SIMULASI DAN ANALISIS PERFORMANSI END-TO-END QOS MENGGUNAKAN G.711 DAN G.729 SEBAGAI CODEC PADA LAYANAN VOICE OVER LTE (VoLTE)

Fanny Tarida Tampubolon[1], Rendy Munadi[2], Leanna Vidya Yovita[3]

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi ,Fakultas Teknik, Universitas Telkom

fannytarida@students.telkomuniversity.ac.id , rendymunadi@telkomuniversity.ac.id , leanna@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jaringan LTE dapat memberikan *mobile broadband* dengan kapasitas yang lebih besar dan latensi yang rendah. Namun, jaringan LTE hanya menyediakan layanan khusus untuk data transfer dan dirancang hanya sebagai jaringan *packet-switched all-IP* sistem. Karena tidak ada domain *circuit-switched* di LTE, maka dibentuklah solusi untuk layanan suara berbasis IP, yang dikenal sebagai VoLTE. Dengan VoLTE, pelanggan dapat menikmati *High Definition Voice* (HD Voice). VoLTE menggunakan sistem yang berbeda dibandingkan dengan layanan suara pada teknologi pendahulunya seperti 2G, dan 3G sehingga kualitas performansi VoLTE dituntut agar lebih baik dari teknologi pendahulunya. Dalam penelitian ini disimulasikan layanan VoLTE pada arsitektur LTE (*Long Term Evolution*) dengan menggunakan G.711 dan G.729 sebagai *codec*-nya. Beberapa parameter *end-to-end QoS* seperti *delay, jitter, packet loss* dan *throughput* serta MOS yang digunakan untuk melihat performansi dari simulasi layanan VoLTE. Simulasi ditinjau dari sisi *capacity* (kapasitas) jumlah user yang dibagi dalam tiga kategori yaitu; 5 pasang UE, 30 pasang UE, dan 100 pasang UE. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada jaringan VoLTE yaitu untuk *codec* G.729 didapatkan *delay* tertinggi 91.5152 ms, *jitter* terendah yaitu 0.000084 ms, *packet loss* 0%, dan *throughput* tertinggi 12.82 Kbps. Kemudian untuk codec G.711 didapatkan *delay* tertinggi 79.3810 ms, *jitter* terendah 0.000037 ms, *packet loss* 0% dan *throughput* tertinggi 69.59 Kbps. Hasil yang diperoleh masih memenuhi standar ITU-T.

Kata kunci : end-to-end QoS, VoLTE, G.711, G.729.

Abstract

LTE networks can provide mobile broadband with larger capacity and low latency. However, the LTE network only provides specialized services for data transfer and is designed only as a packet-switched network all-IP system. Because there is no circuit-switched domain in LTE, then the solution for IP-based voice services is established, known as VoLTE. With VoLTE, users can enjoy the High Definition Voice (HD Voice). VoLTE uses a different system than the voice service on its previous technologies such as 2G and 3G so that the quality of VoLTE performance required to be better than its previous technologies. In this research simulated VoLTE service in LTE (Long Term Evolution) architecture using G.711 and G.729 as codecs. End-to-end QoS parameters such as delay, jitter, packet loss, and throughput as well as MOS that is used to view the performance of the simulation VoLTE service. The simulation in terms of the capacity number of users that are divided into three categories namely; 5 pairs of the UE, 30 pairs of the UE, and 100 pairs of the UE. From the results on the VoLTE network, for the codec G.729, obtained the highest delay reached 91.5152 ms, the lowest jitter 0.000084 ms, packet loss 0%, and the highest throughput is 12.82 Kbps. Then for the G.711 codec, obtained the highest delay is 79.3810 ms, the lowest jitter 0.000037, packet loss 0% and the highest throughput is 69.59 Kbps. The obtained results are still meets the requirement of ITU-T.

Keywords : end-to-end QoS, VoLTE, G.711, G.729.

