



Artikel Penelitian

Analisa Perbandingan *Quality of Service Voice Over IP* dengan Pengujian Codec Menggunakan Algoritma *Low Latency Queuing*

Darmawan¹, Yayan Syafriyatno¹¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 31 Juli 2017

Revisi Akhir: 31 Agustus 2017

Diterbitkan Online: 02 September 2017

KATA KUNCI

VoIP, LLQ, queuing, codec, packet switching

KORESPONDENSI

Telepon: +628116665772

E-mail: wawan@fti.unand.ac.id

A B S T R A C T

Voice over IP (VoIP) adalah solusi komunikasi suara yang murah karena menggunakan jaringan IP dibanding penggunaan telephone analog yang banyak memakan biaya. Dalam penerapannya, VoIP mengalami permasalahan karena menggunakan teknologi packet switching yang mana penggunaannya bersamaan dengan paket data sehingga timbul delay, jitter, dan packet loss. Pada penelitian ini, algoritma Low Latency Queuing (LLQ) diterapkan pada router cisco. Algoritma LLQ merupakan gabungan dari algoritma Priority Queuing (PQ) dan Class Based Weight Fair Queuing (CBWFQ) sehingga dapat memprioritaskan paket suara disamping paket data. Algoritma LLQ ini diujikan menggunakan codec GSM FR, G722, dan G711 A-law. Hasil pengujian didapatkan nilai parameter yang tidak jauh berbeda dan memenuhi standar ITU-T.G1010. Nilai delay rata - rata terendah yaitu ketika menggunakan codec G722 sebesar 20,019 ms tetapi G722 memiliki rata - rata jitter yang terbesar yaitu 0,986 ms. Codec dengan jitter rata - rata terkecil adalah G711 A-law sebesar 0,838 ms. Packet loss untuk semua codec yang diujikan adalah 0%. Throughput pada paket data terbesar saat menggunakan codec GSM FR yaitu 18,139 kbps. Codec yang direkomendasikan adalah G711 A-law karena lebih stabil dari segi jitter dan codec GSM FR cocok diimplementasikan pada jaringan yang memiliki bandwidth kecil.

1. PENDAHULUAN

Pada saat sekarang ini, komunikasi menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi seluruh orang di dunia. Banyak cara untuk menyampaikan informasi baik dengan mengirim pesan melalui email maupun bercakap langsung melalui telepon. Namun permasalahan yang timbul adalah ketika pengguna, terutama instansi melakukan komunikasi melalui telepon analog dalam durasi yang lama akan menimbulkan biaya menjadi tinggi. Untuk itu dibutuhkan suatu teknologi komunikasi suara yang murah. Voice Over IP disingkat VoIP dapat menjadi solusi untuk menurunkan biaya dalam komunikasi suara karena menggunakan jaringan IP sebagai media[1]. VoIP juga menjadi pilihan orang – orang ketika melakukan panggilan keluar negeri yang banyak disediakan oleh provider di Indonesia daripada menggunakan SLI (Sambungan Langsung Internasional) berbasis teknologi clear channel yang mahal. Dalam penerapannya, VoIP memiliki banyak permasalahan. Pada jaringan IP, data yang lewat tidak hanya berupa data suara, tetapi juga berupa data teks, gambar, maupun video. Paket data dan suara akan berbagi bandwidth

pada jaringan ini. Hal ini dapat menimbulkan kongesti pada jaringan sehingga membuat kualitas dari VoIP menjadi menurun karena akan ada paket suara yang loss dan delay menjadi semakin besar. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Miftah Rahman Syahril dalam tesisnya yang berjudul “Analisa Quality of Service IP Telephony dengan Metode Low Latency Queuing” beliau mencoba membandingkan algoritma antrian FIFO, CBWFQ dan LLQ dan mendapat hasil bahwa algoritma antrian yang cocok untuk VoIP adalah LLQ. Kemudian beliau juga menguji dua jenis codec yaitu G.711 dan G.729 dan mendapat hasil latency dari masing masing codec tersebut.

