

IMPLEMENTASI VOIP SERVER BERBASIS IPV6 DENGAN RASPBERRY PI

Rabbai San Arif¹, Yuli Fitrisia² dan Agus Urip Ari Wibowo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Politeknik Caltex Riau,
email: rabbai13ti@mahasiswa.pcr.ac.id

Abstract

Voice over Internet Protocol (VoIP) is a telecommunications technology that is able to pass the communication service in Internet Protocol networks so as to allow communicating between users in an IP network. However VoIP technology still has weakness in the Quality of Service (QoS). VOPI weaknesses is affected by the selection of the physical servers used. In this research, VoIP is configured on Linux operating system with Asterisk as VoIP application server and integrated on a Raspberry Pi by using wired and wireless network as the transmission medium. Because of depletion of IPv4 capacity that can be used on the network, it needs to be applied to VoIP system using the IPv6 network protocol with supports devices. The test results by using a wired transmission medium that has obtained are the average delay is 117.851 ms, jitter is 5.796 ms, packet loss is 0.38%, throughput is 962.861 kbps, 8.33% of CPU usage and 59.33% of memory usage. The analysis shows that the wired transmission media is better than the wireless transmission media and wireless-wired.

Keywords: VoIP, Raspberry Pi, Quality of Service, IPv6

Abstrak

Voice over Internet Protocol (VoIP) merupakan salah satu teknologi telekomunikasi yang mampu melewati layanan komunikasi dalam jaringan Internet Protocol sehingga memungkinkan antar pengguna berkomunikasi suara dalam jaringan IP. Namun teknologi VoIP masih memiliki kelemahan dalam Quality of Service (QoS). Kelemahan pada VoIP dipengaruhi oleh pemilihan server fisik yang digunakan. Dalam penelitian ini, VoIP dibangun pada Sistem Operasi Linux dengan aplikasi Asterisk sebagai aplikasi VoIP server dan diintegrasikan pada Raspberry Pi dengan menggunakan jaringan wired dan wireless sebagai media transmisi. Seiring dengan menipisnya kapasitas IPv4 yang dapat dipakai pada jaringan, maka perlu diterapkan Sistem VoIP menggunakan protokol jaringan IPv6 dengan device yang mendukung. Hasil pengujian dengan menggunakan media transmisi wired yang telah didapat nilai rata-rata delay adalah 117.851 ms, jitter 5.796 ms, packet loss 0.38%, throughput 962.861 kbps, penggunaan CPU sebesar 8.33%, dan penggunaan memori sebesar 59.33%. Analisa menunjukkan bahwa media transmisi wired lebih baik dari media transmisi wireless dan wireless-wired.

Kata kunci: VoIP, Raspberry Pi, Quality of Service, IPv6

1. PENDAHULUAN

Media yang dapat digunakan untuk melakukan komunikasi sangat beragam. Salah satu media komunikasi yang dapat digunakan sekarang ini adalah dengan memanfaatkan jaringan komputer. Saat ini internet tidak hanya dipergunakan untuk browsing atau berkirim e-mail saja, tetapi sudah dimanfaatkan sebagai teknologi komunikasi dengan biaya yang sangat murah. Salah satu akses komunikasi dengan memanfaatkan teknologi jaringan adalah *Voice Over Internet Protocol (VoIP)*.

Voice over Internet Protocol (juga disebut VoIP, *IP Telephony*, *Internet telephony* atau *Digital Phone*) adalah teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui media *internet*. Data suara diubah menjadi kode digital dan dialirkan melalui jaringan yang mengirimkan paket-paket data, dan bukan lewat sirkuit *analog* telepon biasa.

Perencanaan suatu jaringan VoIP harus memiliki suatu *server* yang berfungsi sebagai IP PBX. Asterisk VoIP *server* merupakan suatu *software open source*, dalam aplikasinya hanya membutuhkan satu perangkat PC *server* dan beberapa PC *client* yang terhubung satu sama lainnya. Asterisk menggunakan protokol SIP yang berjalan di sistem operasi, salah satunya Linux yang mendukung semua fitur dari PBX[1]. Seiring dengan menipisnya kapasitas IPv4 yang dapat dipakai pada jaringan, maka perlu diterapkan Sistem VoIP menggunakan protokol jaringan IPv6 dengan *device* yang mendukung.

