

ANALISIS PERFORMANSI VOIP PADA VANET DENGAN MENGGUNAKAN CODEC SUARA G.711, G.729, DAN GSM

PERFORMANCE ANALYSIS VOIP ON VANET USING G.711, G.729, AND GSM VOICE CODECS

Herda Theo Perdana¹, Rendy Munadi², Doan Perdana³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

herdatheo@gmail.com¹, rendymunadi@telkomuniversity.ac.id², doanperdana@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) saat ini sedang menerima banyak perhatian. Seperti jaringan lainnya, VANET dapat menyediakan layanan data, suara dan video. Pada layanan suara terdapat berbagai macam *codec* suara yang bisa dilewatkan pada jaringan. Untuk mengetahui *codec* suara yang baik dan efisien yang dapat dilewatkan di jaringan VANET maka perlu dilakukan perbandingan *codec* yang dilakukan pada protokol *routing* dalam VANET. Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis perbandingan performansi QoS pada VoIP dengan *codec* G.711, G.729, dan GSM di jaringan VANET menggunakan protokol *routing* OLSR. Data untuk analisis akan diambil melalui simulasi dengan menggunakan *software network simulator-2.35* yang dijalankan pada sistem operasi linux. Simulasi akan dilakukan menggunakan skenario *highway*. Dari hasil penelitian ini, parameter QoS yang akan dianalisis antara lain adalah *throughput*, *delay* dan *packet delivery ratio*. Hasil dari parameter QoS yang didapatkan kurang memuaskan karena belum sesuai dengan standar internasional yang sudah ditentukan, hanya parameter *delay* yang sudah sesuai. Namun, GSM adalah *codec* yang paling optimal dalam penelitian ini karena menunjukkan performansi yang paling baik yaitu dengan *delay* rendah dan nilai PDR lebih baik diantara yang lain.

Kata kunci : VoIP, *codec*, VANET, OLSR, *Network Simulator*

Abstract

VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) is currently receiving a lot of attention. Like the other networks, VANET can provide data, voice and video. In voice services, there are many variety of voice codecs that can be passed on the network. To find a good and efficient sound codec that can be passed on VANET so necessary to do a codec comparison on routing protocols in VANET. Performance analysis of VoIP QoS with G.711, G.729, and GSM codecs in VANET network using OLSR routing protocol will be do in this final project. The result for the analysis will be taken through a simulation using *network simulator-2.35* software that runs on the Linux operating system. Simulations will be performed using *highway* scenario. QoS parameters to be analyzed include *throughput*, *delay* and *packet delivery ratio*. From these results, the results of the QoS parameters in less satisfactory because it is not in accordance with international standards that have been determined, only the *delay* parameters that are appropriate. However, GSM is the most optimal codec in this study because it show the best performance with low *delay* and PDR value is better among others.

Keywords : VoIP, *codec*, VANET, OLSR, *Network simulator*

1. Pendahuluan

Saat ini teknologi *wireless* semakin berkembang dengan pesat terutama dalam teknologi komunikasi data. Salah satunya adalah VANET (*Vehicular Ad Hoc Network*) yang merupakan turunan dari MANET (*Mobile Ad Hoc Network*). VANET menyediakan informasi realtime yang dapat berguna menjaga orang tetap terhubung di dalam lingkungan perkotaan atau jalan raya sehingga tetap aman dan nyaman saat berkendara. Namun, ada beberapa kendala seperti mobilitas tinggi, topologi yang sering berubah dan tidak terduga, *delay* tinggi, dan lain-lain. Karakteristik ini yang membedakannya dengan *mobile ad hoc network* yang lain. VoIP (*Voice over Internet Protocol*) adalah teknologi yang memungkinkan membuat panggilan suara melalui media internet bukan saluran telepon biasa (*analog*). Aplikasi VoIP memiliki persyaratan QoS yang ketat yaitu *delay* dan *packet loss* yang rendah agar paket suara tersampaikan dengan baik dan *real time*. QoS pada jaringan VoIP sebagian tergantung pada jenis *codec* suara digunakan, yang fungsi utamanya adalah mengkonversi sinyal suara *analog/digital* dan kompresi *digital*. Tugas akhir ini akan membahas kinerja VoIP pada jaringan VANET.

