

STUDI PENERAPAN LAYANAN VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP) BERBASIS RASPBERRY PI

Teten Dian Hakim¹, Muryadi²

tetendianhakim@unkris.ac.id, muryadi13@gmail.com,

ABSTRAK, *Voice over Internet Protocol (VoIP)* atau telepon internet adalah jaringan telepon melalui jaringan internet, VoIP dapat digunakan di mana saja selama terhubung ke jaringan. Raspberry Pi adalah serangkaian komputer *single-board* berukuran kartu kredit yang dikembangkan di Britania Raya oleh Raspberry Pi Foundation. Penelitian ini menerapkan Raspberry Pi 3 untuk difungsikan sebagai *server* VoIP yang dipasangkan dengan *router* Mikrotik RB433AH dan antena pemancar. Pada sisi *client* digunakan *smartphone* android dengan aplikasi Zoiper. Server VoIP ini menggunakan sistem Linux sebagai pondasi utama dengan aplikasi Asterisk dan RasPBX yang berbasis *open sources*.

Server VoIP mampu melayani panggilan secara bersamaan dengan 10 *client*. Dalam pengujian jaringan VoIP ini menggunakan *codec audio* μ -law, gsm, dan A-law. Pengujian panggilan dilakukan sebanyak 10 kali pada masing-masing *codec*. Rata-rata *delay* 14,96 ms untuk *codec* μ -law, 12,712 ms *codec* gsm dan 11,316 ms *codec* A-law. Rata-rata *jitter* 8,397 ms untuk *codec* μ -law, 19,598 ms *codec* gsm dan 7,308 ms *codec* A-law. Rata-rata *packet loss* yang didapat *codec* μ -law dan gsm 0 %, dan 0,0075 % untuk *codec* A-law. Rata-rata *throughput* 0,1516 Mbps untuk *codec* μ -law, 0,0983 Mbps *codec* gsm dan 0,2053 Mbps untuk *codec* A-law. Berdasarkan pengukuran QoS menggunakan wireshark pada *codec* μ -law, gsm dan A-law menunjukkan jaringan VoIP ini memenuhi standar QoS menurut ITU-T G.114.

ABSTRACT, *Voice over Internet Protocol (VoIP)* or internet telephone is a telephone network through the internet network, VoIP can be used anywhere as long as it is connected to the network. Raspberry Pi is a series of single-card-sized credit card computers developed in the United Kingdom by the Raspberry Pi Foundation. This research applies Raspberry Pi 3 to function as a VoIP server that is paired with a Mikrotik RB433AH router and transmitter antenna. On the client side an Android smartphone is used with the Zoiper application. This VoIP server uses a Linux system as the main foundation with the Asterisk and RasPBX applications based on open sources.

VoIP servers are able to serve calls simultaneously with 10 clients. In testing this VoIP network using audio codecs μ -law, gsm, and A-law. Call testing was carried out 10 times in each codec. The average delay is 14.96 ms for μ -law codecs, 12.712 ms gsm codecs and 11.316 ms A-law codecs. The average jitter is 8.397 ms for the μ -law codec, 19.598 ms gsm codec and 7.308 ms A-law codec. The average packet loss obtained by μ -law and gsm 0% codecs, and 0.0075% for A-law codecs. Average throughput of 0.1516 Mbps for μ -law codecs, 0.0983 Mbps gsm codecs and 0.2053 Mbps for A-law codecs. Based on QoS measurement using Wireshark in μ -law, gsm and A-law codecs, this VoIP network meets QoS standards according to ITU-T G.114.

Keywords - VoIP, Raspberry Pi 3, RasPBX, router Mikrotik, Zoiper, codec audio

1. Pendahuluan

Teknologi jaringan komputer dan internet saat ini telah menjadi salah satu kebutuhan yang penting dalam aktifitas kehidupan. Setiap hari terus berkembang, perkembangan yang ramai dibicarakan saat ini adalah teknologi yang mengarah pada *Next Generation Network (NGN)* yang kemungkinan besar akan berplatform pada teknologi *Internet Protocol (IP)*, salah satu yang mulai digunakan adalah *softswitch* atau yang dikenal dengan nama *Voice over Internet Protocol (VoIP)*.

