

ANALISIS KINERJA REAL-TIME TRANSPORT PROTOCOL DAN REAL-TIME TRANSPORT CONTROL PROTOCOL PADA VOIP MENGUNAKAN CODEC GSM & G.711

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:

Rizki Sepasthika Fatmaprila

NIM: 115060807111010



PROGRAM STUDI INFORMATIKA / ILMU KOMPUTER
PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015

PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA REAL-TIME TRANSPORT PROTOCOL DAN REAL-TIME
TRANSPORT CONTROL PROTOCOL PADA VOIP MENGGUNAKAN CODEC GSM &
G.711

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :
RIZKI SEPASTHIKA FATMAPRILA
NIM: 115060807111010

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
10 Desember 2015

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Kasyful Amron, S.T.,M.Sc.
NIP: 19750803 200312 1 003

Eko Sakti P, S.Kom.,M.Kom
NIK: 860805 06 1 1 0252

Mengetahui

Ketua Program Studi Informatika / Ilmu Komputer

Drs. Marji, MT

NIP: 19670801 199203 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, November 2015



Rizki Sepasthika Fatmaprila

NIM: 115060807111010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah, serta kasih sayang-Nya kepada penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Skripsi dengan judul “Analisis Kinerja Real-Time Transport Protocol dan Real-Time Transport Control Protocol pada VoIP Menggunakan Codec GSM & G.711” disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya. Penulis mengucapkan terimakasih kepada

1. Kasyful Amron, ST.,M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi pertama yang telah meluangkan waktu dan juga memberikan pengarahan bagi penulis.
2. Eko Sakti Pramukantoro S.Kom., M.Kom selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu dan juga memberikan pengarahan bagi penulis.
3. Ir. Sutrisno, MT., selaku Ketua Program Teknologi Informasi & Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.
4. Drs. Marji, MT. selaku Ketua Program Studi Informatika/Illmu Komputer Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.
5. Segenap bapak dan ibu dosen program studi Teknik Informatika / Ilmu Komputer beserta staff administrasi yang telah membantu penulis Selama masa studi.
6. Bapak Sunarno dan Ibu Yanu Fenina Yunta Yunti selaku orang tua penulis yang selalu mendukung, mendoakan, dan memberikan semangat hingga skripsi ini terselesaikan.
7. Shella Pradipta Maharani, Elsyia Ninditya Putty, Meliza Mega Audina selaku kakak dan adik penulis yang selalu mendoakan dan memberikan semangat hingga skripsi ini selesai.
8. Anggar Dwi Cahyono selaku teman hidup penulis.
9. Sahabat Teknik Informatika 2011 khususnya Nurya Aghnia Farda, Kanthi Raraswati, dan Anisah serta seluruh teman-teman Teknik Informatika.

10. Sahabat-sahabat yang selalu menyemangati dan mendukung Wian, Novi, Nartini, Tyas, Mida, Sita, Petris, Sekar, Fitri Melany.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang terlibat baik secara langsung maupun yang tidak langsung demi terselesaikannya skripsi ini.

Semoga penulisan laporan skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan untuk pengembangan selanjutnya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna serta banyak kekurangan disebabkan oleh keterbatasan kemampuan dan pengalaman, dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca.

Malang, November 2015

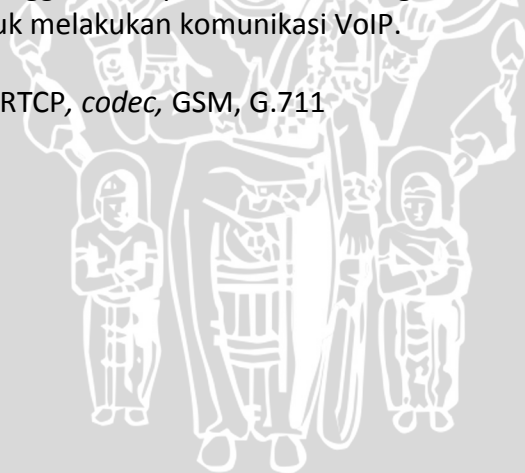
Penulis
fatmaprila@gmail.com



ABSTRAK

Semakin berkembangnya jaringan komputer sekarang ini, aplikasi multimedia seperti audio dan video dapat berkomunikasi dalam jaringan IP. VoIP adalah salah satu aplikasi yang dapat berkomunikasi dalam jaringan IP. Karena aplikasi VoIP bersifat *real time*, VoIP tidak toleran terhadap *delay*, *jitter*, dan *packet loss* serta membutuhkan *bandwidth* yang besar. Untuk menjamin kualitas layanan dalam VoIP, pemilihan protokol multimedia *over IP* yang tepat akan mempengaruhi nilai dari parameter QoS tersebut. *Real-time Transport Protocol* (RTP) adalah protokol yang menyediakan dukungan berbasis IP untuk pengangkutan data real-time. *Real-time Transport Control Protocol* (RTCP) digunakan untuk mengirimkan paket kontrol ke setiap *host* yang berpartisipasi pada percakapan. RTP bekerja sama dengan RTCP akan menyediakan landasan kerja bagi layanan real-time. Selain dengan pemilihan protokol, pemilihan *codec* juga akan membantu mengurangi nilai dari keempat parameter QoS tersebut. Penelitian ini difokuskan pada penggunaan dua jenis *codec* yang berbeda yaitu *codec* GSM dan *codec* G.711. *Codec* GSM memiliki bit rate 13 kbps, sedangkan *codec* G.711 memiliki bit rate 64 kbps. Perbedaan bit rate tersebut akan mempengaruhi kualitas koneksi dalam komunikasi VoIP. Dari hasil pengujian dengan menggunakan kedua protokol dan kedua *codec* tersebut didapat hasil bahwa komunikasi menggunakan protokol RTP dengan *codec* GSM merupakan kombinasi terbaik untuk melakukan komunikasi VoIP.

Kata Kunci: VoIP, RTP, RTCP, *codec*, GSM, G.711



ABSTRACT

The growing development of Computer network at present, multimedia applications such as audio and video can communicate in IP network. VoIP is one of the applications that can communicate in IP network. VoIP is intolerant of delay, jitter, and packet loss and requires a large bandwidth. To guarantee quality of service in VoIP, the selection of multimedia over IP will affect the value of QoS parameters. Real-time transport protocol (RTP) is protocol that provides support for transport of IP-based real-time data. Real-time Transport Control Protocol (RTCP) is used to transmit control packets to each host participating in conversation. RTP and RTCP cooperate to provide the groundwork for real-time services. Besides protocol, codec selection also help reduce the value of QoS. The research focused on two different types of codecs are GSM and G.711. GSM codec has a bit rate of 13 kbps, G.711 codec has a bit rate 64 kbps. The bit rate differences will affect quality of connections in VoIP communication. From the test results using both protocols and codecs the result is that communications using RTP with the GSM codec is the best combination to perform VoIP communication.

Keywords: VoIP, RTP, RTCP, codec, GSM, G.711

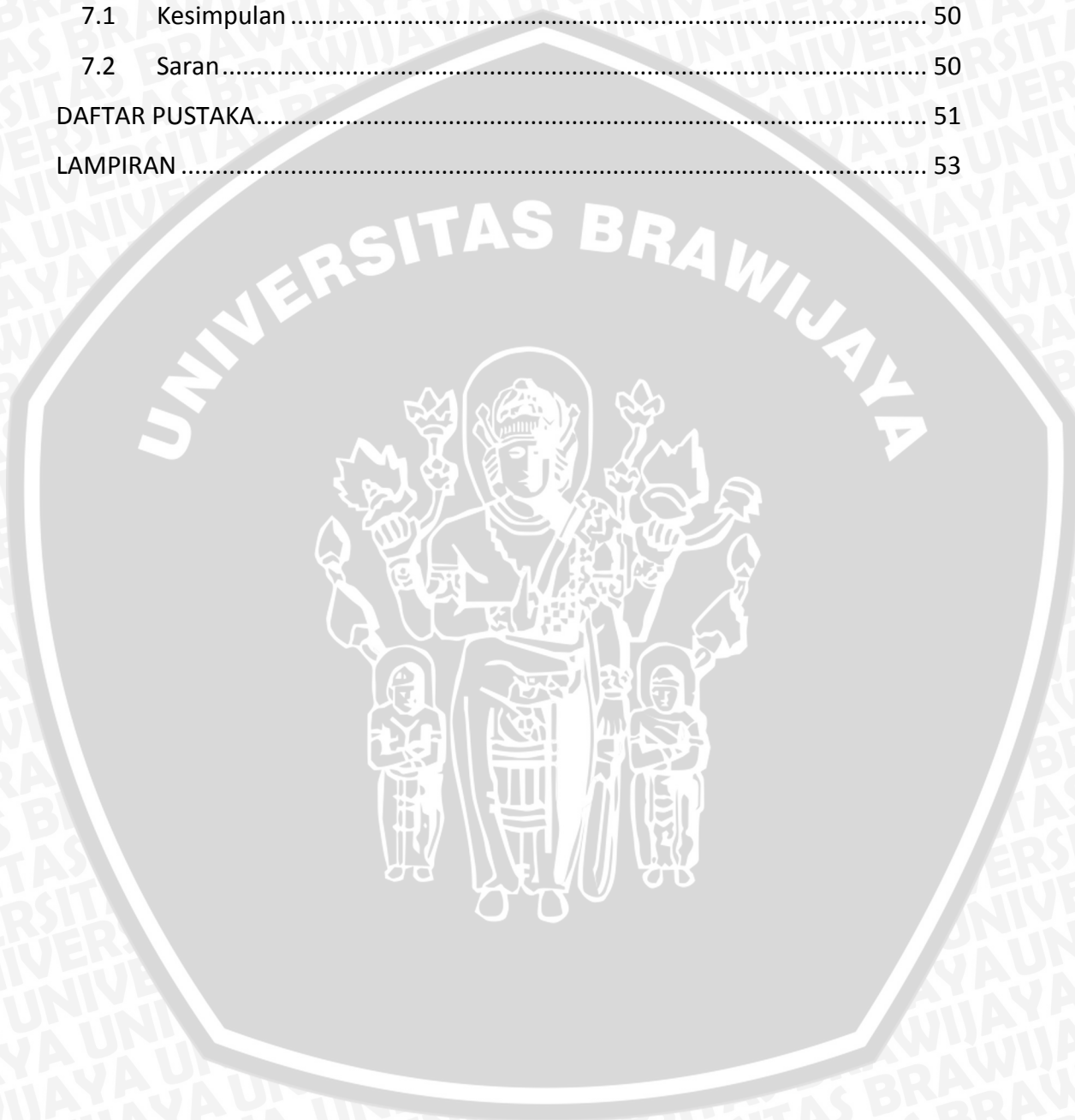


DAFTAR ISI

PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	4
2.1 VoIP (Voice over Internet Protocol)	4
2.2 SIP (Session Initiation Protocol).....	4
2.3 Standar Kompresi Data Suara.....	6
2.4 G.711	7
2.5 GSM	8
2.6 Real-time Transport Protocol (RTP)	8
2.7 Real-time Transport Control Protocol (RTCP)	9
2.8 Kualitas Layanan VoIP.....	10
2.8.1 Bandwidth	10
2.8.2 Delay.....	10

2.8.3	Jitter	11
2.8.4	Packet Loss	11
BAB 3 METODOLOGI		12
3.1	Tipe Penelitian	12
3.2	Strategi Penelitian	12
3.2.1	Studi Literatur	12
3.2.2	Lingkungan Penelitian	13
3.2.3	Pengambilan Data	16
3.2.4	Pembahasan	19
3.2.5	Analisis	20
3.2.6	Pengambilan Kesimpulan	20
BAB 4 LINGKUNGAN PENELITIAN		21
4.1	Implementasi Jaringan	21
4.1.1	<i>Server</i>	21
4.1.2	<i>Client</i>	22
4.2	Implementasi Asterisk 13.4.0	22
4.3	Implementasi Protokol	24
4.4	Implementasi Softphone	24
4.5	Implementasi <i>Iperf</i>	25
BAB 5 PENGAMBILAN DATA		27
5.1	Pengujian Koneksi <i>Client – Server</i>	27
5.2	Pengujian Koneksi <i>Client – Client</i>	28
5.3	Pengujian Panggilan VoIP	28
5.3.1	Komunikasi <i>codec</i> GSM & G.711 bersamaan	29
5.3.2	Komunikasi <i>codec</i> GSM & G.711 tidak bersamaan	29
5.3.3	Pengujian <i>Iperf</i>	30
5.4	Pengambilan Data Kualitas VoIP	30
5.4.1	Pengambilan Data Kualitas VoIP dengan <i>codec</i> G.711	30
5.4.2	Pengambilan Data Kualitas VoIP dengan <i>Codec</i> GSM	33
BAB 6 PEMBAHASAN		36
6.1	<i>Bandwidth</i>	36

