

PERFORMANSI VIDEO STREAMING PADA JARINGAN LTE (LONG TERM EVOLUTION) MENGGUNAKAN MODE DUPLEX TDD (TIME DIVISION DUPLEX)

Streaming Video Performance on Long Term Evolution (LTE) Network Using Time Division Duplex (TDD) Mode

Asri Wulandari^{1,2}, Endah Budi Purnomowati¹, Rizki Alfanadiah¹

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjend Haryono 167 Malang Indonesia 65145

Telp. +62 341 587710, 587711 Fax : +62 341 551430

2 email: asri_fteub@yahoo.co.id

ABSTRACT

Video streaming is a technology play video files directly without having to download it. LTE (Long Term Evolution) is a mobile telecommunications technology as the evolution of HSDPA technology. LTE has the ability to transmit data at high speed. LTE network technology used in duplex mode FDD (Frequency Division Duplex) and TDD (Time Division Duplex). This study aims to determine the performance of video streaming on LTE network by using a TDD. The performance is analyzed include delay, packet loss, and throughput. The simulation results prove that the distance between UE and eNodeB with utilization factors influence the end-to-end delay, packet loss, and throughput in streaming video transmission. On the same data packet length, the greater the distance between the eNodeB with the UE, the greater the value of end-to-end delay. While the throughput of the smallest is 352 200 kbps which occurs when the distance between the eNodeB and UE is 10000 m with a utilization factor of 0.9.

Key-word : Video Streaming, LTE, TDD, jarak eNodeB ke UE, faktor utilisasi, delay end to end, packet loss, throughput

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Era globalisasi telah membawa dampak yang begitu hebat terhadap teknologi telekomunikasi. Setiap orang merasa memiliki kebutuhan untuk mengetahui hal-hal baru menyangkut perkembangan dunia. Mereka sebagai pengguna layanan informasi dan komunikasi menginginkan sesuatu yang real-time dan praktis.

LTE (*Long Term Evolution*) adalah nama baru dari layanan telekomunikasi yang mempunyai kemampuan tinggi dalam sistem komunikasi bergerak (*mobile*) dan merupakan langkah menuju generasi ke-4 (4G) yang dirancang untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan jaringan telepon *mobile*. LTE mempunyai beberapa kelebihan yaitu efisiensi spektrum yang tinggi, *latency* yang rendah, mendukung *scalable bandwidth* mulai 1.4 MHz sampai 20 MHz, menggunakan teknologi MIMO (*Multi Input Multi Output*), menggunakan teknik OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) untuk *downlink* dan SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) untuk *uplink* serta mempunyai kecepatan data *downlink* sebesar 100 Mbps dan *uplink* sebesar 50 Mbps.

Dalam mengakses layanan data yang besar dan cepat, LTE didukung oleh teknologi *multiple access* FDD (*Frequency Division Duplex*) dan TDD

(*Time Division Duplex*). Alasan mengapa LTE menggunakan metode akses jamak adalah untuk meningkatkan kualitas layanan ketika terjadi kepadatan trafik yang tinggi serta pengaksesan data asimetris antara arah transmisi *uplink* dan *downlink*, seperti pada layanan video *streaming*. Namun dalam prakteknya TDD memiliki keunggulan lebih dibandingkan dengan FDD. Hal ini disebabkan TDD menggunakan frekuensi *uplink* dan *downlink* yang menjadi satu dan dialokasikan ke dalam slot-slot waktu sehingga kapasitas pemakai bisa lebih banyak dan pembagian arah transmisi dapat lebih mudah, cepat, dan efisien.

Video *streaming* merupakan salah satu teknologi telekomunikasi yang bersifat *real time* serta dapat menyalurkan informasi berupa audio maupun video. Dengan teknologi video *streaming* ini, *user* tidak perlu menunggu hingga *file* selesai di-*download* secara keseluruhan untuk memainkannya. Sebaliknya, *user* dapat memainkan media dengan menunggu beberapa detik saja. Akan tetapi, ada beberapa permasalahan yang mempengaruhi performansi dari video *streaming* diantaranya adalah video berhenti berjalan atau bergerak lambat saat kita sedang menonton video sehingga kita harus menunggu beberapa waktu hingga video kembali berjalan. Selain itu, kualitas video yang dihasilkan juga seringkali buruk dimana video *streaming* yang kita amati kurang jernih dan cenderung tidak jelas.

Penelitian ini membahas tentang performansi video *streaming* pada jaringan LTE dengan menggunakan mode TDD dengan menghitung nilai *delay* performansi, *packet loss*, dan *throughput*.

Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana performansi video *streaming* pada jaringan LTE yang menggunakan mode TDD dengan menghitung nilai *delay* performansi, *packet loss*, dan *throughput*.
2. Bagaimana transmisi video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode TDD dengan faktor utilisasi dan jarak antara eNodeB ke UE (*User Equipment*) yang berbeda-beda.

Ruang Lingkup

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada:

1. Standard LTE yang digunakan adalah 3GPP release 8.
2. Mode *duplex* yang digunakan adalah TDD (*Time Division Duplex*).
3. Teknik pentransmisiannya menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA).
4. Parameter jaringan yang dibahas berupa *delay* performansi, *packet loss*, dan *throughput*.
5. Aplikasi video *streaming* yang digunakan adalah jenis CODEC AMR-WB+ untuk *audio* dan H.264/AVC untuk *video*.
6. Transmisi video *streaming* yang diamati adalah dari *server* ke *user*.
7. Teknik modulasi yang digunakan dalam perhitungan adalah QPSK.
8. Pembahasan meliputi analisis secara perhitungan berdasarkan data sekunder yang telah ditentukan.

Tujuan

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui performansi video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode duplex TDD dengan menganalisis parameter jaringan meliputi *delay* performansi, *packet loss*, dan *throughput*.

II. DASAR TEORI

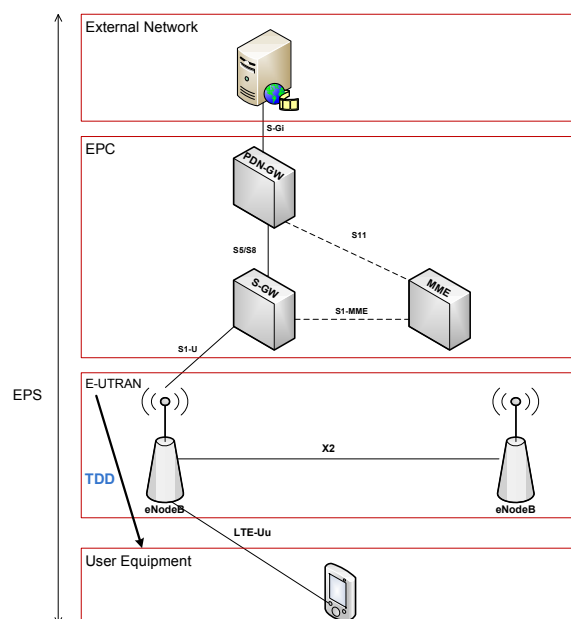
LTE (*Long Term Evolution*)