1. Pendahuluan

Kebutuhan manusia akan komunikasi menuntut teknologi untuk mengembangkan sistem komunikasi yang fleksibel, dan memiliki kemampuan mobilitas yang tinggi, oleh sebab itu dikembangkanlah teknologi LTE-A Release

10 (Long Term Evolution-Advanced) dengan kemampuan pentransmisian data yang mencapai kecepatan 3 Gbit/s secara teoritis untuk downlink dan 1,5 Gbit/s untuk uplink [4]. Kebutuhan layanan suara dan data yang memiliki kualitas yang baik sangat diharapkan untuk memenuhi kebutuhan layanan yang berlaku tidak hanya untuk saat ini, namun juga diorientasikan untuk memenuhi kebutuhan layanan dimasa mendatang. Jaringan LTE dapat memberikan mobile broadband dengan kapasitas yang lebih besar dan latensi yang rendah. Namun, jaringan LTE hanya menyediakan layanan khusus untuk data transfer dan dirancang hanya sebagai jaringan packet-switched all-IP sistem. Karena tidak ada domain circuit-switched di LTE, maka dibentuk solusi interoperable global suara berbasis IP dan video calling untuk LTE, yang dikenal sebagai VoLTE[2]. Pada penelitian Tabany, Myasar R dan Guy, Chris.G. di tahun 2014, telah dilakukan analisis end-to-end QoS pada VoLTE tetapi tidak membahas ataupun membandingkan codec yang digunakan[2]. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi dan analisis end-to-end QoS dari layanan VoLTE dengan menggunakan codec yang berbeda serta menganalisa codec mana yang paling cocok digunakan di layanan VoLTE. Perancangan simulasi jaringan menggunakan software Network Simulator 2.35 dengan codec pengujian yaitu; G.711 dan G.729 serta data sesuai dengan standar dari ITU-T dalam hal minimal jumlah QoS yang didapat.

2. Dasar Teori

A. LTE (Long Term Evolution)[1]

Long Term Evolution (LTE) sebuah evolusi dari teknologi UMTS yang dipersiapkan sebagai langkah terbaru dalam sistem komunikasi bergerak. Sistem LTE sebagai solusi untuk tren perluasan layanan, dari yang bermula terbatas layanan panggilan suara menuju multiple layanan. LTE dirancang dari awal dengan tujuan perkembangan akses radio teknologi berdasarkan pada layanan packet-switched, bukan lagi mengikuti model *circuit-switched* sistem sebelumnya. Selain itu, perkembangan LTE tidak terbatas pada aspek radio saja tapi juga didukung dengan jaringan inti sehingga disebut dengan istilah 'System Architecture Evolution' (SAE) yang meliputi jaringan Evolved Packet Core (EPC). Bersama-sama, LTE dan SAE terdiri dari Packet Sistem Evolved (EPS), di mana kedua jaringan inti dan akses radio sepenuhnya packet-switched. LTE Release 10, atau yang dikenal sebagai LTE-Advanced merupakan evolusi dari teknologi LTE Release 8 untuk lebih meningkatkan kinerja dan perbaikan performansi dari teknologi sebelumnya.

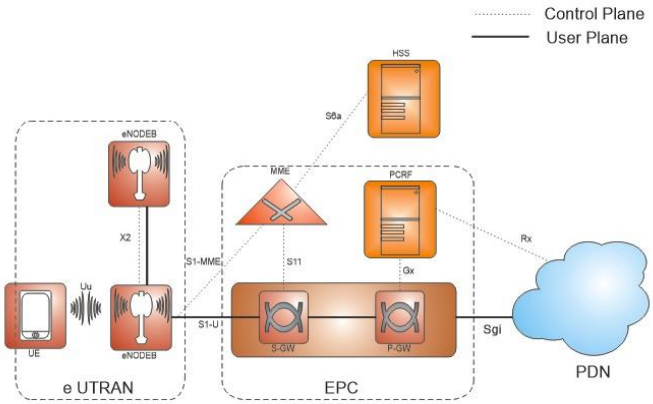
Arsitektur jaringan teknologi LTE-Advanced dibagi menjadi dua, yaitu EPC (Evolved Packet Core) dan E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network).

a. Core Network (EPC) :

a. Mobility Management Entity (MME)
   MME adalah pengontrol pada setiap node pada jaringan akses LTE. MME bertanggung jawab untuk tracking dan paging, proses autentikasi UE, serta melakukan bearer manajemen.
b. Policy Control Rules Function (PCRF)
   Berfungsi untuk menangani QoS, control rating, charging, dan billing.
c. Home Subscriber Server (HSS)
   Berfungsi untuk menyimpan database profil pelanggan, berisi informasi lokasi pelanggan, manajemen serta keamanan pelanggan, HSS merupakan kombinasi dari Authentication Center dan Home Location Register.
d. Serving Gateway (SGW)
   Berfungsi mengatur jalur dan meneruskan data dalam bentuk paket masing-masing pengguna sebagai link antara teknologi LTE 3GPP dengan keluarga teknologi 3GPP lainnya seperti GSM dan UMTS.
e. Packet Data Network-Gateway (PDN-GW)
   Berfungsi untuk menyediakan konektivitas antara UE dan jaringan paket serta hubungan antara teknologi LTE dengan teknologi non 3GPP seperti; (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA 20001X dan EVDO).