2. Dasar Teori

2.1. Voice over Internet Protocol (VoIP)

VoIP (Voice Over Internet Protocol) merupakan teknologi yang memanfaatkan Internet Protocol untuk menyediakan komunikasi suara secara elektronis dan real-time. Cara kerjanya yaitu mengubah sinyal suara analog menjadi sinyal digital kemudian dikirimkan melalui jaringan internet.

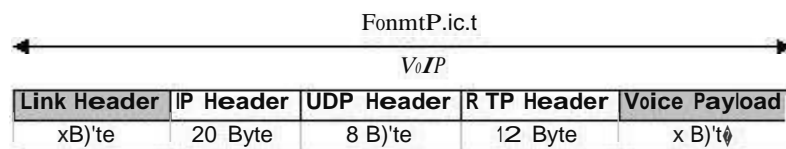
Fungsi VoIP :

- Signalling – Signalling berfungsi untuk menamkap jaringan yang dituju, sehingga dapat melakukan inisialisasi (penyampaian) pesan/percakapan.
- Database Service – Layanan database adalah salah satu fungsi VoIP dalam mencari tujuan akhir/endpoint yang harus dituju, sekaligus sebagai penerjemah alamat yang biasanya digunakan dalam duajaringan yang berbeda.
- Call Connect/Disconnect (Bearer Control) – Bearer Control memungkinkan si penerima panggilan dapat memutuskan panggilan/menerima panggilan.
- Codecs Operations – Berguna sebagai coder ataupun decoder dalam pengubahan/transmitted suara menjadi sinyal digital/paket data ataupun sebaliknya

Salah satu tujuan implementasi VoIP adalah untuk menekan biaya operasional perusahaan maupun individu dalam melakukan komunikasi satu sama lain. Penekanan biaya itu dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan jaringan data yang sudah ada. Sehingga apabila kita ingin membangun jaringan telekomunikasi VoIP, tidak perlu membangun infrastruktur baru yang mengeluarkan biaya yang sangat besar.

2.1.1 Format Paket VoIP

Tiap paket VoIP terdiri dari dua bagian, yaitu *header* dan *payload*. *Header* terdiri dari *IP header*, *UDP header*, *RTP header*, dan *link header*.



Gambar 2.1 Format Paket VoIP ^[12]

IP Header bertugas menyimpan informasi routing untuk mengirimkan paket-paket tersebut ke tujuan. Pada tiap *Header IP* disertakan tipe layanan atau *Type of Service (ToS)* yang memungkinkan paket tertentu seperti paket suara, diperlakukan berbeda dengan paket yang *non real time*. *UDP Header* memiliki ciri tertentu yaitu tidak menjamin paket sampai tujuan sehingga UDP cocok digunakan pada aplikasi *voice real time* yang sangat peka terhadap *delay dan latency*. *RTP Header* adalah Header yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan *framing* dan *segmentasi data realtime*. Seperti UDP, RTP juga tidak mendukung realibilitas paket untuk sampai di tujuan. RTP menggunakan protokol kendali yang disebut *RTCP (Real-time Transport Control Protocol)* yang mengendalikan QoS dan sinkronisasi media *stream* yang berbeda.

2.2. Coding-Decoding (CODEC)

Coding-decoding (codec) adalah program komputer yang mampu mengkodekan sinyal analog ke sinyal digital (menjadi berkas media digital) dan menguraikan sinyal digital ke sinyal analog, serta mampu mengkompresi dan mendekomposisi berkas media digital (Microsoft, 2012). Sebuah *codec* terdiri dari dua komponen yaitu *encoder* dan *decoder*. *Encoder* berfungsi untuk mengkompresi sekaligus mengkodekan berkas, sedangkan *decoder* berfungsi untuk mendekomposisi sekaligus menguraikan kode berkas. Digunakannya *codec* memungkinkan data yang besar dilewatkan pada media transmisi dengan penggunaan *bandwidth* yang terbatas.

Ada tiga konsep utama yang berhubungan dengan *codec*. Ketiga konsep tersebut adalah *sampling rate*, *bit depth*, dan *bit rate*. Pada perekaman analog, mesin perekam selalu merekam suara yang masuk melalui mikrofon. Pada perekaman digital, hal terekam adalah sederetan *sample* yang diambil dari sinyal suara. *Sampling rate* merupakan jumlah *sample* per detik yang diambil dari sinyal suara. Satuan untuk *sampling rate* adalah Hertz (Hz).