6.2	<i>Delay</i>	39
6.3	<i>Jitter</i>	43
6.4	<i>Packet Loss</i>	46
BAB 7 PENUTUP		50
7.1	Kesimpulan	50
7.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		53



DAFTAR TABEL

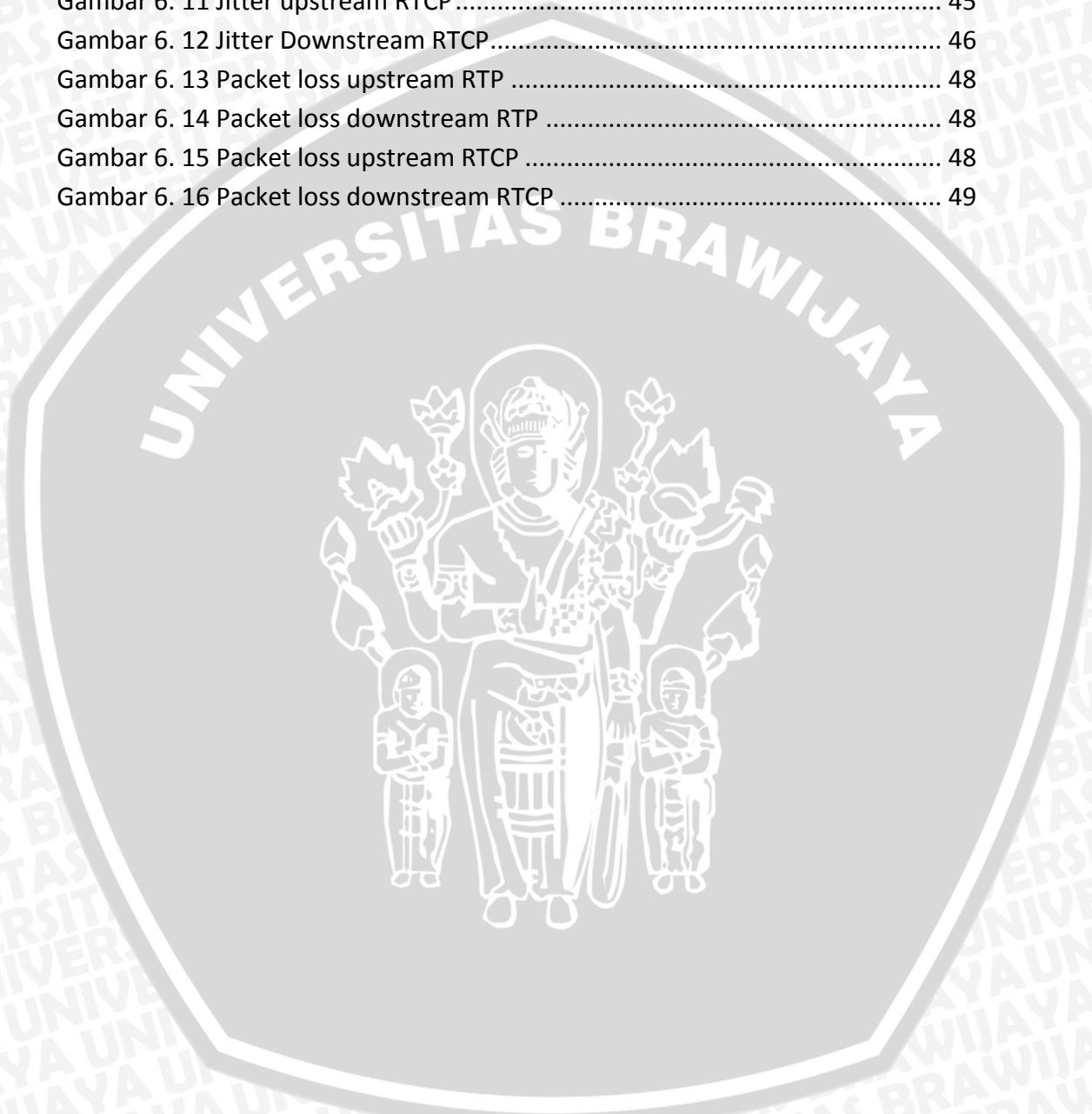
Tabel 2.1 Macam-macam codec	7
Tabel 3. 1 Tabel subnet jaringan	14
Tabel 4. 1 Posisi client.....	22
Tabel 5. 1 Waktu pengujian komunikasi codec bersamaan	27
Tabel 5. 2 Waktu pengujian komunikasi codec tidak bersamaan.....	27
Tabel 6. 1 Bandwidth protokol RTP.....	36
Tabel 6. 2 Bandwidth protokol RTCP	37
Tabel 6. 3 Delay protokol RTP	40
Tabel 6. 4 Delay prtokol RTCP	40
Tabel 6. 5 Jitter protokol RTP.....	43
Tabel 6. 6 Jitter protokol RTCP.....	44
Tabel 6. 7 Packet loss protokol RTP	46
Tabel 6. 8 Packet loss protokol RTCP	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sesi komunikasi SIP	6
Gambar 2.2 RTP header	8
Gambar 2.3 Susunan protokol RTP	9
Gambar 3. 1 Diagram alir strategi penelitian.....	12
Gambar 3. 2 Topologi Jaringan	14
Gambar 3. 3 Skema panggilan VoIP	15
Gambar 3. 4 Diagram alir pengujian koneksi server	17
Gambar 3. 5 Diagram alir pengujian	18
Gambar 3. 6 Skenario komunikasi codec bersamaan	18
Gambar 3. 7 Skenario komunikasi dua codec tidak bersamaan	19
Gambar 4. 1 Konfigurasi jaringan dari sisi server	21
Gambar 4. 2 Hasil konfigurasi eth0 pada server	22
Gambar 4. 3 Hasil instalasi server asterisk.....	23
Gambar 4. 4 Console CLI asterisk.....	23
Gambar 4. 5 Mengaktifkan protokol RTP dan RTCP	24
Gambar 4. 6 Konfigurasi client 100.....	24
Gambar 4. 7 Pemilihan codec	25
Gambar 4. 8 Hasil instalasi iperf.....	25
Gambar 4. 9 Pemberian beban melalui kabel UTP	26
Gambar 4. 10 Pemberian beban melalui wireless	26
Gambar 5. 1 Uji koneksi client-server	27
Gambar 5. 2 Uji konektifitas server	28
Gambar 5. 3 Uji koneksi antar client.....	28
Gambar 5. 4 Proses komunikasi bersamaan.....	29
Gambar 5. 5 Proses panggilan VoIP	30
Gambar 5. 6 Hasil capturing data codec G.711 dengan protokol RTP.....	31
Gambar 5. 7 Hasil capturing data codec G.711 dengan protokol RTCP.....	31
Gambar 5. 8 Wireshark summary RTP codec G.711	32
Gambar 5. 9 Wireshark RTP stream client 100	32
Gambar 5. 10 Hasil capturing data codec GSM dengan protokol RTP	33
Gambar 5. 11 Hasil capturing data codec GSM dengan protokol RTCP	34
Gambar 5. 12 Wireshark summary RTCP codec GSM.....	34
Gambar 5. 13 Wireshark RTP stream client 300	35
Gambar 6. 1 Bandiwdth upstream VoIP dengan RTP	38
Gambar 6. 2 Bandwidth downstream VoIP dengan RTP	38
Gambar 6. 3 Bandwidth upstream VoIP dengan RTCP	39
Gambar 6. 4 Bandiwdth downstream VoIP dengan RTCP	39
Gambar 6. 5 Delay upstream RTP	41

Gambar 6. 6 Delay downstream RTP	42
Gambar 6. 7 Delay upstream RTCP	42
Gambar 6. 8 Delay downstream RTCP	42
Gambar 6. 9 Jitter Upstream RTP	45
Gambar 6. 10 Jitter downstream RTP	45
Gambar 6. 11 Jitter upstream RTCP	45
Gambar 6. 12 Jitter Downstream RTCP	46
Gambar 6. 13 Packet loss upstream RTP	48
Gambar 6. 14 Packet loss downstream RTP	48
Gambar 6. 15 Packet loss upstream RTCP	48
Gambar 6. 16 Packet loss downstream RTCP	49



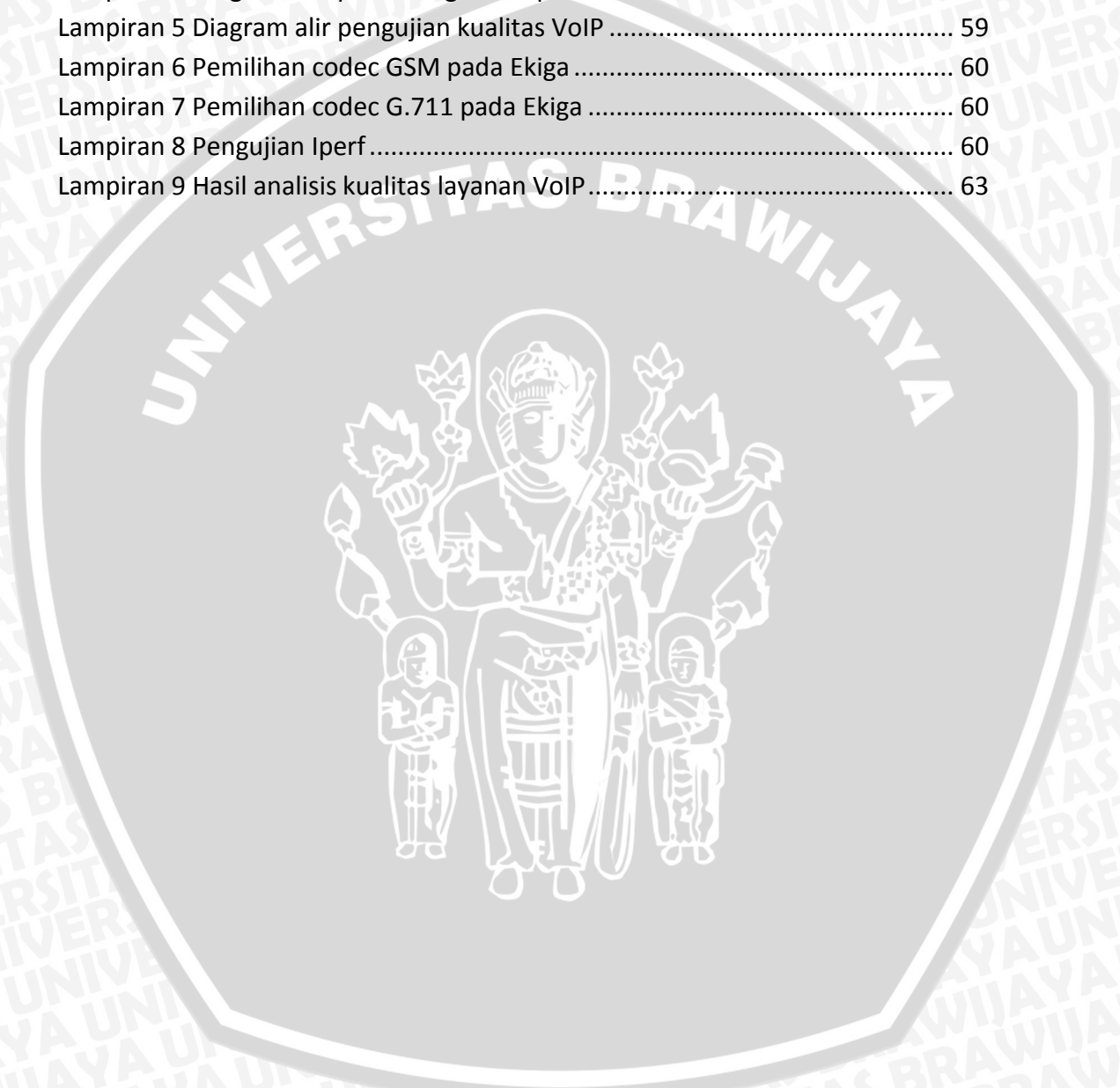
DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2.1) Rumus Menghitung Nilai <i>Bandwidth</i>	10
Persamaan (2.2) Rumus Menghitung Nilai <i>Delay</i>	11



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Trafik Jaringan FILKOM	53
Lampiran 2 Diagram Alir Instalasi Server Asterisk	56
Lampiran 3 Konfigurasi sip.conf dan extensions.conf	57
Lampiran 4 Diagram alir perancangan softphone	58
Lampiran 5 Diagram alir pengujian kualitas VoIP	59
Lampiran 6 Pemilihan codec GSM pada Ekiga	60
Lampiran 7 Pemilihan codec G.711 pada Ekiga	60
Lampiran 8 Pengujian Iperf	60
Lampiran 9 Hasil analisis kualitas layanan VoIP	63



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan komputer dirancang untuk menghubungkan komputer di lokasi yang berbeda sehingga mereka dapat berbagi data dan berkomunikasi. Dengan semakin berkembangnya jaringan komputer sekarang ini, aplikasi multimedia seperti audio dan video sudah semakin populer di Internet. Aplikasi multimedia tersebut dapat mendukung para pengguna agar dapat berkomunikasi dalam jaringan IP.

VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) adalah salah satu aplikasi yang dapat berkomunikasi dalam jaringan IP. VoIP adalah istilah yang digunakan untuk pengiriman pembicaraan atau suara melalui jaringan IP seperti Internet atau jaringan *packet-switched* lain (Luthra dkk, 2012). Dengan teknologi VoIP, biaya untuk melakukan komunikasi antara satu pengguna ke pengguna lainnya menjadi lebih efisien. Hal ini disebabkan karena VoIP tidak bergantung pada jarak dan bersifat global.

Berkembangnya layanan VoIP sekarang ini bukan berarti tidak ada masalah yang muncul. Karena aplikasi VoIP bersifat *real time*, VoIP tidak toleran terhadap *delay*, *packet loss*, dan *jitter* (Mehta dkk, 2001). *Delay* didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber ke tujuan, *packet loss* merupakan kehilangan paket data pada proses transmisi (Iskandarsyah, 2003), sedangkan *jitter* adalah variasi total *delay* yang disebabkan perbedaan waktu kedatangan antar paket satu dengan paket lainnya (Mehta dkk, 2001). Selain tiga parameter *Quality of Services* (QoS) yang telah disebutkan yaitu *delay*, *jitter*, dan *packet loss*, juga terdapat parameter QoS yang lain yaitu *bandwidth*. *Bandwidth* adalah kecepatan maksimum yang dapat digunakan untuk melakukan transmisi data antar komputer pada jaringan IP (Iskandarsyah, 2003). Pada awalnya VoIP membutuhkan *bandwidth* yang cukup besar dalam melakukan transmisi paket data suara. Hal ini menyebabkan trafik penggunaan data suara meningkat sehingga dibutuhkan algoritma kompresi data suara agar *bandwidth* yang dibutuhkan menjadi berkurang.

Untuk menghindari besarnya *bandwidth* tersebut, munculah berbagai macam cara untuk menjamin kualitas koneksi dalam VoIP. Pemilihan protokol multimedia *over IP* akan mempengaruhi nilai dari parameter QoS. Untuk memenuhi kebutuhan akan kualitas yang baik dalam komunikasi menggunakan jaringan IP dibutuhkan protokol yang mampu menjamin performa dari parameter QoS tersebut. RTP (*Real-time Transport Protocol*) adalah protokol yang menyediakan dukungan berbasis IP untuk pengangkutan data real-time. RTCP (*Real-time Transport Control Protocol*) digunakan untuk mengirimkan paket kontrol kepada setiap *host* yang berpartisipasi pada percakapan yang digunakan sebagai informasi untuk kualitas transmisi pada jaringan. RTP bekerja sama dengan RTCP akan menyediakan layanan untuk komunikasi yang bersifat *real time*.

Selain dengan pemilihan protokol yang berbeda dalam komunikasi VoIP, pemilihan *codec* juga akan membantu mengurangi nilai dari keempat parameter QoS tersebut. *Codec* (*compressor/decompressor* atau *code/decode*) adalah istilah yang digunakan untuk mengonversikan sinyal analog ke bentuk digital untuk proses transmisi, dan mengonversikan sinyal digital ke bentuk analog (Luthra dkk, 2012). Penggunaan jenis *codec* dalam komunikasi VoIP akan menentukan kualitas suara yang diterima. Penelitian ini menggunakan dua jenis *codec* yang berbeda yaitu *codec* GSM (*Global System for Mobile Communication*) dan *codec* G.711. *Codec* GSM memiliki bit rate 13 kbps, sedangkan *codec* G.711 memiliki bit rate 64 kbps. Perbedaan bit rate tersebut akan mempengaruhi kualitas layanan dalam komunikasi VoIP. Dua *codec* tersebut merupakan jenis *codec* bersifat *free* yang dapat digunakan pada *server* Asterisk.

Pada penelitian ini dilakukan analisis layanan VoIP terhadap pengaruh penggunaan *codec* dan protokol. Tujuannya untuk mengetahui protokol dan *codec* yang lebih baik digunakan dalam komunikasi VoIP. *Codec* dan protokol yang dibandingkan dalam penelitian ini adalah *codec* GSM dan G.711 serta protokol RTP dan RTCP.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan *codec* GSM dan G.711, RTP, dan RTCP untuk menjalankan aplikasi atau layanan VoIP.
2. Bagaimana pengaruh dari penggunaan *codec* GSM dan G.711 dengan protokol RTP dan RTCP terhadap kualitas VoIP (*delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *bandwidth*).

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemilihan *codec* yang berbeda dalam menggunakan protokol RTP dan RTCP terhadap kualitas layanan dalam proses komunikasi VoIP.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mempunyai beberapa manfaat baik bagi penulis maupun pembaca. Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan solusi untuk komunikasi melalui jaringan internet.
2. Memberikan informasi kualitas VoIP menggunakan *codec* GSM dan *codec* G.711.
3. Menjadi bahan referensi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan kualitas layanan VoIP dengan menggunakan protokol RTP, dan RTCP.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dirumuskan lebih terfokus dan tidak terjadi pelebaran topik, maka penelitian ini dibatasi dalam hal:

1. Penelitian dilakukan di jaringan lokal Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.
2. Pengujian performansi VoIP menggunakan protokol RTP dan RTCP.
3. Codec yang digunakan dalam penelitian ini yaitu codec GSM dan codec G.711.
4. Parameter performansi VoIP yang diukur adalah *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *bandwidth*.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika dalam melakukan penulisan terdiri dari beberapa bab yaitu sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pendahuluan menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 DASAR TEORI

Dasar teori memaparkan beberapa teori pendukung berkaitan dengan VoIP, protokol multimedia berbasis IP, parameter QoS, serta *codec*.

BAB 3 METODOLOGI

Metodologi membahas mengenai tipe penelitian dan strategi dalam melakukan penelitian.

BAB 4 LINGKUNGAN PENELITIAN

Lingkungan penelitian membahas mengenai hal yang harus diimplementasikan untuk mendukung penelitian.

BAB 5 PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data membahas tentang teknik pengambilan data dari sistem yang telah diimplementasikan.

BAB 6 PEMBAHASAN

Pembahasan menjelaskan hasil analisis dari data hasil implementasi.

BAB 7 PENUTUP

Penutup berisi kesimpulan dari pembahasan bab sebelumnya, serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab ini membahas dasar teori yang berkaitan dengan implementasi VoIP dengan menggunakan dua protokol pendukung komunikasi dalam jaringan IP pada jaringan lokal Fakultas Ilmu Komputer.

2.1 VoIP (Voice over Internet Protocol)

VoIP dikenal juga dengan sebutan *IP Telephony* adalah istilah yang digunakan untuk pengiriman pembicaraan atau suara melalui jaringan IP seperti Internet atau jaringan *packet-switched* lain (Luthra dkk, 2012). Dengan kata lain teknologi ini mampu melewati trafik suara yang berbentuk paket melalui jaringan IP (Iskandarsyah, 2003).

VoIP mengubah sinyal suara menjadi sinyal digital yang dikirimkan melalui Internet kemudian mengubahnya kembali di ujung lain sehingga pengguna dapat berbicara dengan lancar. Selain menggunakan perangkat telepon, komunikasi VoIP juga dapat membuat panggilan langsung dari komputer. Dalam perkembangannya VoIP tidak hanya dapat mentransmisikan suara, namun juga video. VoIP juga dapat diintegrasikan dan dapat berkomunikasi dengan layanan PSTN.

VoIP membutuhkan protokol penunjang dalam berkomunikasi. VoIP menggunakan protokol SIP, dan H.323 untuk protokol *signaling* yang bekerja pada layer aplikasi. SIP dikembangkan oleh IETF (*Internet Engineering Task Force*) dan H.323 oleh ITU-T.

Panggilan VoIP memiliki dua jenis komunikasi yang menempati jaringan IP antara pemanggil (*calling party*) dan pihak yang dipanggil (*called party*), yaitu aliran informasi pembicaraan dan message-message signaling yang mengontrol hubungan dan karakteristik aliran media (Saputra, 2010).

2.2 SIP (Session Initiation Protocol)

SIP merupakan protokol yang bekerja pada layer aplikasi untuk membangun, memodifikasi, dan memutuskan sesi komunikasi (Darmawan dkk, 2010). Cara kerja SIP sama dengan cara kerja protokol HTTP yaitu dengan metode *client-server* atau *request-response*. SIP memiliki keunggulan dari H.323 diantaranya yaitu karakteristik SIP lebih sederhana, berbasis teks dan sangat fleksibel terhadap pengembangan-pengembangan baru serta dapat mendukung implementasi berbagai layanan multimedia.

Arsitektur SIP terdiri dari dua komponen dasar, yaitu: (Saputra, 2010)

1. *User Agent*

Merupakan terminal akhir yang bertindak sesuai keinginan dari user. Dapat berupa *software (softphone)* maupun *hardware*. Terbagi menjadi 2 yaitu:

- a. *User Agent Client (UAC)*: berfungsi untuk melakukan inisiasi *request* ke *server* SIP.

- b. *User Agent Server (UAS)*: berfungsi untuk menerima dan memberikan respon terhadap request SIP.

Baik UAC dan UAS dapat menutup sesi komunikasi.

2. *Server SIP*

Arsitektur SIP sendiri menjelaskan jenis-jenis *server* pada jaringan untuk membantu layanan dan pengaturan panggilan SIP.

- a. *Registration Server*: server ini menerima *request* dari *user* SIP dan melakukan *update* terhadap lokasi *user* dengan server ini.
- b. *Proxy Server*: server ini menerima *request* SIP dan meneruskan ke server yang dituju yang memiliki informasi tentang *user* yang dipanggil.
- c. *Redirect Server*: server ini setelah menerima *request* SIP, menentukan server yang dituju selanjutnya dan mengembalikan alamat server yang dituju selanjutnya kepada *client* untuk kemudian meneruskan *request* ke server yang dituju tersebut.

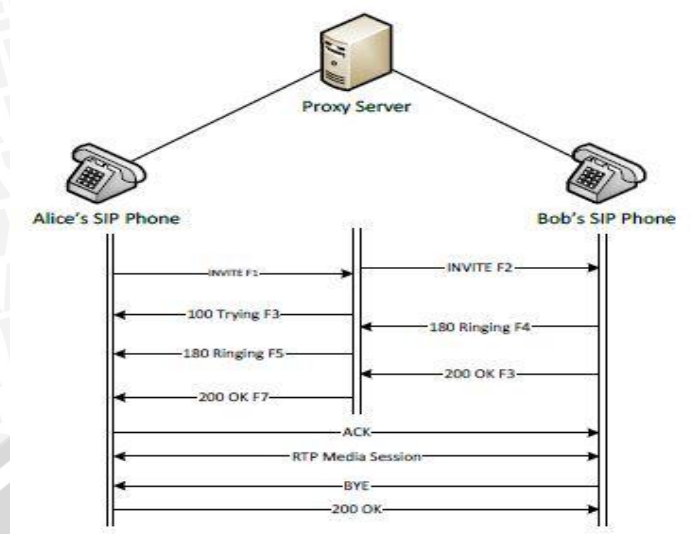
Dalam proses panggilan SIP terdapat metode *request* yang digunakan yaitu (Zhang, 2002):

1. INVITE : permintaan untuk inialisasi sebuah sesi dalam SIP. INVITE dikirim dari pemanggil kepada penerima panggilan.
2. ACK : penerima panggilan menerima panggilan. ACK dikirim dari penerima panggilan kepada pemanggil.
3. OPTIONS : pemanggil meminta server untuk merespon dengan kemampuannya.
4. BYE : permintaan untuk mengakhiri sebuah sesi dalam SIP. BYE dapat dikirim dari pemanggil atau penerima panggilan.
5. CANCEL : digunakan untuk membatalkan sebuah permintaan.
6. REGISTER : pemanggil ingin mendaftarkan alamatnya pada server.
7. SUBSCRIBE : pemanggil meminta informasi pada server tentang keberadaan pihak yang akan dipanggil.
8. NOTIFY : server memberikan informasi status keberadaan kepada yang meminta SUBSCRIBE.
9. MESSAGE : digunakan untuk mengirim pesan.

Dalam proses panggilan SIP juga terdapat kode status respon yaitu (Zhang, 2002):

1. 1xx (*informational*) : permintaan telah diterima dan sedang diproses
2. 2xx (*successful*) : permintaan yang diminta telah dimengerti dan diterima.
3. 3xx (*redirection*) : tindakan lebih lanjut diperlukan untuk menyelesaikan permintaan.
4. 4xx (*client error*) : permintaan berisi sintak yang salah atau tidak dapat diterima oleh *server*.
5. 5xx (*server error*) : *server* menerima permintaan tersebut tetapi tidak dapat memprosesnya.
6. 6xx (*global failure*) : permintaan tidak dapat dipenuhi di setiap server.

