

Perbaikan Performansi *Video Call* Menggunakan Jaringan LTE

Video Call Performance Improvement Using 4G LTE Network

Arnold Julyus S¹ dan Budihardjo Gozali.²

¹Network Maintenance Engineer PT. Indosat, Jakarta. Email: arnoldjs@yahoo.com

²Prodi Teknik Elektro, FTI-ISTN, Jakarta

Abstrak---Teknologi 4G LTE (*Long Terms Evolution*) merupakan standar terbaru teknologi jaringan bergerak, sebagai perkembangan dari GSM (*Global System for Mobile Communication*), UMTS (*Universal Mobile Telephone Standard*) dan HSDPA (*High Speed Downling Packet Acces*). Komunikasi data yang menggunakan teknologi 4G LTE memungkinkan kecepatan data mencapai 100 Mbps. Makalah ini membahas hasil penelitian yang bertujuan untuk memperbaiki performansi QoS (*Quality of Service*) layanan video call yang kurang baik pada jaringan 3G Indosat. Sampel penelitian adalah perbaikan performansi layanan video call pada jaringan 3G indosat di Mall Kuningan City dengan merubahnya menjadi jaringan 4G LTE. Pelaksanaan penelitian menggunakan aplikasi video call yang berbasis IP dengan teknologi pear to pear melalui internet yaitu Skype. Pengukuran dilakukan dengan displayed data yang menggunakan software wireshark. Parameter QoS yang dianalisa berupa delay, packet loss dan throughput. Dengan durasi yang telah ditentukan diperoleh perbaikan penurunan delay rata-rata sebesar 95 %, penurunan Packet Loss rata-rata 100 %, dan throughput meningkat rata-rata sebesar 100 %.

Kata kunci---4G LTE, Skype , *Quality of Service (QOS)*, Wireshark

Abstract---The 4G technology LTE (*Long Terms Evolution*) is the latest standard mobile network technology, as the development of the GSM (*Global System for Mobile Communications*), UMTS (*Universal Mobile Telephone Standard*) and HSDPA (*High Speed Packet Access Downling*). Data communication system using the 4G LTE can achieve the data speed of 100 Mbps. This paper describes the research result that aims to improve the QoS (*Quality of Service*) of video call poorly service in the Indosat 3G network. The research sample is the performance improvement of the video call service in 3G network Kuningan City Mall changing into the 4G LTE network. The research uses the application of IP-based video calls with pear to pear technology via Skype Internet.. Measurements made with the displayed data using wireshark software. Parameters QoS are analyzed in the form of delay, packet loss and throughput. With determined duration, the improvements are obtained for the delay reduction average of 95%, the packet loss decrease average of 100%, and the throughput increase average of 100%.

Keywords---4G LTE, Skype, *Quality of Service (QOS)*, Wireshark

Mbps dan sama sekali tidak lagi menggunakan metode penyambungan *Circuit Switched (CS)*

1. PENDAHULUAN

Teknologi 3G (*third generation*) merupakan salah satu teknologi yang mampu melayani komunikasi data seperti *video call* dengan kecepatan tinggi yaitu mencapai 2 Mbps, tetapi dengan seiring meningkatnya kebutuhan user yang pesat dalam melakukan *video call* secara *realtime*, jaringan 3G belum mampu memberikan kualitas yang baik karena masih memiliki *delay* yang besar dan kualitas gambar yang kurang baik.

Guna menjawab kebutuhan komunikasi data yang kian tinggi tersebut, *International Telecommunication Union of Radio (ITU-R)* mengeluarkan teknologi generasi keempat (4G) yaitu *long terms evolution (LTE)* yang merupakan keluaran dari 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), yang memungkinkan kecepatan data mencapai 100

melainkan *Protocol Internet (IP) Packet Switched (PS)*. Dalam makalah ini dibahas hasil penelitian tentang perbaikan performansi *Video Call* menggunakan Jaringan 4G LTE. Studi kasus dilakukan pada Jaringan 3G Mall Kuningan City, Jakarta. Terlebih dahulu Jaringan 3G tersebut diubah menjadi Jaringan 4G LTE, dan setelah diketahui Jaringan 4G LTE dapat dioperasikan, selanjutnya dilakukan pengukuran parameter QoS sistem video callnya.

