

**ANALISIS KOMPARASI KINERJA VOIP SERVER KAMAILIO
DENGAN SERVER ASTERISK DAN OPENSIPS
PERFORMANCE COMPARISON ANALYSIS OF KAMAILIO VOIP SERVER
AND ASTERISK SERVER AND OPENSIPS SERVER**

Andi Hendra Gunawan¹, Asep Mulyana, S.T., M.T.², Muhammad Iqbal S.T., M.T.³

¹Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi

^{2,3}Prodi D3 Teknologi Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

¹andihendra@student.telkomuniversity.ac.id, ²asepmulyana@tass.telkomuniversity.ac.id,

³iqqgbhhal@tass.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Saat ini telah muncul berbagai perangkat lunak berbasis IP yang menjurus kepada Next Generation Network. Beberapa perangkat lunak diantaranya adalah OpenSIPS, Trixbox, OpenIMS, dan Asterisk. Kemudian muncul sebuah platform VoIP Kamailio yang baru dengan memiliki keandalan dalam performanya. Timbul sebuah permasalahan ketika akan dilakukan ekspansi platform VoIP namun tetap ingin menggunakan platform VoIP sebelumnya. Maka dari itu perlu dilakukannya interkoneksi antar-server agar komunikasi dapat dilakukan.

Pada proyek akhir yang berjudul "Analisis Komparasi Kinerja Voip Server Kamailio Dengan Server Asterisk Dan Opensips" akan dilakukan interkoneksi untuk menghubungkan antar-server sehingga layanan VoIP video call dapat berlangsung dan keandalan server Kamailio dapat dimanfaatkan, yang akan diterapkan pada ruang dosen Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom. Digunakan teknik call routing (penjaluran panggilan) sebagai metode yang paling andal dalam mengkoneksikan server yang terpisah. Kemudian dilanjutkan dengan mengukur performansinya yang meliputi *Post Dial Delay*, *Delay Process*, *Quality of Service* dan nilai *Mean Opinion Score*.

Pada pengujian ini didapatkan bahwa nilai PDD rata-rata server Asterisk adalah 272 ms, server OpenSIPS bernilai 581 ms, dan server Kamailio bernilai 158 ms dengan nilai PDD rata-rata pada sistem interkoneksi bernilai 600 ms. Didapatkan nilai delay process paling kecil pada server Kamailio dengan nilai 0,789 ms.

Kata kunci : VoIP, Video Call, Packet Switch, Asterisk, OpenSIPS, Kamailio.

Abstract

Currently, various IP-based software has emerged that lead to the Next Generation Network. Some of the software includes OpenSIPS, Trixbox, OpenIMS, and Asterisk. Then came a new Kamailio VoIP platform which has reliable performance. A problem arose when the VoIP platform was expanding but still wanted to use the previous VoIP platform. Therefore it is necessary to do inter-server interconnection so that communication can be done.

In this final project entitled "Performance Comparison Analysis of Kamailio VoIP Server and Asterisk Server and OpenSIPS Server" an interconnection will be carried out to connect between servers so that VoIP video call services can take place and the reliability of Kamailio servers can be utilized, which will be applied to the lecturer room. Faculty of Applied Sciences, Telkom University. Call routing techniques are used as the most reliable method of connecting separate servers. Then proceed by measuring the performance which includes *Post Dial Delay*, *Delay Process*, *Quality of Service*, and *Mean Opinion Score* values.

In this test, it was found that the average PDD value of the Asterisk server was 272 ms, the OpenSIPS server was 581 ms, and the Kamailio server was 158 ms with an average PDD value on an interconnection system of 600 ms. Obtained the smallest delay process value on the Kamailio server with a value of 0.789 ms.

Keyword : VoIP, Video Call, Packet Switch, Asterisk, OpenSIPS, Kamailio.

1. PENDAHULUAN

Open source software seperti asterisk yang merupakan software berbasis softswitch yang mampu menghubungkan antara jaringan paket dan jaringan sirkuit, serta software OpenSIPS dan Kamailio yang digunakan sebagai SIP server yang merupakan core component dari layanan VoIP berlandaskan SIP, namun mempunyai kelemahan dalam penyambungan ke arah jaringan eksisting. Perkembangan teknologi VoIP mengharuskan kita melakukan inovasi agar perbedaan platform VoIP yang digunakan tidak menjadi batasan terhadap pengguna yang ingin tetap melakukan komunikasi meskipun adanya perbedaan platform VoIP [4]. Terlebih saat akan melakukan ekspansi ke platform VoIP yang lebih baru dan lebih baik, namun tetap ingin menggunakan platform yang telah ada sebelumnya.

Pada penelitian [3] melakukan interkoneksi antara server OpenIMS dan server Asterisk dengan menggunakan protokol pensinyalan SIP yang menganalisis kemampuan server pada layanan panggilan audio. Hasil menunjukkan bahwa performa server asterisk lebih rendah dalam menangani sejumlah panggilan simultan dibanding server OpenIMS. Pada penelitian [4] melakukan interkoneksi terhadap server OpenSIPS dan server Asterisk dengan menganalisis layanan suara. Hal sama ditunjukkan pada penelitian sebelumnya bahwa performa server Asterisk yang bekerja sebagai media server lebih rendah dalam menangani jumlah panggilan simultan dan nilai PDD yang lebih tinggi dibanding OpenSIPS yang bekerja sebagai proxy server. Kemudian pada penelitian ini akan dilakukan interkoneksi terhadap server Asterisk, OpenSIPS, dan Kamailio yang merupakan platform lebih baru yang menawarkan keandalan sistem yang jauh lebih baik dibanding server yang telah ada, dengan memperhatikan performa terhadap layanan panggilan video.

2. DASAR TEORI

2.1 Voice over Internet Protocol (VoIP)

Voice over Internet Protocol atau VoIP adalah sebuah teknologi yang menggunakan jaringan paket data untuk mentransmisikan suara secara real-time. VoIP juga dikenal sebagai internet telephony yang dapat mengirimkan sinyal suara dan video secara langsung menggunakan internet protocol (IP) melalui jaringan internet publik atau jaringan data pribadi [4]. VoIP memiliki banyak keuntungan, diantaranya adalah biaya lebih murah dibanding dengan telepon PSTN karena jaringan IP bersifat global, dan VoIP dengan mudah dapat dikembangkan dengan menghadirkan fitur-fitur yang jauh lebih canggih dibanding sistem PSTN yang konvensional.

2.2 Session Initiation Protocol (SIP)

Session Initiation Protocol (SIP) merupakan protokol pada layer aplikasi yang bekerja dengan mendefinisikan proses memulai, mengubah, membuat dan mengakhiri sesi suatu komunikasi antar-pengguna. Sama dengan protokol VoIP lainnya, yaitu SIP didesain untuk menangani pensinyalan dan fungsi manajemen sesi dari jaringan teleponi. Pada dasarnya, protokol SIP memiliki kemiripan dengan HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) karena menggunakan struktur pesan yang sama untuk digunakan mengatur, membatalkan, dan mengakhiri sesi real-time dari user agent (client-server).