b. Access Network (E-UTRAN) :

Jaringan akses pada LTE (E-UTRAN) terdiri dari beberapa jaringan eNodeB. Sekumpulan eNodeB saling terhubung satu sama lain melalui X2 interface. E-UTRAN bertanggung jawab untuk semua fungsi radio sebagai Radio Resource Management (RRM), header compression, konektivitas ke EPC dan keamanan dimana terjadi proses enkripsi untuk pengiriman seluruh data melalui interface radio.



Gambar 1. Arsitektur LTE [3]

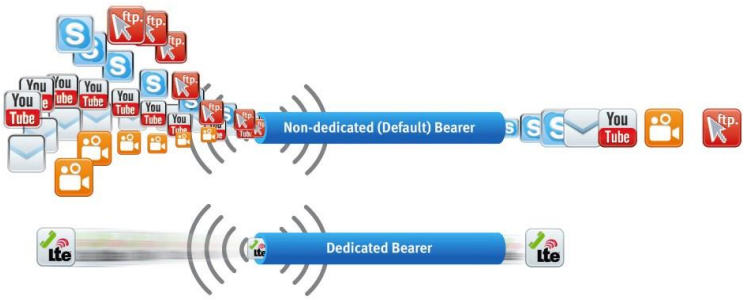
B. VoLTE (Voice over LTE)

Layanan suara merupakan layanan fundamental yang harus selalu ada keberadaannya dan dikembangkan dalam setiap generasi jaringan seluler. Meskipun saat ini sedang marak penggunaan data namun tentu voice tetap akan menjadi solusi akhir bagi pengguna yang digunakan ketika kondisi mendesak dan untuk sesuatu yang tidak dapat dijelaskan melalui teks atau *chatting* [3]. Maka dari itu, hadirlah VoLTE (Voice over LTE). VoLTE (Voice over LTE) adalah layanan suara bersifat *real-time* yang berjalan menggunakan paket data berbasis IP (Internet Protocol) pada jaringan LTE maupun LTE-Advanced. Meskipun VoLTE dan VoIP memiliki perbedaan dari segi teknologi, namun secara konseptual hampir sama. Berikut, keuntungan VoLTE:

1. Kualitas suara yang jernih dan terasa dekat meskipun pengguna berada di tempat keramaian. VoLTE menawarkan panggilan suara bersifat HD (*High Definition*) Voice.
2. Penggunaan telepon (voice call) dan data dapat dilakukan secara simultan tanpa terputus. Koneksi data dan voice dapat running bersamaan. Sehingga, ketika pengguna sedang download data tidak terputus begitu saja.
3. Mengurangi suara *noise background*. VoLTE memiliki fitur yang disebut *background noise reduction* untuk meminimalisasi kebisingan yang terjadi disekitar pengguna. Sehingga, suara yang dihasilkan tetap jernih

Trafik VoLTE dibawa oleh *bearer*, dimana *bearer* adalah sebuah konsep virtual yang mendefinisikan bagaimana data UE diperlakukan ketika sedang berada di lalu-lintas trafik jaringan [5]. Jaringan mungkin memperlakukan beberapa data dengan cara yang khusus dan memperlakukan yang lain secara normal.

a. *Default Bearer (Non-Guaranteed Bit Rate)*
   Default bearer digunakan untuk signaling dan untuk traffic lainnya seperti *email*, *chatting*, dan *browser* yang memiliki tipe *bearer* dengan level QCI 5-9 (Non-GBR).
b. *Dedicated Bearer (Guaranteed Bit Rate)*
   Dedicated bearer digunakan untuk layanan *real-time* yang membutuhkan bandwidth yang konstan. Dedicated bearer menyediakan *tunnel* yang didedikasikan untuk satu atau lebih spesifik traffic (yaitu VoLTE, video dll). Dedicated bearer akan memberikan perlakuan khusus terhadap aliran data yang dianggap sebagai prioritas menurut level QCI nya.