LTE disebut juga sebagai E-UTRA (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*) dan diperkenalkan oleh 3GPP sebagai *release 8*. LTE merupakan teknologi telekomunikasi seluler sebagai evolusi atau pengembangan dari teknologi UMTS/WCDMA/HSPA. LTE menggunakan spesifikasi *air interface* yang baru untuk meningkatkan kecepatan data dibandingkan dengan HSPA. Perbedaan utama antara LTE, WCDMA dan HSPA adalah penggunaan teknologi OFDMA pada sisi *downlink* dan SC-FDMA pada sisi *uplink*-nya. LTE

mempunyai kemampuan mengirimkan data dengan kecepatan tinggi mencapai 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink*-nya. Peningkatan kecepatan ini juga disebabkan oleh kemampuan LTE untuk menggunakan teknologi MIMO (*Multi Input Multi Output*) dan *bandwidth*-nya yang *scalable* mulai dari 1,4 MHz sampai 20 MHz. (K. Fazel and S. Kaiser, 2008)^[1]

EPS (*Evolved Packet System*)

EPS *framework* terdiri dari *Evolved Packet Core* (EPC) dan *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. EPC berhubungan dengan E-UTRAN dan yang lainnya. EPC berisi *Mobile Management Entity* (MME), *System Architecture Evolution Gateway* (S-GW) dan *Packet Data Network Gateway* (PDN-GW). E-UTRAN hanya berisi *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations* (eNodeB) dimana *User Equipment* (UE) berhubungan dengan eNB dan eNB berhubungan dengan EPC dan yang lainnya.



Gambar 1. Arsitektur LTE
(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009)^[10]

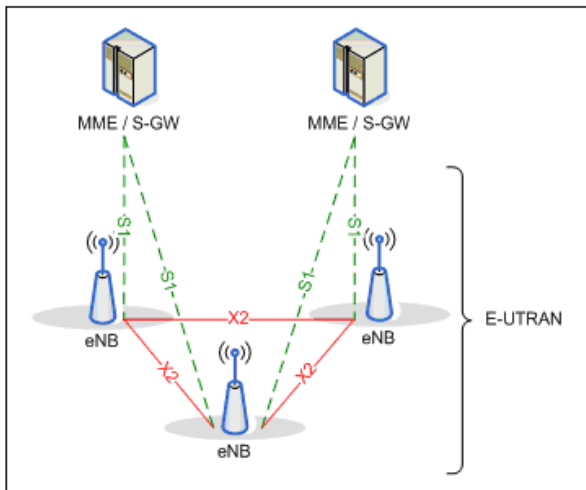
- a. PDN-GW (*Packet Data Network Gateway*)
PDN-GW merupakan jangkar untuk mobilitas antara 3GPP dengan teknologi *non-3GPP* seperti WiMAX, 3GPP2 dan WLAN (*Wireless Local Area Network*) melalui beberapa *interface*. PDN-GW menyediakan konektivitas dengan jaringan paket data eksternal. Selain itu PDN-GW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

Performansi Video *Streaming* Pada Jaringan Lte (*Long Term Evolution*) Menggunakan Mode *Duplex Tdd (Time Division Duplex)*

- PCRF dan menyaring *downlink* paket IP *user* kedalam *bearer* QoS yang berbeda.
- b. S-GW (*Serving Gateway*)
Semua pengguna paket IP dikirimkan melalui S-GW, yang berfungsi sebagai jangkar untuk mobilitas data *bearer* bila UE bergerak di antara eNodeB. S-GW juga bertanggung jawab dalam menetapkan *routing* dan meneruskan paket data *user* dengan *interface* S-1, menangani kompresi *header* IP serta enkripsi data *user*.
- c. MME (*Mobility Management Entity*)
MME adalah *node* kontrol yang memproses sinyal antara UE dan CN (*Core Network*)/EPC. Selain itu MME juga berfungsi sebagai autentifikasi dan keamanan serta *mobility management*. Protokol yang berjalan antara UE dan CN dikenal sebagai protokol *Non-Access Stratum* (NAS). (Stefania Sesia, Issam Toufik dan Matthew Baker, 2009 : 25) [2]

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

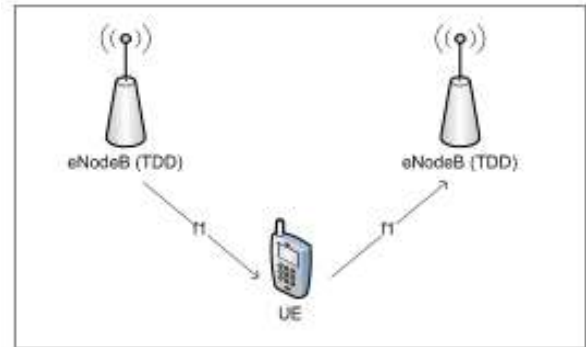
Jaringan akses LTE, E-UTRAN, hanya terdiri dari eNodeB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur E-UTRAN
(Sumber : Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, 2009) [2]

eNodeB biasanya saling terhubung satu sama lain melalui *interface* yang dikenal sebagai X2, dan pada EPC melalui *interface* yang lebih khusus yaitu S1, dengan MME melalui *interface* S1-MME dan S-GW melalui *interface* S1-U. Protokol yang bekerja antara eNodeB dan UE disebut protokol *Access Stratum* (AS). (Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, 2009) [2]

Dengan E-UTRAN *radio interface* memungkinkan untuk transfer data hingga 100 Mbps. Operasi mode TDD digunakan karena operasi ini dapat memenuhi kebutuhan pasar dalam pelayanan transmisi data yang tinggi.

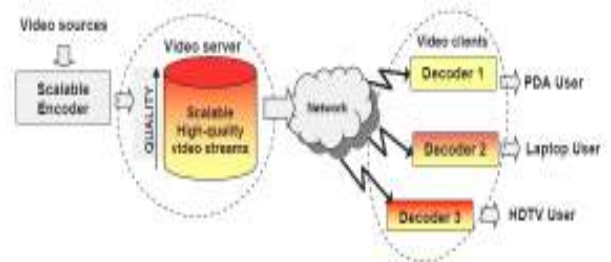


Gambar 3. E-UTRAN TDD
(Sumber : H. Holma dan A. Toskala, 2009) [10]

Sistem seluler LTE memiliki spektrum frekuensi *unpaired band* yang digunakan untuk menangani trafik asimetris. Pengertian *unpaired band* disini adalah suatu band spektrum frekuensi yang memiliki frekuensi pembawa tidak sepasang dengan frekuensi pembawa pada bidang frekuensi yang lain, atau dengan kata lain frekuensi yang digunakan untuk transmisi *uplink* dan *downlink* adalah sama.

