. Fazel dan S. Kaiser, 2008)

Semua protokol yang terletak di eNB dan terminal *mobile station* (UE). Fungsi dari masing-masing lapisan protokol dirangkum seperti berikut ini.

- RRC (*Radio Resource Control*)

RRC adalah bagian dari *control plane* yang mengatur kinerja protokol PDCP, RLC, MAC, dan PHY layer 1 dan layer 2. Fungsi utama dari RRC adalah *admission control*, manajemen *handover* dan QoS, mengatur dan melaporkan pengukuran stasiun terminal.
- PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*)

Fungsi utama dari PDCP pada *user plane* adalah mengompres *header* IP, pengiriman data dari *user* dan *chipering*. Pada *control plane*, PDCP bertanggung jawab dalam fungsi pengendalian pengiriman data dan *ciphering*.
- RLC (*Radio Link Control*)

Segmentasi dan *reassembly* paket data dari *layer* yang lebih tinggi serta perbaikan kesalahan melalui ARQ adalah fungsi utama dari RLC. Selain itu, *flow control* antara eNodeB dan *mobile terminal* juga ditangani oleh RLC.
- MAC (*Medium Access Control*)

MAC bertanggung jawab untuk penjadwalan *uplink* dan *downlink*, perbaikan kesalahan melalui HARQ (*hybrid ARQ*), modulasi adaptif, pemetaan antena dan juga berfungsi untuk *mapping* antara kanal logika dan kanal transport. [K. Fazel dan S. Kaiser, 2008 : 220]
- PHY (*Physical Layer*)

Layer fisik LTE membawa data dan mengendalikan informasi antara eNB dan UE dengan cara yang efisien. Layer fisik LTE menggunakan teknologi yang lebih maju seperti OFDMA, SC-FDMA dan MIMO untuk transmisi data.

2.2.5 Alokasi Spektrum Pada LTE

Secara umum, alokasi spektrum pada LTE ditunjukkan pada Tabel 2.2. Berdasarkan ketentuan 3GPP, terdapat 17 *bands* untuk FDD dan 8 *bands* untuk TDD. Saat ini, beberapa *band* telah digunakan oleh teknologi lain dan LTE dapat beroperasi secara bersama-sama dengan teknologi tersebut. [H. Holma dan A. Toskala, 2009 : 8]

Tabel 2.2 Spektrum Frekuensi LTE

LTE Band	Uplink (UL) (MHz)	Downlink (DL) (MHz)	Duplex Mode	Regions
1	1920-1980	2110-2170	FDD	Eropa, Asia
2	1850-1910	1930-1990	FDD	Amerika, Asia
3	1710-1785	1805-1880	FDD	Eropa, Asia, Amerika
4	1710-1755	2110-2155	FDD	Amerika
5	824-849	869-894	FDD	Amerika
6	830-840	875-885	FDD	Jepang
7	2500-2570	2620-2690	FDD	Eropa, Asia
8	880-915	925-960	FDD	Eropa, Asia
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	FDD	Jepang
10	1710-1770	2110-2170	FDD	Amerika
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	FDD	Jepang
12	698-716	728-746	FDD	Amerika
13	777-787	746-756	FDD	Amerika
14	788-798	758-768	FDD	Amerika
17	704-716	734-746	FDD	-
18	815-830	860-875	FDD	-
19	830-845	875-890	FDD	-
...				
33	1900-1920	1900-1920	TDD	Eropa, Asia
34	2010-2025	2010-2025	TDD	Eropa, Asia
35	1850-1910	1850-1910	TDD	-
36	1930-1990	1930-1990	TDD	-
37	1910-1930	1910-1930	TDD	-
38	2570-2620	2570-2620	TDD	Eropa
39	1880-1920	1880-1920	TDD	Cina

40	2300-2400	2300-2400	TDD	Eropa, Asia
----	-----------	-----------	-----	-------------

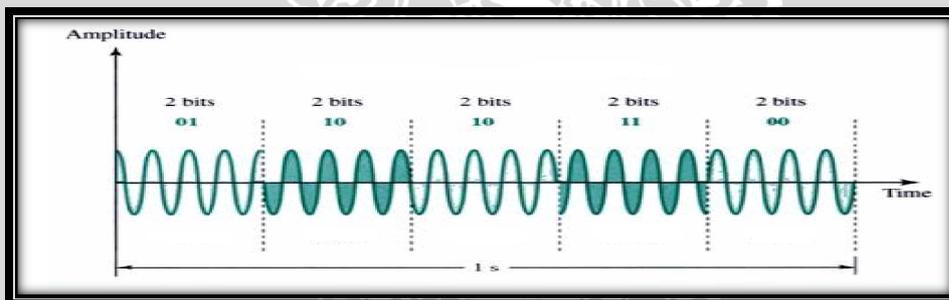
(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)

2.2.6 Teknik Modulasi pada LTE

Terdapat dua jenis teknik modulasi yang digunakan pada pentransmisi data digital dalam suatu jaringan LTE antara lain adalah:

a. QPSK

QPSK merupakan teknik modulasi yang merubah atau memodulasikan fasa sinyal *carrier* yang memiliki jumlah fasa sebanyak 4 buah. QPSK mentransmisikan data dua kali lebih cepat karena terdapat dua bit dalam tiap simbolnya. Misalnya fasa 0° merepresentasikan bit 00, fasa 90° merepresentasikan bit 01, fasa 180° merepresentasikan bit 10, dan fasa 270° merepresentasikan bit 11. Pasangan bit-bit yang merepresentasikan masing-masing fasa disebut dengan dibit. Kelemahan dari QPSK yaitu kurang tahan terhadap *noise* dan rawan terjadi interferensi dari sinyal lain. Gambar 2.4 memperlihatkan konsep dari modulasi QPSK.



Gambar 2.4 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

QPSK memodulasi fasa dengan 2 bit per simbol sehingga simbol satu dengan simbol yang lain berbeda fasa dengan kelipatan $\pi/2$. Gambar 2.5 di bawah menjelaskan hubungan antara fasa dengan bit pada QPSK yang disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram*. [Behrouz A. Forouzan, 2000].

QPSK memodulasi fasa dengan 2 bit per simbol sehingga simbol satu dengan simbol yang lain berbeda fasa dengan kelipatan $\pi/2$ seperti yang dirumuskan pada persamaan berikut : [Rappaport, 2001 : 243]

$$\text{bit } 00 = s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$\text{bit 01} = s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right) \quad (2-1)$$

$$\text{bit 11} = s_3(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}\right)$$

$$\text{bit 10} = s_4(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}\right)$$

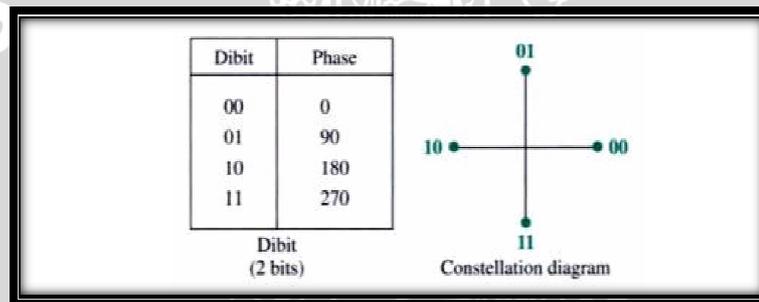
dengan :

$s(t)$ = sinyal QPSK

E_s = energi per simbol

T = durasi simbol

f_c = frekuensi *carrier*

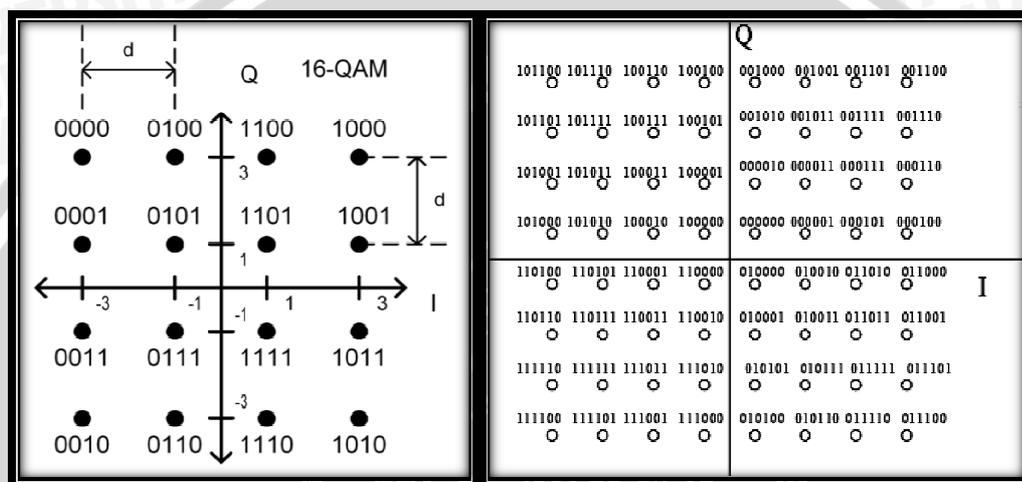


Gambar 2.5 *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) constellation*
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

b. QAM

QAM merupakan teknik yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum *bit* pada tiap simbolnya adalah 2 *bit*. Sehingga dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM tergantung banyaknya jumlah *bit* dalam satu simbol. Sesuai standar yang telah ditetapkan oleh 3GPP LTE, teknik QAM yang digunakan pada teknologi LTE adalah 16-QAM dan 64-QAM. Semakin banyak jumlah titik konstelasi yang digunakan, semakin besar kemampuan untuk mentransmisikan bit-bit data untuk tiap simbol. [K. Fazel and S. Kaiser, 2008 : 222]

Untuk 16-QAM terdapat 4 bit setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 bit pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *hexabit*. Teknik 64-QAM merupakan teknik yang paling cepat mentransmisikan data pada teknologi LTE, karena jumlah bit per simbolnya adalah yang tertinggi dibandingkan dengan teknik modulasi digital yang lain, yaitu 6 bit. Gambar 2.6 menjelaskan hubungan antara amplitudo dan fasa dengan bit pada 16-QAM dan 64-QAM. [Behrouz A. Forouzan, 2000]



Gambar 2.6 (a) 16-QAM constellation, (b) 64-QAM constellation
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

2.3 Video Conference

Video conference merupakan layanan komunikasi interaktif jarak jauh yang melibatkan *video* dan *audio* secara *realtime*. Kebutuhan *bandwidth* pada layanan ini cukup besar karena digunakan untuk mengirimkan sinyal *video* dan *audio* secara bersamaan. Sehingga teknik-teknik untuk melakukan kompresi data menjadi sangat strategis untuk memungkinkan penghematan *bandwidth* komunikasi.

Sebagai gambaran sebuah kanal gambar (*video*) yang baik tanpa dikompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 9 Mbps, sedangkan sebuah kanal suara/*audio* yang baik tanpa di kompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 64 Kbps. Dari gambaran di atas dapat diasumsikan bahwa kebutuhan minimal *bandwidth* yang diperlukan untuk mengirim gambar dan suara adalah 9,064 Mbps, memang akan memakan *bandwidth* yang sangat lebar. Namun dengan teknik kompresi yang ada kanal *video* bisa dikompresi hingga

menjadi 30 Kbps dan kanal suara menjadi 6 Kbps. Sehingga untuk kebutuhan *multiuser* akan dibutuhkan multi *bandwidth* juga, artinya untuk melakukan *video conference* dibutuhkan *bandwidth* minimal 32-36 Kbps dikali dengan jumlah *user* yang melakukan *video conference* dalam satu jaringan.

2.3.1 Kompresi Audio

Beberapa teknik kompresi data *audio* ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Table 2.3 Kompresi suara

Kompresi	Bandwidth (Kbps)	Delay(ms)
G.711 PCM	64	0.125
G.726 ADPCM	32	0.125
G.728 LD-CELP	16	0.625
G.729 CS-ACELP	8	10
G.729 x2 Encoding	8	10
G.729 x3 Encoding	8	10
G.729a CS-ACELP	8	10
G.723.1 MPMLQ	6.3	30
G.723.1 ACELP	5.3	30

Sumber : Onno W.Purbo, 2003:2

Kolom Kbps memperlihatkan berapa lebar *bandwidth* yang diambil untuk mengirimkan suara yang dikompres menggunakan teknik kompresi tertentu. *Delay* (ms) adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kompresi. Sehingga digunakan standar G.711 untuk mengkompres suara kita agar menghemat *bandwidth* saluran komunikasi pada jaringan.

2.3.2 Kompresi Video

Pada teknik kompresi *video* ada tiga buah saluran standar yang umum digunakan, dalam pengiriman *video* melauai saluran komunikasi yang sempit, yaitu:

- H.261 – biasanya menggunakan kanal ISDN dengan kecepatan $p \times 64$ Kbps, dimana p adalah 1, 2, 3,....., 30.

- H.263 – diarahkan untuk mengirimkan gambar *video* berkecepatan rendah mulai dari 20-30 Kbps ke atas.
- H.264 – efisiensi kompresi yang lebih baik dalam hal kompresi *video* dan fleksibilitas yang lebih besar dalam melakukan kompresi.

H.264 dikenal sebagai teknologi kompresi MPEG-4 generasi ke-10 dimana teknologi kompresi ini menggunakan format MPEG-4, namun memiliki sejumlah perbaikan dimana teknologi kompresi H.264 memiliki kemampuan untuk memprediksi perpindahan antar gambar *video* hingga 32 kemungkinan. Kelebihan inilah yang membuat teknologi kompresi H.264 menghasilkan kompresi data yang lebih baik dari pada MPEG-4 sehingga membuat teknologi kompresi ini paling ideal dalam *video conference*. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Jika kita menggunakan *video* hitam-putih, maka akan memakan *bandwidth* lebih kecil dari pada jika kita melakukan konferensi menggunakan *video* berwarna.
- Jika kita menggunakan kecepatan pengiriman fps (*frame per second*) *video* yang rendah, maka akan memakan *bandwidth* yang rendah dibandingkan fps (*frame per second*) yang tinggi.

Video yang cukup baik biasanya dikirim dengan kecepatan fps (*frame per second*), yaitu sekitar 30 fps. Jika dikirimkan tanpa kompresi, sebuah *video* dengan 30 fps akan mengambil *bandwidth* kira-kira 9 Mbps, amat sangat besar untuk ukuran kanal komunikasi data.

2.3.3 Coder Decoder (CODEC)

Salah satu komponen yang terpenting dalam *video conference* adalah peralatan *codec* yang menggunakan teknik penyamplingan sinyal analog untuk dirubah menjadi sinyal digital lalu mereduksi lebar pita sinyal sesuai dengan kebutuhan. Algoritma sebagai proses pengkodean sinyal-sinyal informasi sehingga lebar pita sinyal tersebut dapat direduksi, dipakai pada alat *codec* ini untuk pengkompresian data yang telah didapat dari hasil sampling.

Pada dasarnya perencanaan kecepatan data keluaran dari *codec* ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan, akan tetapi ada satu rekomendasi dari badan Internasional CCITT (*The International Telegraph and Telephone Consultative Commite*) No. H.261 Tahun 1990

yang memberikan saran bagi para perancang sistem untuk membuat *codec video* bagi pelayanan *audio visual* pada kecepatan $p \times 64$ Kbps dengan nilai p bilangan bulat berkisar antara 1 – 30.

Terdapat dua jenis CODEC yang biasanya dapat digunakan, yaitu (Andreas Handoyo, dkk, 2009: 1):

- *Lossy* CODEC

CODEC ini akan mengurangi kualitas data dengan mengurangi ukuran data (kompresi). Pada umumnya, CODEC ini digunakan untuk menyimpan data pada media penyimpanan yang berukuran terbatas seperti CD-ROM dan DVD. *Lossy* CODEC ini biasanya digunakan untuk *streaming*, karena *bandwidth* jaringan yang terbatas. Contoh: Windows Media Video, H.264.

- *Lossless* CODEC

Pada *lossless* CODEC ini, kualitas data yang dihasilkan tidak akan berkurang. Tetapi, ukuran data yang dihasilkan oleh *lossless* CODEC ini akan lebih besar dibandingkan dengan *lossy codec*. Pada umumnya, *lossless* CODEC ini digunakan pada *video* yang masih memerlukan *editing*, karena dalam proses *editing* dilakukan *encode-decode* berulang kali, sehingga jika menggunakan *lossy* CODEC, kualitas *video* akan jauh menurun dibandingkan dengan *video* aslinya. Contoh: CorePNG, huffyuv, Apple Lossless Audio Codec.

Jenis CODEC yang digunakan pada layanan *video conference* adalah G.711 untuk *audio* dan H.264 untuk *video*, beberapa macam teknik coding lain yang sering adalah sebagai berikut seperti pada tabel 2.4

Tabel 2.4 *Audio dan video Coding*

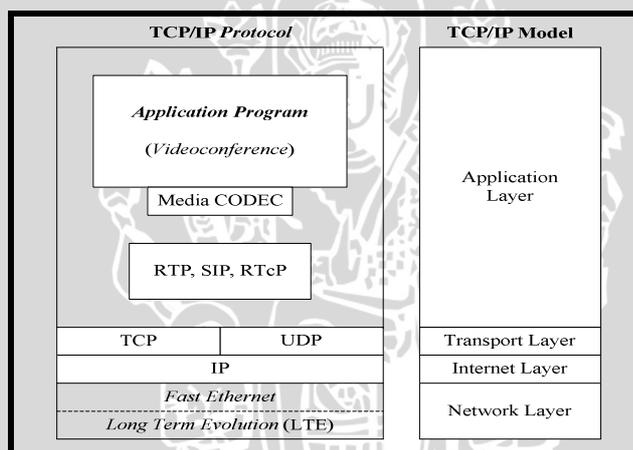
<i>Audio</i> CODEC	<i>Bit rate</i>	<i>Delay</i> CODEC
G. 711	64 Kbps	0,75 ms
G.26	32 Kbps	1 ms
G.723.1	5,3/6,3 Kbps	30 ms
G.728	16 Kbps	3-5 ms
G.729	8 Kbps	10 ms
<i>Video</i> CODEC	<i>Bit rate</i>	<i>Delay</i> CODEC
H.261	$p \times 64$ Kbps	20-150 ms
H.263	10-384 Kbps	20-150 ms
H.264/AVC	64-384 Kbps	150-300 ms

Sumber: Cisco System, 2006

2.3.4 Protokol *video conference*

Protokol merupakan sekumpulan aturan yang mendefinisikan beberapa fungsi seperti pembuatan hubungan, mengirim pesan, data, informasi atau *file* yang harus dipenuhi oleh pengirim dan penerima agar suatu sesi komunikasi dapat berlangsung dengan baik dan benar. Protokol yang digunakan dalam pelaksanaan *video conference* adalah H.323. Protokol ini mendefinisikan format, urutan *message* yang dikirim dan yang diterima oleh entitas jaringan, serta tindakan (*action*) yang harus diambil bila mengirimkan atau menerima *message*.

Pada aplikasi *video conference* secara *realtime*, keutuhan data bukanlah prioritas utama karena pentransmisian kembali paket tersebut yang hilang akan memperburuk kualitas penerimaan di tujuan, karena *audio* dan *video* bersifat sensitif terhadap waktu.



Gambar 2.7 Struktur Layer TCP/IP
(Sumber: William Stalling: 21, 2002)

Dari gambar di atas terlihat mekanisme protokol pada *video conference* dikelompokkan menjadi beberapa bagian. Dari paling bawah yaitu IP yang berfungsi sebagai *internet layer*, kemudian TCP dan UDP berfungsi sebagai *transport layer*, dan RTP berfungsi sebagai *application layer*.

Protokol yang digunakan pada pelaksanaan *video conference* adalah RTP/UDP/IP sesuai ITU-T protokol. Protokol ini digunakan karena pada sistem pelaksanaan *video conference* yang ada pada saat ini secara global telah menggunakan protokol tersebut. Untuk menjamin transmisi paket yang *real time*, RTP digunakan sebagai tambahan pada

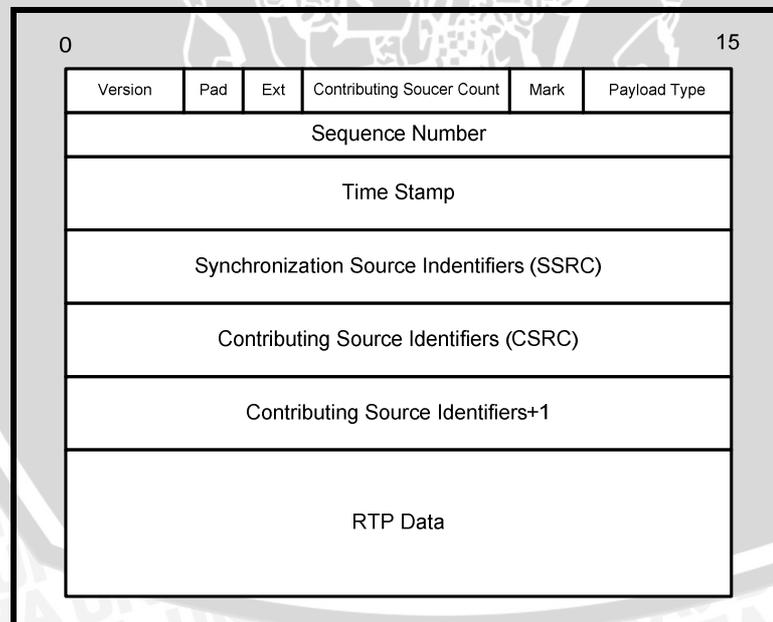
UDP. RTP bekerja diatas UDP dan IP dan biasanya disebut RTP/UDP/IP dalam melakukan mekanisme transport.

- RTP (*Real Time Protocol*)

RTP merupakan protokol yang menyediakan dukungan *transport data real time* secara *end to end*. RTP terdiri dari dua bagian yaitu *header* dan *data*. RTP memberikan mekanisme transport yang memungkinkan terjadinya sinkronisasi *multimedia data stream* dari berbagai aplikasi misalkan *video* dan suara.

Apabila *user* bekerja dengan aplikasi *video* dan suara maka akan terdapat dua *data stream* yaitu *video* dan suara, dengan RTP maka paket yang berbeda tersebut akan ditandai sesuai dengan *payload* masing-masing aplikasi sehingga pada user tujuan paket data tersebut dapat disinkronkan (mendukung sinkronisasi dari berbagai media *streaming*). *Payload* dari paket RTP berupa format *video* maupun *audio*.

RTP mengidentifikasi tipe data yang ditransmisikan, menentukan urutan paket data yang seharusnya ditampilkan dan menampilkan lalu mensinkronkan stream media dari berbagai sumber.



Gambar 2.8 Format Header RTP

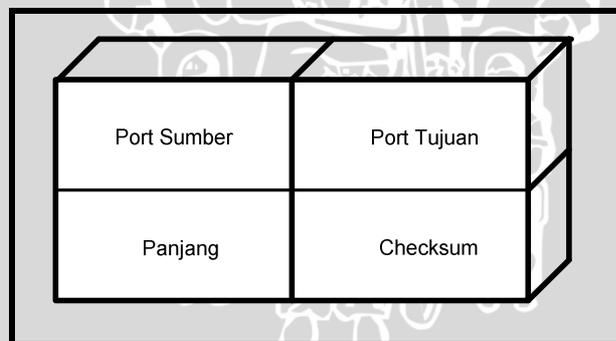
(Sumber: <http://www.Juniper.net>)

- UDP (*User Datagram Protokol*)

UDP merupakan mekanisme pengiriman *datagram* dari satu aplikasi ke aplikasi lain. UDP berfungsi untuk menyisipkan *field number port* sumber dan tujuan untuk layanan multiplexing. Software UDP dalam komputer dapat menghantarkan pesan ke penerima yang tepat. Tidak ada umpan balik untuk mengontrol tingkat informasi yang dimiliki pesan.

Digunakan UDP karena alasan keringanan, kecepatan, dan reliabilitas transportasi data diantara *host-host* TCP/IP serta UDP memberikan transmisi kanal yang bersifat *nonreliable*. Protokol ini bersifat *connectionless* dan *unreliable*. *Connectionless* berarti tidak diperlukan suatu bentuk hubungan terlebih dahulu untuk mengirimkan data. *Unreliable* berarti pada protokol ini data tidak dijamin akan sampai pada tujuan yang benar dan dalam kondisi yang benar pula. Aplikasi dapat mentolerir adanya sebagian fraksi paket yang hilang dan bahwa reliabilitas transfer data tidak begitu kritis.

Pada sebuah pengiriman *datagram* aplikasi yang menggunakan UDP harus mengetahui identitas tujuan yang bukan hanya berupa alamat IP, untuk itu UDP menyediakan identifikasi yang berupa port baik itu *source* maupun *destination* pada *headernya*.