Gambar 2. Default vs Dedicated Bearer [5]

Tabel 1. Standar QCI [3]

QCI	Bearer Type	Priority	Packet Delay	Packet Loss	Example
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversational voice; VoLTE
2		4	150 ms	10^{-3}	Conversational Video (Live streaming)
3		3	50 ms		Real-time gaming
4		5	300 ms	10^{-6}	Non-conversational video (buffered streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms		IMS Signaling
6		6	300 ms		Video, TCP based services (www, e-mail, ftp, p2p file sharing)
7		7	100 ms	10^{-3}	Voice, Video, Interactive Gaming
8		8	300 ms	10^{-6}	Video, TCP based services (www, e-mail, ftp, p2p file sharing)
9		9			

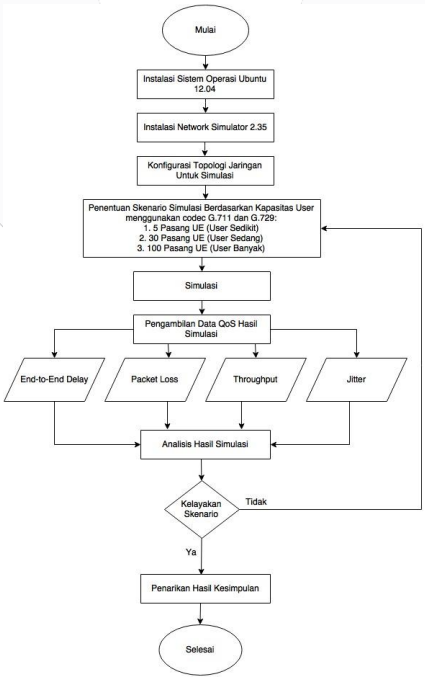
C. Voice Coding

Codec adalah algoritma yang digunakan dalam proses kompresi analog ke dalam bentuk paket-paket data[6]. Codec bertujuan untuk mengurangi penggunaan bandwidth di dalam transmisi sinyal pada setiap panggilan dan sekaligus berfungsi untuk meningkatkan jumlah panggilan.

a. G.711
Codec G.711 adalah standar ITU-T untuk audio telepon dan menggunakan bandwidth sebesar 64 Kbps untuk sekali pengiriman paket suara ke tujuan. Codec G.711 menggunakan PCM (Pulse Code Modulation) untuk mensampling sinyal suara hingga 8000 sample/detik [6]. Pada PCM yang merupakan prinsip kerja Codec G.711, terdapat tiga langkah pengkonversian yakni sampling, kuantisasi dan coding.

b. G.729
Codec G.729 adalah salah satu codec yang berkualitas baik karena mampu mengkonversi voice menjadi 8 Kbps yang mana lebih sedikit dari G.711, hal ini menyebabkan codec G.729 memiliki pemanfaatan bandwidth yang lebih efektif dan efisien. G.729 menghasilkan sinyal keluaran dengan bit rate rendah, semakin rendah bit rate semakin menghemat bandwidth.

3. Pemodelan Simulasi



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

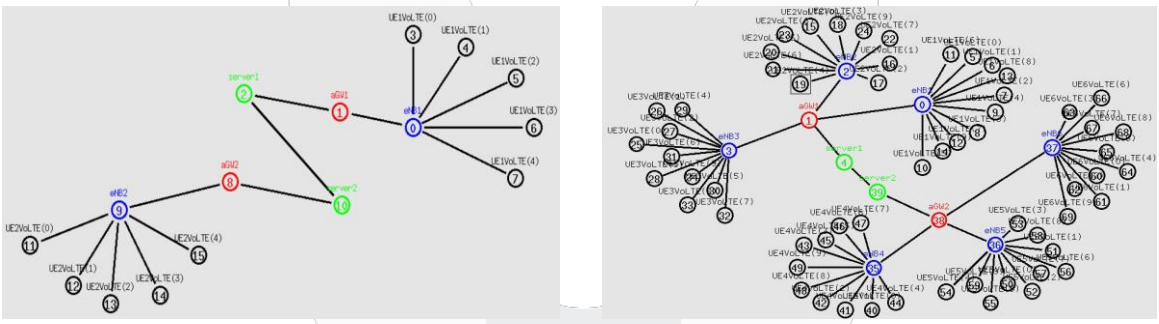
Pada skenario simulasi ini ditinjau berdasarkan *capacity* (kapasitas) jumlah user. Alur simulasinya adalah ketika user UE1VoLTE(0) ingin menginisiasi panggilan ke user UE2VoLTE(0), maka user tersebut harus terdaftar di jaringan LTE. Untuk itu user UE1VoLTE(0) akan mengirimkan RRC Connection request ke server, lalu server akan mengirim RRC Connection Setup ke user UE1VoLTE(0). Kemudian, setelah RRC Connection Setup complete maka user UE1VoLTE(0) di perbolehkan untuk mengakses jaringan. Ketika UE1VoLTE(0) mulai menginisiasi panggilan kepada UE2VoLTE(0), server mengirim INVITE Message kepada *terminating terminal* UE2VoLTE(0). INVITE Message berisi informasi termasuk ID dari *originating terminal*, *terminating terminal* dan *supported codec* dari originating terminal UE1VoLTE(0). Setelah itu, *terminating terminal* UE2VoLTE(0) merespon dengan mengirimkan pesan "183 *session progress*" kepada server. Pesan ini berisi informasi *supported codec* pada *terminating terminal* UE2VoLTE(0). Ketika pesan diatas diterima oleh server, kemudian server melanjutkan pesan tersebut ke aGW untuk melakukan *set up* VoLTE *bearer* (*dedicated bearer*) dan melakukan *tracking* (melacak) keberadaan user penerima UE2VoLTE(0). QCI (QoS Class Identifier) (QCI = 1, Conversational Speech) yang sesuai dengan jenis paket, dilewatkan bersama VoLTE bearer [3]. Kemudian hubungan dibangun, diikuti dengan call established sampai akhirnya user UE1VoLTE(0) mengirimkan RELEASE *message* kepada server untuk mengakhiri hubungan. Hal yang sama juga dilakukan oleh semua user ketika ingin melakukan panggilan.