2. METODA

2.1 Teknologi 4G LTE

Teknologi 4G LTE mampu memperbaiki performansi komunikasi data *video call*, dikarenakan beberapa hal sebagai berikut:

Menggunakan Teknologi MIMO (Multiple Input Multiple Output) yang dapat mengaplikasikan 4-8 *Transmitter* dan 4-8 *Receiver*, dan mengurangi pengaruh *multipath fading* sehingga bit-bit informasi yang dikirimkan melalui transmitter kemungkinan rusak ataupun terpantul, hampir tidak ada. Teknologi MIMO ini mampu meningkatkan *throughput* data dan *range* (jangkauan) komunikasi tanpa bandwidth frekuensi dan daya pancar tambahan. Peningkatan itu dicapai dengan efisiensi *spektral* yang lebih tinggi (bits/detik/Hz) dan reliabilitas link dengan *diversitas*.

Menggunakan Teknologi Spatial Diversity atau Spatial Multiplexing yang dapat memperbaiki performansi Jaringan: Spatial Diversity mengirimkan data yang sama ke masing-masing Antena Transmit, sedangkan Spatial Multiplexing mengirimkan aliran data yang berbeda-beda pada masing-masing Antena Transmit; Spatial Diversity digunakan pada coverage area yang mempunyai kondisi CINR (*Carrier to interference + Noise Ratio*) yang buruk, sedangkan Spatial Multiplexing digunakan di cakupan area yang dengan kondisi CINR yang baik.

Dari kedua konfigurasi yang telah dijelaskan diatas konfigurasi 4G LTE yang digunakan di Mall Kuningan City adalah Spatial Multiplexing.

Menggunakan system Physical Cell identity (PCI) yaitu cara untuk mengidentifikasi fisik cell pada Jaringan. Setiap cell melakukan *broadcast* penandaan identifikasi berupa PCI yang digunakan oleh perangkat untuk mengidentifikasi cell (melibatkan frekuensi dan waktu). Jumlah PCI pada LTE adalah sejumlah 504 buah, yang terdiri dari 168 SSS ID group dan 3 PSS ID per groupnya. Dalam penggunaannya, PCI digunakan untuk membedakan sinyal radio dari cell yang berbeda, artinya PCI itu memiliki keunikan dalam cell cakupannya. Cell Identity dikelompokkan dalam *cell search procedure*, ID dari kelompok cell ditentukan melalui SCCH, kemudian ID sebuah cell ditentukan melalui PSCH. Fungsi keseluruhan dari PCI dalam sistem LTE sama seperti SC (Scrambling Code) di sistem 3G, yaitu tiap-tiap user dibedakan berdasarkan code yang unik. Hanya saja perbedaan antara scrambling code dan PCI: Scrambling Code kisarannya dari 0-511 sedangkan PCI dari 0-503. Selain itu, protokol tersebut tidak memiliki persyaratan khusus dalam perencanaan scrambling code.

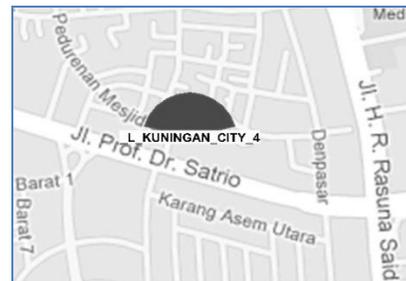
2.2 Tempat Pengujian

Pengujian dilakukan di Mall Kuningan City, dan penentuan titik posisi berlangsungnya *video call* adalah di *foodcourt* lantai 3.

Gambar 1. adalah topologi bangunan Mall Kuningan City yang menjadi objek penelitian tepatnya di jalan Jl. Prof. Dr. Satrio Kav. 18, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Sedangkan Gambar 2 memperlihatkan site existing indoor Mall Kuningan City.



