

**ANALISIS PENGARUH *HANDOVER* PADA *MOBILE WIMAX* UNTUK  
LAYANAN *LIVE STREAMING***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**TRI EVANTI ANDRIANI  
NIM. 0910630100-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGARUH *HANDOVER* PADA *MOBILE*  
*WIMAX* UNTUK LAYANAN *LIVE STREAMING***

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**Tri Evanti Andriani**

**NIM. 0910630100-63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Endah Budi Purnomowati, MT.**

**NIP. 19621116 198903 2 002**

**Sapriesty Nainy Sari, ST., MT.**

**NIP. 88041206120278**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH *HANDOVER* PADA *MOBILE*  
*WIMAX* UNTUK LAYANAN *LIVE STREAMING***

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**TRI EVANTI ANDRIANI**

**NIM. 0910630100**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 3 Januari 2014

**DOSEN PENGUJI**

**Dwi Fadilla K., ST., MT**  
**NIP. 19720630 200003 1 002**

**Ali Mustofa, ST., MT**  
**NIP. 19710601 200003 1 001**

**Rudy Yuwono, ST., MSc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**M Aziz Muslim, ST., MT., PhD.**  
**NIP. 19741203 200012 1 001**

## PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh *Handover* pada *Mobile WIMAX* untuk Layanan *Live Streaming*” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Allah SWT atas rahmat dan hidayah yang telah diberikan,
- Rasulullah Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau,
- Ayah, Ibu dan keluargaku tersayang, Abdul Rachman, Ibu Siti Aminah, Mbak Ratna. Mas Wiwid, Mbak Luluk, Mas Fajar, Juariah dan Dewi. Terima kasih atas do’a, cinta, kasih sayang, kebaikan, nasihat, dan motivasi yang luar biasa, yang tak akan pernah tergantikan oleh suatu apapun. Serta Aira, Vino, dan Laras yang selalu memberikan semangat dan penghilang rasa jenuh,
- Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Ibu Sapriesty Nainy Sari, ST., MT. atas segala bimbingan, pengarahan, ide, kesabaran, waktu, saran serta motivasi yang telah diberikan selama pengerjaan skripsi ini,
- Bapak Aziz Muslim, ST.,MT.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Hadi Suyono, ST.,MT.,Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Moch.Rif’an, ST.,MT selaku Ketua Prodi Strata Satu Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku kepala kosentrasi Telekomunikasi yang sudah memberikan arahan untuk judul skripsi yang telah saya buat,

- Ibu Onny Setyawati., ST., MT. selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
- Keluargaku, Ampere 2009. Terima kasih atas segala kebersamaan dan dukungannya selama ini,
- Teman-teman paket C yang telah membantu selama masa perkuliahan,
- Rekan seperjuangan dalam skripsi, Risma, Bona, Dyta, Erer. Terima kasih atas kebersamaan dan segala bantuan yang telah diberikan,
- Sahabat – sahabatku Pepy, Risma, Lintang, Firda, Joga, dan Bona semoga persaudaraan kita akan selalu terjaga, terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini,
- Pepy, Nisa, Mbak Osi dan Hizba atas segala bantuan selama proses penyelesaian skripsi,
- Jefri Firdaus Winata atas kebersamaannya selama ini, yang setia menemani saat suka dan duka dalam setiap prosesnya, seta dukungan dan doanya,
- Seluruh teman-teman serta semua pihak yang tidak mungkin untuk dicantumkan namanya satu-persatu, terima kasih banyak atas segala bentuk bantuan dan dukungannya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Desember 2013

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR ..... i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR GAMBAR .....v

DAFTAR TABEL..... vi

ABSTRAK ..... vii

BAB I ..... 1

PENDAHULUAN ..... 1

    1.1 LATAR BELAKANG..... 1

    1.2 RUMUSAN MASALAH ..... 2

    1.3 RUMUSAN MASALAH ..... 2

    1.4 TUJUAN ..... 2

    1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN..... 2

BAB II..... 4

TINJAUAN PUSTAKA ..... 4

    2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX)* .....4

    2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WIMAX) IEEE 802.16e*.....5

        2.2.1 Standar WIMAX .....5

        2.2.2 Topologi Jaringan WIMAX .....6

        2.2.3 Konfigurasi Jaringan WIMAX.....7

        2.2.4 *Layer WIMAX*.....8

    2.3 *Live Streaming*.....9

        2.3.1 *CODEC (Coder/Decoder)*.....10

        2.3.2 *Enkapsulasi Data IP* .....12

    2.4 *Handover* .....13

    2.5 *Prosedur Handover pada Mobile WIMAX* .....14

    2.6 *Parameter Performansi Handover pada Jaringan Mobile WIMAX*.....18

        2.6.1 *Payload Live Streaming* .....18

        2.6.2 *Signal to Noise Ratio (SNR)*.....19

        2.6.3 *Kapasitas Kanal* .....21

        2.6.4 *Perhitungan bit rate*.....21

        2.6.5 *Energy Bit-to-Noise Ratio* .....21

        2.6.6 *Perhitungan Bit Error Rate (BER)*.....22

        2.6.7 *Delay end to end* .....23



2.6.8	Perhitungan <i>Throughput</i> .....	26
BAB III .....		27
METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Studi Literatur .....	27
3.2	Pengambilan Data .....	27
3.3	Perhitungan dan Analisis Data .....	28
3.3.1	Perhitungan <i>Delay End to End</i> .....	28
3.3.2	Perhitungan <i>Throughput</i> .....	33
3.3.3	Perhitungan <i>Throughput</i> .....	33
3.3.4	Perhitungan dan Analisa Data.....	33
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	34
BAB IV .....		35
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Umum.....	35
4.2	Perhitungan daya diterima.....	35
4.3	Perhitungan SNR (Signal to Noise Ratio).....	37
4.4	Perhitungan Kapasitas Kanal .....	38
4.5	Perhitungan dan Analisis <i>Bit Error Rate</i> (BER) pada Jaringan <i>mobile WIMAX</i> .....	39
4.6	Paket Data Aplikasi <i>Live Streaming</i> .....	42
4.7	<i>Throughput</i> .....	49
4.8	Analisis <i>Delay Handover</i> dan Pengaruhnya.....	52
4.8.1	<i>Delay Handover</i> .....	52
BAB V .....		65
PENUTUP.....		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA .....		67
LAMPIRAN.....		68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Metode <i>Point to Point</i> dan <i>Point to Multipoint</i> pada WIMAX	7
Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan WIMAX	8
Gambar 2.3 Struktur <i>layer</i> WIMAX	9
Gambar 2.4 Format <i>Header Ipv6</i>	13
Gambar 2.5 Prosedur <i>Handover</i>	15
Gambar 2.6 Pengelompokan <i>Delay</i>	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Penelitian	27
Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan <i>delay end to end</i>	29
Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan <i>CODEC</i>	29
Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan <i>Delay</i> Proses	30
Gambar 3.5 Diagram alir perhitungan <i>delay</i> propagasi	31
Gambar 3.6 Diagram alir perhitungan <i>delay</i> transmisi	32
Gambar 3.7 Diagram alir perhitungan <i>delay</i> antrian	32
Gambar 3.8 Diagram alir perhitungan <i>throughput</i>	33
Gambar 3.9 Diagram alir analisis data	34
Gambar 4.1 Analisis <i>Delay End to End</i> pada jaringan WIMAX	35
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap SNR	38
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap Kapasitas Kanal	39
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap BER	42
Gambar 4.5 Grafik pengaruh faktor utilitas terhadap <i>delay end to end</i>	48
Gambar 4.6 Grafik Hubungan <i>Throughput</i> terhadap Faktor Utilitas	51
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Faktor Utilitas terhadap <i>Delay Handover</i>	63
Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Panjang arak BS ke UE terhadap <i>throughput</i>	64



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar <i>Mobile</i> WIMAX.....	6
Tabel 2.2 Jenis <i>CODEC</i> video dan audio .....	11
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Daya Terima.....	36
Tabel 4.2 <i>Receiver</i> SNR Standar IEEE 802.16e .....	37
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan SNR.....	37
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal.....	38
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Eb/No .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
sTabel 4.6 Hasil Perhitungan BER .....	41
Tabel 4.7 Hasil Pehitungan <i>Delay</i> Proses .....	44
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan <i>Delay</i> Propagasi .....	45
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan <i>Delay</i> Transmisi .....	46
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan <i>Delay</i> Antrian.....	47
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan <i>Delay</i> MAN.....	47
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan <i>Delay</i> <i>End to end</i> .....	48
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Probabilitas <i>Packet Loss</i> .....	50
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Throughput.....	51
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan <i>Delay Handover</i> untuk modulasi QPSK $\frac{3}{4}$ dengan Faktor Utilitas 0,1 .....	61
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan <i>Delay Handover</i> Total.....	62



## ABSTRAK

**Tri Evanti Andriani**, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2013, *Anlasis Pengaruh Handover pada Mobile WIMAX untuk Layanan Live Streaming*, Dosen Pembimbing: Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Sapriesty Nainy Sari, ST., MT.

*Mobile WIMAX* merupakan salah satu teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien. Waktu yang dibutuhkan pada mekanisme *handover* yang terdapat pada jaringan ini dapat mempengaruhi kualitas layanan pada aplikasi *realtime* seperti *live streaming*. Performansi yang dibahas adalah performansi pengaruh *handover* pada *mobile WIMAX* untuk layanan *live streaming* yang meliputi parameter kapasitas kanal, *bit error rate*, probabilitas *packet loss*, *delay end to end*, *throughput* dan pengaruh *delay handover* terhadap *throughput*. Hasil analisis perhitungan pada jaringan *mobile WIMAX* dengan aplikasi *live streaming* pada proses *handover*, menunjukkan *delay handover* terbesar yaitu 2,8363 s dengan faktor utilitas 0,9 masih memenuhi standar *delay* ITU G.1010. Selain itu, proses *handover* mengakibatkan adanya penurunan nilai *throughput* yaitu nilai *throughput* pada saat proses *handover* sebesar 19,39 Mbps

**Kata Kunci :** *Mobile WIMAX, handover, live streaming, delay, throughput*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan dunia telekomunikasi sekarang ini sangat pesat, hal ini sesuai dengan kebutuhan manusia akan teknologi komunikasi yang handal dalam mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan efisien. Standar teknologi nirkabel dituntut harus terus mengalami evolusi menjadi semakin baik, baik dalam hal penyediaan layanan *mobile broadband*, kecepatan data, dan area akses yang semakin luas. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) merupakan salah satu teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan efisien serta tidak membatasi pergerakan pengguna.

Mekanisme *handover* digunakan dalam sistem komunikasi bergerak yang bertujuan agar komunikasi tersebut tetap berjalan meskipun pengguna bergerak melingkupi sel dalam infrastruktur seluler. *Handover* adalah proses pengalihan antara satu *base station* terhadap *base station* yang lain. *Handover* diperlukan sistem seluler untuk menjamin komunikasi tetap berlangsung ketika pelanggan bergerak dari satu *cell* ke *cell* lain.

Waktu yang dibutuhkan pada mekanisme *handover* yang terdapat pada jaringan ini dapat mempengaruhi kualitas layanan pada aplikasi *realtime* seperti *live streaming*.

Salah satu kemampuan multimedia yang dimiliki oleh *mobile WiMAX* adalah *live streaming*. *Live streaming* merupakan salah satu teknologi telekomunikasi yang bersifat *real time* serta dapat menyalurkan informasi berupa audio maupun video dengan menggunakan jaringan *Internet Protocol* (IP). *Live streaming* memungkinkan setiap pengguna melihat video secara bersamaan dengan kejadian aslinya.

Terkait dengan penelitian perbandingan berbagai macam proses *handover* pada oleh Chandan Gupta dan penelitian terkait dengan performansi pengukuran dan evaluasi video *streaming* pada HSDPA oleh Haakon Riiser . Oleh karena itu, pada penelitian ini dibahas analisis pengaruh *handover* pada *mobile*

WIMAX untuk layanan *live streaming* dengan menggunakan modulasi QPSK, 16QAM, 64QAM.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada :

- 1) Bagaimana kualitas jaringan *mobile* WIMAX dengan parameter *delay end-to-end* dan *throughput* ?
- 2) Bagaimana pengaruh *delay handover* terhadap perubahan *throughput* dalam jaringan *mobile* WIMAX pada layanan *live streaming* selama proses *handover* ?

## 1.3 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada:

- 1) Analisis performansi ini dibatasi pada teknologi *mobile* WiMAX yang disesuaikan sesuai standar IEEE 802.16e
- 2) Performansi *mobile* WIMAX pada sisi penerima (*User Equipment*).
- 3) Perhitungan dilakukan pada sisi *downlink*.
- 4) Pembatasan difokuskan pada pengaruh *handover* dengan prosedur yang digunakan pada *delay time* dan *throughput* pada layanan *live streaming*.
- 5) Aplikasi *live streaming* menggunakan jenis *CODEC* AMR-WB+ untuk audio dan H.264 untuk video.
- 6) Analisis dilakukan menggunakan *software* Matlab 7.0.4

## 1.4 TUJUAN

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *handover* pada *mobile* WIMAX terhadap *throughput* untuk layanan *live streaming*.

## 1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika penulisan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat tentang kajian teori dasar yang menunjang penulisan skripsi ini, yaitu mengenai dasar teori *mobile WIMAX*, *handover*, *live streaming* dan parameter-parameter yang digunakan untuk menghitung pengaruh *handover* pada *mobile WIMAX*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Memuat studi pustaka, metode pengambilan data, metode analisis data, metode simulasi, dan metode pengambilan kesimpulan

## BAB IV PEMBAHASAN

Melakukan analisis perhitungan pengaruh *handover* pada *mobile WiMAX* terhadap *throughput* untuk layanan *live streaming*

## BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan dunia telekomunikasi yang pesat sesuai dengan kebutuhan manusia akan teknologi komunikasi yang handal dalam mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan efisien. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) merupakan salah satu teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan efisien serta tidak membatasi pergerakan pengguna.

Mekanisme *handover* digunakan dalam sistem komunikasi bergerak yang bertujuan agar komunikasi tersebut tetap berjalan meskipun pengguna bergerak melingkupi sel dalam infrastruktur seluler. Waktu yang dibutuhkan pada mekanisme *handover* yang terdapat pada jaringan ini dapat mempengaruhi kualitas layanan pada aplikasi *realtime* seperti *live streaming*.

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori jaringan *mobile* WiMAX, *handover* dan *live streaming* yang merupakan layanan yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu juga membahas parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui bagaimana performansi pengaruh *handover* pada jaringan *mobile* WiMAX.

#### 2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX)

*Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*Broadband Wireless Access*) yang memiliki kecepatan tinggi serta jarak jangkauan yang luas. WIMAX terbagi menjadi dua model yang masing-masing diatur oleh dua standar IEEE yang berbeda. Model pertama adalah *fixed-access* (sambungan tetap) yang menggunakan standar IEEE 802.16d. Standar ini termasuk dalam golongan layanan *fixed wireless* karena menggunakan antena yang dipasang di lokasi pelanggan. Model kedua yaitu pemanfaatan *portable* atau *mobile* yang menggunakan standar IEEE 802.16e. Standar ini khususnya diimplementasikan untuk komunikasi data pada aneka perangkat genggam, atau perangkat bergerak (*mobile*) seperti *notebook*.

WIMAX memiliki jangkauan yang jauh hingga mencapai 50 km dan dapat didesain bukan hanya untuk kondisi LOS (*Line of Sight*) tetapi juga dalam kondisi NLOS (*Non Line of Sight*).

## 2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) IEEE 802.16e*

WiMAX IEEE 802.16e atau yang biasa dikenal dengan sebutan *mobile WiMAX* merupakan salah satu teknologi sistem BWA yang memungkinkan penggabungan antara jaringan *mobile broadband* dan *fixed broadband* dimana dapat mencakup area yang luas dan arsitektur jaringan yang fleksibel. *Mobile WiMAX* juga merupakan salah satu upaya untuk menjawab kebutuhan *data rate* yang besar, daya jangkauan yang luas, dan menggunakan perangkat yang bergerak. Dengan *data rate* yang tinggi memungkinkan jaringan tersebut dapat melayani berbagai macam transmisi, baik transmisi data, suara maupun video. Profil *mobile WiMAX* yang pertama kali dikeluarkan oleh IEEE mencakup channel bandwidth 5, 7, 8.75, dan 10 MHz yang dialokasikan pada *licensed spectrum* di 2.3, 2.5, 3.3, dan 3.5 GHz.. (WiMAX Forum, 2006)

### 2.2.1 **Standar WiMAX**

Standar yang digunakan WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16. Jenis dari standar 802.16 ini adalah 802.16, 802.16a, 802.16d dan 802.16e. Untuk mengembangkan jangkauan dan daya jualnya, maka standar IEEE 802.16 direvisi menjadi IEEE 802.16a. Standar teknis IEEE 802.16a inilah yang banyak digunakan oleh perangkat dengan sertifikasi WiMAX. Selain IEEE 802.16a, varian lainnya adalah IEEE 802.16b yang banyak menekan segala keperluan dan permasalahan dengan *Quality of Service (QoS)*, IEEE 802.16c banyak menekan pada *interoperability* dengan protokol-protokol lain, IEEE 802.16d merupakan perbaikan dari IEEE 802.16c ditambah dengan kemampuan untuk *access point* serta menekankan masalah mobilitas.

Tabel 2.1 Standar *Mobile WIMAX*

Parameter	Value
Channel Bandwidth	10 MHz
UL/DL duplexing scheme	TDD (28 symbol for DL, 9 symbol for UL, 11 symbol for overhead)
Number of Subcarrier	1024
BS antenna gain	18 dBi
BS antenna pattern	$g(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \left( \frac{\theta}{\theta_{3\text{ dB}}} \right)^2, A_m \right) \right]$ where $A_m = 20\text{ dB}, \theta_{3\text{ dB}} = 70^\circ$
BS antenna height	30 m
BS noise figure	4 dB
BS cable loss	3 dB
BS transmit power	43 dBm
MS antenna gain	0 dBi
MS antenna height	1 m
MS noise figure	8 dB
MS cable loss	0 dB
MS transmit power	27 dBm
Building penetration loss	0 dB for outdoor and 10 dB for indoor
Standar deviation of shadow fade	8 dB

(Sumber : J Andrews, A. Ghosh, 2007 )

### 2.2.2 Topologi Jaringan WIMAX

Teknologi WIMAX mempunyai beberapa topologi jaringan, yaitu *point to point*, *point to multipoint* dan *mesh network*.

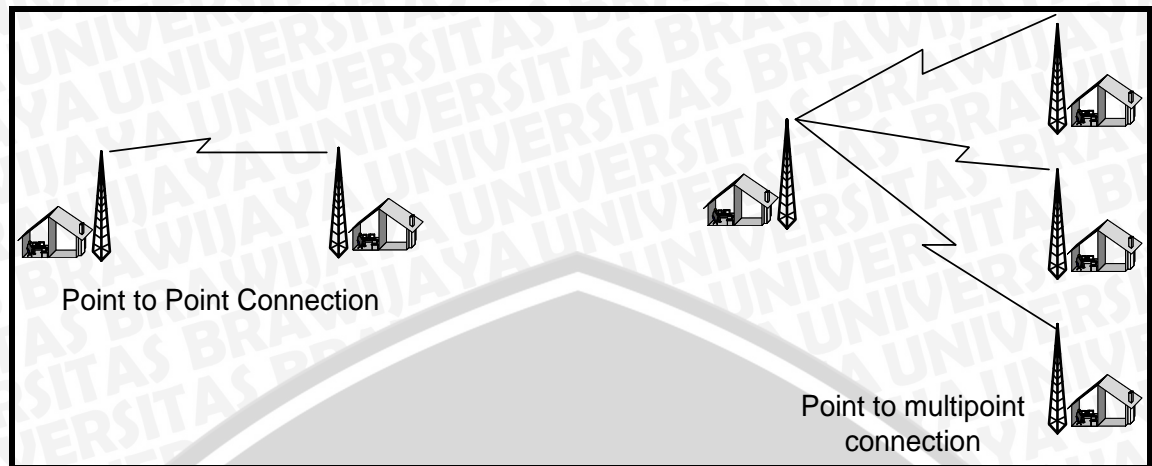
#### a. *Point to Point*

*Point to Point* adalah jaringan yang menghubungkan antara dua terminal. Antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan 1 perangkat penerima.

#### b. *Point to Multipoint*

*Point to Multipoint* adalah jaringan yang menghubungkan antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan banyak perangkat penerima. Contohnya adalah hubungan antara BTS dengan pemakai.