Kualitas dari VoIP tidak hanya bergantung pada latency saja. Latency yang kecil belum menjamin kualitas panggilan pada VoIP karena parameter seperti packet loss dan jitter juga dapat mempengaruhi kualitas panggilan dari VoIP yang mana parameter tersebut akan diuji pada penelitian ini menggunakan codec G711 A-law, G722 dan GSM.

Maka pembahasan kali ini akan dibahas bagaimana pengaruh implementasi LLQ terhadap QoS VoIP pada codec yang berbeda dengan lalu lintas data yang padat, namun juga memperhatikan pengaruh terhadap throughput paket data TCP. Sehingga

didapatkan data mengenai QoS VoIP ketika trafik padat dengan implementasi LLQ pada codec yang diujikan dan dapat menjadi acuan dalam membangun infrastruktur VoIP yang handal menggunakan jaringan yang tersedia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Low Latency Queuing

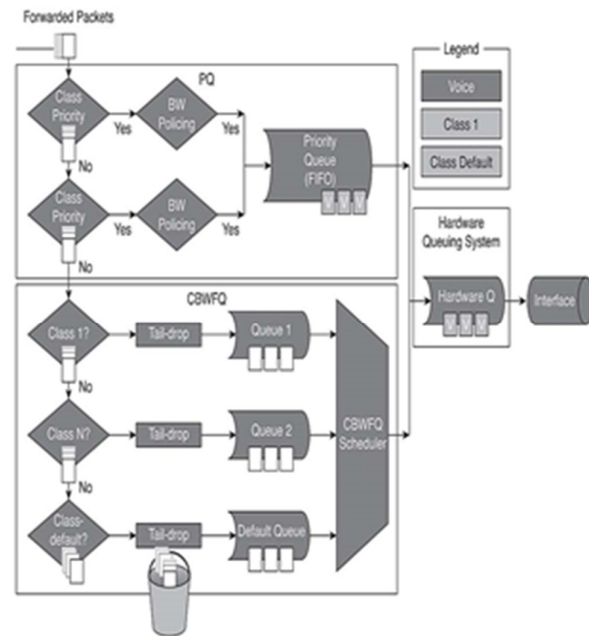
Low Latency Queuing merupakan algoritma antrian yang menggabungkan antara Priority Queuing (PQ) dan Class Based Weight Fair Queuing (CBWFQ). Priority Queuing adalah algoritma antrian yang akan memisahkan paket yang dianggap penting untuk diproses terlebih dahulu sampai paket tersebut habis dalam antrian.

Pada metode ini akan membuat prioritas-prioritas dari paket yang diantrikan. Priority queuing dapat diaplikasikan pada paket atau service tertentu. Misalnya level priority pada paket UDP lebih tinggi dari paket TCP atau service telnet akan lebih diprioritaskan dari pada service HTTP. Paket-paket akan dipisahkan dan dikeluarkan dari router sesuai dengan prioritasnya. Disini bukanlah aliran paket yang dipisahkan tapi paket-paketnya. Dalam proses mengklasifikasikan mana paket yang memiliki prioritas tinggi mana yang tidak, tentu membutuhkan waktu. Paket akan dimasukkan kedalam buffer dan kemudian dikirim kembali keluar secara seri. Jika buffer penuh maka paket akan di drop. Kondisi terburuknya adalah ketika paket dengan prioritas tinggi selalu ada dalam hal ini kita memprioritaskan voice maka perangkat akan selalu memproses paket tersebut sehingga paket dengan prioritas rendah akan terjadi delay yang disebabkan paket terlalu lama mengantri[2],[3].

Class Based Weight Fair Queuing (CBWFQ) adalah metode pengembangan dari Weight Fair Queuing. Dengan CBWFQ, user dapat mendefinisikan kelas trafik baik menurut protokol, ACL, ataupun input interface. Penggunaan bandwidth dapat diatur berdasarkan pembagian kelas yang telah dibuat. Tetapi CBWFQ masih memakai algoritma round robin yaitu paket diproses secara bergantian sehingga paket yang kita inginkan duluan atau prioritaskan tetap mengantri[4].