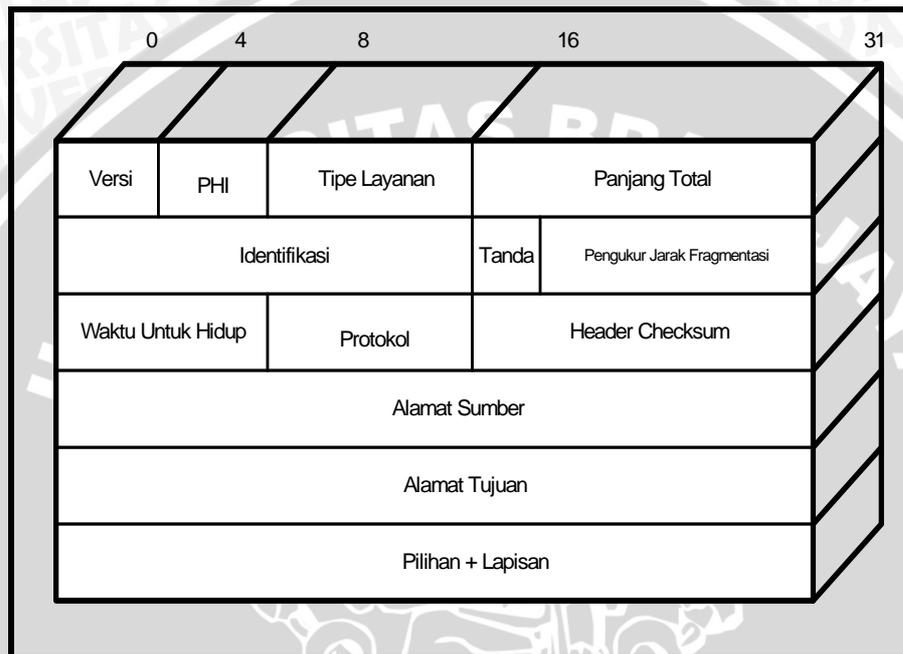
Gambar 2.9 Format Header UDP

(Sumber: William Stalligs, 2002: 274)

- IP (*Internet Protocol*)

IP merupakan protokol yang dapat digunakan untuk komunikasi sepanjang jaringan apapun yang terkoneksi baik *Local Area Network* (LAN) maupun *Wide Area Network* (WAN). IP merupakan protokol jaringan yang terdiri dari informasi pengalaman dan beberapa kontrol yang memungkinkan suatu data diroutekan.

IP merupakan protokol yang bersifat *unreliable*, *best efforts* dan *connectionless*. IP mempunyai dua fungsi dasar yaitu menyediakan hubungan yang bersifat *connectionless*, *best effort* pada saat pengiriman paket dan menangani fragmentasi dari *datagram* untuk mendukung *datalink* dengan besar *maximum-transmissions unit* (MTU) yang berbeda-beda. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Format Header IP
(Sumber: William Stallings, 2002: 167)

Dimana IP memiliki beberapa fungsi sebagai berikut :

1. Mendefinisikan *datagram* yang merupakan unit transmisi elementer di internet.
2. Mendefinisikan skema pengalamatan internet.
3. Melewatkan data antara *Network Access Layer* dan *Host to Host Transport Layer*.
4. *Routing datagram* ke remote *host*.
5. Menjalankan fragmentasi dan penyusunan kembali *datagram*.

2.3.5 Perhitungan *payload video conference*

Pada aplikasi *video conference*, paket data yang ditransmisikan dibedakan atas paket data *audio* dan *video*, dimana tiap paket tersebut mempunyai besar *payload* yang berbeda. Untuk menghitung besarnya *payload audio* maupun *video* digunakan persamaan berikut:

$$P_{LA/V} = B_{\text{CODEC}} \times \text{frame rate} \quad (2-2)$$

dengan:

$P_{LA/V}$: *Payload audio/video (byte)*

B_{CODEC} : *Bandwidth CODEC (Kbps)*

frame rate : *Waktu pembentukan tiap frame (s)*

Jumlah paket *audio* dan *video* yang akan diencode dipengaruhi oleh besar *payload* maksimum dari *video* maupun *audio*, sehingga paket *audio* dan *video* dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{AV} = \frac{P_{LA/V}}{P_{LA/V \max}} \quad (2-3)$$

Dengan:

$P_{LA/V \max}$: *payload maksimum (byte)*

Besarnya paket data *video conference* merupakan penjumlahan *payload* paket audio dan *video* dengan *header* NALU, RTP, UDP, dan IPv6, sehingga dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Paket data} = P_{LA/V} + (P_{AV} \times (\text{NALU} + H_{\text{RTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IP}})) \quad (2-4)$$

Sehingga panjang paket *video conference* sesuai dengan persamaan berikut:

$$W_{\text{data}} = P_{\text{audio}} + P_{\text{video}} \quad (2-5)$$

dengan :

W_{data} : *panjang paket video conference (byte)*

P_{LA} : *panjang paket audio (byte)*

P_{LV} : *panjang paket video (byte)*

2.4 Parameter Performansi Video conferene pada Jaringan LTE

Untuk mengetahui performansi dari sistem LTE, mulai dari saat pengiriman di pengirim sampai dengan di penerima, dibutuhkan beberapa parameter yang akan digunakan dalam analisis. Beberapa parameter performansi yang akan dibahas antara lain *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

2.4.1 Delay end to end

Delay end to end video conference merupakan jumlah *delay* CODEC aplikasi *video conference* dengan *delay* jaringan dimana aplikasi tersebut berjalan. Sehingga, total *delay end to end video conference* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{\text{end-to-end}} = t_{\text{CODEC}} + t_{\text{tot}} \quad (2-6)$$

dengan :

$t_{\text{end-to-end}}$: *delay end to end video conference* (s)

t_{tot} : *delay* jaringan LTE (s)

t_{CODEC} : *delay* CODEC *video conference* (s)

Delay CODEC ini terjadi pada sisi *encoder* terdiri dari waktu untuk mengakumulasi *sample* suara ke dalam *frame* suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat *frame* suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan *transport* dan *delay hardware* yang bersifat tetap. Atau waktu yang dibutuhkan untuk mengkompresi satu blok *sample* PCM.

Coding delay adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengkonversi sinyal non digital menjadi pola bit sinyal digital. *Delay* ini tergantung pada algoritma *coding* yang digunakan pada perangkat lunak atau perangkat keras yang digunakan. *Coding delay* juga dapat terjadi pada aplikasi-aplikasi yang tidak membutuhkan proses transformasi sinyal, misalkan pada proses kompresi data.

Delay CODEC pada aplikasi *video conference* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{\text{CODEC}} = t_a + t_v \quad (2-7)$$

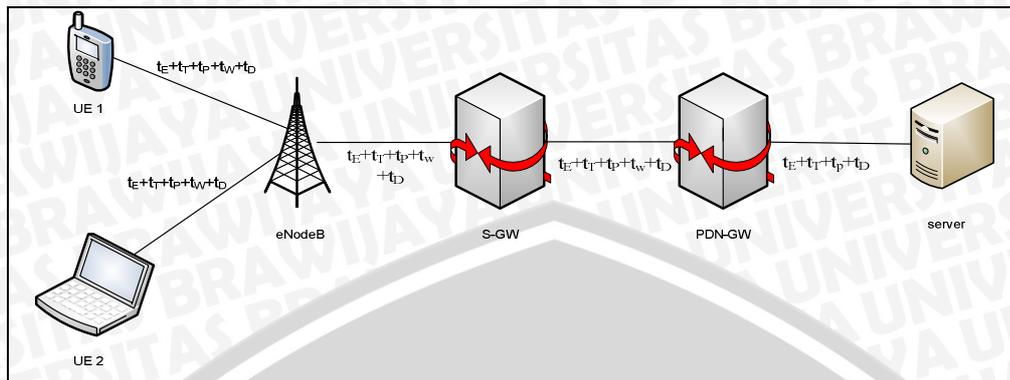
dengan:

t_{CODEC} : *delay* CODEC aplikasi *video conference* (ms)

t_a : *delay* CODEC *audio* G.711 (ms)

t_v : *delay* CODEC *video* H.264 (ms)

a. *Delay end to end video conference* pada jaringan LTE



Gambar 2.11 Delay end to end pada jaringan LTE

Sumber : Perencanaan

Delay end to end berdasarkan Gambar 2.8 dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_{TOT} = t_{proc} + t_T + t_p + t_w + t_{paketisasi} + t_{depaketisasi} \quad (2-8)$$

dengan:

t_{TOT} : delay end to end pada jaringan LTE (s)

t_{proc} : delay proses (s)

t_T : delay transmisi (s)

t_p : delay propagasi (s)

t_w : delay antrian (s)

$t_{paketisasi}$: delay paketisasi (s)

$t_{depaketisasi}$: delay depaketisasi (s)

- Delay Proses

Delay proses merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. Delay proses pada jaringan LTE meliputi delay enkapsulasi dan delay dekapsulasi.

Nilai delay proses pada jaringan LTE untuk aplikasi *video conference* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$t_{proc} = t_{Etotal} + t_{Dtotal} \quad (2-9)$$

dengan:

t_{proc} : delay proses (s)

t_{Etotal} : delay enkapsulasi total (s)

t_{Dtotal} : delay dekapsulasi total (s)

Delay enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan keseluruhan *header* pada sebuah paket sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke tujuan. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket. Besarnya *delay* dekapsulasi dan *delay* enkapsulasi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Onno W. Purbo, et al., 2001: 24):

Delay enkapsulasi terjadi pada UE, eNodeB, S-GW, PDN-GW dan *server*. Besarnya *delay* enkapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$t_{Etotal} = t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} + t_{E4} + t_{E5} \quad (2-10)$$

dengan:

- t_E : *delay* enkapsulasi total (s)
- t_{E1} : *delay* enkapsulasi pada UE (s)
- t_{E2} : *delay* enkapsulasi pada eNodeB (s)
- t_{E3} : *delay* enkapsulasi pada S-GW (s)
- t_{E4} : *delay* enkapsulasi pada PDN-GW (s)
- t_{E5} : *delay* enkapsulasi pada *server* (s)

Sedangkan *delay* dekapsulasi terjadi di setiap *node* pada jaringan LTE, yaitu *server*, PDN-GW, S-GW, dan eNodeB, dan UE. Besarnya *delay* dekapsulasi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$t_D = t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} + t_{D4} + t_{D5} \quad (2-11)$$

dengan:

- t_D : *delay* dekapsulasi total (s)
- t_{D1} : *delay* dekapsulasi pada *server* (s)
- t_{D2} : *delay* dekapsulasi pada PDN-GW (s)
- t_{D3} : *delay* dekapsulasi pada S-GW *delay* (s)
- t_{D4} : *delay* dekapsulasi pada eNodeB (s)
- t_{D5} : *delay* dekapsulasi pada UE (s)

➤ *User Equipment* (UE)

Ketika paket data *video conference* dikirim dari UE menuju eNodeB akan mengalami penambahan header IP. Karena Besar *payload video conference* melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) sebesar 1500 *byte* maka dihitung dengan persamaan:

$$N_{frame} = \frac{W_{data}}{MTU} \quad (2-12)$$

dengan:

N_{frame} : jumlah *frame*

$MTU_{Ethernet}$: *MTU Ethernet* (1500 byte)

W_{data} : paket data *video conference* (byte)

Sehingga jumlah total *frame* sesuai dengan persamaan:

$$W_{datagram} = W_{data} + [N_{frame} \times (H_{Ethernet} + H_{IP} + FCS)] \quad (2-13)$$

Pada *layer PDCP (Packet Data Convergence Protocol)*, paket *datagram IP video conference* dienkapsulasi dengan penambahan *header* sebesar 2 byte sesuai persamaan

$$W_{frame\ PDCP} = W_{datagram} + [N_{frame} \times H_{PDCP}] \quad (2-14)$$

Selanjutnya pada *layer RLC (Radio Link Control)*, *frame PDCP* difragmentasi menjadi *RLC PDU fixed size* sebesar 40 byte. Sehingga jumlah *frame RLC* sesuai dengan persamaan:

$$N_{frame\ RLC} = \frac{W_{frame\ PDCP}}{40\ \text{byte}} \quad (2-15)$$

dengan:

$N_{frame\ RLC}$: jumlah *frame*

$W_{node\ 1}$: panjang *frame PDCP* (byte)

Setiap *frame* selanjutnya diberi *header* sebesar 2 byte, sehingga panjang setiap *frame RLC* sebesar 42 byte. Panjang *frame RLC* total yang siap diteruskan ke *layer MAC (Medium Access Control)* sesuai dengan persamaan:

$$W_{frame\ RLC} = N_{frame\ RLC} \times (frame_{RLC} + H_{RLC}) \quad (2-16)$$

dengan:

$W_{frame\ RLC}$: panjang *frame RLC* (byte)

$frame_{RLC}$: jumlah *frame*

H_{RLC} : *header RLC* (2byte)

Pada saat memasuki *layer MAC*, paket data difragmentasi menjadi paket sebesar 42 byte. Jumlah *frame MAC* diketahui sesuai dengan persamaan:

$$N_{frame\ MAC} = \frac{W_{frame\ RLC}}{42\ \text{byte}} \quad (2-17)$$

dengan:

$N_{frame\ MAC}$: panjang *frame*

$W_{frame\ RLC}$: panjang *frame* RLC (*byte*)

Panjang *frame* pada UE yang siap ditransmisikan menuju eNodeB merupakan panjang *frame* total sesuai dengan persamaan :

$$W_{UE} = N_{frame} \times (frame_{MAC} + H_{MAC}) \quad (2-18)$$

dengan:

H_{MAC} : *header* MAC (3*byte*)

Dengan mengasumsikan *data rate* maksimum sebesar 3,6 Mbps, maka besarnya *delay* enkapsulasi yang terjadi di UE didapatkan sesuai dengan persamaan:

$$t_{E1} = \frac{W_{UE1\ total} - W_{data}}{C_{UE}} \times 8 \quad (2-19)$$

➤ eNodeB

Pada eNodeB, paket data yang diterima dari UE mengalami proses dekapsulasi. Sehingga besar paket data pada eNodeB dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{data} = W_{UE} - [N_{frame} \times (H_{Ethernet} + H_{IP} + H_{PDCP} + FCS)] - [N_{frame} \times H_{RLC}] - [N_{frame} \times H_{MAC}] \quad (2-20)$$

Dengan asumsi eNodeB menggunakan *interface* STM-1 (*Synchronous Transport Module-1*) dengan kecepatan 155,52 Mbps. Maka besarnya *delay* dekapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$t_{D1} = \frac{W_{UE1\ total} - W_{data}}{C_{eNodeB}} \times 8 \quad (2-21)$$

Payload data diberi penambahan *header* sesuai protokol yang digunakan yaitu GTP, UDP dan IP. Besar *Maximum Segmen Size* (MSS) dapat diperoleh sesuai dengan persamaan

$$MSS = MTU - H_{GTP} - H_{UDP} - H_{IP} \quad (2-22)$$

Selanjutnya, karena paket data melebihi MSS maka akan disegmentasi sesuai dengan persamaan:

$$N_{frame1} = \frac{W_{data}}{1444\ byte} \quad (2-23)$$

Kemudian, paket data aplikasi *video conference* dienkapsulasi dengan penambahan *header* GTP (*GPRS Tunneling Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*), dan IP (*Internet Protocol*) sesuai dengan persamaan:

$$W_{datagram} = W_{data} + [N_{frame\ 1} \times (H_{GTP} + H_{UDP} + H_{IP})] \quad (2-24)$$

Karena panjang datagram IP melebihi *Maximum Transfer Unit (MTU) Ethernet* (1500 byte), maka datagram IP akan mengalami fragmentasi menjadi beberapa buah *frame* sesuai dengan persamaan:

$$N_{frame2} = \frac{W_{datagram}}{1500byte} \quad (2-25)$$

Sehingga, jumlah total *frame* pada eNodeB yang dapat dikirimkan ke S-GW sesuai dengan persamaan:

$$W_{eNodeB} = W_{datagram} + [N_{frame2} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \quad (2-26)$$

Maka besarnya *delay* dekapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$t_{E2} = \frac{W_{eNodeB} - W_{data}}{C_{eNodeB}} \times 8 \quad (2-27)$$

➤ S-GW

Pada S-GW, paket data yang diterima dari eNodeB mengalami proses dekapsulasi. Sehingga besar paket data pada eNodeB dapat dihitung dengan persamaan

$$W_{data} = W_{eNodeB} - [N_{frame1} \times (H_{GTP} + H_{UDP} + H_{IP})] - [N_{frame2} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \quad (2-28)$$

Dengan mengasumsikan bahwa S-GW menggunakan standar *Fast Ethernet* dengan kecepatan data 100 Mbps, maka besarnya *delay* dekapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$t_{D2} = \frac{W_{eNodeB} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \quad (2-29)$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada S-GW1 dapat dihitung dengan persamaan

$$t_{E3} = \frac{W_{eNodeB} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \quad (2-30)$$

➤ PDN-GW

Pada PDN-GW, paket data yang diterima dari S-GW mengalami proses dekapsulasi. Pada proses dekapsulasi, paket data didapatkan sesuai dengan persamaan:

$$W_{data} = W_{S-GW} - [N_{frame1} \times (H_{GTP} + H_{UDP} + H_{IP})] - [N_{frame2} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \quad (2-31)$$

Dengan mengasumsikan bahwa PDN-GW menggunakan standar *Fast Ethernet* dengan kecepatan data 100 Mbps, maka besarnya *delay* dekapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$t_{D3} = \frac{W_{eNodeB} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \quad (2-32)$$

Sehingga, jumlah total *frame* pada PDN-GW yang dapat dikirimkan ke *server* sesuai dengan persamaan:

$$W_{PDN-GW} = W_{datagram} + [N_{frame} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \quad (2-33)$$

Sehingga besar *delay* enkapsulasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{E4} = \frac{W_{PDN-GW} - W_{data}}{C_{server}} \times 8 \quad (2-34)$$

➤ *Server*

Pada *server*, paket data yang diterima dari PDN-GW mengalami proses dekapsulasi. Sehingga besar paket data pada *server* dapat dihitung dengan persamaan:

$$W_{data} = W_{PDN-GW} - [N_{frame1} \times (H_{UDP} + H_{IP})] - [N_{frame2} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \quad (2-35)$$

Dalam penelitian ini, pada *server* yang terhubung ke jaringan internet digunakan standar *interface Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Sehingga *delay* enkapsulasi pada *server* didapatkan dengan persamaan:

$$t_{D4} = \frac{W_{PDN-GW} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \quad (2-36)$$

➤ *Delay Transmisi*

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan sebuah paket data ke media transmisi. Dipengaruhi ukuran paket data dan kecepatan transmisi. *Delay* transmisi dapat ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987 : 132):

$$t_T = \frac{W}{C} \quad (2-37)$$

Sehingga *delay* transmisi total ditentukan dengan persamaan:

$$t_{T\text{tot}} = t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \quad (2-38)$$

dengan:

$t_{T\text{tot}}$: *delay* transmisi total (s)

W : panjang paket data pada *node* (bit)

C : kecepatan transmisi (bps)

t_{T1} : *delay* transmisi pada *server* – PDN-GW (s)

t_{T2} : *delay* transmisi pada PDN-GW – S-GW (s)

t_{T3} : *delay* transmisi pada S-GW – eNodeB (s)

t_{T4} : *delay* transmisi pada eNodeB -UE (s)

➤ *Delay propagasi*

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi dari *server* ke UE. *Delay propagasi* ditentukan dengan persamaan (Forouzan, Behrouz A, 2000 : 215):

$$t_p = \frac{R}{c} \tag{2-39}$$

Sehingga *delay propagasi* total ditentukan dengan persamaan:

$$t_{p\ tot} = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} \tag{2-40}$$

dengan:

$t_{p\ tot}$: *delay propagasi* (s)

R : jarak antar *node* (m)

c : cepat rambat gelombang di cahaya (3×10^8 m/s)

t_{p1} : *delay propagasi* pada UE - eNodeB (s)

t_{p2} : *delay propagasi* pada eNodeB – S-GW (s)

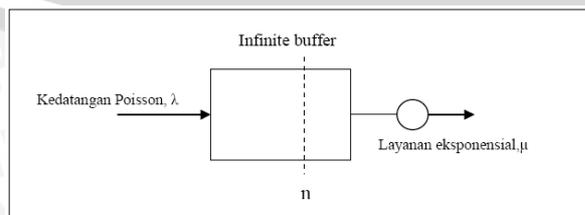
t_{p3} : *delay propagasi* pada S-GW - PDN-GW (s)

t_{p4} : *delay propagasi* pada PDN-GW – *server* (s)

➤ *Delay antrian*

Delay antrian adalah waktu dimana paket data berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini, paket data menunggu hingga paket yang lain selesai ditransmisikan. *Delay antrian* dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1. M pertama menunjukkan kedatangan *Poisson*, M kedua berarti distribusi waktu pelayanan eksponensial, dan 1 menunjukkan 1 menunjukkan jumlah server yang akan melayani pelanggan.

Disiplin antrian yang digunakan adalah FIFO (*First In First Out*). Bentuk model antrian M/M/1 dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Model antrian M/M/1

(Sumber: Mischa Schwartz, 1987:31)

Delay antrian terjadi pada setiap *node* pada jaringan LTE, yaitu PDN-GW, S-GW, dan eNodeB.

Untuk menghitung nilai kecepatan pelayanan pada *node* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{C}{L} \quad (2-41)$$

L : panjang paket data di *node* (bit)

C : kecepatan transmisi pada *node* (bps)

Dengan mengasumsikan nilai faktor utilisasi (ρ) maka laju kedatangan paket data (λ) adalah:

$$\lambda = \mu\rho \quad (2-42)$$

dengan

ρ : faktor utilisasi

Besarnya *delay* antrian pada *node* ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987 : 42):

$$t_w = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} \quad (2-43)$$

dengan:

t_w : *delay* antrian (s)

μ : waktu pelayanan pada *node* (s)

λ : kecepatan kedatangan paket data pada *node* (bps)

Sehingga *delay* antrian total ditentukan dengan persamaan:

$$t_{w \text{ tot}} = t_{w1} + t_{w2} + t_{w3} + t_{w4} + t_{w5} \quad (2-44)$$

dengan:

$t_{w \text{ tot}}$: *delay* antrian total (s)

t_{w1} : *delay* antrian pada UE (s)

t_{w2} : *delay* antrian pada eNodeB (s)

t_{w3} : *delay* antrian pada S-GW (s)

t_{w4} : *delay* antrian pada PDN-GW (s)

t_{w5} : *delay* antrian pada Server (s)

➤ *Delay* paketisasi dan depaketisasi

Delay paketisasi merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memaketkan data (*video* dan *audio*) untuk di konversi menjadi paket-paket dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{\text{paketisasi}} = \frac{L_{\text{paket}}}{C_{UE}} \quad (2-45)$$

dengan:

L_{paket} : besar paket yang dikirim (bit)

C_{UE} : kecepatan data sumber (bps)

$t_{\text{paketisasi}}$: *delay* paketisasi (s)

Delay depaketisasi merupakan waktu yang dibutuhkan penerima untuk merubah paket-paket yang diterima menjadi data yang bisa dibaca. Yang persamanya sebagai berikut:

$$t_{\text{depaketisasi}} = \frac{L_{\text{paket}}}{C_{UE}} \quad (2-46)$$

dengan:

L_{paket} : besar paket yang diterima (bit)

C_{UE} : kecepatan data penerima (bps)

$t_{\text{depaketisasi}}$: *delay* depaketisasi (s)

2.4.2 Probabilitas *packet loss video conference* pada jaringan LTE

Packet loss adalah jumlah paket yang hilang dibandingkan dengan paket yang diterima benar. Umumnya perangkat jaringan memiliki *buffer* untuk menampung data yang diterima. Jika terjadi tabrakan yang cukup banyak, *buffer* akan penuh, dan data baru tidak dapat diterima. Paket yang hilang ini harus ditransmisi ulang, yang akan membutuhkan waktu tambahan.

Probabilitas *packet loss* total performansi aplikasi *video conference* pada suatu jaringan, ditentukan berdasarkan pada *packet loss* aplikasi *video conference* dan *packet loss* jaringan.

$$\rho_{\text{tot}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{LTE}})(1 - \rho_{\text{VC}})] \quad (2-47)$$

dengan:

ρ_{tot} : *packet loss* total

ρ_{LTE} : probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE

ρ_{VC} : probabilitas *packet loss* aplikasi *video conference*

Prosentase *packet loss* ditentukan dengan persamaan:

$$\text{packet loss (\%)} = \frac{N_{\text{packet loss}}}{N_{\text{packet}} + N_{\text{packet loss}}} \times 100\% \quad (2-48)$$

dengan:

$N_{\text{packet loss}}$: jumlah paket yang hilang

N_{paket} : jumlah paket yang diterima dengan benar

- Probabilitas *packet loss* aplikasi *video conference*

Packet loss aplikasi *video conference* berbasis protokol UDP/RTP/IP dapat diperoleh sesuai dengan persamaan di bawah ini:

$$\rho_{VC} = W_{\text{data}} \times \rho_b \quad (2-49)$$

dengan:

ρ_{VC} : *packet loss* aplikasi *video conference*

ρ_b : BER aplikasi *video conference* (10^{-8})

W_{data} : panjang paket data *video conference* (byte)

- Probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE

Probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE dapat diperoleh dari probabilitas pada tiap-tiap *node*, sesuai dengan persamaan:

$$\rho_{LTE} = 1 - [(1 - \rho_{eNodeB})(1 - \rho_{S-GW})(1 - \rho_{PDN-GW})(1 - \rho_{server})] \quad (2-50)$$

dimana:

ρ_{LTE} : probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE

ρ_{eNodeB} : probabilitas *packet loss* pada eNodeB

ρ_{S-GW} : probabilitas *packet loss* pada S-GW

ρ_{PDN-GW} : probabilitas *packet loss* pada PDN-GW

ρ_{server} : probabilitas *packet loss* pada server

Untuk menghitung probabilitas (ρ) pada tiap-tiap *node* dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\rho_{node} = W_{node} \times \rho_{bLTE} \quad (2-51)$$

dimana:

W_{node} : panjang paket data

ρ_{LTE} : BER pada saat transmisi

BER (*bit error rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *error* bit merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah bit *error* terhadap total bit yang diterima. Nilai BER untuk modulasi QPSK pada jaringan LTE dapat dihitung dengan persamaan (Andrea Goldsmith, 2005:167):

$$P_b = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_o}}\right) \quad (2-52)$$

dengan:

P_b = BER LTE pada saat transmisi (tanpa satuan)

$\frac{E_b}{N_o}$ = rasio energi *bit* terhadap kerapatan *noise* pada saat transmisi (dB)

Nilai Q dapat diperoleh dengan distribusi Gaussian menggunakan persamaan (John G. Proakis, 2000: 40):

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (2-53)$$

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \quad (2-54)$$

dengan:

erfc = *error function complementary*

E_b/N_o adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Hubungan SNR dengan E_b/N_o ditunjukkan dalam persamaan:

$$\frac{E_b}{N_o} (\text{dB}) = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-55)$$

dengan :

PG = *processing gain* (dB)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan *noise* (SNR) yang dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999):

$$SNR_{(\text{dB})} = P_r (\text{dBm}) - N_o (\text{dBm}) \quad (2-56)$$

dengan :

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya pada penerima (dBm)

N = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dalam persamaan berikut (E.