Dengan IPv6, lebih banyak pengguna dan perangkat yang dapat berkomunikasi di *Internet* menggunakan jumlah alamat IP yang lebih besar. Alamat IPv6 adalah 128 bit, yang memungkinkan tiga ratus empat puluh triliunan alamat IP unik [2].

Dengan demikian untuk membangun *server* VoIP berbasis IPv6 penulis menggunakan Mini komputer yang merupakan sebuah komputer lengkap yang dibangun dari mikroprosesor, memori, *input/output* (I/O) dan fitur lain dengan ukuran *single board* yang berfungsi layaknya komputer *desktop*.

Raspberry Pi merupakan salah satu mini komputer yang dapat dikonfigurasi menjadi sebuah *server* VoIP berbasis IPv6 yang tidak memerlukan tempat penyimpanan dan daya listrik yang besar sehingga cocok untuk dipasang pada *Raspberry Pi*. Penelitian ini akan mengukur kemampuan dan kualitas layanan VoIP yang dipasang pada *Raspberry Pi* serta kinerjanya berdasarkan memori dan CPU.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Jaringan Komunikasi VoIP *Server Portable* Menggunakan *Raspberry Pi*” [8]. Penelitian ini bertujuan untuk berkomunikasi dengan memanfaatkan jaringan *wireless* berbasis IPv4 dengan *Raspberry Pi* yang telah diinstallkan *server Asterisk* dan *client* menggunakan HP *Android*.

Penelitian selanjutnya berjudul “Implementasi Dan Analisa Kualitas Layanan Aplikasi *Voice Over Internet Protocol* (VoIP) Pada Jaringan *Route Optimization Mobile IPv6*” [9] dimana penelitian ini bertujuan untuk berkomunikasi secara bergerak menggunakan *Mobile IPv6* dengan memanfaatkan jaringan *wireless* dengan *server* menggunakan *Ubuntu 8.04* yang telah diinstallkan *Openser* dan *client* menggunakan *Linphone*.

Penelitian yang berbeda mengenai “Implementasi *Asterisk* Untuk *Server VoIP* Pada Mini Pc *Raspberry Pi*” [10] dimana penelitian ini bertujuan untuk berkomunikasi dengan memanfaatkan jaringan *wired* berbasis IPv4 dengan *server* menggunakan *Raspberry Pi* yang telah diinstallkan *Asterisk* dan *client* menggunakan *X-lite*.

Berdasarkan dari ketiga penelitian terdahulu, bahwa penelitian yang dilakukan pada proyek akhir ini mengenai “Implementasi VoIP *Server* Berbasis IPv6 Dengan *Raspberry Pi*” memiliki perbedaan tersendiri. Penelitian ini bertujuan untuk berkomunikasi dengan memanfaatkan jaringan *wireless* LAN berbasis IPv6 dengan *server* menggunakan *Raspberry Pi* yang telah diinstallkan *Asterisk*, *client* menggunakan IP *Phone* dan *Jitsi* yang telah diinstallkan pada komputer dengan sistem operasi *Windows 7*.

2.2. Voice Over Internet Protocol

Voice over Internet Protocol (VoIP) adalah teknologi yang mampu melewatkan trafik suara, *video* dan data yang berbentuk paket melalui jaringan IP[4]. Data suara diubah menjadi kode *digital* dan dialirkan melalui jaringan yang mengirimkan paket-paket data dan bukan lewat sirkuit *analog* telepon biasa.