2.2.1 Real-time Transport Protocol (RTP)

Protokol RTP dirancang untuk memastikan seluruh transfer paket data berlangsung secara terus menerus. Protokol tersebut memungkinkan transfer data ke berbagai tujuan melalui IP multicast dan dijadikan sebagai standar utama untuk transportasi data audio/video dalam jaringan IP.

2.2.2 Real-time Control Transport Protocol (RTCP)

Protokol RTCP adalah protokol yang bekerja bersamaan dengan RTP untuk mengamati dan mengendalikan transmisi data sesuai dengan RFC 3550 [8]. Pada sebuah sesi RTP, user-agent secara periodik akan mengirimkan paket RTCP kepada semua user-agent yang berada pada sesi RTP yang sama. Paket RTCP berisi laporan statistik berupa jumlah paket yang terkirim, jumlah paket yang hilang, dan jitter [9].

2.2.3 Session Description Protocol (SDP)

Session Description Protocol merupakan protokol yang mendeskripsikan jenis media yang akan digunakan bersama dengan user-agent lainnya [10]. Tujuannya adalah agar sesi komunikasi dapat dibangun dengan sebagai hasil dari penggunaan media yang sama.

2.3 Asterisk

Asterisk adalah perangkat lunak server yang bersifat open source yang digunakan untuk membangun sebuah layanan komunikasi. Karena bersifat open source maka asterisk dapat digunakan secara bebas dan gratis serta pengguna dapat mengembangkan layanan telepon sendiri menggunakan kustomisasi yang sangat banyak tersedia.

2.4 OpenSIPS

OpenSIPS adalah sebuah perangkat lunak server yang bersifat open source yang digunakan sebagai SIP server. OpenSIPS bukan hanya sekadar proxy server untuk menangani layanan VoIP, melainkan memiliki fungsionalitas penting seperti instant messaging server, SIP load balancer, SIP IP gateway, SIP media controller, dan masih banyak lagi.

2.5 Kamailio

Kamailio adalah sebuah perangkat lunak server SIP yang merupakan gabungan dari OpenSER dan SIP Express Router (SER) yang merupakan open source server seperti asterisk dan openSIPS. Kamailio dirilis di bawah *General Public License* atau GPL, yang membentuk sebuah platform untuk layanan VoIP dan komunikasi real-time seperti WebRTC, aplikasi olahpesan, dan aplikasi lainnya [14]. Lebih dari itu, Kamailio dapat dikembangkan lagi menjadi SIP-to-PSTN gateway, mirip dengan asterisk dan OpenSIPS.

2.6 Delay Process

Delay process adalah nilai interval waktu pada salah satu jenis sinyal SIP antara sinyal yang diterima server dan diteruskan lagi menuju penerima [5]. Tujuan dari pengukuran delay process server adalah untuk mengetahui berapa lama server menangani suatu process panggilan dengan menggunakan protokol pensinyalan SIP.

2.7 Post Dial Delay (PDD)

Post Dial Delay atau *call delay* atau *delay* berdasarkan rekomendasi ITU E.431 dapat didefinisikan sebagai jarak waktu ketika penelepon telah menekan digit terakhir nomor tujuan atau menekan tombol dial hingga pihak yang

dituju telah memberikan pesan status tujuan, dapat berupa pesan ringing atau busy [15]. Pada VoIP dengan pensinyalan SIP, PDD dapat diukur ketika *request* INVITE dikirim *client* pertama hingga mendapat *response* berupa provisional message (180 ringing).

Tabel 1 Standar Nilai Post Dial Delay (PDD)

Parameter	Unit	Typical Range		Level				
		Best/Max	Worst/Min	Critical	Major	Minor	Warning	Excellent
Post Dial Delay	sec	0	90	>12	>9	>6	>3	<=3

2.8 Quality of Service (QoS)

Quality of Service atau kualitas suatu layanan merupakan sebuah parameter yang mengukur kemampuan jaringan dalam menyediakan layanan yang berperforma andal. QoS menjadi parameter terhadap suatu layanan dengan platform teknologi tertentu, misalnya pada layanan PSTN, PLMN, dan VoIP.

1. Latensi

Latensi atau sering disebut one-way delay adalah permasalahan umum yang sering muncul pada proses komunikasi analog hingga komunikasi digital. Latensi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk sebuah paket data sampai ke penerima. Rekomendasi ITU-T G.1010 yang digunakan untuk komunikasi panggilan audio dan video besarnya two-way delay adalah lebih kecil dari 150 ms dengan batas maksimum hingga 400 ms [19].

2. Jitter

Jitter merupakan variasi delay terhadap pengiriman paket data, yang diakibatkan oleh antrian paket dalam proses pengolahan dan reassemble paket-paket pada endpoint tujuan. ITU-T G.114 mendefinisikan nilai jitter lebih kecil dari 20 ms dengan kualitas baik, 20-50 ms dengan kualitas cukup, dan lebih besar dari 50 ms dengan kualitas buruk [20].

3. Throughput

Throughput adalah rate (kecepatan) transfer data efektif yang diukur dalam satuan bit per second (bps) yaitu jumlah total kedatangan paket sukses yang diamati pada sisi tujuan selama selang waktu tertentu.

4. Packet Loss

Packet loss adalah total jumlah paket yang hilang selama mentransmisikan data dalam satuan persen. Hal ini dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti penurunan kekuatan sinyal pada media jaringan, kesalahan yang terjadi pada perangkat keras, atau juga faktor-faktor internal lainnya. Pada jaringan TCP yang bersifat connection oriented, mampu melakukan pengiriman kembali (retransmission) atau pengiriman ulang secara otomatis (resends) paket yang hilang. Berbeda halnya pada jaringan UDP yang bersifat connectionless, tidak menyediakan retransmission dan resends jika terjadi kehilangan paket [22].

2.9 Mean Opinion Score (MOS)

Mean Opinion Score adalah metode yang digunakan untuk menentukan kualitas suara dalam jaringan IP berdasar kepada standar ITU-T P.800. Metode ini bersifat subjektif, karena berdasarkan pendapat perorangan. Untuk menentukan nilai MOS terdapat dua cara pengesanan yaitu, *conversation opinion test* dan *listening test*. Rekomendasi nilai ITU-T P.800 untuk nilai MOS adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Nilai Kualitas Berdasarkan MOS

Nilai MOS	Opini
5	Sangat baik
4	Baik
3	Cukup baik
2	Tidak baik
1	Buruk

2.9.1 Estimasi MOS dengan Metode E-Model (ITU-T G.107)

Pendekatan matematis digunakan untuk menentukan kualitas suara berdasarkan penyebab menurunnya kualitas suara dalam jaringan VoIP dimodelkan dengan E-Model yang distandarkan dalam ITU-T G.107. Nilai akhir estimasi E-Model disebut dengan R faktor. R faktor didefinisikan sebagai faktor kualitas transmisi yang dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti *signal to noise ratio* dan *echo* perangkat, *codec* dan kompresi, *packet loss*, dan *delay*. R faktor didefinisikan sebagai berikut.

$$R = 93,2 - I_d - I_{ef} \quad (2.1)$$

Dengan :

I_d = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh pengaruh *one way delay*

I_{ef} = Faktor penurunan kualitas yang disebabkan oleh teknik kompresi dan *packet loss* yang terjadi

Nilai I_d ditentukan dari persamaan berikut.