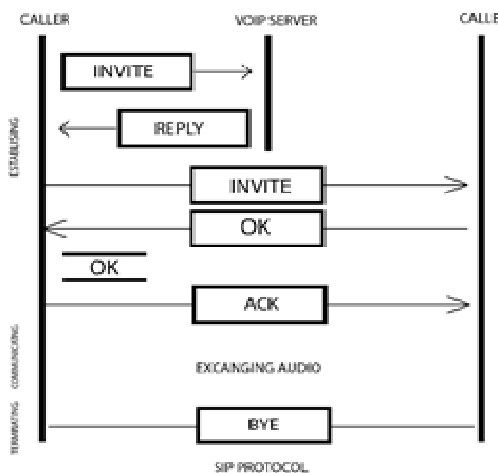
Ide dari algoritma Low Latency Queuing adalah menggabungkan antara algoritma priority queuing dengan class based weight fair queuing. Low Latency Queuing dapat mendahulukan data yang sensitif terhadap delay seperti voice untuk diantrikan dan dikirim sebelum paket pada antrian yang lain. Paket yang datang akan diklasifikasikan dan kemudian diteruskan sesuai dengan class-nya. Jika paket dengan prioritas yang tinggi masuk melebihi "Bandwidth Policing" dan jika ada kongesti pada jaringan maka kelebihan trafik tersebut akan di drop[6]. Tetapi jika jaringan tidak dalam keadaan padat atau macet maka trafik suara atau trafik yang diprioritaskan akan

diperbolehkan melewati trafik yang dialokasikan padanya[7].



Gambar 1. Algoritma Low Latency Queuing[5]

2.2 Voice over IP (VoIP)



Gambar 2. Protokol SIP

VoIP atau disebut juga dengan Internet Telephony merupakan suatu aplikasi audio/video interaktif yang berjalan secara realtime. Idennya adalah menggunakan jaringan internet sebagai jaringan telephone. Voip tidak menggunakan jaringan circuit switching untuk berkomunikasi, tetapi menggunakan jaringan packet switching. Voip biasanya menggunakan protokol SIP, H.323 ataupun H.248 [2]. Pada penelitian ini, protokol yang digunakan yaitu Session Initiation Protocol (SIP). Protokol SIP didesain oleh IETF yang bekerja pada layer 7 OSI layer atau application layer yang dapat membangun, mengatur dan memutuskan suatu sesi panggilan. SIP didesain independen dari lapisan transport yang dapat berjalan pada UDP, TCP, atau SCTP. SIP memiliki enam tipe paket yaitu INVITE, ACK, BYE, OPTIONS, CANCEL, dan

REGISTER. Masing – masing message memiliki header dan body. Pemanggil menginisialisasi sesi dengan paket INVITE. Setelah dijawab oleh tujuan, pemanggil mengirim sebuah paket ACK sebagai konfirmasi. Kemudian pake BYE digunakan untuk mengakhiri panggilan. CANCEL digunakan untuk membatalkan panggilan. Sesi pada protokol SIP terdiri dari 3 bagian yaitu establishing, communicating, dan terminating[2]

2.3 Codec

Suara dan audio adalah sinyal analog sedangkan data pada jaringan dikirim secara digital. Oleh karena itu dibutuhkan codec. Codec merupakan singkatan dari coder-decoder. Codec mengkonversi dari sinyal audio analog ke sinyal terkompresi dalam bentuk digital sehingga dapat ditransmisikan pada jaringan IP kemudian dikembalikan lagi ke bentuk sinyal audio semula. Penggunaan jenis codec yang berbeda mempengaruhi bandwidth yang dikonsumsi per panggilan. Hal yang mempengaruhinya adalah jenis kompresi yang digunakan, sampling dari codec yaitu seberapa banyak sinyal analog dari voice yang dikonversi ke sinyal digital per packet-nya dan overhead setiap paket (IP, RTP, dan UDP header). Proses encoding/decoding dilakukan oleh CPU dari router. Semakin kompleks kompresi yang digunakan maka akan memakan resource CPU yang semakin besar tetapi akan menghasilkan paket voice yang memakan bandwidth kecil[4]. Penggunaan bandwidth juga dipengaruhi oleh ukuran voice payload yang digunakan. Ketika ukuran voice payload ditinggikan maka bandwidth yang digunakan berkurang tetapi delay akan semakin tinggi[8]. Jenis codec yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.2.1 Codec GSM FR