Gambar 2.1 Metode *Point to Point* dan *Point to Multipoint* pada WIMAX

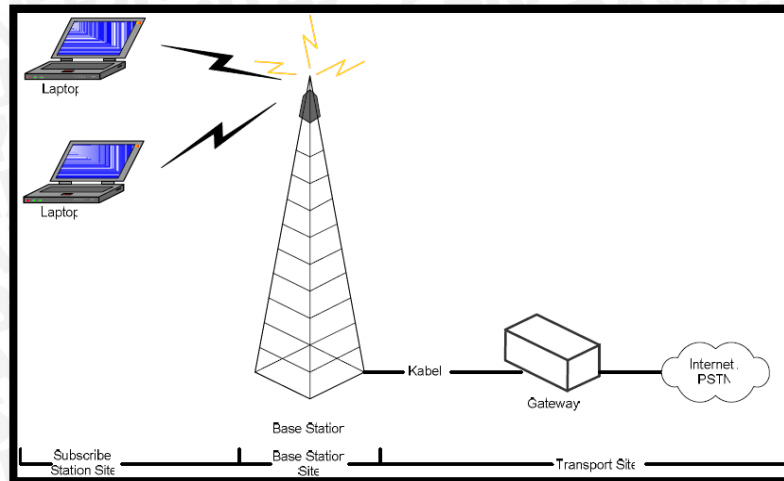
(Sumber : [www.wimaxforum.org/topologi](http://www.wimaxforum.org/topologi))

### 2.2.3 Konfigurasi Jaringan WIMAX

Sistem WIMAX terdiri dari beberapa bagian, yaitu *Base Station (BS)* di sisi pusat dan *Subscriber Station (SS)* atau *Customer Premise Equipment (CPE)* di sisi pelanggan. Konfigurasi jaringan WIMAX dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Dalam Gambar 2 digambarkan bahwa konfigurasi WIMAX terdiri dari :

- *subscriber station (SS) site* : bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment (CPE)* atau dapat berupa laptop. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh pengguna. Dalam sistem IEEE 802.16e terdapat dua tipe *user* yaitu *fixed* dan *mobile user*.
- *base station (BS) site* : bagian ini terdiri dari *base station (BS)*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *subscriber station (SS) site* dengan *transport site*.
- *transport site (bagian backend)* : bagian ini terdiri dari jaringan *internet* atau *PSTN*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan *internet*.



Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan WIMAX

(Sumber : Gunawan Wibisono dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009)

#### 2.2.4 Layer WIMAX

Karakteristik standar 802.16 ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *Physical layer (PHY layer)* dan *Medium Access Control (MAC)*. *Physical layer* menjalankan fungsi mengalirkan data di level fisik. *MAC layer* berfungsi sebagai penerjemah protokol – protokol yang ada di atasnya seperti ATM dan IP. (Kwang Cheng Chen, 2008).

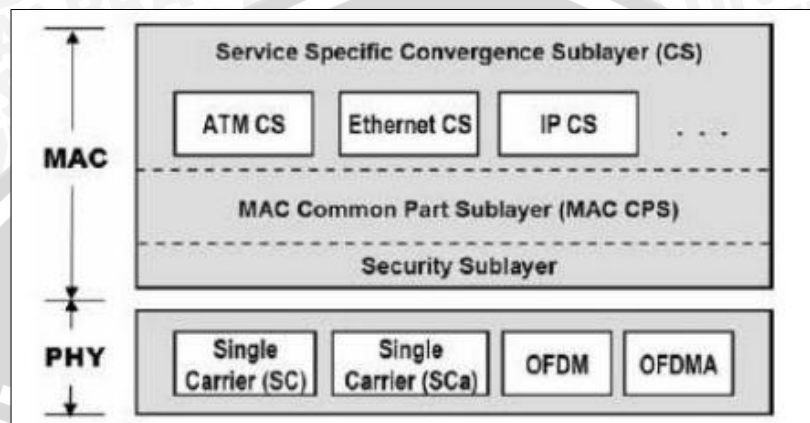
##### 2.2.4.1 Physical Layer (PHY)

Fungsi penting yang diatur PHY adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, *Duplex System*, *Adaptive Modulation*, *Variable Error Correction* dan *Adaptive Antenna System (AAS)*. Dengan teknologi OFDM memungkinkan komunikasi berlangsung dalam kondisi *multipath* LOS dan NLOS antara *Base Station (BS)* dan *Subscriber Station (SS)*. Metode OFDM yang digunakan ialah FFT 256. Fitur PHY untuk sistem *duplex* pada standar WIMAX diterapkan pada *Frequency Division Duplexing (FDD)* dan *Time Division Duplexing (TDD)* atau keduanya. Penggunaan kanalnya dari 1.7 MHz sampai dengan 20 MHz.

##### 2.2.4.2 MAC Layer

*MAC Control* menggunakan 2 jalur data berkecepatan tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS dan SS. Untuk komunikasi dari SS ke BS disebut

*uplink* sedangkan untuk komunikasi dari BS ke SS disebut *downlink*. Secara umum *downlink* ditransmisikan secara *broadcast* dari BS dan semua SS menerima sinyanya *downlink* tersebut tanpa koordinasi langsung antar SS yang ada. Pada penggunaan sistem TDD, ditentukan periode transmit untuk *downlink* dan *uplink*. MAC layer mempunyai karakteristik *connection-oriented* dan setiap sambungan diidentifikasi oleh 16-bit *connection identifiers* (CID).



Gambar 2.3 Struktur *layer* WIMAX

(Sumber : Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

### 2.3 *Live Streaming*

*Streaming* adalah sebuah jenis layanan yang langsung mengolah data yang diterima tanpa menunggu seluruh data selesai terkirim. Layanan yang bersifat *streaming* saat ini adalah layanan audio dan video . Aplikasi *streaming* saat ini banyak digunakan untuk berbagai hal misalnya untuk pendidikan, konferensi, dan pertemuan organisasi.

Teknologi *streaming* dikenal juga sebagai *streaming* media adalah suatu teknologi untuk memainkan atau menjalankan *file* (audio maupun video) dari sebuah *server streaming* (*web page*) baik secara langsung maupun rekaman, dimana data tersebut harus dikodekan terlebih dahulu menggunakan *data rate* tertentu yang cocok untuk ditransmisikan melalui internet atau jaringan yang sesuai dengan kapasitas *bandwidth* dari pengguna. *Data rate* yang digunakan harus cocok dengan *data rate* pelanggan. Untuk itu harus dilakukan *encoding file* audio maupun video dengan bermacam macam kecepatan *data rate* kemudian pengguna dapat menyesuaikan dengan kecepatan jaringannya maupun kecepatan dari sistem akses datanya.

*Live streaming* adalah tayangan langsung yang disiarkan kepada banyak orang dalam waktu yang bersamaan dengan kejadian aslinya, melalui media data komunikasi (*network*) baik yang terhubung dengan kabel atau *wireless*

### 2.3.1 CODEC (Coder/Decoder)

Pada aplikasi multimedia baik untuk audio, video, maupun data, besarnya *bandwidth* tergantung dari *CODEC* yang digunakan. *CODEC* terdiri *Encoder* yang digunakan untuk melakukan *encoding* pada *file* audio atau video sehingga memiliki ukuran yang lebih kecil dengan memperkecil *pixel* dan *frame* serta *Decoder* yang digunakan untuk membaca *file* yang telah dikodekan dan memainkannya di sisi *client*. *CODEC* sangat diperlukan dalam proses *live streaming*.

Terdapat dua jenis *CODEC* yang dapat digunakan dalam *live streaming*, yaitu (Andreas Handojo, dkk, 2009: 1):

- a. *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.
- b. *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.

Ada beberapa jenis audio dan video *CODEC* menurut ITU.T, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis CODEC video dan audio

Audio CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODEC (ms)
AMR-WB	6,6 – 23,85	35	10 – 20
AMR-WB+	5,2 – 48	46	20 – 40
HE-AAC v2	128 – 320	80	40 – 80
Video CODEC	Bit Rate (kbps)	Maximum Payload (byte)	Delay CODEC (ms)
H.264/AVC	64 – 384	254	150 – 300

(Sumber: RFC 4352,2006 dan RFC 3984, 2005)

### 2.3.1.1 Teknik Kompresi Video

Kompresi video merupakan proses yang digunakan untuk mengkompres video sementara harus tetap menjaga kualitas video untuk aplikasi yang ditunjuk. Teknik kompresi video yang digunakan dalam penelitian ini adalah CODEC H.264. H.264 menawarkan efisiensi kompresi yang lebih baik yakni kompresi video yang lebih berkualitas dan fleksibilitas yang lebih besar dalam melakukan kompresi, transmisi dan penyimpanan video. Video *encoder* pada H.264 dapat melakukan prediksi, transformasi dan proses *encoding* untuk menghasilkan kompresi *bitstream* H.264. Sedangkan video *decoder* H.264 dapat melakukan proses *decoding* secara lengkap. Dibandingkan dengan standar seperti MPEG-2 dan MPEG-4 *Visual*, H.264 memiliki kelebihan antara lain:

- Kualitas gambar yang lebih baik pada bitrate kompresi yang sama
  - Kecepatan bit kompresi yang lebih rendah untuk kualitas gambar yang sama.
- Standar H.264 menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dari segi kompresi dan transmisi.

### 2.3.1.2 Teknik Kompresi Audio

Teknik kompresi audio yang digunakan adalah CODEC AMR-WB+ (*Adaptive Multi Rate – WideBand +*). AMR-WB+ adalah standar pengkodean audio setelah AMR yang menggunakan teknologi yang sama seperti *Algebraic Code Linear Excited Prediction* (ACLEP).

### 2.3.2 Enkapsulasi Data IP

Pada IP terjadi penyampaian data dari protokol di satu *layer* ke protokol di *layer* lain. Setiap protokol pada masing-masing *layer* akan menambahkan informasi tambahan miliknya pada data jika protokol tersebut menerima data dari protokol lain di atasnya. Tambahan informasi tersebut dinamakan dengan *header*, yang berfungsi sebagai kontrak informasi. Proses penambahan informasi ini disebut dengan enkapsulasi.

#### a) RTP (*Real time Protocol*)

RTP adalah *IP-based protocol* yang menyediakan dukungan *transport* data antara *real time* seperti video dan audio *stream*, termasuk pada layanan *live streaming*. RTP digunakan untuk *transport* protokol dengan menggunakan UDP, TCP, ST-2, atau yang lainnya. RTP secara tipikal berada di atas IP untuk penggunaan dari *multiplexing* dengan fungsi *checksum*. UDP dipilih sebagai *protocol transport* untuk RTP karena RTP didesain untuk *multicast, connection oriented* TCP tidak memiliki skala yang baik. Selain itu untuk *real-time data, reliability* tidak penting untuk pengiriman secara waktu.

#### b) UDP (*User Datagram Protocol*)

UDP merupakan protokol yang berada di lapisan *transport IP layer*. Protokol ini bersifat *connectionless* dan *unreliable*. *Connectionless* berarti tidak diperlukan pembentukan hubungan terlebih dahulu untuk mengirimkan data. *Unreliable* berarti data tidak dijamin akan sampai di tujuan yang benar dan dalam kondisi yang benar pula. Protokol *transport* UDP lebih sering diimplementasikan untuk aplikasi yang mengarah pada proses *real-time*, seperti aplikasi multimedia pada layanan video *streaming*, dimana rugi-rugi paket data yang lebih kecil akan lebih ditoleransi daripada nilai *delay* yang terjadi pada IP.

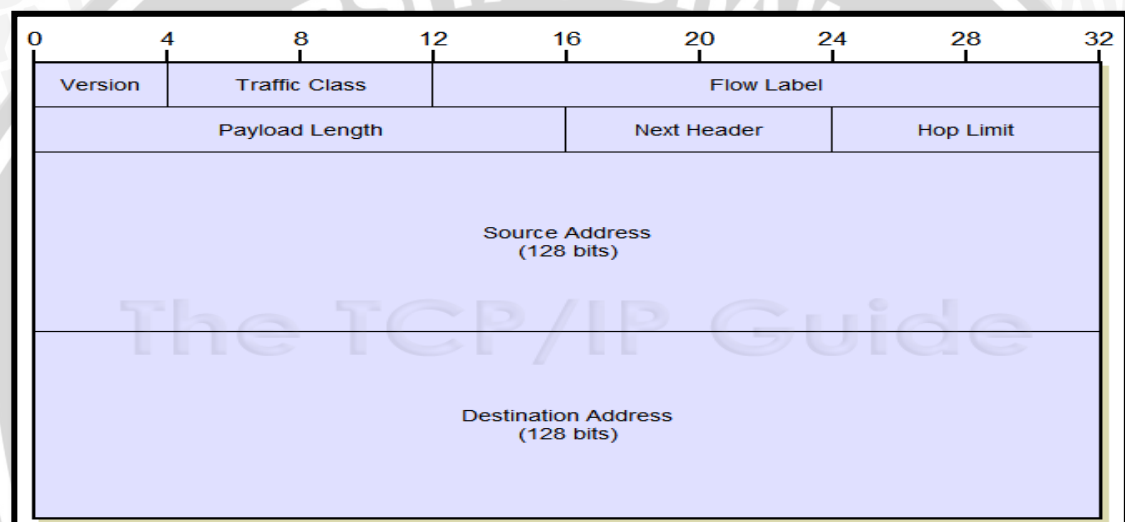
#### c) IP (*Internet Protocol*)

Protokol IP merupakan inti dari protokol TCP/IP, yang bersifat *unreliable, connectionless*, dan *datagram delivery service*. Banyak yang mengistilahkan sebagai *best effort delivery*, yang artinya IP menyediakan *no error checking* atau *tracking*. Jika diperlukan reliabilitas, maka IP harus

dipasangkan dengan protokol yang *reliable*, misalnya TCP. IP mempunyai fungsi utama yaitu *connectionless-service*, pemecahan (*fragmentasi*) dan penyatuan dari paket-paket, serta *routing*.

- Format *Header Ipv6*

Jaringan *mobile WIMAX* menggunakan IP versi 6. *Header IPv6* didesain mempunyai panjang *header* 40 byte dan memiliki *field* lebih sedikit dibandingkan dengan IPv4, sehingga router melakukan penanganan tiap *field* lebih sedikit menyebabkan proses *routing* atau aliran data menjadi lebih ringkas. Format *header* alamat IPv6 ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Format *Header Ipv6*  
(Sumber : Lain E.G, Richardson. 2003)

## 2.4 *Handover*

*Handover* adalah proses pengalihan antara satu *base station* terhadap *base station* yang lain. *Handover* diperlukan sistem seluler untuk menjamin adanya kontinuitas komunikasi apabila pelanggan bergerak dari satu *cell* ke *cell* lain. Proses ini sangat penting dalam komunikasi seluler melihat latar belakang pemakaian telepon seluler yang penuh mobilitas, jumlah trafik, dan kualitas sinyal, sehingga tidak terjadi *drop call* atau terputusnya hubungan.

*Handover* dapat terjadi dalam kaitannya dengan pergantian sumber radio yang menyediakan suatu layanan dengan melakukan perubahan yang melibatkan

*base station*. Hal ini terjadi khususnya ketika sumber radio menyediakan pergantian layanan dari *mode* akses radio WIMAX yang lainnya.

Ada beberapa jenis *handover* pada komunikasi bergerak, antara lain :

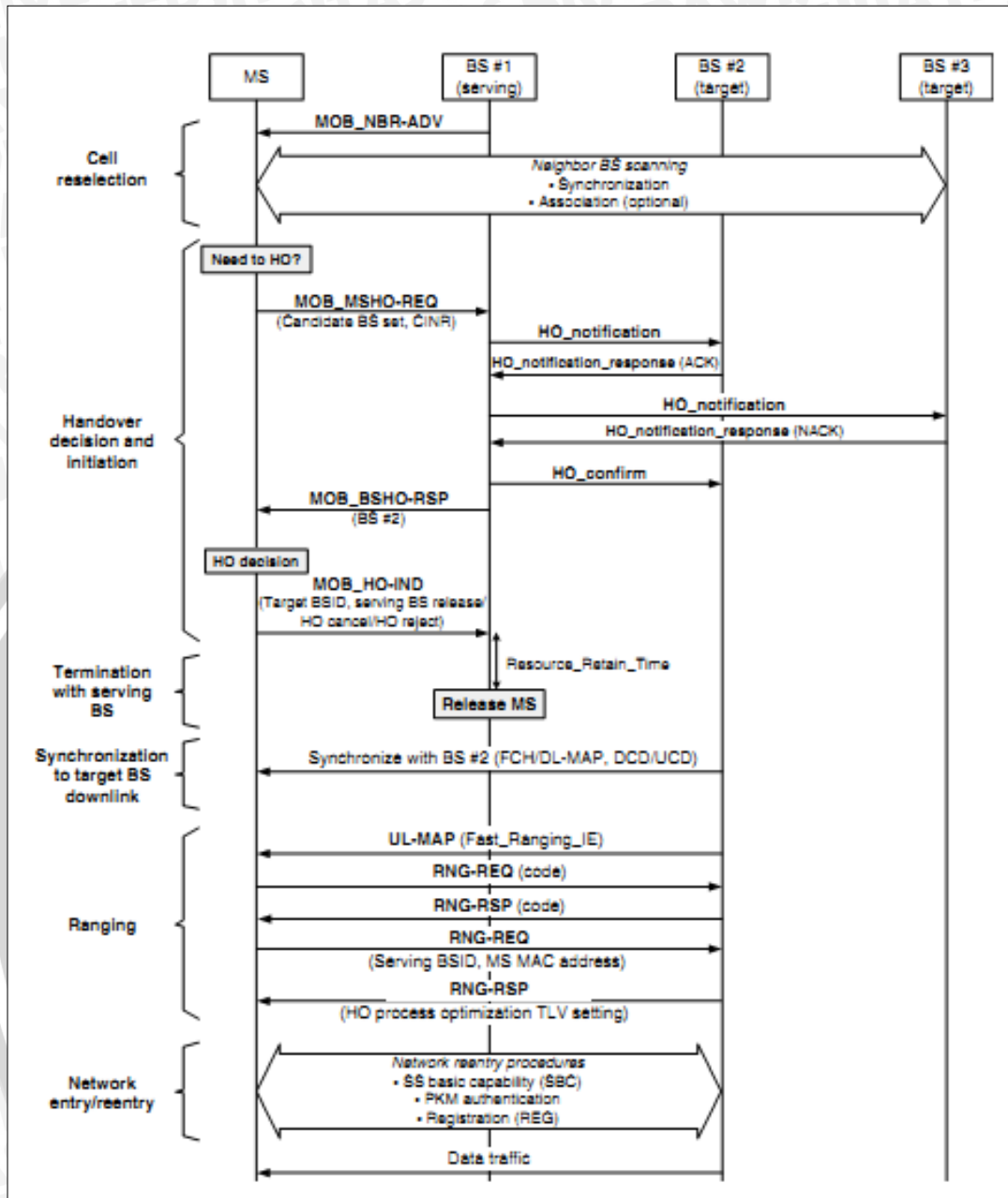
- a. *Hard Handover* terjadi pada sebuah UE dengan melakukan pemutusan hubungan dengan *base station* yang sebelumnya untuk kemudian melakukan hubungan baru dengan *base station* pada sel yang lain, proses ini lebih dikenal dengan “*break before make*”.
- b. *Soft Handover* terjadi pada sebuah UE yang melakukan hubungan baru terlebih dahulu saat melakukan perpindahan sel dengan maksud untuk menjaga konektivitasnya, atau dikenal dengan “*make before break*”.
- c. *Softer Handover*, *handover* ini hampir mirip dengan *soft handover*, namun UE mengalami perpindahan konektivitas *radio link* dalam sebuah *base station* yang sama.

## 2.5 **Prosedur *Handover* pada *Mobile WIMAX***

*Handover* (HO) sangat penting untuk mendukung mobilitas *Mobile Station* (MS) dalam lingkungan seluler. Gambar 2.5 mengilustrasikan prosedur HO dasar dalam sistem IEEE 802.16e . Pesan yang terkait dengan proses HO adalah sebagai berikut :

- MOB\_MSHO\_REQ dikeluarkan oleh MS untuk menginisiasi HO. Berisi informasi tentang BS sekitar yang dianjurkan.
- MOB\_BSHO\_RSP dikirim oleh *Base Station* (BS) dalam merespon penerimaan pesan MOB\_MSHO\_REQ. Memberikan informasi tentang direkomendasikan BS sekitar yang direkomendasikan untuk HO.
- MOB\_BSHO\_REQ dikeluarkan oleh BS yang ingin memulai sebuah HO. MS yang menerima pesan ini memindai BS sekitar yang ditentukan dalam pesan ini.
- MOB\_HO\_IND ditransmisikan dari MS ke BS yang melayani untuk menginformasikan indikasi akhir HO, yg dapat mengakibatkan pemberhentian BS yg melayani, pembatalan HO atau penolakan HO.