2.3. Session Initiation Protocol

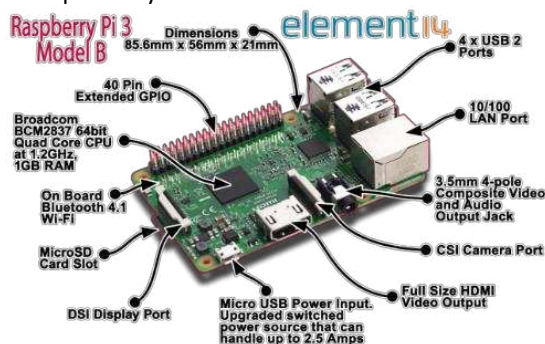
Session Initiation Protocol (SIP) adalah protokol *layer* aplikasi kontrol untuk membuat, memodifikasi, dan mematikan sesi dengan satu atau lebih *participant*. *Session Initiation Protocol* atau disingkat SIP adalah suatu bentuk protokol yang dibangun oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF) *MMUSIC Working Group* dan sudah diajukan menjadi standar dalam mengatur *session* diantara satu atau lebih klien [5].

2.4. Internet Protocol Version 6

IPv6 adalah evolusi dari IPv4. IPv6 biasanya didukung dan hanya memerlukan aktivasi atau konfigurasi[6]. Perubahan utama yang terjadi yaitu ruang alamat diperpanjang, *autoconfiguration*, peningkatan dukungan untuk pilihan dan ekstensi.

2.5. Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah sebuah *Single Board Computer* (SBC) yang berbentuk seperti *motherboard* berukuran mini sebesar kartu kredit dan memiliki *system on a chip*(SoC) dari *Broadcom BCM2835*, juga sudah termasuk prosesor tipe 4× ARM Cortex-A53 1.2GHz, GPU *VideoCore IV OpenGL ES 2.0* 250MHz dan RAM sebesar 1GB (untuk *Raspberry Pi 3 Model B*). Penyimpanan data dan proses bootingnya tidak menggunakan *harddisk*, namun menggunakan *SD Card*[3]. Pada Gambar 2.1 adalah bentuk Raspberry Pi 3 Model B serta komponen-komponennya.



Gambar 1. Raspberry Pi Model 3 B

Berikut ini adalah spesifikasi Raspberry Pi 3 Model B.

Tabel 1 Spesifikasi Raspberry Pi 3 Model B

Processor Chipset	Broadcom BCM2837 64Bit Quad Core Processor powered Single Board Computer running at 1.2GHz
Processor Speed	QUAD Core @1.2 GHz
RAM	1GB SDRAM @ 400 MHz
Storage	MicroSD
USB 2.0	4x USB Ports
Max Power Draw/voltage	2.5A @ 5V
GPIO	40 pin
Ethernet Port	Yes
WiFi	Built in
Bluetooth LE	Built in

2.6 Quality of Service

QoS merupakan kemampuan dari sebuah layanan untuk menjamin performansi dan merupakan parameter untuk mengukur kualitas dari sebuah layanan[8]. Terdapat beberapa parameter QoS yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan kualitas layanan pada VoIP, yaitu :

1. Delay

Delay merupakan total waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pengiriman paket dari mulai proses pengiriman paket hingga sampai kepada sisi penerima.

Berikut menampilkan persamaan (1) untuk perhitungan *delay* :

$$\text{Delay rata - rata} = \frac{\text{total paket}}{\text{total paket yang diterima}} \quad (1)$$

Berdasarkan standarisasi *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), standarisasi *delay* dibagi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Standar Delay

Delay	Kualitas
< 150 ms	Sangat Bagus
150 – 300 ms	Bagus
300 – 450 ms	Jelek
> 450 ms	Sangat Jelek

2. Jitter

Jitter merupakan variasi *delay* yang terjadi akibat adanya selisih waktu atau *interval* antar kedatangan paket di penerima.

Berikut menampilkan persamaan (2) untuk perhitungan *jitter* :

$$Jitter = \frac{total\ variasi\ delay}{total\ paket\ yang\ diterima} \quad (2)$$

Berdasarkan standarisasi ETSI, standarisasi *jitter* dibagi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Standar *Jitter*

<i>Jitter</i>	Kualitas
5 ms	Sangat Bagus
5 – 75 ms	Bagus
75 – 125 ms	Jelek
125 – 225 ms	Sangat Jelek

3. Throughput

Throughput merupakan kecepatan (*rate*) transfer data efektif, yang diukur dalam bps (*bit per-second*).