$$I_d = 0,024d + 0,11(d - 177,3) H(d - 177,3) \quad (2.2)$$

Nilai I_{ef} tergantung pada metode kompresi dan *packet loss* yang terjadi. Berikut persamaan untuk menentukan nilai I_{ef} .

$$I_{ef} = 7 + 30 \ln(1 + 15e) \quad (2.3)$$

Maka secara umum persamaan nilai estimasi R faktor menjadi :

$$R = 94,2 - [0,024d + 0,11(d - 177,3) H(d - 177,3)] - [7 + 30 \ln(1 + 15e)] \quad (2.4)$$

Dengan :

R = faktor kualitas transmisi

d = delay

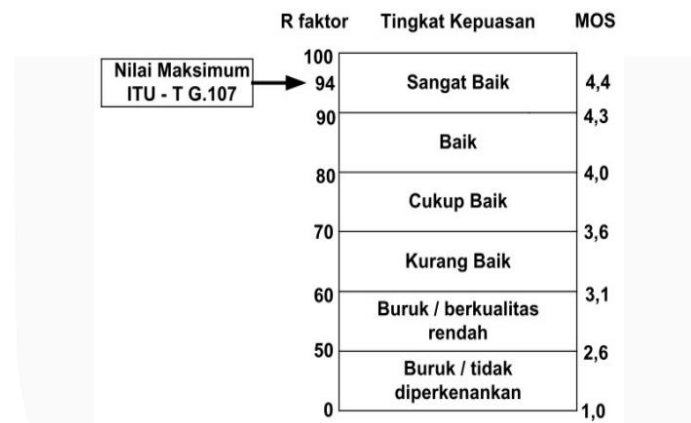
H = fungsi tangga; dengan ketentuan

$H(x) = 0$ jika $x < 0$

$H(x) = 1$ untuk $x \geq 0$

e = persentase besarnya *packet loss* yang terjadi (dalam bentuk desimal)

Nilai R faktor mengacu pada standar MOS, hubungannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 Korelasi nilai E-Model dan nilai MOS [23]

Untuk melakukan konversi nilai R menjadi nilai MOS terdapat beberapa ketentuan sebagai berikut.

1. Untuk $R > 0$: $MOS = 1$ (2.5)

2. Untuk $R > 100$: $MOS = 4,5$ (2.6)

3. Untuk $0 < R < 100$: $MOS = 1 + 0,035 R + 7 \times 10^{-6} R(R - 60)(100 - R)$ (2.7)

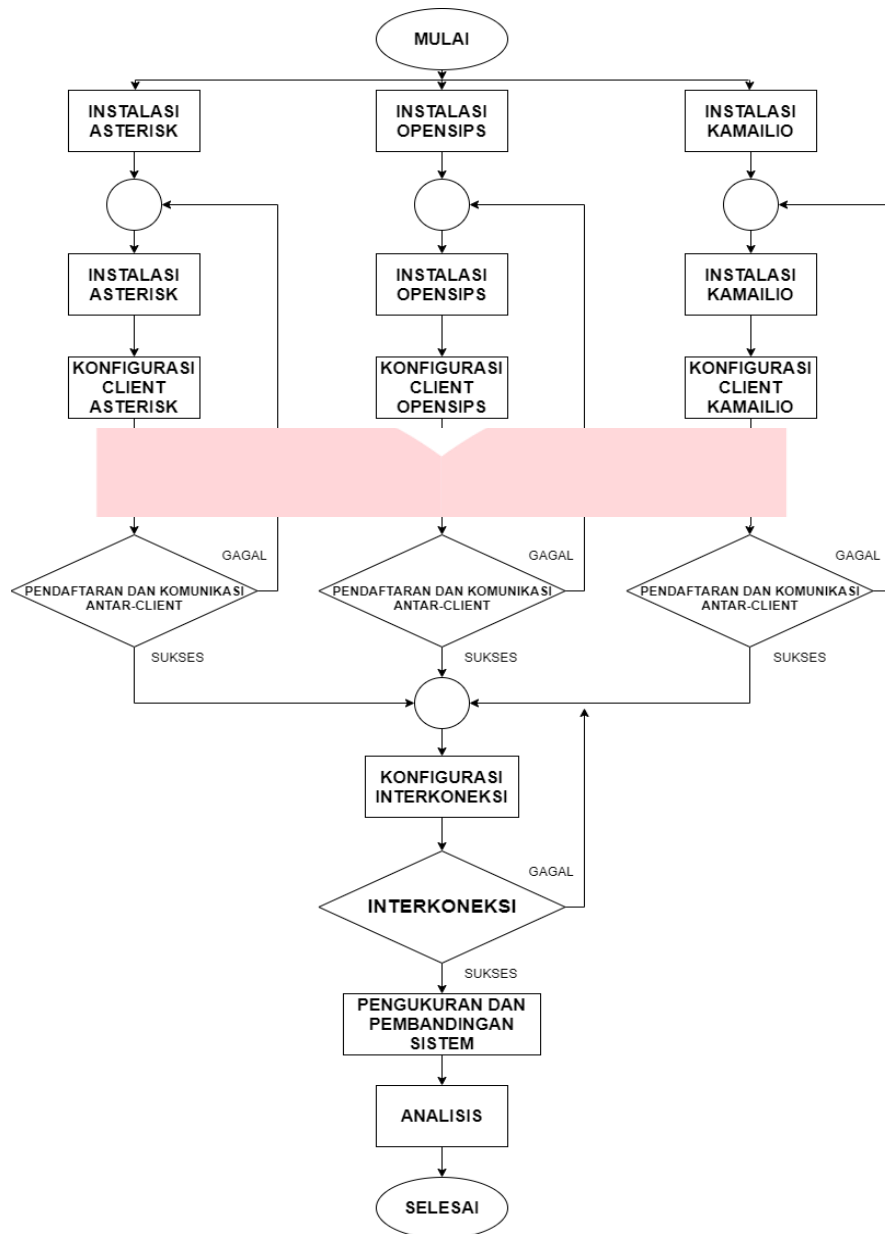
3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Deskripsi Proyek Akhir

Pada proyek akhir ini dilakukan perancangan sistem komunikasi VoIP dengan menggunakan tiga platform, yaitu Asterisk, OpenSIP, dan Kamailio yang ketiganya berjalan pada protokol pensinyalan SIP. Ketiga server masing-masing diinstal pada virtual machine yang berbeda pada sebuah laptop. Setelah semua server dapat berfungsi secara individual, kemudian dilakukan konfigurasi untuk menghubungkan ketiga server, dengan server asterisk bertindak sebagai gateway yang menghubungkan server openSIPS dengan kamailio sehingga client dari ketiga server dapat melakukan panggilan VoIP panggilan video antar-platform. Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran nilai post dial delay (PDD), nilai delay process, dan nilai quality of service (QoS).