Bit depth mendeskripsikan jumlah *bit (binary digits)* pada setiap *sample*. *Bit* merupakan unit informasi terkecil (diekspresikan dalam 0 atau 1) yang disimpan dalam media penyimpanan digital. *Bit rate* mendefinisikan jumlah *bit* yang diproses per detik. Satuan untuk *bit rate* adalah *bits per second (bps)*. Secara teori, makin tinggi *bit rate*, suara yang dihasilkan akan makin baik. Jumlah *channel* pada *codec* yang digunakan untuk VoIP adalah satu. Dengan begitu, jumlah *channel* tidak mempengaruhi ukuran *bit rate*.

2.2.1 G.711

Codec G.711 adalah standar ITU-T untuk audio companding. Codec ini biasa digunakan untuk sistem telepon sejak tahun 1972. G.711 menggunakan PCM (*Pulse Code Modulation*). Suara merupakan sinyal analog sehingga bila akan ditransmisikan melalui jaringan digital sinyal analog harus dikonversikan menjadi sinyal digital dengan *Analog to Digital Converter* (ADC). Pada PCM yang merupakan prinsip kerja codec G.711, terdapat tiga langkah pengkonversian yakni sampling, kuantisasi, dan coding. Terdapat dua tipe algoritma yang didefinisikan dalam standar G.711 yakni algoritma μ -law yang digunakan di Amerika selatan dan Jepang, serta algoritma A-law yang digunakan di Eropa dan sebagian besar wilayah Asia. Codec G.711 μ -law menyediakan resolusi yang tinggi untuk range sinyal yang besar, sedangkan codec G.711 A-law menyediakan level kuantisasi yang lebih untuk range sinyal kecil. Codec G.711 memiliki *voice payload size* sebesar 160 bytes atau 20 ms, dengan kemampuan *packet per second* sebesar 50 pps.

2.2.2 G.729

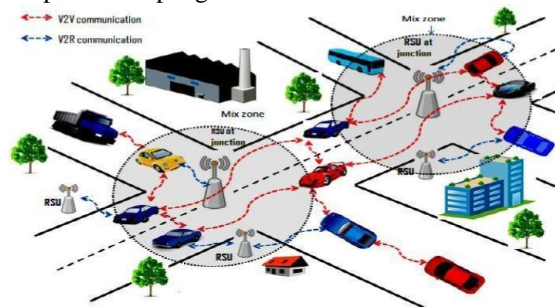
G.729 merupakan *codec* yang distandardisasi oleh ITU-T. *Codec* ini dianggap dapat menawarkan panggilan dengan kualitas yang baik karena memiliki *bit rate* yang rendah yaitu 8 kbps. G.729 menggunakan *coder* Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linier Prediction (CS-ACELP). Codec G.729 memiliki *voice payload size* sebesar 20 bytes atau 20 ms, dengan kemampuan *packet per second* sebesar 50 pps.

2.2.3 GSM

GSM *Full Rate* / GSM 06.10 merupakan *codec* pertama yang digunakan pada *Global System for Mobile Communications* (GSM). Selanjutnya pada penelitian ini, istilah GSM merujuk kepada GSM *Full Rate*. GSM dikembangkan sekaligus distandardisasi oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). ETSI merupakan organisasi non-profit yang memproduksi standar teknologi informasi dan komunikasi (ETSI, 2012). Prinsip kerja dari codec GSM adalah menggunakan *Regular and transmission Pulse Excitation, Long Term Prediction* (RPE-LTP) yakni dengan membagi sinyal suara ke dalam 20 ms blok suara atau dikenal dengan *voice payload size* sebesar 33 bytes dengan kemampuan *packet per size* sebesar 50 pps yang kemudian akan dilewatkan pada codec GSM dengan *bitrate* 13 Kbps.