Gambar 1. Topologi Mall Kuningan City



Gambar 2. Lokasi site Mall Kuningan City

Tabel 1. adalah informasi site planning information dari site Kuningan City baik jaringan 3G Indosat maupun Jaringan 4G LTE provider Indosat yang dijadikan sebagai tolak ukur dan perbandingan kualitas jaringan untuk pengambilan sample data.

Tabel 1. Site Planning Information Provider Indosat

Cell Configuration Indosat		
Network Information	3G	4G
Node B ID /EnodeB ID	43138	45743
SC/PCI	479	447
UARFCN/EARFCN	10713	3600
ANTENA_TYPE	Indoor	Indoor
Lebar Bandwidth	10 Mhz	10 Mhz
Gain	2dBi	3dBi
Beamwidth	Omni	Omni
Polarization	Vertikal	Vertikal
Band Frequency	2100 Mhz	900 Mhz
Tx Power	20 dBm	20 dBm

2.3 Perangkat Pengujian

1. Perangkat Lunak Yang Digunakan

Perangkat lunak yang digunakan untuk pengujian adalah :

- Sistem Operasi Windows 7 64 bit yang digunakan sebagai OS dasar dari TEMS 14 dan Wireshark.
- TEMS 14 digunakan untuk mengambil data.
- Wireshark digunakan sebagai *Network Analyzer*.
- Mapinfo 11 digunakan untuk mengetahui informasi site.
- Skype digunakan untuk aplikasi video call.

2. Perangkat Keras Yang Digunakan

Perangkat keras yang digunakan untuk pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perangkat Keras

Adapun spesifikasi peralatan yang digunakan untuk pengambilan data adalah:

- satu buah Laptop Asus x450j.
- satu buah Dongle TEMS
- Satu buah Samsung S5 SM G901F

2.4 Lama Pengujian

Untuk mengetahui hasil perbaikan performansi dari teknologi jaringan 4G LTE Indosat dibutuhkan tolak ukur pengujian pengambilan data *video call* yaitu durasi atau lamanya *video call* berlangsung. *Durasi video call* dibagi menjadi tiga bagian yaitu :

- 1 Menit
Tujuan untuk melakukan lama panggilan 60 detik ini adalah agar menguji kemampuan Accessibility dari jaringan 4G LTE. Accessibility adalah kemampuan user untuk memperoleh seberapa cepat proses servis dari jaringan tersebut (4G LTE).
- 3 Menit
Tujuan untuk melakukan lama panggilan 180 detik ini adalah agar menguji kemampuan Retainbilty dari jaringan 4G LTE. Retainbilty adalah kemampuan user dan sistem jaringan untuk mempertahankan layanan setelah layanan berhasil diperoleh sampai batas waktu layanan tersebut dihentikan oleh user.
- 5 Menit
Tujuan untuk melakukan lama panggilan 300 detik ini adalah agar menguji kemampuan Integrity dari jaringan 4G LTE. Integrity adalah derajat pengukuran disaat layanan berhasil diperoleh oleh user.

2.5 Proses Verifikasi

Pada tahap ini hal yang dilakukan adalah pengambilan data secara idle mode menggunakan TEMS dan diproses pada MAP INFO. Pengukuran parameter RSRP (*Reference Signal Received Power*) bertujuan untuk dapat menentukan tempat/titik dimana proses dilakukannya pengambilan data *video call* menggunakan jaringan 4G ini.

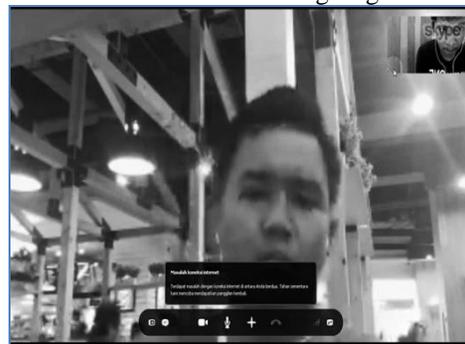
2.6 Kondisi QoS *video call* Jaringan 3G Mall Kuningan City.

Tabel 2. Memperlihatkan nilai QoS *video call* Jaringan 3G Mall Kuningan City, dan Gambar 4. Memperlihatkan kualitas gambar yang terjadi.