Video Streaming

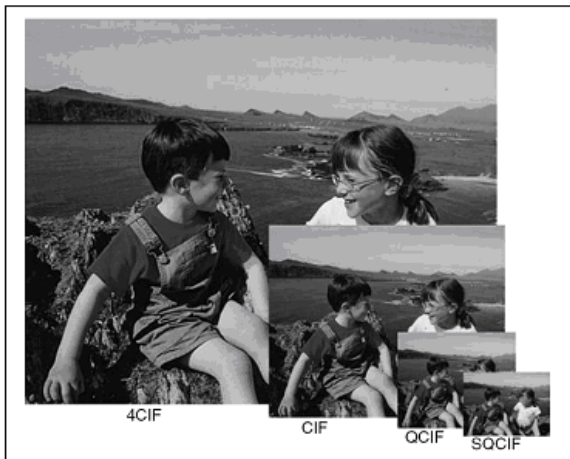
Dalam dunia internet, *streaming* lebih mengacu kepada teknologi yang mampu mengompresi atau menyusutkan ukuran *file* audio dan video agar mudah dikirimkan melalui jaringan internet. Pengiriman *file* audio dan video tersebut dilakukan secara "stream", alias terus-menerus. Dari sudut pandang prosesnya, *streaming* berarti sebuah teknologi pengiriman *file* dari *server* ke *client* melalui jaringan *packet-based* semisal internet. Sedangkan dari sudut pandang *user*, *streaming* adalah teknologi yang memungkinkan suatu *file* dapat segera dijalankan tanpa harus menunggu selesai *download* seluruhnya dan terus mengalir tanpa ada interupsi.



Gambar 4. Proses *streaming* video melalui jaringan
(Sumber: Ashraf M.A. Ahmad and Ismail Khalil Ibrahim, 2009: 94) [11]

Kualitas Video

Ada beberapa format gambar yang digunakan dalam aplikasi video *streaming* diantaranya adalah format CIF, QCIF, SQCIF dan 4CIF. Perbandingan untuk setiap format gambar dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Format Gambar
(Sumber: lain E. G. Richardson, 2003: 20)^[12]

Pilihan resolusi frame tergantung pada aplikasi dan kapasitas yang tersedia atau kapasitas transmisi. Sebagai contoh, 4CIF sesuai untuk digunakan pada televisi standar dan DVD-video. Format CIF dan QCIF sangat populer digunakan pada aplikasi video conferencing. Sedangkan format QCIF atau SQCIF sesuai untuk digunakan pada aplikasi *mobile multimedia* dimana resolusi layar dan bit rate format ini terbatas.

Kualitas video yang baik dapat dinilai dari tiga elemen utama, yaitu: (*Streaming White Paper*, 1998: 5)^[3].

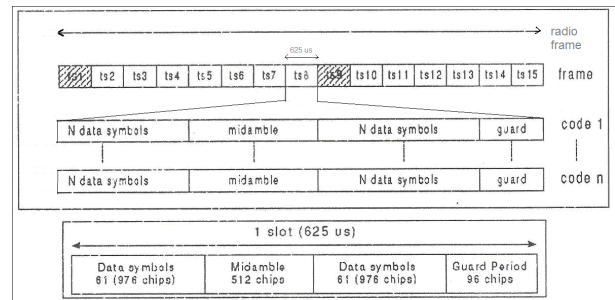
- Frame Rate, jumlah gambar yang ditampilkan per detik pada video. Minimum frame yang dibutuhkan untuk mendapatkan ilusi gambar yang bergerak adalah sekitar 15 fps.
- Color Depth, Jumlah bit pada setiap pixel yang menunjukkan informasi warna. Misalnya: 24 bit menunjukkan 16.7 juta warna, 16 bit sekitar 65,535 warna, atau 8 bit hanya 256 warna.
- Frame Resolution, biasanya ditunjukkan dengan width dan height pada pixel. Misalnya: full screen PC mempunyai frame resolution sebesar 640x480.

Jika kita menggunakan kecepatan pengiriman kecepatan pengiriman frame per second (fps) video yang rendah, akan memakan bandwidth yang lebih rendah dibandingkan frame per second (fps) yang tinggi. Video yang cukup baik biasanya dikirim dengan kecepatan frame per second (fps) sekitar 30 fps.

TDD (Time Division Duplex)

TDD dapat bekerja pada frekuensi *uplink* dan *downlink* yang sama tetapi dialokasikan ke dalam slot-slot waktu yang berbeda dan saling dipisahkan oleh selang waktu (*guard time*).

Kanal fisik TDD terdiri dari frekuensi pembawa, kode akses, slot waktu. Satu *frame* pada TDD memiliki durasi waktu 625 μ s, dan setiap slot waktu mempunyai 2560 chip dengan kecepatan 4096 Mcps. Setiap slot waktu mempunyai struktur dan tipe data *burst* yang terdiri dari *n* data simbol, *midamble*, dan selang waktu (*guard time*) seperti yang ditunjukkan gambar 6.



Gambar 6. Konfigurasi Kanal Fisik TDD
(Sumber : 3GPP, TS 25.211, 2001)^[13]

Parameter Performansi TDD – LTE pada Transmisi Video Streaming

• Delay End to End Video Streaming

Delay end to end video streaming merupakan jumlah *delay* CODEC aplikasi video *streaming* dengan *delay* jaringan dimana aplikasi tersebut berjalan. *Delay* CODEC video *streaming* terdiri dari *delay* CODEC audio dan video untuk menghasilkan satu paket video *streaming*. Besarnya *delay* CODEC video *streaming* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_{\text{CODEC}} = t_a + t_v \quad (2-1)$$

dengan:

$$t_{\text{CODEC}} = \text{delay CODEC video streaming (s)}$$

$$t_a = \text{delay CODEC audio (s)}$$

$$t_v = \text{delay CODEC video (s)}$$

Sehingga, total *delay end-to-end video streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode duplex TDD dapat dihitung dengan persamaan:

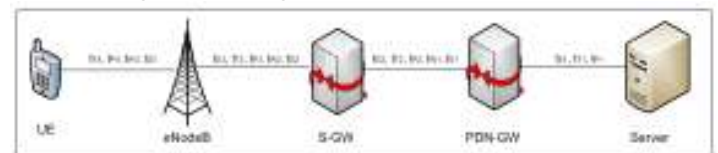
$$t_{\text{end-to-end}} = t_{\text{CODEC}} + t_{\text{net}} \quad (2-2)$$

dengan:

$$t_{\text{total}} = \text{delay end-to-end video streaming (s)}$$

$$t_{\text{net}} = \text{delay jaringan LTE (s)}$$

• Delay End to End Video Streaming pada Jaringan LTE dengan Mode Akses TDD



Gambar 7. Delay End to End pada LTE
(Sumber: Hasil analisis)