VoIP memiliki dua jenis protokol yang dapat digunakan dalam pemrosesannya yaitu SIP dan H.323. Untuk membangun sebuah server VoIP maka dibutuhkan sebuah komputer yang dapat menjalankan protokol-protokol VoIP beserta aplikasinya. Efisiensi daya dan biaya penggunaan listrik tentu saja menjadi salah satu faktor dalam pemilihan server. Mini PC merupakan sebuah komputer berukuran kecil dengan komponen yang lebih sederhana. Mini PC dapat bekerja seperti komputer pada umumnya namun mempunyai kinerja lebih rendah karena memang didesain untuk melakukan kegiatan pemrosesan yang lebih ringan. Raspberry Pi merupakan salah satu jenis Mini PC yang diharapkan dapat menggantikan PC desktop sebagai server VoIP dikarenakan Mini PC memiliki efisiensi biaya dalam penggunaan sumber daya listrik dan memiliki ukuran yang kecil.

2. Kajian Pustaka

2.1 Voice over Internet Protocol (VoIP)

Voice over Internet Protocol (VoIP) atau telepon *internet* adalah jaringan telepon melalui jaringan *internet (TCP / IP)*. Dengan demikian, VoIP dapat digunakan di mana saja selama terhubung ke jaringan.

Seberapa baik kualitas komunikasi VoIP tergantung pada jenis *Codec* yang digunakan dalam komunikasi yang diberikan. Kependekan dari *Coding Decoding*, *Codec* adalah proses mengubah sinyal analog ke sinyal digital dan sebaliknya, memungkinkan audio dan video untuk dikirim melalui jaringan komputer. Dalam proses tersebut, *codec* meminimalkan penggunaan *bandwidth* untuk mentransfer data sinyal sambil memastikan bahwa suara yang diterima tetap jelas [14].

2.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah serangkaian komputer *single-board* berukuran kartu kredit yang dikembangkan di Britania Raya oleh Raspberry Pi Foundation dengan tujuan mempromosikan pengajaran ilmu komputer dasar di sekolah dan negara berkembang. Perangkat keras Raspberry Pi telah berkembang melalui beberapa versi yang menampilkan variasi dalam kapasitas memori, dan dukungan perangkat periferal [5]. Penyimpanan data dan proses bootingnya tidak menggunakan harddisk, namun menggunakan *SD Card* [7].



Gambar 1. Raspberry Pi 3 Model B
(sumber : Raspberry Pi Foundation, 2018)

Raspberry Pi 3 Model B adalah model Raspberry Pi generasi ketiga. Ini menggantikan Raspberry Pi 2 Model B pada Februari 2016 [15].

2.3 RasPBX

RasPBX merupakan proyek khusus yang menggabungkan Asterisk dan FreePBX yang difokuskan untuk Raspberry Pi. RasPBX ini menggunakan sistem operasi dasar Raspbian, Asterisk versi 11 dan FreePBX 12. FreePBX sendiri merupakan GUI open source berbasis web yang berfungsi untuk mengatur asterisk dan juga server VoIP. FreePBX dilisensikan di bawah GNU dan merupakan komponen dari Distro FreePBX (sistem linux SCHMZOS dengan pra-instal PBX). FreePBX diambil alih oleh Schmooze.com di awal 2013 kemudian diambil alih oleh Sangoma Technologies Corporation pada 2 Januari 2015 [7].

2.4 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan sebuah paket untuk mencapai tujuan, karena adanya antrian yang panjang, atau mengambil rute yang lain untuk menghindari kemacetan. Waktu tunda sangat mempengaruhi kualitas

layanan suara, karena pada dasarnya suara memiliki karakteristik *timing*. Urutan pengucapan tiap suku kata yang ditransmisikan harus sampai ke sisi penerima dengan urutan yang sama pula sehingga dapat terdengar dengan baik secara *real-time*.

Tabel.1. Pengelompokan Delay
(sumber : Cahyono, 2012)

Delay	Kualitas
0 – 150 ms	Baik
150 – 300 ms	Cukup, masih bisa diterima
> 300 ms	Buruk

2.5 Jitter

Jitter merupakan perbedaan selang waktu kedatangan antar paket di terminal tujuan. Jitter dapat disebabkan oleh terjadinya kongesti, kurangnya kapasitas jaringan, variasi ukuran paket, serta ketidakteraturan paket. Faktor ini perlu diperhitungkan karena karakteristik komunikasi suara adalah sensitif terhadap waktu tunda (*delay*) dan *jitter*. Untuk meminimalisasi jitter dalam jaringan maka perlu diimplementasikan suatu *buffer* yang akan menahan beberapa urutan paket sepanjang waktu tertentu hingga paket terakhir datang. Namun adanya *buffer* tersebut akan mempengaruhi waktu tunda total sistem akibat adanya tambahan proses untuk mengkompensasi *jitter*. Tabel.2 menjelaskan standar *jitter* yang mempengaruhi kualitas layanan VoIP.