Codec Global System for Mobile Full Rate (GSM FR) adalah codec yang didesain oleh European Telecommunications Standards Institute (ETSI) yang digunakan pada awalnya untuk komunikasi wireless. Namun seiring dengan perkembangan VoIP, codec GSM FR digunakan dalam aplikasi VoIP. Prinsip kerja dari codec ini menggunakan regular and transmission pulse excitation, long term prediction (RPE-LTP). Codec ini dapat digunakan secara bebas dan sering dijumpai pada aplikasi – aplikasi voip yang opensource. Codec ini beroperasi dengan audio frame 20 ms dan setiap frame 33 bytes, sehingga bitrate menjadi sebesar 13 kbps[9].

2.2.2 Codec G711

Codec G.711 distandarisasi oleh ITU-T dan digunakan dalam telephony. Pada codec G.711 ini menggunakan Pulse Code Modulation (PCM) dalam pengkodeannya. G.711 merupakan narrowband codec yang memiliki bitrate sebesar 64 kbps. G.711 memiliki range signal dari 300 – 3400 Hz dan men-sampling sebanyak 8000 sampel tiap detiknya (8 kHz). Tiap sampelnya terdiri dari 8 bit. Sehingga menghasilkan bitrate 64 kbps. Algorithmic delay untuk codec G.711 adalah 0,125 ms. G.711 membagi sinyal suara ke dalam 20 ms blok dengan ukuran voice payload sebesar 160 byte dengan packet per size 50 pps. Ada dua versi codec G.711 yang berbeda yaitu G.711 u-law yang digunakan terutama di Amerika Selatan dan Jepang, dan A-law, yang digunakan di Eropa dan sebagian besar negara – negara di Asia[10]. G.711 u-law memiliki keunggulan yaitu resolusi sinyal yang tinggi sedangkan G.711 A-law dapat memberikan level kuantisasi pada tingkat sinyal yang rendah. u-law dan A-law

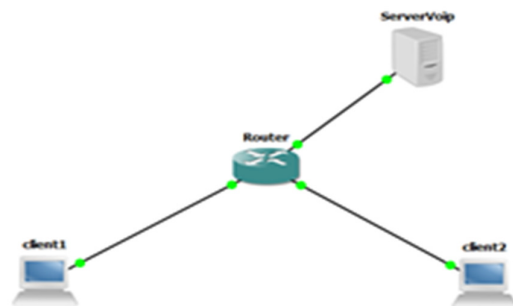
encode 14 bit dan 13 bit dengan metode PCM sebagai input dan mengkonversinya ke 8 bit[10].

2.2.3 Codec G722

Codec G.722 distandarisasi oleh ITU pada tahun 1988 dan pada saat ini patennya sudah kadaluarsa sehingga bebas digunakan. Teknologi ini dikodekan dengan SB-ADPCM. G.722 memiliki wideband 7 kHz yang beroperasi pada kanal 48, 56 dan 64 kbit/s. G.722 meningkatkan kualitas suara karena memiliki rentang bandwidth 50 – 7000 Hz dibanding codec G.711 yang pada umumnya dioptimalkan untuk POTS wireline 300 – 3400 Hz. Sampling rate dari codec ini adalah 16 kHz yang mana merupakan dua kali dari interface telepon tradisional yang dapat menghasilkan kualitas audio yang lebih jernih. [16] G.722 ini biasanya digunakan pada aplikasi voip pada jaringan lokal karena bandwidth yang tersedia lebih besar yaitu 87,2 Kbps[8].