Proses panggilan SIP digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sesi komunikasi SIP

Sumber: Goode (2002)

Dari Gambar 2.1 menunjukkan proses panggilan antara dua *client* yaitu Alice dan Bob sebagai berikut:

1. Invite : *client* Alice mengirimkan permintaan invite untuk melakukan panggilan kepada *client* Bob.
2. 100 Trying : *client* Bob memberikan respon ke *client* Alice bahwa panggilan sedang diproses.
3. 180 Ringing : *client* Bob mendapat panggilan dari *client* Alice dengan mengirim sinyal dering ke *client* Alice.
4. 200 OK : *client* Bob siap menerima panggilan
5. ACK : *client* Alice memberitahu *client* Bob bahwa telah menerima pesan 200 OK dari *client* Bob.
6. RTP Media Session: Proses komunikasi suara dua arah menggunakan RTP antara *client* Alice dan Bob sedang berlangsung.
7. BYE : *client* Alice mengakhiri komunikasi suara dengan *client* Bob.
8. 200 OK : *client* Bob mengakhiri komunikasi suara.

2.3 Standar Kompresi Data Suara

Codec (*compressor/decompressor* atau *code/decode*) adalah istilah yang digunakan untuk mengonversi dari sinyal analog ke bentuk digital dan untuk mengonversi dari digital ke bentuk analog (Luthra dkk, 2012). Penggunaan jenis *codec* dalam komunikasi VoIP akan menentukan kualitas suara yang diterima. ITU-T membuat beberapa standar untuk *voice coding* yang direkomendasikan untuk implementasi VoIP ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Macam-macam codec

Codec	Data Rate	Sampling Rate	VAD Supported	Packetisation Time (Ptime)
G.711 (PCM μ -law/A-law)	64 kbps	8000	No	Multiples of 10 ms
G.711 App II (PCM μ -law/A-law with VAD)	64 kbps	8000	Yes	Multiples of 10 ms
G.722	64 kbps	16000	No	Multiples of 10 ms
G.722.1 (Wideband)	24 kbps 32 kbps	16000	No	Multiples of 10 ms
G.729	8 kbps	8000	No	Multiples of 10 ms
G.729B	8 kbps	8000	Yes	Multiples of 10 ms
GSM 6.10 FR	13.2 kbps	8000	No	Multiples of 20 ms
GSM EFR	12.2 kbps	8000	Yes	Fixed at 20 ms. Multiple Ptime Not Supported
GSM HR	5.6 kbps	8000	Yes	Multiples of 20 ms
G.726	5 bit 40 kbps 4 bit 32 kbps 3 bit 24 kbps 2 bit 16 kbps	8000	No	Multiples of 10 ms
G.726 (with VAD)	5 bit 40 kbps 4 bit 32 kbps 3 bit 24 kbps 2 bit 16 kbps	8000	Yes	Multiples of 10 ms
SPEEX (Narrow Band)	8 kbps	8000	Yes	Fixed at 20 ms. Multiple Ptime Not Supported
SPEEX (Wideband)	11.2 kbps	16000	Yes	Fixed at 20 ms. Multiple Ptime Not Supported

Sumber: Diadaptasi dari GL Communications Inc (2014)

2.4 G.711

G.711 juga dikenal sebagai Pulse Code Modulation (PCM) yang telah menjadi standar untuk transmisi suara digital di telepon sejak 1972. G.711

menggunakan tingkat sampling dari 8000 sampel/detik dengan 8 bit per sampel menghasilkan 64 kbps dengan panjang frame encoding dari 10 ms (Darmawan dkk, 2010). Percakapan berupa sinyal analog yang melalui jaringan PSTN mengalami kompresi menjadi sinyal digital oleh PCM G.711 sebelum memasuki VoIP gateway.

Fitur-fitur dari codec G.711, yaitu: (Darmawan dkk, 2010)

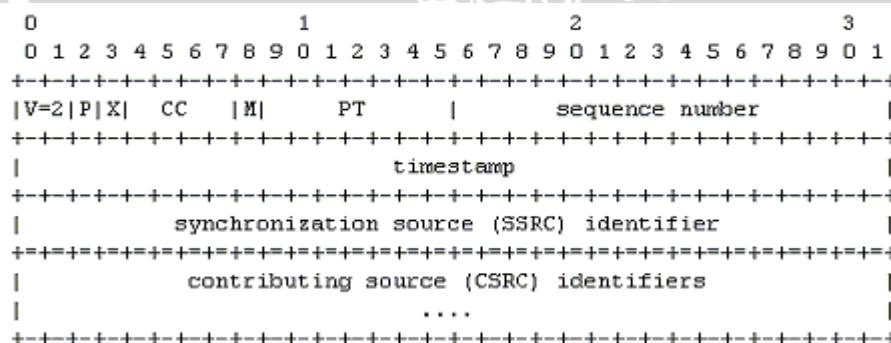
1. Bitrate 64 kbps.
2. Mendukung untuk μ -law (Amerika Utara & Jepang) dan A-law (digunakan di Eropa dan seluruh dunia).
3. Standar ITU-T recommendation.
4. Memiliki metode *Voice Activity Detection (VAD)*, *Discontinuous Transmission (DTX)*, dan *Comfort Noise Generation (CNG)* untuk meminimalkan *bandwidth*.
5. Dapat menyembunyikan *packet loss* selama transmisi, sehingga kualitas suara dapat dioptimalkan.
6. Mendukung multi-chanel dan *multitasking*

2.5 GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM-FR adalah *full rate* audio codec yang distandarisasi oleh European Telecommunications Standards Institute (ETSI) untuk mengkompresi kualitas suara dari 8000 sampel per detik. Codec ini memiliki bit rate 13 kbps dengan 160 sampel rate 8KHz dan panjang frame encoding dari 20 ms (GL Communications, 2014). Codec ini menggunakan informasi dari sampel sebelumnya untuk memprediksi sampel saat ini.

2.6 Real-time Transport Protocol (RTP)

RTP adalah protokol yang menyediakan dukungan berbasis IP untuk pengangkutan data real-time seperti video dan audio stream (Liu, 2000). RTP merupakan protokol yang dibuat untuk memesan bagian dari *bandwidth* yang tersedia untuk lalulintas UDP. RTP mengkompensasi *jitter* dan *desquencing* yang terjadi pada jaringan IP. RTP tidak dikembangkan hanya untuk lalulintas data suara saja tetapi juga digunakan untuk lalulintas data video karena sifatnya yang menjaga atau mendukung *bandwidth* yang akan digunakan oleh lalulintas UDP.

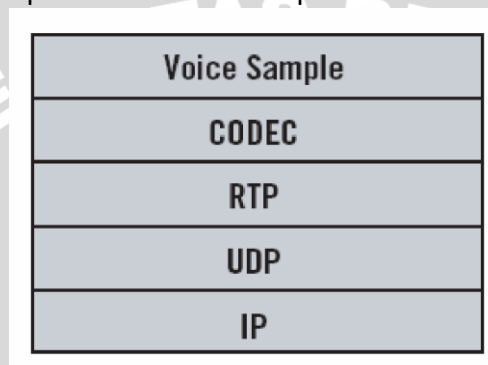


Gambar 2.2 RTP header

Sumber : Liu (2000)

Pada Gambar 2.2 terlihat bahwa *frame header* RTP berisi informasi-informasi untuk mengidentifikasi dan mengatur tiap panggilan individu dari *endpoint* ke *endpoint*. Informasi ini adalah *timestamp*, *sequence number*, dan *conversation synchronization*. *Timestamp* digunakan untuk pengaturan waktu suara percakapan agar terdengar seperti sebagaimana diucapkan, dan *sequence number* digunakan untuk pengurutan paket data dan mendeteksi adanya paket yang hilang (Iskandarsyah, 2003).

RTP didesain untuk bekerja bersama dengan tambahan protokol kontrol RTCP untuk mendapatkan umpan balik pada kualitas transmisi data. Tiap tiap paket RTP berisi potongan paket dari percakapan suara. Besarnya ukuran paket suara bergantung pada *codec* yang digunakan. Susunan protokol RTP diagram pada Gambar 2.3 memperlihatkan susunan protokol RTP.



Gambar 2.3 Susunan protokol RTP

Sumber: Basuki (2009)

Dari Gambar 2.3 dapat terlihat bahwa RTP digunakan diatas UDP (*User Datagram Protocol*) bukan pada TCP (*Transport Control Protocol*) karena TCP tidak dapat beradaptasi pada pengiriman data yang *real-time* dengan keterlambatan yang relatif kecil seperti pada pengiriman data komunikasi suara. Jika paket RTP hilang atau didrop, maka RTP tidak akan melakukan *retransmission*. Hal ini agar user tidak terlalu lama menunggu atau *delay*, dikarenakan permintaan *retransmission* (Basuki, 2009). Oleh karena itu jaringan harus didesain sebaik mungkin agar *packet loss* tidak terjadi.

2.7 Real-time Transport Control Protocol (RTCP)

RTCP adalah protokol kontrol yang dirancang untuk bekerja bersama dengan RTP. RTCP digunakan untuk mengirimkan paket kontrol setiap terminal yang berpartisipasi pada percakapan yang digunakan sebagai informasi untuk kualitas transmisi pada jaringan (Iskandarsyah, 2003).

Terdapat dua komponen penting pada paket RTCP, yang pertama adalah *sender report* yang berisikan informasi banyaknya data yang dikirimkan, pengecekan *timestamp* pada *header* RTP dan memastikan bahwa datanya tepat dengan *timestamp*-nya. Elemen yang kedua adalah *receiver report* yang dikirimkan oleh penerima panggilan. *Receiver report* berisi informasi mengenai jumlah paket

yang hilang selama sesi percakapan, menampilkan *timestamp* terakhir dan *delay* sejak pengiriman *sender report* yang terakhir (Iskandarsyah, 2003).

RTCP menggunakan lima jenis paket yang berbeda untuk membawa data statistik dan kontrol, yaitu: (Liu, 2000)

1. *Sender Report* (SR) : SR dikirim secara berkala oleh pengirim untuk melaporkan transmisi dan penerimaan statistik untuk semua pengiriman paket RTP selama interval.
2. *Receiver Report* (RR) : RR ditujukan untuk partisipan lain (pasif) yang tidak mengirim paket RTP. RR menginformasikan pengirim dan penerima lainnya tentang kualitas layanan.
3. *Source Description* (SDES) : SDES digunakan untuk mengirimkan CNAME. Dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan seperti nama, alamat e-mail, dan nomor telepon.
4. *Goodbye* (BYE) : sumber mengirimkan pesan BYE untuk mengakhiri komunikasi.
5. *Application-specific message* (APP) : APP menyediakan mekanisme untuk merancang ekstensi aplikasi khusus untuk protokol RTCP.

2.8 Kualitas Layanan VoIP

Quality of Service (QoS) adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik data tertentu untuk berbagai jenis *platform* teknologi (Saputra, 2010). QoS pada *IP Telephony* merupakan parameter-parameter yang menunjukkan kualitas paket data jaringan. Beberapa parameter yang mempengaruhi QoS antara lain *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* pada jaringan internet.

2.8.1 Bandwidth

Bandwidth adalah kecepatan maksimum yang dapat digunakan untuk melakukan transmisi data antar komputer pada jaringan IP (Iskandarsyah, 2003). Dalam perancangan VoIP, *bandwidth* merupakan sesuatu yang harus diperhitungkan agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan yang dapat digunakan menjadi parameter untuk menghitung jumlah peralatan yang dibutuhkan dalam suatu jaringan. Untuk mencari nilai *bandwidth* dapat digunakan Persamaan 2.1.

$$\text{bandwidth} = \text{Avg. packets/sec} \times \text{Avg. packet size} \quad (2.1)$$

2.8.2 Delay

Delay merupakan parameter yang penting dalam menentukan kualitas suara karena delay merupakan penyebab utama menurunnya kualitas suara. Delay

adalah waktu yang dibutuhkan untuk transmisi sebuah paket untuk mencapai tujuan (Goode, 2002). Besarnya *delay* maksimum yang direkomendasikan ITU untuk aplikasi suara adalah 150 ms, sedangkan *delay* maksimum yang dapat diterima oleh pengguna adalah 250 ms. Adapun beberapa sumber *delay* antara lain (Iskandarsyah, 2003):

1. *Delay* Algoritmik : merupakan *delay* yang dihasilkan oleh *codec* dalam melakukan pengkodean.
2. *Delay* Paketisasi : merupakan *delay* yang terjadi antara satu paket RTP dengan paket lainnya.
3. *Delay* Serialisasi : merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket dari pengirim.
4. *Delay* Propagasi : merupakan waktu yang diperlukan untuk sinyal listrik atau sinyal optik untuk melewati media transmisi dari pengirim ke penerima. *Delay* ini tergantung dari media transmisi dan jarak yang harus ditempuh sinyal.
5. *Delay* Komponen: merupakan *delay* yang disebabkan proses yang terjadi pada komponen contohnya *router*.