Berikut menampilkan persamaan (3) untuk perhitungan *throughput* :

$$Throughput = \frac{jumlah\ data\ yang\ dikirim}{waktu\ pengiriman\ data} \quad (3)$$

Berdasarkan standarisasi ETSI, standarisasi *throughput* dibagi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3 Standar *Throughput*

<i>Throughput</i>	Kualitas
150 – 320 Kbps	Sangat Bagus
50 – 150 Kbps	Bagus
25 – 50 Kbps	Jelek
10 – 25 Kbps	Sangat Jelek

4. Packet Loss

Packet loss merupakan suatu kegagalan dalam transmisi paket ke tujuan yang ditandai dengan hilangnya paket data dalam proses pengiriman.

Berikut menampilkan persamaan (4) untuk perhitungan *packet loss* :

$$Packet\ Loss = \frac{(paket\ data\ dikirim - paket\ data\ diterima)}{paket\ data\ yang\ dikirim} \times 100\% \quad (4)$$

Gambar 2. 5 Rumus Packet Loss

Berdasarkan standarisasi ETSI, standarisasi *packet loss* dibagi seperti pada tabel di bawah ini.

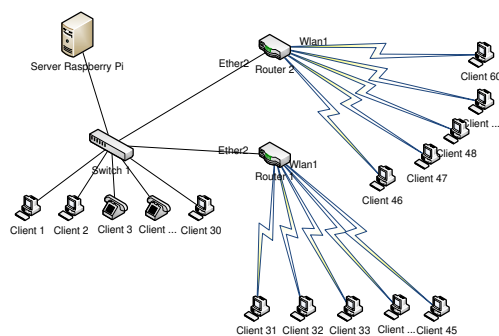
Tabel 4 Standar *Packet Loss*

<i>Packet loss</i>	Kualitas
> 1 %	Sangat Bagus
2 - 3 %	Bagus
15 %	Jelek
25 %	Sangat Jelek

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan

Perancangan dari proyek akhir yang dibuat yakni membangun jaringan VoIP *server* berbasis IPv6 dengan *Raspberry Pi* dan dengan menggunakan 60 buah *client*. Pengamatan *traffic* QoS pada jaringan menggunakan aplikasi *Wireshark*. Adapun perancangan yang akan dibangun dalam proyek akhir ini adalah seperti pada gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Arsitektur Jaringan VoIP

3.1.1 Spesifikasi Perangkat Keras

Perangkat keras yang dibutuhkan dalam proyek akhir ini adalah *server* VoIP berupa Raspberry Pi dan *client* VoIP berupa PC, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas *hardisk* 1 TB
- *Processor* : Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60 GHz
- RAM 8 GB

3.1.2 Spesifikasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam proyek akhir ini antara lain :

1. *Asterisk* merupakan *software server* VoIP yang bersifat *open source*.
2. *Jitsi* merupakan *software* yang digunakan sebagai *client* VoIP.
3. *Wireshark* yang berfungsi sebagai *network protocol analyzer*.
4. *SNMP* yang berfungsi sebagai monitoring kinerja *Raspberry Pi*

3.2. Pengujian dan Analisa

Pengujian ini dilakukan untuk melihat kualitas percakapan pada jaringan VoIP dengan parameter pengukurannya berdasarkan *delay*, *jitter*, *throughput* dan *packet loss*. Pengujian QoS dilakukan dengan menggunakan media transmisi kabel (*wired*) dan nirkabel (*wireless*) serta antara media kabel dan nirkabel. Pengujian dilakukan maksimal 15 sesi komunikasi dan maksimal 60 *client* dengan durasi komunikasi selama 3 menit. Berikut skenario pengujian yang akan dilakukan:

1. *Call point to point*
 - a. 15 sesi komunikasi.
 - Pengujian QoS VoIP antara 2 *client* dengan media transmisi kabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 2 *client* dengan media transmisi nirkabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 2 *client* dengan media transmisi kabel dan nirkabel.
2. *Call point to multipoint*
 - a. 10 sesi komunikasi.
 - Pengujian QoS VoIP antara 3 *client* dengan media transmisi kabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 3 *client* dengan media transmisi nirkabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 3 *client* dengan 2 *client* menggunakan media transmisi kabel dan 1 *client* menggunakan media transmisi nirkabel.
 - b. 5 sesi komunikasi.
 - Pengujian QoS VoIP antara 6 *client* dengan media transmisi kabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 6 *client* dengan media transmisi nirkabel.
 - Pengujian QoS VoIP antara 6 *client* dengan 3 *client* menggunakan media transmisi kabel dan 3 *client* menggunakan media transmisi nirkabel.