Tabel 2. Data *Video Call* Jaringan 3G Mall Kuningan City, durasi *Video Call* 180 detik

No.	Parameter	Nilai
1	RSCP (Received Signal Coverage Power)	-77,40 dBm
2.	throughput	31.009 Bps
3.	delay	55,188 ms
4.	Packet loss	6,10 %.

Kualitas Gambar adalah salah satu tolak ukur dari bagus atau tidak nya jaringan 3G yang dipakai saat komunikasi *video call* berlangsung.

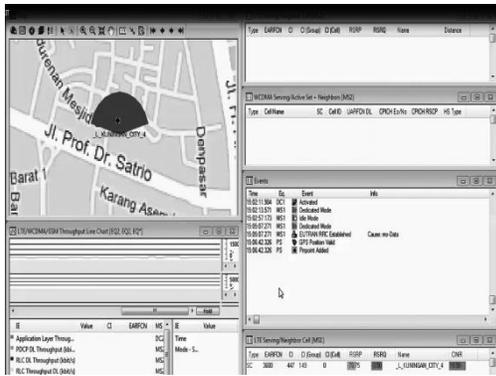


Gambar 4. Kualitas Gambar Jaringan 3G
Dari Gambar 4. dapat dilihat bahwa kualitas gambarnya tidak bagus dan menurut user experience sendiri jaringan 3G indosat sering terjadi masalah koneksi pada saat *video call* sedang berlangsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai RSRP 4G LTE Indosat

Gambar 5. menunjukkan hasil pengukuran nilai RSRP yang diterima oleh UE (Samsung S5) yang menggunakan TEMS pada titik hijau dengan nilai RSRP -78.75 dBm, dan ini adalah posisi yang bagus/baik untuk melakukan pengambilan data *video call* pada jaringan 4G LTE.

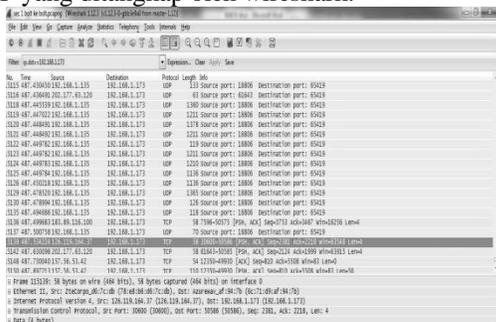


Gambar 5. Nilai RSRP 4G LTE Indosat

3.2 Hasil Perbaikan Performansi

Dalam proses pengambilan data digunakan koneksi internet dari jaringan modem dan samsung S5 untuk jaringan Indosat 4G LTE. Jenis komunikasi yang disimulasikan adalah *point to point*. Dalam proses pengujian *video call* dilakukan pengukuran untuk melihat perbaikan QoS (*Quality of Service*) untuk nilai *Delay*, *Packet Loss* dan *Throughput* dilakukan dengan menggunakan software wireshark, dimana wireshark tersebut dipasang pada jaringan Originating saja.

Pengujian *network performance* pada *video call* melalui skype ini dibaca oleh software wireshark, paket-paket data yang lewat ini lah yang dianalisa. Gambar 6. tampilan paket data UDP dan TCP yang ditangkap oleh wireshark.



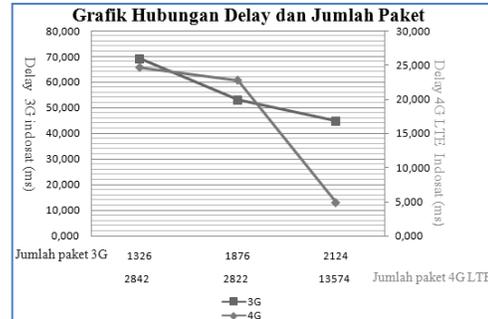
Gambar 6. Tampilan Paket Data Wireshark

3.2.1 Hasil Perbaikan Delay Menggunakan 4G LTE

Delay merupakan waktu tunda dalam suatu pemrosesan data untuk meneruskan paket dari pengirim ke penerima. Satuan yang dipakai adalah *milisecond* (ms). Proses pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali percobaan, dan berdasarkan *displayed* yang didapatkan melalui *software* wireshark, untuk durasi *video call* 60 detik, 180 detik, dan 300 detik, hasilnya diperlihatkan masing-masing dalam Gambar 7., Gambar 8., dan Gambar 9.