3.2 Perancangan Sistem

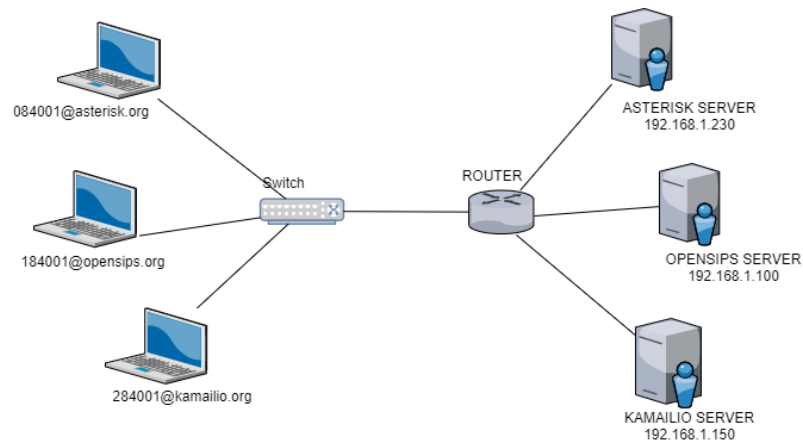
Dalam proses perancangan sistem ini, dibuat sebuah skenario yang sistematis. Pada tugas akhir ini, digunakan skenario yang digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 1.



Gambar 2 Diagram Alir Perencanaan

3.3 Implementasi Sistem

Sistem yang dibangun sesuai dengan topologi jaringan berikut.



Gambar 3 Topologi Rancangan

Perancangan sistem tersebut bertujuan untuk terciptanya aksesibilitas antar-platform sehingga client dari server asterisk, openSIPS, dan kamailio dapat melakukan panggilan suara dan video. Masing-masing server sudah ditentukan nomor ekstensinya untuk memudahkan identifikasi dan penjaluran panggilan. Server asterisk mendapatkan nomor ekstensi dengan awalan 084xxx, server openSIPS memiliki nomor ekstensi 184xxx, dan server kamailio memiliki nomor ekstensi 284xxx.

Pada implementasi VoIP tersebut, digunakan perangkat sebagai berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Perangkat Keras Utama

Perangkat	Processor	RAM	Storage	Network	OS
Perangkat keras utama	Intel Core i5 6300HQ @2.8GHz	12 GB	500 GB SSD	Intel Dual Band Wireless-AC	Windows 10 Pro

Tabel 4 Spesifikasi Perangkat Virtual

Virtual Machine	OS	RAM	Storage	Kernel	Asterisk Version
Asterisk	Ubuntu Desktop 18.04 LTS	2 GB	20 GB	5.3.0-53-generic	13.18.3-dfsg
OpenSIPS	Ubuntu Desktop 18.04 LTS	2 GB	20 GB	5.3.0-53-generic	2.4
Kamailio	Ubuntu Desktop 18.04 LTS	2 GB	20 GB	5.3.0-53-generic	5.2.6

Perangkat pendukung lainnya yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Software

a. Wireshark Network Protocol Analyzer version 3.2.5

Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis jaringan dan aliran paket data yang melewati NIC atau network interface card dari computer beserta waktu pada saat paket tersebut lewat.

b. Sngrep

Merupakan sebuah tool pada linux yang digunakan untuk meng-capture aliran pesan SIP dan juga menampilkan header dan isi paket yang di-capture.

c. Bria

Bria merupakan aplikasi softphone yang merupakan penerus dari X-Lite yang mendukung protokol SIP yang digunakan sebagai endpoint client dari asterisk, openSIPS, dan kamailio.

2. Hardware

- a) Tiga buah laptop sebagai client
 - Operating system : Windows 10 Home
 - Hardware : Intel core i3
- b) Router nirkabel TP-Link

3.4 Skenario Pengujian Sistem

A. Pengukuran waktu proses pada server (Delay Process).

Untuk ketiga server yang digunakan, yaitu Asterisk, OpenSIPS, dan Kamailio dilakukan pengukuran dengan menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan untuk satu sinyal SIP diproses oleh server sebelum dilanjutkan ke alamat tujuan. Pengukuran dilakukan tanpa adanya beban trafik lainnya yang ditangani server.

B. Pengukuran post dial delay (PDD)

Pengukuran post dial delay dilakukan dengan menggunakan skenario berikut.

1. Server Asterisk

- a) Panggilan antar user agent Asterisk.
- b) Panggilan antara user agent Asterisk ke user agent OpenSIPS.
- c) Panggilan antara user agent Asterisk ke user agent Kamailio.

2. Server OpenSIPS

- a) Panggilan antar user agent OpenSIPS.
- b) Panggilan antara user agent OpenSIPS ke user agent Asterisk.
- c) Panggilan antara user agent OpenSIPS ke user agent Kamailio.

3. Server Kamailio

- a) Panggilan antar user agent Kamailio.
- b) Panggilan antara user agent Kamailio ke user agent Asterisk.
- c) Panggilan antara user agent Kamailio ke user agent OpenSIPS.

Setiap skenario pengukuran di atas dilakukan dengan mengadakan panggilan video sebanyak tiga puluh kali kemudian diambil nilai rata-rata.

C. Pengukuran Quality of Service Video Call pada masing-masing server

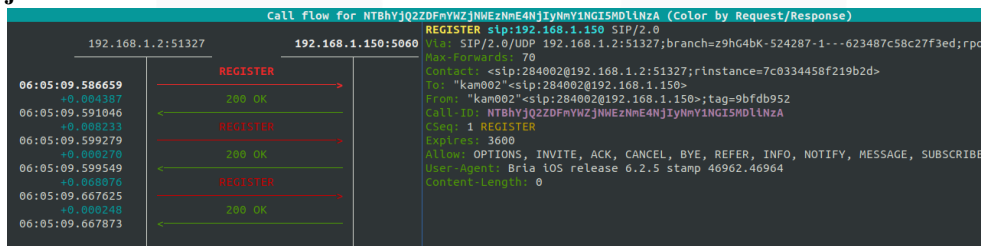
Pengukuran QoS dilakukan tanpa beban trafik pada masing-masing server dan sistem interkoneksinya.

D. Pengukuran Mean Opinion Score (MOS)

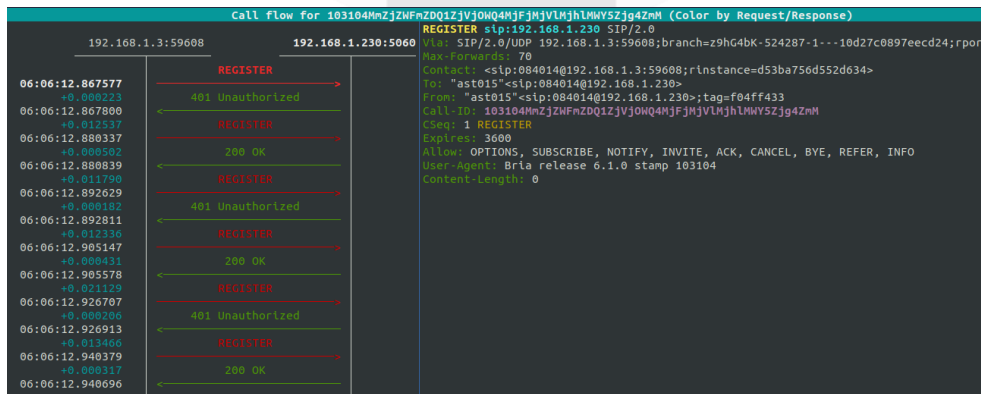
Pengukuran MOS dilakukan dengan metode E-model sehingga didapatkan nilai R faktor.