Delay yang berpengaruh dalam komunikasi VoIP adalah *delay* propagasi. Untuk mencari besar *delay* dalam komunikasi suara dapat dicari menggunakan Persamaan 2.2.

$$\text{delay} = \frac{\text{waktu}}{\text{jumlah paket}} \quad (2.2)$$

2.8.3 Jitter

Jitter merupakan variasi total *delay* yang disebabkan perbedaan waktu kedatangan antar paket satu dengan paket lainnya (Mehta dkk, 2001). Parameter ini dapat ditangani dengan mengatur metode antrian pada router saat terjadi kongesti atau saat perubahan kecepatan. Paket data yang datang dikumpulkan dulu dalam *jitter buffer* selama waktu yang telah ditentukan sampai paket dapat diterima di sisi penerima dengan urutan yang benar (Mehta dkk, 2001). *Jitter* yang dapat ditolerir adalah sekitar 20-30ms (Telecompute, 2015).

2.8.4 Packet Loss

Packet loss (kehilangan paket data pada proses transmisi) terjadi ketika terdapat penumpukan data pada jalur yang dilewati pada saat beban puncak (*peak load*) yang menyebabkan kemacetan transmisi paket akibat padatnya trafik yang harus dilayani dalam batas waktu tertentu (Iskandarsyah, 2003). Sehingga *frame* (gabungan data *payload* dan *header* yang ditransmisikan) akan dibuang sebagaimana perlakuan terhadap *frame* data lainnya pada jaringan berbasis IP.

Packet loss pada jaringan IP *telephony* sangat besar pengaruhnya, dimana bila terjadi *packet loss* dalam jumlah tertentu, akan menyebabkan terjadinya interkoneksi TCP melambat (terlalu banyak pengulangan proses *handshake*). Biasanya *packet loss* yang dapat ditolerir adalah sebesar 10% (Mehta dkk, 2001).

BAB 3 METODOLOGI

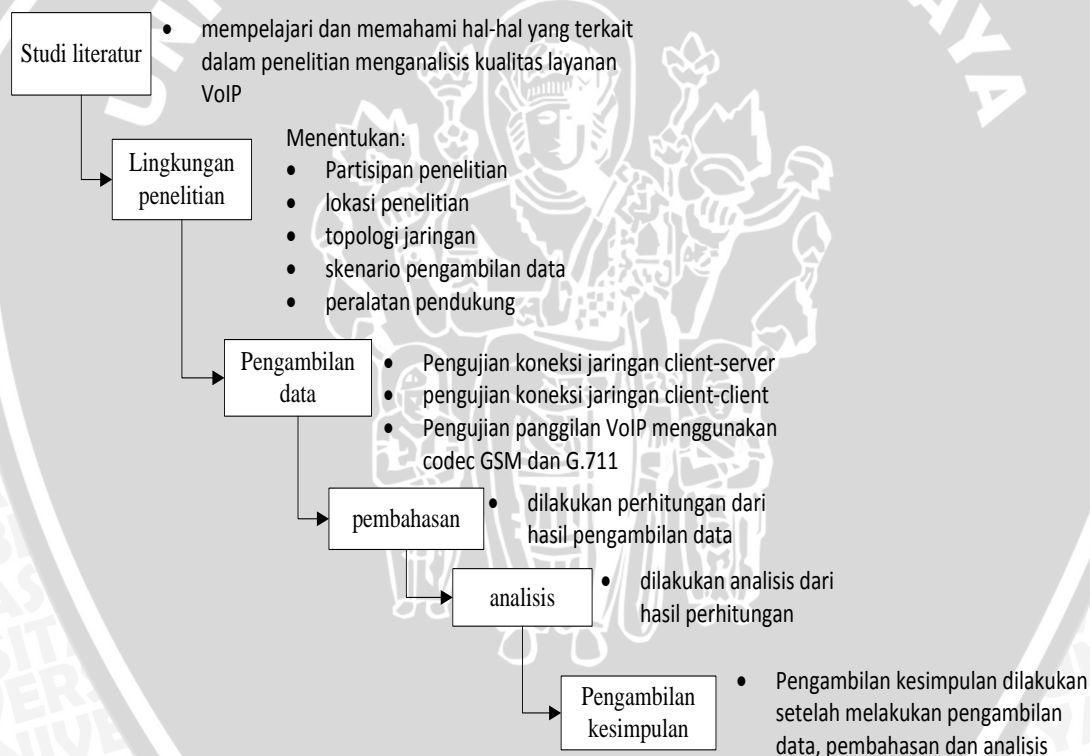
Bab ini membahas tentang tipe penelitian dan strategi dalam melakukan penelitian.

3.1 Tipe Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian non-implementatif analitik karena penelitian ini bermaksud membandingkan antara *codec* GSM dan G.711 serta protokol RTP dan RTCP untuk mengetahui kualitas layanan dalam komunikasi VoIP.

3.2 Strategi Penelitian

Bagian strategi penelitian menjelaskan tahapan atau langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian. Strategi penelitian digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir strategi penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami hal-hal yang terkait dalam penelitian menganalisis kualitas layanan VoIP menggunakan protokol RTP dan RTCP serta *codec* GSM dan G.711. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pendukung lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini. Teori-teori pendukung tersebut meliputi:

1. Konsep VoIP
2. *Real-time Transport Protocol* (RTP)
3. *Real-time Transport Control Protocol* (RTCP)
4. Codec
5. Kualitas layanan VoIP

3.2.2 Lingkungan Penelitian

Langkah selanjutnya yaitu menentukan lingkungan penelitian untuk mengimplementasikan sistem yang akan dibangun. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mendapatkan lingkungan yang sesuai untuk menganalisis kualitas VoIP.

3.2.2.1 Partisipan Penelitian

Penelitian ini akan menganalisis VoIP sebagai objek dengan beberapa parameter kualitas layanan yang telah ditentukan yaitu *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*.

3.2.2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan diimplementasikan pada 3 gedung Fakultas Ilmu Komputer, yaitu:

1. Gedung A

Di gedung A *client* menggunakan laptop dan terhubung ke jaringan lokal dengan menggunakan *wireless*.

2. Gedung B

Di gedung B *client* menggunakan PC dan terhubung ke jaringan lokal dengan menggunakan kabel.

3. Gedung D

Di gedung D *client* menggunakan laptop dan terhubung ke jaringan lokal dengan menggunakan *wireless*.

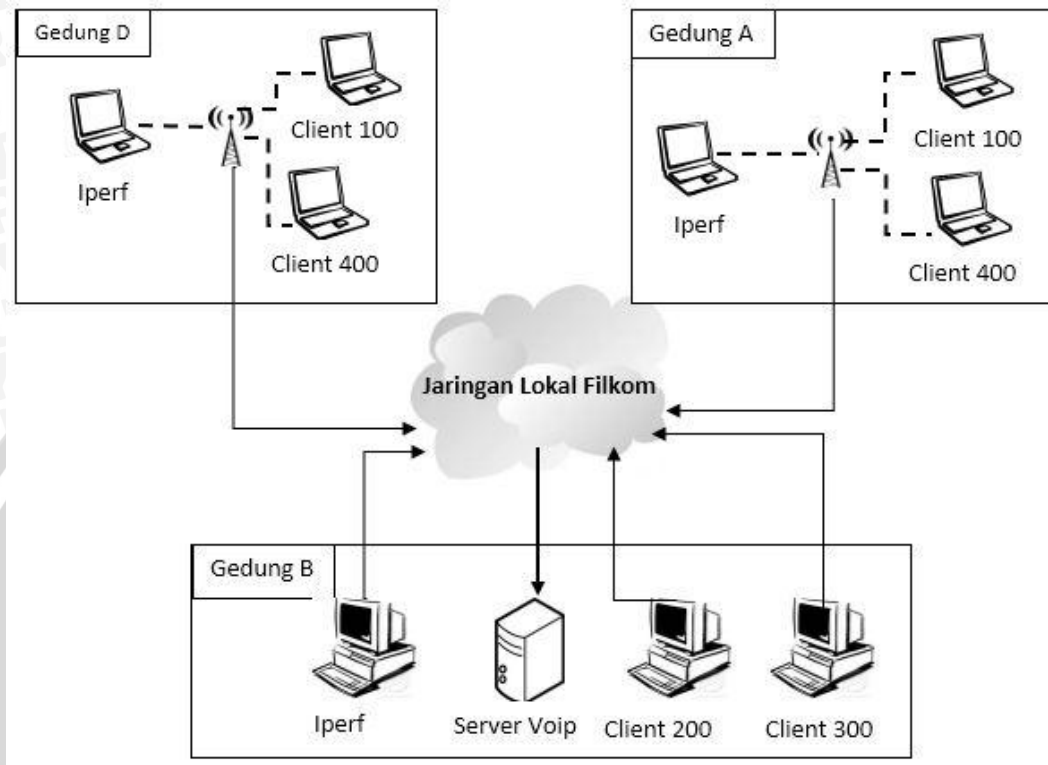
Kondisi jaringan yang akan dilakukan dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 kondisi yang berbeda untuk mengetahui kualitas VoIP yang akan diimplementasikan, yaitu:

1. Kondisi sepi, pada kondisi ini penggunaan trafik cenderung sedikit.
2. Kondisi ramai, pada kondisi ini penggunaan trafik cenderung padat.
3. Kondisi ramai dengan *iperf*, pada kondisi ini penggunaan trafik cenderung padat dan diberikan beban dengan menggunakan *iperf*.

Kondisi tersebut dapat diketahui dengan melihat grafik aktifitas dan trafik data jaringan Fakultas Ilmu Komputer yang dikelola oleh BPTIK. Data trafik jaringan di Fakultas Ilmu Komputer tercantum pada lampiran 1.

3.2.2.3 Topologi Jaringan

Perancangan jaringan yang akan digunakan untuk melakukan pengambilan data terdiri dari satu *server* dan empat *client* yang digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Topologi Jaringan

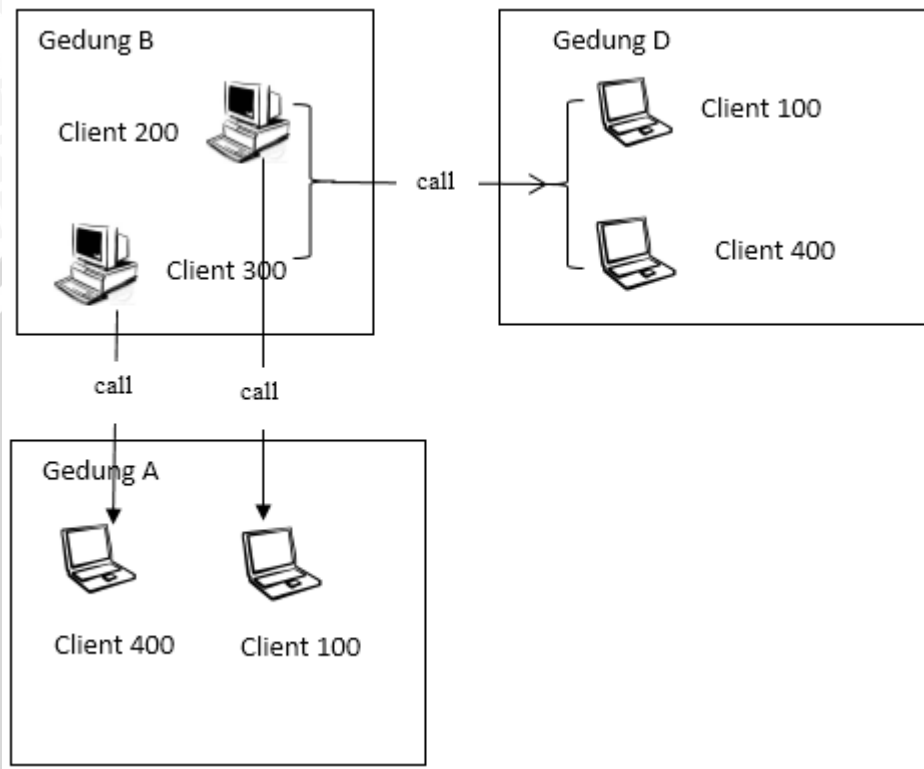
Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa di dalam gedung B terdapat 2 PC yang digunakan sebagai *client* dan 1 PC sebagai *iperf* untuk memberikan beban, gedung D terdapat 2 laptop digunakan sebagai *client* dan 1 laptop sebagai *iperf* untuk memberikan beban, gedung A terdapat 2 laptop sebagai *client* dan 1 laptop sebagai *iperf*. Komputer terhubung ke jaringan FILKOM menggunakan media kabel UTP, sedangkan laptop terhubung ke jaringan lokal FILKOM menggunakan media *wireless*. Setiap gedung memiliki subnet yang berbeda dengan gedung yang lain ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel subnet jaringan

Perangkat	Alamat IP	Lokasi
Server PTIIK	175.45.187.252/28	Ruang Server PTIIK gedung B
Softphone	172.21.12.XXX/24	Gedung A
Softphone	172.21.3.XXX/26	Gedung B
Softphone	172.21.18.XXX/23	Gedung D

3.2.2.4 Skenario Pengambilan Data

Pada penelitian ini, terdapat 2 komunikasi yang akan berjalan dan dilakukan oleh 4 *client*. Pada saat *client* sedang melakukan komunikasi akan dilakukan pengambilan data dengan melakukan *capture* data menggunakan Wireshark. Gambar 3.3 menunjukkan skema panggilan yang akan dilakukan oleh 4 *client*.