Glatz, 1999):

$$N_{(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \quad (2-57)$$

dengan :

N = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = suhu *absolute* (300° K)

NF = *noise figure* (11,2 dB)

B = *bandwidth* (Hz)

Daya yang diterima oleh penerima sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Sehingga daya yang diterima dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Robert G. Winch, 1998: 184) :

$$P_r (dBm) = P_t - FSL - L_t - L_r + G_r + G_t \quad (2-58)$$

Jadi, untuk penelitian ini persamaan FSL yang digunakan adalah (Ahmed Sudqi, 2010:7):

$$FSL = 32,44 + 20 \log d (km) + 20 \log f (MHz) \quad (2-59)$$

Nilai 32,44 diperoleh dengan memasukkan nilai c sebagai kecepatan cahaya dalam ruang hampa yakni 3×10^8 m/s.

dengan:

P_r : daya terima *receiver* (dBm)

P_t : daya pancar *transmitter* (dBm)

FSL : *free space loss* (dB)

L_t : *transmitter losses (cable loss)* (dB)

L_r : *receiver losses (body loss)* (dB)

G_r : *gain receiver* (dBi)

G_t : *gain transmitter* (dBi)

f : Frekuensi kerja sistem (MHz)

d : jarak antara pemancar dan penerima (km)

2.4.3 Throughput

Throughput merupakan jumlah data yang diterima dengan benar pada setiap satuan waktu. Dengan asumsi menggunakan protokol *Go-Back-N* karena komunikasi bersifat *full duplex*. Dimana model protokol ini memungkinkan pengiriman paket-paket data yang baru tanpa menunggu paket terdahulu selesai melakukan proses *acknowledge*.

Waktu transmisi *frame* (t_f) ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:132):

$$t_f = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \quad (2-60)$$

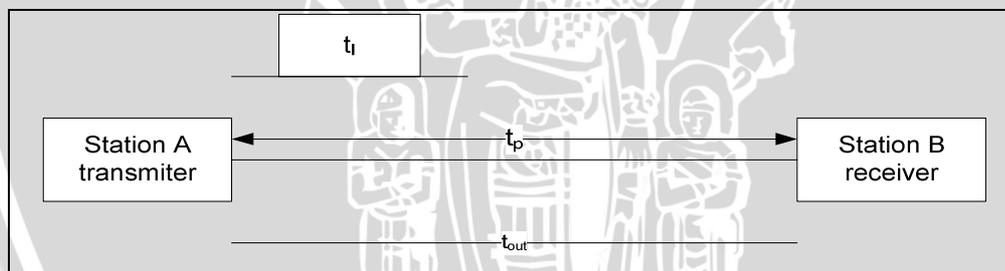
dengan:

PL_{frame} : *payload frame* (byte)

H_{frame} : *header frame* (byte)

C_{trans} : kecepatan transmisi node (bps)

Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129):



Gambar 2.13 Link level transmission between station A and B

(Sumber: Mischa Schwartz, 1987:126)

$$t_{out} = 2t_p + 2t_f \quad (2-61)$$

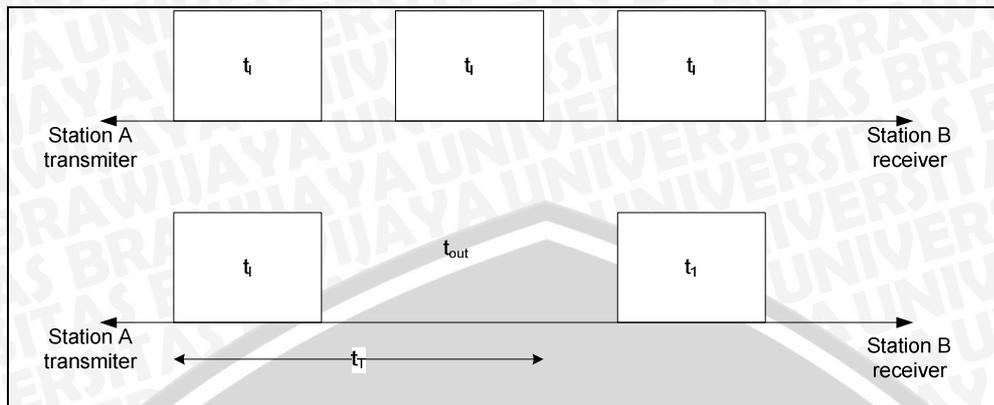
dengan:

t_{out} : waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge/fixed timed out interval* (s)

t_p : *delay propagasi* untuk satu *frame* (s)

t_f : waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)

Untuk mendapatkan parameter α dengan menggunakan protokol *Go-Back-N* dapat dihitung dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129):



Gambar 2.14 *Go-Back-N analysis*
 (Sumber: Mischa Schwartz, 1987:128)

$$t_T = t_i + t_{out} \quad (2-62)$$

dan:

$$\alpha = \frac{t_T}{t_i} = 1 + \frac{t_{out}}{t_i} \quad (2-63)$$

dengan menggabungkan persamaan (2-62) dan (2-63) maka diperoleh :

$$\alpha = 1 + \frac{t_{out}}{t_i} = 1 + \frac{2t_p + 2t_i}{t_i} = 3 + \frac{2t_p}{t_i} \quad (2-64)$$

Keterangan:

t_T : waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)

t_i : waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)

t_{out} : waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* atau interval antara pengiriman sebuah paket dengan pengiriman paket selanjutnya/
fixed time out interval (s)

Sehingga besarnya *throughput* diperoleh dengan menggunakan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129)

$$T = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho_{tot})}{t_i[1+(\alpha-1)\rho_{tot}]} \quad (2-65)$$

dengan:

T : *throughput* (bps)

t_v : waktu rata-rata transmisi untuk mengirimkan paket yang benar (s)

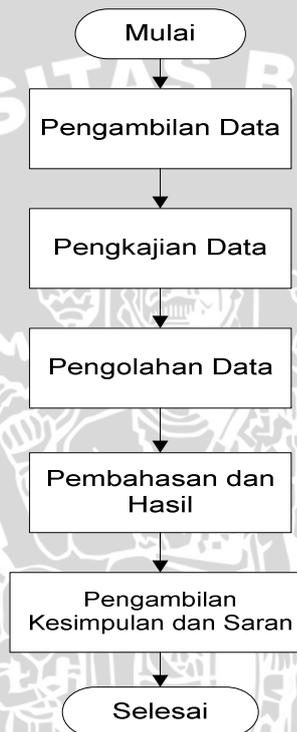
t_i : waktu transmisi sebuah paket data atau *frame* (s)

ρ_{tot} : probabilitas *packet loss* total

α : konstanta

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan pada penelitian ini bersifat analisis terhadap performansi sistem *video conference* pada jaringan LTE yang mengacu pada studi literatur. Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini meliputi pengambilan data, pengkajian data, pengolahan data, pembahasan dan hasil, serta pengambilan kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1 Langkah Penyusunan Penelitian

Sumber : Perencanaan

3.1 Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan pada penelitian ini berupa data sekunder karena kajian yang akan dilakukan bersifat analisis. Dimana data sekunder itu merupakan data yang didapatkan secara tidak langsung. Salah satu cara untuk mendapatkan data sekunder adalah dengan studi literatur yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai jaringan LTE dan *video conference*. Studi literatur dilakukan

untuk memperoleh pemahaman secara teori mengenai bahasan yang akan digunakan pada penelitian ini. Teori-teori yang digunakan antara lain:

1. Jaringan LTE

Meliputi pengertian dan konsep dasar LTE, spesifikasi teknis LTE, arsitektur jaringan LTE, arsitektur RAN (*Radio Access Network*), dan alokasi spektrum LTE.

2. *Video conference*

Meliputi pengertian *video conference*, teknik kompresi, CODEC, dan protokol yang digunakan.

3.2 Pengkajian Data

Pada penelitian ini dilakukan pengkajian terhadap data sekunder. Data sekunder yang akan dikaji meliputi karakteristik serta spesifikasi jaringan LTE dan *video conference*. Dari hasil studi literatur mengenai jaringan LTE dan *video conference* diperoleh data yang akan digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Jaringan LTE

- a. Standar yang digunakan adalah 3GPP *release 8*.
- b. Teknik modulasi yang digunakan pada LTE adalah QPSK.
- c. *Bandwidth* kanal yang digunakan adalah 10 MHz.
- d. BER pada LTE kurang dari 10^{-3} .
- e. Maksimum data rate dari UE adalah 3,6 Mbps.
- f. Kondisi kanal yang digunakan adalah *Line Of Sight* (LOS)
- g. Nilai parameter yang akan dianalisis meliputi, *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*.

2. *Video conference*

- a. Jenis CODEC yang digunakan adalah H.264 untuk *video* dan G. 711 untuk *audio*.
- b. *Delay* CODEC yang digunakan adalah 150 ms untuk *video* 0.75 ms untuk *audio*.
- c. *Frame rate* untuk *video conference* adalah sebesar 33 ms.

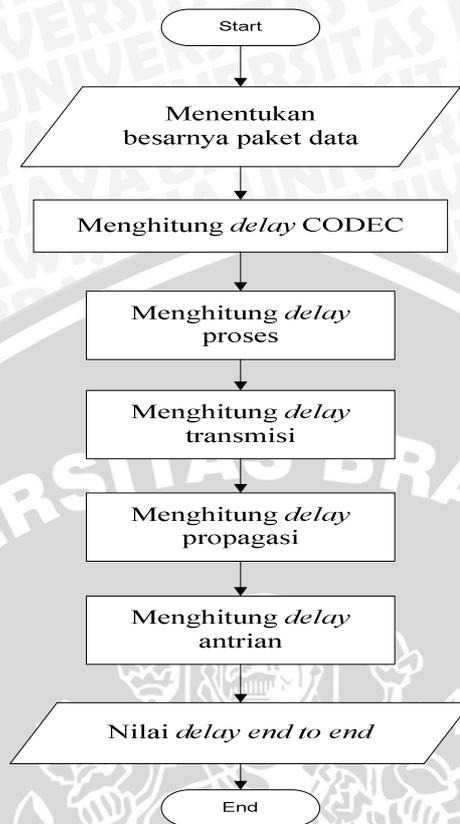
3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan hasil perhitungan pada penelitian ini yakni pengaruh jumlah *user* dan jarak antar *user* terhadap *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput* dalam performansi sistem *video conference* pada jaringan LTE dilakukan dengan beberapa tahap yaitu :

- Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan secara matematis. Pengolahan data secara matematis yakni perhitungan data dilakukan dengan mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder dan kemudian diolah dengan rumus-rumus yang telah didapatkan dari studi literatur.
 - Dari nilai *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput* yang diperoleh melalui perhitungan berdasarkan teori. Kemudian dilakukan perhitungan dengan jumlah *user* dan jarak antara *user* dengan eNodeB yang berbeda sehingga diperoleh performansi yang maksimum. Pengolahan data akan menggunakan *software Matlab*
7. Perhitungan performansi *video conference* pada penelitian ini meliputi

1. Perhitungan *delay end to end video conference* pada jaringan LTE.

Delay end to end merupakan keseluruhan *delay* yang ada dalam perjalanan paket data dari sumber hingga ke tujuan. .

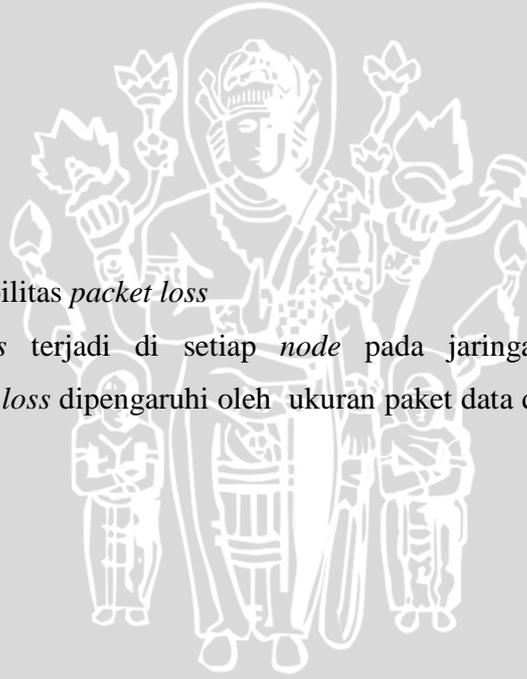


Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan *Delay end to end*

Pada diagram alir Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut:

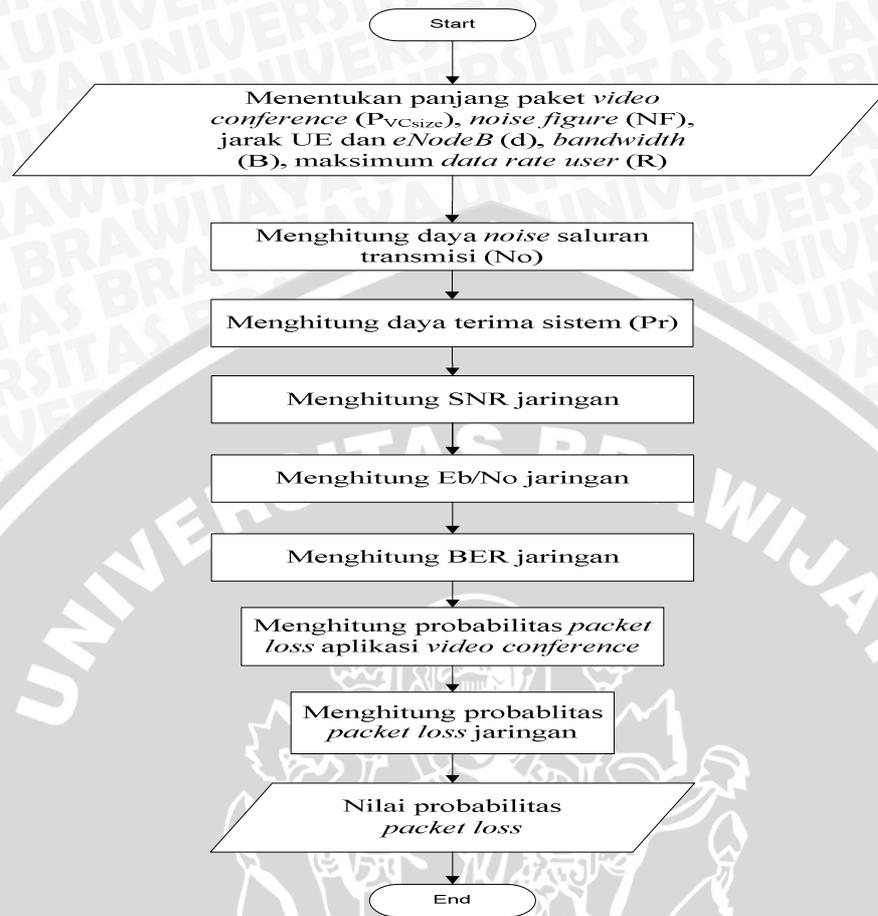
- Menentukan besar paket data yang digunakan sistem *video conference* dilakukan dengan menentukan jumlah paket data *video conference* berdasarkan standar yang ada,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *delay CODEC video conference* dengan menjumlahkan besar *delay video* dan *audio*,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *delay proses jaringan* merupakan jumlah dari *delay enkapsulasi* dan *delay dekapsulasi*,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *delay transmisi jaringan*,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *delay propagasi jaringan*,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *delay antrian jaringan*,
- Didapatkan hasil *delay end to end* dari penjumlahan semua *delay* yang terjadi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



2. Perhitungan probabilitas *packet loss*

Packet loss terjadi di setiap *node* pada jaringan LTE. Perhitungan probabilitas *packet loss* dipengaruhi oleh ukuran paket data di setiap *node* dan nilai E_b/N_0 .

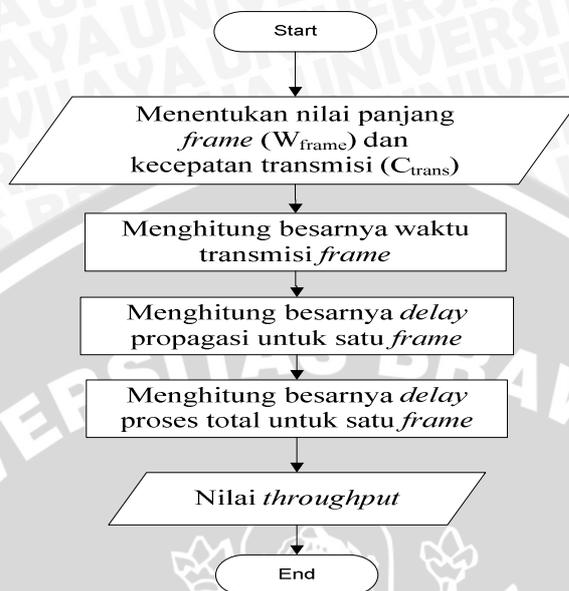


Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Probabilitas *Packet Loss*

Pada diagram alir Gambar 3.3 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Menentukan panjang paket *video conference* ($P_{VC-size}$), jarak UE dan eNodeB (d), *noise figure* (NF), *bandwidth* (B) dan maksimum *data rate user* (R)
- Perhitungan untuk mendapatkan daya terima UE (P_r) sangat dipengaruhi oleh propaasi sinyal dari pemancar ke penerima,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai daya *noise* saluran transmisi (N_o)
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari SNR jaringan,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari Eb/No jaringan,
- Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari BER pada jaringan,
- Perhitungan probabilitas *packet loss* aplikasi *video conference*,
- Perhitungan probabilitas *packet loss* jaringan yang terdiri dari probabilitas *packet loss* pada *server* dan probabilitas *packet loss node-node* pada jaringan LTE,
- Probabilitas *packet loss* sistem.

3. Perhitungan *Throughput*



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan *Throughput*

Pada diagram alir Gambar 3.4 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Menentukan nilai panjang *frame* (W_{frame}) dan kecepatan transmisi (C_{trans}),
- Perhitungan untuk mendapatkan besarnya nilai waktu transmisi *frame*,
- Perhitungan untuk mendapatkan *delay* propagasi total untuk satu *frame*,
- Perhitungan untuk mendapatkan *delay* proses total untuk satu *frame*,
- Hasil *throughput* dari *server* ke *user*.

3.4 Kerangka Acuan Berpikir

Proses penelitian dimulai dari pengambilan data sekunder karena penelitian ini bersifat analisis. Dari hasil pengambilan data tersebut dilakukan kajian penelitian untuk menentukan metode-metode yang diperlukan untuk mengolah data. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan memasukkan nilai-nilai data yang diperoleh ke rumus yang telah ada. Hasil pengolahan data dilakukan pembahasan dan analisis akhir yang kemudian dijadikan acuan tolak ukur pengambilan kesimpulan. Dari metode-metode yang digunakan diharapkan dapat tercapai tujuan sebagai berikut:

- Dapat diketahui pengaruh jumlah *user* terhadap performansi *video conference*.

2. Dapat diketahui pengaruh jarak antara user dengan eNodeB terhadap performansi *video conference*.

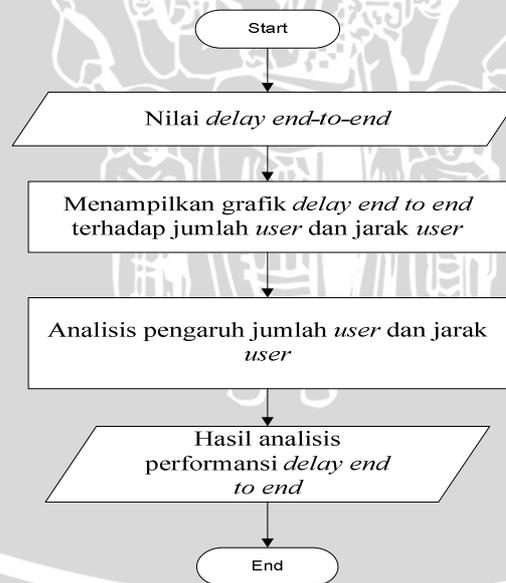
3.5 Pembahasan dan Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Analisis akan dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah *user* dan jarak antara *user* dengan eNodeB pada jaringan LTE terhadap performansi *video conference*. Analisis yang akan dilakukan meliputi :

1. Analisis *delay end to end*

Langkah-langkah untuk melakukan analisis *delay end to end* adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan nilai *delay end to end*,
- b. Menampilkan grafik *delay end to end*,
- c. Menganalisis besarnya nilai *delay end to end* akibat jumlah *user* dan jarak antara *user* dengan eNodeB yang berbeda-beda,
- d. Mendapatkan hasil performansi *delay end to end*

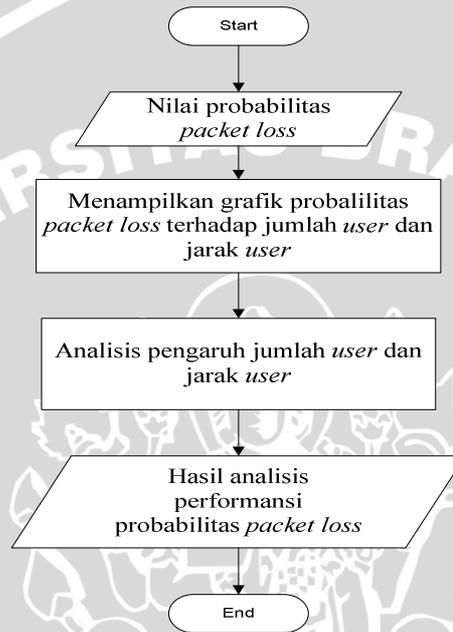


Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Analisis *Delay end to end*

2. Analisis probabilitas *packet loss*

Langkah-langkah untuk melakukan analisis probabilitas *packet loss* adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan nilai probabilitas *packet loss*,
- b. Menampilkan grafik probabilitas *packet loss*,
- c. Menganalisis besarnya nilai probabilitas *packet loss* akibat jumlah *user* dan jarak antara *user* dengan eNodeB yang berbeda-beda,
- d. Mendapatkan hasil performansi probabilitas *packet loss*

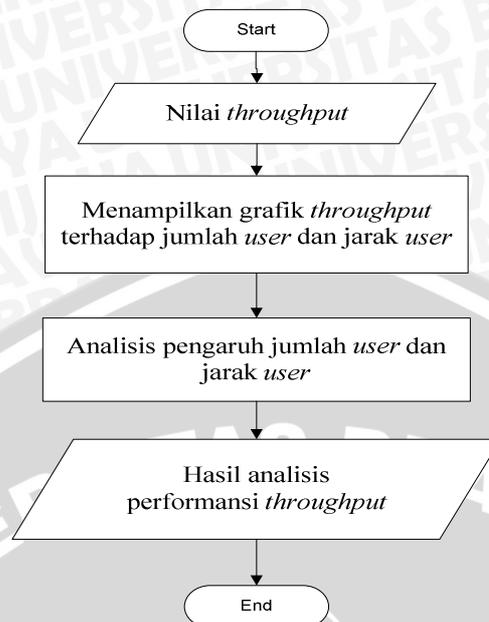


Gambar 3.5 Diagram Alir Proses Analisis Probabilitas *Packet Loss*

3. Analisis *Throughput*

Langkah-langkah untuk melakukan analisis *throughput* adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan nilai *throughput video conference*,
- b. Menampilkan grafik *throughput video conference*,
- c. Menganalisis besarnya nilai *throughput* akibat jumlah *user* dan jarak antara *user* dengan eNodeB yang berbeda-beda,
- d. Mendapatkan hasil performansi *throughput*.



Gambar 3.6 Diagram Alir Proses Analisis *Throughput*

3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang meliputi:

1. Performansi jaringan LTE yang digunakan untuk aplikasi *video conference* antara lain seperti *throughput*, *delay end to end*, dan probabilitas *packet loss*.
2. Pengaruh jumlah *user*, jarak antara *user* dengan eNodeB terhadap sistem *video conference* pada jaringan LTE.