Delay End-to-End berdasarkan Gambar dihitung dengan menggunakan persamaan:

Performansi Video *Streaming* Pada Jaringan Lte (*Long Term Evolution*) Menggunakan Mode *Duplex Tdd* (*Time Division Duplex*)

$$t_{TOT} = t_E + t_D + t_T + t_P + t_W \quad (2-3)$$

dimana:

t_{TOT} = *delay end-to-end* pada jaringan LTE (s)
 t_E = *delay enkapsulasi* (s)
 t_D = *delay dekapsulasi* (s)
 t_T = *delay transmisi* (s)
 t_P = *delay propagasi* (s)
 t_W = *delay antrian* (s)

• **Probabilitas *Packet Loss* Video *Streaming* pada Jaringan LTE dengan Mode Akses TDD**

Packet loss adalah jumlah paket yang hilang dibandingkan dengan paket yang diterima benar. Probabilitas *packet loss* total penerapan aplikasi *video streaming* pada suatu jaringan, ditentukan berdasarkan pada probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE dan server. Probabilitas *packet loss* *video streaming* yang berbasis protokol UDP/IP seperti pada persamaan

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{VS})] \quad (2-4)$$

dimana:

ρ_{tot} = probabilitas *packet loss* *video streaming*
 $\rho_{network}$ = probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE
 ρ_{VS} = probabilitas *packet loss* pada server

Proporsitas *packet loss* ditentukan dengan Persamaan 2-56 (Wijaya Hendra A, 2005 : 34)^[4] :

$$packet\ loss(\%) = \frac{N_{packet\ loss}}{N_{paket} + N_{packet\ loss}} \times 100\% \quad (2-5)$$

dengan :

$N_{packet\ loss}$ = jumlah paket yang hilang
 N_{paket} = jumlah paket yang diterima dengan benar

Protokol UDP/IP sendiri tidak dapat memberikan jaminan bahwa paket akan dikirimkan semua sesuai dengan permintaan. *Packet loss* yang terjadi pada server di *layer transport* dan *layer network* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho_{VS} = P_{VS-size} \times \rho_b \quad (2-6)$$

dimana:

ρ_{VS} = probabilitas *packet loss* pada server
 ρ_b = BER (10^{-8})
 $P_{VS-size}$ = panjang paket data *video streaming* (byte)

Probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE dapat diperoleh dari probabilitas bit error rate (BER) di jaringan tersebut, sesuai dengan persamaan:

$$\rho_{LTE} = P_{VStot} \times \rho_{b-LTE} \quad (2-7)$$

dimana:

ρ_{VS} = probabilitas *packet loss* pada jaringan LTE
 ρ_b = BER LTE pada saat transmisi (tanpa satuan)
 $P_{VS-size}$ = panjang paket *video streaming* yang ditransmisikan pada jaringan LTE (byte)

BER (*bit error rate*) atau dengan sebutan lain probabilitas *error* bit merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai

perbandingan jumlah bit *error* terhadap total bit yang diterima. Nilai BER untuk modulasi QPSK pada jaringan LTE dapat dihitung dengan persamaan (Andrea Goldsmith, 2005:167)^[5]:

$$P_b = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_o}}\right) \quad (2-8)$$

dengan:

P_b = BER LTE pada saat transmisi (tanpa satuan)

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

Nilai Q dapat diperoleh dengan distribusi Gaussian menggunakan persamaan (John G. Proakis, 2000: 40)^[6]:

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (2-9)$$

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \quad (2-10)$$

dengan:

erfc : *error function complementary*

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

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-11)$$

dengan :

PG = *processing gain* (dB)

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan noise (SNR) yang dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999)^[7]:

$$SNR_{(dB)} = P_r (dBm) - N_o (dBm) \quad (2-12)$$

dengan :

SNR = *signal to noise ratio* (dB)
 P_r = daya yang diterima (dBm)
 N = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya noise dinyatakan dalam persamaan berikut (E. Glatz, 1999)^[7]:

$$N_{(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \quad (2-13)$$

dengan :

N = daya *noise* saluran transmisi (dBm)
 k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
 T = suhu *absolute* (300° K)
 NF = *noise figure* (11,2 dB)
 B = *bandwidth* (Hz)

Daya yang diterima oleh penerima sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Sehingga daya yang diterima dapat dinyatakan dalam persamaan berikut (Robert G. Winch, 1998: 184)^[8] :

$$P_r (dBm) = P_t - FSL - L_t - L_r + G_r + G_t \quad (2-14)$$

Sedangkan nilai FSL (*Free Space Loss*) dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut (Andrea Goldsmith, 2005: 49)^[9]

$$FSL = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2-15)$$

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)
- λ : Panjang gelombang (m)
- f : Frekuensi kerja sistem (Hz)
- d : jarak antara pemancar dan penerima (m)
- c : kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

• **Throughput**

Throughput adalah kecepatan maksimum jaringan saat tidak ada data yang hilang pada pentransmisiannya atau banyaknya data yang diterima dengan benar oleh *user*. *Throughput* yang mungkin didapat dengan memperhatikan probabilitas paket diterima dalam keadaan salah dapat dihitung dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129)^[9]

$$T = \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_l [1 + (\alpha - 1)\rho_{tot}]} \quad (2-16)$$

dimana:

- T = *throughput* (bps)
- t_v = waktu rata-rata transmisi untuk mengirimkan paket yang benar (s)
- t_l = waktu transmisi sebuah paket data atau *frame* (s)
- ρ_{tot} = probabilitas frame yang salah
- α = konstanta

Sedangkan parameter α dapat dihitung dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129)^[9]:

$$t_T = t_l + t_{out} \quad (2-17)$$

dan:

$$\alpha = \frac{t_T}{t_l} = 1 + \frac{t_{out}}{t_l} \quad (2-18)$$

dengan:

- t_T = waktu total yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)
 - t_l = waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah paket (s)
 - t_{out} = waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* atau interval waktu antara pengiriman sebuah paket dengan pengiriman paket selanjutnya/ *fixed timed out interval* (s)
- Waktu transmisi *frame* (t_l) ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:132)^[9]:

$$t_l = \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \quad (2-19)$$

dengan:

- PL_{frame} = *payload frame* (byte)
- H_{frame} = *header frame* (byte)
- C_{trans} = kecepatan transmisi node (bps)

Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Mischa Schwartz, 1987:129)^[9]:

$$t_{out} = 2t_p + 2t_l + t_{pro} \quad (2-20)$$

dengan:

- t_{out} = waktu yang dibutuhkan untuk menerima *acknowledge/ fixed timed out interval* (s)
 - t_p = *delay* propagasi untuk satu *frame* (s)
 - t_{pro} = *delay* proses total untuk satu *frame* (s)
- Nilai dari t_{pro} dan t_p dapat dihitung sesuai

dengan persamaan:

$$t_{pro} = \frac{t_{proc}}{N_{frame}} + \frac{t_{wtotal}}{N_{frame}} \quad (2-21)$$

$$t_p = \frac{t_{ptotal}}{N_{frame}} \quad (2-22)$$

dengan:

- t_{proc} = *delay* proses (s)
- t_{wtotal} = *delay* antrian total (s)
- t_{ptotal} = *delay* propagasi total (s)
- N_{frames} = jumlah frame

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa performansi dilakukan pada jarak antara eNodeB ke UE (*User Equipment*) terhadap parameter video streaming dengan faktor utilisasi yang bervariasi meliputi *delay end to end*, *packet loss*, dan *throughput*. Spesifikasi LTE pada sisi *downlink* menggunakan *air interface* OFDMA. Teknik modulasi yang digunakan adalah jenis QPSK, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 2 *bit*. Maksimum *data rate* dari UE adalah 3,6 Mbps. Bandwidth kanal sebesar 10 Mhz, jumlah *subcarrier* yang digunakan sesuai *bandwidth* kanal yang digunakan yaitu sebesar 1024.

3.1 Analisis Delay End to End Video Streaming pada Jaringan LTE menggunakan Mode Duplex TDD

Analisis performansi perhitungan *delay end to end* meliputi *delay* CODEC dan *delay* pada jaringan LTE. *Delay* CODEC dipengaruhi oleh bit rate CODEC yang digunakan dalam video *streaming*, yaitu *delay* audio dan video. Sedangkan *delay* jaringan LTE meliputi *delay* proses yang dipengaruhi oleh kecepatan pemrosesan pada pengirim dan penerima,

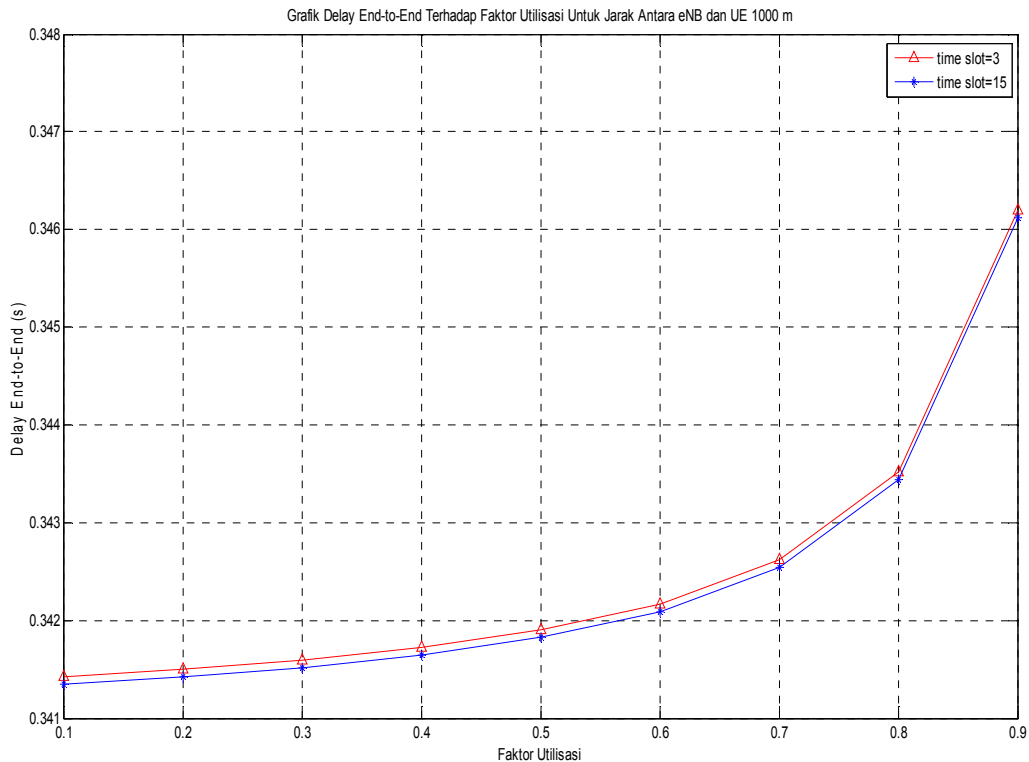
Performansi Video Streaming Pada Jaringan Lte (*Long Term Evolution*) Menggunakan Mode *Duplex* Tdd (*Time Division Duplex*)

delay transmisi yang dipengaruhi oleh jumlah *time slot* yang digunakan, *delay* propagasi dipengaruhi jarak antar *node* dan media propagasi yang digunakan, serta *delay* antrian yang dipengaruhi oleh faktor utilisasi pada jaringan.

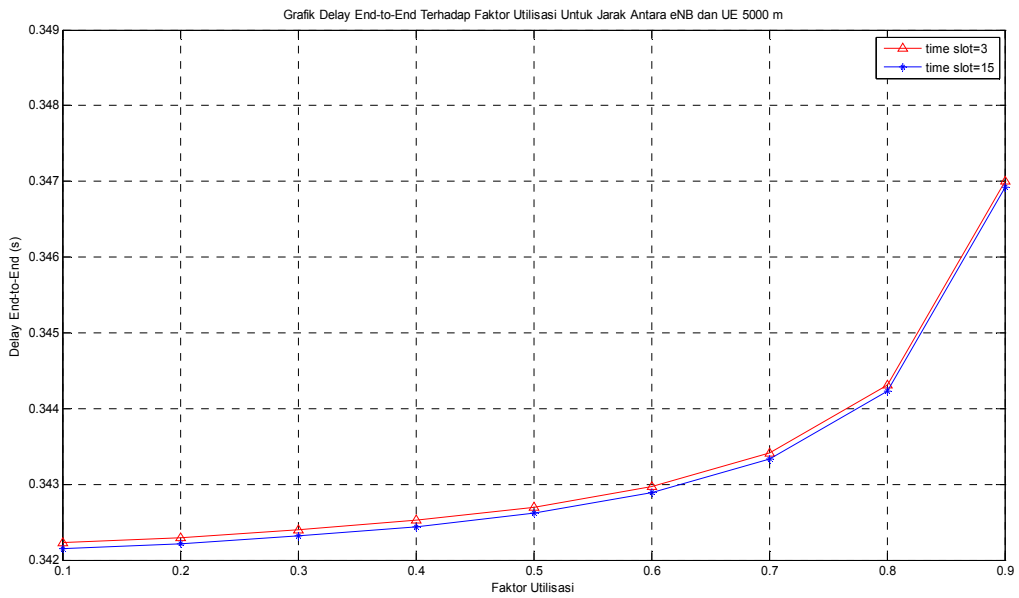
Faktor utilisasi menunjukkan besarnya pemakaian jaringan oleh *user*. Besarnya faktor utilitas mempengaruhi waktu pemrosesan paket di setiap *node*. Hal ini mengakibatkan nilai *delay* antrian menjadi lebih besar sehingga *delay end to end* menjadi lebih besar. Banyaknya jumlah *time slot* menunjukkan besarnya nilai *radio frame* antara eNodeB dan UE. Semakin banyak jumlah *time slot* maka nilai *radio frame* antara eNodeB dan UE akan

semakin tinggi. Sehingga semakin banyak jumlah *time slot* maka *delay* transmisi yang terjadi pada jaringan LTE akan semakin kecil.