5. HASIL PENGUJUAN DAN ANALISIS

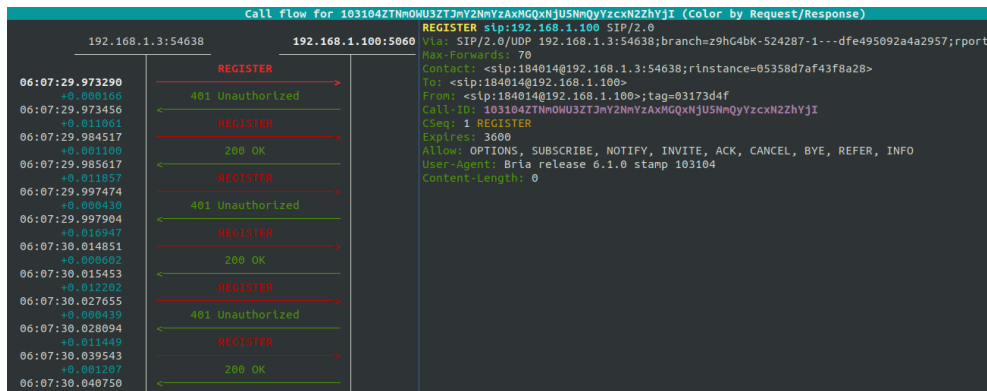
4.1 Pengujian Server



Gambar 4 Sinyal Registrasi Client OpenSIPS



Gambar 5 Sinyal Registrasi Client Asterisk

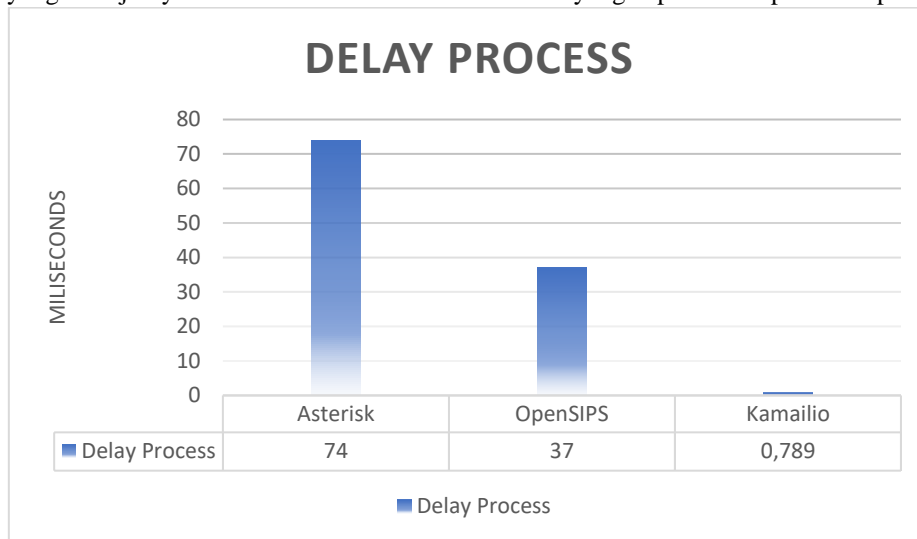


Gambar 6 Sinyal Registrasi Client Kamailio

Pengujian server dilakukan untuk mengetahui apakah semua server telah berjalan dan menerima proses registrasi oleh user client. Pada gambar 3, 4, dan 5 menunjukkan setiap server telah berjalan dan menerima registrasi yang selanjutnya akan digunakan untuk melayani panggilan.

4.2 Pengujian Delay Process

Pengujian delay process dilakukan dengan melakukan panggilan antar-user pada masing-masing server VoIP kemudian diukur total waktu antara sinyal INVITE diterima server kemudian diteruskan ke tujuan. Pada ketiga server dilakukan pengukuran waktu sinyal INVITE dari IP client 192.169.1.2 menuju server dengan IP 192.168.1.230 yang selanjutnya diteruskan ke IP client 192.168.1.3 yang dapat dilihat pada Lampiran-1..

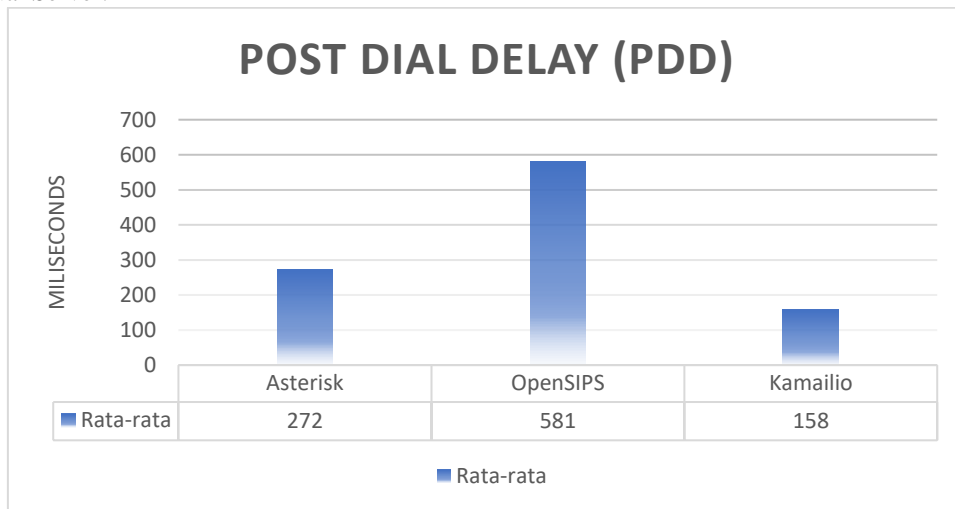


Gambar 7 Delay Process Server

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik perbandingan lamanya server meneruskan sinyal INVITE ke alamat tujuan. Grafik menunjukkan bahwa performa server Kamailio jauh lebih lebih baik dibanding kedua server lainnya. Server Kamailio hanya membutuhkan waktu 0,789 ms untuk memproses sebuah request, server OpenSIPS membutuhkan waktu 37 ms, dan performa paling rendah pada server Asterisk dengan nilai delay process 74 ms. Semakin kecil nilai delay process maka semakin cepat suatu server menginisialisasi suatu panggilan. Pengukuran ini sangat erat kaitannya dengan parameter post dial delay yang mengukur kecepatan server hingga terjadi sebuah panggilan.