2.3 Vehicular Ad Hoc Network (VANET)

Vehicular Ad Hoc Network (VANET) adalah sebuah jaringan terorganisir yang dibentuk dengan menghubungkan kendaraan dan RSU (Roadside Unit). RSU lebih lanjut terhubung ke jaringan backbone berkecepatan tinggi melalui koneksi jaringan. Kepentingan peningkatan baru-baru ini telah diajukan pada aplikasi melalui V2V (Vehicle to Vehicle) dan V2R (Vehicle to RSU) komunikasi, bertujuan untuk meningkatkan keselamatan mengemudi dan manajemen lalu lintas sementara menyediakan driver dan penumpang dengan akses Internet. Mirip dengan jaringan MANET, node dalam VANET self-organize dan self- manage informasi mereka secara terdistribusi tanpa otoritas terpusat atau pengaturan dari server.



Gambar 2.2 VANET

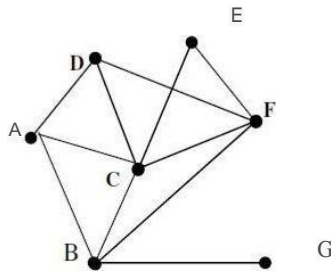
Dalam VANET, node-node menganggap mereka sebagai server dan / atau klien, sehingga node-node bertukar dan berbagi informasi seperti peers. Selain itu, node yang mobile dengan cepat membuat transmisi data menjadi less reliable dan sub optimal.

2.3.1 OLSR (Optimized Link State Routing)

OLSR adalah protokol *routing* proaktif untuk jaringan *mobile ad hoc*. Protokol mewarisi stabilitas algoritma *link state* dan memiliki keuntungan memiliki rute langsung tersedia bila diperlukan karena sifat proaktif. OLSR adalah optimasi selama klasik *protocol link state*, dirancang untuk jaringan *mobile ad hoc*. OLSR meminimalkan *overhead* dari kepadatan *node*, dengan hanya memilih satu *node* yang disebut MPRs, untuk memancarkan kembali pesan *control* yang signifikan. Teknik ini mengurangi jumlah transmisi ulang yang diperlukan untuk pesan ke semua *node* dalam jaringan. Kemudian OLSR membutuhkan *link state* parsial untuk *node* dalam rangka memberikan rute jalan terpendek. Set minimal informasi *link state* yang diperlukan

adalah, bahwa semua *node*, terpilih sebagai MPRS, harus menyatakan *link* ke penyeleksi MPRS mereka. Informasi topologi tambahan, jika ada, mungkin dimanfaatkan misalnya untuk tujuan redundansi.

OLSR mungkin mengoptimalkan reaktivitas perubahan topologi dengan mengurangi maksimum *interval* waktu untuk transmisi pesan kontrol periodik. Selanjutnya, seperti OLSR terus mempertahankan rute ke semua tujuan di jaringan, protokol ini bermanfaat untuk pola *track* dimana subset besar *node* berkomunikasi dengan subset besar lain *node*, dan di mana (sumber, tujuan) pasang yang berubah dari waktu ke waktu. Protokol ini sangat cocok untuk jaringan besar dan padat, sebagai optimasi dilakukan dengan menggunakan MPRS bekerja dengan baik dalam konteks ini. Semakin besar dan lebih padat jaringan, semakin optimasi dapat dicapai dibandingkan dengan algoritma *link state* klasik.



Gambar 2.3 Pemilihan Node MPR pada OLSR [11]

Contoh bagaimana algoritma OLSR berkerja berdasarkan pada gambar 2.3 diatas:

Tabel 2.1 Pemilihan Node MPR pada OLSR

<i>Nodes</i>	<i>1 hop Neighbors</i>	<i>2 hop Neighbors</i>	<i>MPRs</i>
B	A, C, F, G	D, E	C

Dari sudut pandang *node* B, *node* C dan F meng-cover semua *neighbors* yang berjarak 2 *hop* dari *node* B. Tetapi *node* C yang terpilih sebagai MPR dari *node* B, karena *node* C yang paling banyak memiliki *neighbors* (*mesh node/router* dengan 5 *neighbors*) dibandingkan dengan *node* F (4 *neighbors*). Untuk perhitungan panjang rute, setiap *node* menghitung berdasarkan table *routing* menggunakan algoritma “Shortest Hops Path”. Algoritma tersebut menentukan jarak atau *hop* terpendek dari *node* pengirim ke semua *node* tujuan