3.2.1 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *client* VoIP dengan *server* kemudian dilakukan komunikasi antar *client*. Selama proses komunikasi antar *client* dalam waktu lima menit dilakukan pengambilan data *voice* pada VoIP untuk dilakukan pengujian dan menganalisa QoS pada jaringan VoIP. Standar yang digunakan dalam pengukuran QoS adalah standar TIPHON dapat dilihat pada tabel 1. Proses pengambilan data dilakukan menggunakan *Wireshark*. Paket yang di-*capture* adalah paket RTP.

Display					
Display filter:		rtp			
Ignored packets:		0 (0.000%)			
Traffic	Captured	Displayed	Displayed %	Marked	Marked %
Packets	544399	537475	98.728%	0	0.000%
Between first and last packet	179.245 sec	179.245 sec			
Avg. packets/sec	3097.170	2998.542			
Avg. packet size	233 bytes	234 bytes			
Bytes	126843083	125768908	99.153%	0	0.000%
Avg. bytes/sec	707650.137	701657.378			
Avg. MBit/sec	5.661	5.613			

Gambar 3. Summary Packet RTP

Data yang terdapat pada Gambar 3 digunakan untuk menghitung nilai dari parameter-parameter QoS yang akan dibutuhkan pada penelitian ini, yaitu *delay*, *packet loss* dan *throughput*.

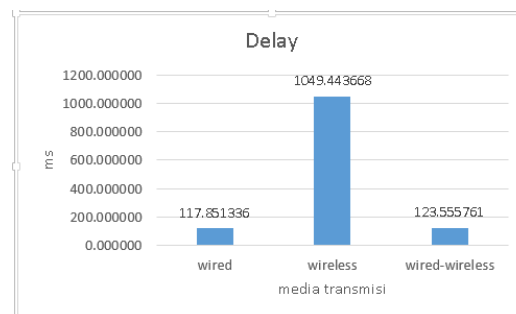
Pengujian terhadap kinerja Raspberry Pi dilakukan saat adanya komunikasi VoIP yang berjalan. Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan aplikasi SNMP *client* yaitu PRTG *Network Monitor* dan menggunakan sensor CPUload serta MemInfo, yang mana *server* Raspberry Pi telah dikonfigurasi protokol SNMP.

3.2.2 Analisa

3.2.2.1. Analisa QoS perbandingan media transmisi *Wired*, *Wireless* dan *Wired-Wireless*

3.2.2.1.1. Analisa *Delay*

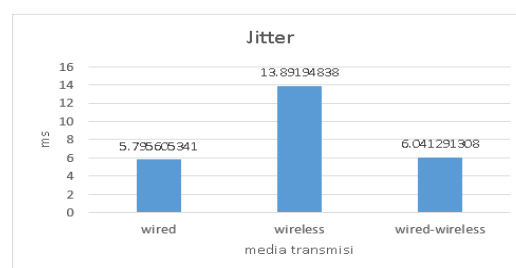
Berikut adalah gambar 4 mengenai pengukuran *delay*.

Gambar 4. Grafik Rata-Rata *Delay*

Berdasarkan gambar dari grafik diatas nilai rata-rata *delay* dari media transmisi *wired* lebih kecil jika dibandingkan dengan media transmisi *wireless* dan *wired-wireless*.