Gambar 2.5 Prosedur *Handover*

(Sumber : Syed Ahson, 2008)

Dalam pelaksanaan *handover* ada beberapa prosedur yang akan dilalui yaitu :

a. Pemilihan ulang sel

Pemilihan ulang sel mengacu pada proses pencarian MS atau penggabungan dengan satu atau lebih BS untuk menentukan ketersediaan dan kecocokan sebagai target HO untuk melakukan pemilihan ulang sel, MS menggunakan

informasi yang didapatkan dari pesan MOB\_NBR\_ADV dari BS yang melayani (BS#1).

b. Memutuskan dan mengawali HO

HO diawali dengan keputusan untuk *handover* dari BS yang melayani menuju BS target (BS#2). Keputusan berawal dari BS atau MS yang melayani. MS dapat memulai HO dengan mengeluarkan pesan MOB\_MSHO\_REQ. Untuk menjawab MOB\_MSHO\_REQ, BS merespon dengan sebuah pesan MOB\_BSHO\_RSP. BS dapat memulai HO dengan mengirimkan MOB\_BSHO\_REQ tanpa meminta terlebih dahulu. Jika BS yang melayani menerima pesan MOB\_MSHO\_REQ atau menilai bahwa MS perlu melakukan HO, BS akan mengirimkan pesan notifikasi HO yang berisi informasi MS ke satu atau lebih BS target yang lebih berpotensi melalui jaringan *backbone*, untuk memberitahukan bahwa MS akan melakukan HO. Jika BS yg melayani menerima respon notifikasi HO dari BS target, akan memilih BS target yg cocok untuk HO, sesuai dengan status dari pesan balasan (menerima atau menolak) dan mengirim pesan konfirmasi HO pada target BS terpilih. Setelah itu BS yang melayani menginformasikan kepada MS mengenai BS target terpilih dengan mengirimkan pesan MOB\_BSHO\_RSP (jika MS yang memulai HO) atau pesan MOB\_BSHO\_REQ (jika BS yang memulai HO).

Jika MS menerima pesan MOB\_BSHO\_RSP atau MOB\_BSHO\_REQ, MS membuat keputusan akhir HO dan membuat pesan MOB\_HO\_IND. Pesan MOB\_HO\_IND memberitahukan BS yang melayani mengenai keputusan akhir, yang dapat memberhentikan BS yang melayani, pembatalan HO atau penolakan HO. Jika BS menerima pesan MOB\_HO\_IND dengan pilihan pemberhentian, BS yang menerima akan mengaktifkan timer. Ketika timer selesai, MS diputus dari BS yang melayani dan tidak dapat memonitor trafik *downlink* dari BS yang melayani.

c. Pembatalan HO

MS dapat membatalkan HO setiap saat, baik MS atau BS yang memulai HO. Pembatalan ini dilakukan dengan mengirimkan MOB\_HO\_IND dengan pilihan pembatalan. Ketika BS yang melayani menerima pesan MOB\_HO\_IND dengan pilihan pembatalan sebelum timer berakhir, MS dan BS yang melayani

melanjutkan komunikasi normal. Jika MS ingin mencoba HO ke BS yang berbeda, baik BS termasuk BS target ataupun tidak, maka MS akan meminta BS yang melayani untuk menolak instruksi dengan mengirimkan MOB\_HO\_IND dengan pilihan menolak HO. Jika BS mengkonfirmasi permintaan ini, BS akan mengkonfigurasi ulang daftar BS disekitarnya dan mengulang pengiriman pesan MOB\_BSHO\_RSP, termasuk daftar baru BS disekitarnya.

d. Sinkronisasi BS target *downlink*

Agar terhubung dengan BS target, maka MS melakukan sinkronisasi dengan BS target. MS melakukan sinkronisasi dengan BS target dengan cara mencari kanal pita frekuensi *downlink* sampai menemukan sinyal *downlink* yang sesuai.

e. Penjangkauan

Sebuah MS dan BS target melakukan penjangkauan awal atau penjangkauan HO setelah sinkronisasi dengan BS target. Sebuah pesan MOB\_BSHO\_REQ atau MOB\_BSHO\_RSP menginformasikan MS mengenai kesempatan penjangkauan transmisi awal yang diberikan untuk MS akan disediakan oleh BS target. Jika MS mengkonfirmasi kesempatan penjangkauan awal, MS dapat mengirimkan pesan RNG-REQ ke BS target.

f. Pemutusan dengan BS yang melayani

Jika MS memutuskan untuk melaksanakan HO setelah menerima pesan MOB\_BSHO\_RSP atau MOB\_BSHO\_REQ, maka MS akan mengakhiri layanan dengan BS yang melayani. Operasi ini dilakukan dengan mengirimkan pesan MOB\_HO\_IND dengan pilihan pemberhentian BS yang melayani. Jika BS mengkonfirmasi pemberhentian layanannya, BS akan memulai *timer*. Ketika *timer* berakhir, BS yang melayani menghentikan semua informasi tentang MS dan MS terputus dari BS yang melayani.

g. Kegagalan saat HO

Kegagalan terjadi ketika MS telah menghentikan komunikasi dengan BS yang melayani sebelum prosedur HO normal terpenuhi. Ketika MS mendeteksi kegagalan saat masuk kembali ke jaringan dengan BS target, MS mencoba masuk kembali ke jaringan dengan BS target yang terpilih melalui prosedur pemilihan

ulang sel. Pada saat itu, MS dapat melanjutkan komunikasi dengan BS yang melayani dengan mengirim pesan MOB\_HO\_IND disertai pilihan pembatalan HO. Jika MS gagal masuk kembali ke jaringan dengan BS target terpilih, MS melakukan prosedur masuk jaringan dari awal.

h. Masuk kembali ke jaringan

MS memulai prosedur masuk ke jaringan dengan BS baru setelah sukses melakukan proses penjangkauan. Jika MS telah mengirim pesan RNG-REQ pada proses penjangkauan, maka BS target dapat meminta informasi mengenai MS dari BS yang melayani melalui jaringan backbone, dan BS yang melayani dapat menjawab dengan informasi yang diminta, untuk mempercepat proses masuk ke jaringan. Oleh karena itu, proses masuk ke jaringan dengan BS target dapat dipercepat jika BS target memperoleh informasi mengenai MS dari BS yang melayani.

## 2.6 Parameter Performansi *Handover* pada Jaringan *Mobile WIMAX*

### 2.6.1 *Payload Live Streaming*

a. Paket video

Besarnya paket video pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{video} = \frac{bitrate\ audio \times length}{8} \quad (2-1)$$

dengan:

*bitrate* audio : *bitrate* pada CODEC AMR WB+ (bps)

*length* : waktu video

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami kompresi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{compressed\ video} = filesize_{video} \times rasio\ kompresi \quad (2-2)$$

b. Paket audio

Besarnya paket audio pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{audio} = \frac{bitrate\ audio \times length}{8} \quad (2-3)$$

dengan

$bitrate$  audio :  $bitrate$  pada CODEC H.264 (bps)

$length$  : waktu audio (s)

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami kompresi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{compressedaudio} = filesize_{audio} \times rasio\ kompresi \quad (2-5)$$

Pada skripsi ini, standard protokol yang digunakan adalah Ethernet dengan MTU (*Maximum Transfer Unit*) Ethernet sebesar 1500 *byte* (RFC 895). Oleh karena itu, besar tiap paket data *live streaming* tidak boleh melebihi MTU sebesar 1500 *byte*.

Apabila panjang paket data *live streaming* melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) Ethernet sebesar 1500 *byte* (RFC 895), maka paket data *live streaming* akan mengalami fragmentasi menjadi beberapa buah frame baru. Jika paket data *live streaming* tidak melebihi MTU Ethernet, maka paket data *live streaming* tidak akan mengalami fragmentasi. Sesuai dengan persamaan berikut :

$$N_{frame} = \frac{P_{va\ live\ streaming}}{MTU} \quad (2-6)$$

dengan :

$P_{va\ live\ streaming}$  = panjang paket data *live streaming* (*byte*)

MTU = *Maximum Transfer Unit* (MTU) Ethernet sebesar 1500 *byte*

Besarnya data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{frametotal} = W_{data} + (N_{frame} \times header) \quad (2-7)$$

dengan

$W_{frametotal}$  : panjang data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header*

$W_{data}$  : panjang data *live streaming*

### 2.6.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

*Signal to Noise Ratio* merupakan perbandingan antara daya yang diterima oleh penerima terhadap noise pada saat proses propagasi. Besar SNR pada skripsi ini dilihat mulai dari *transmitter* sampai ke *user*. Besarnya SNR

dinyatakan dalam persamaan berikut berikut (Mischa Schwartz, 1994):

$$SNR = 10 \text{ Log } \frac{P_r}{N_o} \quad (2-8)$$

dengan :

$SNR$  : *signal to noise ratio* (dB)

$P_r$  : daya yang diterima oleh penerima (mW)

$N_o$  : daya *noise* pada saluran transmisi (mW)

Dengan daya noise pada saluran transmisi dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$N_o = 10 \log kT + 10 \log B + NF \quad (2-9)$$

dengan :

$N_o$  = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

$T$  = suhu *absolute* (300° K)

$NF$  = *noise figure*

$B$  = *bandwidth* (Hz)

Dan dengan daya yang dapat diterima oleh penerima dapat dinyatakan dengan persamaan (Robert G. Winch, 1998: 184) :

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t - FSL - L_t - L_r + G_r + G_t \quad (2-10)$$

Sedangkan nilai FSL (*Free Space Loss*) dapat menggunakan persamaan (Andrea Goldsmith, 2005: 49) :

$$FSL = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (2-11)$$

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)

$\lambda$  : Panjang gelombang (m)

$f$  : Frekuensi kerja sistem (Hz)

$d$  : jarak antara *transmitter* dan *receiver* (m)

$c$  : kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

### 2.6.3 Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah kemampuan kanal untuk mentransmisikan berapa banyak data yang dapat dikirim. Sesuai dengan rumus Shanon maka kapasitas kanal dapat dihitung dengan :

$$C = B_{sistem} \log_2(1 + SNR_{sistem}) \quad (2-12)$$

dengan :

$C$  : Kapasitas kanal (Mbps)

$B_{sistem}$  : *Bandwidth* sistem (Hz)

$SNR_{sistem}$  : *Signal to Noise Ratio* sistem (dB)

### 2.6.4 Perhitungan bit rate

*Bit rate* pada modulasi adalah kecepatan pengiriman informasi melalui media transmisi. *Bit rate* adalah kecepatan tiap bit per sekon. *Bit rate* ini tergantung dengan jenis modulasi yang digunakan yang ditandai dengan banyaknya bit per simbol yang dikirim pada tiap jenis modulasi. Perhitungan *bit rate* dinyatakan dengan persamaan berikut (Stallings, 2005):

$$R = 2B \times \log_2 n \quad (2-13)$$

dengan:

$n$  : banyaknya bit pada suatu jenis modulasi

$B$  : *bandwidth* jaringan yang dipergunakan (Hz)

$R$  : *bit rate* (bps)

### 2.6.5 Energy Bit-to-Noise Ratio

$E_b/N_o$  adalah suatu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. *Energy Bit to Noise Ratio* adalah perbandingan energi sinyal per bit terhadap noise.  $E_b/N_o$  ini dipengaruhi oleh SNR, dan bit rate pada modulasi.

Perhitungan  $E_b/N_o$ , terutama digunakan ketika akan menentukan performansi *Bit Error Rate* (BER) pada skema modulasi digital yang berbeda.

Energi per bit dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan berikut (William Stallings,2007):

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-14)$$

dengan:

$\frac{E_b}{N_0}$  = rasio energi bit terhadap *noise* (dB)

SNR = *signal to noise ratio* sistem (dB)

B = *bandwidth* sistem (Hz)

R = *bit rate* (bps)

### 2.6.6 Perhitungan *Bit Error Rate* (BER)

BER atau probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* yang salah terhadap total *bit* yang diterima. Pada sistem WIMAX, besarnya nilai BER ( $P_b$ ) untuk masing-masing teknik modulasi dijelaskan dalam persamaan berikut (A.Goldsmith, 2005) :

- QPSK

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2-15)$$

Keterangan :

$P_b$  : BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

$\frac{E_b}{N_0}$  : rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi

QPSK

- M-ary QAM

$$\begin{aligned} P_{b \cdot M\text{-QAM}} &= \frac{4(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M - 1) N_0}} \right) \\ &= \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M - 1) N_0}} \right) \end{aligned} \quad (2-16)$$

Keterangan :

$P_{b \cdot M\text{-ary QAM}}$  : BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

M : jumlah sinyal, M = 64 untuk 64-QAM



$\frac{E_b}{N_0}$  : rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi M-ary QAM dimana,

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}x} \cdot e^{-x^2} \quad (2-17)$$

### 2.6.7 Delay end to end

*Delay* adalah tenggang waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data dari satu titik ke titik lain yang menjadi tujuannya. *Delay end to end* merupakan penjumlahan beberapa macam komponen *delay* yang berbeda dan terjadi dalam perjalanan paket dari sumber sampai ke tujuan. Total *delay end to end* adalah:

$$t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2-18)$$

dengan :

$$t_{end\ to\ end} = \text{delay end to end}$$

$$t_{codec} = \text{delay codec}$$

$$t_{MAN} = \text{delay MAN}$$

#### 2.6.7.1 Delay codec

*Delay codec* merupakan *delay* yang terjadi pada sisi encoder. *Delay codec* adalah waktu yang dibutuhkan 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. *Delay codec* pada aplikasi *live streaming* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{codec} = t_a + t_v \quad (2-19)$$

dengan:

$$t_a : \text{delay codec audio AMR-WB+ (ms)}$$

$$t_v : \text{delay codec video H.264 (ms)}$$

### 2.6.7.2 Delay MAN

*Delay* MAN merupakan *delay* total keseluruhan yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi pelanggan ke pelanggan lain pada jaringan mobile WIMAX. *Delay* MAN dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w \quad (2-20)$$

dengan :

$t_{MAN}$  = *delay* total pada MAN (ms)

$t_{proses}$  = *delay* proses (ms)

$t_{prop}$  = *delay* propagasi (ms)

$t_{trans}$  = *delay* transmisi (ms)

$t_w$  = *delay* antrian (ms)

- *Delay* proses

*Delay* proses merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada jaringan mobile WIMAX terdiri dari *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. *Delay* enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan *header* pada paket data, sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke *host* tujuan. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket data.

*Delay* enkapsulasi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2-21)$$

dengan:

$t_{enc}$  = *delay* enkapsulasi (ms)

$W_{frame\ total}$  = panjang *frame* (byte)

$c$  = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2-22)$$

dengan:

$t_{dec}$  = *delay* dekapsulasi (ms)

$W_{frame\ total}$  = panjang *frame* Ethernet (byte)

$c$  = kecepatan transmisi kanal (bps)

sehingga *delay* proses dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (2-23)$$

- *Delay* propagasi

*Delay* propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi. *Delay* propagasi gelombang radio dapat ditulis dengan persamaan:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (2-24)$$

dengan:

$d_{max}$  = jarak jangkau *base station* dan *subscriber station* (m)

$v$  = kecepatan sinyal pada media *wireless* (m/s)

- *Delay* transmisi

*Delay* transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi dan dipengaruhi oleh ukuran paket serta kapasitas media transmisi. *Delay* transmisi dapat ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987)

$$t_{trans} = \frac{w}{c} \times 8 \quad (2-25)$$

dengan:

$w$  = panjang total *frame* yang dikirimkan (byte)

$c$  = kecepatan (bps)

- *Delay* antrian

*Delay* antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama 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 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 dapat ditulis dengan persamaan:

$$\mu = \frac{c}{w} \quad (2-26)$$

$$\lambda_w = \mu \rho \quad (2-27)$$

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} \quad (2-28)$$

dengan :

$t_w$  = *delay* antrian (ms)

- $\lambda_w$  = kecepatan kedatangan (paket/s)
- $\mu$  = waktu pelayanan (paket/s)
- $c$  = kapasitas kanal (bps)
- $\rho$  = faktor utilitasi sistem nirkabel

Error tolerant	Conversational voice and video	Voice/video messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Command/control (e.g. Telnet, interactive games)	Transactions (e.g. E-commerce, WWW browsing, Email access)	Messaging, Downloads (e.g. FTP, still image)	Background (e.g. Usenet)
	<b>Interactive</b> (delay $\ll 1$ s)	<b>Responsive</b> (delay $\sim 2$ s)	<b>Timely</b> (delay $\sim 10$ s)	<b>Non-critical</b> (delay $\gg 10$ s)

T1213060-02

Gambar 2.6 Pengelompokan Delay  
(Sumber : ITU G.1010, 2001)

### 2.6.8 Perhitungan Throughput

Throughput didefinisikan sebagai ukuran yang menyatakan berapa banyak bit yang dapat ditransmisikan dan sukses diterima di tujuan per detik untuk lebar pita yang dialokasikan. Throughput ditunjukkan oleh persamaan (Scwartz, Mischa. 1987)

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_1[1+(\alpha-1)\rho]} \tag{2-29}$$

Simbol  $\alpha$  merupakan konstanta propagasi dengan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha = \left( 3 + \frac{2t_{prop}}{t_t} \right) \tag{2-30}$$

dengan :

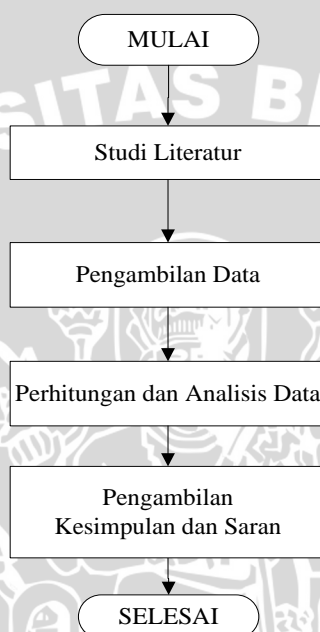
- $\alpha$  : konstanta propagasi
- $t_{prop}$  : delay propagasi(s)
- $t_t$  : delay transmisi (s)



### BAB III

## METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis pengaruh *handover* pada *mobile WIMAX* untuk layanan *live streaming* yang mengacu pada studi literatur. Parameter performansi yang dikaji meliputi *delay end to end* dan *throughput*. Metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan *mobile WIMAX*, *live streaming* dan proses *handover*. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

### 3.2 Pengambilan Data

Pengambilan data penelitian dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam penyelesaian skripsi ini. Data-data yang diperlukan dalam skripsi ini berupa data sekunder karena kajian yang dilakukan bersifat analisis, yaitu berupa studi literatur yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai jaringan *Mobile WIMAX*, *handover*,

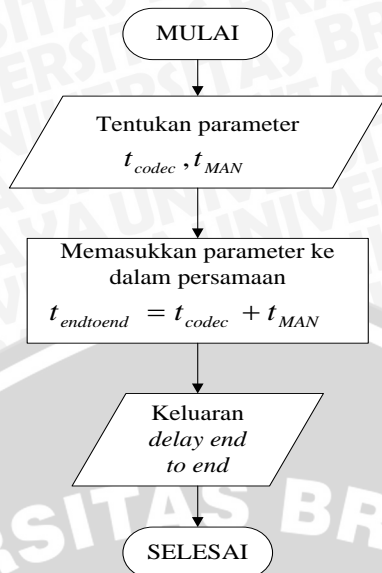
dan *live streaming* Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi *mobile WIMAX* berdasarkan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional melalui IEEE dengan spesifikasi 802.16e, meliputi parameter sebagai berikut:
  - a. *Bandwidth* kanal adalah 10 MHz.
  - b. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 2.5 GHz
  - c. Teknik pentransmisiannya menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*
  - d. Perhitungan dilakukan pada sisi *downlink* / sisi penerima
  - e. Nilai parameter yang dianalisis meliputi, *delay end to end*, dan *throughput*.
  - f. Hasil perhitungan akan disimulasikan dengan menggunakan Matlab 7.
2. Spesifikasi *live streaming* meliputi :
  - a. Menggunakan jenis *CODEC*:
    - *Audio codec* menggunakan AMR-WB+ dengan data rate sebesar 5.2 kbps – 48 kbps, *delay codec* sebesar 20-40 ms
    - *Video codec* menggunakan H.264/AVC dengan data rate sebesar 64 kbps – 384 kbps dengan *delay codec* sebesar 150-300 ms
  - b. Panjang *header RTP* = 12 byte
  - c. Panjang *header UDP* = 8 byte
  - d. Panjang *header IP* = 20 byte

### 3.3 Perhitungan dan Analisis Data

#### 3.3.1 Perhitungan *Delay End to End*

Untuk menentukan *delay end to end* pada sistem, dapat dilakukan dengan cara:



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan *delay end to end*

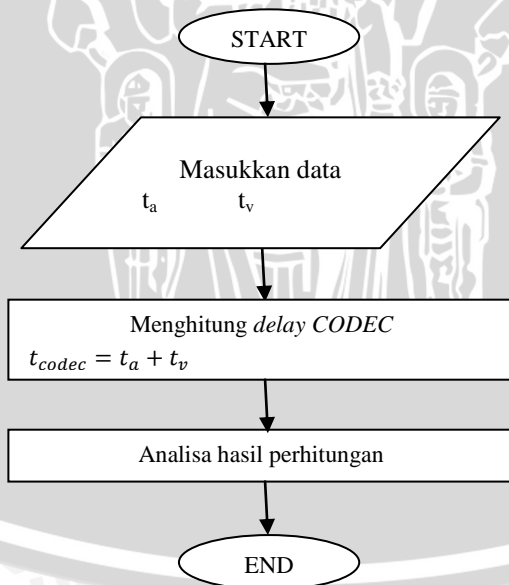
dengan:

$$t_{end\ to\ end} = \text{delay end to end}$$

$$t_{codec} = \text{delay codec}$$

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w$$

- *Delay CODEC*



Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan *CODEC*

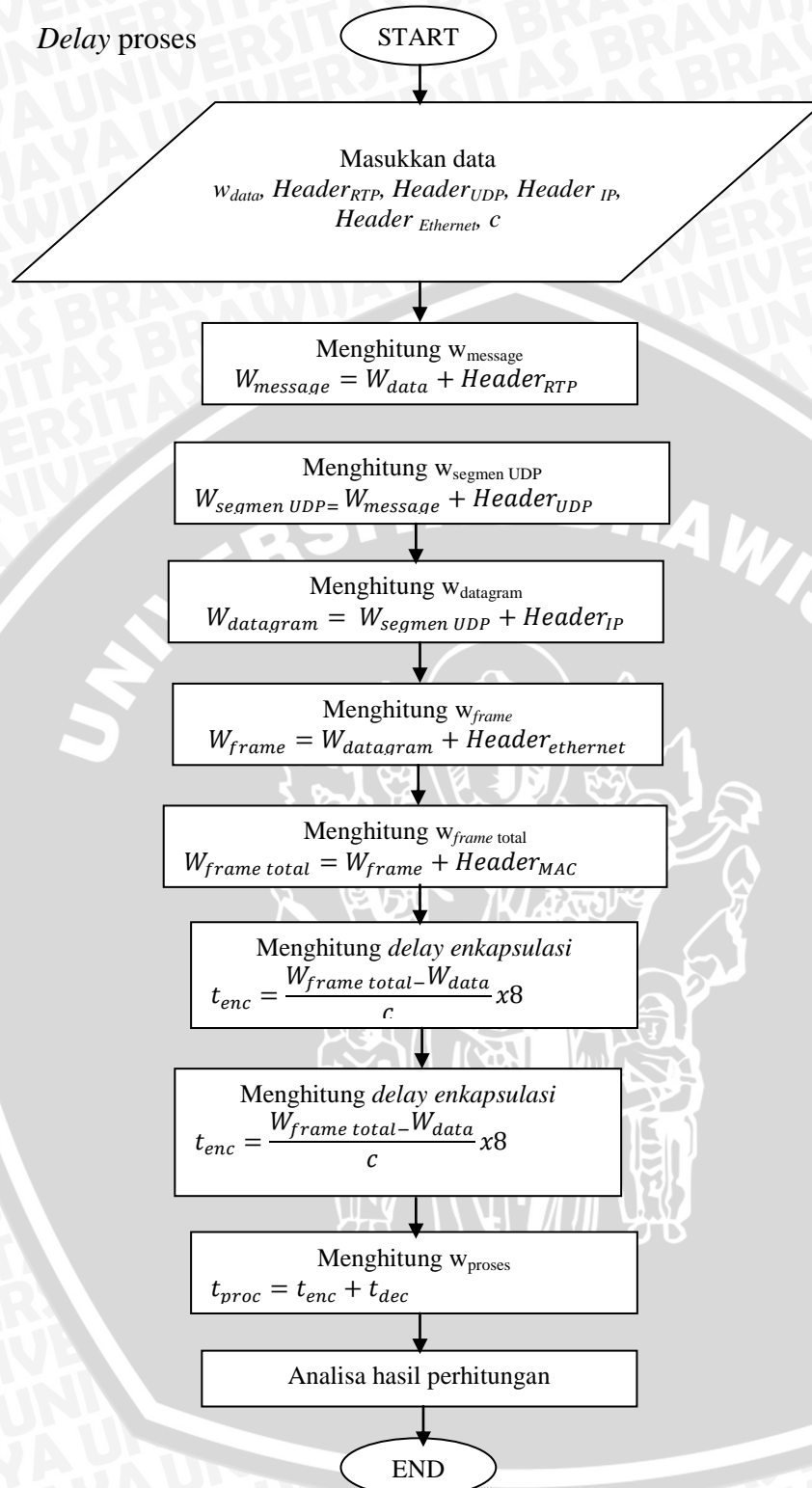
$t_{codec}$  : *delay codec aplikasi live streaming*

$t_a$  : *delay codec audio AMR-WB+ (ms)*

$t_v$  : *delay codec video H.264 (ms)*



- Delay proses



Gambar 3.4 Diagram Alir Perhitungan Delay Proses

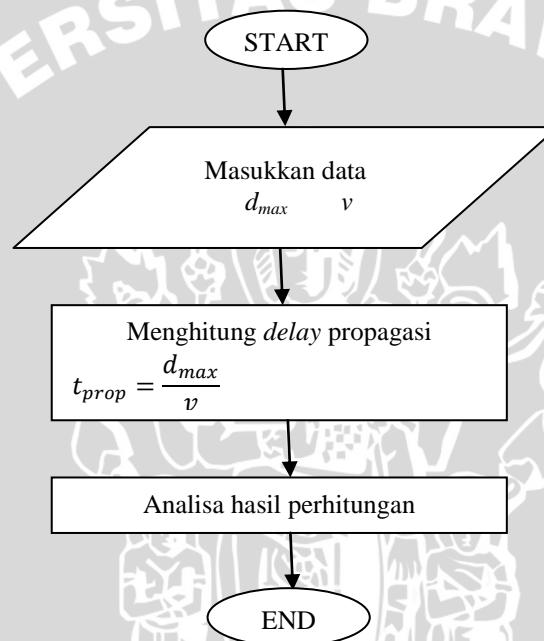
$W_{segmen\ UDP}$  = panjang segmen UDP (byte/paket)

$Header_{RTP}$  = panjang header RTP (12byte)

$Header_{UDP}$  = panjang header UDP (8byte)



- $W_{frame}$  = panjang *frame* Ethernet (byte)  
 $W_{datagram}$  = panjang datagram IP (byte)  
 $Header_{IP}$  = panjang *header* Ethernet (14byte)  
 $W_{segmen\ UDP}$  = panjang segmen UDP (byte/paket)  
 $Header_{IP}$  = panjang *header* IP (20 byte/paket)  
 $Header_{MAC}$  = panjang *header* pada MAC (6 byte)  
 $W_{frame\ total}$  = panjang *frame* (byte)  
 $C$  = kecepatan transmisi kanal (bps)
- *Delay* propagasi

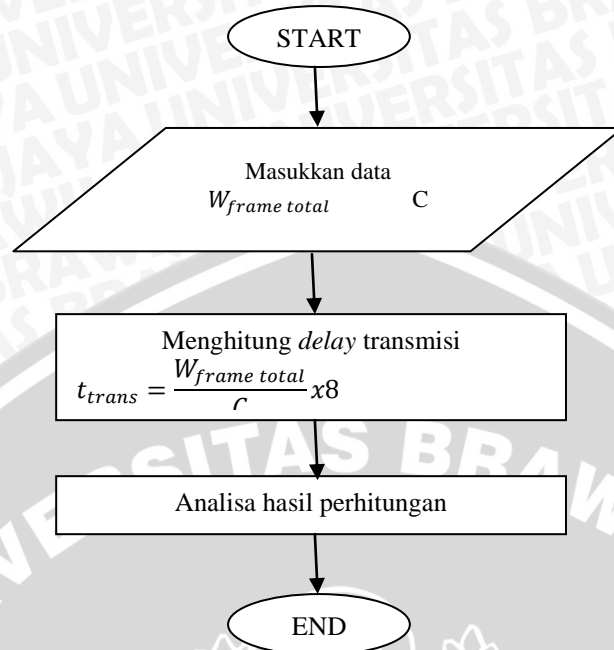


Gambar 3.5 Diagram alir perhitungan *delay* propagasi

$d_{max}$  = jarak jangkauan base station dan subscriber station (m)

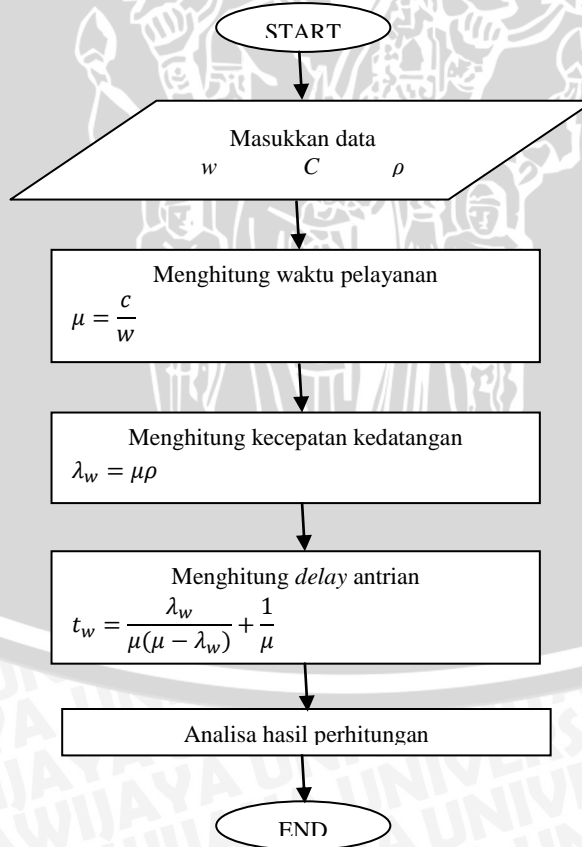
$v$  = kecepatan sinyal pada media wireless (m/s)

- Delay transmisi



Gambar 3.6 Diagram alir perhitungan delay transmisi

- Delay antrian



Gambar 3.7 Diagram alir perhitungan delay antrian

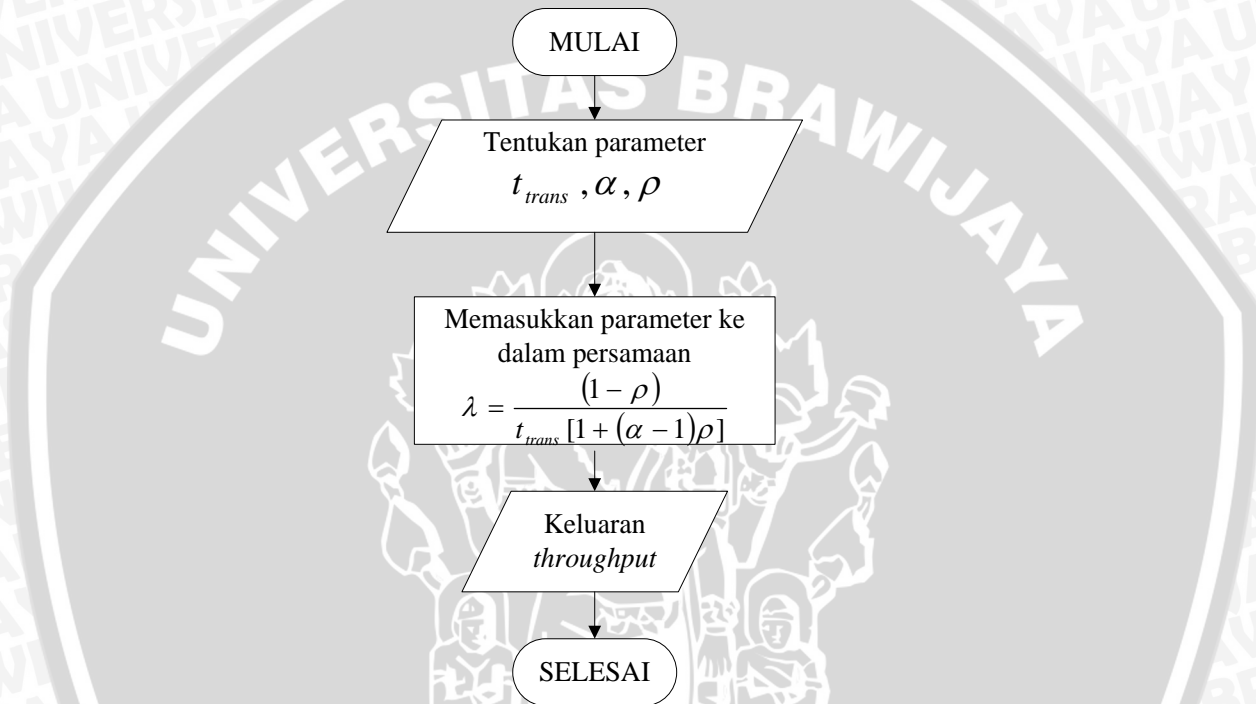
$t_w$  = delay antrian (ms)

- $\lambda_w$  = kecepatan kedatangan (paket/s)
- $\mu$  = waktu pelayanan (paket/s)
- C = kecepatan transmisi kanal (bps)
- $\rho$  = faktor utilitasi sistem nirkabel

**3.3.2 Perhitungan Throughput**

**3.3.3 Perhitungan Throughput**

Untuk menghitung *throughput* sistem, dapat dilakukan dengan cara:



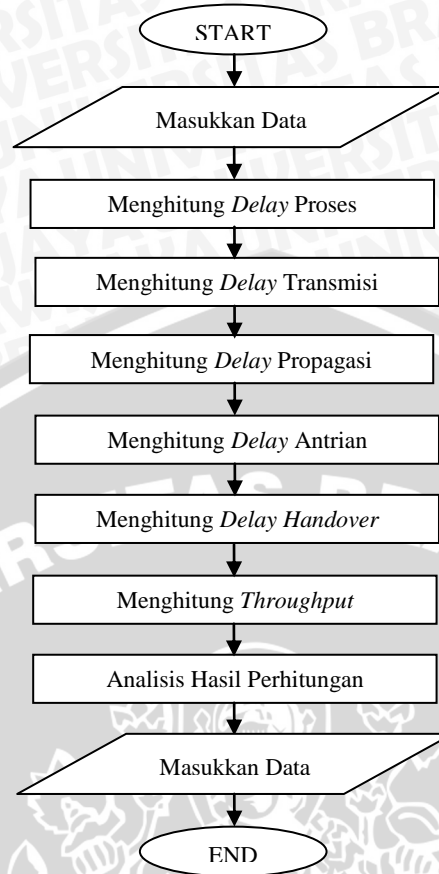
Gambar 3.8 Diagram alir perhitungan throughput

dengan :

- $\lambda$  = *throughput* (paket/s)
- $\rho$  = probabilitas paket loss yang diterima
- $\alpha$  = konstanta propagasi

**3.3.4 Perhitungan dan Analisa Data**

Pembahasan dan hasil pada skripsi ini merupakan metode analisis data dari proses perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Cara analisis data yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3.9 Diagram alir analisis data  
(Sumber : Perancangan, 2013)

1. Analisis secara matematis yaitu mengumpulkan nilai dari parameter data-data sekunder dengan kesesuaian terhadap standar yang digunakan untuk kemudian dianalisis berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan menggunakan software matlab 7. Analisis perhitungan yang dilakukan meliputi: *throughput* dan *delay end to end*.
2. Analisis grafis yaitu melakukan simulasi hasil perhitungan ke dalam bentuk grafis sehingga diketahui karakteristik sistem yang diterapkan.

### 3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan. Tahap selanjutnya dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini ataupun sebagai bahan pendukung dari penelitian-penelitian selanjutnya.

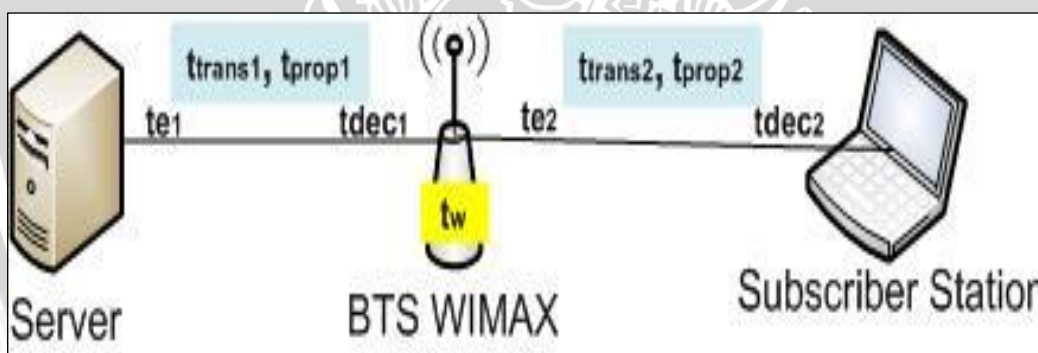
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Umum

Pembahasan dan analisis yang dilakukan pada bab ini adalah tentang pengaruh *handover* pada jaringan *mobile* WIMAX untuk layanan *live streaming*. Beberapa tahap pembahasan dan analisis yang dilakukan:

1. Analisis kinerja terhadap jaringan *Mobile* WIMAX yang digunakan, yaitu dengan menghitung nilai masing-masing *delay* (*delay* proses, *delay* transmisi, *delay* propagasi, *delay* antrian) selama perjalanan paket multimedia *live streaming*. Analisis yang akan diperhitungkan pada jaringan *Mobile* WIMAX meliputi analisis *delay* dan *throughput*.
2. Analisis *delay handover* yang terjadi selama proses *handover* dan pengaruhnya terhadap *throughput*.