A. Simulasi untuk 5 Pasang UE (User sedikit)

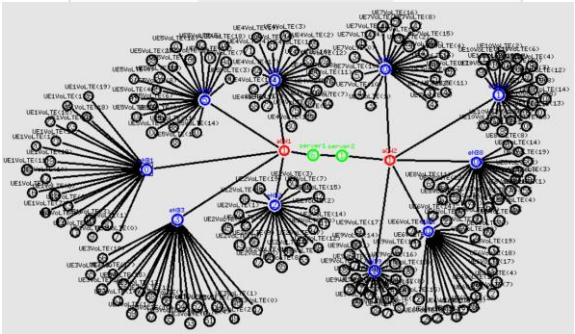
Pada simulasi ini ada 10 UE, 2 eNodeB, 2 aGW, dan 2 Server. Dimana 1 server memiliki 1 aGW, 1 aGW terhubung ke 1 eNodeB, dan 1 eNodeB memiliki 5 UE. Simulasi untuk panggilan One to One Voice dimulai pada 1,0 detik dan berakhir di 240,0 detik.

B. Simulasi untuk 30 Pasang UE (User sedang)

Pada simulasi ini ada 60 UE, 6 eNodeB, 2 aGW, dan 2 Server. Dimana 1 server memiliki 1 aGW, 1 aGW memiliki 3 eNodeB, dan 1 eNodeB memiliki 10 UE. Simulasi untuk panggilan One to One Voice dimulai pada 1,0 detik dan berakhir di 240,0 detik.



(a) **(b)**



(c)

Gambar 4. Pemodelan Simulasi (a) 5 pasang UE, (b) 30 pasang UE, dan (c) 100 pasang UE

C. Simulasi untuk 100 Pasang UE (User banyak)

Pada simulasi ini ada 200 UE, 10 eNodeB, 2 aGW, dan 2 Server. Dimana 1 server memiliki 1 aGW, 1 aGW terhubung ke 5 eNodeB, dan 1 eNodeB memiliki 20 UE. Simulasi untuk panggilan One to One Voice dimulai pada 1,0 detik dan berakhir di 240,0 detik.

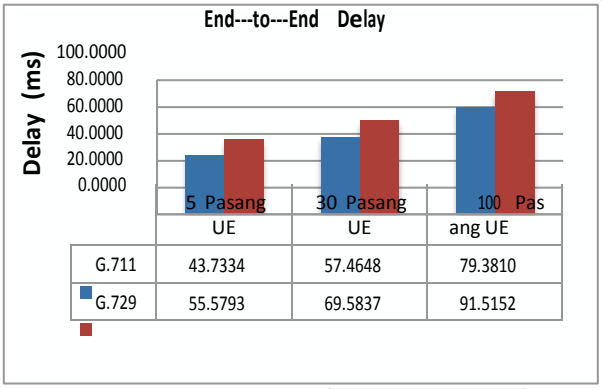
4. Pembahasan

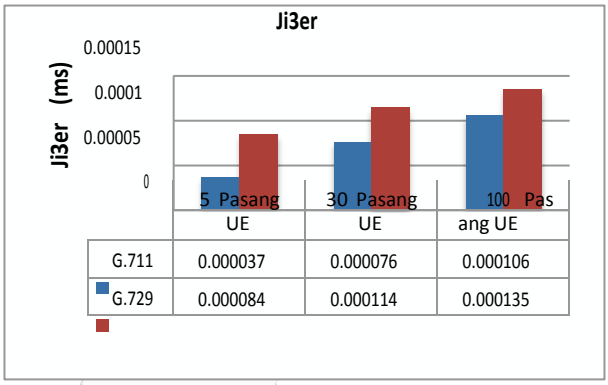
A. Pengukuran dan Analisis Performansi VoLTE