Selain itu, juga dilakukan pemberian saran yang berisi tentang pengembangan jaringan yang dapat dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dilakukan pembahasan dan analisis terhadap performansi *video conference* pada jaringan *Long term Evolution* (LTE). Analisis yang dilakukan meliputi parameter *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis secara matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Beberapa data yang akan digunakan pada penelitian ini antara lain yaitu :

1. Jaringan *Long Term Evolution* (LTE)
 - a. *Bandwidth* kanal sebesar 10 Mhz.
 - b. Maksimum *data rate* dari UE adalah 3,6 Mbps.
 - c. Jarak UE dengan eNodeB divariasikan dari 2000m - 40000m.
 - d. Kondisi kanal yang digunakan adalah *Line Of Sight* (LOS)
2. *Video Conference*
 - a. *Frame rate* yang digunakan sebesar 30 fps karena menggunakan format gambar CIF.
 - b. Spesifikasi CODEC yang digunakan ditunjukkan pada tabel 4.1

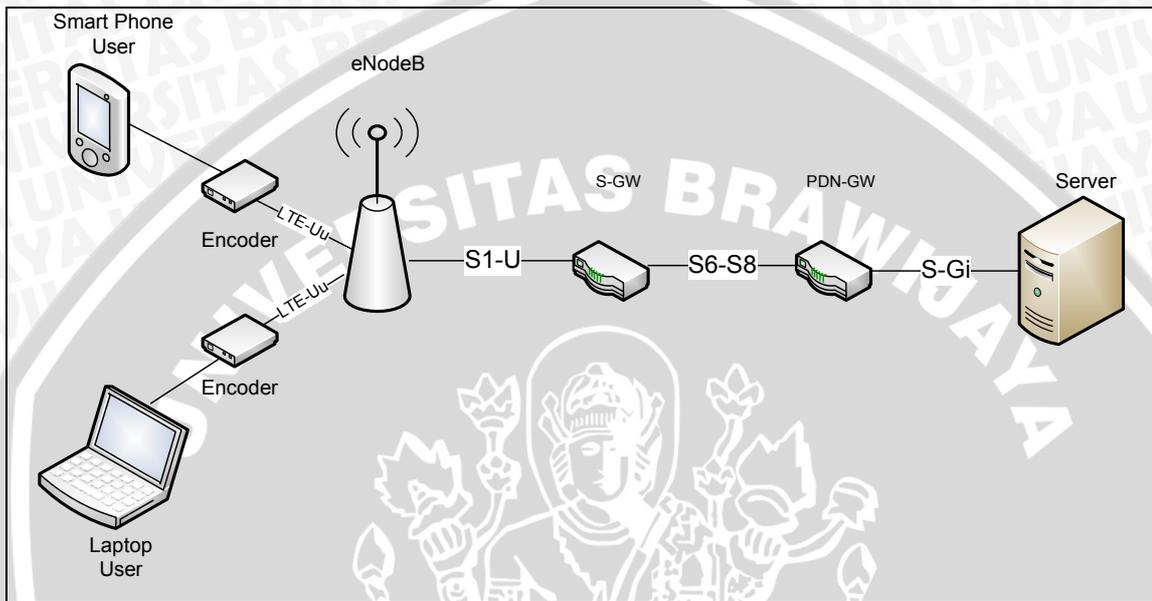
Tabel 4.1 Spesifikasi CODEC

<i>Audio CODEC</i>	<i>Bit Rate</i> (Kbps)	<i>Maximum Payload</i> (byte)	<i>Delay CODEC</i> (ms)
G.711	64	160	0,75
<i>Video CODEC</i>	<i>Bit Rate</i> (Kbps)	<i>Maximum Payload</i> (byte)	<i>Delay CODEC</i> (ms)
H.264	64-384	254	150

Sumber: Cisco System, 2006

4.2 Analisis Performansi Video Conference Pada Jaringan LTE

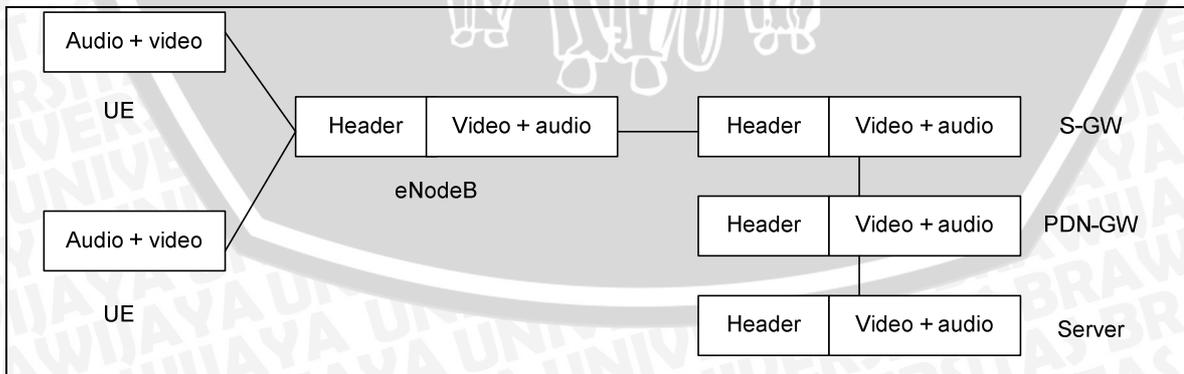
Pada sub bab ini akan dibahas performansi *video conference* pada jaringan LTE dengan melakukan perhitungan beberapa nilai parameter antara lain *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*. Konfigurasi aplikasi *video conference* pada LTE ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Konfigurasi *video conference* pada jaringan LTE

(Sumber : Hasil Analisis)

Penggunaan jaringan LTE untuk aplikasi *video conference* diharapkan mampu meningkatkan kualitas pelayanan, karena memiliki *bandwidth* yang besar. Format paket data *video conference* pada saat pentransmisian dari *user* hingga *server* disesuaikan dengan perangkat yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 4.2

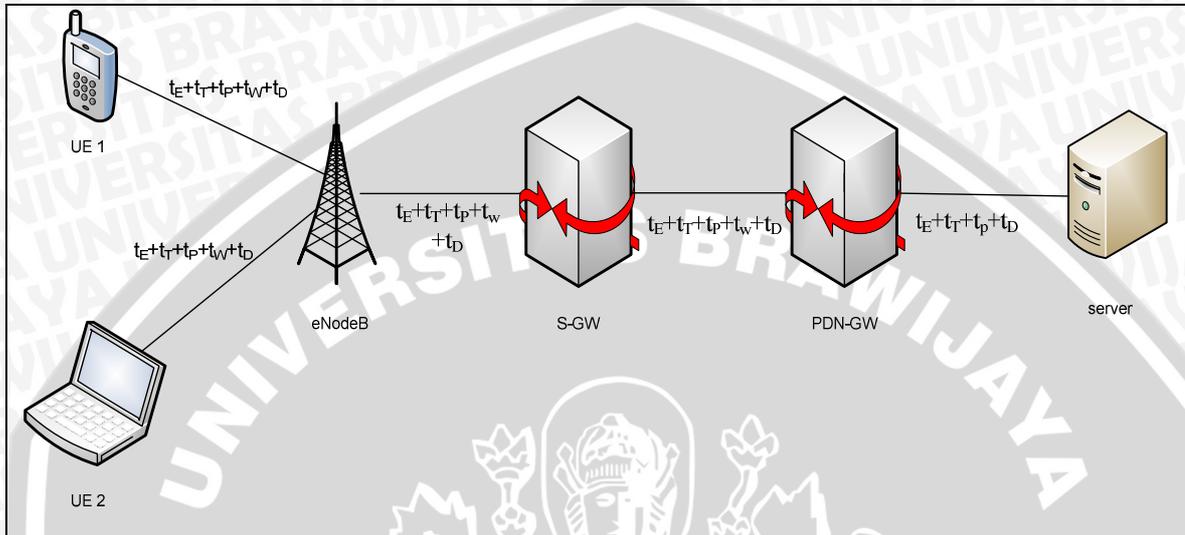


Gambar 4.2 Format paket data *video conference* pada jaringan LTE

(Sumber : Hasil Analisis)

4.2.1 Analisis Delay End to End Video Conference pada jaringan LTE

Delay end to end video conference merupakan jumlah delay CODEC aplikasi video conference dengan delay jaringan. Perhitungan delay end to end yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.3 Delay end to end pada jaringan LTE

(Sumber : Hasil Analisis)

- *Payload video conference*

Pada aplikasi *video conference payload* yang ditransmisikan dibedakan atas *payload audio* dan *video*. CODEC yang digunakan yaitu *audio* CODEC G.711 dengan *bit rate* 64 Kbps dan *video* CODEC H.264 dengan *bit rate* 384 Kbps serta waktu pencuplikan *frame* 33 ms, besarnya *payload* masing-masing dapat dihitung dengan persamaan (2-2)

$$P_{LA/V} = B_{\text{CODEC}} \times \text{frame rate}$$

$$\text{Untuk audio : } P_{LA} = 64 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 33 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\ = 1920 \text{ bit}$$

$$\text{Untuk video : } P_{LV} = 384 \cdot 10^3 \text{ bps} \times 33 \cdot 10^{-3} \text{ s} \\ = 11520 \text{ bit}$$

Jumlah paket *audio* dan *video* yang akan dikirim dipengaruhi oleh besar *payload* maksimum dari *video* maupun *audio*, sehingga paket *audio* dan *video* dapat dihitung dengan persamaan (2-3):

$$P_{A/V} = \frac{P_{LA/V}}{P_{LA/V \text{ max}}}$$

$$\text{Untuk audio: } P_A = \frac{1920}{160}$$

$$= 12 \text{ paket}$$

$$\text{Untuk video: } P_V = \frac{11520}{254}$$

$$= 45,354 \text{ paket}$$

Besarnya paket data *video conference* merupakan penjumlahan *payload* paket audio dan *video* dengan *header* NALU, RTP, UDP, dan IPv6, sehingga dapat dihitung dengan persamaan (2-4):

$$\text{Paket data} = P_{LA/V} + (P_{A/V} \times (NALU + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP}))$$

$$\text{Untuk audio : Paket data} = 1920 + (12 \times (8 + 96 + 64 + 320))$$

$$= 7776 \text{ bit}$$

$$\text{Untuk video : Paket data} = 11520 + (46 \times (8 + 96 + 64 + 320))$$

$$= 33968 \text{ bit}$$

Panjang paket data *video conference* yang siap ditransmisikan dihitung dengan persamaan (2-5):

$$W_{\text{data}} = P_{\text{audio}} + P_{\text{video}}$$

$$= 7776 + 33968$$

$$= 41744 \text{ bit}$$

$$= \frac{41744 \text{ bit}}{8} = 5218 \text{ byte}$$

Paket data dari aplikasi *video conference* ditunjukkan pada gambar 4.4

Paket data audio (7776 bit)	Paket data video (33968 bit)	NALU (8 bit)	H _{RTP} (96 bit)	H _{UDP} (64 bit)	H _{IP} (320 bit)
--------------------------------	---------------------------------	-----------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------

Gambar 4.4 Paket data *video conference*

(Sumber: Hasil Analisis)

- *Delay* CODEC

Delay CODEC pada penelitian ini adalah *delay* CODEC *audio* dan *video*. Dimana komunikasi yang digunakan bersifat *full-duplex* dengan *delay* *audio* CODEC G.711 sebesar 0,75ms dan *delay* *video* CODEC H.263 sebesar 150 ms. Sehingga *delay* CODEC untuk aplikasi *video conference* sesuai dengan persamaan (2-7):

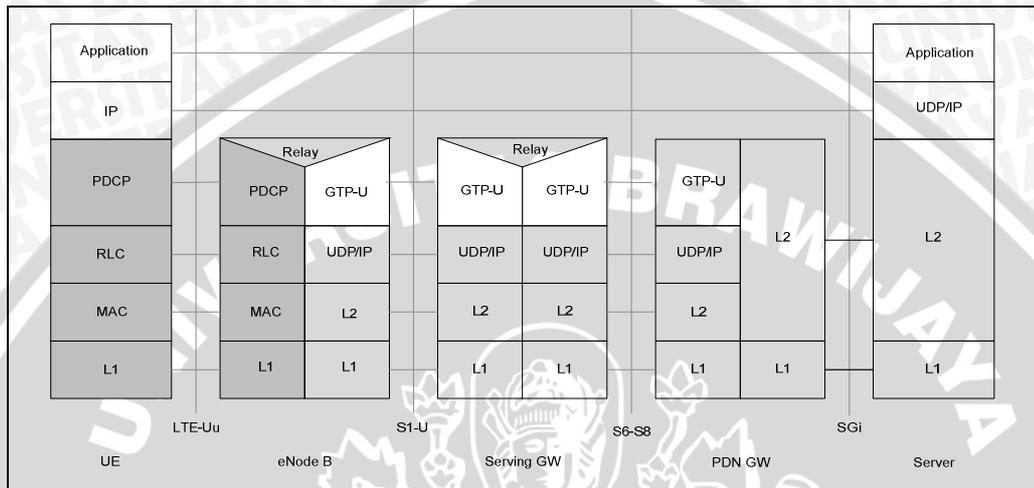
$$t_{\text{CODEC}} = 2 \times (t_a + t_v)$$

$$= 2 \times (0.75 \text{ ms} + 150 \text{ ms})$$

$$= 301,5 \text{ ms}$$

- *Delay Proses*

Delay proses pada jaringan LTE meliputi *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi yang terjadi pada setiap *node*. Sehingga dengan adanya format penambahan beberapa *header* pada tiap *node*. Perhitungan *delay* proses pada jaringan LTE berlaku untuk masing-masing *layer-layer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Analisis *delay* enkapsulasi dan dekapsulasi pada jaringan LTE

(Sumber : Hasil Analisis)

Header yang digunakan dalam perhitungan *delay* proses sesuai dengan Gambar 4.4 ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 *Header* Pada Jaringan LTE

<i>Header</i>	Ukuran (<i>byte</i>)
<i>Ethernet</i>	14
FCS	4
GTP	8
UDP	8
IP	40
PDCP	2
RLC	2
MAC	3

(Sumber : Hasil Analisis)

- *User Equipment (UE)*

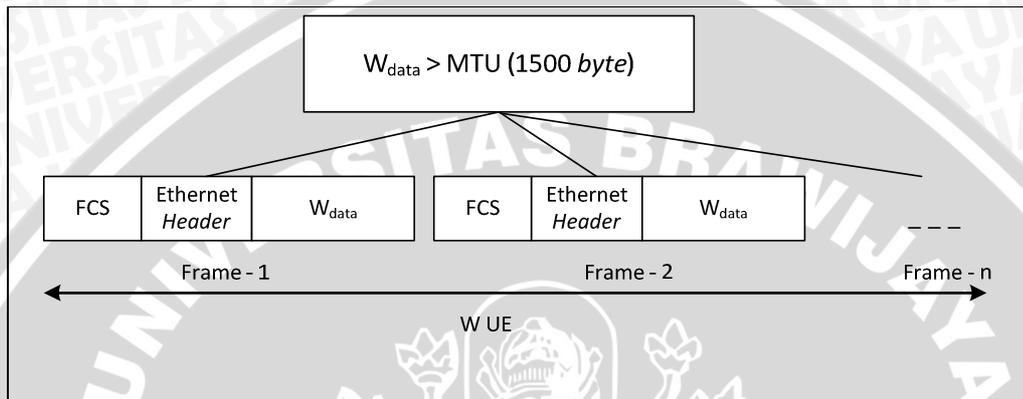
Perhitungan *delay* enkapsulasi paket data *video conference* dilakukan dengan penambahan beberapa *header*. Sehingga besarnya format paket data pada UE dapat ditunjukkan Gambar 4.6

W data (5218 byte)	Header IP (40 byte)	Header Ethernet (14 byte)	FCS (4 byte)	Header PDCP (2 byte)	Header MAC (3 byte)	Header RLC (2 byte)
-----------------------	------------------------	------------------------------	-----------------	-------------------------	------------------------	------------------------

Gambar 4.6 Paket data pada UE

(Sumber: Hasil Analisis)

Karena besar *payload video conference* melebihi *Maximum Transfer Unit (MTU)* sebesar 1500, *byte* maka akan dilakukan proses fragmentasi seperti tampak pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Format Fragmentasi MTU Ethernet

(Sumber : Hasil Analisis)

Sehingga jumlah *frame* yang siap ditransmisikan dapat dihitung dengan persamaan (2-12):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame}} &= \frac{W_{\text{data}}}{\text{MTU}} \\
 &= \frac{5218}{1500} \\
 &= 3,478 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Terdapat 3 buah *frame* berisi data 1500 byte dan 1 buah *frame* berisi data sebesar (0,478 x 1500 byte = 717 byte). Sehingga jumlah *frame* yang akan ditransmisikan berjumlah 4 dengan besarnya paket data yang dikirimkan ditunjukkan pada gambar 4.6 dapat dihitung dengan persamaan (2-13):

$$\begin{aligned}
 W_{\text{datagram}} &= W_{\text{data}} + [N_{\text{frame}} \times (H_{\text{Ethernet}} + H_{\text{IP}} + FCS)] \\
 &= 5218 + [4 \times (14 + 40 + 4)] \\
 &= 5450 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Pada *layer PDCP (Packet Data Convergence Protocol)*, paket datagram IP *video conference* dienkapsulasi dengan penambahan *header* sebesar 2 *byte* sesuai persamaan (2-14)

$$W_{\text{frame PDCP}} = W_{\text{datagram}} + [N_{\text{frame}} \times H_{\text{PDCP}}]$$

$$= 5450 + [4 \times 2]$$

$$= 5458 \text{ byte}$$

Saat memasuki RLC, paket data PDCP di fragmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* sebesar 40 *byte*. Jumlah *frame* RLC diketahui sesuai dengan persamaan (2-15):

$$N_{frameRLC} = \frac{W_{framePDCP}}{40 \text{ byte}}$$

$$= \frac{5458}{40}$$

$$= 136,45 \text{ frame}$$

Terdapat 136 buah *frame* data berisi 40 *byte* dan 1 buah *frame* data berisi (0,45 x 40 *byte* = 18 *byte*), sehingga terdapat 137 buah *frame* data. Setiap *frame* selanjutnya diberi *header* sebesar 2 *byte*, sehingga panjang setiap *frame* RLC sebesar 42 *byte*. Panjang *frame* RLC total yang siap diteruskan ke *layer* MAC (*Medium Access Control*) dihitung sesuai dengan persamaan (2-16):

$$W_{frameRLC} = N_{frameRLC} \times (frame_{RLC} + H_{RLC})$$

$$= 137 \times 42$$

$$= 5754 \text{ byte}$$

Pada *layer* MAC, paket data RLC difragmentasi menjadi MAC SDU (*Service Data Unit*) sebesar 42 *byte*. Jumlah *frame* SDU dihitung dengan persamaan (2-17):

$$N_{frameMAC} = \frac{W_{frameRLC}}{42 \text{ byte}}$$

$$= \frac{5754}{42}$$

$$= 137 \text{ frame}$$

Pada *layer* MAC setiap *frame* selanjutnya diberi *header* sebesar 3 *byte*, sehingga panjang setiap *frame* RLC sebesar 45 *byte*. Perhitungan paket data diperoleh dengan persamaan (2-18)

$$W_{UE} = N_{frame} \times (frame_{MAC} + H_{MAC})$$

$$= 137 \times (42+3)$$

$$= 6165 \text{ byte}$$

Data rate maksimum yang digunakan pada UE sebesar 3,6 Mbps, maka besarnya *delay* enkapsulasi yang terjadi dihitung dengan persamaan (2-19):

$$t_{E1} = \frac{W_{UE} - W_{data}}{C_{UE}} \times 8$$

$$= \frac{6165-5218}{3,6 \times 10^6} \times 8$$

$$= 2,1044 \times 10^{-3} \text{ s}$$

➤ eNodeB

Pada eNodeB, paket data yang diterima dari UE mengalami proses dekapsulasi. Sehingga besar paket data pada eNodeB dapat dihitung dengan persamaan (2-20):

$$W_{data} = W_{UE} - [N_{frame1} \times (H_{Ethernet} + H_{IP} + H_{PDCP} + FCS)]$$

$$- [N_{frame} \times H_{RLC}] - [N_{frame} \times H_{MAC}]$$

$$= 6165 - [4 \times (14 + 40 + 2 + 4)] - (137 \times 2) - (137 \times 3)$$

$$= 5218 \text{ byte}$$

Standar yang digunakan pada eNodeB yaitu *interface* STM-1 (*Synchronous Transport Module-1*) dengan kecepatan 155,52 Mbps. Maka besarnya *delay* dekapsulasi dihitung dengan persamaan (2-21):

$$t_{D1} = \frac{W_{UE} - W_{data}}{C_{eNodeB}} \times 8$$

$$= \frac{6165-5218}{155,52 \times 10^6} \times 8$$

$$= 0,04871 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Paket data pada eNodeB akan ditambahkan *header* sebelum ditransmisikan menuju S-GW sesuai dengan Gambar 4.8

W data (5218 byte)	Header Ethernet (14 byte)	FCS (4 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (40 byte)	Header GTP (8 byte)
-----------------------	------------------------------	-----------------	------------------------	------------------------	------------------------

Gambar 4.8 Format paket data pada eNodeB

(Sumber: Hasil Analisis)

Paket data diberi penambahan *header* sesuai protokol yang digunakan yaitu GTP, UDP dan IP. Besar *Maximum Segmen Size* (MSS) dapat diperoleh sesuai dengan persamaan (2-22)

$$MSS = MTU - H_{GTP} - H_{UDP} - H_{IP}$$

$$= 1500 - 8 - 8 - 40$$

$$= 1444 \text{ byte}$$

Karena paket data melebihi MSS maka akan disegmentasi sesuai dengan persamaan (2-23):

$$N_{frame1} = \frac{W_{data}}{1444 \text{ byte}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5218}{1444} \\
 &= 3.613 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Sehingga terdapat 4 buah *frame* datagram IP. Kemudian, paket data aplikasi *video conference* dienkapsulasi dengan penambahan *header* GTP (GPRS Tunneling Protocol), UDP (User Datagram Protocol), dan IP (Internet Protocol) sesuai dengan persamaan (2-24):

$$\begin{aligned}
 W_{\text{datagram}} &= W_{\text{data}} + [N_{\text{frame}1} \times (H_{\text{GTP}} + H_{\text{UDP}} + H_{\text{IP}})] \\
 &= 5218 + [4 \times (8 + 8 + 40)] \\
 &= 5442 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Karena panjang datagram IP melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) *Ethernet* (1500 *byte*), maka datagram IP akan mengalami fragmentasi menjadi beberapa buah *frame* sesuai dengan persamaan (2-25):

$$\begin{aligned}
 N_{\text{frame}2} &= \frac{W_{\text{datagram}}}{1500 \text{ byte}} \\
 &= \frac{5442}{1500} \\
 &= 3.628 \text{ frame}
 \end{aligned}$$

Terdapat 4 buah *frame ethernet*, sehingga, jumlah total *frame* pada eNodeB yang dapat dikirimkan ke S-GW sesuai dengan persamaan (2-26):

$$\begin{aligned}
 W_{\text{eNodeB}} &= W_{\text{datagram}} + [N_{\text{frame}2} \times (H_{\text{Ethernet}} + FCS)] \\
 &= 5442 + [4 \times (14 + 4)] \\
 &= 5514 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Maka besarnya *delay* dekapsulasi didapatkan dengan menggunakan persamaan (2-27):

$$\begin{aligned}
 t_{E2} &= \frac{W_{\text{eNodeB}} - W_{\text{data}}}{C_{\text{eNodeB}}} \times 8 \\
 &= \frac{5514 - 5218}{155,52 \times 10^6} \times 8 \\
 &= 0,01522 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

➤ S-GW

Besarnya paket data pada SG-W, diperoleh dari proses dekapsulasi paket data yang diterima dari eNodeB. Sehingga besar paket data pada SG-W dapat dihitung dengan persamaan (2-28):

$$\begin{aligned}
 W_{data} &= W_{eNodeB} - [N_{frame\ 1} \times (H_{GTP} + H_{UDP} + H_{IP})] - [N_{frame\ 2} \times (H_{Ethernet} + \\
 &FCS)] \\
 &= 5514 - [4 \times (8 + 8 + 40)] - [4 \times (14 + 4)] \\
 &= 5218 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Besarnya paket data pada S-GW yang akan ditransmisikan menuju PDN-GW ditunjukkan pada gambar 4.9

W data (5218 byte)	Header Ethernet (14 byte)	FCS (4 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (40 byte)	Header GTP (8 byte)
-----------------------	------------------------------	-----------------	------------------------	------------------------	------------------------

Gambar 4.9 Format paket data pada S-GW

(Sumber: Hasil Analisis)

Standar yang digunakan pada S-GW yaitu, *Fast Ethernet* dengan kecepatan data 100 Mbps, maka besarnya *delay* dekapulasi didapatkan dengan persamaan (2-29):

$$\begin{aligned}
 t_{D2} &= \frac{W_{S-GW} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \\
 &= \frac{5514 - 5218}{10^8} \times 8 \\
 &= 0,02368 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* enkapsulasi yang terjadi pada S-GW dapat dihitung dengan persamaan (2-30)

$$\begin{aligned}
 t_{E3} &= \frac{S-GW - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \\
 &= \frac{5514 - 5514}{10^8} \times 8 \\
 &= 0,02368 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

➤ PDN-GW

Besarnya paket data pada PDN-GW dihitung dengan persamaan (2-31):

$$\begin{aligned}
 W_{data} &= W_{S-GW} - [N_{frame\ 1} \times (H_{GTP} + H_{UDP} + H_{IP})] \\
 &\quad - [N_{frame\ 2} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \\
 &= 5514 - [4 \times (8 + 8 + 40)] - [4 \times (14 + 4)] \\
 &= 5218 \text{ byte}
 \end{aligned}$$

Standar yang digunakan pada PDN-GW yaitu, *Fast Ethernet* dengan kecepatan data 100 Mbps, maka besarnya *delay* dekapulasi didapatkan dengan persamaan (2-32):

$$\begin{aligned}
 t_{D3} &= \frac{W_{S-GW} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \\
 &= \frac{5514 - 5218}{10^8} \times 8
 \end{aligned}$$

$$= 0,02368 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Besar paket data pada PDN-GW yang akan ditransmisikan menuju ke server ditunjukkan Gambar 4.10

W data (5218 byte)	Header Ethernet (14 byte)	FCS (4 byte)
-----------------------	------------------------------	-----------------

Gambar 4.10 Format paket data pada PDN-GW

(Sumber: Hasil Analisis)

Sehingga besar paket data yang dikirim dapat dihitung dengan persamaan (2-33):

$$\begin{aligned} W_{PDN-GW} &= W_{data} + [N_{frame} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \\ &= 5218 [4 \times (14+4)] \\ &= 5290 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga besar delay enkapsulasi dapat dihitung dengan persamaan (2-34):

$$\begin{aligned} t_{E4} &= \frac{W_{PDN-GW} - W_{data}}{C_{server}} \times 8 \\ &= \frac{5290 - 5218}{10^8} \times 8 \\ &= 0,00576 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

➤ **Server**

Besarnya paket data pada server diperoleh dari proses dekapsulasi paket data dari PDN-GW. Sehingga besar paket data pada server dapat dihitung dengan persamaan (2-35):

$$\begin{aligned} W_{data} &= W_{PDN-GW} - [N_{frame} \times (H_{Ethernet} + FCS)] \\ &= 5290 - [4 \times (14+4)] \\ &= 5218 \text{ byte} \end{aligned}$$

Standar yang digunakan pada server yaitu, interface Gigabit Ethernet dengan kecepatan 1 Gbps. Sehingga delay enkapsulasi pada server dihitung dengan persamaan (2-36):

$$\begin{aligned} t_{D4} &= \frac{W_{PDN-GW} - W_{data}}{C_{S-GW}} \times 8 \\ &= \frac{5290 - 5218}{10^8} \times 8 \\ &= 0,00576 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya delay proses (t_{proc}) total dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} t_{proc} &= t_{Etotal} + t_{Dtotal} \\ &= 2,1044 \times 10^{-3} + 0,04871 \times 10^{-3} + 0,01522 \times 10^{-3} + 0,02368 \times 10^{-3} \\ &\quad + 0,02368 \times 10^{-3} + 0,02368 \times 10^{-3} + 0,00576 \times 10^{-3} + 0,00576 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 2,25089 \times 10^{-3} \text{ s}$$

- *Delay transmisi*

Perhitungan *delay* transmisi pada jaringan LTE meliputi hubungan antara UE dan eNodeB, eNodeB dan S-GW, S-GW dan PDN-GW, serta PDN-GW dan *server*.