Analisis *delay* dalam jaringan dihitung mulai dari *Server* sampai dengan *UE* dapat diilustrasikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Analisis *Delay End to End* pada jaringan WIMAX

### 4.2 Perhitungan daya diterima

Daya *noise* pada saluran transmisi dengan *bandwidth* sistem 10 Mhz sesuai dengan adalah sebagai berikut

$$N_o = 10 \log kT + 10 \log B + NF$$

$$N_o = 10 \log \left( 1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K} \right) (300^\circ K) + 10 \log (10 \times 10^6) + 4$$

$$N_o = 10 \log (414 \times 10^{-23}) + 10 \log (10 \times 10^6) + 54$$

$$N_o = -203,93 + 70 + 4$$

$$N_o = -129,83 \text{ dB}$$

$$N_o = -99,83 \text{ dBm}$$

Dan daya terima yang didapat oleh penerima sesuai dengan persamaan 2.10 dengan frekuensi sistem yang digunakan adalah 2,5 GHz adalah :

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

$$P_r \text{ (dBm)} = 43 - FSL - 0 - 3 + 18 + 0$$

dengan *Free Space Loss* yang menggunakan panjang jarak antara BS ke *user* sebesar 1000 m adalah:

$$FSL = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda}$$

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

$$FSL = 20 \log \frac{4 \times 3,14 \times 1000}{\frac{3 \times 10^8}{2,5 \times 10^9}}$$

$$FSL = 20 \log \frac{12560}{1,2 \times 10^{-1}}$$

$$FSL = 100,3962 \text{ dB}$$

$$FSL = 130,3962 \text{ dBm}$$

sehingga,

$$P_r \text{ (dBm)} = 43 - 130,3962 - 0 - 3 + 18 + 0$$

$$P_r \text{ (dBm)} = -72,3962$$

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Daya Terima

Jarak BS ke <i>User</i> (m)	Pr (dBm)
1000	-72,3962
2000	-79,4168
3000	-82,9386
4000	-85,4374
5000	-87,3756

### 4.3 Perhitungan SNR (Signal to Noise Ratio)

Tabel 4.2 Receiver SNR Standar IEEE 802.16e

Tipe Modulasi	Receiver SNR (dB)
QPSK $\frac{1}{2}$	9,4
QPSK $\frac{3}{4}$	11,2
16QAM $\frac{1}{2}$	16,4
16QAM $\frac{3}{4}$	18,2
64QAM $\frac{2}{3}$	22,7
64QAM $\frac{3}{4}$	24,4

(Sumber: Standar IEEE 802.16e)

SNR pada jaringan *mobile* WIMAX untuk panjang jarak dari BS ke *user* 1000 adalah

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

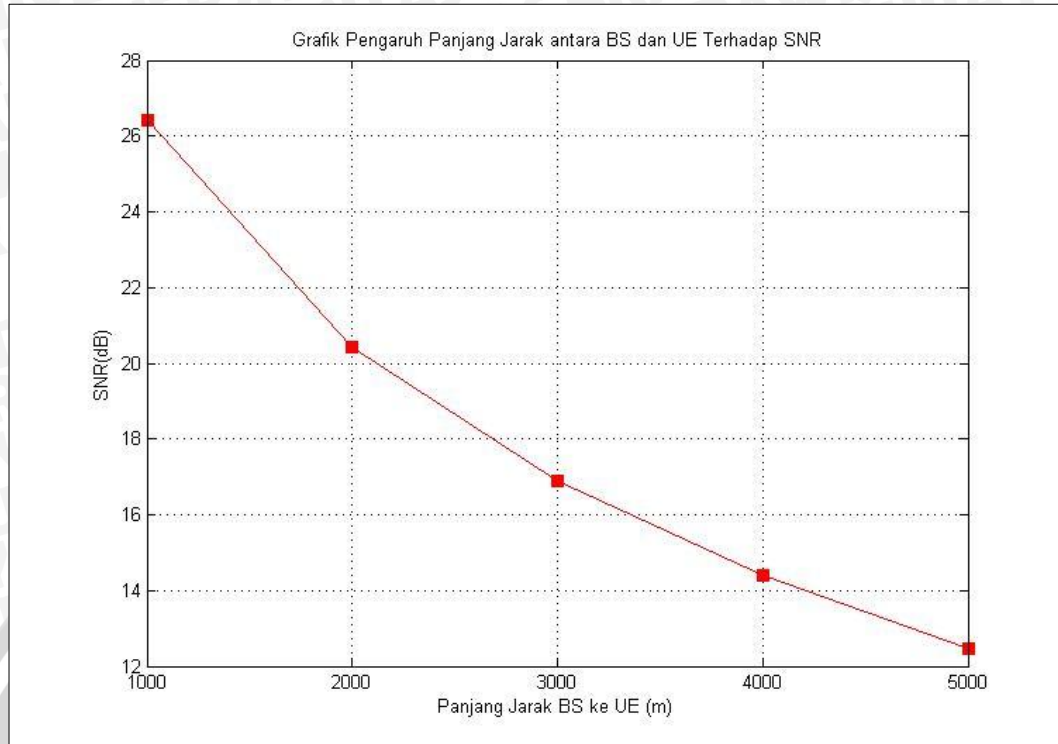
$$SNR = 10 \text{ Log } \frac{4,57 \times 10^{-11}}{1,04 \times 10^{-13}}$$

$$SNR = 26,4338$$

Maka dibawah ini adalah tabel hasil perhitungan SNR dengan panjang jarak antara BS ke *user* yang berbeda.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan SNR

Jarak BS ke User (m)	SNR (dB)	Modulasi yang digunakan
1000	26,4338	64 QAM $\frac{3}{4}$
2000	20,4132	16 QAM $\frac{3}{4}$
3000	16,8914	16QAM $\frac{1}{2}$
4000	14,3926	QPSK $\frac{3}{4}$
5000	12,4544	QPSK $\frac{3}{4}$



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap SNR

#### 4.4 Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal dipengaruhi oleh besar SNR pada jaringan dan *bandwidth* yang digunakan. Maka besar kapasitas kanal dengan *bandwidth* 10 MHz, frekuensi 2,5 GHz , panjang jarak BS ke *user* 1000 m adalah :

$$C = B \log_2(1 + SNR)$$

$$C = (10 \times 10^6) \log_2(1 + 10^{26,4338/10})$$

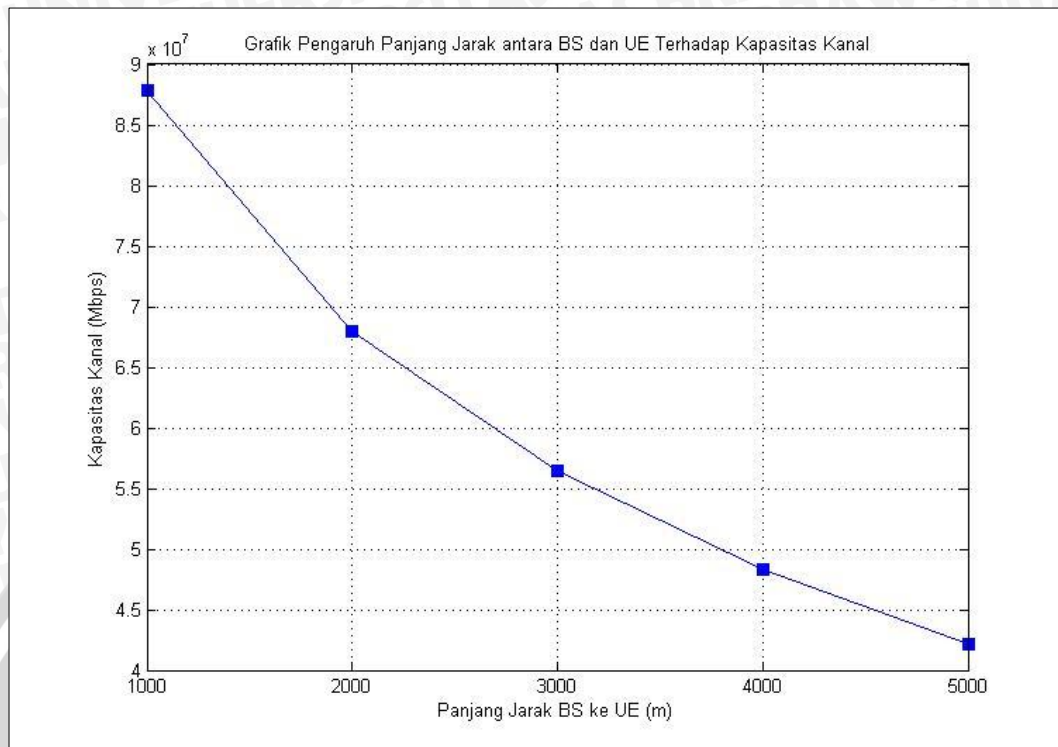
$$C = 2,87 \times 10^8 \text{ Mbps}$$

Maka besar kapasitas kanal pada jaringan *mobile* WIMAX dengan frekuensi dan panjang jarak BS ke *user* yang berbeda, *bandwidth* 10 MHz adalah

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal

Jarak BS ke User (m)	C (bps)
1000	$8,78 \times 10^7$
2000	$6,79 \times 10^7$
3000	$5,64 \times 10^7$
4000	$4,83 \times 10^7$
5000	$4,22 \times 10^7$





Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap Kapasitas Kanal

#### 4.5 Perhitungan dan Analisis *Bit Error Rate (BER)* pada Jaringan *mobile WIMAX*

Nilai dari probabilitas bit salah atau BER ini dapat diperoleh dari perhitungan yang dilakukan berdasarkan modulasi sinyal yang digunakan. Untuk dapat menghitung probabilitas bit salah, terlebih dahulu harus menghitung *bit rate* dan *Eb/No*. Perhitungan *bit rate* dengan *bandwidth* sistem 10 MHz adalah :

- Modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ 

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

$$R = 20 \times 10^6 \times \log_2 64$$

$$R = 120 \times 10^6 \text{bps} = 120 \text{Mbps}$$
- Modulasi 16 QAM  $\frac{3}{4}$  dan 16 QAM  $\frac{1}{2}$ 

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

$$R = 20 \times 10^6 \times \log_2 16$$

$$R = 80 \times 10^6 \text{bps} = 80 \text{Mbps}$$
- Modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$ 

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

$$R = 20 \times 10^6 \times \log_2 4$$

$$R = 40 \times 10^6 \text{ bps} = 40 \text{ Mbps}$$

Dan  $E_b/N_0$  dengan panjang jarak BS ke *user* 1000 m dan *bandwidth* 10 MHz didapat dengan persamaan :

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR - 10 \log \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 26,4338 - 10 \log \frac{10 \times 10^6}{120 \times 10^6}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 67,2256 \text{ dB}$$

maka besar  $E_b/N_0$  pada jaringan *mobile* WIMAX untuk modulasi lainnya dengan frekuensi dan panjang jarak BS ke *user* yang berbeda, *bandwidth* 10 MHz adalah

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan  $E_b/N_0$

Jarak BS ke <i>User</i> (m)	Modulasi yang digunakan	$E_b/N_0$ (dB)
1000	64 QAM $\frac{3}{4}$	37,2256
2000	16 QAM $\frac{3}{4}$	29,4441
3000	16 QAM $\frac{1}{2}$	25,9223
4000	QPSK $\frac{3}{4}$	20,4132
5000	QPSK $\frac{3}{4}$	18,4750

Probabilitas bit salah pada modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan jarak BS dengan *user* 1000 m adalah :

$$P_{b,M-QAM} = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{2(M-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

$$P_{64QAM \frac{3}{4}} = \frac{2(\sqrt{64} - 1)}{\sqrt{64} \log_2(64)} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(64)}{2(64-1)} \times 37,2256} \right)$$

$$P_{64QAM \frac{3}{4}} = \frac{14}{48} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{18}{126} \times 37,2256} \right)$$

$$P_{64QAM \frac{3}{4}} = 3,23 \times 10^{-4}$$

Probabilitas bit salah pada modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan jarak BS dengan *user* 2000 m adalah :

$$P_{b,M-QAM} = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2(M)} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(M)}{2(M-1)} \times \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

$$P_{16QAM \frac{3}{4}} = \frac{2(\sqrt{16} - 1)}{\sqrt{16} \log_2(16)} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{3 \log_2(16)}{2(16-1)} \times 29,4441} \right)$$

$$P_{16QAM \frac{3}{4}} = \frac{14}{48} \times \text{erfc} \times \left( \sqrt{\frac{18}{126} \times 29,4441} \right)$$

$$P_{16QAM \frac{3}{4}} = 4,55 \times 10^{-7}$$

Probabilitas bit salah pada modulasi 16 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan jarak BS dengan *user* 4000 m adalah :

$$P_b = P_s = Q \left( \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

$$= \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}$$

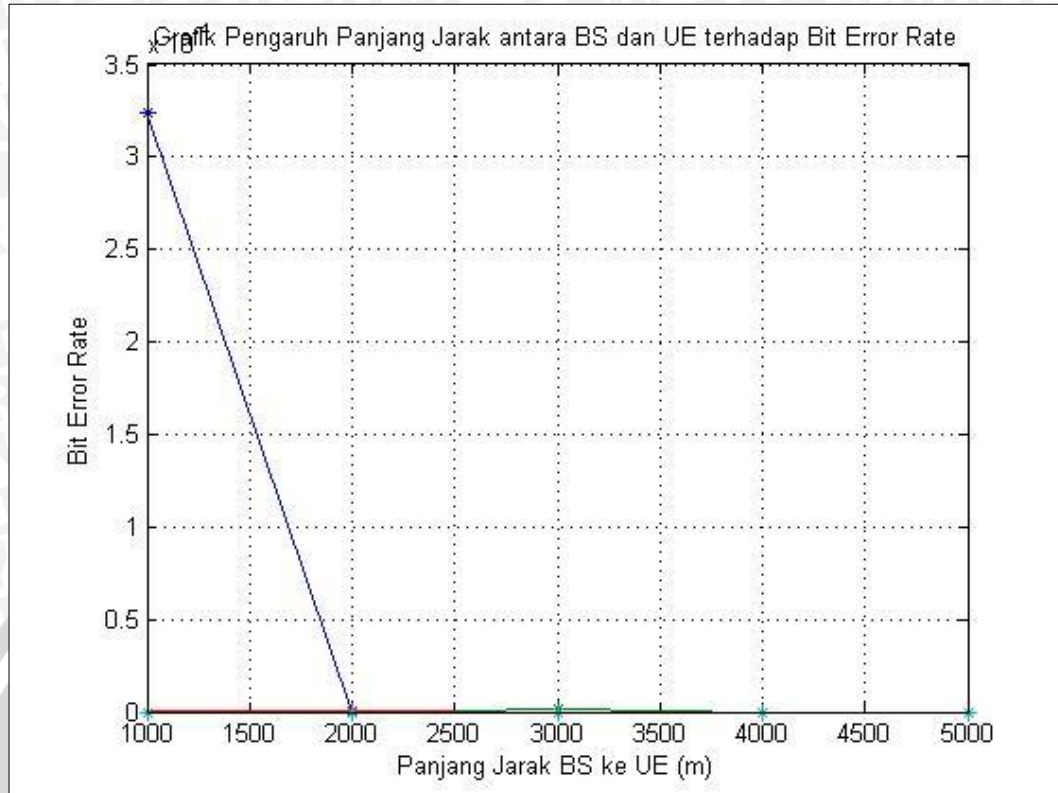
$$= \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{20,4132}$$

$$\text{Sehingga nilai } P_b \text{ QPSK } \frac{3}{4} = 4,60 \times 10^{-50}$$

Maka probabilitas bit salah pada modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan frekuensi dan panjang jarak BS ke *user* yang berbeda adalah

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan BER

Jarak BS ke <i>User</i> (m)	$E_b/N_0$ (dB)	BER
1000	37,2256	$3,23 \times 10^{-4}$
2000	29,4441	$4,55 \times 10^{-7}$
3000	25,9223	$1,97 \times 10^{-6}$
4000	20,4132	$4,60 \times 10^{-50}$
5000	18,4750	$8,99 \times 10^{-33}$



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap BER

#### 4.6 Paket Data Aplikasi *Live Streaming*

Aplikasi *live streaming* menggunakan jenis *CODEC* H.264 untuk video dengan *bit rate CODEC* antara 64 – 384 kbps dan AMR-WB+ untuk audio dengan *bit rate CODEC* antara 5,2 – 48 kbps dengan *frame rate* 33 ms. Maka besar payload aplikasi *live streaming* dapat diperoleh sebagai berikut:

- Paket video

Besarnya paket video pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{video} = \frac{384 \times 10^3 \times 30 \times 60}{8} = 86400000 \text{ byte}$$

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami kompresi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan (2-2):

$$filesize_{compressedvideo} = filesize_{video} \times \text{rasio kompresi}$$

$$filesize_{compressedvideo} = 86400000 \times \frac{1}{80} = 1440000 \text{ byte}$$

## c. Paket audio

Besarnya paket audio pada *live streaming* dapat dihitung dengan persamaan:

$$filesize_{audio} = \frac{48 \times 10^3 \times 30 \times 60}{8} = 10800000 \text{ byte}$$

Pada saat melewati *codec* maka video tersebut akan mengalami kompresi data sesuai dengan rasio kompresinya yaitu dapat dihitung dengan persamaan (2-5):

$$filesize_{compressedaudio} = filesize_{audio} \times \text{rasio kompresi}$$

$$filesize_{compressedaudio} = 10800000 \times \frac{1}{60} = 135000 \text{ byte}$$

$$filesize_{livestreaming} = 1440000 + 135000 = 1575000 \text{ byte}$$

Pada skripsi ini, standard protokol yang digunakan adalah Ethernet dengan MTU (*Maximum Transfer Unit Ethernet*) sebesar 1500 byte (RFC 895). Oleh karena itu, besar tiap paket data *live streaming* tidak boleh melebihi MTU sebesar 1500 byte.

Apabila panjang paket data *live streaming* melebihi *Maximum Transfer Unit* (MTU) *Ethernet* sebesar 1500 byte (RFC 895), maka paket data *live streaming* akan mengalami fragmentasi menjadi beberapa buah frame baru. Jika paket data *live streaming* tidak melebihi MTU *Ethernet*, maka paket data *live streaming* tidak akan mengalami fragmentasi. Sesuai dengan persamaan (2-6) :

$$N_{frame} = \frac{1575000}{1500} = 1050$$

Besarnya data *live streaming* setelah mengalami penambahan *header* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$W_{frametotal} = W_{data} + (N_{frame} \times \text{header})$$

$$W_{frametotal} = 1575000 + (1050 \times 64 \text{ byte}) = 1642200 \text{ byte}$$

$$N_{paket} = \frac{1642200}{1500} = 1095$$

$$1 \text{ paket} = 1436 \text{ payload live streaming} + 64 \text{ header} = 1500 \text{ byte}$$

- Analisis Delay CODEC

*Delay CODEC* pada audio AMR-WB+ sebesar 20 ms dan *delay CODEC* pada video H.246 sebesar 150 ms, sehingga *delay CODEC* dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$t_{\text{codec}} = 2(t_a + t_v) \\ = 2(20 \text{ ms} + 150 \text{ ms}) = 0,34 \text{ s}$$

- Analisis *Delay* MAN

Maka besar *delay* enkapsulasi dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps dan untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$   $c_{WiMAX}$   $8,78 \times 10^7$  bps adalah:

$$t_{\text{enc1}} = \frac{W_{\text{frame total}} - W_{\text{data}}}{c_{\text{Ethernet}}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 \\ = 5,12 \times 10^{-7} \text{ s}$$

$$t_{\text{enc2}} = \frac{W_{\text{frame total}} - W_{\text{data}}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{8,78 \times 10^7} \times 8 \\ = 5,82 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Besar *delay* dekapsulasi dengan kecepatan *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan  $c_{WiMAX}$   $8,78 \times 10^7$  bps adalah:

$$t_{\text{dec1}} = \frac{W_{\text{frame total}} - W_{\text{data}}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{8,78 \times 10^7} \times 8 \\ = 5,82 \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$t_{\text{dec2}} = \frac{W_{\text{frame total}} - W_{\text{data}}}{c_{\text{Ethernet}}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 \\ = 5,12 \times 10^{-7} \text{ s}$$

Sehingga didapatkan *delay* proses:

$$t_{\text{proc}} = t_{\text{enc1}} + t_{\text{enc2}} + t_{\text{dec1}} + t_{\text{dec2}} \\ = 5,12 \times 10^{-7} \text{ s} + 5,82 \times 10^{-6} \text{ s} + 5,82 \times 10^{-6} \text{ s} + 5,12 \times 10^{-7} \text{ s} \\ = 1,26 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Tabel 4.7 Hasil Pehitungan *Delay* Proses

Jarak BS ke User (m)	$c_{WiMAX}$ (Mbps)	<i>Delay</i> proses (s)
1000	$8,78 \times 10^7$	$1,26 \times 10^{-5}$
2000	$6,79 \times 10^7$	$1,61 \times 10^{-5}$
3000	$5,64 \times 10^7$	$1,91 \times 10^{-5}$
4000	$4,83 \times 10^7$	$2,22 \times 10^{-5}$
5000	$4,22 \times 10^7$	$2,53 \times 10^{-5}$

### 1) Delay Propagasi

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 6000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju *base station* dapat dihitung dengan persamaan (2-19):

$$t_{prop1} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{6000}{10^9} = 6 \times 10^{-6} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 1000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari *base station* menuju *subscriber station* adalah:

$$t_{prop2} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{1000}{3 \times 10^8} = 3,33 \times 10^{-6} s$$

Maka *delay* propagasi total untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  adalah

$$t_{prop total} = t_{prop1} + t_{prop2} = 6 \times 10^{-6} s + 3,33 \times 10^{-6} s = 9,33 \times 10^{-6} s$$

Besarnya *delay* propagasi dengan jarak yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan *Delay* Propagasi

Jarak BS ke User (m)	Delay Propagasi (s)
1000	$9,33 \times 10^{-6}$
2000	$1,26 \times 10^{-5}$
3000	$1,6 \times 10^{-5}$
4000	$1,93 \times 10^{-5}$
5000	$2,26 \times 10^{-5}$

### 2) Delay Transmisi

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju *base station* dapat dihitung dengan persamaan (2-20):

$$t_{trans1} = \frac{w_{frame total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium udara dari *base station* menuju *subscriber station* adalah:

$$t_{trans2} = \frac{w_{frame\ total}}{C_{WIMAX}} \times 8 = \frac{1500\ \text{byte}}{8,78 \times 10^7\ \text{bps}} \times 8 = 1,36 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

Maka *delay* transmisi total untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  adalah

$$\begin{aligned} t_{trans\ total} &= t_{trans1} + t_{trans2} = 1,2 \times 10^{-5}\ \text{s} + 1,36 \times 10^{-4}\ \text{s} \\ &= 1,48 \times 10^{-4}\ \text{s} \end{aligned}$$

Besarnya *delay* transmisi dengan jarak yang berbeda ditunjukkan pada

Tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan *Delay* Transmisi

Jarak BS ke User (m)	<i>Delay</i> transmisi (s)
1000	$1,48 \times 10^{-4}$
2000	$1,88 \times 10^{-4}$
3000	$2,24 \times 10^{-4}$
4000	$2,6 \times 10^{-4}$
5000	$2,96 \times 10^{-4}$