Tabel.2. Standar *Jitter*
(sumber : Cahyono, 2012)

Jitter	Kualitas
0 – 20 ms	Baik
20 – 50 ms	Cukup
> 50 ms	Buruk

2.6 Packet Loss

Packet Loss adalah kehilangan paket. Sinyal suara pada telepon internet akan ditransmisikan dalam jaringan IP dalam bentuk paket-paket IP. Karena jaringan IP merupakan *best effort network* maka tidak ada jaminan pada pengiriman paket tersebut. Setiap paket dapat dirutekan pada jalur yang berbeda menuju penerima. Pada *best effort network* tidak ada perbedaan antara paket data *voice* dengan paket-paket data lainnya yang mengalir di jaringan. Maka dari itu tentunya akan mempengaruhi kualitas layanan.

Tabel 3. Standar *Packet Loss*
(sumber : Cahyono, 2012)

Tingkat Packet Loss	Kualitas
0 – 1 %	Baik
1 – 2 %	Cukup
> 2 %	Buruk

2.7 Throughput

Throughput adalah jumlah total kedatangan paket IP sukses yang diamati di tempat pengukuran pada *destination* selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi

interval waktu tersebut (sama dengan, jumlah pengiriman paket IP sukses per *service-second*) [3].

Pengukuran *Throughput* diberikan secara langsung oleh *software Wireshark* tanpa harus menghitung ulang secara manual. Perhitungan *throughput* pada *software Wireshark* dapat dilihat di *Statistic > Summary* untuk melihat hasil dari pengambilan keseluruhan data dan filter data.

2.8 Codec G.711

Codec G.711 adalah suatu standar Internasional untuk kompresi *audio* dengan menggunakan teknik *Pulse Code Modulation (PCM)*. *PCM* mengkonversikan sinyal analog ke bentuk digital dengan melakukan sampling sinyal analog tersebut 8000 kali/detik dan dikodekan dalam kode angka dengan jarak antar sampel adalah 125 μ detik. Standar *G.711* merupakan teknik kompresi yang tidak efisien, karena akan memakan *bandwidth* 64 Kbps untuk kanal pembicaraan. Ada dua variasi dasar *codec G.711* yaitu biasanya menggunakan μ -law dan *A-law*.

2.9 Codec gsm

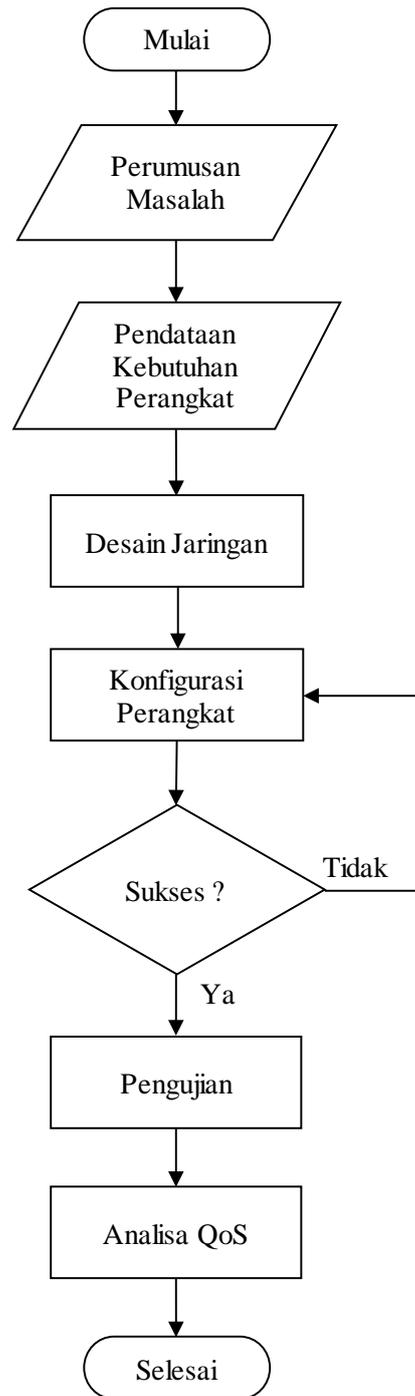
Codec gsm merupakan standar kompresi suara pada jaringan telepon bergerak *GSM*. Pada teknologi *VoIP*, sifat kompleksnya biasanya diasosiasikan dengan jaringan infrastruktur dan manajemen yang dibutuhkan untuk membuat koneksi *end-to-end*, dan bukan dengan transmisi *payloadnya*. Akan tetapi, tingkat kompleksitasnya terletak pada skema *codec* yang digunakan untuk mengencode trafik suara untuk transmisi. Standar *GSM* mencakup 4