- *Delay transmisi dari UE menuju eNodeB*

Delay transmisi yang terjadi antara UE dan eNodeB bergantung pada *data rate* UE serta jumlah slot. Dimana *data rate* yang digunakan adalah 3,6 Mbps dan jumlah slot adalah 50 karena mewakili jumlah maksimum *user*, sehingga *delay* transmisi dapat dihitung dengan persamaan (2-37)

$$\begin{aligned} t_{T1} &= \frac{W_{UE}}{n \times C_{UE}} \\ &= \frac{6165}{50 \times 3,6 \times 10^6} \times 8 \\ &= 0,274 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay transmisi dari eNodeB menuju S-GW*

Standar yang digunakan untuk hubungan antara eNodeB dan S-GW adalah sistem transmisi digital STM-1 dengan kecepatan data sebesar 155,52 Mbps. Sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi pada S1-U *interface* sesuai dengan persamaan (2-37):

$$\begin{aligned} t_{T2} &= \frac{W_{eNodeB}}{C_{STM-1}} \\ &= \frac{5514}{155,52 \times 10^6} \times 8 \\ &= 0,28364 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay transmisi dari S-GW menuju PDN-GW*

Hubungan antara S-GW dengan PDN-GW adalah sistem *Fast ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps. Sehingga nilai *delay* transmisi yang terjadi pada S-6-S8 *interface* dihitung dengan persamaan (2-37):

$$\begin{aligned} t_{T3} &= \frac{W_{S-GW}}{C_{ethernet}} \\ &= \frac{5514}{10^8} \times 8 \\ &= 0,44112 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay transmisi dari PDN-GW menuju server*

Server dan PDN-GW dihubungkan dengan jaringan standar *Ethernet* yang memiliki kecepatan transmisi data 100 Mbps. Maka *delay* transmisi yang terjadi pada SGi *interface* dapat dihitung dengan persamaan (2-37):

$$\begin{aligned} t_{T4} &= \frac{W_{PDN-GW}}{C_{ethernet}} \\ &= \frac{5290}{10^8} \times 8 \\ &= 0,4232 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Delay transmisi total dihitung dengan persamaan (2-38):

$$\begin{aligned} t_{T \text{ tot}} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} \\ &= 0,274 \times 10^{-3} \text{ s} + 0,28364 \times 10^{-3} \text{ s} + 0,44112 \times 10^{-3} \text{ s} + 0,4232 \times 10^{-3} \text{ s} \\ &= 1,42196 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay propagasi*

Analisis perhitungan *delay* propagasi meliputi UE – eNodeB – S-GW – PDN-GW – Server, dimana propagasi eNodeB dengan UE menggunakan media udara serta eNodeB hingga *server* menggunakan media *fiber optic*.

- *Delay propagasi dari UE ke eNodeB*

Hubungan antara UE ke eNodeB menggunakan media udara dengan jarak yang berubah – ubah dari 2000m sampai 40000m. Nilai *delay* propagasi untuk jarak 2000m antara UE dengan eNodeB dihitung dengan persamaan (2-39):

$$\begin{aligned} t_{P1} &= \frac{R}{c} \\ &= \frac{2 \times 10^3}{3 \times 10^8} \\ &= 0,00667 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* propagasi untuk jarak yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Analisis *Delay* Propagasi dari UE ke eNodeB Dengan Jarak Yang Berbeda

No	Jarak UE menuju eNodeB (m)	<i>Delay</i> Propagasi $t_{p1}(s)$
1	2000	$0,00667 \times 10^{-3}$
2	10000	$0,03334 \times 10^{-3}$
3	20000	$0,06667 \times 10^{-3}$
4	30000	$0,1 \times 10^{-3}$
5	40000	$0,13334 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

- *Delay* propagasi dari eNodeB ke S-GW

Hubungan antara eNodeB ke S-GW menggunakan *fiber optic* dengan jarak 400 m.

Nilai *delay* propagasi antara PDN-GW dengan S-GW sesuai dengan persamaan (2-39):

$$\begin{aligned} t_{p2} &= \frac{R}{c} \\ &= \frac{0,4 \times 10^3}{2,069 \times 10^8} \\ &= 0,00193 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay* propagasi dari S-GW ke PDN-GW

Hubungan antara S-GW ke PDN-GW menggunakan *fiber optic* dengan jarak 3000

m. Nilai *delay* propagasi dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2-39):

$$\begin{aligned} t_{p3} &= \frac{R}{c} \\ &= \frac{3 \times 10^3}{2,069 \times 10^8} \\ &= 0,0144 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- *Delay* propagasi dari PDN-GW ke server

Hubungan antara PDN-GW ke server menggunakan *fiber optic* dengan jarak 2000

m. Nilai *delay* propagasi antara PDN-GW dengan Server dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2-39).

$$\begin{aligned} t_{p4} &= \frac{R}{c} \\ &= \frac{2 \times 10^3}{2,069 \times 10^8} \\ &= 0,009665 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Delay Propagasi Total

Delay propagasi total untuk jarak UE dengan eNodeB 2000m pada jaringan LTE terdiri dari penjumlahan *delay* propagasi yang terjadi pada tiap *interface* jaringan sesuai dengan persamaan (2-40):

$$\begin{aligned}
 t_{p \text{ tot}} &= t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} \\
 &= 0,00667 \times 10^{-3} + 0,00193 \times 10^{-3} + 0,0144 \times 10^{-3} \text{ s} + 0,009665 \times 10^{-3} \\
 &= 0,032662 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* propagasi total untuk jarak UE dengan eNodeB yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.4

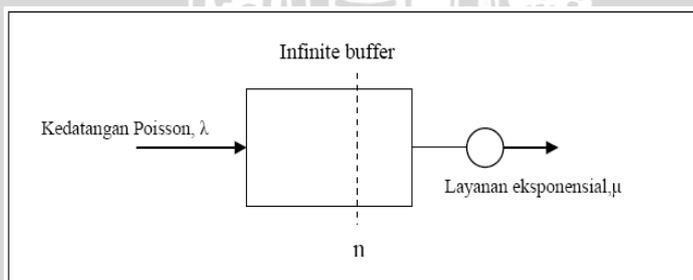
Tabel 4.4 Hasil perhitungan *Delay* Propagasi Total Dengan Jarak UE ke eNodeB Berbeda

No	Jarak UE menuju eNodeB (m)	Delay Propagasi total (s)
1	2000	$0,032662 \times 10^{-3}$
2	10000	$0,059328 \times 10^{-3}$
3	20000	$0,092662 \times 10^{-3}$
4	30000	$0,125995 \times 10^{-3}$
5	40000	$0,159328 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

- **Delay antrian**

Delay antrian ini terjadi pada UE, eNodeB, S-GW, PDN-GW, dan *server* dengan menggunakan model antrian M/M/1. Bentuk model antrian M/M/1 dapat dilihat pada Gambar 4.11



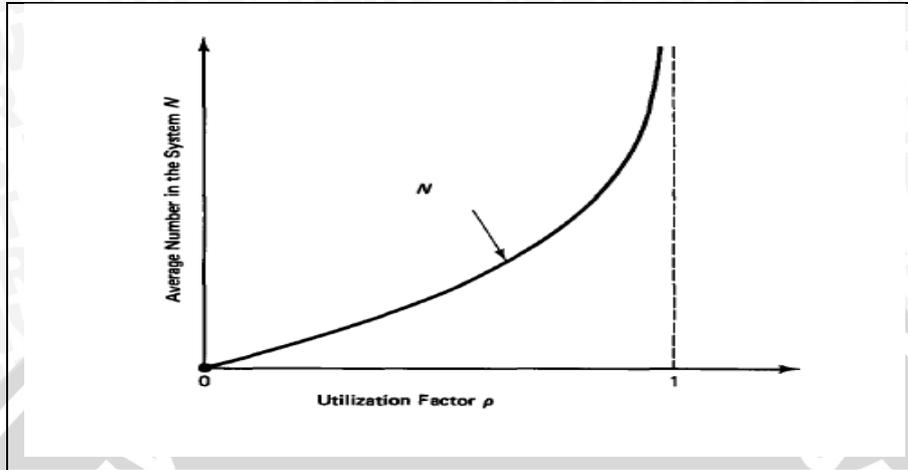
Gambar 4.11 Model antrian M/M/1

(Sumber: Mischa Schwartz, 1987:31)

Dalam perhitungan *delay* antrian besar faktor utilisasi (ρ) berubah-ubah antara nilai 1/50 sampai dengan 49/50 karena jumlah *user* maksimum yang digunakan sebanyak 50. Faktor utilisasi yang berubah-ubah mengindikasikan banyaknya *user* yang berada dalam



antrian (Dimitri Bertsekas and Robert Gallager, 1987: 129) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Hubungan Antara Faktor *Utilisasi* Dengan Jumlah User

(Sumber: Dimitri Bertsekas and Robert Gallager, 1987: 129)

➤ *Delay* antrian pada UE

Saat proses transmisi akan terjadi antrian di UE. Pada UE yang bekecepatan 3,6 Mbps dengan panjang paket data sebesar 5218 byte, maka besar laju pelayanan paket data dihitung sesuai dengan persamaan (2-41):

$$\begin{aligned} \mu_{UE} &= \frac{C_{UE}}{L} \\ &= \frac{3,6 \times 10^6}{5218 \times 8} \\ &= 86,239 \text{ s/paket} \end{aligned}$$

Perhitungan laju kedatangan (λ) untuk faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ diperoleh dengan persamaan (2-42):

$$\begin{aligned} \lambda_{ue} &= \mu_{ue} \times \rho \\ &= 86,239 \times \frac{1}{50} \\ &= 1,724 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan (2-43):

$$\begin{aligned} t_{w1} &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{1,724}{86,239(86,239-1,724)} + \frac{1}{86,239} \\ &= 11,832 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* antrian untuk *user* yang berbeda yang berbeda-beda ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian Pada UE Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah <i>User</i>	Faktor Utilisasi (ρ)	Delay antrian t_{w1} (s)
1	0,02	$11,832 \times 10^{-3}$
5	0,1	$12,883 \times 10^{-3}$
10	0,2	$14,494 \times 10^{-3}$
15	0,3	$16,565 \times 10^{-3}$
20	0,4	$19,325 \times 10^{-3}$
25	0,5	$23,191 \times 10^{-3}$
30	0,6	$28,988 \times 10^{-3}$
35	0,7	$38,651 \times 10^{-3}$
40	0,8	$57,977 \times 10^{-3}$
45	0,9	$115,95 \times 10^{-3}$
49	0,98	$579,77 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

➤ *Delay* antrian pada eNodeB

Pada proses transmisi akan terjadi antrian di eNodeB. *Interface* sistem yang digunakan pada eNodeB adalah STM-1 dengan kecepatan 155,52 Mbps. Jika panjang paket data sebesar 5218 *byte*, maka besar laju pelayanan paket data dihitung sesuai dengan persamaan (2-41):

$$\begin{aligned} \mu_{eNodeB} &= \frac{C_{eNodeB}}{L} \\ &= \frac{155,52 \times 10^6}{5218 \times 8} \\ &= 3725,56 \text{ s/paket} \end{aligned}$$

Perhitungan laju kedatangan (λ) untuk faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ diperoleh dengan persamaan (2-42):

$$\begin{aligned} \lambda_{eNodeB} &= \mu_{eNodeB} \times \rho \\ &= 3725,56 \times \frac{1}{50} \\ &= 74,511 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan (2-43):

$$\begin{aligned} t_{w2} &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{74,511}{3725,56(3725,56-74,511)} + \frac{1}{3725,56} \end{aligned}$$

$$= 0,2738 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* antrian pada eNodeB untuk jumlah *user* yang berbeda-beda ditunjukkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian Pada eNodeB Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	Delay antrian t_{w2} (s)
1	0,02	$0,2738 \times 10^{-3}$
5	0,1	$0,2982 \times 10^{-3}$
10	0,2	$0,3355 \times 10^{-3}$
15	0,3	$0,3834 \times 10^{-3}$
20	0,4	$0,4473 \times 10^{-3}$
25	0,5	$0,5368 \times 10^{-3}$
30	0,6	$0,6710 \times 10^{-3}$
35	0,7	$0,8947 \times 10^{-3}$
40	0,8	$1,3420 \times 10^{-3}$
45	0,9	$2,6841 \times 10^{-3}$
49	0,98	$13,420 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

➤ *Delay* antrian pada S-GW

Pada proses transmisi akan terjadi antrian di S-GW. *Interface* sistem yang digunakan pada S-GW adalah standart *Fast Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps. Jika panjang paket data sebesar 5218 *byte*, maka besar laju pelayanan paket data dihitung sesuai dengan persamaan (2-41):

$$\begin{aligned} \mu_{S-GW} &= \frac{C_{S-GW}}{L} \\ &= \frac{10^8}{5218 \times 8} \\ &= 2395,55 \text{ s/paket} \end{aligned}$$

Perhitungan laju kedatangan (λ) untuk faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ diperoleh dengan persamaan (2-42):

$$\begin{aligned} \lambda_{S-GW} &= \mu_{S-GW} \times \rho \\ &= 2395,55 \times \frac{1}{50} \\ &= 47,911 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan (2-43):

$$t_{w3} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu}$$

$$= \frac{47,911}{2395,55(2395,55-47,911)} + \frac{1}{2395,55}$$

$$= 0,4259 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* antrian pada S-GW untuk faktor utilisasi yang berbeda-beda ditunjukkan pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian Pada S-GW Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	Delay antrian t_{w3} (s)
1	0,02	$0,4259 \times 10^{-3}$
5	0,1	$0,4638 \times 10^{-3}$
10	0,2	$0,5218 \times 10^{-3}$
15	0,3	$0,5963 \times 10^{-3}$
20	0,4	$0,6957 \times 10^{-3}$
25	0,5	$0,8348 \times 10^{-3}$
30	0,6	$1,0436 \times 10^{-3}$
35	0,7	$1,3914 \times 10^{-3}$
40	0,8	$2,0872 \times 10^{-3}$
45	0,9	$4,1744 \times 10^{-3}$
49	0,98	$20,871 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

➤ *Delay* antrian pada PDN-GW

Pada proses transmisi akan terjadi antrian di PDN-GW. *Interface* sistem yang digunakan pada PDN-GW adalah standart *Fast Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps. Jika panjang paket data sebesar 5218 *byte*, maka besar laju pelayanan paket data dihitung sesuai dengan persamaan (2-41):

$$\mu_{PDN-GW} = \frac{C_{PDN-GW}}{L}$$

$$= \frac{10^8}{5218 \times 8}$$

$$= 2395,55 \text{ s/paket}$$

Perhitungan laju kedatangan (λ) untuk faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ diperoleh dengan persamaan (2-42):

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

$$= 2395,55 \times \frac{1}{50}$$

$$= 47,911$$

Sehingga *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan (2-43):

$$\begin{aligned}
 t_{w4} &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{47,911}{2395,55(2395,55-47,911)} + \frac{1}{2395,55} \\
 &= 0,4259 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* antrian pada PDN-GW untuk faktor utilisasi yang berbeda-beda ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian Pada PDN-GW Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	Delay antrian t_{w4} (s)
1	0,02	$0,4259 \times 10^{-3}$
5	0,1	$0,4638 \times 10^{-3}$
10	0,2	$0,5218 \times 10^{-3}$
15	0,3	$0,5963 \times 10^{-3}$
20	0,4	$0,6957 \times 10^{-3}$
25	0,5	$0,8348 \times 10^{-3}$
30	0,6	$1,0436 \times 10^{-3}$
35	0,7	$1,3914 \times 10^{-3}$
40	0,8	$2,0872 \times 10^{-3}$
45	0,9	$4,1744 \times 10^{-3}$
49	0,98	$20,871 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

➤ *Delay* antrian pada server

Pada proses transmisi akan terjadi antrian di server. *Interface* sistem yang digunakan pada server adalah standart *Gigabit Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps. Jika panjang paket data sebesar 5218 *byte*, maka besar laju pelayanan paket data dihitung sesuai dengan persamaan (2-41):

$$\begin{aligned}
 \mu_{server} &= \frac{C_{server}}{L} \\
 &= \frac{10^9}{5218 \times 8} \\
 &= 23955,53 \text{ s/paket}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju kedatangan (λ) untuk faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ diperoleh dengan persamaan (2-42):

$$\begin{aligned}
 \lambda_{PDN-GW} &= \mu_{PDN-GW} \times \rho \\
 &= 23955,53 \times \frac{1}{50} \\
 &= 479,11
 \end{aligned}$$

Sehingga *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan (2-43):

$$\begin{aligned}
 t_{w5} &= \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} \\
 &= \frac{479,11}{23955,53(23955,53-479,11)} + \frac{1}{23955,53} \\
 &= 0,04259 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama hasil perhitungan *delay* antrian pada *server* untuk faktor utilisasi yang berbeda-beda ditunjukkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian Pada *Server* Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	<i>Delay</i> antrian t_{w5} (s)
1	0,02	$0,04259 \times 10^{-3}$
5	0,1	$0,04638 \times 10^{-3}$
10	0,2	$0,05210 \times 10^{-3}$
15	0,3	$0,05963 \times 10^{-3}$
20	0,4	$0,06957 \times 10^{-3}$
25	0,5	$0,08348 \times 10^{-3}$
30	0,6	$0,10436 \times 10^{-3}$
35	0,7	$0,13914 \times 10^{-3}$
40	0,8	$0,20872 \times 10^{-3}$
45	0,9	$0,41744 \times 10^{-3}$
49	0,98	$2,08720 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Delay antrian total

Delay antrian total yang terjadi pada jaringan LTE dengan faktor utilisasi $\frac{1}{50}$ sesuai dengan persamaan (2-44) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{w\text{tot}} &= t_{w1} + t_{w2} + t_{w3} + t_{w4} + t_{w5} \\
 &= 11,832 \times 10^{-3} + 0,2738 \times 10^{-3} \text{ s} + 0,4259 \times 10^{-3} + 0,4259 \times 10^{-3} \\
 &\quad + 0,04259 \times 10^{-3} \\
 &= 13,0006 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Delay antrian total untuk faktor utilisasi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Delay Antrian Total Dengan Faktor Utilisasi Yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	Delay antrian t_{wtot} (s)
1	0,02	$13,0006 \times 10^{-3}$
5	0,1	$14,1562 \times 10^{-3}$
10	0,2	$15,9257 \times 10^{-3}$
15	0,3	$18,2008 \times 10^{-3}$
20	0,4	$21,2343 \times 10^{-3}$
25	0,5	$25,4811 \times 10^{-3}$
30	0,6	$31,8514 \times 10^{-3}$
35	0,7	$42,4686 \times 10^{-3}$
40	0,8	$63,7029 \times 10^{-3}$
45	0,9	$127,405 \times 10^{-3}$
49	0,98	$637,029 \times 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)

- **Delay paketisasi**

Pada UE digunakan kecepatan sebesar 3,6 Mbps dengan besar paket data yang dikirim adalah 6165 byte. Perhitungan delay paketisasi diperoleh dengan persamaan (2-45)

$$\begin{aligned}
 t_{\text{paketisasi}} &= \frac{L_{\text{paket}}}{C_{UE}} \\
 &= \frac{6165 \times 8}{3,6 \times 10^9} \\
 &= 13,7 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

- **Delay depaketisasi**

Pada UE digunakan kecepatan sebesar 3,6 Mbps dengan besar paket data yang diterima data 5218 byte. Perhitungan delay depaketisasi diperoleh dengan persamaan (2-46)

$$\begin{aligned}
 t_{\text{depaketisasi}} &= \frac{L_{\text{paket}}}{C_{UE}} \\
 &= \frac{5218 \times 8}{3,6 \times 10^6} \\
 &= 11,595 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

- **Delay end to end**

Perhitungan delay proses, delay transmisi, delay propagasi, dan delay antrian akan menghasilkan delay end to end jaringan. Didapatkan delay end to end jaringan LTE yang menggunakan faktor utilisasi 0,02 dengan persamaan (2-8)

$$\begin{aligned}
 t_{\text{tot}} &= t_{\text{proc}} + t_{\text{T}} + t_{\text{p}} + t_{\text{w}} + t_{\text{paketisasi}} + t_{\text{depaketisasi}} \\
 &= 2,25089 \times 10^{-3} + 1,42196 \times 10^{-3} + 0,032662 \times 10^{-3} + 13,0006 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 13,7 \times 10^{-3} + 11,595 \times 10^{-3} \\
 &= 42,007 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *delay end to end* untuk aplikasi *video conference* sesuai dengan persamaan (2-6)