a. Pengukuran Delay

Dari hasil pengukuran yang dilakukan pada layanan VoLTE dapat dilihat bahwa ada pengaruh perubahan jumlah user baik pada codec G.711 maupun dengan codec G.729. Dari Gambar (a) dapat diamati semakin banyak jumlah user yang melakukan panggilan maka nilai delay akan semakin besar.

Pada skenario diatas dapat dilihat bahwa nilai delay yang didapatkan ketika user bertambah, memiliki nilai delay yang meningkat pula. Untuk codec G.711 terlihat pada saat 5 pasang UE nilai delay sebesar 43.7334 ms, pada saat 30 pasang UE 57.4648 ms, dan pada 100 pasang UE 79.3810 ms, dengan masing-masing selisih 13.7314 ms dan 21.9162 ms. Dibandingkan dengan codec G.729, pada saat 5 pasang UE nilai delay sebesar 55.5793 ms, 30 pasang UE 69.5837 ms dan pada 100 pasang UE 91.5152 ms, dengan selisih masing-masing 14.0044 ms dan 21.9315 ms. Akan tetapi secara keseluruhan delay pada kedua codec menunjukkan hasil yang baik karena masih berada dalam batas yang bisa ditolerir, yaitu tidak lebih dari 150 ms.





(a) **(b)**

Gambar 5. Hasil Pengukuran (a) End-to-end Delay, (b) Jitter

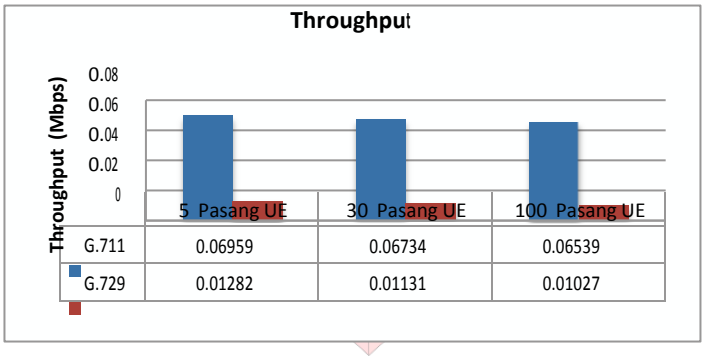
b. Pengukuran Jitter

Dari hasil pengukuran jitter yang dilakukan pada layanan VoLTE dapat dilihat bahwa ada pengaruh perubahan jumlah user baik pada codec G.711 ataupun G.729 terhadap peningkatan nilai jitter. Pada skenario diatas dapat dilihat bahwa jitter yang didapatkan ketika user bertambah, pada codec G.711 terjadi kenaikan yaitu, dari 5 pasang UE sebesar 0.000037 ms, menjadi 100 pasang UE sebesar 0.000106 ms. Serta pada codec G.729, dari 5 pasang UE sebesar 0.000084 ms menjadi 100 pasang UE sebesar 0.000135 ms. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa besar nilai jitter berbanding lurus dengan banyaknya jumlah user. Hal ini mengindikasikan bahwa meningkatnya jumlah user menjadi penyebab terjadinya kondisi trafik yang padat yang menyebabkan antrian dalam proses pentransmisian paket. Waktu tempuh yang dibutuhkan paket untuk sampai tujuan akan bertambah lama. Sehingga, pada akhirnya akan berpengaruh pada waktu kedatangan antar paket/delay. Semakin banyak variasi delay maka keterlambatan kedatangan paket banyak yang berubah-ubah.