A. Delay Dengan Durasi Video Call 1 menit

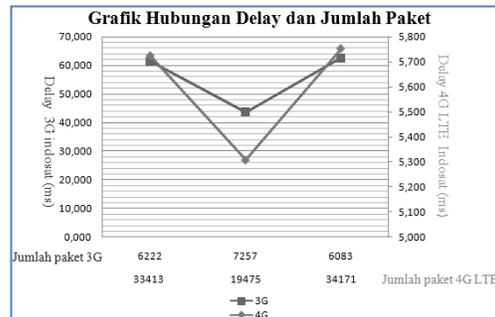
Dalam Gambar 7. diperlihatkan hasil pengukuran dan perbaikan *delay video call* pada jaringan 4G LTE Indosat yang telah diskenarioikan dengan rentan waktu 60 detik.



Gambar 7. Grafik Hubungan Delay dan Jumlah Paket 1 menit

Performansi delay yang menggunakan jaringan 4G LTE lebih baik, karena lebih kecil dari pada delay jaringan 3G. Hal ini disebabkan Jaringan 4G LTE mampu melewati rata-rata paket sebesar 6412,7 dengan kecepatan rata-rata dari paket awal sampai paket akhir yang cukup cepat yaitu 66,988 detik.

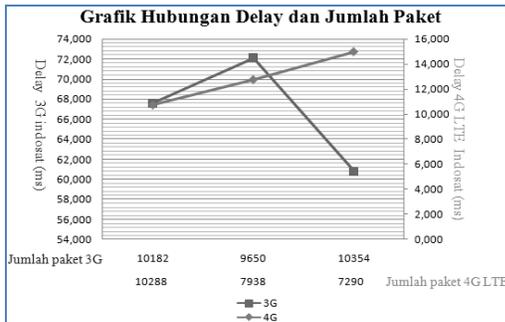
B. Delay Dengan Durasi Video Call 3 menit



Gambar 8. Grafik Hubungan Delay dan Jumlah Paket 3 menit

Dari Gambar 8. dapat dilihat hubungan antara jumlah paket dengan *delay* yang dihasilkan pada saat percobaan *video call* dengan durasi 3 menit. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G memiliki nilai *delay* yang besar yaitu 55,188 ms menjadi memiliki *delay* yang kecil yaitu 5,643 ms dengan Jaringan 4G. Hal ini disebabkan karena rata-rata paket yang mampu dilewatkan pada jaringan 4G Indosat lebih banyak yaitu sebesar 29019,7 dengan kecepatan rata-rata dari paket awal sampai paket akhir yang cepat yaitu sebesar 163,748 detik.

C. Delay Dengan Durasi Video Call 5 menit



Gambar 9. Grafik Hubungan *Delay* dan Jumlah Paket 5 menit

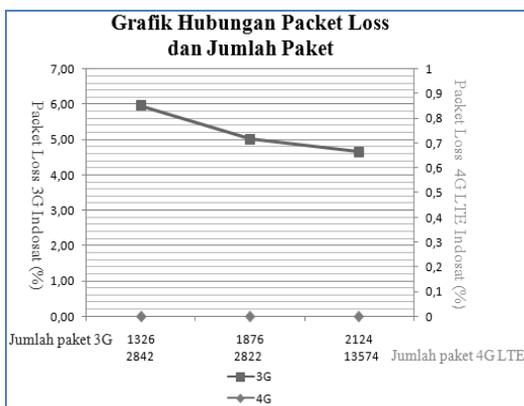
Dari Gambar 9. dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G Indosat memiliki nilai *delay* yang besar yaitu 66,705 ms menjadi memiliki *delay* 12,566 ms dengan Jaringan 4G LTE.