3. METODOLOGI

Pada penelitian ini, akan dibangun jaringan lokal yang terdiri dari client, router, server VoIP dan web server dengan topologi seperti pada gambar 3.1. Pada saat pengujian, bandwidth link pada jaringan akan dibatasi untuk membuat bandwidth lokal menjadi kecil. Kemudian saat client melakukan panggilan, dilakukan transfer data antara server dan client untuk mencerminkan keadaan trafik yang kongesti. Pada saat itu akan diukur parameter – parameter QoS yang akan diuji yaitu *jitter*, *packet loss*, dan *latency/delay*.



Gambar 3. Topologi Jaringan

Tahap pertama pada penelitian ini yaitu mempelajari literatur yang ada. Kemudian dilakukan rencana perancangan dari topologi dan konfigurasi jaringan VoIP. Hasil dari perancangan ini diujikan menggunakan simulator GNS3 dan dilakukan pengambilan data. Pada percobaan diterapkan metode LLQ serta diuji dengan masing masing codec yaitu codec GSM FR, G711 A-law, dan G722.



Gambar 4. Flowchart penelitian

1. Router Cisco

Pada penelitian ini IOS dari router cisco diinstal pada GNS3 dengan spesifikasi sebagai berikut:

IOS :c7200
 RAM :512 MB
 NVRAM :512 MB
 Adapter :slot0 – slot 6 (Gigabit Ethernet)

2. PC Client

PC Client diinstal pada GNS3 dengan spesifikasi sebagai berikut:

OS : Windows 8 64 bit
 RAM : 1 GB
 Processor Core : 1
 Hard Disk : 15 GB

3. Server

Server yang digunakan adalah ubuntu server 12.04 LTS i386 yang diinstal pada vmware dengan spesifikasi sebagai berikut :

RAM : 512 MB
 Processor Core : 2
 Hard Disk (SCSI) : 8 GB

Server ini diinstal voip server menggunakan asterisk dan web server menggunakan apache2.

4. X-lite SIP softphone

X-lite sip softphone adalah VoIP client software untuk melakukan panggilan antar sesama client. X-lite sip softphone diinstal pada masing – masing client.

5. Wireshark

Wireshark merupakan software yang dapat men-capture paket paket data yang lewat pada suatu jaringan sehingga didapat parameter QoS yang dicari. Wireshark sendiri sudah terintegrasi dengan GNS3 saat penginstalan.

6. Komputer master

Komputer master merupakan komputer untuk menjalankan simulasi. Komputer ini diinstal simulator GNS3. Spesifikasi dari komputer ini adalah sebagai berikut:

OS : Windows 10 Home Single Language

Processor: Intel(R) Core i7-4790TCPU @2,70GHz

RAM :16,0 GB

System Type : 64-bit OS, x64-based processor

E. Langkah Pengujian

1. Sebelum Pengujian

Sebelum melakukan pengujian, dilakukan instalasi VoIP server dan web server terlebih dahulu. VoIP server digunakan sebagai layanan VoIP dan web server digunakan untuk membuat trafik data biasa pada jaringan. Kemudian dilakukan konfigurasi ip address sehingga perangkat saling terkoneksi. Lalu pada interface router diimplementasikan metode LLQ .

2. Saat Pengujian

Saat pengujian, salah satu client melakukan download data dari web server, hal ini akan membuat jaringan akan dipenuhi oleh paket TCP. Saat melakukan download data, dilakukan panggilan antara kedua client. Pengujian diulang dengan codec yang berbeda yaitu codec GSM FR, G711 A-law, dan G722. Paket akan di-capture menggunakan wireshark.

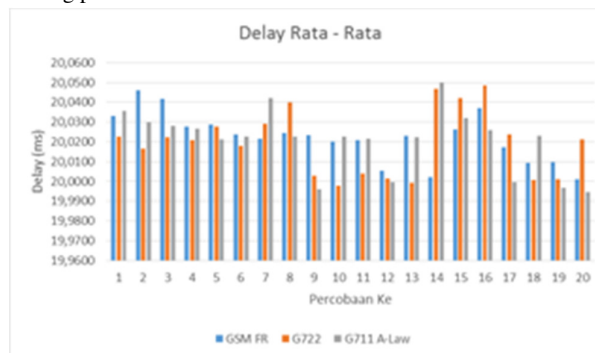
3. Setelah Pengujian

Hasil capture dari wireshark akan dianalisa dan dicari parameter QoS VoIP yang diinginkan yaitu delay, jitter, dan packet loss serta throughput dari paket TCP.