(empat) teknologi kompresi yang berbeda untuk menganalisa dan mengkompres suara, yaitu *full-rate* (FR), *enhanced full-rate* (EFR), *adaptive multi-rate* (AMR), dan *half-rate*. Pada komunikasi VoIP, *codec gsm* yang digunakan adalah *full-rate codec* dengan *bit rate* 13 kbps [18].

3. Metodologi Penelitian

3.1 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan studi penerapan layanan VoIP ini dilakukan berdasarkan beberapa tahapan. Untuk alur penelitian ditunjukkan seperti pada Gambar. Tahap penelitian dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang intinya penulis ingin menerapkan sebuah mini PC untuk dijadikan sebagai *server* VoIP karena sebuah mini PC lebih ringkas, murah, konsumsi listrik rendah dibanding dengan menggunakan PC konvensional. Mini PC tersebut yaitu Raspberry Pi 3 model B.

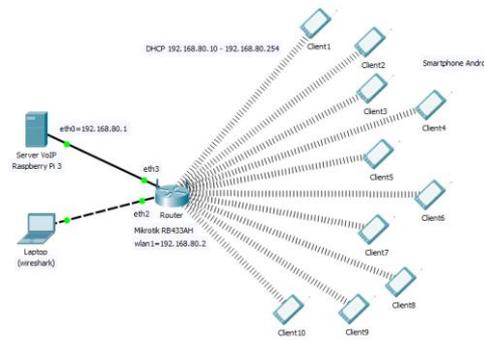


Gambar 2. Prosedur Penelitian

3.2 Peralatan yang Dibutuhkan

- Kebutuhan Perangkat Keras (*Hardware*)
 - a Jaringan Penyedia (*Server*)
 - Raspberry Pi 3 model B
 - Sandisk MicroSD 16Gb & card reader

- Router Mikrotik RB433Ah
 - MiniPCI Ubiquiti XR-2 600mW
 - Antena Omnidirectional Kenbotong 8dbi
 - Dc converter 5V 3A
 - Catu daya 12V 10A
 - Kabel jumper antena dan soket N-male
 - Kabel LAN
- b Sisi Penerima (*Client*)
- Smartphone Android
- c Perangkat Pendukung
- Laptop Asus Intel core i5
- Kebutuhan Perangkat Lunak (*Software*)
- Windows 10 Pro
 - Mikrotik RouterOS
 - Asterisk RasPBX
 - Winbox
 - Wireshark
 - Softphone Zoiper
 - Win32DiskImager
 - Putty



Gambar 3. Topologi Jaringan VoIP

3.3 Topologi Jaringan

Topologi yang diterapkan adalah topologi *star* dengan sebuah *access point* yang terhubung dengan *server* VoIP melalui koneksi *ethernet*. Mikrotik RB433Ah sebagai *router access point*, Raspberry Pi 3 sebagai *server* VoIP. *Ethernet2*, *ethernet3* dan *wlan1* pada *router* Mikrotik diatur menjadi *mode Bridge*. Oleh karena itu, IP Address pada *Client* dan *server* VoIP masih satu segmen. Untuk topologinya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.. Koneksi antara *client* dan *router* menggunakan nirkabel atau lebih dikenal dengan *wifi*.

3.4 Penerapan Jaringan VoIP

Dalam penerapan jaringan VoIP ini dilakukan konfigurasi perangkat yang meliputi perangkat di sisi penyedia layanan (*server*) dan di sisi pengguna (*client*). Adapun untuk di sisi *server* meliputi konfigurasi *router* sebagai titik poin dan konfigurasi pada Raspberry Pi sebagai *server* VoIP. Untuk di sisi *client* dilakukan konfigurasi pada aplikasi Zoiper.