Gambar 3. 3 Skema panggilan VoIP

3.2.2.5 Peralatan Pendukung

Perangkat keras yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- 1 unit *server* sebagai penyedia layanan VoIP
- 3 unit komputer

Untuk kondisi sepi dan ramai tanpa *iperf* menggunakan 2 unit komputer sebagai *client* VoIP, sedangkan kondisi ramai dengan *iperf* menggunakan 3 unit komputer dengan 2 unit komputer digunakan sebagai *client* VoIP dan 1 unit komputer digunakan sebagai *iperf* untuk memberikan beban.

- 3 unit laptop

Untuk kondisi sepi dan ramai tanpa *iperf* menggunakan 2 unit laptop sebagai *client* VoIP, sedangkan kondisi ramai dengan *iperf* menggunakan 3 unit laptop dengan 2 unit laptop digunakan sebagai *client* VoIP dan 1 unit laptop digunakan sebagai *iperf* untuk memberikan beban.

- 2 unit *headphone* untuk mendengarkan suara dari lawan komunikasi

- 2 unit *handphone* untuk memutar file suara yang akan ditransmisikan pada saat komunikasi berlangsung.
- 2 unit kabel *sound* sebagai media untuk memasukkan suara dari *handphone* kedalam komputer yang akan digunakan saat komunikasi berlangsung.

Perangkat lunak yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Sistem Operasi

Sistem operasi yang digunakan pada VoIP ini adalah CentOS 7.1 64-bit. Setelah itu dilakukan instalasi server Asterisk. Pada implementasinya penulis menggunakan asterisk versi terbaru yaitu asterisk versi 13.4.0 .

2. *Softphone*

Softphone adalah aplikasi yang berfungsi sebagai telepon dalam komunikasi VoIP. *Softphone* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ekiga. Ekiga digunakan karena mendukung protokol SIP yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3. Wireshark

Wireshark adalah *software* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis jaringan komputer. Dalam penelitian ini, wireshark digunakan untuk menganalisis nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* dengan cara melakukan *capture* protokol yang sedang berjalan dalam jaringan tersebut yang akan digunakan di semua *client* ketika proses komunikasi VoIP berjalan. Dalam penelitian ini, wireshark yang digunakan adalah versi 1.12.1.

4. *Iperf*

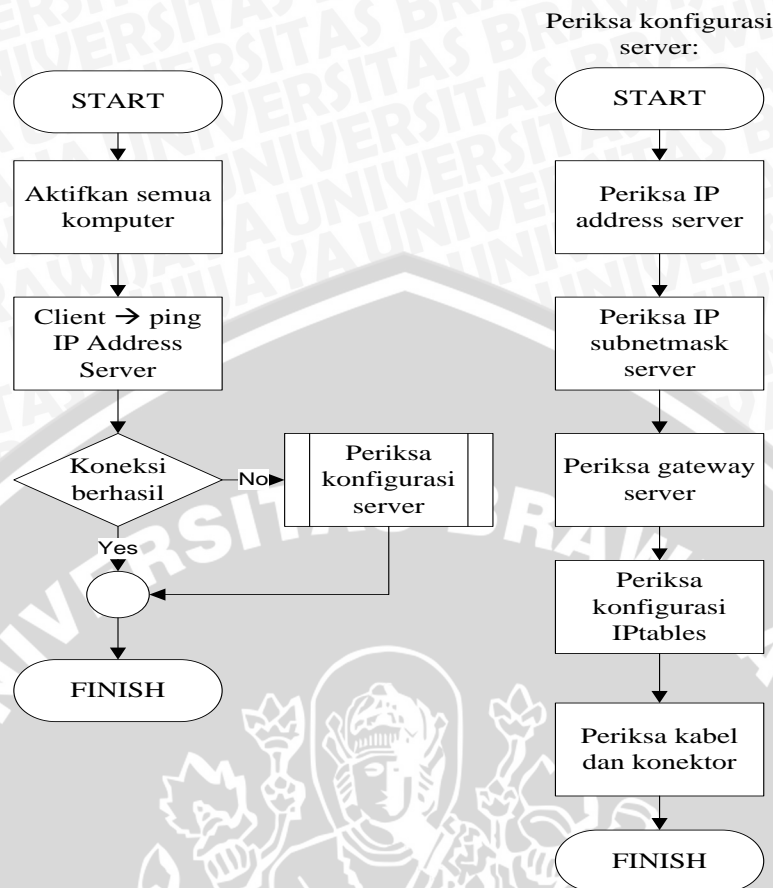
Iperf adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menguji kinerja dari suatu jaringan dengan cara membebani jaringan dengan trafik yang banyak dan akan mempengaruhi beberapa parameter yaitu *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Dalam menggunakan *iperf* diperlukan sedikitnya dua host yaitu satu host sebagai *client* dan satu host sebagai *server*. Pada penelitian ini pembebanan dilakukan dengan cara *client* mengirimkan beberapa paket UDP ke *server*.

3.2.3 Pengambilan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengujian dan pengambilan data terhadap sistem VoIP dengan beberapa cara yaitu:

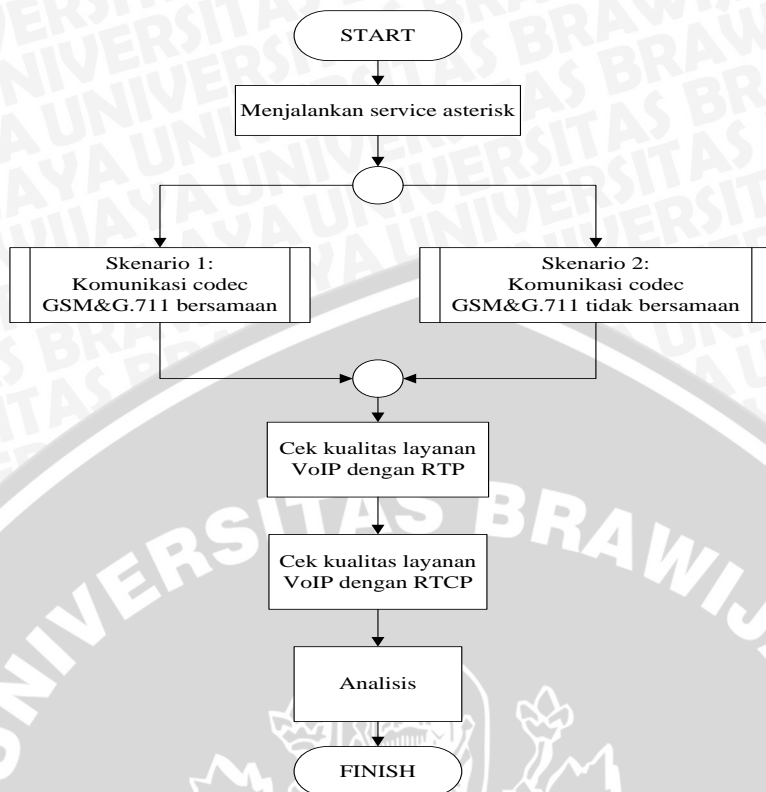
1. Pengujian koneksi jaringan *client-server*

Tahap pengujian ini dilakukan dengan melakukan ping dari *client* ke *server* ditunjukkan dengan diagram alir pada Gambar 3.4.

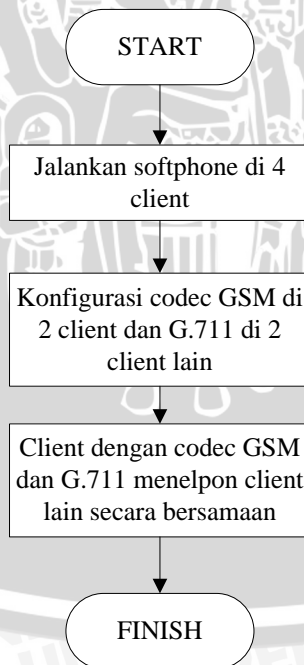


Gambar 3. 4 Diagram alir pengujian koneksi server

2. Pengujian koneksi jaringan *client-client*
Tahap pengujian ini dilakukan dengan melakukan ping antar *client*.
3. Pengujian panggilan VoIP menggunakan codec GSM dan G.711
Tahap pengujian ini akan dilakukan dengan melakukan panggilan komunikasi VoIP antar *client* selama 2 menit dengan 10 kali pengujian untuk setiap kondisi. Proses komunikasi dengan menggunakan codec GSM dan G.711 akan dilakukan dalam 2 tahap, yaitu codec GSM dan G.711 melakukan proses komunikasi secara bersamaan, dan tidak bersamaan. Ketika proses panggilan VoIP berlangsung akan dilakukan pengambilan data menggunakan Wireshark. Dari hasil *capture* Wireshark tersebut dapat dianalisis nilai dari masing-masing parameter dengan menggunakan RTP dan RTCP seperti terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram alir pengujian

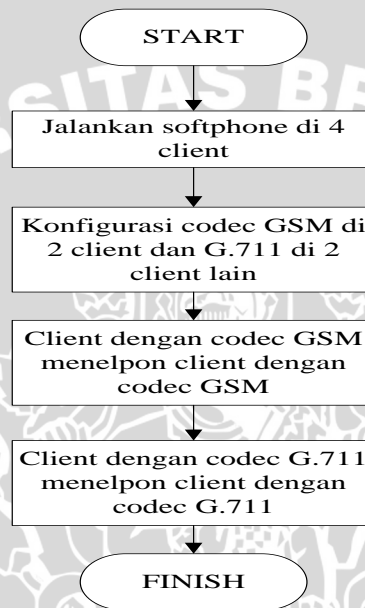


Gambar 3. 6 Skenario komunikasi codec bersamaan

Gambar 3.6 merupakan diagram alir skenario komunikasi codec secara bersamaan. Komunikasi dilakukan oleh 2 *client* menggunakan codec GSM dan 2 *client* lain menggunakan codec G.711. 4 *client* tersebut secara bersamaan

melakukan komunikasi. Saat berkomunikasi wireshark melakukan *capture* data untuk mengetahui nilai dari masing-masing parameter yang kemudian hasil dari komunikasi tersebut akan dianalisis.

Gambar 3.7 menunjukkan diagram alir skenario komunikasi tidak bersamaan. Komunikasi dilakukan dengan menggunakan 2 *client* dengan codec GSM melakukan komunikasi terlebih dahulu menuju *client* dengan codec GSM dengan 3 kondisi jaringan yang berbeda. Setelah *client* dengan codec GSM selesai melakukan komunikasi, *client* dengan codec G.711 melakukan komunikasi menuju *client* dengan codec G.711 dengan 3 kondisi jaringan yang berbeda. Setelah semua *client* melakukan komunikasi, hasil dari komunikasi tersebut akan dianalisis.



Gambar 3. 7 Skenario komunikasi dua codec tidak bersamaan

4. Pengambilan data kualitas VoIP meliputi *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*.

Pengambilan data kualitas VoIP akan dilakukan selama pengujian komunikasi VoIP sedang berlangsung. Pengamatan untuk pengambilan data kualitas VoIP menggunakan aplikasi Wireshark. Dari hasil yang didapatkan Wireshark, dapat diketahui nilai dari parameter QoS yang diuji yaitu *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*.