4.3 Pengujian Post Dial Delay (PDD)

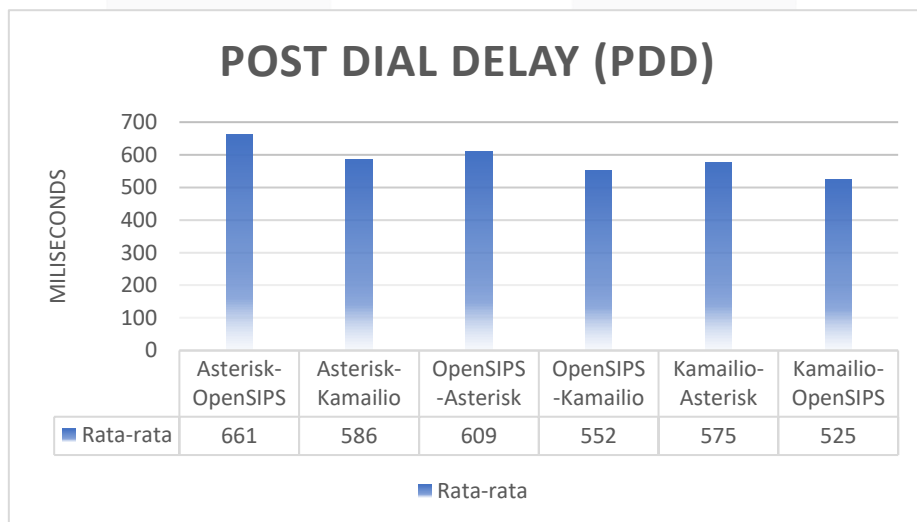
A. Individual Server.



Gambar 8 Nilai Post Dial Delay Individual Server

Pada Gambar 7 menunjukkan grafik perbandingan nilai *post dial delay* (PDD) terhadap tiga skenario panggilan yang menguji performa server tanpa interkoneksi. Grafik menunjukkan bahwa performa VoIP untuk panggilan pada setiap server. Performa terbaik dimiliki server Kamailio yaitu dengan nilai PDD rata-rata 158 ms, sedangkan server Asterisk berada pada urutan kedua dengan nilai PDD 272 ms, dan pada urutan terakhir adalah server OpenSIPS dengan nilai PDD 581 ms. Semakin besar nilai PDD maka semakin lama waktu yang dibutuhkan oleh *user agent client* hingga mendapatkan nada *ringing* oleh *user agent server*.

B. Interkoneksi Server



Gambar 9 Nilai Post Dial Delay Interkoneksi Server

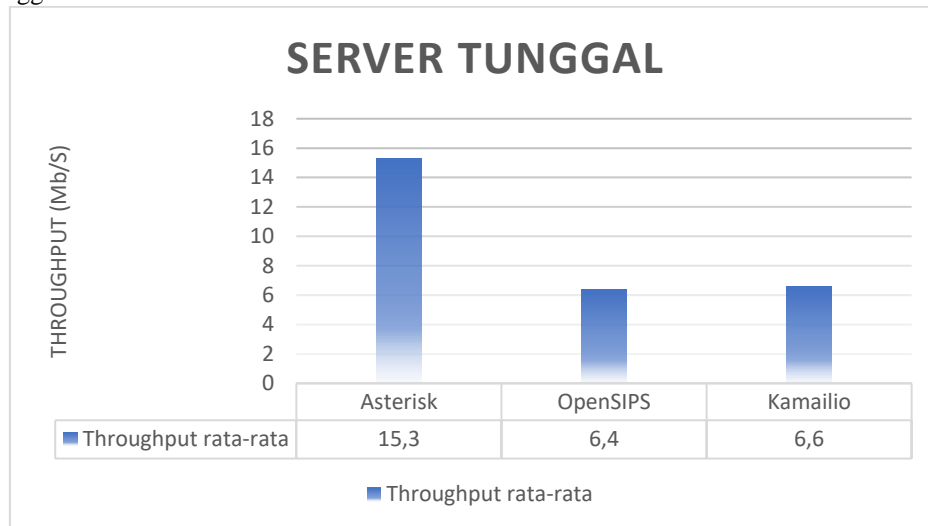
Pada Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan performa *post dial delay* (PDD) pada sistem interkoneksi server VoIP. Grafik menunjukkan bahwa sistem interkoneksi yang ditangani oleh ketiga server memiliki nilai rata-rata PDD yang mirip satu dengan lainnya. Ketiga server bekerja dengan nilai PDD berkisar antara 550 ms hingga 650 ms. Namun jika diperhatikan, bahwa setiap server yang terhubung dengan server Asterisk memiliki nilai PDD yang lebih tinggi. Sedangkan interkoneksi dengan nilai PDD yang paling rendah adalah interkoneksi server OpenSIPS dan server Kamailio. Hal ini disebabkan karena server OpenSIPS dan server Kamailio langsung

melakukan perutingan secara lebih ringkas. Berbeda dengan server Asterisk yang mengirimkan *request* dan *response* yang lebih banyak dibanding server lainnya, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama hingga dapat diproses oleh *user agent server*.

4.4 Pengukuran Quality of Service (QoS)

A. Throughput

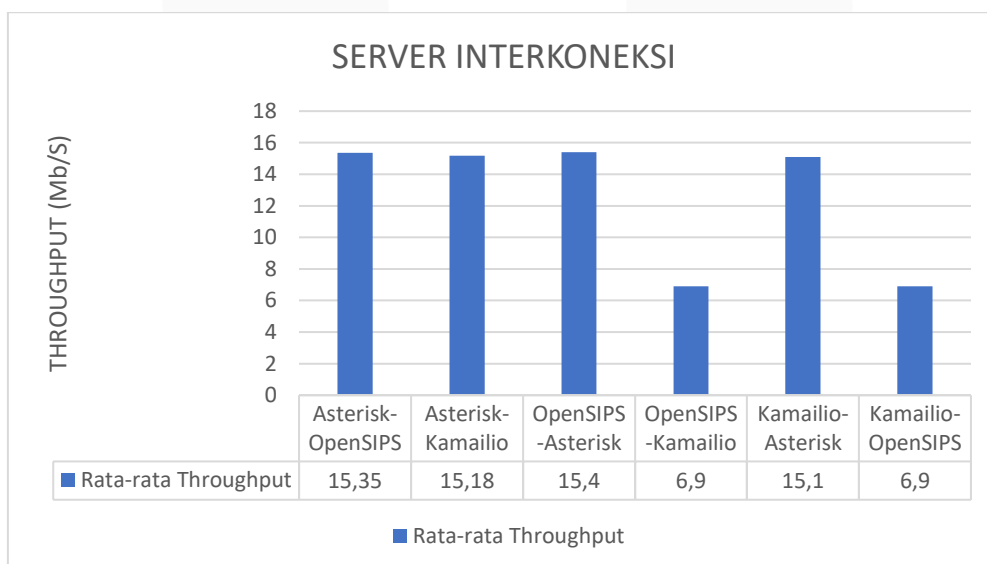
1. Server Tunggal



Gambar 10 Nilai Throughput pada server tunggal

Berdasarkan gambar 9, menunjukkan perbandingan nilai throughput pada ketiga server. Grafik menunjukkan bahwa server Asterisk menghasilkan throughput lebih besar dibanding kedua server lainnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan codec G.711 yang memungkinkan transmisi suara tanpa dikompres terlebih dahulu, dengan bitrate 64 kbit/s. Sedangkan server lainnya menggunakan codec G.729 dengan bitrate kompresi 8 kbit/s.