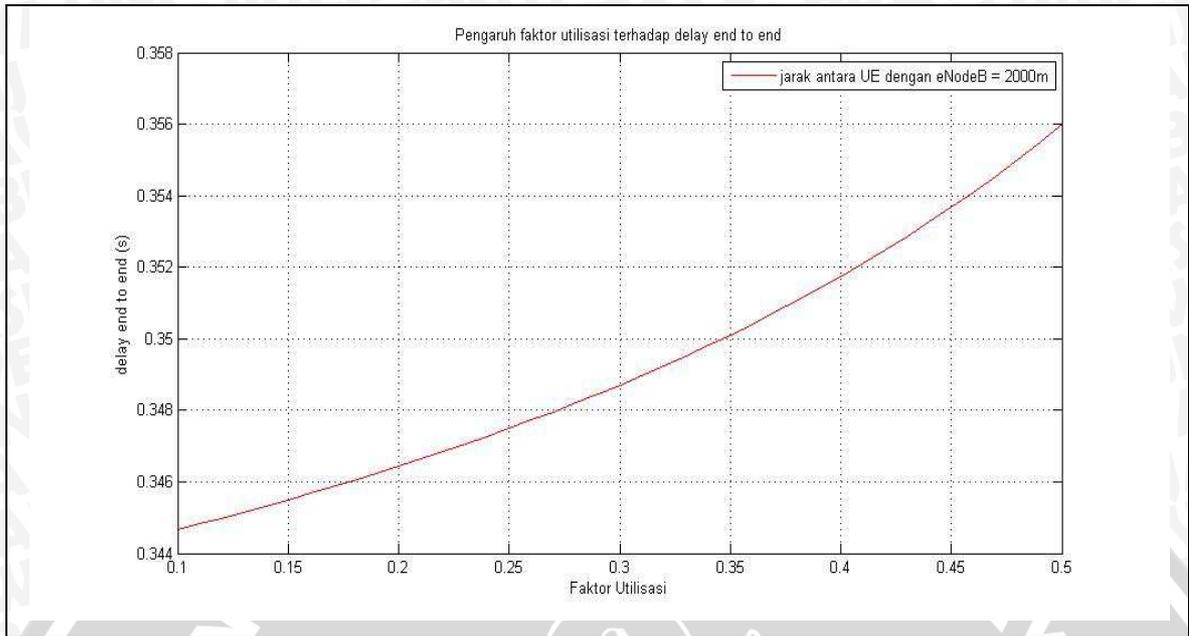
$$\begin{aligned}
 t_{\text{end-to-end}} &= t_{\text{CODEC}} + t_{\text{tot}} \\
 &= 301,5 \times 10^{-3} + 41,99 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ s} \\
 &= 343,507 \times 10^{-3} \text{ s}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama perhitungan *delay end to end* dengan jumlah *user* yang berbeda serta jarak *user* dengan eNodeB antara 2000m sampai 40000m ditunjukkan pada Tabel 4.11

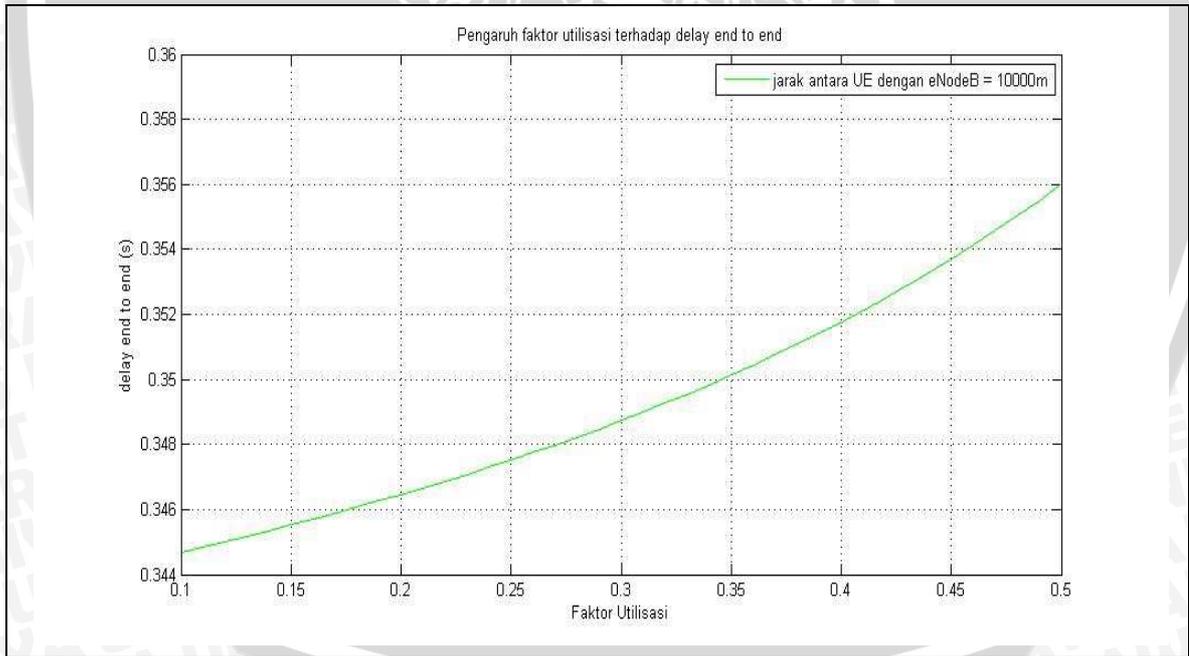
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Delay end to end Video Conference* Pada Jaringan LTE dengan UE Jarak ke eNodeB Serta Faktor Utilisasi yang Berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	<i>Delay end to end</i> (ms)				
		Jarak 2000 m	Jarak 10000 m	Jarak 20000 m	Jarak 30000 m	Jarak 40000 m
1	0,02	343,507	343,534	343,567	343,601	343,634
5	0,1	344,663	344,690	344,723	344,756	344,790
10	0,2	346,433	346,459	346,493	346,526	346,559
15	0,3	348,708	348,734	348,768	348,801	348,834
20	0,4	351,741	351,768	351,801	351,834	351,868
25	0,5	355,988	356,015	356,048	356,081	356,115
30	0,6	362,358	362,385	362,418	362,452	362,485
35	0,7	372,975	373,002	373,035	373,069	373,102
40	0,8	394,210	394,236	394,270	394,303	394,336
45	0,9	457,913	457,939	457,973	458,006	458,039
49	0,98	967,537	967,563	967,597	967,630	967,663

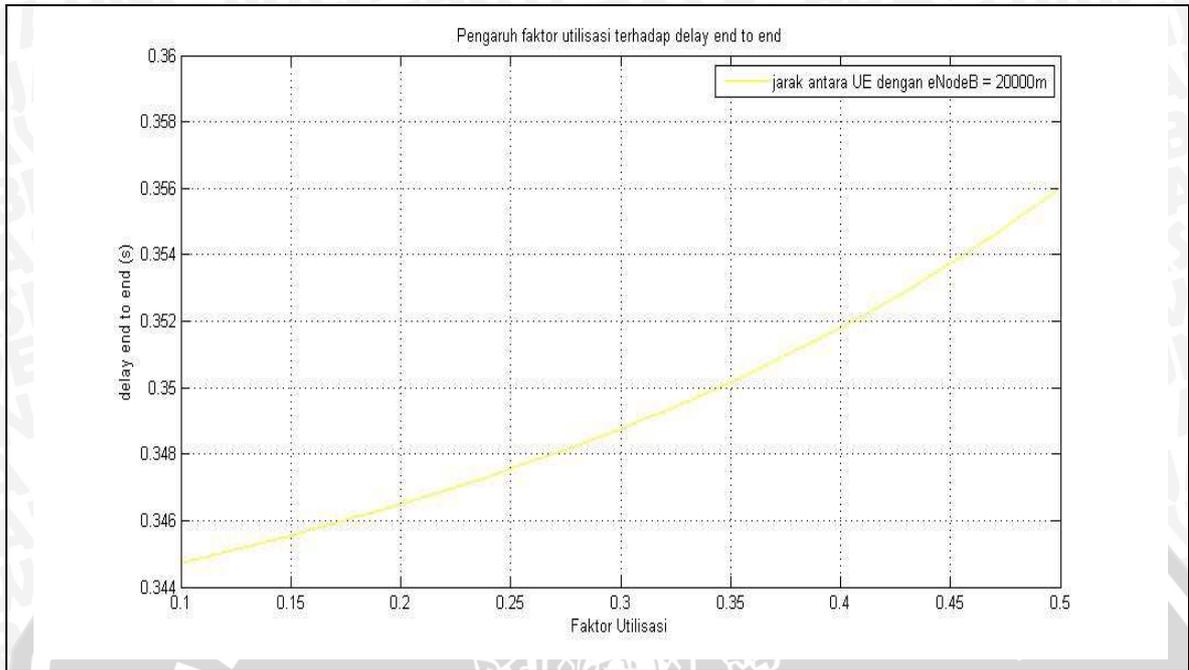
(Sumber: Hasil Perhitungan)



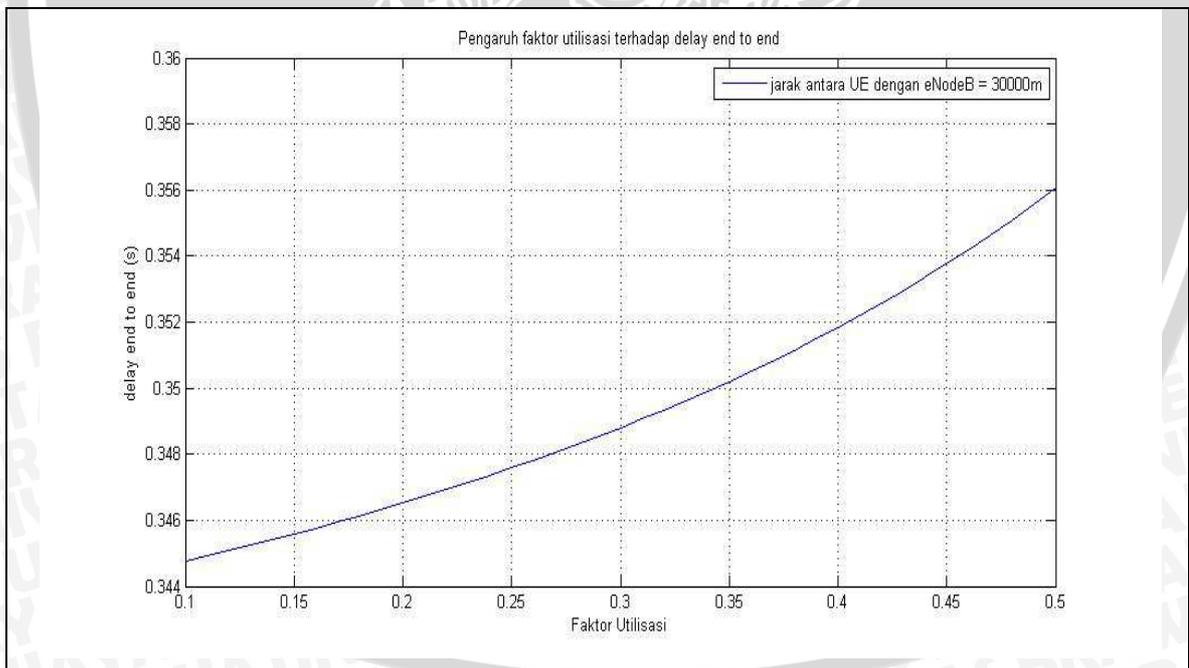
Gambar 4.13 (a) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *delay end to end* dengan jarak UE ke eNodeB 2000m



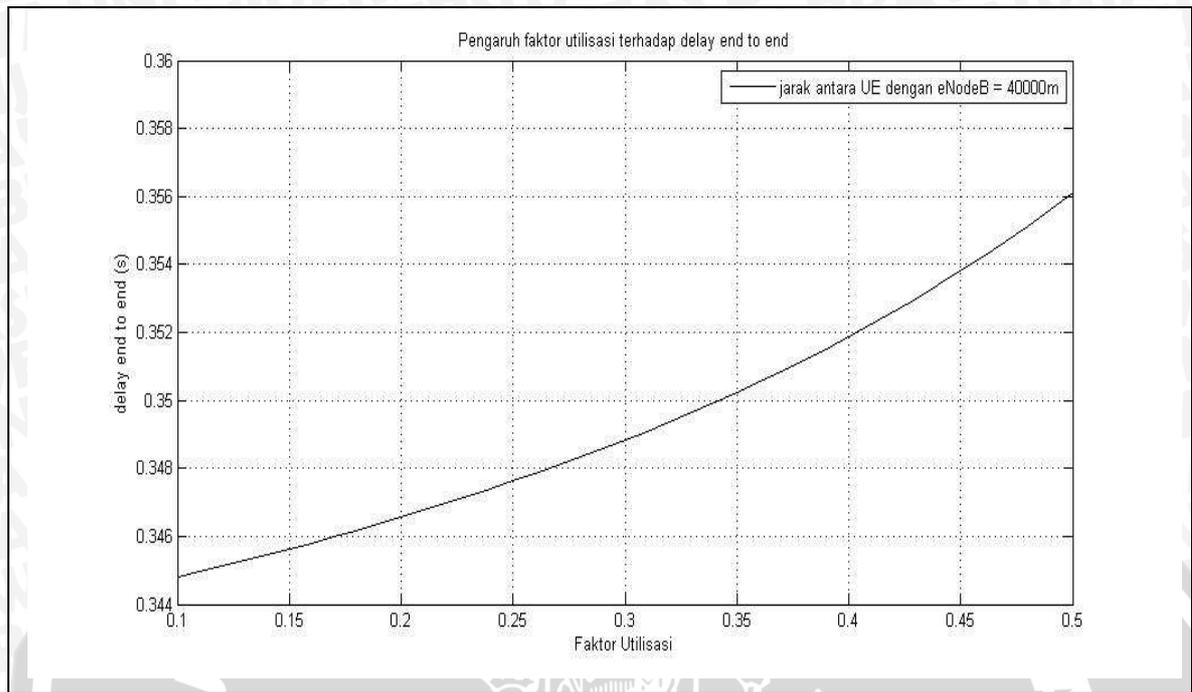
Gambar 4.13 (b) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *delay end to end* dengan jarak UE ke eNodeB 10000m



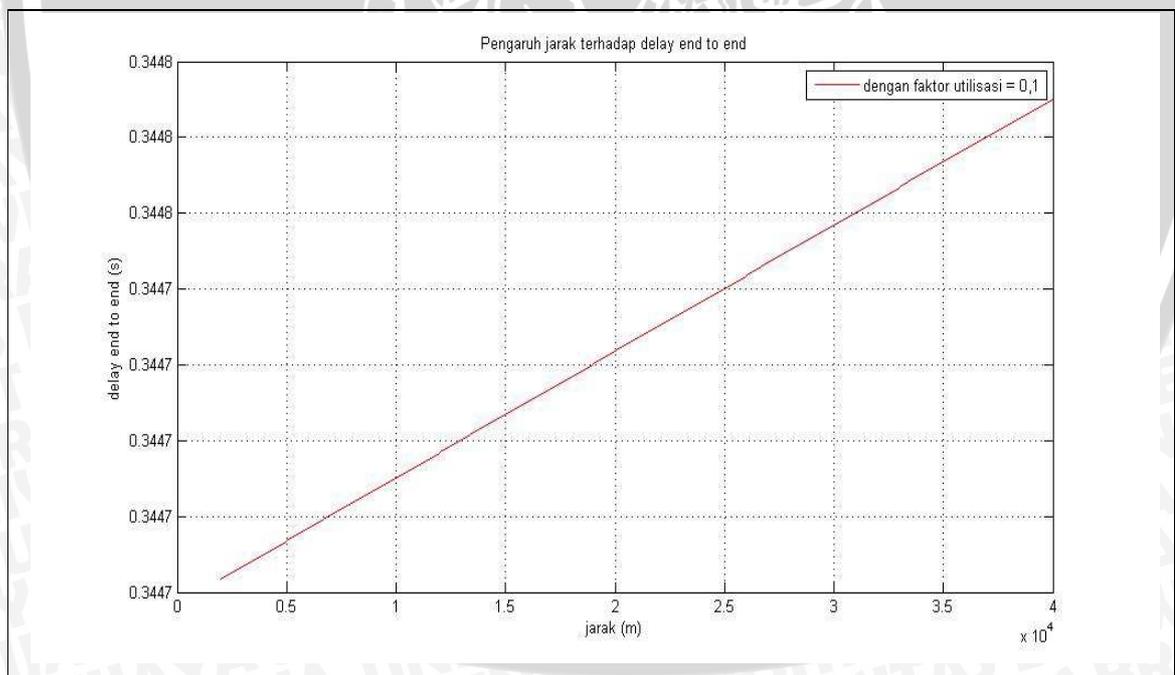
Gambar 4.13 (c) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *delay end to end* dengan jarak UE ke eNodeB 20000m



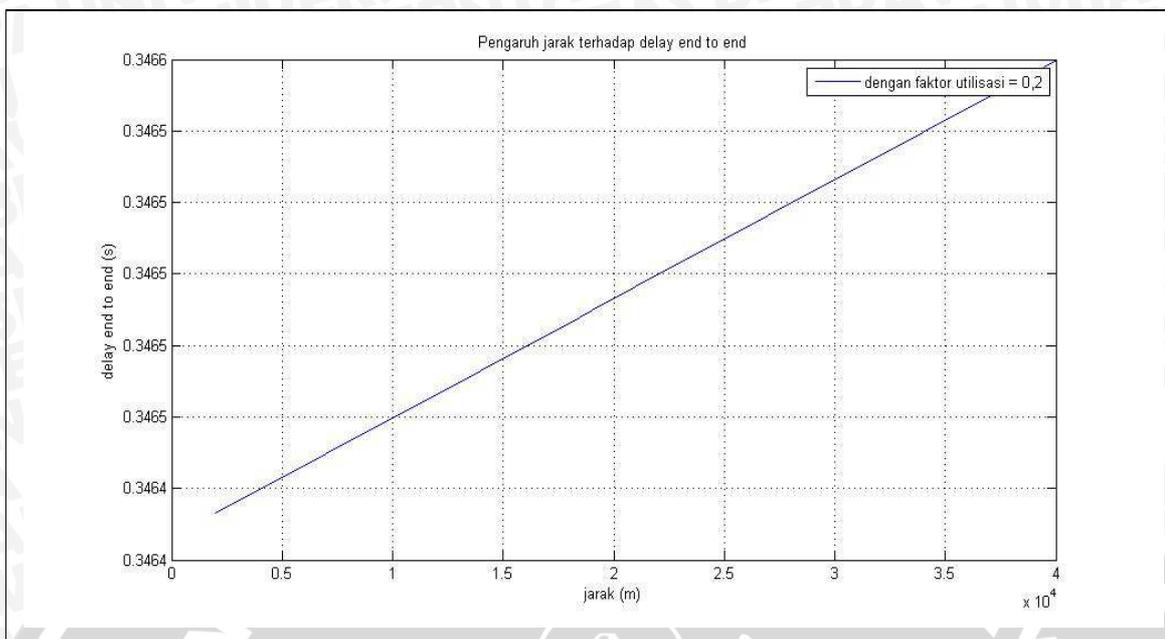
Gambar 4.13 (d) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *delay end to end* dengan jarak UE ke eNodeB 30000m



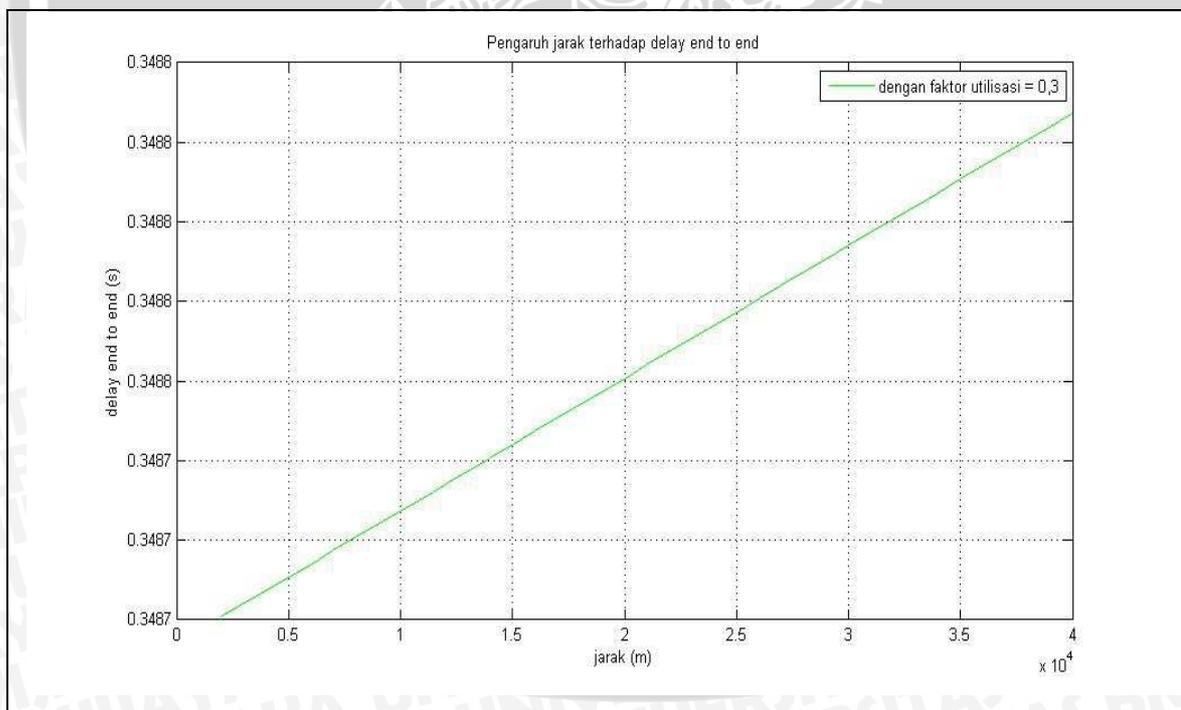
Gambar 4.13 (e) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *delay end to end* dengan jarak UE ke eNodeB 40000m



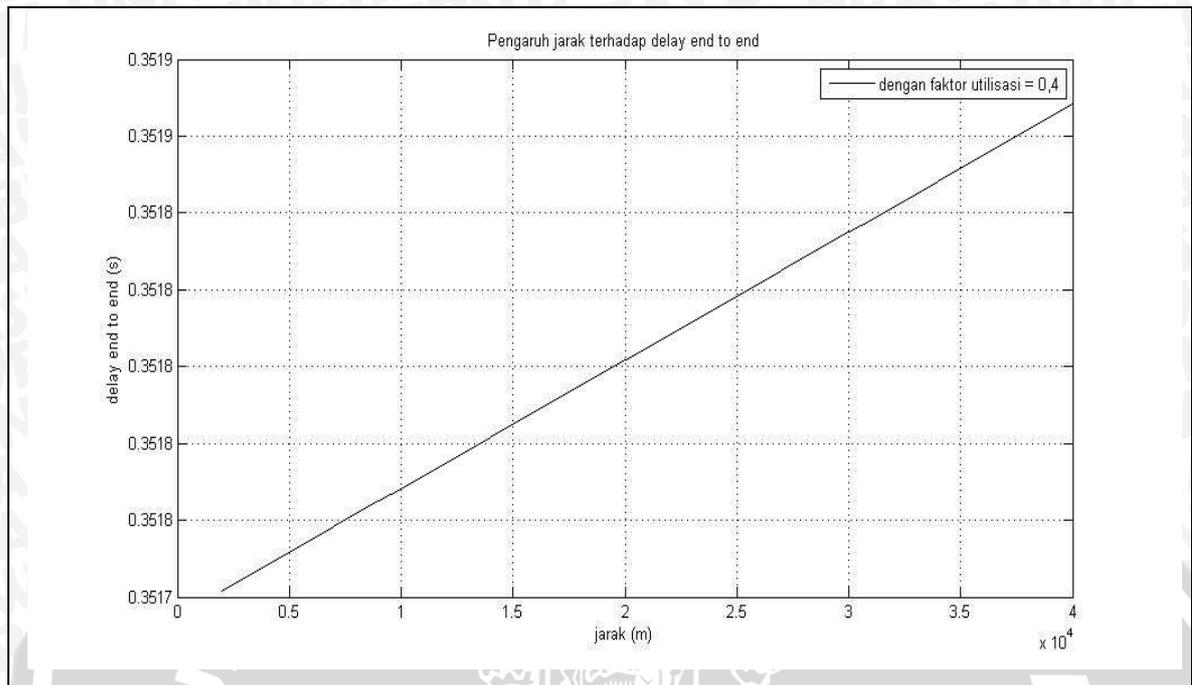
Gambar 4.14 (a) Grafik hubungan antara jarak terhadap *delay end to end* dengan faktor utilisasi 0,1



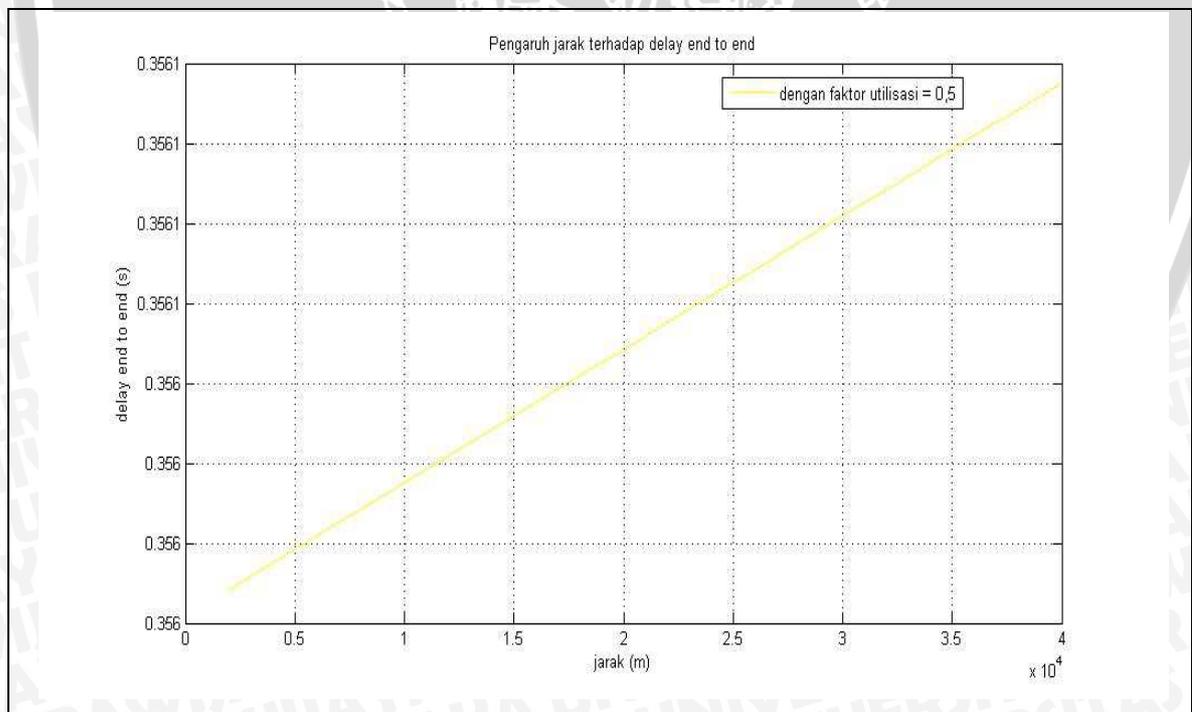
Gambar 4.14 (b) Grafik hubungan antara jarak terhadap *delay end to end* dengan faktor utilisasi 0,2



Gambar 4.14 (c) Grafik hubungan antara jarak terhadap *delay end to end* dengan faktor utilisasi 0,3



Gambar 4.14 (d) Grafik hubungan antara jarak terhadap *delay end to end* dengan faktor utilisasi 0,4



Gambar 4.14 (e) Grafik hubungan antara jarak terhadap *delay end to end* dengan faktor utilisasi 0,5

1. Semakin besar jarak antara UE dan eNodeB akan menyebabkan nilai *delay* propagasi meningkat. Selain itu faktor utilisasi juga mempengaruhi besarnya *delay* antrian pada jaringan.
2. Faktor utilisasi menunjukkan besarnya pemakaian jaringan oleh *user*. Besarnya faktor utilisasi mempengaruhi waktu pemrosesan paket di setiap *node*. Sehingga mengakibatkan nilai *delay* antrian menjadi lebih besar sehingga *delay end to end* juga menjadi lebih besar. Hal ini ditunjukkan ketika faktor utilisasi sebesar 0,02 *delay* yang dihasilkan 343,507 ms daripada faktor utilisasi 0,98 dengan *delay* 967,537 ms.
3. Sesuai standar (ITU.T G.114) dengan nilai *delay* 400 ms maka jarak maksimum antara UE dengan eNodeB adalah 40000m untuk jumlah *user* 40 seperti ditunjukkan pada tabel 4.11.
4. Nilai *delay* yang melebihi standar (ITU.T G.114) terjadi pada jarak antara UE dengan eNodeB lebih dari 40000m untuk jumlah *user* diatas 40 komunikasi dianggap gagal meskipun kualitas gambar atau suara yang dihasilkan cukup baik.