3.2.2.1.2. Analisa *Jitter*

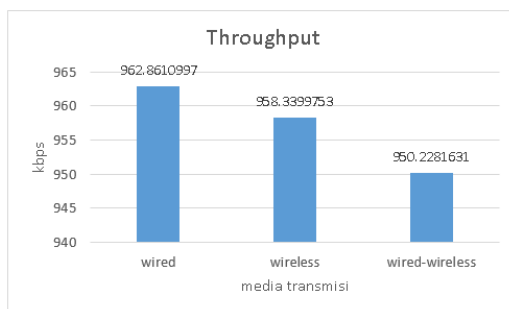
Berikut adalah gambar 5 mengenai pengukuran *jitter*.

Gambar 5. Grafik Rata-Rata *Jitter*

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa *jitter* antar ketiga media transmisi berada pada kriteria bagus. Jika dilihat dari hasil pengujian tersebut nilai *jitter* terbaik adalah dari media transmisi *wired* karena nilai *jitter* yang dihasilkan adalah lebih kecil dari media transmisi *wireless* dan *wired-wireless*. Semakin kecil nilai *jitter* yang dihasilkan maka komunikasi akan berjalan bagus.

3.2.2.1.3 Analisa *Throughput*

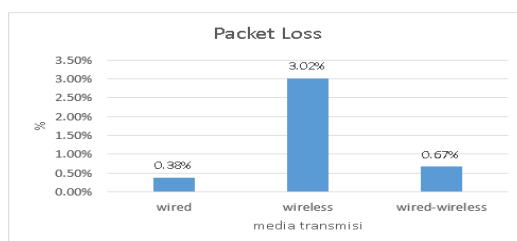
Berikut adalah gambar 6 mengenai pengukuran *throughput*.

Gambar 6. Grafik Rata-Rata *Throughput*

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai *throughput* antar ketiga media transmisi berada pada kriteria yang sangat bagus. Berdasarkan nilai *throughput* yang diperoleh media transmisi *wired* lebih bagus dibandingkan dengan media transmisi *wired* dan *wired-wireless*.

3.2.2.1.4. Analisa Packet Loss

Berikut adalah gambar 7 mengenai pengukuran *packet loss*.

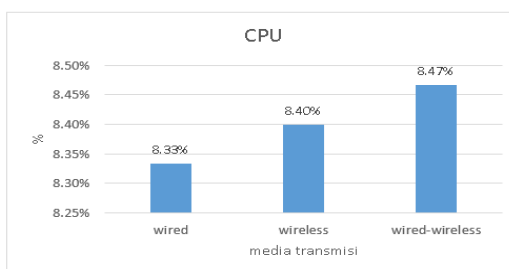
Gambar 7. Grafik Rata-Rata *Packet Loss*

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa *packet loss* dari kedua media transmisi *wired* dan *wired-wireless* berada pada kriteria yang sangat bagus. Berdasarkan nilai *packet loss* yang diperoleh dapat dilihat bahwa media transmisi *wired* memiliki kualitas yang paling baik dibandingkan media transmisi *wired-wireless* dan *wireless*.

3.2.2.2. Analisa kinerja Raspberry Pi perbandingan media transmisi *Wired*, *Wireless* dan *Wired-Wireless*

3.2.2.2.1. Analisa CPU Raspberry Pi

Berikut adalah gambar 8 mengenai pengukuran penggunaan CPU Raspberry Pi.

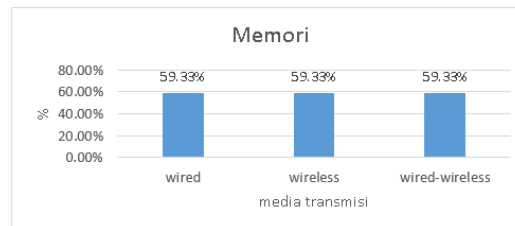


Gambar 8 Grafik Rata-Rata CPU

Pada grafik gambar 8 dapat dilihat bahwa penggunaan CPU pada media transmisi *wired* lebih kecil dibandingkan dengan media transmisi *wireless* dan *wired-wireless*. Besar kecilnya penggunaan CPU juga dapat dipengaruhi oleh aplikasi yang berjalan pada Raspberry Pi tersebut.

3.2.2.2.2 Analisa memori Raspberry Pi

Berikut adalah gambar 9 mengenai pengukuran penggunaan memori Raspberry Pi.