### 3) *Delay* Antrian

*Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  dengan kapasitas kanal 42,2 Mbps untuk nilai waktu pelayanan dapat dihitung dengan persamaan (2-21) – (2-23):

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{8,78 \times 10^7}{1500 \times 8} = 7316,67\ \text{paket/s}$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\lambda_w = \mu\rho = 7316,67 \times 0,1 = 731,67$$

Sehingga besarnya *delay* antrian adalah

$$\begin{aligned} t_w &= \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{731,67}{7316,67(7316,67 - 731,67)} + \frac{1}{7316,67} \\ &= 0,0002\ \text{s} \end{aligned}$$



Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *Delay* Antrian

Jarak BS ke User (m)	<i>Delay</i> Antrian (s)								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1000	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0005	0.0007	0.0014
2000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0006	0.0009	0.0018
3000	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0007	0.0011	0.0021
4000	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006	0.0008	0.0012	0.0025
5000	0.0003	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0009	0.0014	0.0028

*Delay* MAN yang merupakan penjumlahan dari *delay* proses, *delay* propagasi, *delay* transmisi dan *delay* antrian. *Delay* MAN terjadi diantara server-BS dan BS-SS. Maka, *delay* MAN untuk modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  adalah

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w$$

$$= 1,26 \times 10^{-5} s + 9,33 \times 10^{-6} s + 1,48 \times 10^{-4} s + 0,0002 s = s$$

Dengan menggunakan cara yang sama, perhitungan *delay* MAN untuk jarak yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.11 di bawah ini:

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Delay* MAN

Jarak BS ke User (m)	<i>Delay</i> MAN (s)								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1000	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006	0.0009	0.0015
2000	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0006	0.0006	0.0008	0.0011	0.0020
3000	0.0005	0.0005	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007	0.0010	0.0013	0.0024
4000	0.0006	0.0006	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0011	0.0015	0.0028
5000	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009	0.0011	0.0013	0.0018	0.0032

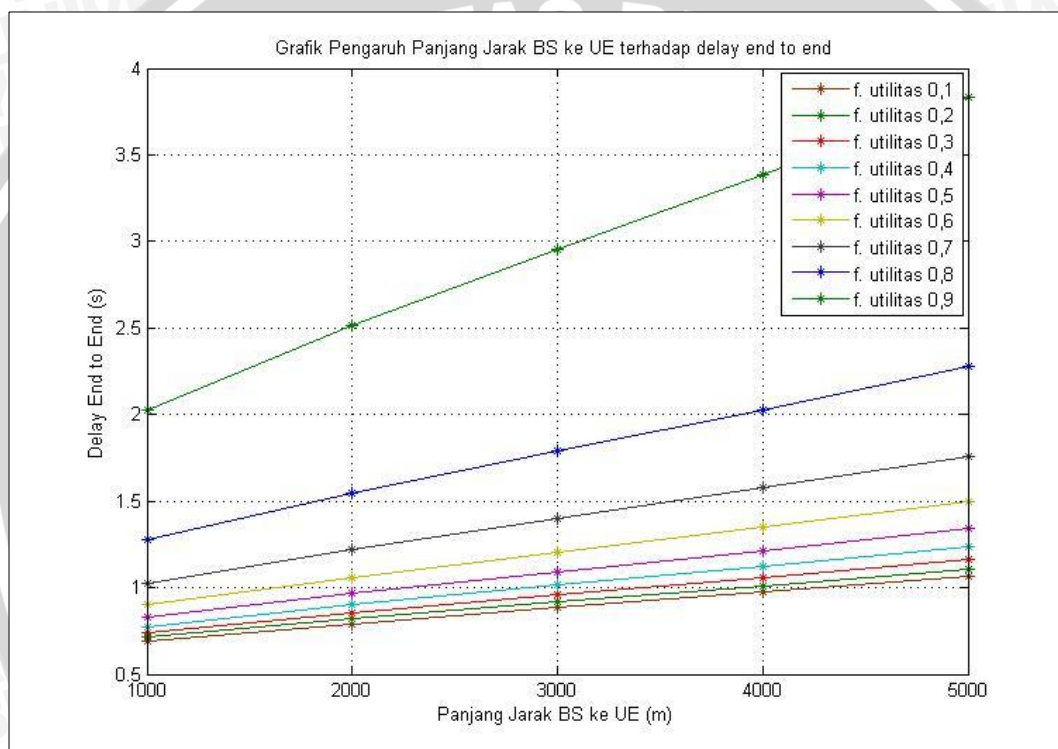
- *Delay end to end*

*Delay end to end* untuk tipe modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  adalah:

$$t_{end\ to\ end} = t_{CODEC} + t_{MAN} = 0,34 s + 0.0003 s = 0,3403 s$$

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan *Delay End to end*

Jarak BS ke User (m)	<i>Delay End to End</i> (s)								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1000	0,6930	0,7138	0,7405	0,7761	0,8260	0,9008	1,0254	1,2747	2,0227
2000	0,7929	0,8198	0,8543	0,9004	0,9648	1,0615	1,2227	1,5450	2,5120
3000	0,8835	0,9158	0,9574	1,0129	1,0905	1,2070	1,4012	1,7894	2,9542
4000	0,9726	1,0104	1,0590	1,1237	1,2143	1,3503	1,5769	2,0300	3,3895
5000	1,0635	1,1068	1,1624	1,2366	1,3405	1,4963	1,7559	2,2752	3,8332

Gambar 4.5 Grafik pengaruh faktor utilitas terhadap *delay end to end*

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dianalisis bahwa :

1. *Delay end to end* dipengaruhi oleh *delay CODEC* dan *delay jaringan*
2. *Delay jaringan* dalam perhitungan di atas meliputi *delay proses* yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan pada pengirim dan penerima, *delay transmisi* yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan di setiap node, *delay propagasi* yang dipengaruhi jarak antar node dan media propagasi yang digunakan, serta *delay antrian* yang dipengaruhi oleh faktor utilitas pada jaringan.

3. *Delay end to end* juga dipengaruhi jarak antara *base station* dan *user*. *Delay end to end* terbesar yaitu pada saat jarak BS ke *user* 5000 m sebesar 1,0635 s, dan *delay end to end* terkecil yaitu pada saat jarak BS ke *user* 1000 m sebesar 0,6930 s dengan faktor utilitas 0,1.
4. *Delay end to end* juga dipengaruhi oleh faktor utilitas, semakin besar faktor utilitas yang digunakan, maka *delay* antrian akan semakin besar, sehingga *end-to-end* jaringan juga akan semakin besar. Pada saat jarak BS ke *user* 1000 *delay end-to-end* terkecil terdapat pada faktor utilitas 0,1 yaitu sebesar 2,0227 s dan *delay end-to-end* terkecil terdapat pada faktor utilitas 0,9 yaitu sebesar 0,6930 s.

#### 4.7 Throughput

*Throughput* adalah jumlah data yang diterima benar disisi penerima. Besarnya *throughput* salah satunya dipengaruhi oleh parameter probabilitas packet loss, perhitungan packet loss ditentukan berdasarkan probabilitas packet loss *live streaming* dan jaringan.

##### 1) Probabilitas Packet loss *live streaming*

Probabilitas paket loss pada *live streaming* dapat dihitung sesuai persamaan :

$$\rho_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b$$

Probabilitas *packet loss* dengan besar paket yang terdiri atas *header* sebesar 64 byte serta besar *payload live streaming* sebesar 1500 byte. Maka, panjang paket data *live streaming* adalah ;

$$\begin{aligned} P_{\text{va-live streaming}} &= \text{header} + \text{payload live streaming} \\ &= 512 + 11488 \\ &= 12000 \text{ bit} = 1500 \text{ byte} \end{aligned}$$

maka, probabilitas *paket loss* pada *live streaming* dengan probabilitas bit salah pada *server* sebesar  $10^{-8}$  adalah

$$\rho_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b$$

$$\rho_{\text{live streaming}} = 1500 \times 10^{-8}$$

$$\rho_{\text{live streaming}} = 1,5 \times 10^{-5}$$

## 2) Probabilitas packet loss jaringan

Perhitungan packet loss jaringan WIMAX untuk tipe modulasi 64 QAM

$\frac{3}{4}$  sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_{64 \text{ QAM } \frac{3}{4}} = P_{64 \text{ QAM } \frac{3}{4}} = 3,23 \times 10^{-4}$$

Maka probabilitas packet loss total untuk modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  adalah

$$\begin{aligned} \rho_{total} &= 1 - [(1 - \rho_{live \ streaming})(1 - \rho_{64 \text{ QAM } \frac{3}{4}})] \\ &= 1 - [(1 - 1,5 \times 10^{-5})(1 - 3,23 \times 10^{-4})] = 3,38 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Probabilitas *Packet Loss*

Jarak BS ke User (m)	BER	$\rho_{total}$
1000	$3,23 \times 10^{-4}$	$3,38 \times 10^{-4}$
2000	$4,55 \times 10^{-7}$	$1,54 \times 10^{-5}$
3000	$1,97 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-5}$
4000	$4,60 \times 10^{-50}$	$1,5 \times 10^{-5}$
5000	$8,99 \times 10^{-33}$	$1,5 \times 10^{-5}$

Dari nilai probabilitas packet loss diatas, maka nilai *throughput* dapat diketahui. Nilai konstanta propagasi menggunakan modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  adalah:

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop} + 2t_{trans}}{t_{trans}}\right) = \left(1 + \frac{2 \times 9,33 \times 10^{-6} \text{s} + 1,48 \times 10^{-4} \text{s}}{1,48 \times 10^{-4} \text{s}}\right) = 3,12$$

Sehingga nilai *throughput* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.36:

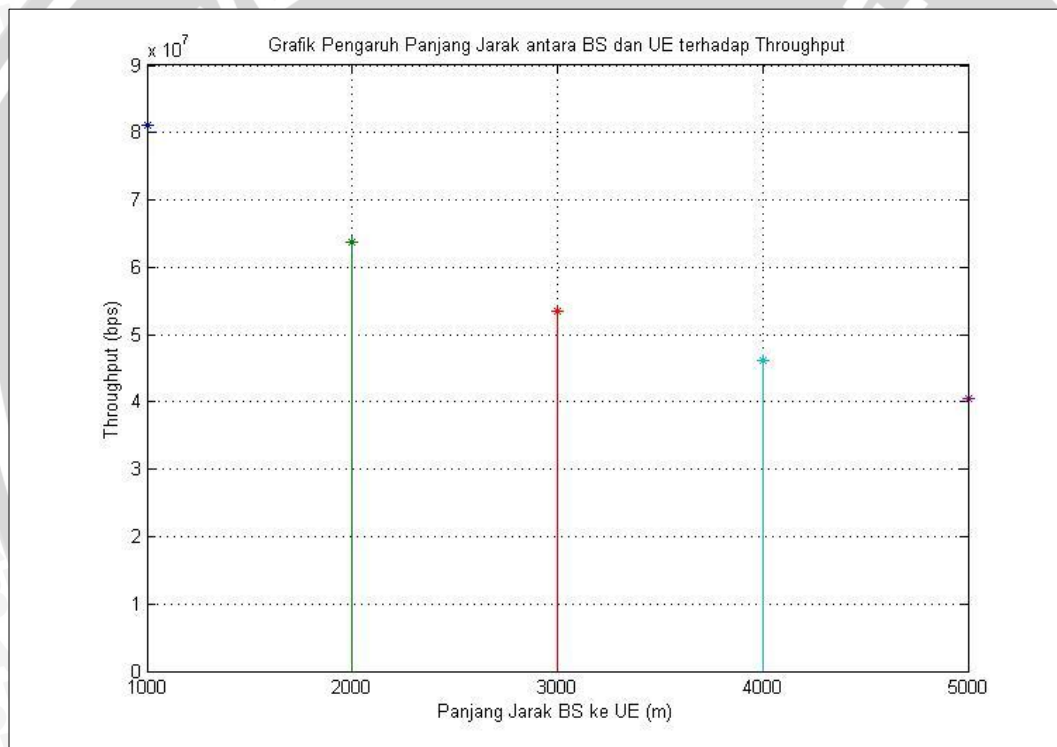
$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{(1 - \rho)}{t_{trans}[1 + (\alpha - 1)\rho]} \\ &= \frac{(1 - 3,38 \times 10^{-4})}{1,48 \times 10^{-4} \text{s}[1 + (3,12 - 1) 3,38 \times 10^{-4}]} \\ &= 81 \times 10^6 \text{bps} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, akan didapatkan besar nilai *throughput* untuk tiap modulasi yang berbeda yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Throughput

Type Modulasi	Throughput (bps)
1000	$81 \times 10^6$
2000	$63,82 \times 10^6$
3000	$53,56 \times 10^6$
4000	$46,15 \times 10^6$
5000	$40,53 \times 10^6$

Berdasarkan tabel 4.14, maka didapatkan grafik perbandingan nilai *throughput* pada jaringan *mobile WIMAX* dengan faktor utilitas 0,1 sampai 0,9, yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan *user* terhadap Throughput

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dianalisis bahwa :

- Throughput* dipengaruhi oleh *delay* propagasi dan *delay* transmisi yang terjadi pada jaringan *mobile WIMAX*.
- Semakin besar *delay* propagasi dan *delay* transmisi, maka nilai *throughput* nya juga semakin kecil.
- Selain itu, *throughput* juga dipengaruhi oleh probabilitas *paket loss*. Semakin besar probabilitas paket paket data yang hilang, maka

*throughput* nya juga semakin turun. Karena *throughput* mempresentasikan banyaknya paket atau bit yang datang dengan benar pada *user* per detik.

- d. Nilai *throughput* juga dipengaruhi oleh jarak BS ke *user*. Nilai *throughput* paling kecil yaitu saat jarak BS ke *user* 5000 m adalah sebesar 40,53 Mbps dan nilai *throughput* terbesar saat jarak BS ke *user* 1000 m yaitu sebesar 81 Mbps.

#### 4.8 Analisis Delay Handover dan Pengaruhnya

Pada analisis skripsi ini akan dibahas mengenai *delay handover*, serta pengaruhnya pada *throughput* jaringan *Mobile WIMAX*.

##### 4.8.1 Delay Handover

Data audio dan video yang terdapat pada *layer* aplikasi akan menuju *layer transport* akan mengalami perubahan format data yaitu terjadi penambahan *header* RTP dan UDP sehingga data berubah menjadi segmen, besarnya data yang ditambahkan *header* RTP dapat dihitung dengan persamaan (2-11) :

$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP} = 1436 \text{ byte} + 12 \text{ byte} = 2514 \text{ byte}$$

Pada *layer transport* ditambahkan *header* UDP, tetapi karena panjang segmen data melebihi *Maximal Segmen Size* (MSS) sebesar 1460 *byte*, maka dilakukan proses fragmentasi, jumlah segmen hasil fragmentasi pada UDP adalah

$$N_{segmen} = \frac{W_{message}}{MSS} = \frac{1436 \text{ byte}}{1460 \text{ byte}} = 1,7137 \text{ segmen}$$

Dari hasil perhitungan jumlah segmen UDP, terdapat 1 buah segmen yang berisi data 1460 *byte* dan 1 segmen berisi data sebesar 1042, sehingga total segmen yang dikirimkan adalah 2 segmen UDP. Setelah segmen difragmentasi, proses berikutnya adalah proses enkapsulasi sesuai dengan persamaan (2-12) :

$$\begin{aligned} W_{segmen} &= W_{message} + (N_{segmen} \times Header_{UDP}) = 1436 \text{ byte} + (2 \times 8 \text{ byte}) \\ &= 2518 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dari *layer transport*, segmen kemudian diteruskan menuju *layer internet*, terjadi proses penambahan *header* IP sehingga segmen UDP berubah menjadi datagram IP. Dengan persamaan (2-13) diperoleh:

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP} = 2518 \text{ byte} + 20 \text{ byte} = 2538 \text{ byte}$$

Datagram IP dienkapsulasi menjadi *frame Ethernet*, datagram IP dienkapsulasi dengan menambahkan *header ethernet* sebesar 18 byte pada *layer network* dengan menggunakan protokol *Ethernet*. Secara matematis,  $W_{frame\ ethernet}$  dicari dengan persamaan (2-14) :

$$\begin{aligned} W_{frame\ ethernet} &= W_{datagram} + Header_{Ethernet} = 2538\ byte + 18\ byte \\ &= 2556\ byte \end{aligned}$$

Dari *Ethernet*, *frame Ethernet* dikirimkan ke *layer MAC WIMAX* dan mengalami penambahan *header MAC* sebesar 6 byte. Maka  $W_{frame}$  total dapat dicari dengan persamaan(2-15):

$$\begin{aligned} W_{frame\ total} &= W_{frame\ ethernet} + Header_{MAC} = 2556\ byte + 6\ byte \\ &= 1500\ byte \end{aligned}$$

Maka besar *delay* enkapsulasi pada BS#1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan  $c_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium udara dari BS#1 menuju UE adalah:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WIMAX}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{42,2 \times 10^6\ bps} \times 8 = 2,84 \times 10^{-4} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 4500 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari BS#1 menuju UE adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{4500}{3 \times 10^8} = 1,5 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada UE untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan  $c_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada pada proses pentransmisi dari BS#1 ke UE dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net\ (BS\#1-UE)} &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} \\ &= 1,21 \times 10^{-5} s + 2,84 \times 10^{-4} s + 1,5 \times 10^{-5} s + 0,01756 \\ &= 2,23 \times 10^{-4} s \end{aligned}$$

Pada UE, paket data dikapsulasi sebagai berikut :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium udara dari UE menuju BS#1 adalah:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{42,2 \times 10^6\ bps} \times 8 = 2,84 \times 10^{-4} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 4500 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari UE menuju BS#1 adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{4500}{3 \times 10^8} = 1,5 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan  $C_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada proses pentransmisi dari UE menuju BS#1 dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net\ (UE-BS\#1)} &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} \\ &= 1,21 \times 10^{-5} s + 2,84 \times 10^{-4} s + 1,5 \times 10^{-5} s + 0,01756 \\ &= 2,23 \times 10^{-5} s \end{aligned}$$

Pada BS#1, paket data dikapsulasi sebagai berikut:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

*Delay* transmisi pada medium medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari BS#1 menuju *server* dapat dihitung dengan persamaan ((2-20):

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{10^9\ bps} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan asumsi jarak 6000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari BS#1 menuju *server* dapat dihitung dengan persamaan (2-19):

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{6000}{10^9} = 6 \times 10^{-6} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada *server* dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$



*Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan kapasitas kanal 16,39 Mbps untuk nilai waktu pelayanan dapat dihitung dengan:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{42,2 \times 10^6}{1500 \times 8} = 3516,7 \text{ paket/s}$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\lambda_w = \mu\rho = 3516,7 \times 0,1 = 351,67$$

Sehingga besarnya *delay* antrian adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{351,67}{3516,7(3516,7 - 351,67)} + \frac{1}{3516,7} = 0,0003 \text{ ms}$$

Pada *server*, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

*Delay* transmisi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju BS#2 dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Dengan asumsi jarak 10800 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju BS#2 maka:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{10800}{10^9} = 1,08 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#2 dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada pada proses pentransmisi dari BS#1 ke BS#2 dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net} (BS\#1-BS\#2) &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} + t_w + t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} \\ &\quad + t_{dec} \\ &= 5,12 \times 10^{-5} + 1,2 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-6} + 5,12 \times 10^{-5} \\ &\quad + 0,0003 + 5,12 \times 10^{-5} + 1,08 \times 10^{-6} + 1,2 \times 10^{-5} \\ &\quad + 5,12 \times 10^{-5} = 0,0004 \end{aligned}$$

Pada BS#2, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^8} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Delay transmisi pada medium kabel *Gigabit Ethernet* dari BS#2 menuju server dapat dihitung dengan persamaan(2-20) :

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{10^9\ bps} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan asumsi jarak 10800 m, maka besar delay propagasi pada dari BS#2 menuju server dapat dihitung dengan persamaan(2-19):

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{10800}{10^9} = 10,8 \times 10^{-5} s$$

Besar delay dekapsulasi pada server dengan kecepatan layer ethernet adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

Delay antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan kapasitas kanal 42,2 Mbps untuk nilai waktu pelayanan adalah:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{42,2 \times 10^6}{1500 \times 8} = 1648,7\ paket/s$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{42,2 \times 10^6}{1500 \times 8} = 3516,7\ paket/s$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\lambda_w = \mu\rho = 3516,7 \times 0,1 = 351,67$$

Sehingga besarnya delay antrian adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{351,67}{3516,7(3516,7 - 351,67)} + \frac{1}{3516,7} = 0,0003\ s$$

Pada server, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

Delay transmisi pada medium *Gigabit Ethernet* dari server menuju BS#1 yaitu:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{10^9\ bps} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan asumsi jarak 10800 m, maka besar delay propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari server menuju BS#1 yaitu :