2. Server Interkoneksi

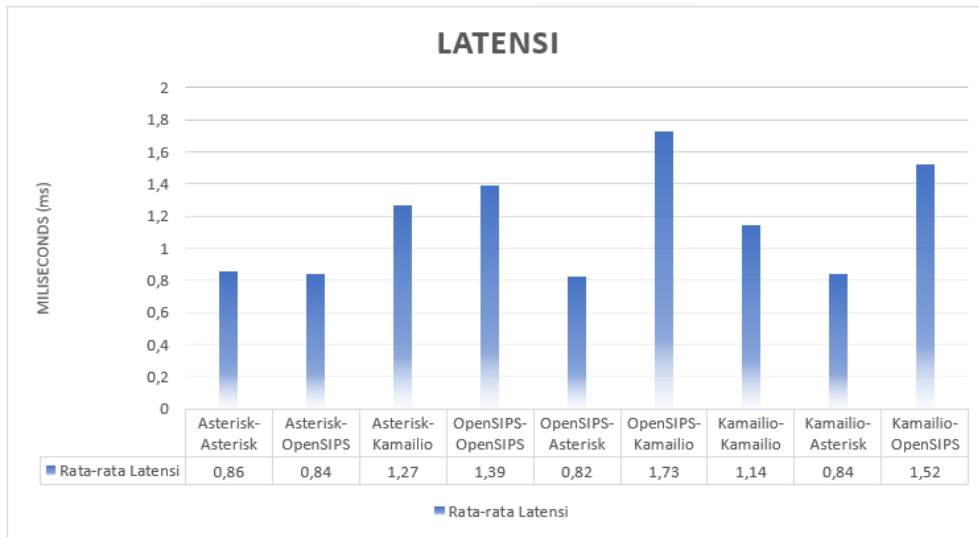


Gambar 11 Nilai throughput pada server interkoneksi

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan nilai throughput pada sistem interkoneksi server VoIP. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai throughput paling tinggi dihasilkan oleh server yang terkoneksi dengan server Asterisk dibandingkan dengan sistem interkoneksi yang tidak terhubung dengan server Asterisk. Hal ini

juga dipengaruhi oleh konfigurasi Asterisk yang hanya mengijinkan penggunaan codec G.711 untuk transmisi suara, dimana secara default server OpenSIPS dan server Kamailio menggunakan codec G.729 untuk efisiensi bandwidth.

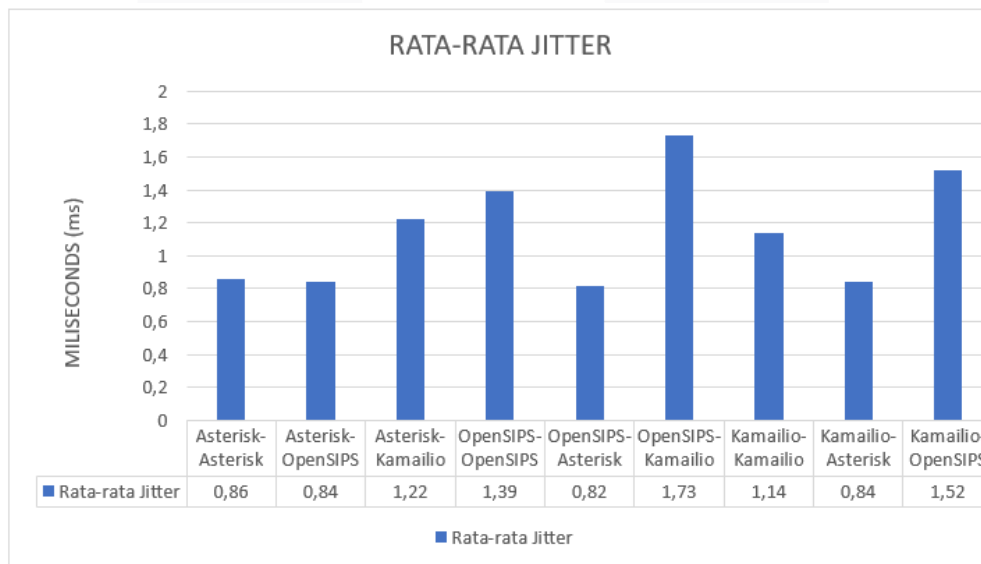
B. Latensi



Gambar 12 Nilai Latensi Rata-rata

Pada Gambar 11, menunjukkan nilai latensi pada setiap skenario memiliki rata-rata latensi < 2 ms, dengan nilai latensi paling kecil berada pada koneksi OpenSIPS-Asterisk dengan latensi 0,82 ms.

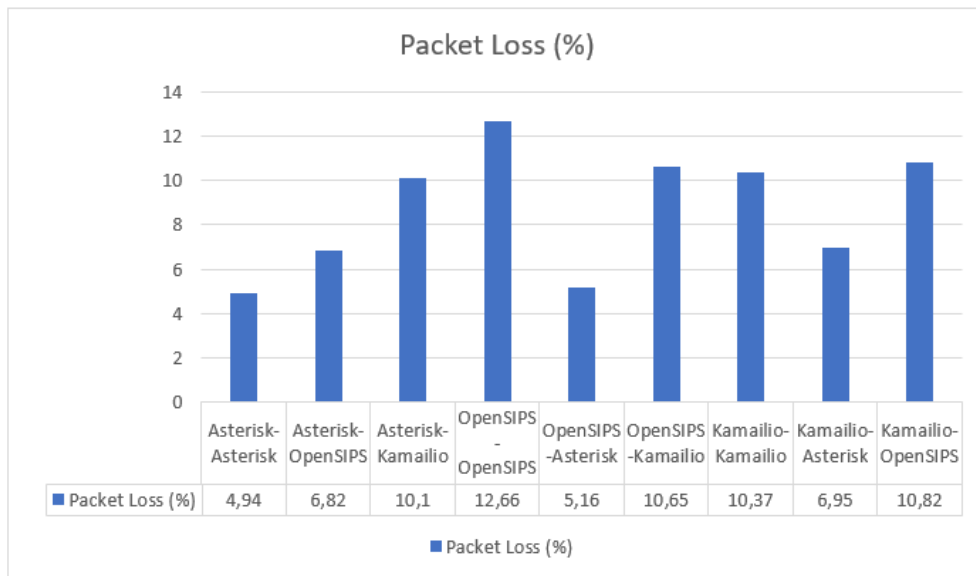
C. Jitter



Gambar 13 Nilai rata-rata jitter

Pada Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai Jitter pada setiap skenario memiliki nilai rata-rata < 2 ms dengan nilai jitter paling kecil berada pada koneksi OpenSIPS-Asterisk dengan nilai 0,82 ms. Nilai jitter yang baik menunjukkan bahwa tidak terjadi penumpukan data pada saat transmisi sehingga layanan VoIP berjalan dengan optimal.

D. Packet Loss



Gambar 14 Nilai Packet Loss

Pada Gambar 14 terlihat nilai *packet loss* sangat bervariasi. Nilai *packet loss* paling kecil berada pada koneksi server individual Asterisk-Asterisk dengan nilai 4,94%. Sedangkan nilai *packet loss* terbesar terjadi pada koneksi server individual OpenSIPS-OpenSIPS sebesar 12,66%.