Gambar 9. Grafik Rata-Rata memori

Berdasarkan grafik Gambar 9 bahwa penggunaan memori pada media transmisi *wired*, *wireless* dan *wired-wireless* bernilai sama.

4. SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa yang didapatkan terhadap data pengujian adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian QoS *delay* menunjukkan bahwa perbandingan dari media transmisi *wired* memiliki *delay* 117.851 ms yang lebih baik dari *wired-wireless* dengan *delay* 123.556 ms dan media transmisi *wireless* dengan *delay* 1049.44 ms.
2. Hasil pengujian QoS *jitter* menunjukkan bahwa perbandingan dari media transmisi *wired* memiliki *jitter* 5.796 ms yang lebih baik dari *wired-wireless* dengan *jitter* 6.041 ms dan media transmisi *wireless* dengan *jitter* 13.892 ms.
3. Hasil pengujian QoS *throughput* menunjukkan bahwa perbandingan dari media transmisi *wired* memiliki *throughput* 962.861 kbps yang lebih baik dari *wireless* dengan *throughput* 958.334 kbps dan media transmisi *wired-wireless* dengan *throughput* 950.228 kbps.
4. Hasil pengujian QoS *packet loss* menunjukkan bahwa perbandingan dari media transmisi *wired* memiliki *packet loss* 0.38% yang lebih baik dari *wired-wireless* dengan *packet loss* 0.67% dan media transmisi *wireless* dengan *packet loss* 3.02%.
5. Hasil pengujian kinerja CPU Raspberry Pi menunjukkan bahwa perbandingan dari media transmisi *wired* penggunaan CPU 8.33% yang lebih baik dari *wireless* dengan penggunaan CPU 8.40% dan media transmisi *wired-wireless* dengan penggunaan CPU 8.47%.
6. Hasil pengujian kinerja memori Raspberry Pi menunjukkan bahwa penggunaan memori untuk setiap media transmisi bernilai sama, yaitu 59.33%.
7. Berdasarkan hasil pengujian media transmisi *wired* merupakan media transmisi yang baik dibandingkan media transmisi *wireless* dan *wired-wireless*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wibowo, A.T., & Windarti, T., Implementasi Teknologi VoIP dan E-Jabber Memanfaatkan Infrastruktur Jaringan Komputer (Wifi), Surabaya: TMIK STIKOM Surabaya Program Studi Sistem Informasi, 2014.
- [2]. Apple: Apa itu IPv6 diakses pada 5 Mei 2016, Available: <https://support.apple.com/id-id/HT202236>.
- [3]. Sven, A., Hafidudin, & Ramadhan, D. N., Implementasi VoIP Server Dengan Menggunakan Mini PC, Bandung : Universitas Komputer Indonesia Program Studi Strata Satu Sistem Komputer, 2015.
- [4]. VoIP: Pengkodean Suara di Jaringan Komputer. (2014, Januari 8), diakses pada 8 Mei 2016, Available: http://cyberlearning.web.id/wiki/index.php/VoIP:_Pengkodean_Suara_di_Jaringan_Komputer.
- [5]. Harahap, P., Implementasi Jaringan VoIP WAN Melalui VPN, Pekanbaru: Politeknik Caltex Riau, 2007.
- [6]. Hagen, Silvia., IPv6 Essentials. Sebastopol: O'Reilly Media, 2006.
- [7]. Cahyono, H., Implementasi Server VoIP IP PBX. Malang: Universitas Kanjuruhan Malang, 2012.
- [8]. E. S. Permadi, Rancang Bangun Jaringan Komunikasi VoIP Server Portable Menggunakan Raspberry Pi, Politeknik Kota Malang, 2015.
- [9]. R. Akbar, Implementasi Dan Analisa Kualitas Layanan Aplikasi Voice Over Internet Protocol (VoIP) Pada Jaringan Route Optimization Mobile IPv6, Universitas Indonesia, 2010.
- [10]. F. Rahman, Implementasi Asterisk Untuk Server VoIP Pada Mini Pc Raspberry Pi, Universitas Komputer Indonesia, 2015.