3.2.4 Pembahasan

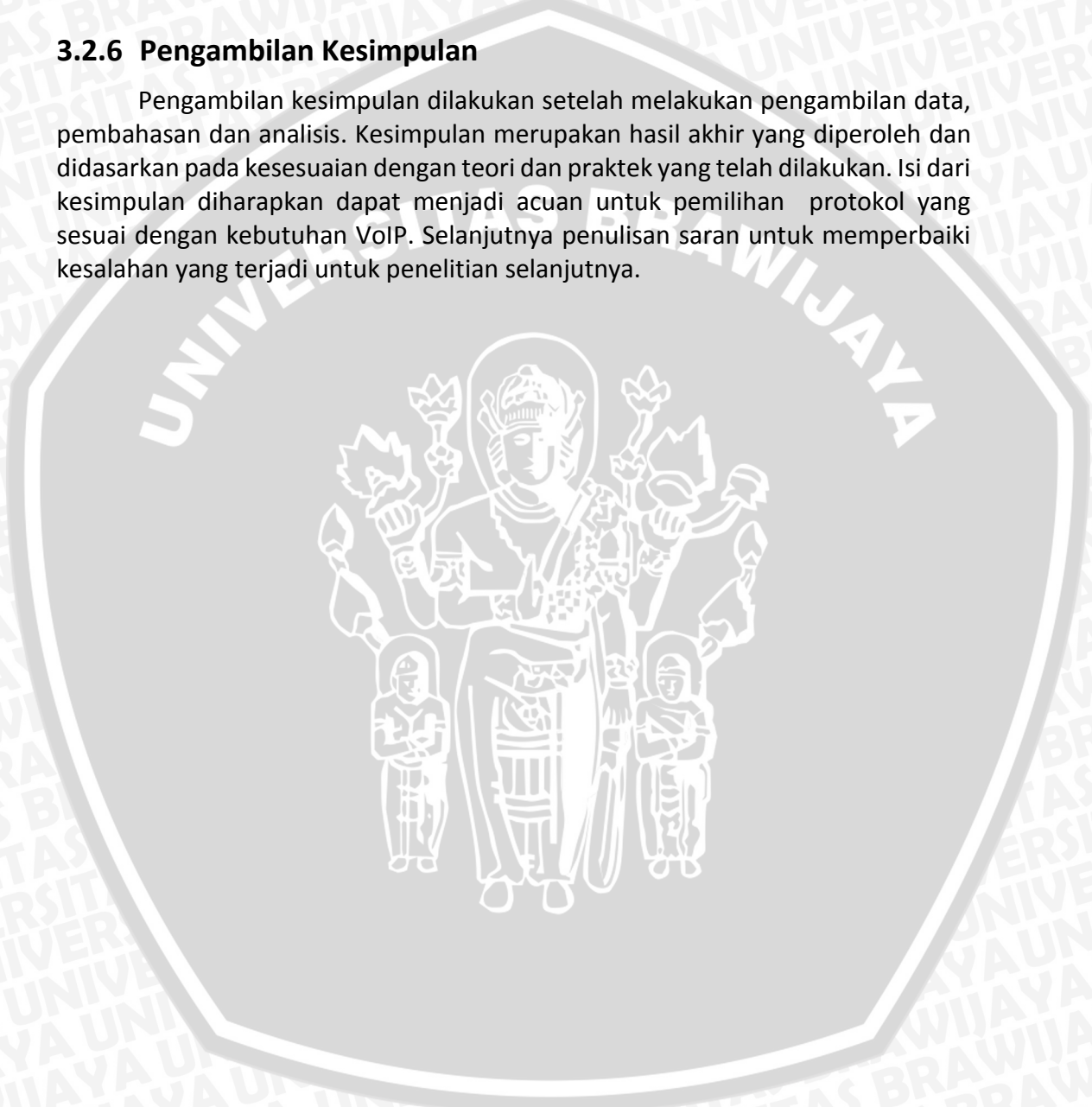
Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan, kemudian dilakukan perhitungan dari data tersebut. Perhitungan dilakukan untuk mencari nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Data hasil analisis dibedakan menjadi 2 yaitu *upstream* dan *downstream* untuk setiap *client*.

3.2.5 Analisis

Setelah pembahasan dan perhitungan nilai keempat parameter dengan persamaan (2.1) dan (2.2) selesai dilakukan dan data-data hasil perhitungan didapatkan kemudian dilakukan analisis, dimana hasil analisis akan digunakan untuk pengambilan kesimpulan. Dalam analisis data akan dibedakan menjadi 2 yaitu *upstream* dan *downstream* untuk setiap *client*.

3.2.6 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah melakukan pengambilan data, pembahasan dan analisis. Kesimpulan merupakan hasil akhir yang diperoleh dan didasarkan pada kesesuaian dengan teori dan praktek yang telah dilakukan. Isi dari kesimpulan diharapkan dapat menjadi acuan untuk pemilihan protokol yang sesuai dengan kebutuhan VoIP. Selanjutnya penulisan saran untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi untuk penelitian selanjutnya.



Tampilan konfigurasi eth0 ditunjukkan pada gambar 4.2

```

root@localhost:/home/kiki
[root@localhost kiki]# ifconfig
ens1f0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 175.45.187.252 netmask 255.255.255.240 broadcast 175.45.187.255
    inet6 fe80::a64c:11ff:fede:73e0 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether a4:4c:11:de:73:e0 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 25225 bytes 10097886 (9.6 MiB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 5238 bytes 421243 (411.3 KiB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
    device memory 0xb1960000-b197ffff

ens1f1: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
    ether a4:4c:11:de:73:e1 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
    device memory 0xb1920000-b193ffff
  
```

Gambar 4. 2 Hasil konfigurasi eth0 pada server

4.1.2 Client

Dalam penelitian ini *client* berada pada subnet yang berbeda. Posisi *client* ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Posisi *client*

Gedung	Client	Netmask	Gateway	Range IP	Media
A	400	255.255.255.0	172.21.12.1	172.21.12.2- 172.21.12.254	Wireless
B	200 300	255.255.255.192	172.21.3.1	172.21.3.2- 172.21.3.62	Kabel
D	100 400	255.255.254.0	172.21.18.1	172.21.18.2- 172.21.19.254	Wireless

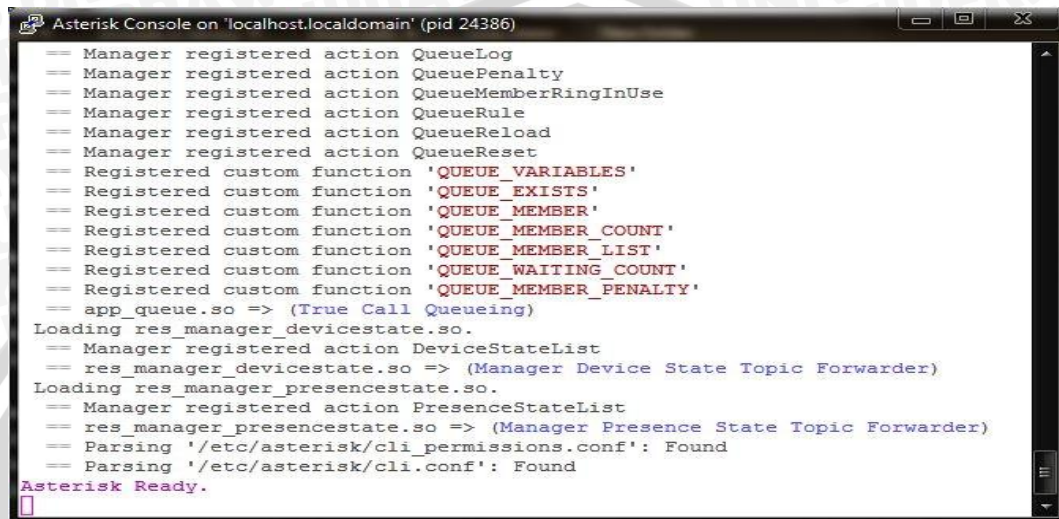
Client menggunakan sistem operasi Windows 7 serta aplikasi untuk VoIP *client* yaitu Ekiga dan Wireshark yang digunakan untuk menangkap paket data yang keluar masuk dari *client*.

4.2 Implementasi Asterisk 13.4.0

Proses instalasi dilakukan pada *server* di FILKOM. Implementasi asterisk dilakukan dengan mengetahui informasi tentang sistem operasi, *kernel*, dan *dependency* yang akan digunakan. Proses awal yang harus dilakukan setelah melakukan update pada sistem operasi adalah menginstall *additional packages* yang dibutuhkan.

Alur langkah instalasi *server* asterisk seperti pada lampiran 2. Proses implementasi asterisk harus dilakukan pertahap sesuai alur pada lampiran 2. Hal

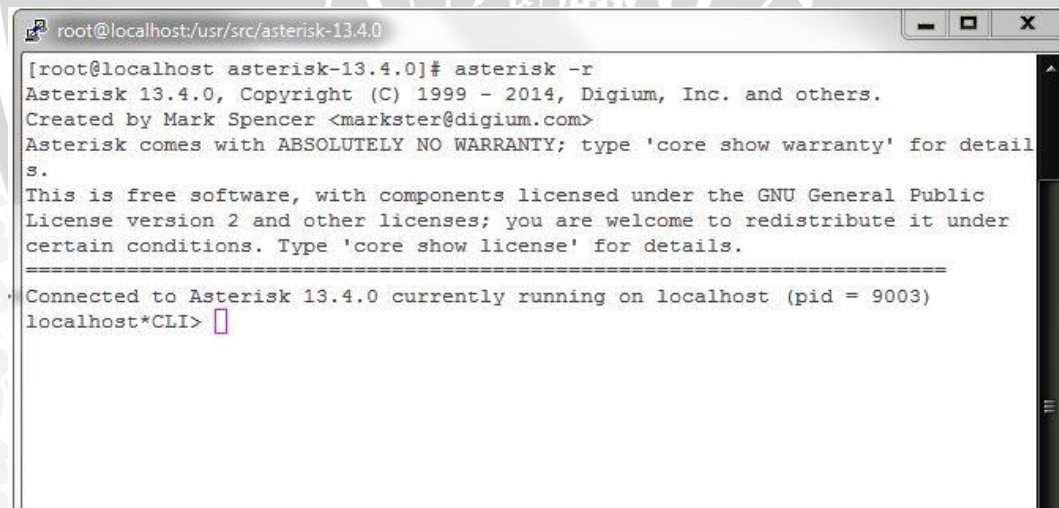
yang perlu menjadi perhatian adalah pemilihan *packages* pada saat proses `#make menuselect`. Ada beberapa *packages* yang harus kita pilih sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan seperti paket yang berada dalam *Add-ons*, *Core Sound Packages*, dan *Extra Sound Packages*. Setelah proses instalasi selesai, maka perlu memeriksa keberhasilan implementasi dengan mengetikkan perintah `asterisk -vvvvvvc` pada terminal. Gambar 4.3 memperlihatkan keberhasilan instalasi asterisk VoIP server.



```
Asterisk Console on 'localhost.localdomain' (pid 24386)
-- Manager registered action QueueLog
-- Manager registered action QueuePenalty
-- Manager registered action QueueMemberRingInUse
-- Manager registered action QueueRule
-- Manager registered action QueueReload
-- Manager registered action QueueReset
-- Registered custom function 'QUEUE_VARIABLES'
-- Registered custom function 'QUEUE_EXISTS'
-- Registered custom function 'QUEUE_MEMBER'
-- Registered custom function 'QUEUE_MEMBER_COUNT'
-- Registered custom function 'QUEUE_MEMBER_LIST'
-- Registered custom function 'QUEUE_WAITING_COUNT'
-- Registered custom function 'QUEUE_MEMBER_PENALTY'
-- app_queue.so => (True Call Queueing)
Loading res_manager_devicestate.so.
-- Manager registered action DeviceStateList
-- res_manager_devicestate.so => (Manager Device State Topic Forwarder)
Loading res_manager_presencestate.so.
-- Manager registered action PresenceStateList
-- res_manager_presencestate.so => (Manager Presence State Topic Forwarder)
-- Parsing '/etc/asterisk/cli_permissions.conf': Found
-- Parsing '/etc/asterisk/cli.conf': Found
Asterisk Ready.
```

Gambar 4. 3 Hasil instalasi server asterisk

Kemudian untuk masuk *console CLI* asterisk dengan mengetikkan perintah `asterisk -r` pada terminal. Gambar 4.4 memperlihatkan *console CLI* di asterisk.



```
root@localhost:/usr/src/asterisk-13.4.0
[root@localhost asterisk-13.4.0]# asterisk -r
Asterisk 13.4.0, Copyright (C) 1999 - 2014, Digium, Inc. and others.
Created by Mark Spencer <markster@digium.com>
Asterisk comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; type 'core show warranty' for detail
s.
This is free software, with components licensed under the GNU General Public
License version 2 and other licenses; you are welcome to redistribute it under
certain conditions. Type 'core show license' for details.
-----
Connected to Asterisk 13.4.0 currently running on localhost (pid = 9003)
localhost*CLI>
```

Gambar 4. 4 Console CLI asterisk

Proses selanjutnya dalam implementasi asterisk adalah melakukan konfigurasi manual dengan cara memasukkan secara langsung konfigurasi yang diinginkan ke beberapa file berekstensi `.conf` yang terdapat pada direktori `/etc/asterisk`. File untuk mengatur konfigurasi asterisk dan menampung data *client* terletak pada `/etc/asterisk/sip.conf`. Sedangkan file untuk mengatur extension antar *client* yang telah terdaftar pada `sip.conf` terletak pada

/etc/asterisk/extensions.conf. Konfigurasi yang dibutuhkan pada sip.conf dan extensions.conf dapat dilihat pada lampiran 3.