3.2.2 Hasil Perbaikan Packet Loss Menggunakan 4G LTE

Packet Loss adalah banyaknya paket yang terbuang pada saat proses pengiriman berlangsung dibandingkan dengan banyaknya paket yang selamat. Dalam percobaan ini digunakan protokol UDP yang telah dikodekan menjadi protokol RTP dan di *displayed* oleh *software* wireshark. Tujuan pengukuran dari paket loss adalah untuk mengetahui seberapa handal teknologi jaringan 4G LTE dalam menjaga sebuah paket. Satuan yang dipakai adalah persen (%).

A. Packet Loss Dengan Durasi Video Call 1 menit

Gambar 10. memperlihatkan hasil pengukuran dan perbaikan *Packet Loss video call* pada jaringan 4G LTE yang telah diskenariokan selama 60 detik. Hal ini terjadi dikarenakan tidak adanya paket yang gagal/hilang pada saat pengiriman dan penerimaan data, pada jaringan 4G LTE.

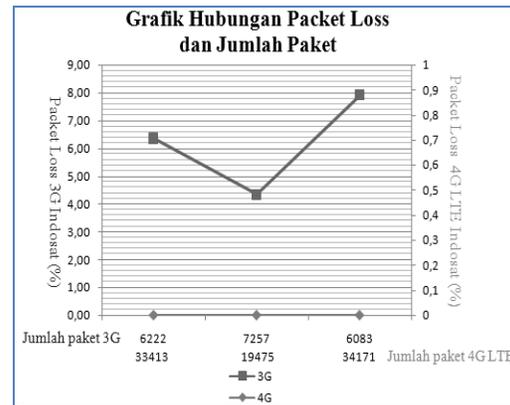


Gambar 10. Grafik Hubungan *Packet Loss* dan Jumlah Paket 1 menit

Performansi paket loss yang menggunakan jaringan 3G lebih besar yaitu dengan nilai rata-rata 5,11 % , sedangkan pada *Packet loss* jaringan 4G LTE menjadi 0%.

B. Packet Loss Dengan Durasi Video Call 3 menit

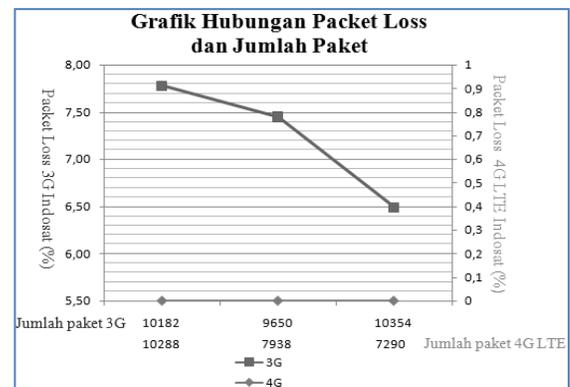
Gambar 11. memperlihatkan hasil pengukuran dan perbaikan *Packet Loss video call* pada jaringan 4G LTE yang telah diskenariokan selama 180 detik.



Gambar 11. Grafik Hubungan *Packet Loss* dan Jumlah Paket 3 menit

Dari Gambar 11. dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G memiliki nilai paket loss yang besar yaitu 6,10 % menjadi memiliki paket loss 0 % dengan Jaringan 4G LTE. Nilai paket loss pada jaringan 3G sebesar 6,10 % menurut standard ITU-T kurang baik.

C. Packet Loss Dengan Durasi Video Call 5 menit



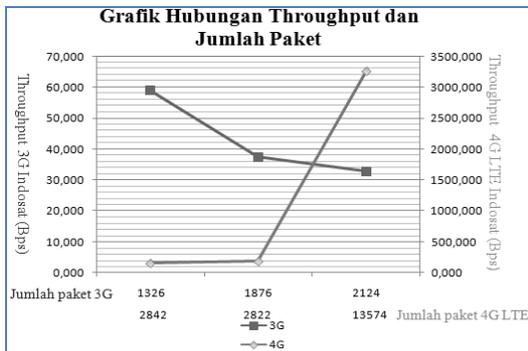
Gambar 12. Grafik Hubungan *Packet Loss* dan Jumlah Paket 5 menit

Gambar 12 memperlihatkan hubungan antara jumlah paket dengan *delay* yang dihasilkan pada saat percobaan *video call* dengan durasi 5 menit. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G memiliki nilai paket loss yang besar yaitu 7,23 % menjadi memiliki paket loss 0 % dengan Jaringan 4G LTE. Nilai paket loss pada jaringan 3G sebesar 7,23 % yang menurut standard ITU-T kurang baik.