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{6000}{10^9} = 0,001\ ms$$

Besar *delay* dekapulasi pada BS#1 dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} ms$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada pada proses pentransmisi dari BS#2 ke BS#1 dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net\ (BS\#2-BS\#1)} &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} + t_w + t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} \\ &+ t_{dec} \\ &= 5,12 \times 10^{-5} + 1,2 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-6} + 5,12 \times 10^{-5} \\ &+ 0,0003 + 5,12 \times 10^{-5} + 1,08 \times 10^{-6} + 1,2 \times 10^{-5} \\ &+ 5,12 \times 10^{-5} = 0,0004\ s \end{aligned}$$

Pada BS#1, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

*Delay* transmisi dari BS#1 menuju *server* dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{10^9\ bps} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan asumsi jarak 6000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari BS#1 ke *server* adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{6000}{10^9} = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapulasi pada *server* dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

*Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan kapasitas kanal 42,2 Mbps untuk nilai waktu pelayanan dapat dihitung dengan:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{42,2 \times 10^6}{1500 \times 8} = 3516,7\ paket/s$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\lambda_w = \mu\rho = 3516,7 \times 0,1 = 351,67$$

Sehingga besarnya *delay* antrian adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{351,67}{3516,7(3516,7 - 351,67)} + \frac{1}{3516,7} = 0,0003 \text{ s}$$

Pada *server*, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

*Delay* transmisi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server*

menuju BS#3 yaitu:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Dengan asumsi jarak 15000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps menuju BS#3 adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{15000}{10^9} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#3 dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada proses pentransmisi dari BS#1 ke BS#3 dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net\ (BS\#1-BS\#3)} &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} + t_w + t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} \\ &\quad + t_{dec} \\ &= 5,12 \times 10^{-5} + 1,2 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-6} + 5,12 \times 10^{-5} \\ &\quad + 0,0003 + 5,12 \times 10^{-5} + 1,5 \times 10^{-6} + 1,2 \times 10^{-5} \\ &\quad + 5,12 \times 10^{-5} = 0,0004 \text{ s} \end{aligned}$$

Pada BS#3, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} \text{ s}$$

*Delay* transmisi dari BS#3 menuju *server* dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} \text{ ms}$$

Dengan asumsi jarak 15000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari BS#3 menuju *server* adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{15000}{10^9} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Besar *delay* dekapsulasi pada *server* dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

*Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan kapasitas kanal 42,2 Mbps untuk nilai waktu pelayanan dapat dihitung dengan:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{42,2 \times 10^6}{1500 \times 8} = 1648,7 \text{ paket/s}$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilitas 0,1 adalah:

$$\lambda_w = \mu\rho = 1648,7 \times 0,1 = 164,87$$

Sehingga besarnya *delay* antrian adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{164,87}{1648,7(1648,7 - 164,87)} + \frac{1}{1648,7} = 0,7 \text{ ms}$$

Pada *server*, paket data dienkapsulasi sebagai berikut

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

*Delay* transmisi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju BS#1 yaitu:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{ethernet}} \times 8 = \frac{1500 \text{ byte}}{10^9 \text{ bps}} \times 8 = 1,2 \times 10^{-5} s$$

Dengan asumsi jarak 6000 m, maka besar *delay* propagasi pada medium *Gigabit Ethernet* adalah 1 Gbps dari *server* menuju BS#1 dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{6000}{10^9} = 6 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#1 dengan kecepatan *layer ethernet* adalah 1 Gbps untuk adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{Ethernet}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{10^9} \times 8 = 5,12 \times 10^{-5} s$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada pada proses pentransmisi dari BS#3 ke BS#1 dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{net} (BS\#3-BS\#1) &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} + t_w + t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} \\
 &\quad + t_{dec} \\
 &= 5,12 \times 10^{-5} + 1,2 \times 10^{-5} + 6 \times 10^{-6} + 5,12 \times 10^{-5} \\
 &\quad + 0,0003 + 5,12 \times 10^{-5} + 1,5 \times 10^{-6} + 1,2 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

Besar *delay* enkapsulasi pada UE untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan  $C_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium udara dari UE menuju BS#2 adalah:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{42,2 \times 10^6\ bps} \times 8 = 2,84 \times 10^{-4} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 4500 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari UE menuju BS#2 adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{4500}{3 \times 10^8} = 1,83 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#2 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan  $C_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada proses pentransmisi dari BS#1 ke UE dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t_{net} (UE-BS\#2) &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} \\
 &= 1,21 \times 10^{-5} s + 2,84 \times 10^{-4} s + 1,5 \times 10^{-5} s + 1,21 \times 10^{-5} \\
 &= 2,23 \times 10^{-4} s
 \end{aligned}$$

Besar *delay* enkapsulasi pada BS#2 adalah sebagai berikut :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , maka besar *delay* transmisi pada medium udara dari BS#2 menuju UE adalah:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500\ byte}{42,2 \times 10^6\ bps} \times 8 = 2,84 \times 10^{-4} s$$

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan asumsi jarak 4500 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari UE menuju BS#1 adalah:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} = \frac{5500}{3 \times 10^8} = 1,83 \times 10^{-5} s$$

Besar *delay* dekapsulasi pada BS#1 untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan

$C_{WiMAX}$  42,2 Mbps adalah:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{C_{WiMAX}} \times 8 = \frac{1500 - 1436}{42,2 \times 10^6} \times 8 = 1,21 \times 10^{-5} s$$

Dari perhitungan maka didapat *delay* total pada pada proses pentransmision dari BS#2 menuju UE dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{net\ (BS\#2-UE)} &= t_{enc} + t_{trans} + t_{prop} + t_{dec} \\ &= 1,83 \times 10^{-5} s + 2,84 \times 10^{-4} s + 1,83 \times 10^{-5} s + 1,21 \times 10^{-5} s \\ &= 2,23 \times 10^{-5} s \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan *delay handover* pada jaringan *mobile* WIMAX di atas, maka dapat diperoleh kebutuhan *delay* untuk proses *handover* dengan menggunakan modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dan faktor utilitas 0,1, yang ditunjukkan pada Tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Delay Handover* untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  dengan Faktor Utilitas 0,1

No	Spesifikasi	Arah Pentransmision	Kebutuhan <i>Delay</i> (s)
1.	MOB_NBR_ADV	BS#1-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
2.	MOB_MSHO_REQ	UE-BS#1	$2,23 \times 10^{-5}$
3.	HO_notification	BS#1-BS#2	0,0004
4.	HO_notification_response (ACK)	BS#2-BS#1	0,0004
5.	HO_notification	BS#1-BS#3	0,0004
6.	HO_notification_response N(ACK)	BS#3-BS#1	0,0004
7.	HO_confirm	BS#1-BS#2	0,0004
8.	MOB_BSHO_RSP	BS#-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
9.	MOB_HO_IND	UE-BS#1	$2,23 \times 10^{-5}$
10.	Synchronize with BS#2	BS#2-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
11.	UL_MAP	BS#2-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
12.	RNG_REQ (code)	UE-BS#2	$2,23 \times 10^{-5}$
13.	RNG_RSP (code)	BS#2-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
14.	RNG_REQ	UE-BS#2	$2,23 \times 10^{-5}$
15.	RNG_RSP )	BS#2-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
16.	Data traffic	BS#2-UE	$2,23 \times 10^{-5}$
	<i>Delay Handover</i> Total Jaringan (1 paket)		$2,24 \times 10^{-4}$

Untuk faktor utilitas yang berbeda maka *delay handover* total ditunjukkan pada Tabel 4.16 berikut ini.

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan *Delay Handover* Total

Faktor Utilitas	<i>Delay Handover</i> (s)
0,1	2,8237
0,2	2,8239
0,3	2,8241
0,4	2,8245
0,5	2,8250
0,6	2,8257
0,7	2,8268
0,8	2,8292
0,9	2,8363

Perhitungan selanjutnya setelah didapatkan *delay handover* adalah perhitungan pengaruh *delay handover* terhadap perubahan *throughput* jaringan.

Pengaruh *delay handover* pada *throughput* di jaringan *mobile WIMAX* dengan faktor utilitas 0,1 sampai 0,9 dapat dianalisis dengan perhitungan berikut ini.

### 3) Probabilitas Packet loss *live streaming*

Probabilitas paket loss pada *live streaming* dapat dihitung sesuai persamaan (2-22) :

$$P_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b$$

Probabilitas *packet loss* dengan besar paket yang terdiri atas *header* sebesar 64 byte serta besar *payload live streaming* sebesar 1500 byte. Maka, panjang paket data *live streaming* adalah ;

$$\begin{aligned} P_{\text{va-live streaming}} &= \text{header} + \text{payload live streaming} \\ &= 512 + 11488 \\ &= 12000 \text{ bit} = 1500 \text{ byte} \end{aligned}$$

maka, probabilitas *paket loss* pada *live streaming* dengan probabilitas bit salah pada *server* sebesar  $10^{-8}$  adalah

$$P_{\text{live streaming}} = P_{\text{va live streaming}} \times \rho_b$$

$$P_{\text{live streaming}} = 1500 \times 10^{-8}$$

$$P_{\text{live streaming}} = 1,5 \times 10^{-5}$$



## 4) Probabilitas packet loss jaringan

Perhitungan packet loss jaringan WIMAX untuk tipe modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_{64 \text{ QAM } \frac{3}{4}} = P_{64 \text{ QAM } \frac{3}{4}} = 3,23 \times 10^{-4}$$

Maka probabilitas packet loss total untuk modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  adalah

$$\begin{aligned} \rho_{total} &= 1 - [(1 - \rho_{live \ streaming})(1 - \rho_{\text{QPSK } \frac{3}{4}})] \\ &= 1 - [(1 - 1,5 \times 10^{-5})(1 - 8,99 \times 10^{-4})] = 9,14 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

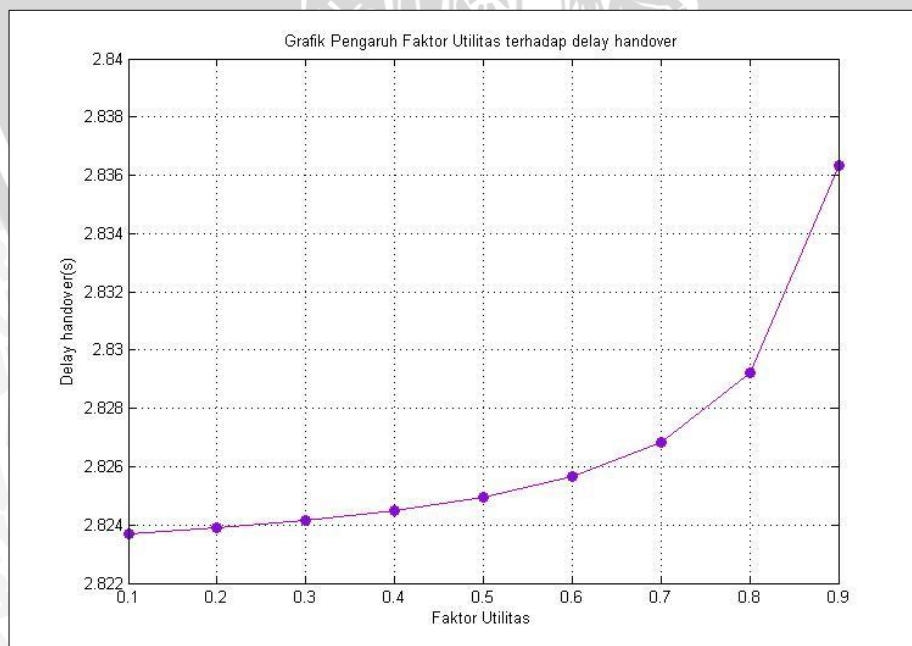
Dari nilai probabilitas packet loss diatas, maka nilai *throughput* dapat diketahui. Nilai konstanta propagasi menggunakan modulasi QPSK  $\frac{3}{4}$  adalah:

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop} + 2t_{trans}}{t_{trans}}\right) = \left(1 + \frac{2 \times 7,11 \times 10^{-5} \text{s} + 2 \times 6,17 \times 10^{-4} \text{s}}{6,17 \times 10^{-4} \text{s}}\right) = 3,23$$

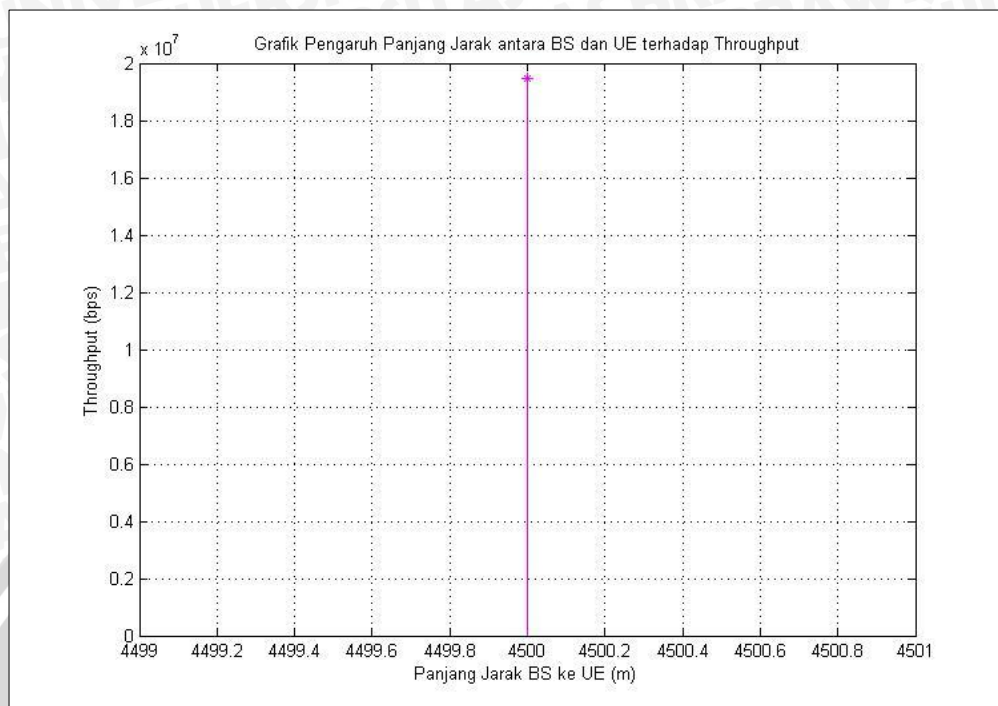
Sehingga nilai *throughput* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.30:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{(1 - \rho)}{t_{trans}[1 + (\alpha - 1)\rho]} \\ &= \frac{(1 - 9,14 \times 10^{-4})}{6,17 \times 10^{-4} \text{s}[1 + (3,23 - 1)9,14 \times 10^{-4}]} \\ &= 19,39 \times 10^6 \text{ bps} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4.14, maka didapatkan grafik perbandingan nilai *throughput* pada jaringan *mobile* WIMAX dengan faktor utilitas 0,1 sampai 0,9, yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Faktor Utilitas terhadap Delay Handover



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Panjang Jarak BS ke UE terhadap *throughput*

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dianalisis bahwa :

- Nilai *delay handover* terbesar yaitu 2,8363 s pada saat faktor utilitas 0,9 dan *delay handover* terbesar yaitu 2,8363 s pada saat faktor utilitas 0,1.
- Berdasarkan perhitungan dan analisa grafik menunjukkan adanya penurunan yang pada nilai *throughput* di jaringan *mobile WIMAX* sebagai pengaruh *delay handover* selama terjadinya proses *handover* pada jaringan *mobile WIMAX*.
- Nilai *throughput* pada jaringan *mobile WIMAX* dengan pengaruh *handover* akan semakin kecil dengan bertambahnya faktor utilitas.
- Nilai *throughput* pada saat proses *handover* yaitu sebesar 19,39 Mbps

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis tentang pengaruh *handover* pada *throughput* jaringan *mobile* WIMAX untuk layanan *live streaming*, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Delay end to end* dipengaruhi jarak antara BS dan *user*. *Delay end to end* terbesar yaitu pada saat jarak BS ke *user* 5000 m sebesar 1,0635 s, dan *delay end to end* terkecil yaitu pada saat jarak BS ke *user* 1000 m sebesar 0,6930 s dengan faktor utilitas 0,1.
2. *Delay end to end* juga dipengaruhi oleh faktor utilitas, semakin besar faktor utilitas, maka *delay end-to-end* jaringan juga akan semakin besar. Pada saat jarak BS ke *user* 1000 *delay end-to-end* terkecil terdapat pada faktor utilitas 0,1 yaitu sebesar 2,0227 s dan *delay end-to-end* terkecil terdapat pada faktor utilitas 0,9 yaitu sebesar 0,6930 s.
3. Nilai *throughput* juga dipengaruhi oleh jarak BS ke *user*. Nilai *throughput* terkecil yaitu saat jarak BS ke *user* 5000 m adalah sebesar 40,53 Mbps dan nilai *throughput* terbesar saat jarak BS ke *user* 1000 m yaitu sebesar 81 Mbps.
4. Nilai *delay handover* terbesar yaitu 2,8363 s pada saat faktor utilitas 0,9 dan *delay handover* terbesar yaitu 2,8363 s pada saat faktor utilitas 0,1 dan *delay* tersebut masih memenuhi standar *delay* ITU G.1010.
5. Berdasarkan perhitungan dan analisa grafik menunjukkan adanya penurunan yang pada nilai *throughput* di jaringan *mobile* WIMAX sebagai pengaruh proses *handover* pada jaringan *mobile* WIMAX.
6. Nilai *throughput* pada saat *delay handover* yaitu sebesar 19,39 Mbps.

### 5.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada skripsi ini adalah:

1. Pembahasan dapat dikembangkan pada *handover* untuk jaringan *mobile* WIMAX ke jaringan lain atau sebaliknya.

2. Analisis dalam skripsi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis *codec* audio dan video yang berbeda pada layanan *live streaming*.
3. Skripsi ini dapat dikembangkan dengan mensimulasikan proses *handover* tersebut.



## DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, Jeffrey G. 2006. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). United States : Pearson Education, Inc.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. MOBILE WiMAX. New York : John Wiley & Sons, Inc
- Gupta, Chandan. *Comparative Study of Various Handover Scenarios in WiMAX Network*. 2012. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*
- Riiser, Haakon. *Performance Measurements and Evaluation of Video Streaming in HSDPA Networks with 16QAM Modulation* . Norway: University of Oslo
- Irsyad, Muhammad. 2008. *WIMAX Standard and Security* . New York : CRC Press
- Stallings, William. 2005. *Wireless Communication and Networks*. Pearson Education, Inc.
- Schwartz, Mischa. 1987. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. USA : Addison Wesley Pub.
- Schwartz, Mischa. 1994. *Telecommunications Network: Protocols, Modeling and Analysis*. New York: Addison Wesley publishing company.
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX - Part I : A Technical Overview and Performace Analysis*.
- ITU-T G.1010. 2001
- [www.wimaxforum.org/topologi](http://www.wimaxforum.org/topologi) (diakses tanggal 18 April 2013)

# LAMPIRAN



### Lampiran 1. Listing Matlab Perhitungan SNR

```

d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14 %konstanta phi
f=25*10^8 %frekuensi kerja dalam Hz
c=3*10^8 %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=43 %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=15 %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=-1 %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=0 %cable loss dalam dB
Lr=0 %body loss dalam dB SNR

k=0.0000000000000000000000000138 %konstanta Boltzman
T=300 %suhu ruang
NF=4 %noise figure

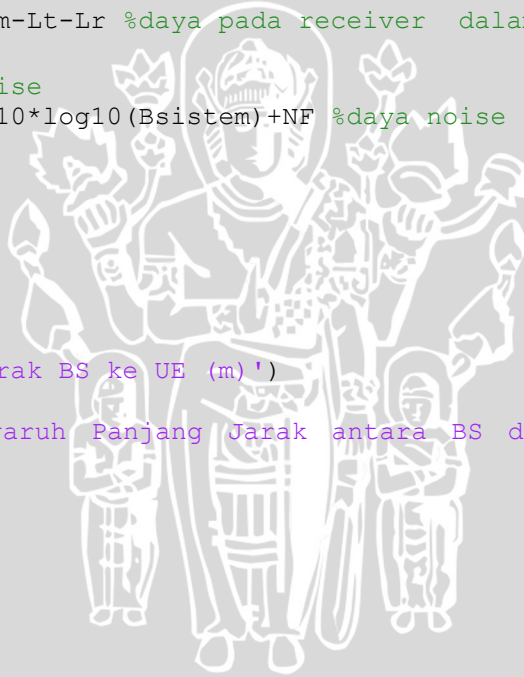
%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4*phi.*d*f./c)) %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr %daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm %SNR

plot (d,SNR, 'r');
grid on;
xlabel('Panjang Jarak BS ke UE (m)')
ylabel('SNR (dB)')
title('Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE Terhadap SNR')

```



**Lampiran 2. Listing Matlab Perhitungan Kapasitas Kanal**

```

d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14 %konstanta phi
f=25*10^8 %frekuensi kerja dalam Hz
c=3*10^8 %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=43 %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=15 %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=-1 %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=0 %cable loss dalam dB
Lr=0 %body loss dalam dB SNR

k=0.0000000000000000000000000000000000000000138 %konstanta Boltzman
T=300 %suhu ruang
NF=4 %noise figure

%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4*phi.*d*f./c)) %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr %daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm %SNR

%persamaan kapasitas kanal
Cwimax=Bsistem*log2(1+10.^(SNR/10));

plot (d,Cwimax,'b');
grid on;
xlabel('Panjang Jarak BS ke UE (m)')
ylabel('Kapasitas Kanal (Mbps)')
title('Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE Terhadap
Kapasitas Kanal')

```



### Lampiran 3. Listing Matlab Perhitungan *Bit Rate*

```

clear
clc

d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14; %konstanta phi
f=25*10^8; %frekuensi kerja dalam Hz
c=3*10^8; %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=43; %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=15; %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=-1; %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=0; %cable loss dalam dB
Lr=0; %body loss dalam dBSNR

k=0.000000000000000000000000138; %konstanta Boltzman
T=300; %suhu ruang
NF=4; %noise figure

%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4.*phi.*d.*f./c)); %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30;
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr; %daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF; %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30;

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm; %SNR

for j=1:5
%start
if SNR(1,j)>=11.2 && SNR(1,j)<16.4
R_QPSK34=2*Bsystem*log2(4); %bit rate modulasi QPSK 3/4
elseif SNR(1,j)>=16.4 && SNR(1,j)<18.2
R_16QAM12=2*Bsystem*log2(16); %bit rate modulasi 16 QAM 3/4
elseif SNR(1,j)>=18.2 && SNR(1,j)<22.7
R_16QAM34=2*Bsystem*log2(16); %bit rate modulasi 16 QAM 3/4
else
R_64QAM34=2*Bsystem*log2(64); %bit rate modulasi 64 QAM 3/4
end
end
end

```

#### Lampiran 4. Listing Matlab Perhitungan *Bit Error Rate*

```

clear
clc

d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14; %konstanta phi
f=25*10^8; %frekuensi kerja dalam Hz
c=3*10^8; %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=43; %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=15; %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=-1; %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=0; %cable loss dalam dB
Lr=0; %body loss dalam dB SNR

k=0.000000000000000000000000000000138; %konstanta Boltzman
T=300; %suhu ruang
NF=4; %noise figure

%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4.*phi.*d.*f./c)); %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30;
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr; %daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF; %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30;

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm; %SNR

%inisialisasi variabel
EbNo_QPSK34=zeros(1,5);
BER_QPSK34=zeros(1,5);
EbNo_16QAM12=zeros(1,5);
BER_16QAM12=zeros(1,5);
EbNo_16QAM34=zeros(1,5);
BER_16QAM34=zeros(1,5);
EbNo_64QAM34=zeros(1,5);
BER_64QAM34=zeros(1,5);
for j=1:5
%start
if SNR(1,j)>=11.2 && SNR(1,j)<16.4
R_QPSK34=2*Bsystem*log2(4); %bit rate modulasi QPSK 3/4
EbNo_QPSK34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsistem/R_QPSK34));
%EbNo modulasi QPSK 3/4
BER_QPSK34(1,j)=0.5*erfc(sqrt(10^(EbNo_QPSK34(1,j)/10)));
%Probabilitas bit salah
elseif SNR(1,j)>=16.4 && SNR(1,j)<18.2
R_16QAM12=2*Bsystem*log2(16); %bit rate modulasi 16 QAM 3/4
EbNo_16QAM12(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsistem/R_16QAM12));
%EbNo modulasi 16 QAM 3/4
BER_16QAM12(1,j)=(2*(sqrt(16)-
1))/(sqrt(16)*log2(16))*erfc(sqrt((3*log2(16))/(2*(16-
1))*(EbNo_16QAM12(1,j)))); %Probabilitas bit salah
elseif SNR(1,j)>=18.2 && SNR(1,j)<22.7
R_16QAM34=2*Bsystem*log2(16); %bit rate modulasi 16 QAM 3/4

```

```

EbNo_16QAM34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsistem/R_16QAM34));
%EbNo modulasi 16 QAM 3/4
BER_16QAM34(1,j)=(2*(sqrt(16)-
1))/(sqrt(16)*log2(16))*erfc(sqrt((3*log2(16))/(2*(16-
1))*(EbNo_16QAM34(1,j)))); %Probabilitas bit salah
else
R_64QAM34=2*Bsystem*log2(64); %bit rate modulasi 64 QAM 3/4
EbNo_64QAM34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsistem/R_64QAM34));
%EbNo modulasi 64 QAM 3/4
BER_64QAM34(1,j)=(2*(sqrt(64)-
1))/(sqrt(64)*log2(64))*erfc(sqrt((3*log2(64))/(2*(64-
1))*(EbNo_64QAM34(1,j)))); %Probabilitas bit salah
end
%finish
end

plot (d,BER_64QAM34,'-*',d,BER_16QAM12,'-*',d,BER_16QAM34,'-
* ',d,BER_QPSK34,'-*');
grid on;
xlabel('Panjang Jarak BS ke UE (m)')
ylabel('Bit Error Rate')
title('Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap Bit
Error Rate')

```



### Lampiran 5. Listing Matlab Perhitungan Delay End to End

```

%Menghitung payload
filesize_audio=(48*10^3*30*60)/8;
filesize_video=(384*10^3*30*60)/8;
filecompressed_audio=(1/80)*filesize_audio;
filecompressed_video=(1/60)*filesize_video;
filesizetotal=filecompressed_audio+filecompressed_video;
Nframe=filesizetotal/1500;
Hrtp=12;
Hudp=8 ;
Hip=20;
Hethernet=18;
Hmac=6;
Wframetotal=filesizetotal+(Nframe*(Hrtp+Hudp+Hip+Hethernet+Hmac));
Npaket=Wframetotal/1500;
Wframetotal1=1500;
Wdata1=1436;

%header RTP
%header UDP
%header IP
%header ethernet

%Menghitung Delay Codec
ta=0.02;
tv=0.15;
tcodec=2*(ta+tv);

%delay audio
%delay video
%delay codec live streaming

%Kapasitas kanal
d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14;
f=25*10^8;
c=3*10^8;
Pt=43;
Gt=15;
Gr=-1;
Lt=0;
Lr=0;

%konstanta phi
%frekuensi kerja dalam Hz
%cepat rambat gelombang di udara m/s
%daya pada transmitter dalam dBm
%antena gain pada transmitter dalam dBi
%antena gain pada receiver dalam dBi
%cable loss dalam dB
%body loss dalam dBSNR

k=0.0000000000000000000000138;
T=300;
NF=4;

%konstanta Boltzman
%suhu ruang
%noise figure

%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4.*phi.*d.*f./c)); %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30;
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr;

%daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF; %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30;

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm; %SNR

%persamaan kapasitas kanal
Cwimax=Bsistem.*log2(1+10.^(SNR./10));

%Delay enkapsulasi dan deenkapsulasi
Cethernet=1000000000; %laju data ethernet

```

```

tenc1=((Wframetotal1-Wdata1)*8)/Cethernet;      %delay enkapsulasi
ethernet
tenc2=((Wframetotal1-Wdata1)*8)./Cwimax;      %delay enkapsulasi BS

tdec1=((Wframetotal1-Wdata1)*8)/Cethernet;      %delay dekapsulasi
ethernet
tdec2=((Wframetotal1-Wdata1)*8)./Cwimax;      %delay dekapsulasi BS

%Delay proses
tproc=tenc1+tenc2+tdec1+tdec2;                %delay proses

%PERHITUNGAN DELAY PROPAGASI
%delay propagasi pada medium gigabit ethernet dari server - base
station
tprop1=6000/(Cethernet);

%delay propagasi pada medium udara dari base station menuju
subscriber station
tprop2=d./(3*10^8);

%delay propagasi total
tprop_total=(tprop1+tprop2);                 %delay propagasi

%PERHITUNGAN DELAY TRANSMISI
%delay transmisi pada medium gigabit ethernet dari server-BS
ttrans1=Wframetotal1/(Cethernet)*8;

%delay transmisi pada medium udara dari base station menuju
subscriber station
ttrans2=((Wframetotal1)./Cwimax)*8;

%delay transmisi total
ttrans_total=(ttrans1+ttrans2);              %delay transmisi

%Delay antrian
miu=Cwimax./Wframetotal1./8;                 %waktu pelayanan
utilitas=0.1:0.1:0.9;                         %faktor utilitas

tw=((ones(5,1)*utilitas)./([miu'*ones(1,9)]-
((miu')*utilitas)))+(1./miu')*ones(1,9)); %delay antrian

%delay man
tman=(tproc'*ones(1,9))+(tprop_total'*ones(1,9))+(ttrans_total'*on
es(1,9))+tw;

%delay end to end
dend=(tcodec*ones(5,9))+(tman*1095);

plot (d,dend,'-*');
grid on;
xlabel('Panjang Jarak BS ke UE (m)');
ylabel('Delay End to End (s)');
title('Grafik Pengaruh Panjang Jarak BS ke UE terhadap delay end
to end ');

```

## Lampiran 6. Listing Matlab Perhitungan *Throughput*

```

clear
clc

d=1000:1000:5000;
Bsistem=10*10^6;
phi=3.14; %konstanta phi
f=25*10^8; %frekuensi kerja dalam Hz
c=3*10^8; %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=43; %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=15; %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=-1; %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=0; %cable loss dalam dB
Lr=0; %body loss dalam dBSNR

k=0.000000000000000000000000000138; %konstanta Boltzman
T=300; %suhu ruang
NF=4; %noise figure

%Persamaan Redaman Propagasi
FSL=20.*(log10(4.*phi.*d.*f./c)); %pathloss dalam dB
FSL_dBm=FSL+30;
Pr=Pt+Gt+Gr-FSL_dBm-Lt-Lr; %daya pada receiver dalam dB

%Persamaan Daya Noise
No=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem)+NF; %daya noise sistem AWGN
No_dBm=No+30;

%Persamaan SNR
SNR=Pr-No_dBm; %SNR

%persamaan kapasitas kanal
Cwimax=Bsistem*log2(1+10.^(SNR/10));

%Menghitung payload
filesize_audio=(48*10^3*30*60)/8;
filesize_video=(384*10^3*30*60)/8;
filecompressed_audio=(1/80)*filesize_audio;
filecompressed_video=(1/60)*filesize_video;
filesizetotal=filecompressed_audio+filecompressed_video;
Nframe=filesizetotal/1500;
Hrtp=12; %header RTP
Hudp=8; %header UDP
Hip=20; %header IP
Hethernet=18; %header ethernet
Hmac=6;
Wframetotal=filesizetotal+(Nframe*(Hrtp+Hudp+Hip+Hethernet+Hmac));
Npaket=Wframetotal/1500;
Wframetotal1=1500;
Wdata1=1436;
Cethernet=1000000000; %laju data ethernet

%PERHITUNGAN DELAY PROPAGASI
%delay propagasi pada medium gigabit ethernet dari server - base
station

```

```

tprop1=6000/(Cethernet);

%delay propagasi pada medium udara dari base station menuju
subscriber station
tprop2=d./(3*10^8);

%delay propagasi total
tprop_total=(tprop1+tprop2);          %delay propagasi

%PERHITUNGAN DELAY TRANSMISI
%delay transmisi pada medium gigabit ethernet dari server-BS
ttrans1=Wframetotal1/(Cethernet)*8;

%delay transmisi pada medium udara dari base station menuju
subscriber station
ttrans2=((Wframetotal1)./Cwimax)*8;

%delay transmisi total
ttrans_total=(ttrans1+ttrans2);      %delay transmisi

Plos_livestreaming=1500*10^-8;
%inisialisasi variabel
EbNo_QPSK34=zeros(1,5);
BER_QPSK34=zeros(1,5);
Plos_totQPSK34=zeros(1,5);
through_QPSK34=zeros(1,5);
EbNo_16QAM12=zeros(1,5);
BER_16QAM12=zeros(1,5);
Plos_tot16QAM12=zeros(1,5);
through_16QAM12=zeros(1,5);
EbNo_16QAM34=zeros(1,5);
BER_16QAM34=zeros(1,5);
Plos_tot16QAM34=zeros(1,5);
through_16QAM34=zeros(1,5);
EbNo_64QAM34=zeros(1,5);
BER_64QAM34=zeros(1,5);
Plos_tot64QAM34=zeros(1,5);
through_64QAM34=zeros(1,5);

for j=1:5
%start
if SNR(1,j)>=11.2 && SNR(1,j)<16.4
    R_QPSK34=2*Bsystem*log2(4);          %bit rate modulasi QPSK 3/4
    EbNo_QPSK34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsystem/R_QPSK34));
    %EbNo modulasi QPSK 3/4
    BER_QPSK34(1,j)=0.5*erfc(sqrt(10^(EbNo_QPSK34(1,j)/10)));
    %Probabilitas bit salah
    Plos_totQPSK34(1,j)=1-(((1-Plos_livestreaming)*(1-
BER_QPSK34(1,j)))));
    through_QPSK34(1,j)=(((1-
Plos_totQPSK34(1,j))./(ttrans_total(1,j)*((1+((3+(2*tprop_total(1,
j)/ttrans_total(1,j))))-1))*Plos_totQPSK34(1,j))))*Wdata1*8;
elseif SNR(1,j)>=16.4 && SNR(1,j)<18.2
    R_16QAM12=2*Bsystem*log2(16);      %bit rate modulasi 16 QAM 1/2
    EbNo_16QAM12(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsystem/R_16QAM12));
    %EbNo modulasi 16 QAM 1/2

```

```

BER_16QAM12(1,j)=(2*(sqrt(16)-
1))/(sqrt(16)*log2(16))*erfc(sqrt((3*log2(16))/(2*(16-
1))*(EbNo_16QAM12(1,j)))); %Probabilitas bit salah 16 QAM 1/2
Plos_tot16QAM12(1,j)=1-((1-Plos_livestreaming)*(1-
BER_16QAM12(1,j)));
through_16QAM12(1,j)=((1-
Plos_tot16QAM12(1,j))./(ttrans_total(1,j)*((1+((3+(2*tprop_total(1
,j)/ttrans_total(1,j)))-1))*Plos_tot16QAM12(1,j))))*Wdata1*8;
elseif SNR(1,j)>=18.2 && SNR(1,j)<22.7
R_16QAM34=2*Bsystem*log2(16); %bit rate modulasi 16 QAM 3/4
EbNo_16QAM34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsystem/R_16QAM34));
%EbNo modulasi 16 QAM 3/4
BER_16QAM34(1,j)=(2*(sqrt(16)-
1))/(sqrt(16)*log2(16))*erfc(sqrt((3*log2(16))/(2*(16-
1))*(EbNo_16QAM34(1,j)))); %Probabilitas bit salah 16 QAM 3/4
Plos_tot16QAM34(1,j)=1-((1-Plos_livestreaming)*(1-
BER_16QAM34(1,j)));
through_16QAM34(1,j)=((1-
Plos_tot16QAM34(1,j))./(ttrans_total(1,j)*((1+((3+(2*tprop_total(1
,j)/ttrans_total(1,j)))-1))*Plos_tot16QAM34(1,j))))*Wdata1*8;
else
R_64QAM34=2*Bsystem*log2(64); %bit rate modulasi 64 QAM 3/4
EbNo_64QAM34(1,j)=SNR(1,j)-(10*log10(Bsystem/R_64QAM34));
%EbNo modulasi 64 QAM 3/4
BER_64QAM34(1,j)=(2*(sqrt(64)-
1))/(sqrt(64)*log2(64))*erfc(sqrt((3*log2(64))/(2*(64-
1))*(EbNo_64QAM34(1,j)))); %Probabilitas bit salah 64 QAM 3/4
Plos_tot64QAM34(1,j)=1-((1-Plos_livestreaming)*(1-
BER_64QAM34(1,j)));
through_64QAM34(1,j)=((1-
Plos_tot64QAM34(1,j))./(ttrans_total(1,j)*((1+((3+(2*tprop_total(1
,j)/ttrans_total(1,j)))-1))*Plos_tot64QAM34(1,j))))*Wdata1*8;
end
%finish
end

plot(d,through_64QAM34,'-x',d,through_16QAM12,'-
*',d,through_16QAM34,'-x',d,through_QPSK34,'-x');
grid on;
xlabel('Panjang Jarak BS ke UE (m)')
ylabel('Throughput (bps)')
title('Grafik Pengaruh Panjang Jarak antara BS dan UE terhadap
Throughput')

```



### Lampiran 7. Listing Matlab Perhitungan Delay Handover

```

%Menghitung payload
filesize_audio=(48*10^3*30*60)/8;
filesize_video=(384*10^3*30*60)/8;
filecompressed_audio=(1/80)*filesize_audio;
filecompressed_video=(1/60)*filesize_video;
filesizetotal=filecompressed_audio+filecompressed_video;
Nframe=filesizetotal/1500;
Hrtp=12; %header RTP
Hudp=8; %header UDP
Hip=20; %header IP
Hethernet=18; %header ethernet
Hmac=6;
Wframetotal=filesizetotal+(Nframe*(Hrtp+Hudp+Hip+Hethernet+Hmac));
Npaket=Wframetotal/1500;
Wframetotal1=1500;
Wdata1=1436;

%Menghitung Delay Codec
ta=0.02 %delay audio
tv=0.15 %delay video
tcodec=2*(ta+tv) %delay codec live streaming
Cwimax=4.22*10^7

%Delay BS1-MS
Cethernet=1000000000 %laju data ethernet
tenc1=((Wframetotal1-Wdata1)./Cwimax)*8 %delay enkapsulasi

ttrans1=((Wframetotal1)./Cwimax)*8

tprop1=4500/(3*10^8)

tdec1=((Wframetotal1-Wdata1)./Cwimax)*8 %delay dekapsulasi

ttot1=tenc1+ttrans1+tprop1+tdec1

%BS1-BS2
%BS1-server
tenc3=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8 %delay enkapsulasi

ttrans3=Wframetotal1/(Cethernet)*8

tprop3=6000/(Cethernet)

tdec3=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8 %delay dekapsulasi

miu=4.22*10^7/1500/8; %waktu pelayanan
utilitas=0.1:0.1:0.9; %faktor utilitas
tw=((miu.*utilitas)./((miu^2)-(miu.*miu.*utilitas)))+(1./miu);

%server-BS2
tenc4=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8 %delay enkapsulasi

ttrans4=Wframetotal1/(Cethernet)*8

```

```

tprop4=10800/(Cethernet)

tdec4=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8      %delay dekapsulasi

ttot2=tenc3+ttrans3+tprop3+tdec3+tw+tenc4+ttrans4+tprop4+tdec4

%BS1-BS3
%BS1-server
tenc5=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8      %delay enkapsulasi

ttrans5=Wframetotal1/(Cethernet)*8

tprop5=6000/(Cethernet)

tdec5=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8      %delay dekapsulasi

miu=4.22*10^7/1500/8;                          %waktu pelayanan
utilitas=0.1:0.1:0.9;                          %faktor utilitas
tw=((miu.*utilitas)./(miu^2)-(miu.*miu.*utilitas))+ (1./miu);

%server-BS3
tenc6=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8      %delay enkapsulasi

ttrans6=Wframetotal1/(Cethernet)*8

tprop6=15000/(Cethernet)

tdec6=((Wframetotal1-Wdata1)/Cethernet)*8      %delay dekapsulasi

ttot3=tenc5+ttrans5+tprop5+tdec5+tw+tenc6+ttrans6+tprop6+tdec6

%Delay BS2-MS
Cethernet=1000000000                            %laju data
ethernet
tenc7=((Wframetotal1-Wdata1)./Cwimax)*8        %delay enkapsulasi

ttrans7=((Wframetotal1)./Cwimax)*8

tprop7=5500/(3*10^8)

tdec7=((Wframetotal1-Wdata1)./Cwimax)*8        %delay dekapsulasi

ttot4=tenc1+ttrans1+tprop1+tdec1

tH01=0.34+((4*ttot1)+(3*ttot2)+(2*ttot3)+(7*ttot4)*1095);

plot (utilitas,tH01)
grid on
xlabel('Faktor Utilitas')
ylabel('Delay handover(s)')
title('Grafik Pengaruh Faktor Utilitas terhadap delay handover ')

```