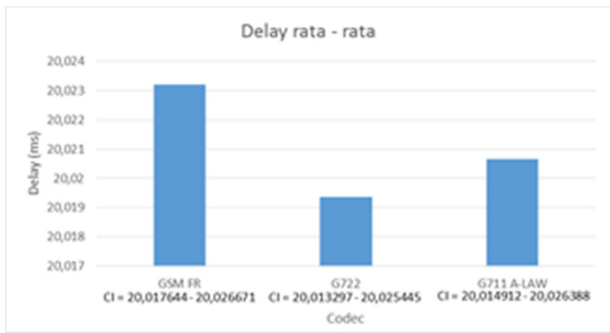
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Delay

Hasil pengujian metoda Low Latency Queuing pada masing masing codec untuk parameter QoS yang diujikan akan dibahas pada sub-bab ini. Untuk grafik delay rata - rata pada masing – masing percobaan antar codec dapat dilihat pada gambar 5. Jika dirata – ratakan semua percobaan yaitu pada gambar 6 terlihat bahwa codec GSM FR memiliki delay rata – rata tertinggi yaitu 20,0232 ms. GSM FR adalah codec yang memiliki bitrate terkecil dari dua codec lainnya, sehingga processor butuh lebih banyak waktu untuk melakukan kompresi oleh karena itu delay akan jadi lebih besar jika dibandingkan dengan codec yang lain[4]. Codec GSM FR juga memiliki codec delay dan algorithmic delay tertinggi dibanding dua codec yang lain yaitu codec G722 dan G711 A-law. Codec G722 pada gambar 5 memiliki delay rata – rata terendah namun pada masing masing percobaan terlihat tidak stabil hal ini akan



Gambar 5. grafik perbandingan delay rata – rata pada masing – masing percobaan.

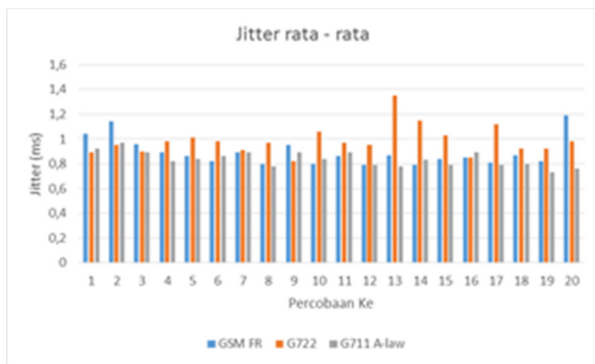


Gambar 6. grafik delay rata – rata dari semua percobaan antar codec

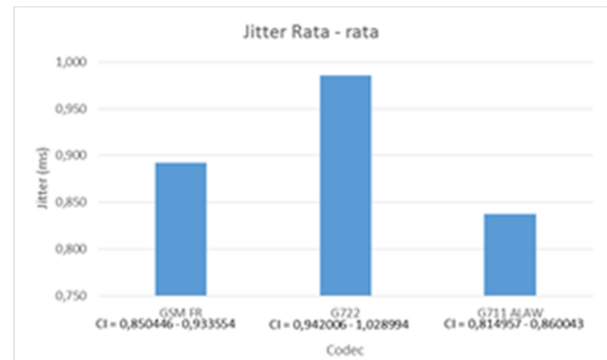
berpengaruh pada jitter dari codec G722 ini yang akan dibahas pada bagian jitter. Pengaruh metoda LLQ disini adalah untuk memisahkan dan memprioritaskan antrian paket yang masuk sehingga delay yang terjadi diminimalisir karena untuk paket voice akan diprioritaskan. Dilihat dari keseluruhan, delay yang dihasilkan sangat sedikit perbedaanya. Delay disebabkan oleh antrian paket yang masuk dan yang akan keluar pada router, karena paket RTP dari VoIP yang masuk pada router tidak melebihi kapasitas bandwidth dari yang telah disediakan yaitu sebesar 90 kbps sedangkan menurut teori, bitrate dari codec maksimal yaitu 87,2 kbps maka tidak terjadi antrian yang berlebihan yang dapat menyebabkan paket delay (queuing delay). Dari hasil metoda LLQ ini, didapat secara keseluruhan delay yang dialami paket voice masih dalam kategori bagus dan memenuhi standar degradasi ITU-T yaitu < 150 ms.