4.2.2 Probabilitas *packet loss video conference* pada jaringan LTE

Probabilitas *packet loss* total performansi aplikasi *video conference* pada suatu jaringan, ditentukan berdasarkan pada *packet loss* aplikasi *video conference* dan *packet loss* jaringan.

- Probabilitas *packet loss* aplikasi *video conference*

Perhitungan probabilitas paket *loss* aplikasi *video conference* sesuai dengan persamaan (2-49):

$$\begin{aligned} \rho_{vc} &= W_{data} \times \rho_b \\ &= (5218 \times 8) \times 10^{-8} \\ &= 0,4174 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

- Probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE

Probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE dapat diperoleh dari probabilitas pada tiap-tiap *node*. Sehingga dilakukan pertama adalah perhitungan nilai FSL (2-59) untuk jarak UE sejauh 2000m

$$\begin{aligned} FSL &= 32,44 + 20 \log d \text{ (km)} + 20 \log f \text{ (MHz)} \\ &= 32,44 + 20 \log 2 + 20 \log 2300 \end{aligned}$$

$$= 105,6952 \text{ dB}$$

Besarnya daya yang diterima pada UE dihitung dengan (2-58) dengan memasukan beberapa parameter *link budget* yang ada pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Parameter *Link Budget* LTE

No	Parameter <i>Link Budget</i>	Nilai
<i>Transmitter (Evolved Node B)</i>		
1	<i>Total Tx Power (Pt)</i>	46 dBm
2	<i>Tx Antenna Gain (Gt)</i>	18 dBi
3	<i>Cable Loss (Lt)</i>	2 dB
<i>Receiver (User Equipment)</i>		
1	<i>UE Noise Figure (NF)</i>	7 dB
2	<i>Thermal Noise</i>	-104,5 dB
3	<i>Rx Antenna Gain (Gr)</i>	0 dBi
4	<i>Body Loss (Lr)</i>	0 dB
5	<i>Receiver Sensitivity (Sr)</i>	-106,5 dBm
6	<i>Fading Margin (FM)</i>	8,8 dB

(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)

$$\begin{aligned} Pr &= Pt - FSL - Lt - Lr + Gr + Gt \\ &= 46 - 105,6952 - 2 - 0 - 0 - 18 \\ &= -79,6952 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Perhitungan besarnya daya *noise* sesuai dengan persamaan (2-57) serta memasukan beberapa parameter *link budget* pada Tabel 4.12:

$$\begin{aligned} No &= 10 \log k.T + 10 \log B + NF \\ &= 10 \log (1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log (10 \times 10^6) + 7 \\ &= -126,8269 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan *noise* (SNR) yang dihitung dengan persamaan (2-56)

$$\begin{aligned} SNR &= Pr - No \\ &= -79,6952 + 126,8269 \\ &= 47,1317 \text{ dB} \end{aligned}$$

Sehingga besar $\frac{Eb}{No}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-55)

$$\begin{aligned} \frac{Eb}{No} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 47,1317 - 10 \log \frac{10 \times 10^6}{3,6 \times 10^6} \\ &= 42,6947 \text{ dB} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai probabilitas BER pada jaringan LTE yang menggunakan teknik modulasi QPSK dihitung dengan menggunakan persamaan (2-52)

$$\begin{aligned} Pb &= Q \left(\sqrt{2 \frac{Eb}{No}} \right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{2 \frac{Eb}{No}} \right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} (\sqrt{2 \times 42,6947}) \\ &= 1,635764 \times 10^{-19} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Pb untuk jarak yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.13

Tabel 4.13 Probabilitas *Bit Error* Pada jaringan Untuk Jarak Yang Berbeda

Jarak (km)	Pb
2	$1,63576 \times 10^{-19}$
10	$1,71151 \times 10^{-15}$
20	$6,90326 \times 10^{-11}$
30	$2,34148 \times 10^{-9}$
40	$2,87943 \times 10^{-8}$

Sumber: Hasil Perhitungan

➤ Probabilitas *packet loss* pada eNodeB

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada eNodeB dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-51):

$$\begin{aligned} \rho_{\text{node}} &= W_{\text{eNodeB}} \times P_{\text{bLTE}} \\ &= (5514 \times 8) \times 1,635764 \times 10^{-19} \\ &= 7,21568 \times 10^{-15} \end{aligned}$$

➤ Probabilitas *packet loss* pada S-GW

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada S-GW dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-51):

$$\rho_{\text{node}} = W_{\text{S-GW}} \times P_{\text{bLTE}}$$

$$= (5514 \times 8) \times 1,635764 \times 10^{-19}$$

$$= 7,21568 \times 10^{-15}$$

- Probabilitas *packet loss* pada PDN-GW

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada PDN-GW dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-51):

$$\rho_{\text{node}} = W_{\text{PDN-GW}} \times P_{\text{bLTE}}$$

$$= (5290 \times 8) \times 1,635764 \times 10^{-19}$$

$$= 6,922555 \times 10^{-15}$$

- Probabilitas *packet loss* pada server

Perhitungan probabilitas *packet loss* pada server dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-51):

$$\rho_{\text{node}} = W_{\text{server}} \times P_{\text{bLTE}}$$

$$= (5290 \times 8) \times 1,635764 \times 10^{-19}$$

$$= 6,922555 \times 10^{-15}$$

Sehingga probabilitas *paket loss* total *video conference* pada jaringan LTE dihitung dengan menggunakan persamaan (2-47):

$$\rho_{\text{btot}} = 1 - [(1 - \rho_{\text{eNodeB}})(1 - \rho_{\text{S-GW}})(1 - \rho_{\text{PDN-GW}})(1 - \rho_{\text{server}})(1 - \rho_{\text{VC}})]$$

$$= 1 - [(1 - 7,21568 \times 10^{-15})(1 - 7,21568 \times 10^{-15})(1 - 6,922555 \times 10^{-15})$$

$$(1 - 6,922555 \times 10^{-15})(1 - 0,4174 \times 10^{-3})]$$

$$= 0,41744 \times 10^{-3}$$

Dengan cara yang sama diperoleh perhitungan probabilitas *paket loss* untuk jarak UE dengan eNodeB dari 2000m sampai 40000m ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Perhitungan Probabilitas *Packet Loss* dengan Jarak antara UE dan eNodeB yang Berubah-ubah

Jarak UE dengan eNodeB (m)	Probabilitas <i>Packet Loss</i>
2000	$4,17440 \times 10^{-4}$
10000	$4,17469 \times 10^{-4}$
20000	$4,29368 \times 10^{-4}$
30000	$8,21967 \times 10^{-4}$
40000	$53,8358 \times 10^{-4}$

Sumber: Hasil Perhitungan

Prosentase *packet loss* total yang terjadi dihitung dengan menggunakan persamaan (2-48):

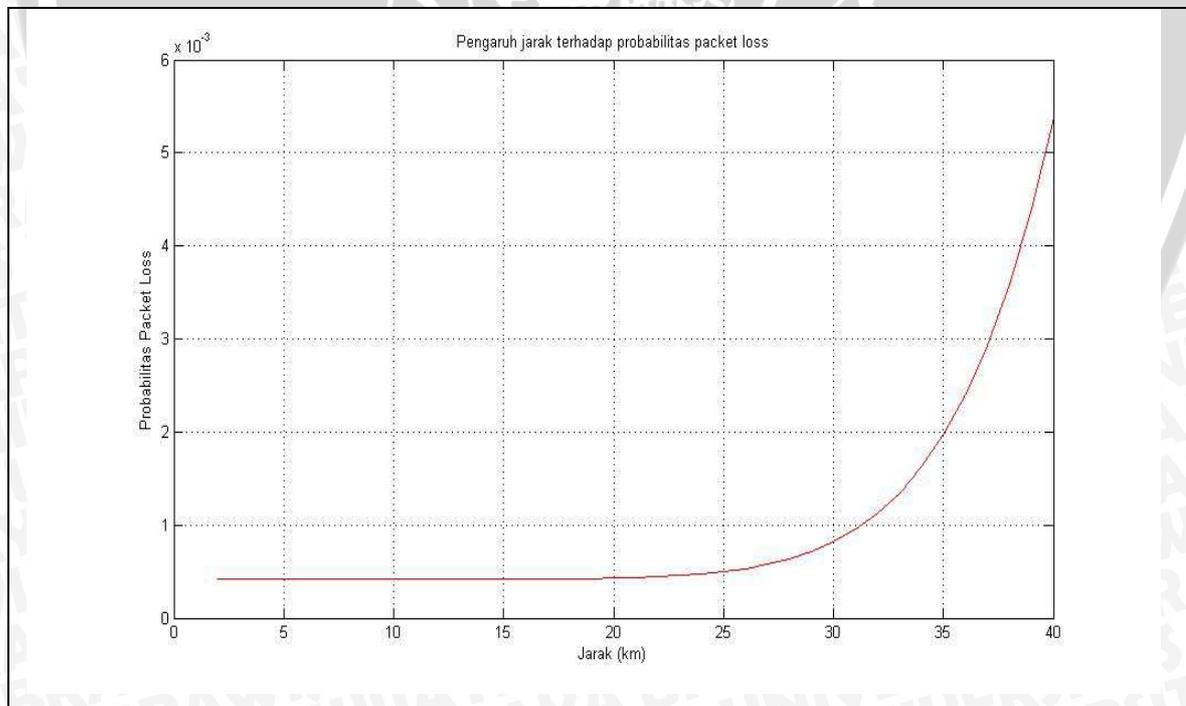
$$\begin{aligned} \text{packet loss (\%)} &= \frac{N_{\text{packet loss}}}{N_{\text{packet}} + N_{\text{packet loss}}} \times 100\% \\ &= \frac{20,5881}{20,5881 + (5218 \times 8)} \times 100\% \\ &= 0,0492\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama prosentase *packet loss* yang dihasilkan untuk jarak UE dengan eNodeB dari 2000m sampai 20000m ditunjukkan pada Tabel 4.14

Tabel 4.14 Prosentase *Packet Loss* Jarak antara UE dan eNodeB yang Berubah-ubah

Jarak UE dengan eNodeB (m)	<i>Packet Loss</i> (%)
2000	0,04929
10000	0,04930
20000	0,05070
30000	0,09702
40000	0,63204

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.15 Grafik hubungan jarak antara UE dan eNodeB dengan probabilitas *packet loss*

1. Analisis probabilitas *packet loss video conference* pada jaringan LTE meliputi, probabilitas *packet loss* aplikasi *video conference* dan probabilitas *packet loss* yang terjadi pada setiap *node* pada jaringan.
2. Penempatan lokasi antara UE dengan eNodeB bisa mempengaruhi nilai probabilitas *packet loss* karena semakin jauh jarak antara UE dengan eNodeB nilai probabilitas *packet loss* juga meningkat. Ini ditunjukkan pada saat jarak UE dengan eNodeB 2000m probabilitas yang dihasilkan $4,17440 \times 10^{-4}$ dibandingkan dengan pada saat jarak 40000m yaitu $53,8358 \times 10^{-4}$.
3. Hasil prosentase *packet loss video conference* pada jaringan LTE masih masuk dalam range standar (ITU.T G.114) yaitu sebesar 1%.

4.2.3 Throughput video conference pada jaringan LTE

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah paket yang diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi. Pada penelitian ini menggunakan protokol *Go-Back-N* karena komunikasi bersifat *full duplex*. Analisis perhitungan *throughput* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah hubungan antara UE hingga ke UE yang lain karena komunikasi *full duplex*.

Waktu transmisi *frame* untuk jarak antara UE dengan eNodeB 2000 m dan faktor utilisasi 0,02 dapat diperoleh dengan persamaan (2-60):

$$\begin{aligned} t_l &= \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\ &= \frac{(6165 + 8) \times 8}{3,6 \times 10^6} \\ &= 1,3717 \times 10^{-2} \text{ s} \end{aligned}$$

Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-61)

$$\begin{aligned} t_{out} &= 2t_p + 2t_l + t_{proc} \\ &= (2 \times 0,9843 \times 10^{-3}) + (2 \times 1,3717 \times 10^{-2}) + (1,525 \times 10^{-2}) \\ &= 4,46548 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan parameter α dengan menggunakan protokol *Go-Back-N* dapat dihitung dengan persamaan (2-64) (Mischa Schwartz, 1987:129):

$$\alpha = 1 + \frac{t_{out}}{t_l}$$

$$= 1 + \frac{4,46548 \times 10^{-2}}{1,3717 \times 10^{-2}}$$

$$= 4,115336$$

Sehingga besarnya *throughput* untuk jarak UE dengan eNodeB sebesar 2000m dan faktor utilisasi 0,02 dihitung dengan menggunakan persamaan (2-65) (Mischa Schwartz, 1987:129)

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

$$= \frac{(1-0,41744 \times 10^{-3})}{1,3717 \times 10^{-2}[1+(4,115336-1)0,41744 \times 10^{-3}]}$$

$$= 72,773 \text{ paket / s}$$

$$= 72,7688 \times 5218 \times 8$$

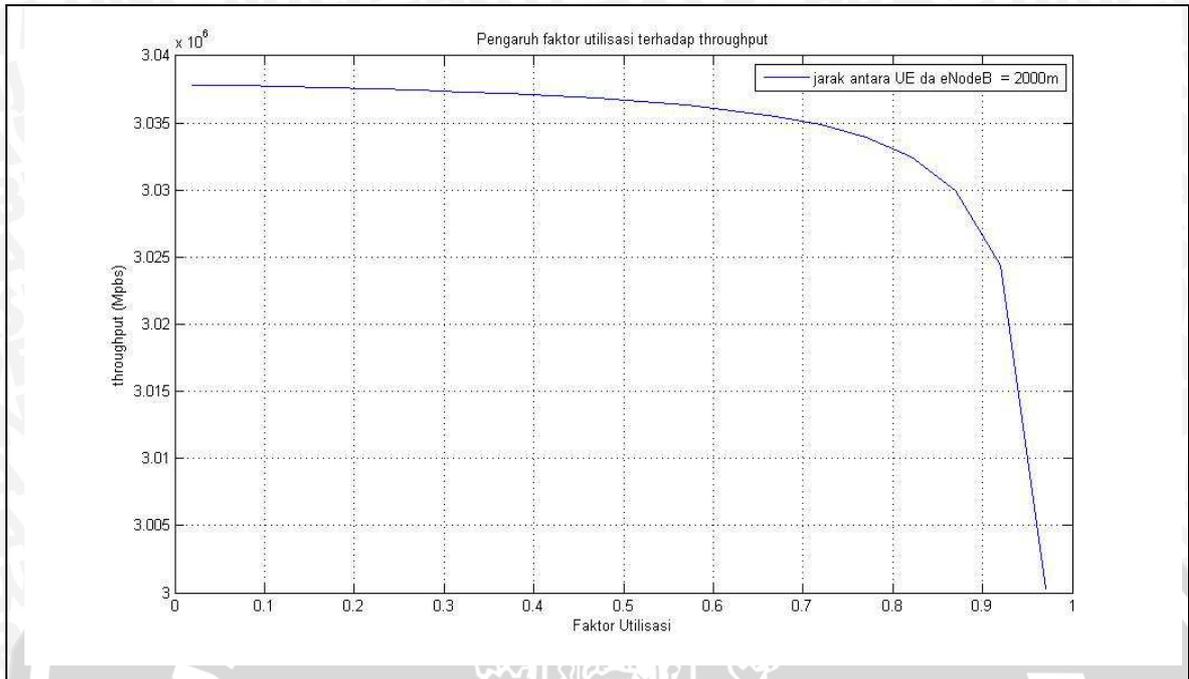
$$= 3,03783 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama hasil perhitungan *throughput* untuk faktor utilisasi yang berbeda untuk jarak antara UE dengan eNodeB antara 2000m sampai 40000m ditunjukkan pada tabel 4.15

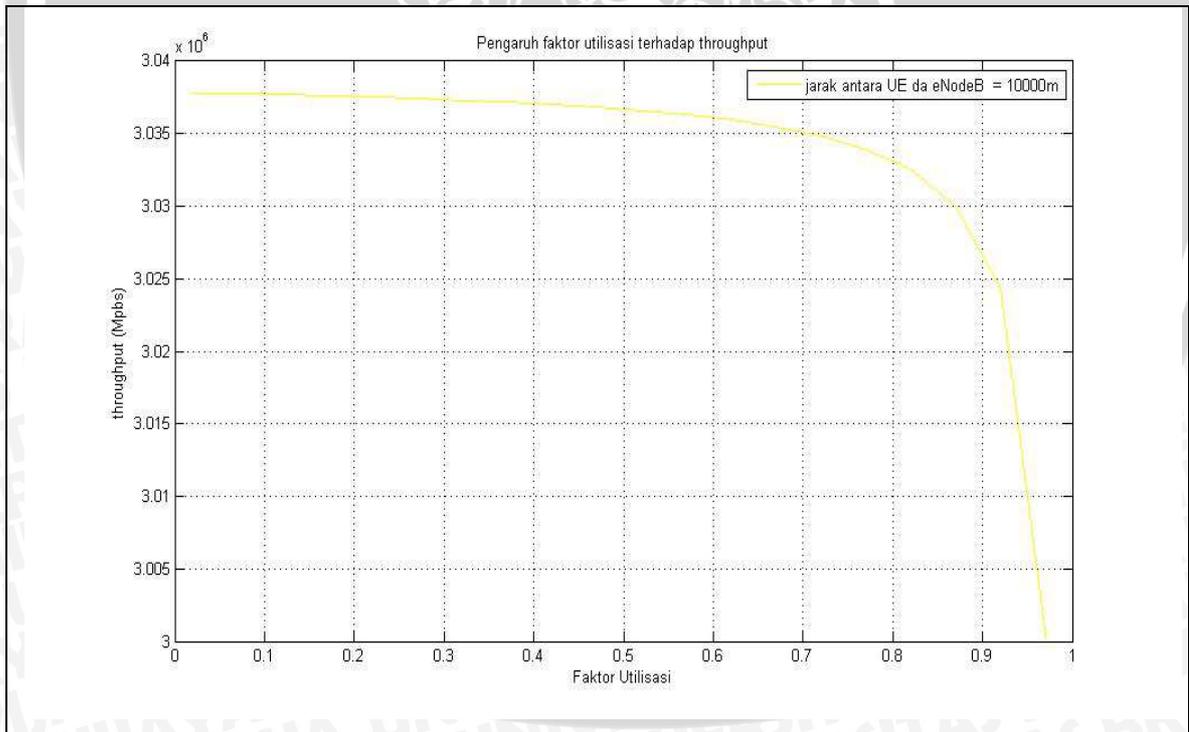
Tabel 4.15 Hasil perhitungan nilai *throughput video conference* pada jaringan LTE dengan Jarak UE ke eNodeB antara 2000m sampai 40000m untuk faktor utilisasi yang berbeda

Jumlah User	Faktor Utilisasi (ρ)	Throughput (Mbps)				
		Jarak 2000 m	Jarak 10000 m	Jarak 20000 m	Jarak 30000 m	Jarak 40000 m
1	0,02	3,03783	3,037830	3,03767	3,03275	2,97633
5	0,1	3,03773	3,037724	3,03756	3,03254	2,97501
10	0,2	3,03756	3,037562	3,03739	3,03222	2,97298
15	0,3	3,03718	3,037352	3,03718	3,03181	2,97037
20	0,4	3,03690	3,037072	3,03689	3,03126	2,96691
25	0,5	3,03650	3,036680	3,03649	3,03049	2,96207
30	0,6	3,03592	3,036092	3,03588	3,02934	2,95484
35	0,7	3,03494	3,035113	3,03488	3,02742	2,94287
40	0,8	3,03298	3,033158	3,03287	3,02359	2,91921
45	0,9	3,02713	3,027305	3,02685	3,01216	2,85057
49	0,98	2,98129	2,981288	2,97955	2,92371	2,39873

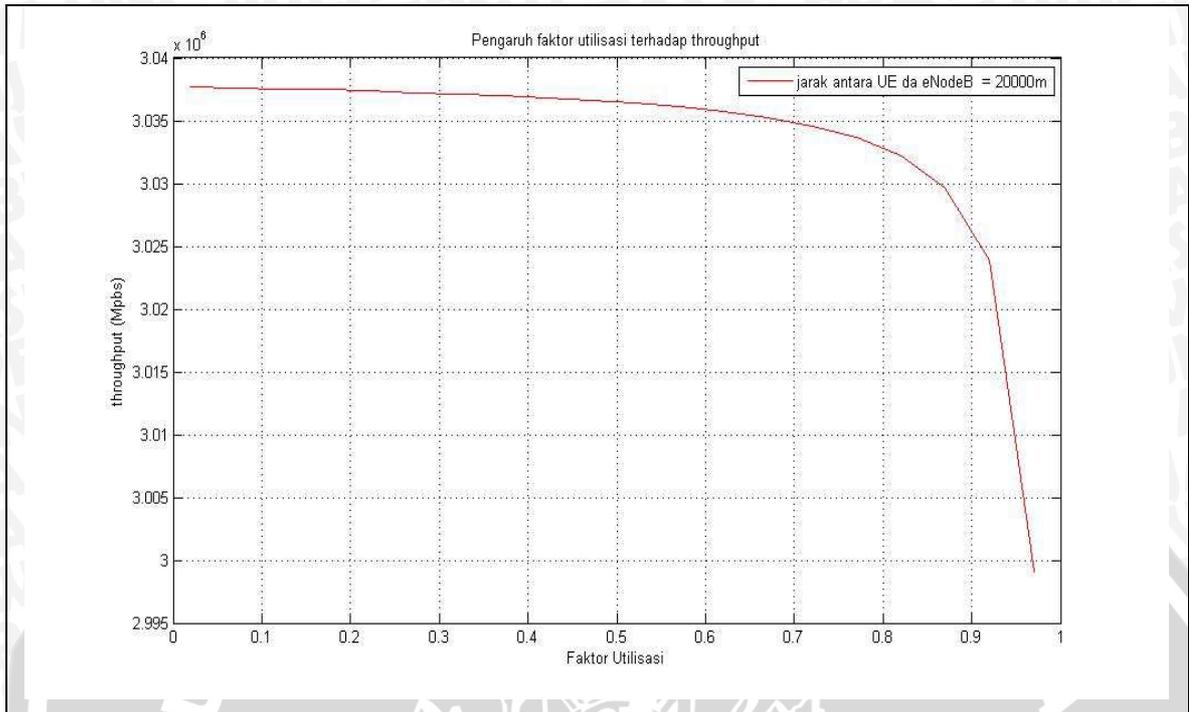
Sumber: Hasil Perhitungan



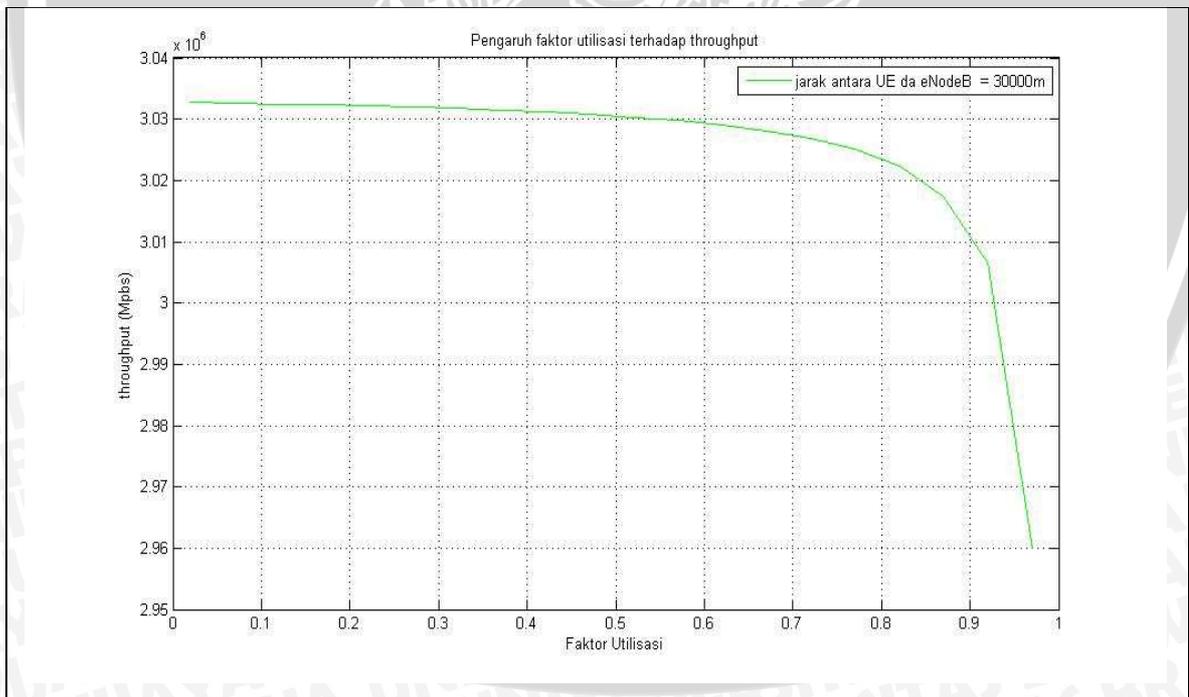
4.16 (a) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 2000m