Peningkatan dan penurunan nilai jitter pada kedua *codec* dapat diabaikan karena perbedaan yang dihasilkan terlalu kecil sehingga tidak memberikan pengaruh negatif yang berarti terhadap kualitas VoLTE. Dimana jitter sebesar 0 – 5 ms merepresentasikan keadaan jaringan tanpa adanya gangguan. Semakin kecil nilai jitter, maka semakin cepat paket suara sampai ke tujuan dan semakin kecil nilai jitter maka semakin jernih pula kualitas suara yang dihasilkan.

c. Pengukuran Packet Loss

Packet loss dari hasil pengukuran simulasi jaringan VoLTE diatas menunjukan bahwa peningkatan user tidak berpengaruh terhadap peningkatan packet loss. Begitu pula dengan kedua codec yang digunakan, baik G.711 maupun G.729 memiliki hasil yang baik yaitu bernilai 0%, Hal ini disebabkan karena layanan VoLTE berada dalam level QCI 1, yang artinya trafik layanan VoLTE dibawa oleh *dedicated bearer* (*Guaranteed Bit Rate*), dimana dengan adanya *dedicated bearer* ini menyebabkan lalu lintas audio VoLTE diprioritaskan dan dijamin kualitasnya sehingga kemungkinan terjadinya *loss* atau *dropped packet* sangat kecil. Sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh ITU-T bahwa packet loss pada layanan *real-time* yang masih dapat ditoleransi atau dikatakan baik adalah < 1,5%. Hal ini menyatakan bahwa kedua codec memenuhi standar dari ITU-T dan kualitas suara yang dihasilkan baik.



Gambar 6. Hasil Pengukuran Throughput

d. Pengukuran Throughput

Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa baik pada codec G.711 maupun codec G.729 terjadi penurunan nilai throughput. Pada Gambar 5 dapat dilihat untuk codec G.711 dengan 5 pasang UE memiliki nilai throughput sebesar 0.06959 Mbps dan ketika dengan 100 pasang UE menurun menjadi 0.06539 Mbps, begitu pula dengan codec G.729 saat 5 pasang UE sebesar 0.01282 Mbps dan saat 100 pasang UE menjadi 0.01027 Mbps. Data throughput didapatkan dari 480 kali percobaan. Meskipun keduanya sama-sama mengalami penurunan, namun selisih nilai throughput pada codec G.729 lebih kecil daripada codec G.711, yaitu selisih 0.00255 Mbps dibanding 0.0042 Mbps dari 5 pasang UE ke 100 pasang UE.

Dari Gambar 5, jelas terlihat codec G.711 memiliki throughput yang lebih dibandingkan dengan codec G.729, Hal ini disebabkan karena bit rate speech codec G.711 jauh lebih tinggi yaitu 64 Kbps dibandingkan bit rate speech codec G.729 yang hanya 8 Kbps atau 1/8 dari bit rate speech codec G.711, sehingga G.711 membentuk lebih banyak bit per detik. Nilai throughput terbesar yang didapatkan berdasarkan hasil simulasi adalah 69.59 Kbps ketika menggunakan codec G.711.

e. Perhitungan MOS

MOS (Mean Opinion Score) merupakan metode yang digunakan untuk menentukan kualitas transmisi audio dan video dalam jaringan IP. Dari tabel berikut menunjukkan bahwa kedua codec memenuhi standar kualitas yang diharapkan. Semua perhitungan pada setiap skenario simulasi bernilai lebih dari 4.00 yang berarti kualitas suara baik menurut standart ITU-T untuk MOS.

Tabel 2. Perhitungan MOS untuk codec G.711

Perhitungan MOS untuk Codec G.711			
Skenario	**Delay**	**R faktor**	**MOS**
5 Pasang UE	43.7334	86.1503984	4.23367314
30 Pasang UE	57.4648	85.8208448	4.22367332
100 Pasang UE	79.3810	85.294856	4.207406569

Tabel 3. Perhitungan MOS untuk codec G.729

Perhitungan MOS untuk Codec G.729			
Skenario	**Delay**	**R faktor**	**MOS**
5 Pasang UE	55.5793	85.8660968	4.225055236
30 Pasang UE	69.5837	85.5299912	4.214724637
100 Pasang UE	91.5152	85.0036352	4.198240136