Cara penyajian gambar dapat dilihat pada Gambar 1. Apabila gambar tersebut adalah sumber sekunder maka perlu disebutkan sumbernya. Keterangan gambar diletakan pada bagian bawah gambar. Gambar tidak perlu dibingkai.

4.2 Pengukuran Jitter



Gambar 7. Grafik perbandingan jitter rata – rata dari masing masing codec



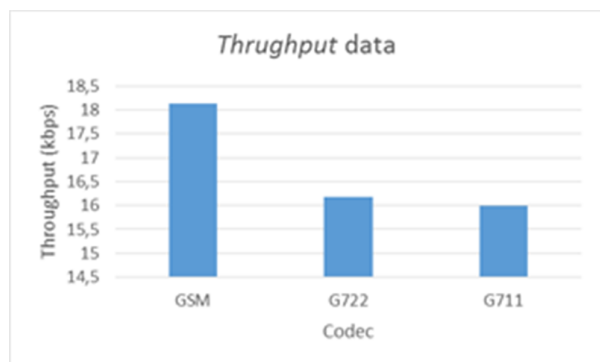
Gambar 8. perbandingan jitter rata – rata dari semua percobaan antar codec

Grafik jitter rata - rata pada masing masing percobaan bisa dilihat pada gambar 7 terlihat bahwa menurut standar ITU-T semua jitter masih dalam kategori bagus (0 – 75 ms). Namun untuk perbandingan jitter, berdasarkan gambar 8, codec G722 memiliki jitter lebih tinggi dibanding codec GSM FR dan G711 A-law. Jitter adalah perbedaan delay antar paket saat dikirim sampai diterima oleh tujuan. Codec G722 memiliki jitter yang kurang bagus. Jitter yang lebih tinggi pada Codec G722 disebabkan G722 memiliki sampling rate terbesar dari codec yang lain yaitu 16 kHz. Terlepas dari semua itu, perbedaan jitter antara masing – masing codec sangat kecil, hal ini disebabkan untuk mencapai tujuan, paket RTP dari suara tidak melewati jalur yang berbeda dikarenakan router hanya berjumlah satu. Parameter lain yang mempengaruhi jitter adalah kongesti pada jaringan. Metode LLQ dalam hal ini memprioritaskan paket voice sehingga jika ada paket voice yang masuk maka akan didahulukan. Sehingga tidak terjadi kongesti yang berarti.

4.3 Packet Loss

Dalam komunikasi suara memang disarankan tidak ada packet loss. Dari semua percobaan yang dilakukan tidak ada packet loss yang terjadi. Packet loss disebabkan karena kongesti jaringan dan menyebabkan antrian paket yang terlalu panjang. Dapat disimpulkan pada percobaan tidak terjadi antrian panjang yang mengakibatkan paket di drop oleh router. Peran LLQ disini sangat penting untuk memprioritaskan paket suara. Pada konfigurasi LLQ, paket voice diprioritaskan untuk mendapatkan bandwidth sebesar 90 kbps, sedangkan bandwidth ethernet dari masing – masing codec tertinggi yaitu codec G722 dan codec G711 A-law yang memiliki total bitrate 87,2 kbps. Walaupun paket data juga ada pada link, namun paket data hanya mendapat 30% dari link 128 kbps dan tidak diprioritaskan untuk diproses lebih dahulu.