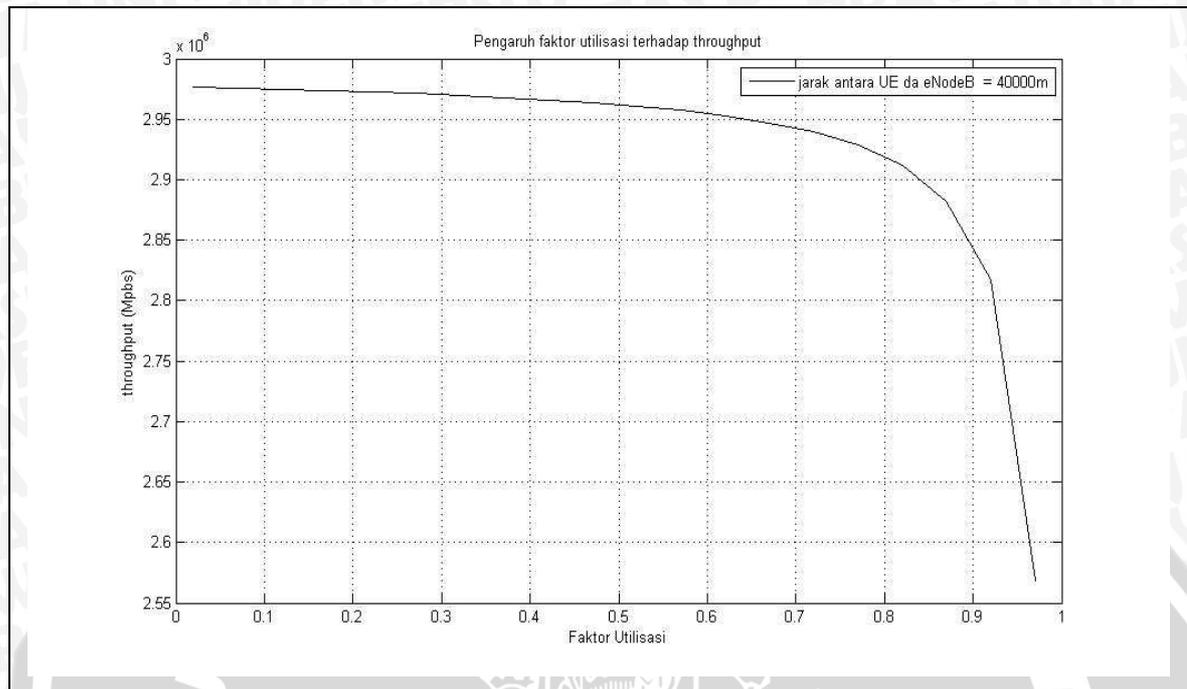
4.16 (b) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 10000m



4.16 (c) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 20000m



Gambar 4.16 (d) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 30000m



Gambar 4.16 (e) Grafik hubungan antara faktor utilisasi terhadap *throughput* sistem dengan jarak UE ke eNodeB 40000m

1. Jarak lokasi UE dengan eNodeB akan berpengaruh terhadap *throughput* sistem. Semakin besar jarak antara UE dengan eNodeB akan meningkatkan nilai *delay* propagasi. Sehingga nilai *throughput* akan semakin menurun. Hal ini ditunjukkan pada saat jarak 2000m data yang diterima dalam keadaan benar sebesar 3,03783 Mbps, dibandingkan pada saat jarak 40000m yaitu 2,97633 Mbps.
2. Jumlah *user* atau pemakai akan berpengaruh terhadap besarnya faktor utilitasi. Semakin besar faktor utilitasi akan meningkatkan waktu pemrosesan paket data. Sehingga *throughput* akan semakin menurun ketika jumlah *user* meningkat. Hal ini ditunjukkan ketika pada jarak 40000m dengan faktor utilisasi 0,02 *throughput* yang dihasilkan sebesar 2,97633 Mbps, dibanding pada saat faktor utilisasi 0,098 yaitu sebesar 2,39866 Mbps.
3. Nilai *throughput* yang kecil mengakibatkan kualitas suara dan gambar yang dihasilkan akan kurang baik atau secara putus-putus sehingga komunikasi dua arah tidak akan berlangsung secara lancar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis tentang performansi *video conference* pada jaringan *Long Term Evolution* (LTE), maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

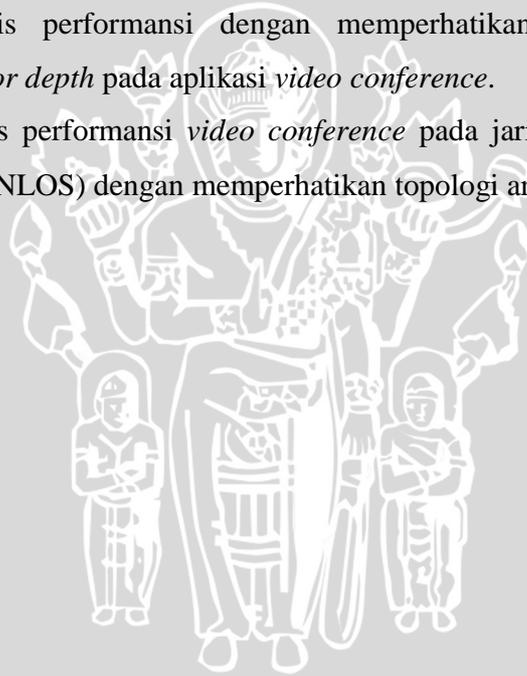
1. Berdasarkan hasil analisis *delay end to end video conference* pada jaringan LTE dapat disimpulkan bahwa :
 - a. *Delay end to end* yang terendah yaitu 343,507 ms dengan faktor utilisasi 0,02 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 2000 m, serta *delay end to end* yang tertinggi yaitu 967,663 ms dengan faktor utilisasi 0,98 untuk jarak UE dengan eNodeB sejauh 40000 m.
 - b. Jarak maksimum yang dapat dicapai antara UE dengan eNodeB adalah sejauh 40000 m dengan jumlah *user* 40 karena masih dalam *range* standar (ITU.T G.114) sebesar 400 ms.
 - c. Nilai *delay end to end* akan semakin besar karena faktor utilisasi yang semakin besar akibat perubahan jumlah *user*. Hal ini disebabkan karena faktor utilisasi mengakibatkan perubahan pada *delay* antrian.
2. Berdasarkan hasil analisis probabilitas *packet loss video conference* pada jaringan LTE, dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Probailitas *packet loss* yang tertinggi yaitu $4,17440 \times 10^{-4}$ terjadi pada saat jarak UE dengan eNodeB sejauh 2000 m dan yang terendah yaitu $53,8358 \times 10^{-4}$ pada jarak 40000 m.
 - b. Prosentase *packet loss* yang dihasilkan masih dalam range standar (ITU.T G.114), yaitu sebesar 1%.
 - c. Nilai probabilitas *packet loss* akan semakin meningkat sesuai dengan peningkatan jarak antara UE dengan eNodeB. Sehingga sehingga kemungkinan paket data yang hilang juga semakin besar.
3. Berdasarkan hasil analisis *throughput video conference* pada jaringan LTE dapat disimpulkan bahwa:

- a. Nilai *throughput* tertinggi yaitu 3,03783 Mbps pada saat jarak UE dengan eNodeB sejauh 2000 m dengan faktor utilisasi 0,02 dan nilai *throughput* terendah yaitu 2,39866 Mbps pada jarak 40000 m dengan faktor utilisasi 0,98.
- b. Nilai *throughput* akan mengalami penurunan dengan meningkatnya jarak antara UE dengan eNodeB. Hal ini terjadi karena semakin jauh jarak maka *delay* propagasi meningkat sehingga nilai *throughput* akan semakin kecil.
- c. Jumlah *user* berpengaruh terhadap faktor utilisasi, semakin besar nilai faktor utilisasi akan menyebabkan *throughput* semakin menurun.

3.2 Saran

Saran yang diberikan adalah :

1. Melakukan analisis performansi dengan memperhatikan *frame rate*, *frame resolution*, dan *color depth* pada aplikasi *video conference*.
2. Melakukan analisis performansi *video conference* pada jaringan LTE untuk kanal *Non Line of Sight* (NLOS) dengan memperhatikan topologi areanya.



DAFTAR PUSTAKA

- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband(WiMAX and LTE)*.USA : Berkeley, CA
- Glatz, Eduard. 1999. *Self-Organized Topology Construction and Channel Allocation Radio Routers in Disaster Recovery*. Switzerland : University of Applied Sciences Rapperswil (HSR).
- Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communications*. USA : Cambridge University.
- Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House.
- Holma, Harri, Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Ebook*. New York : John Wiley & Sons, Inc
- K. Fazel, S. Kaiser. 2008. *Multicarrier and Spread Spectrum Systems*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Khan, Farooq. *LTE for 4G Mobile Broadband*. 2009. New York : Cambridge University Press.
- Rafiudin, Rahmat, *IP Routing dan Firewall*, Yogyakarta, Andi Publisher, 2006
- Schwartz, Mischa. 1987. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. USA : Addison Wesley Pub.
- Sesia, Stefania, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

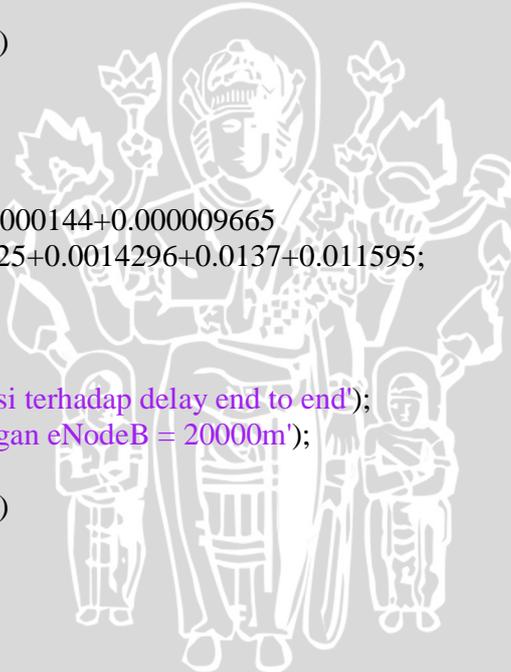
Lampiran 1. Listing Program Matlab Perhitungan *Delay end to end video conference* pada jaringan LTE

```
L=41744;
C_UE=3600000;
miu_UE=C_UE./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_UE=miu_UE*utilitas;
tw1=lamda_UE./(miu_UE*(miu_UE-lamda_UE))+(1/miu_UE);
L=41744;
C_enb=155520000;
miu_enb=C_enb./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_enb=miu_enb*utilitas;
tw2=lamda_enb./(miu_enb*(miu_enb-lamda_enb))+1/miu_enb;
L=41744;
C_sgw=100000000;
miu_sgw=C_sgw./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_sgw=miu_sgw*utilitas;
tw3=lamda_sgw./(miu_sgw*(miu_sgw-lamda_sgw))+1/miu_sgw;
L=41744;
C_pdngw=100000000;
miu_pdngw=C_pdngw./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_pdngw=miu_pdngw*utilitas;
tw4=lamda_pdngw./(miu_pdngw*(miu_pdngw-lamda_pdngw))+1/miu_pdngw;
L=41744;
C_pdngw=100000000;
miu_pdngw=C_pdngw./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_pdngw=miu_pdngw*utilitas;
tw4=lamda_pdngw./(miu_pdngw*(miu_pdngw-lamda_pdngw))+1/miu_pdngw;
L=41744;
C_server=100000000;
miu_server=C_server./L;
utilitas=[0.1:0.05:0.5];
lamda_server=miu_server*utilitas;
tw5=lamda_server./(miu_server*(miu_server-lamda_server))+1/miu_server;
tw_tot=tw1+tw2+tw3+tw4+tw5
dUE_enb1=2000;
c=3*10^8;
tp1=dUE_enb1/c;
tptot1=tp1+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot1=tptot1+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end1=t_tot1+0.3015
figure(1);
```

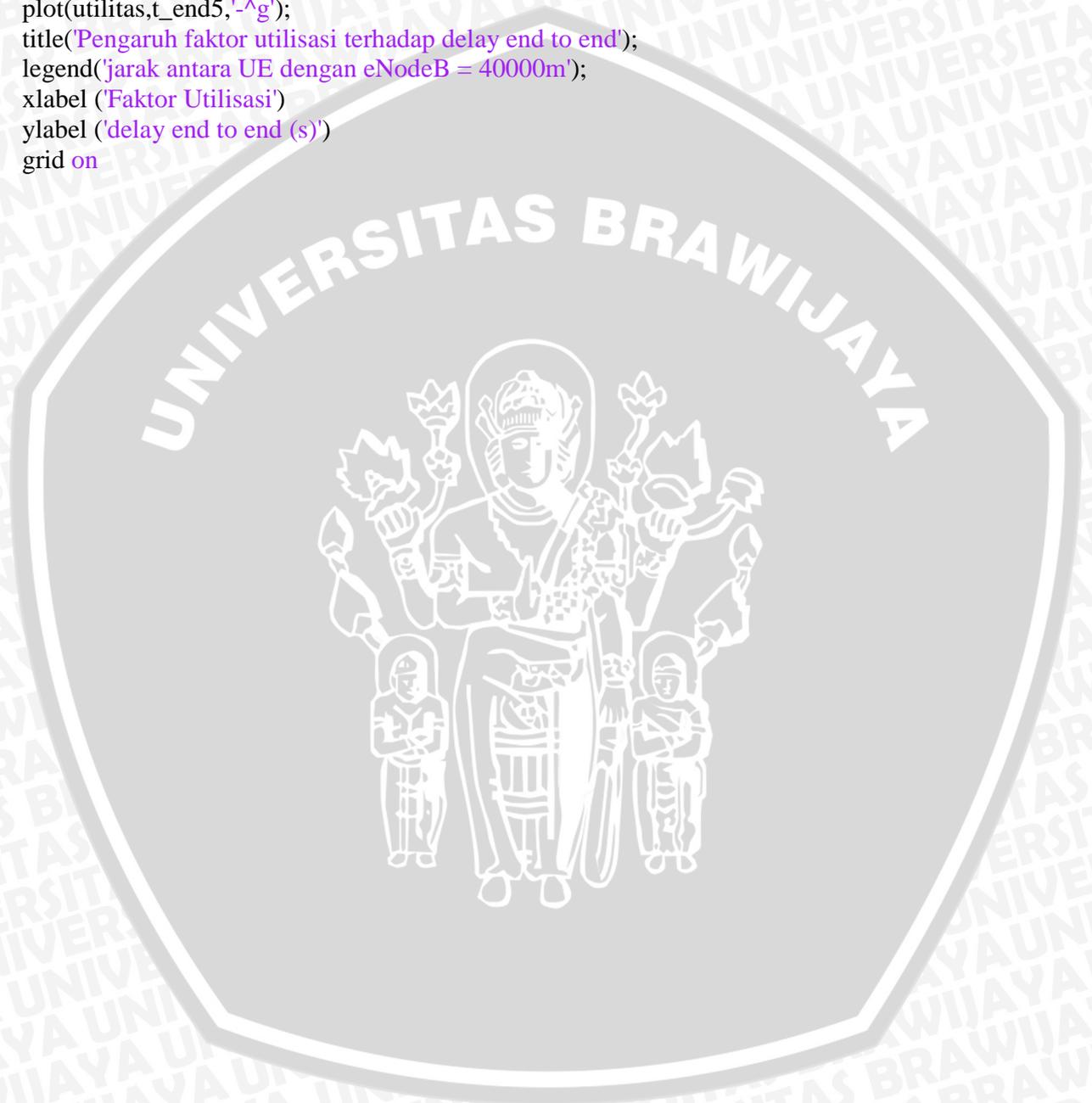
```

plot(utilitas,t_end1,'-^r');
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap delay end to end');
legend('jarak antara UE dengan eNodeB = 2000m');
xlabel ('Faktor Utilisasi')
ylabel ('delay end to end (s)')
grid on
dUE_enb2=10000;
c=3*10^8;
tp2=dUE_enb2/c;
tptot2=tp2+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot2=tptot2+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end2=t_tot2+0.3015
figure(2);
plot(utilitas,t_end2,'-^black');
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap delay end to end');
legend('jarak antara UE dengan eNodeB = 10000m');
xlabel ('Faktor Utilisasi')
ylabel ('delay end to end (s)')
grid on
dUE_enb3=20000;
c=3*10^8;
tp3=dUE_enb3/c;
tptot3=tp3+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot3=tptot3+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end3=t_tot3+0.3015
figure(3);
plot(utilitas,t_end3,'-^blue');
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap delay end to end');
legend('jarak antara UE dengan eNodeB = 20000m');
xlabel ('Faktor Utilisasi')
ylabel ('delay end to end (s)')
grid on
dUE_enb4=30000;
c=3*10^8;
tp4=dUE_enb4/c;
tptot4=tp4+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot4=tptot4+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end4=t_tot4+0.3015
figure(4);
plot(utilitas,t_end4,'-^y');
dUE_enb5=40000;
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap delay end to end');
legend('jarak antara UE dengan eNodeB = 30000m');
xlabel ('Faktor Utilisasi')
ylabel ('delay end to end (s)')
grid on
c=3*10^8;

```



```
tp5=dUE_ enb5/c;  
tptot5=tp5+0.00000193+0.0000144+0.000009665  
t_tot5=tptot5+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;  
t_end5=t_tot5+0.3015  
figure(5);  
plot(utilitas,t_end5,'-^g');  
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap delay end to end');  
legend('jarak antara UE dengan eNodeB = 40000m');  
xlabel ('Faktor Utilisasi')  
ylabel ('delay end to end (s)')  
grid on
```



Lampiran 2. Listing Program Matlab Perhitungan probabilitas *packet loss* video conference pada jaringan LTE

```

Wdikirim=6165*8;
WeNb=5514*8;
Wsgw=5514*8;
Wpdngw=5290*8;
Wserver=5290*8;
Wdata=5218*8;
Pvc=10^-8;
d=[2:1:40]
f=2300;
PG=12;
NF=7;
Pt=46;
Lt=2;
Lr=0;
Gt=18;
M=12;
Gr=0;
K=1.381*10^-23;
T=300;8
B=10*10^6;
R=3.6*10^6;
FSL=32.44+20*log10(d)+20*log10(f)
Pr=Pt-FSL-Lt-Lr-Gr-Gt;
No=10*log10(K*T)+10*log10(B)+NF;
SNR=Pr-No
Eb_per_No=SNR-10*log10(B/R)
x=sqrt((3*Eb_per_No*log2(M))/(M-1));
BER=((2*(sqrt(M)-1))/(sqrt(M))*log2(M))*(0.5*erfc(x));
PbeNb=WeNb*BER;
Pbsgw=Wsgw*BER;
Pbpdngw=Wpdngw*BER;
Pbserver=Wserver*BER;
Pbvc=Wdata*Pvc;
Pbtot=1-((1-Pbvc).*(1-PbeNb).*(1-Pbsgw).*(1-Pbpdngw).*(1-Pbserver))
Npaket_loss=Pbtot.*Wdikirim
paketloss=(Npaket_loss./(Npaket_loss+Wdata))*100
figure
plot(d,Pbtot,'-^r');
title('Pengaruh jarak terhadap probabilitas packet loss');
xlabel('Jarak (km)');
ylabel('Probabilitas Packet Loss');
grid on

```

Lampiran 3. Listing Program Matlab Perhitungan *throughput* sistem video conference pada jaringan LTE

```
L=41744;
C_UE=3600000;
miu_UE=C_UE./L;
utilisasi=[0.02,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,0.98];
lamda_UE=miu_UE*utilisasi;
tw1=lamda_UE./(miu_UE*(miu_UE-lamda_UE))+(1/miu_UE);
L=41744;
C_enb=155520000;
miu_enb=C_enb./L;
lamda_enb=miu_enb*utilisasi;
tw2=lamda_enb./(miu_enb*(miu_enb-lamda_enb))+(1/miu_enb);
L=41744;
C_sgw=100000000;
miu_sgw=C_sgw./L;
lamda_sgw=miu_sgw*utilisasi;
tw3=lamda_sgw./(miu_sgw*(miu_sgw-lamda_sgw))+(1/miu_sgw);
L=41744;
C_pdngw=100000000;
miu_pdngw=C_pdngw./L;
lamda_pdngw=miu_pdngw*utilisasi;
tw4=lamda_pdngw./(miu_pdngw*(miu_pdngw-lamda_pdngw))+(1/miu_pdngw);
L=41744;
C_pdngw=100000000;
miu_pdngw=C_pdngw./L;
lamda_pdngw=miu_pdngw*utilisasi;
tw4=lamda_pdngw./(miu_pdngw*(miu_pdngw-lamda_pdngw))+(1/miu_pdngw);
L=41744;
C_server=100000000;
miu_server=C_server./L;
lamda_server=miu_server*utilisasi;
tw5=lamda_server./(miu_server*(miu_server-lamda_server))+(1/miu_server);
tw_tot=tw1+tw2+tw3+tw4+tw5
dUE_enb1=2000;
c=3*10^8;
tp1=dUE_enb1/c;
tptot1=tp1+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot1=tptot1+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end1=t_tot1+0.3015
dUE_enb2=10000;
c=3*10^8;
tp2=dUE_enb2/c;
tptot2=tp2+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot2=tptot2+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end2=t_tot2+0.3015
```

```

dUE_enb3=20000;
c=3*10^8;
tp3=dUE_enb3/c;
tptot3=tp3+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot3=tptot3+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end3=t_tot3+0.3015
dUE_enb4=30000;
c=3*10^8;
tp4=dUE_enb4/c;
tptot4=tp4+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot4=tptot4+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end4=t_tot4+0.3015
dUE_enb5=40000;
c=3*10^8;
tp5=dUE_enb5/c;
tptot5=tp5+0.00000193+0.0000144+0.000009665
t_tot5=tptot5+tw_tot+0.00225+0.0014296+0.0137+0.011595;
t_end5=t_tot5+0.3015
Wdata=5218;
Pbtot1=53.8358 *10^-4
PL=6165;
H=8;
Ctrans=3.6*10^6;
ti=(PL+H).*8/Ctrans
tx=tw_tot+0.00225;
tout=(2.*ti)+(2.*tptot5)+(tx);
a=1+(tout./ti)
T=(1-Pbtot1)./(ti.*(1+(a-1).*Pbtot1));
thr=T*Wdata*8;
figure
plot(utilisasi,thr,'-^black');
title('Pengaruh faktor utilisasi terhadap throughput');
legend('jarak antara UE dan eNodeB = 10000m');
xlabel ('Faktor Utilisasi')
ylabel ('throughput (Mbps)')
grid on

```