4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Pengujian Pemanggilan

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan program *softphone* (Zoiper) yang terinstal di HP pengguna. Pengujian ini dilakukan dengan 2 tahap. Tahap pertama yaitu dengan skenario HP *client* melakukan panggilan ke HP lainnya di dalam jaringan VoIP sebanyak 10 kali dengan nomor *extension* sama. Kemudian tahap kedua, skenarionya dengan 10 pengguna yang aktif yang saling melakukan percakapan (panggilan).

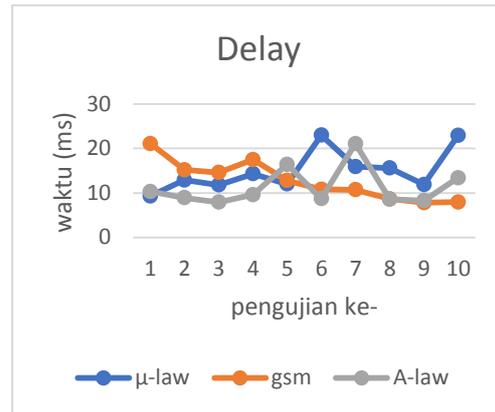
Tabel 4. Pengujian Pemanggilan Tahap Pertama

Pengujian ke-	Packet Loss (%)	Keterangan Panggilan
1	0	Berhasil
2	0	Berhasil
3	0,025	Berhasil
4	0	Berhasil
5	0,25	Berhasil
6	0	Berhasil
7	0	Berhasil
8	0	Berhasil
9	0	Berhasil
10	0,05	Berhasil

Dari Tabel 4. dengan 10 kali pengujian di atas didapat rata-rata packet loss sebesar 0,03 %. Proses panggilan dinyatakan berhasil dengan nilai loss yang masih ditolerir. Pengujian berjalan dengan baik dapat dilihat pada pengujian ke-1 sampai ke-10 dengan terkirimnya panggilan dari pengirim ke penerima dan penerima dapat menjawabnya.

4.2 Perbandingan nilai QoS μ -law, gsm dan A-law

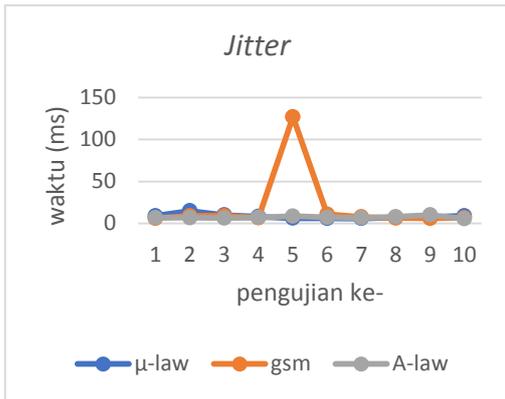
a. Delay



Gambar 4. Grafik Delay

Pada Gambar 4. menunjukkan nilai delay terendah sebesar 7,8 ms yang dimiliki oleh codec gsm pada pengujian ke-9. Untuk nilai delay tertinggi sebesar 22,9 ms dimiliki oleh codec μ -law pada pengujian ke-10. Rata-rata delay untuk codec ulaw sebesar 14,96 ms, rata-rata nilai delay untuk codec gsm sebesar 12,712 ms, dan rata-rata nilai delay untuk codec A-law sebesar 11,316 ms. Berdasarkan nilai rata-rata delay maka urutannya dari yang paling baik yaitu codec A-law, gsm kemudian μ -law. Penentuan codec yang akan digunakan dapat menggunakan acuan nilai delay. Dari hasil pengukuran delay dengan membandingkan ketiga codec maka dipilih codec gsm karena nilai delay-nya lebih stabil dibandingkan dengan codec A-law dan μ -law.