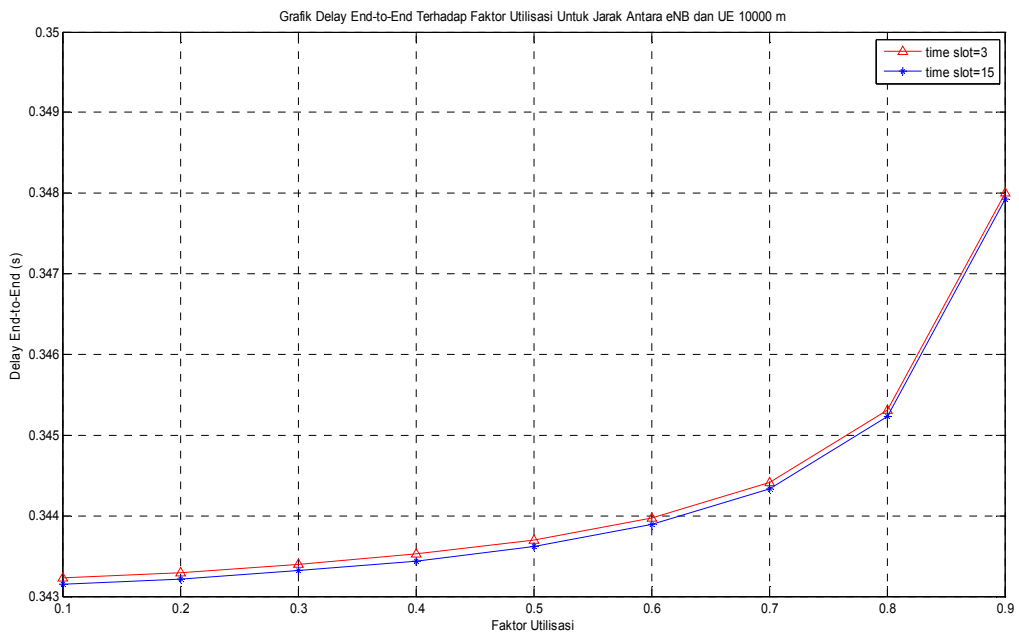
Besarnya *delay end-to-end* video streaming jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD terkecil adalah 0,3413 s, saat menggunakan *time slot* 15 dengan faktor utilisasi sebesar 0,1 dan jarak dari eNodeB ke UE 1000 m. Sedangkan besarnya *delay end-to-end* terbesar adalah 0,3480 s, yang terjadi pada saat menggunakan *time slot* 3 dengan faktor utilitas sebesar 0,9 dan jarak dari eNodeB ke UE 10000 m.



Gambar 8. Hubungan antara Faktor Utilisasi terhadap *Delay End to End* Jaringan LTE yang Menggunakan Mode *Duplex* TDD dengan Jarak eNodeB ke UE 1000 m
(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 9. Hubungan antara Faktor Utilisasi terhadap *Delay End to End* Jaringan LTE yang Menggunakan Mode *Duplex TDD* dengan Jarak eNodeB ke UE 5000 m
(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 10. Hubungan antara Faktor Utilisasi terhadap *Delay End to End* Jaringan LTE yang Menggunakan Mode *Duplex TDD* dengan Jarak eNodeB ke UE 10000 m
(Sumber: Hasil Perhitungan)

3.2 Analisis Packet Loss Video Streaming pada Jaringan LTE menggunakan Mode Duplex TDD

Analisis probabilitas *packet loss* video streaming meliputi probabilitas *packet loss* pada server yang terhubung melalui internet dan pada jaringan LTE yang dipengaruhi oleh SNR, Eb/No, serta jenis modulasi yang digunakan. Probabilitas *packet loss* pada server didapatkan sesuai dengan persamaan 2-6

$$P_{VS} = P_{VS-size} \times P_b$$

$$= 1,9136 \cdot 10^{-4}$$

Probabilitas BER (Pb) pada jaringan LTE dengan menggunakan modulasi QPSK dapat dihitung dengan persamaan 2-8:

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

Parameter yang diperlukan dalam perhitungan SNR yaitu:

- PG = 12 dB
- NF = 7 dB
- P_t = 46 dBm
- L_t = 2 dB
- L_r = 0 dB
- G_t = 18 dBi
- G_r = 0 dBi

Besar daya noise dapat diperoleh menggunakan persamaan 2-13 sebagai berikut:

$$N_{o(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF$$

$$= 10 \log (1,381 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log (10 \times 10^6) + 7$$

$$= -203,827 + 70 + 7$$

$$= -126,827 \text{ dBm}$$

Selanjutnya, nilai daya yang diterima menggunakan adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8}{2,3 \cdot 10^9}$$

$$= 0,13 \text{ m}$$

Maka akan diperoleh nilai *free space loss* (FSL) sebagai berikut :

$$FSL = 20 \log \left(\frac{4 \times 3,14 \times 1000}{0,13} \right)$$

$$= 99,7009 \text{ dB}$$

Selanjutnya, nilai daya yang diterima UE sesuai dengan persamaan 2-14 adalah sebagai berikut:

$$P_r (dBm) = P_t - FSL - L_t - L_r + G_r + G_t$$

$$P_r (dBm) = 46 - 99,7009 - 2 - 0 + 0 + 18$$

$$= -37,7009 \text{ dBm}$$

Sehingga, besar SNR dapat diperoleh sesuai dengan persamaan 2-12 adalah sebagai berikut:

$$SNR_{(dB)} = P_r (dBm) - N_o (dBm)$$

$$= -37,7009 - (-126,827)$$

$$= 89,1261 \text{ dB}$$

Besar Eb/No dapat diperoleh sesuai dengan persamaan 2-11 adalah sebagai berikut:

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

$$= 89,1261 - 10 \log \left(\frac{10 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^6} \right)$$

$$= 84,6891 \text{ dB}$$

Perhitungan probabilitas BER pada jaringan LTE dengan modulasi QPSK dapat diperoleh sesuai dengan persamaan 2-8 adalah sebagai berikut:

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

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_o}}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{2 \times 84,6891}\right)$$

$$= 1,1562 \cdot 10^{-18}$$

Sehingga, besar probabilitas *packet loss* pada Jaringan LTE dapat dihitung sesuai dengan persamaan 2-7 adalah sebagai berikut:

$$P_{LTE} = P_{Vstot} \times P_{b-LTE}$$

$$= 22608 \times 1,1562 \cdot 10^{-18} = 1,8747 \cdot 10^{-14}$$

Probabilitas *packet loss* untuk transmisi video *streaming* pada jaringan LTE dengan mode akses TDD untuk jarak eNodeB ke UE 1000 m dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.4

$$P_{tot} = 1 - [(1 - P_{LTE})(1 - P_{VS})]$$

$$= 1 - [(1 - 1,8747 \cdot 10^{-14})(1 - 1,9136 \cdot 10^{-4})]$$

$$= 1,91364 \cdot 10^{-4}$$

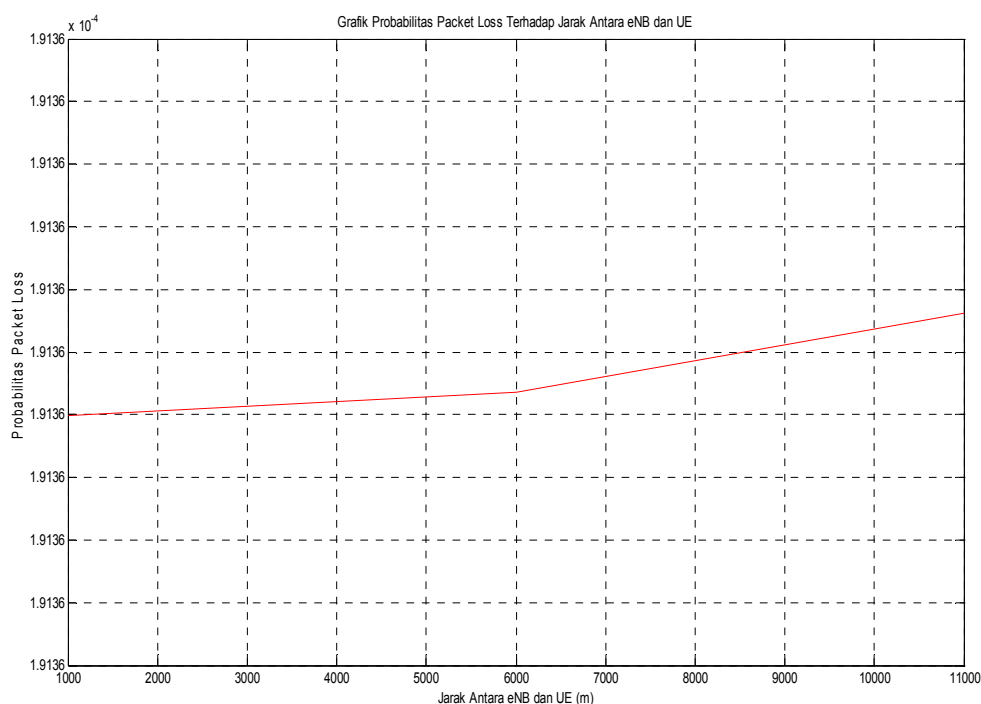
Prosentase *packet loss* dihitung menggunakan persamaan 2-5 diperoleh :

$$packet \ loss(\%) = \frac{N_{packet \ loss}}{N_{paket} + N_{packet \ loss}} \times 100 \%$$

$$= \frac{3}{22608} \times 100\%$$

$$= 0,0133\%$$

Performansi Video *Streaming* Pada Jaringan Lte (*Long Term Evolution*) Menggunakan Mode *Duplex* Tdd (*Time Division Duplex*)



Gambar 11. Hubungan antara Jarak eNodeB ke UE terhadap Probabilitas *Packet Loss* Jaringan LTE yang Menggunakan Mode *Duplex TDD*
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Kualitas sinyal terima yang baik didapatkan jika nilai SNR dan E_b/N_0 semakin besar, sehingga nilai probabilitas *packet loss* didapatkan semakin kecil. Jarak antara eNodeB dan UE mempengaruhi besarnya probabilitas *packet loss* yang dihasilkan. Semakin besar jarak maka probabilitas *packet loss* akan semakin besar. Nilai *packet loss* terbesar adalah $1,913654 \times 10^{-4}$ pada jarak eNodeB ke UE 10000 m, sedangkan nilai *packet loss* terkecil adalah $1,913640 \times 10^{-4}$ pada jarak eNodeB ke UE 1000 m. Besar probabilitas *packet loss* yang didapatkan masih dapat diterima karena tidak melebihi 1% (ITU.T G.1010)

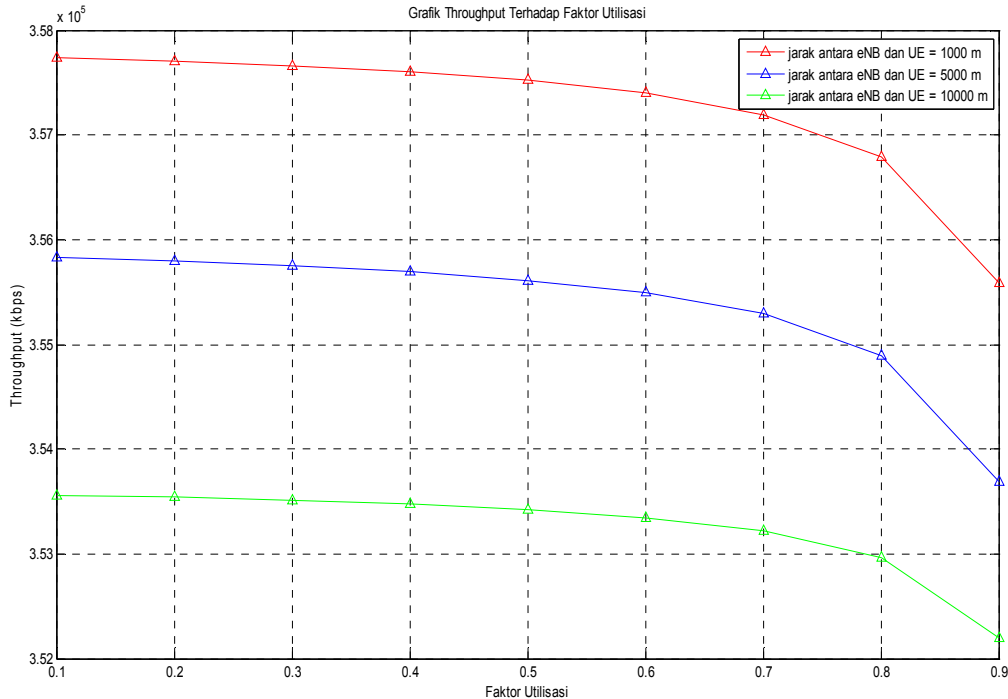
3.3 Analisis *Throughput Video Streaming* pada Jaringan LTE menggunakan Mode *Duplex TDD*

Throughput merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah paket yang

diterima dalam keadaan baik terhadap waktu total transmisi yang dibutuhkan dari *server* hingga ke *user*. Analisis perhitungan *throughput* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah hubungan antara *server* hingga ke UE. Besarnya *throughput video streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex TDD* dipengaruhi oleh faktor utilitasi serta jarak antara eNodeB dan UE.