4.4 Throughput paket data



Gambar 9. Hasil pengujian metode LLQ terhadap throughput data antara codec yang digunakan

Dari gambar 9 terlihat bahwa penggunaan codec GSM FR memiliki efek terhadap throughput data menjadi lebih tinggi dari codec yang lain. Hal ini disebabkan jika kita bandingkan bitrate ethernet total dari masing masing codec yang terendah adalah milik GSM FR. Hanya memakai 28,63 kbps dari bandwidth interface yaitu 128 kbps. Sehingga saat melakukan download data, masih terdapat banyak sisa bandwidth pada interface. Untuk codec G722 dan G711 A-law memiliki throughput rata – rata yang hampir sama. Karena pada konfigurasi LLQ hanya menyediakan bandwidth sebesar 90 kbps sedangkan bitrate dari codec G722 dan G711 A-law adalah 87,2 kbps sehingga bandwidth sisa akan dipakai oleh data.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Implementasi metode Low Latency Queuing pada jaringan bertrafik padat menghasilkan performansi panggilan VoIP yang bagus, karena paket voice akan diprioritaskan. Terlihat dari parameter delay, jitter, dan packet loss yang memenuhi standar degradasi ITU-T G1010. Jika dibandingkan antara codec yang digunakan yaitu GSM FR, G722, dan G711 A-law menghasilkan delay, jitter, dan packet loss yang tidak jauh berbeda antara codec. Codec yang paling direkomendasikan dari ketiga codec untuk diimplementasikan adalah codec G711 A-law karena dari hasil penelitian ini, untuk delay rata – rata memang diurutkan kedua tetapi masih dalam kategori sangat bagus yaitu 20,02 ms namun delay lebih stabil terlihat pada jitter paling kecil yaitu 0,838 ms serta packet loss 0%. Codec yang paling direkomendasikan dari ketiga codec untuk diimplementasikan adalah codec G711 A-law karena dari hasil penelitian ini, untuk delay rata – rata memang diurutkan kedua tetapi masih dalam kategori sangat bagus yaitu 20,02 ms namun delay lebih stabil terlihat pada jitter paling kecil yaitu 0,838 ms serta packet loss 0%. Pengujian metoda LLQ terhadap throughput paket data tergantung dari berapa bandwidth yang disediakan untuk paket data, dan pemilihan codec. Jika menggunakan codec yang memiliki bitrate rendah, maka throughput data bisa tinggi. Codec GSM FR dalam hal ini memiliki throughput terhadap pada paket data lebih besar yaitu 18,13 kbps sehingga codec GSM FR cocok digunakan untuk kecepatan link yang lambat atau memiliki bandwidth kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia. "Jaringan Komputer". 2015. http://id.wikipedia.org/wiki/Jaringan_komputer. Diakses 15 februari 2016.
- [2] Forouzan, Behrouz. 200. *Data Communications and Networking*. Fourth Edition. New York : McGraw-Hill.
- [3] Towidjojo, Rendra. 2014. *Mikrotik Kung Fu : Kitab 3*. Jasakom: Jakarta.
- [4] Syahrial, Miftah Rahman. 2015. "Analisa Quality of Service IP Telephony dengan Metode Low Latency Queuing". Jakarta : Teknik Elektro Universitas Mercubuana.
- [5] Cisco Press. 2008. "Chapter 7: Improving and Maintaining Voice Quality". <http://www.networkworld.com/article/2284533/lan-wan/chapter-7--improving-and-maintaining-voice-quality.html?page=3>. Diakses 18 juni 2016.
- [6] Cisco. 2015. "QoS: Congestion Management Configuration Guide, Cisco IOS XE Release 3S". USA : Cisco System Inc.
- [7] Cisco. 2014. "Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide, Release 12.2". USA : Cisco System Inc.
- [8] Cisco. 2016. "Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption". <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html>. Diakses 13 April 2016.
- [9] Voip Info. 2015. "GSM FR Codec". http://www.voip-info.org/wiki/view/GSM_FR+Codec. Diakses 15 April 2016.
- [10] Wikipedia. "G.711". 2016. <https://en.wikipedia.org/wiki/G.711>. Diakses 15 April 2016.

BIODATA PENULIS

Darmawan

Menylesaikan S1 Teknik Elektro tahun 2000 di Fakultas Teknik Universitas Andalas dan S2 Mechatronic tahun 2013 di IIUM, Malaysia.