3.2.3 Hasil Perbaikan Throughput Menggunakan 4G LTE

Throughput merupakan kecepatan data transfer rata-rata dari suksesnya paket yang dikirim per detik, dan satuan yang dipakai adalah byte per second (Bps). Pengambilan parameter *throughput* pada wireshark sama dengan pengambilan parameter *delay* dan *packet loss*.

A. Throughput Dengan Durasi Video Call 1 menit



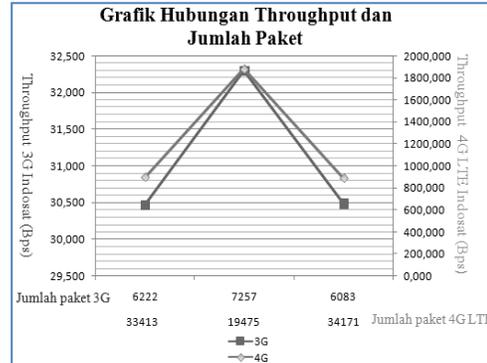
Gambar 13. Grafik Hubungan *Throughput* dan jumlah packet, durasi 1 menit

Dari Gambar 13. dapat dilihat hubungan antara *throughput* dengan jumlah paket yang dihasilkan pada saat percobaan *video call* dengan durasi 1 menit. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G memiliki nilai *throughput* kecil yaitu 42,721 Bps menjadi memiliki *throughput* 1189,332 Bps dengan Jaringan 4G. Besarnya nilai *throughput* pada Jaringan 4G dipengaruhi oleh besarnya kecepatan *average byte* yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 79670,590 Bps.

B. Throughput Dengan Durasi Video Call 3 menit

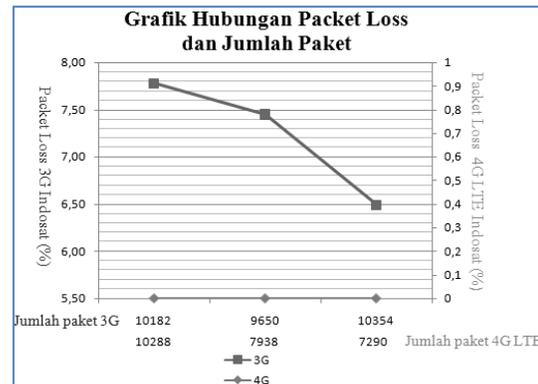
Gambar 14 memperlihatkan hubungan antara *throughput* dan jumlah paket yang dihasilkan pada saat percobaan *video call* dengan durasi 3 menit. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G memiliki nilai *throughput*

kecil yaitu 31,009 Bps menjadi memiliki *throughput* 1098,911 Bps dengan Jaringan 4G LTE. Besarnya nilai *throughput* pada Jaringan 4G LTE dipengaruhi oleh besarnya kecepatan *average byte* yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 179944,853 Bps.



Gambar 14. Grafik Hubungan *Throughput* dan Jumlah Paket, durasi 3 menit

C. Throughput Dengan Durasi Video Call 5 menit



Gambar 15. Grafik Hubungan *Throughput* dan Jumlah packet, durasi 5 menit

Dari Gambar 15. dapat dilihat hubungan antara jumlah paket dengan *delay* yang dihasilkan pada saat percobaan *video call* dengan durasi 5 menit. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat hasil perbaikan *video call* dari jaringan 3G Indosat memiliki nilai *throughput* kecil yaitu 26,973 Bps menjadi memiliki *throughput* 1118,713 Bps dengan Jaringan 4G Indosat. Besarnya nilai *throughput* pada Jaringan 4G Indosat dipengaruhi oleh besarnya kecepatan *average byte* yang terjadi yaitu rata-rata sebesar 119565,012 Bps.