B. Perbandingan Penggunaan Codec

Dilihat dari hasil pengukuran dengan mendapatkan keempat parameter yaitu delay, jitter, packet loss dan throughput didapatkan perbedaan untuk penggunaan codec yang paling baik digunakan untuk VoLTE. Secara umum dilihat dari hasil pengukuran delay, dapat dilihat dari Gambar 4(a) penggunaan codec G.711 lebih baik digunakan untuk layanan VoLTE dibandingkan dengan codec G.729, karena penggunaan codec G.711 menghasilkan nilai delay yang lebih kecil daripada codec G.729 dalam setiap pengukuran di ketiga skenario simulasi. Begitu pula pada pengukuran jitter, dapat dilihat pada Gambar 4(b), dengan menggunakan codec G.711 nilai jitter yang didapatkan lebih kecil dibandingkan dengan codec G.729 pada setiap pengukuran di ketiga skenario simulasi. Kemudian, nilai packet loss dari kedua codec memiliki nilai yang sangat baik yaitu 0%. Nilai throughput yang dihasilkan, dapat dilihat dari Gambar 5, untuk penggunaan codec G.711 lebih besar dibandingkan dengan codec G.729. Dengan dihasilkannya nilai throughput yang lebih besar dari codec lain menyebabkan paket suara yang sampai ke tujuan lebih baik dibandingkan dengan penggunaan codec G.729.

Codec G.711 ini menggunakan teknik PCM untuk proses pengiriman paket suara. Teknik PCM mengonversikan sinyal analog ke bentuk digital dengan menggunakan sampling sinyal analog tersebut 8000 kali/detik. Kecepatan transmisi dari codec ini diperoleh dengan mengalikan 8000 sampel/detik dengan pengkodean 8 bit/detik sehingga didapatkan bit rate sebesar 64 Kbps [6]. Bit rate merupakan kunci utama dalam menentukan kualitas keluaran suara yang diproses Karena itu, meskipun penggunaan codec G.711 ini tidak efisien dalam penggunaan bandwidth akan tetapi kualitas jaringan yang dihasilkan lebih baik dari penggunaan codec G.729. Menggunakan G.729 sebagai codec dengan kompresi yang lebih tinggi dapat meningkatkan jumlah saluran (channels) dibandingkan dengan G.711. Codec G.729 (bit rate rendah) ditujukan untuk memungkinkan kapasitas yang lebih besar dari atau sama dengan G.711. Namun, ketika berkaitan dengan kualitas suara, maka codec G.729 tidak dianjurkan. Maka dapat disimpulkan, bahwa layanan VoLTE yang sangat mengedepankan kualitas suara (HD Voice) sangat cocok jika menggunakan codec G.711.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis dari tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan bahwa jumlah user dan jenis *codec* yang digunakan mempengaruhi nilai *delay*, *jitter*, dan *throughput*. Nilai *delay* terendah saat menggunakan codec G.711 yaitu sebesar 43.7334 ms dan nilai delay terendah pada codec G.729 adalah 55.5793 ms. Dari data hasil pengukuran nilai *jitter* terendah adalah saat menggunakan codec G.711 yaitu sebesar 0.000037 ms dan nilai *jitter* tertinggi saat menggunakan codec G.729 yaitu sebesar 0.000135 ms. *Packet loss* dari kedua codec dalam hasil simulasi menunjukkan hasil 0%, merujuk pada rekomendasi yang dikeluarkan oleh ITU-T, bahwa *packet loss* yang sangat baik adalah bernilai 0-0.5%. Nilai *throughput* tertinggi yaitu sebesar 69.59 Kbps ketika menggunakan codec G.711, sedangkan nilai *throughput* tertinggi pada codec G.729 adalah 12.82 Kbps. Dari hasil perhitungan MOS, kedua codec memiliki nilai MOS > 4.00 yang berarti kualitas suara yang dihasilkan dari kedua codec baik. Hasil analisa diatas menunjukkan bahwa penggunaan codec terbaik yang layak digunakan pada layanan VoLTE dengan mengutamakan kualitas kejernihan suara (HD Voice) adalah codec G.711.

6. Daftar Pustaka

[1] Hamdah, Radiah. 2015. *Analisis Performansi Penerapan Carrier Aggregation dengan Perbandingan Skenario Secondary Cell pada Perancangan Jaringan LTE-Advanced di DKI Jakarta*. Bandung: Universitas Telkom

[2] Tabany, Myasar R dan Guy, Chris.G. 2014. *An End-to-End QoS Performance Evaluation of VoLTE in 4G E-UTRAN-based Wireless Networks.* ICWMC:The Tenth International Conference on Wireless and Mobile Communications.

[3] ElNashar, Aman. El-Saidny, Mohamed A. Sherif, Mahmoud. 2014. *Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks.* WILEY

[4] Qualcomm. 2014. *The Evolution of Mobile Technologies: 1G – 2G – 3G – 4G LTE*

[5] SPIRENT White Paper. 2012. *VoLTE Deployment and the Radio Access Network*.

[6] Diakses di http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html pada 19 Februari 2016 pukul 22.34