OLSR dirancang untuk bekerja dengan cara yang benar-benar didistribusikan dan tidak tergantung pada entitas pusat. Setiap *node* mengirimkan pesan kontrol secara berkala, dan karena itu dapat mengalami kerugian yang wajar dari beberapa pesan tersebut. Kerugian tersebut sering terjadi pada jaringan radio akibat tabrakan atau masalah transmisi lainnya. OLSR juga tidak memerlukan pengiriman pesan berurutan. Setiap pesan control berisi nomor urut yang bertambah untuk setiap pesan. Dengan demikian penerima pesan kontrol dapat, jika diperlukan, dengan mudah mengidentifikasi informasi yang lebih baru - bahkan jika pesan telah memerintahkan kembali sementara dalam transmisi. Selanjutnya, OLSR menyediakan dukungan untuk ekstensi protokol seperti operasi mode tidur, ekstensi seperti *multicast – routing* yang lain dapat diperkenalkan sebagai penambah protokol tanpa melanggar kompatibilitas mundur dengan versi sebelumnya. OLSR tidak memerlukan perubahan format paket IP. Jadi setiap IP yang ada stack dapat digunakan seperti: protokol hanya berinteraksi dengan manajemen tabel *routing*.

3. Perancangan Dan Simulasi

3.1 Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi pengiriman paket sesuai dengan *codec* suara yang digunakan yaitu G.711, G.729, dan GSM dengan menggunakan *network-simulator-2* (NS-2) dengan protokol *routing* OLSR pada *Vehicular Ad hoc Networks* (VANET). Pengambilan data ini dengan melakukan simulasi menggunakan ONE-simulator versi 1.4.1 untuk simulasi mobilitas *nodes* dan NS-2.35 untuk melihat hasil trafik data di lingkungan jalan bebas hambatan (*highway*). Simulasi dilakukan dengan skenario perbedaan kepadatan kendaraan atau perbedaan jumlah *node*.

Simulasi dimulai dengan pengaturan lingkungan yaitu pengambilan peta jalan bebas hambatan. Kemudian dilakukan pengaturan parameter mobilitas *node* dengan mengatur jumlah dan kecepatan *node*. Setelah itu dilakukan pengaturan *traffic* arus data sesuai dengan spesifikasi masing-masing *codec* dan membuat

koneksi antar node yang telah ditentukan. Kemudian running simulasi menggunakan protokol *routing* OLSR dan melakukan pengambilan data. Data yang dihasilkan nantinya akan dihitung untuk mengetahui parameter QoS yang diujikan yaitu *throughput*, *packet delivery ratio*, dan *end to end delay*.

3.2 Perangkat Simulasi

3.1.1 Perangkat Keras / *Hardware*

- 1 Unit Laptop dengan spesifikasi
 - Processor Intel Core i3
 - Memory RAM 6 GB (pada *virtual machine* menggunakan 1 GB dan 1.5 GB *memory*)
 - Kapasitas Hardisk 500 GB

3.1.2 Perangkat Lunak / *Software*

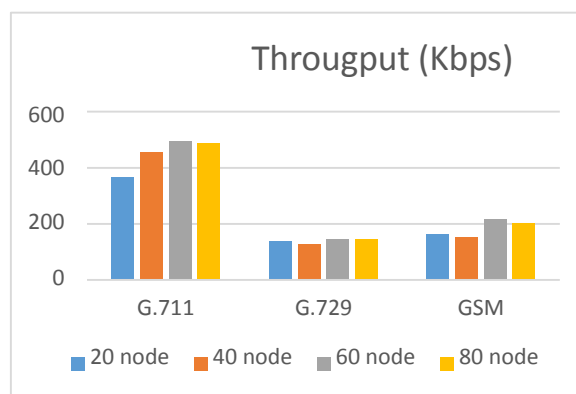
- *Virtual machine* VirtualBox 5.1.4 dan VMware Workstation 11
- Linux Ubuntu 12.04 dan 14.04 sebagai Operating System
- *Network-simulator-2.35*
- *ONE-simulator 1.4.1*

4. Pengukuran Dan Analisis

Setelah menjalankan simulasi pada *network-simulator*, didapat file *tracing* yang memiliki *extension* .tr yang menyediakan informasi mengenai pengiriman paket yang dapat di analisis dengan menggunakan file yang memiliki *extension* .awk yang dapat mengolah file .tr menjadi data yang kemudian dihitung untuk mendapatkan hasil parameter yang dicari. Parameter yang digunakan dalam tugas akhir ini untuk melihat performansi *codec* VoIP adalah *throughput*, *end to end delay*, dan *packet delivery ratio*. Data yang telah dihasilkan tersebut disajikan dalam bentuk grafik.