4.5 Mean Opinion Score (MOS)

Tabel 5 Hasil Nilai MOS pada Koneksi VoIP

Koneksi Server	Id	Ief	R-Faktor	MOS
Asterisk-Asterisk	0,0206	23,6443	70,5353	3,6
Asterisk-OpenSIPS	0,0203	28,1491	66,0305	3,4
Asterisk-Kamailio	0,0306	34,6719	59,4974	3,1
OpenSIPS-OpenSIPS	0,0333	38,9324	55,2341	2,9
OpenSIPS-Asterisk	0,0198	24,2176	69,9625	3,6
OpenSIPS-Kamailio	0,0415	35,6521	58,5062	3,0
Kamailio-Kamailio	0,0273	35,1611	59,0114	3,0
Kamailio-Asterisk	0,0203	28,4310	65,7485	3,4
Kamailio-OpenSIPS	0,0366	35,9448	58,2184	3,0

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil perhitungan nilai R faktor yang dikonversi menjadi nilai MOS. Didapatkan nilai MOS paling tinggi berada pada koneksi server individual Asterisk dan interkoneksi server OpenSIPS-Asterisk, dengan nilai MOS 3,6 pada kategori cukup baik. Nilai MOS paling buruk berada pada koneksi server individual OpenSIPS dengan nilai 2,9 dan termasuk pada kategori buruk/berkualitas rendah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi interkoneksi dan pengujian performa pada ketiga server VoIP yaitu Asterisk, OpenSIPS, dan Kamailio maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Berhasil melakukan implementasi interkoneksi terhadap server Asterisk, server OpenSIPS, dan server Kamailio sehingga dapat melakukan panggilan video.
2. Hasil pengujian Delay Process pada setiap server menunjukkan bahwa server Kamailio memiliki proses yang lebih cepat dibanding server lainnya, dengan nilai delay process sebesar 0,789 ms. Sehingga server Kamailio dapat menginisiasi panggilan dengan lebih cepat.

3. Hasil pengujian Post Dial Delay (PDD) pada sembilan skenario pengujian menunjukkan server Kamailio memiliki nilai PDD paling kecil yaitu 158 ms untuk sistem tanpa interkoneksi dan nilai PDD rata-rata 419 ms untuk sistem interkoneksinya.
4. Hasil pengujian QoS menunjukkan bahwa semua koneksi terhadap server Asterisk memiliki nilai rata-rata throughput paling besar dengan nilai 15 Mbps. Nilai latensi pada sistem interkoneksi memiliki nilai rata-rata < 2 ms dengan kategori sangat baik. Sedangkan nilai jitter pada sistem interkoneksi juga memiliki nilai < 2 ms dengan kategori sangat baik.
5. Hasil pengukuran MOS menunjukkan bahwa nilai MOS tertinggi berada pada koneksi individual server asterisk dan interkoneksi Asterisk-OpenSIPS dengan nilai MOS 3,6 dan berada pada kategori cukup baik. Sedangkan nilai MOS paling buruk berada pada koneksi individual server OpenSIPS dengan nilai MOS 2,9 berada pada kategori berkualitas rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Rahman dan N. S. Islam, "VoIP Implementation Using Asterisk PBX," *Journal of Business and Management*, vol. 15, no. 6, pp. 47-53, 2014.
- [2] C. Vaishnav, "Voice over Internet Protocol (VoIP): The Dynamics of Technology and Regulation," Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2006.
- [3] O. O. Ayokunle, "Integrating Voice over Internet Protocol (VoIP) Technology as a Communication Tool on a Converged Network in Nigeria," *International Journal of Information and Communication Technology Research*, vol. 2, no. 11, p. 829, 2012.
- [4] R. Munadi, E. Najwaini, A. Mulyana dan R. R. M, "Design and Implementation VoIP Service on OpenIMS and Asterisk Servers Interconnected Through Enum Server," *International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN)*, vol. 2, no. 2, pp. 1-12, 2010.
- [5] T. A. Kurnia, Y. Purwanto dan A. Mulyana, "Analisis Implementasi Interkoneksi OpenSIPS Server dan Asterisk Server untuk Layanan VoIP," Universitas Telkom, Bandung, 2010.
- [6] U. R. Alo dan N. H. Firday, "Voice Over Internet Protocol (VOIP): Overview, Direction and Challenges," *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 3, no. 4, pp. 18-28, 2013.
- [7] S. Jalendry dan S. Verma, "A Detail Review on Voice over Internet Protocol (VoIP)," *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 23, no. 4, pp. 161-166, 2015.
- [8] M. A. Taghsya, "Analisis Implementasi Interkoneksi SIP Server dan IP PBX Panasonic dengan Pengujian Menggunakan Enum Server Untuk Layanan VoIP," Telkom University, Bandung, 2013.
- [9] A. Duressi dan R. Jain, "RTP, RTCP, and RTSP - Internet Protocols for Real-Time Multimedia Communication," dalam *The Industrial Information Technology Handbook*, Louisiana, CRC Press, 2005, pp. 7-8.
- [10] C. Bouras, A. Gkamas, D. Primpas dan K. Stamos, "Encyclopedia of Internet Technologies and Applications," dalam *Encyclopedia of Internet Technologies and Applications*, IGI Global, 2008, pp. 463-468.
- [11] A. B. Johnston, "SDP - Session Description Protocol," in *Understanding The Session Initiation Protocol*, Boston, British Library Cataloguing in Publication Data, 2000, pp. 121-127.
- [12] Fortinet, "VoIP Solutions: SIP for FortiOS 5.6," dalam *VoIP Solutions: SIP for FortiOS 5.6*, Fortinet, 2017, pp. 18-31.
- [13] Onnocenter, "Asterisk Softswitch," 14 Juni 2017. [Online]. Available: http://onnocenter.or.id/wiki/index.php/Asterisk_Softswitch. [Diakses 8 Juli 2020].
- [14] F. E. Goncalves dan B. A. Lancu, *Building Telephony Systems with OpenSIPS*, Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2016.
- [15] Kamailio.org, "Welcome To Kamailio - The Open Source SIP Server," Kamailio Project, [Online]. Available: <https://www.kamailio.org/w/>. [Diakses 8 Juli 2020].
- [16] V. Matic, "Estimation of Post Dialling Delay in Telephone Networks," in *PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY*, Belgrade, 2012.
- [17] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schiiller and J. Rosenberg, "SIP: Session Initiation Protocol," 2 Maret 2013. [Online]. Available: datatracker.ietf.org/doc/rfc2543/. [Accessed 8 Juli 2020].

- [18] Tektronix, "Technical Document," 4 Februari 2020. [Online]. Available: www.tek.com/document/poster/common-voip-service-quality-thresholds. [Diakses 9 Juli 2020].
- [19] Anonim, "QoS," VoIP-info, [Online]. Available: <https://www.voip-info.org/qos/>. [Diakses 9 Juli 2020].
- [20] ITU-T, "G.1010 : End-user multimedia QoS categories," November 2001. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010/en>. [Accessed 9 Juli 2020].
- [21] M. Risnandar, "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," dalam *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016*, Jakarta, 2016.
- [22] I. Hasan, "Implementasi Videophone pada Jaringan Voice Over Internet Protocol (VoIP) Berbasis SIP (Session Initiation Protocol)," Universitas Telkom, Bandung, 2005.
- [23] R. Priambodo, "Implementasi dan Analisis Performansi Kamailio SIP Server untuk Arsitektur IP Multimedia Subsystem dengan Layanan VoIP dan Video Call," Universitas Telkom, Bandung, 2016.