3.2.4 Hasil Perbaikan Kualitas Gambar Menggunakan 4G LTE

Selain *QoS* (Quality of Service) kualitas gambar merupakan hal yang penting untuk diperhatikan. Tolak ukur dari kualitas gambar dapat dideskripsikan dengan cara *user experience* secara langsung, dan tidak mempunyai ketentuan standar baik atau buruk gambar yang diperoleh. Dengan spesifikasi laptop yang sama yang digunakan untuk komunikasi *video call* yaitu asus x450j.

Gambar 16. memperlihatkan kualitas gambar *video call* dari jaringan 4G LTE yang telah diskenariokan dengan rentan waktu 180 detik. Proses tersebut dilakukan sebanyak 3 kali percobaan. Dapat dilihat bahwa kualitas gambar lebih cerah dan jelas dari Gambar 4. gambar video jaringan 3G. Perbedaannya sangat signifikan akibat dari kecilnya nilai *delay*, *packet loss*, dan tidak adanya masalah koneksi internet yang terjadi, sehingga kualitas gambar sangat baik.



Gambar 16. Kualitas Gambar 4G LTE 3 menit

4.SIMPULAN

Pada perbaikan performansi *delay* dari jaringan 3G menjadi jaringan 4G LTE, baik dengan lama panggilan *video call* selama 1 menit, 3 menit, dan 5 menit mengalami pengurangan *delay* rata-rata sebesar 95 %.

Pada perbaikan performansi *Packet Loss* dari jaringan 3G menjadi jaringan 4G LTE, baik dengan lama panggilan *video call* selama 1 menit, 3 menit, dan 5 menit mengalami pengurangan *Packet data* rata-rata sebesar 100 %.

Pada perbaikan performansi *Throughput* dari jaringan 3G menjadi jaringan 4G LTE, baik dengan lama panggilan *video call* selama 1 menit, 3 menit, dan 5 menit mengalami peningkatan *Throughput* rata-rata sebesar 100 %.

Pada perbaikan performansi kualitas gambar dari jaringan 3G menjadi jaringan 4G LTE, baik dengan lama panggilan *video call* selama 1 menit, 3 menit,

dan 5 menit mengalami perbaikan kualitas gambar menjadi sangat baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para peneliti mengucapkan terimakasih kepada pimpinan PT. Indosat yang memberikan izin dan fasilitas penelitian di Mall Kuningan City Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung. 2013. *Video Over IP-Video Conference*. wordpress.com, April.
- Fachrudin, Maki. 2013. *Analisa Performansi QoS VOIP Pada Jaringan MPLS VPN*. Makalah Institut Sains dan Teknologi Nasional, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro Kampus Duren Tiga, Jakarta.
- Hikmaturokhman, Alfin. 2013. *4G LTE Design and Planning*, Bandung.
- Ismail, Hala Pratiwi. 2011. *Long Term Evolution Sebagai Kandidat 4G*. Makalah Program studi Teknik Telekomunikas. Institut Teknologi Telkom. Bandung.
- Jindal,N., 2006. *MIMO Broadcast Channels with Finite-rate Feedback*, *IEEE Trans. InJorm.Theory*.
- Laurent, Mauri Verd dan Mochammad Denny. 2011. *Trafik Teknologi Long Term Evolution*. Makalah Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri. Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.
- Suhendra, Made. 2012. *Analisa Performansi Live Streaming Dengan Menggunakan Jaringan HSDPA*. Makalah Institut Teknologi Sepuluh November, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro Kampus ITS Sukolilo, Surabaya.
- Wardhana, Lingga. 2014. *4G Handbook*, www.nulisbuku.com, Jakarta.
- Wardhana, Lingga. 2011. *3G RF Planning and Optimization*, nulisbuku.com, Jakarta.
- Wibisono, Gunawan. 2006. *Mobile Broadband*. gramedia.com. Bandung.