4.1 Analisis Performansi Terhadap Perubahan Jumlah *Node*

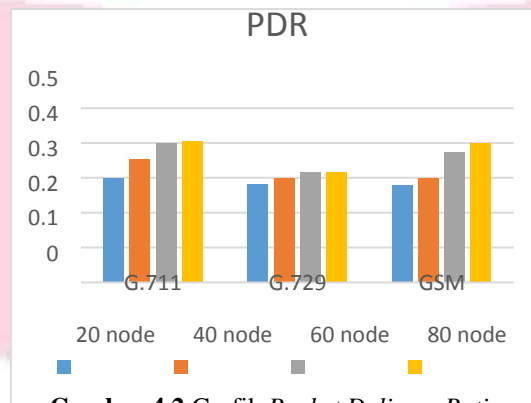
4.1.1 *Throughput*



Gambar 4.1 Grafik *Throughput*

Throughput adalah banyaknya jumlah bit data yang dilewatkan dalam selang waktu tertentu. Pada grafik diatas nilai *throughput* tertinggi adalah *codec* G.711 dikarenakan ukuran paketnya paling besar diantara yang lain, sehingga jumlah bit yang dilewatkan banyak pada saat proses pengiriman paket. *Throughput* yang didapat berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah *node* dikarenakan semakin bertambah jumlah *node*, maka *link* semakin banyak sehingga rute atau jalan ke *node* tujuan semakin banyak, atau bisa dikatakan *bandwidth* yang digunakan semakin besar. *Throughput* yang paling rendah terjadi pada G.729 dikarenakan ukuran paket yang kecil sehingga jumlah bit yang dilewatkan sedikit.

4.1.2 Packet Delivery Ratio

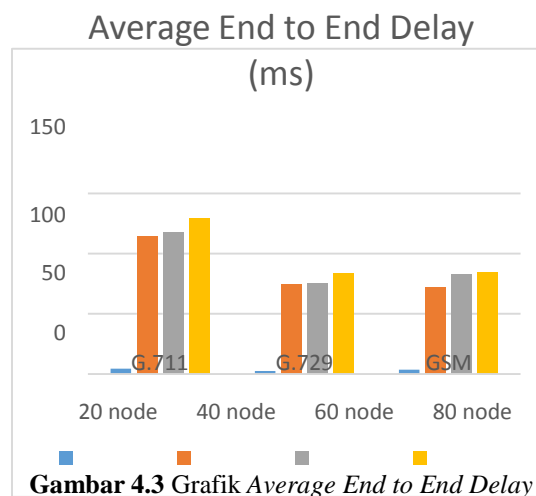


Gambar 4.2 Grafik Packet Delivery Ratio

PDR (*Packet Delivery Ratio*) adalah salah satu aspek terpenting dalam mengetahui performansi suatu *routing protocol* dalam keberhasilan pengiriman paket data. Pada grafik diatas, seiring dengan bertambahnya *node* terjadi kenaikan PDR, karena semakin banyak jumlah *node*, maka *link* semakin banyak atau dapat dikatakan banyak rute pilihan ke *node* tujuan, sehingga keberhasilan paket yang dikirimkan semakin tinggi.

Berdasarkan nilai PDR diatas, semua *codec* tidak mencapai rasio 90% (batas paket loss 10% [6]) yang merupakan batas yang dapat diterima dalam komunikasi suara. Hal ini disebabkan: pertama, besarnya *traffic* koneksi VoIP yang terjadi (*VoIP sources*), sementara setiap *node* hanya dapat menangani 50 antrian paket (50pps). Kedua, proses *discovery* rute pada protokol *routing*. Sementara *node* menghabiskan waktu untuk mencari rute ke tujuan, VoIP *source* terus memproduksi paket. Ketika rute ke tujuan belum siap dan antrian penuh, paket yang diproduksi akan terbuang.