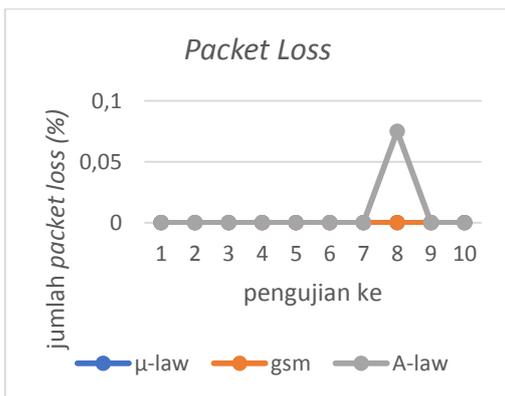
b. Jitter



Gambar 5. Grafik Jitter

Pada Gambar menunjukkan nilai jitter terendah sebesar 5,7 ms yang dimiliki oleh codec A-law pada pengujian ke-10. Untuk nilai jitter tertinggi sebesar 127,08 ms dimiliki oleh codec gsm pada pengujian ke-7. Rata-rata jitter untuk codec μ-law sebesar 8,397 ms, rata-rata nilai jitter untuk codec gsm sebesar 19,598 ms, dan rata-rata nilai jitter untuk codec A-law sebesar 7,308 ms. Berdasarkan nilai rata-rata jitter maka urutannya dari yang paling baik yaitu codec A-law, μ-law kemudian gsm.

c. Packet Loss

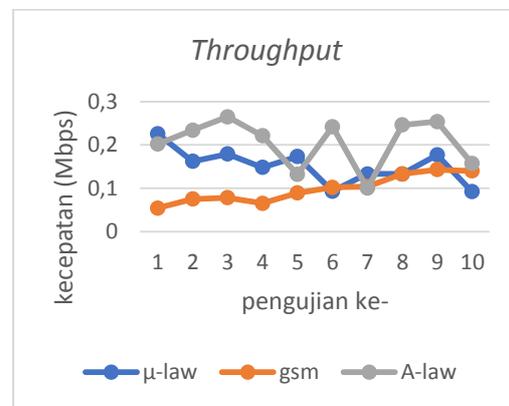


Gambar 6. Grafik Packet Loss

Pada Gambar menunjukkan nilai packet loss terendah sebesar 0 % yang dimiliki oleh codec A-law dan codec μ-law pada semua pengujian yang artinya tidak ada

paket data yang hilang. Untuk nilai packet loss tertinggi sebesar 0,075 % dimiliki oleh codec gsm pada pengujian ke-8. Rata-rata packet loss untuk codec μ-law sebesar 0 %, rata-rata nilai packet loss untuk codec gsm sebesar 0,0075 %, dan rata-rata nilai packet loss untuk codec A-law sebesar 0 %. Berdasarkan nilai rata-rata jitter maka urutannya dari yang paling baik yaitu codec A-law, μ-law kemudian gsm.

d. Throughput



Gambar 7. Grafik Throughput

Pada Gambar menunjukkan nilai throughput terendah sebesar 0,054 Mbps yang dimiliki oleh codec gsm pada pengujian ke-1. Untuk nilai jitter tertinggi sebesar 0,265 Mbps dimiliki oleh codec A-law pada pengujian ke-3. Rata-rata throughput untuk codec μ-law sebesar 0,152 Mbps, rata-rata nilai throughput untuk codec gsm sebesar 0,098 Mbps, dan rata-rata nilai throughput untuk codec A-law sebesar 0,205 Mbps. Berdasarkan nilai rata-rata throughput maka urutannya dari yang paling baik yaitu codec A-law, μ-law kemudian gsm.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil studi penerapan

layanan *Voice over Internet Protocol* (VoIP) yang berbasis Raspberry Pi yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Raspberry Pi 3 model B dapat dijadikan alternatif *server VoIP* untuk menggantikan PC konvensional dalam jaringan lokal.
2. Nilai dari *delay* mempengaruhi nilai *throughput*, yang artinya semakin kecil *delay* maka semakin besar *throughput* begitu juga sebaliknya.
3. Hasil pengujian panggilan secara bersamaan, menunjukan jaringan VoIP mampu melayani 5 percakapan.
4. Hasil dari 10 kali percobaan pengukuran QoS *voice call*, jaringan VoIP memenuhi standar QoS menurut ITU-T G.114 dengan rata-rata *delay* 14,96 ms untuk *codec μ-law*, 12,712 ms *codec gsm* dan 11,316 ms *codec A-law*. Rata-rata *jitter* 8,397 ms untuk *codec μ-law*, 19,598 ms *codec gsm* dan 7,308 ms *codec A-law*. Rata-rata *packet loss* yang didapat *codec μ-law* dan *gsm* 0 %, dan 0,0075 % untuk *codec A-law*. Rata-rata *throughput* 0,1516 Mbps untuk *codec μ-law*, 0,0983 Mbps *codec gsm* dan 0,2053 Mbps untuk *codec A-law*.