Besar faktor utilitasi menunjukkan besar pemakaian jaringan oleh user. Besarnya faktor utilitas yang semakin besar akan mempengaruhi waktu pemrosesan paket data. Jarak antara eNodeB dan UE mempengaruhi besarnya *throughput*. Semakin besar jarak maka *throughput* yang dihasilkan semakin kecil. Besar *throughput* terbesar adalah 357740 kbps, terjadi saat jarak antara eNodeB dan UE adalah 1000 m dengan faktor utilitasi sebesar 0,1. Sedangkan besar *throughput* terkecil adalah 352200 kbps terjadi saat jarak antara eNodeB dan UE adalah 10000 m dengan faktor utilitasi sebesar 0,9.

Performansi Video *Streaming* Pada Jaringan Lte (*Long Term Evolution*) Menggunakan Mode *Duplex* Tdd (*Time Division Duplex*)



Gambar 12. Hubungan antara Faktor Utilisasi terhadap *Throughput* Jaringan LTE dengan Jarak eNodeB ke UE yang yang Berbeda
(Sumber: Hasil Perhitungan)

IV. PENUTUP
Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis tentang performansi video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jarak antara eNodeB dengan UE serta faktor utilisasi berpengaruh terhadap *delay end to end*, *packet loss*, serta *throughput* pada transmisi video *streaming*.
2. Berdasarkan hasil analisis *delay end to end* video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD, dapat disimpulkan bahwa:
 - a. Besarnya *delay end to end* video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD terkecil adalah 0,3413 s, dengan *time slot* 15 dan faktor utilisasi sebesar 0,1 serta jarak dari eNodeB ke UE 1000 m. Sedangkan besarnya *delay end to end* terbesar adalah 0,3480 s, terjadi saat menggunakan *time slot* 3. Faktor utilisasinya sebesar 0,9 dan jarak dari eNodeB ke UE 10000 m. Besarnya nilai *delay end to end* video *streaming* jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD

masih memenuhi standard ITU.T G.1010 untuk layanan video *streaming*, yaitu < 10 s.

- b. Jarak antara eNodeB dengan UE, jumlah *time slot* yang digunakan, serta faktor utilisasi mempengaruhi besarnya *delay end to end* video *streaming*. Pada panjang paket data yang sama, semakin besar jarak antara eNodeB dengan UE maka semakin besar nilai *delay end to end*. Begitu juga dengan faktor utilisasi, semakin besar faktor utilisasi maka semakin besar nilai *delay end to end*. Sedangkan semakin besar jumlah *time slot* yang digunakan maka semakin kecil nilai *delay end to end*.
3. Berdasarkan hasil analisis probabilitas *packet loss* video *streaming* pada jaringan LTE menggunakan mode *duplex* TDD, dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Besar probabilitas *packet loss* yang didapatkan masih dapat diterima karena tidak melebihi 1% (ITU.T G.1010)
 - b. Analisis probabilitas *packet loss* video *streaming* meliputi probabilitas *packet loss* pada server yang terhubung melalui internet dan dipengaruhi oleh SNR, Eb/No, serta jenis modulasi yang digunakan.

- c. Kualitas sinyal terima yang baik didapatkan jika nilai SNR dan Eb/No yang semakin besar sehingga probabilitas *packet loss* yang didapatkan akan semakin kecil.
 - d. Jarak antara eNodeB dan UE mempengaruhi besarnya probabilitas *packet loss* yang dihasilkan. Semakin besar jarak maka probabilitas *packet loss* yang dihasilkan akan semakin besar.
4. Berdasarkan hasil analisis *throughput* video *streaming* pada jaringan LTE yang menggunakan mode *duplex* TDD, dapat disimpulkan bahwa:
- a. Analisis besarnya *throughput* video *streaming* dipengaruhi oleh faktor utilitasi serta jarak antara eNodeB dan UE.
 - b. Semakin besar jarak maka *throughput* yang dihasilkan semakin kecil. Begitu juga dengan faktor utilitasi, semakin besar faktor utilitasi maka *throughput* yang dihasilkan semakin kecil.
 - c. Besar *throughput* terbesar adalah 357740 kbps, terjadi saat jarak antara eNodeB dan UE adalah 1000 m dengan faktor utilitasi sebesar 0,1. Sedangkan besar *throughput* terkecil adalah 352200 kbps, terjadi saat jarak antara eNodeB dan UE adalah 10000 m dengan faktor utilitasi sebesar 0,9.

Saran

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

1. Menganalisis performansi video *streaming* pada jaringan LTE (*Long Term Evolution*) dengan menggunakan mode *duplex* FDD (*Frequency Division Duplex*) sehingga dapat mengetahui mode *duplex* mana yang baik digunakan pada jaringan LTE untuk transmisi video *streaming*.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan membahas dan mempertimbangkan *frame rate*, *frame resolution*, dan *color depth* pada aplikasi video *streaming*.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. K. Fazel, S. Kaiser. 2008. *Multicarrier and Spread Spectrum Systems*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
2. Sesia, Stefania, Issam Toufik, Matthew Baker. 2009. *LTE – The UMTS Long Term Evolution*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
3. MacAulay, Alex, Boris Felts, Yuval Fisher,. 1998. *Streaming White Paper IP Streaming of MPEG-4 Native RTP vs MPEG-2 Transport Stream*.
4. Wijaya, Hendra. 2004. *Belajar Sendiri Cisco Router Edisi Baru untuk Mengambil Sertifikat CCNA*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
5. Goldsmith, Andrea. 2005. *Wireless Communications*. USA : Cambridge University.
6. Proakis, John G. 2000. *Digital Communications 4th New Edition*. Mc Graw-Hill Higher Education.
7. Glatz, Eduard. 1999. *Self-Organized Topology Construction and Channel Allocation Radio Routers in Disaster Recovery*. Switzerland : University of Applied Sciences Rapperswil (HSR).
8. Winch, Robert G. 1998. *Telecommunication Transmission Systems*. Mc Graw Hill International Edition.
9. Schwartz, Mischa. 1987. *Computer-Communication Network Design and Analysis*. USA : Addison Wesley Pub.
10. Holma, Harri, Antti Toskala. 2009. *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Ebook*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
11. Ahmad, Ashraf M.A., Ismail Khalil Ibrahim. 2009. *Multimedia Transcoding in Mobile and Wireless Network*. New York : Information Science Reference.
12. Richardson, Iain E. G. 2003. *H.264 and MPEG-4 Video Compression Video Coding for Next Generation Multimedia*. USA : John Wiley & Sons Inc.
13. <http://www.3gpp.org/ftp/spees/2000-12/R1999/22.series/>. Diakses pada tanggal 26 Februari 2011.