4.1.3 Average End To End Delay



Gambar 4.3 Grafik Average End to End Delay

Delay merupakan waktu yang diperlukan oleh paket dari *node* pengirim sampai ke *node* penerima. Berdasarkan standar ITU-T G.104 untuk kualitas VoIP yang baik, delay harus dibawah 150 ms. Pada hasil diatas menunjukkan bahwa semua *codec* bisa dilewatkan pada VANET dengan baik sesuai dengan standar ITU-T. *Codec* G.711 memiliki *delay* yang paling tinggi diantara yang lainnya dikarenakan *codec* G.711 memiliki ukuran paket yang paling besar (160 bytes), sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk proses pengiriman paket. *Delay* yang paling kecil terjadi pada skenario 20 node, karena *node* bisa digambarkan sebagai *background traffic*, sehingga pada node 40, 60, dan 80, paket melewati rute yang lebih banyak sehingga waktu yang dibutuhkan paket untuk sampai ke *node* tujuan lebih lama. Pada grafik di atas, *delay* *codec* G.729 (20 bytes) memiliki nilai yang paling kecil, walaupun tidak berbeda jauh dengan *codec* GSM (33 bytes) karena besar paket hamper sama.

5. Kesimpulan

Hasil dari penelitian tugas akhir ini yang menunjukkan performansi dari berbagai codec suara telah didapatkan, yang mungkin bisa menjadi referensi untuk menerapkan layanan VoIP pada VANET. Kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Secara garis besar dari hasil penelitian ini, performansi QoS dengan semakin bertambahnya node tidak bisa diprediksi hasilnya, karena skenario dilakukan dengan ukuran luas peta yang sama dan jumlah koneksi VoIP yang sama. Semakin banyak node, delay semakin besar dan keberhasilan pengiriman paket semakin tinggi. Sedangkan bandwidth yang digunakan tergantung dari ukuran paket tiap codec.
2. GSM menunjukkan performansi optimal diantara codec lainnya, walaupun tidak berbeda jauh dengan G.729 pada parameter end to end delay, tetapi nilai PDR GSM lebih baik.
3. Pada parameter packet delivery ratio, semua codec tidak mencapai batas yang diterima.

Daftar Pustaka

- [1] S.El Brak, M.Bouhorma, A.A.Boudhir , “Voice over VANETs (VoVAN): QoS Performance Analysis of Different Voice CODECs in Urban VANET Scenarios”, IEEE Journal, 2012
- [2] T. Clausen and P. Jacquet, “IETF RFC-3626, Optimized Link State Routing Protocol OLSR”, Oct, 2003
- [3] ITU-T Recommendation G.711, “Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies”, 1998
- [4] ITU-T Recommendation G.729, “Coding of speech at 8kbits/s using conjugate-structure algebraic-code excited linear-prediction (CS-ACELP)”, 1996
- [5] ETSI Recommendation GSM 06.10, “GSM Full Rate Speech Transcoding”, 1992
- [6] C. W. William, "VoIP Service Quality Measuring and Evaluating Packet-Switched Voice". 1st edition. USA: McGraw-Hill Networking Professional, 2002.
- [7] S. Yogie Tri, “Analisis Performansi Protokol Routing OLSR dan FSR Pada Simulasi Jaringan Ad-hoc Network di Lingkungan Highway”, Universitas Telkom, 2016
- [8] W. C. William, “VoIP Service Quality Measuring and Evaluating Packet-Switched Voice”. 1st edition. USA: McGraw-Hill Networking Professional, 2002
- [9] S.El Brak, M.Bouhorma, A.A.Boudhir , “Voice over MANET (VoMAN): QoS & Performance Analysis of Routing Protocols for Different Audio Codecs”, International Journal of Computer Applications (0975-8887), Vol.36 No.12, December 2011
- [10] S. Andi Taufik, “Implementasi Dan Analisa Unjuk Kerja Secure VoIP Pada Jaringan VPN Berbasis MPLS Dengan Menggunakan Tunneling IPSec”, Universitas Indonesia, 2010
- [11] Ying Ge, “Quality-of-Service Routing in Adhoc Networks Using OLSR”, New York, 2004
- [12] <https://zethcorner.wordpress.com/2008/11/26/voice-over-internet-protocol-voip/> , diakses pada 29 Agustus 2016
- [13] <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html>, diakses pada 12 Agustus 2016