5.2 Saran

Dalam pengembangan sistem yang lebih lanjut ada beberapa saran yang saya rasa diperlukan diantaranya:

1. Perlu pengembangan lebih lanjut terutama pada sistem keamanan layanan VoIP.

2. Perlu ditambahkannya layanan video call.
3. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat diterapkan pada jaringan *Wide Area Network* (WAN).

Daftar Pustaka

- [1] Abdullah, H. M. 2016. *Perancangan Jaringan Voice Over IP (VoIP) Berbasis Raspberry Pi Untuk Sistem Komunikasi Area Remote*. Jurnal TELKA, Vol 2, No 1 pp 36-43.
- [2] Cahyo, F. N. 2014. *Rancang Bangun RT/RW Net Hotspot Sistem Dengan Mikrotik Router OS Sebagai Manajemen Billing*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Sekolah Tinggi Elektronika dan Komputer: Semarang.
- [3] Cahyono, H. 2012. *Implementasi Server VOIP IP PBX Untuk Meningkatkan Kualitas Layanan PABX di Universitas Kanjuruhan Malang*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Universitas Kanjuruhan Malang: Malang.
- [4] Deshmukh, S., & Wable, A. A. 2014. *Raspbx Using Asterisk Server*. International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET), Vol 5, Issue 12 pp 240-248.
- [5] Gawarle, A. S. 2017. *Design A Free Calling System Using Raspberry Pi*. International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences(IJREAS), Vol 7 Issue 6, pp 10-14.
- [6] Handayani, R., Aziz, A., & Sularsa, A. 2017. *Voice Over Internet Protocol (VOIP) Pada*

- Jaringan Nirkabel Berbasis Raspberry Pi*. Jurnal KINETIK, Vol 2, No 2 pp 83-88.
- [7] Heddin Timoryansyah, A. S., Hafidudin, & Ramadhan, D. N. 2015. *Implementasi Voip Server Dengan Menggunakan Mini Pc*. e-Proceeding of Applied Science, Vol 1, No 3 pp 2624-2631.
- [8] International Telecommunication Union. 2003. *ITU-T Rec G114, Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks*. ITU-T Press: Geneva.
- [9] Kurniawan, A. 2012. *Network Forensics : Panduan Analisis & Invertigasi Paket Data Jaringan Menggunakan Wireshark*. Penerbit ANDI: Yogyakarta.
- [10] Laurenz, & Putro, E. 2012. *Perancangan Dan Pembangunan Sistem Voice Over Internet Protocol*. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, Vol 01, No 02 , pp 221-231.
- [11] Lazuardi, N. 2009. *Perencanaan Jaringan Komunikasi VOIP (Voice Over Internet Protocol) Menggunakan Asterisk SIP (Session Initiation Protocol)*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Universitas Sumatera Utara Repository: Medan.
- [12] Najihi, A., Mustika, I. W., Widyawan, & Najwaini, E. 2016. *Analisis Kinerja IP PBX Server Pada Single Board Circuit Raspberry Pi*. Jurnal POSITIF, Vol 1, No 2 pp 16-24.
- [13] Permadi, E. S. 2015. *Rancang Bangun Jaringan Komunikasi VOIP Server Portable Menggunakan Raspberry Pi*. Jurnal Teknik Telekomunikasi Politeknik Kota Malang, 1-7.
- [14] Purbo, O. W., & Raharja, A. 2010. *VoIP Cookbook : Building your own Telecommunication Infrastructure*. Internet Society Innovation Fund (ISIF).
- [15] *Raspberry Pi Foundation*. (<https://www.raspberrypi.org/help/faqs/> diakses 30 Mei 2018)
- [16] Risnandar, M., Hendrawan, A. H., Prakosha, B. A., & Goeritno, A. 2016. *Implementasi Voice Over Internet Protocol (VOIP) Berbasis Session Initiation Protocol (SIP) Berbantuan Briker Versi 1.4 Untuk Pengukuran Quality Of Services Pada Jaringan Komputer di Fakultas Teknik UIKA Bogor*. Seminar Nasional Sains dan teknologi 2016 (pp. 1-8). Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta: Jakarta.
- [17] Sinnreich, H., & Johnston, A. B. 2006. *Internet Communications Using SIP : Delivering VoIP and Multimedia Services with Session*. Wiley Publishing: Indianapolis.
- [18] Windusara, I. P. 2012. *Analisa Perbandingan Unjuk Kerja Protokol SIP Dan IAX2 Pada Jaringan VoIP*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Udayana: Denpasar.