4.3 Implementasi Protokol

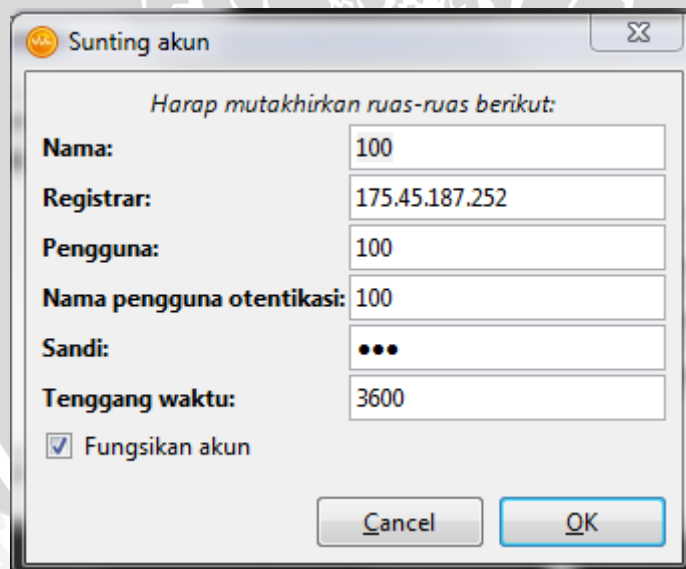
Dalam penelitian ini menggunakan protokol RTP dan RTCP dalam implementasinya. Untuk mengaktifkan protokol RTP dan RTCP di server asterisk dengan menggunakan perintah *rtp set debug on* dan *rtcp set debug on* pada console CLI. Gambar 4.5 menunjukkan keberhasilan mengaktifkan protokol RTP dan RTCP.



Gambar 4. 5 Mengaktifkan protokol RTP dan RTCP

4.4 Implementasi Softphone

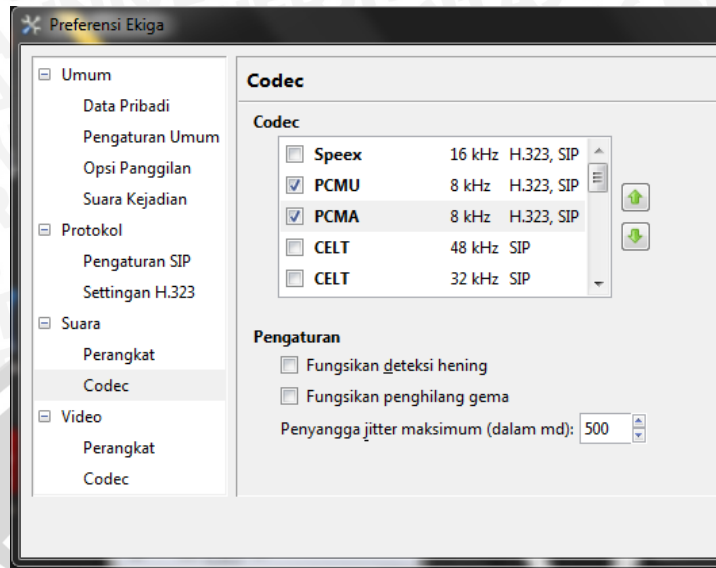
Softphone yang digunakan pada penelitian ini adalah Ekiga. Ekiga diinstal pada sistem operasi Windows pada tiap-tiap client. Konfigurasi Ekiga diisi sesuai dengan informasi yang dimiliki pada server. Informasi yang dibutuhkan seperti domain server, username, dan password client. Informasi tersebut terdapat pada account setting di menu softphone. Gambar 4.6 menunjukkan konfigurasi account client 100.



Gambar 4. 6 Konfigurasi client 100

Selain mengatur konfigurasi tiap client, Ekiga juga menyediakan menu untuk mengatur pemilihan codec yang akan digunakan. Informasi tersebut berada pada menu Preference. Terdapat banyak pilihan codec yang ada di Ekiga, tetapi

untuk penelitian ini kita hanya memilih *codec* G.711 dan *codec* GSM. Gambar 4.7 menunjukkan pemilihan *codec* G.711 untuk *client* 100.



Gambar 4. 7 Pemilihan codec

4.5 Implementasi *Iperf*

Diperlukan sedikitnya dua host untuk menjalankan *iperf* yaitu satu host sebagai *server* dan host lainnya sebagai *client*. Implementasi *iperf* dilakukan dari sisi *client* dan sisi *server*. Proses implementasi dari sisi *server* menggunakan sistem operasi CentOS dilakukan melalui terminal dengan mengetikkan perintah `yum -y install iperf`. Sedangkan dari sisi *client* menggunakan sistem operasi Windows, dilakukan melalui jendela *command prompt* dengan sudah terlebih dahulu mengunduh paket *iperf*. Untuk melihat keberhasilan proses implementasi *iperf* pada *server* dan *client*, dapat dilakukan dengan mengetikkan perintah `iperf -s -u` melalui terminal *client* untuk mengaktifkan port *iperf* pada server. Gambar 4.8 menunjukkan keberhasilan implementasi *iperf*.

```
[root@localhost kiki]# iperf -s -u
-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 208 KByte (default)
-----
[  3] local 175.45.187.252 port 5001 connected with 172.21.3.31 port 54336
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth   Jitter     Lost/Total Datagrams
[  3] 0.0-10.7 sec  41.6 KBytes 32.0 Kbits/sec 0.123 ms  0/ 29 (0%)
```

Gambar 4. 8 Hasil instalasi *iperf*

Pada penelitian ini *iperf* digunakan untuk membebani jaringan pada saat kondisi jaringan dengan trafik yang padat. Pembebanan ini akan mempengaruhi beberapa parameter yaitu *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *bandwidth*. Pemberian beban dilakukan dengan cara *client* mengirimkan beberapa paket UDP ke *server* dengan waktu tertentu. Konfigurasi dilakukan dari komputer lain yang bukan sebagai *client*. Pada gambar 4.9 menunjukkan pemberian beban jaringan ke *server* melalui *client* yang terhubung dengan kabel UTP.


```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\Users\Mikko S\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 90m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[224] local 172.21.3.31 port 53005 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[224] 0.0-60.0 sec  647 MBytes  90.4 Mbits/sec
[224] Server Report:
[224] 0.0-60.0 sec  647 MBytes  90.4 Mbits/sec  1.050 ms    0/461182 (0%)
[224] Sent 461182 datagrams

C:\Users\Mikko S\Downloads>
```

Gambar 4. 9 Pemberian beban melalui kabel UTP

Dari Gambar 4.9 terlihat informasi yang menunjukkan bahwa komputer tersebut mengirimkan paket UDP selama 1 menit dengan bandwidth tiap paket membutuhkan 90Mbits/sec.

```
C:\Users\Khanti\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 50m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[152] local 172.21.18.167 port 52921 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[152] 0.0-60.2 sec  9.34 MBytes  1.30 Mbits/sec
[152] Server Report:
[152] 0.0-60.4 sec  9.34 MBytes  1.30 Mbits/sec  24.182 ms    0/ 6661 (0%)
[152] Sent 6661 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>
```

Gambar 4. 10 Pemberian beban melalui wireless

Dari gambar 4.10 terlihat tampilan pemberian beban jaringan dengan media *wireless*. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa komputer tersebut mengirimkan paket UDP selama 1 menit dengan bandwidth tiap paket sebesar 50Mbits/sec.



BAB 5 PENGAMBILAN DATA

Pada bab ini akan dilakukan pengujian dan pengambilan data terhadap sistem VoIP. Teknik pengambilan data dilakukan dalam 2 tahap seperti yang telah dijelaskan pada Bab III, yaitu pengujian *codec* GSM dan G.711 melakukan komunikasi bersamaan, dan pengujian *codec* GSM dan G.711 melakukan komunikasi tidak bersamaan. Tabel 5.1 menunjukkan waktu pengambilan data komunikasi *codec* secara bersamaan.

Tabel 5. 1 Waktu pengujian komunikasi *codec* bersamaan

Kondisi	Tanggal	Waktu
Sepi	28 Agustus 2015	10.30-11.20
Ramai	28 Agustus 2015	15.00-18.30
Ramai+lperf	28 Agustus 2015	15.00-16.40

Tabel 5.2 menunjukkan waktu pengambilan data komunikasi *codec* GSM dan *codec* G.711 tidak bersamaan.

Tabel 5. 2 Waktu pengujian komunikasi *codec* tidak bersamaan

Codec	Kondisi	Tanggal	Waktu
GSM	Sepi	9 September 2015	10.45-11.20
	Ramai	9 September 2015	16.05-16.45
	Ramai+lperf	9 September 2015	14.00-14.40
G.711	Sepi	9 September 2015	11.20-12.05
	Ramai	9 September 2015	15.20-16.00
	Ramai+lperf	9 September 2015	14.45-15.15

5.1 Pengujian Koneksi *Client* – *Server*

Pada tahap pengujian ini akan dilakukan pengujian koneksi dari *client* ke *server* untuk memastikan bahwa *client* dapat mengakses *server* dan sebaliknya *server* dapat mengenali *client*. Uji koneksi dilakukan dengan melakukan perintah *ping* dari komputer *client* menuju ke alamat *server*. Gambar 5.1 menunjukkan uji koneksi dari *client* ke *server*.

```
C:\Users\User>ping 175.45.187.252

Pinging 175.45.187.252 with 32 bytes of data:
Reply from 175.45.187.252: bytes=32 time=3ms TTL=62
Reply from 175.45.187.252: bytes=32 time=4ms TTL=62
Reply from 175.45.187.252: bytes=32 time=1ms TTL=62
Reply from 175.45.187.252: bytes=32 time=5ms TTL=62

Ping statistics for 175.45.187.252:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 5ms, Average = 3ms

C:\Users\User>
```

Gambar 5. 1 Uji koneksi client-server

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa *client* telah terkoneksi dengan *server*. Hal ini ditunjukkan bahwa *server* membalas *request client*. Untuk melihat status registrasi *client* pada *server* dengan cara mengetikkan perintah *sip show peers* pada *console CLI Asterisk*. Gambar 5.2 menunjukkan status *client* di *server*.

```
sip show peers
Name/username      Host                               Dyn Forcerport
Comedia ACL Port  Status Description
100/100             172.21.19.68                      D Yes
Yes                5060 OK (275 ms)
200/200             172.21.3.43                       D Yes
Yes                5060 OK (255 ms)
300/300             172.21.3.22                      D Yes
Yes                5060 OK (3 ms)
400/400             172.21.19.67                     D Yes
Yes                5060 OK (26 ms)
4 sip peers [Monitored: 4 online, 0 offline Unmonitored: 0 online, 0 offline]
*CLI>
```

Gambar 5. 2 Uji konektifitas server

Dari Gambar 5.2 dapat diketahui bahwa semua *client* sudah terkoneksi dengan *server* dan *server* mampu mengenali semua *client*, dilihat dari status setiap *client* pada kolom status tertulis OK.

5.2 Pengujian Koneksi Client – Client

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian koneksi antar *client* untuk memastikan bahwa antar *client* dapat terhubung dan dapat melakukan komunikasi VoIP. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan perintah *ping* antar *client*. Gambar 5.3 menunjukkan keberhasilan koneksi antar *client* sehingga komunikasi VoIP dapat dilakukan.

```
Command Prompt
C:\Users\admin>ping 172.21.19.68
Pinging 172.21.19.68 with 32 bytes of data:
Reply from 172.21.19.68: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 172.21.19.68: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 172.21.19.68: bytes=32 time=39ms TTL=126
Reply from 172.21.19.68: bytes=32 time=37ms TTL=126
Ping statistics for 172.21.19.68:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 1ms, Maximum = 39ms, Average = 19ms
C:\Users\admin>ping 172.21.3.43
Pinging 172.21.3.43 with 32 bytes of data:
Reply from 172.21.3.43: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 172.21.3.43: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 172.21.3.43: bytes=32 time<1ms TTL=128
Reply from 172.21.3.43: bytes=32 time<1ms TTL=128
Ping statistics for 172.21.3.43:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

Gambar 5. 3 Uji koneksi antar client

5.3 Pengujian Panggilan VoIP

Pada tahap ini akan dilakukan pengujian panggilan VoIP antar *client*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem dapat berjalan dengan

baik sesuai yang diharapkan. Tahap pengujian ini dilakukan dengan melakukan panggilan komunikasi VoIP antar *client* selama 2 menit dengan 10 kali pengujian untuk setiap kondisi. Proses komunikasi dengan menggunakan *codec* yang berbeda akan dilakukan dalam 2 tahap, yaitu *codec* GSM dan G.711 melakukan proses komunikasi secara bersamaan, dan tidak bersamaan.

5.3.1 Komunikasi *codec* GSM & G.711 bersamaan

Status keberhasilan panggilan di *server* asterisk dapat dilihat melalui *console* CLI asterisk ketika proses permintaan panggilan dimulai hingga panggilan diakhiri. Gambar 5.4 menunjukkan panggilan antara *client* 200 ke *client* 100 bersamaan dengan panggilan antara *client* 300 ke *client* 400.

```
*CLI> == Using SIP RTP CoS mark 5
-- Executing [100@default:1] Dial("SIP/200-00000000", "SIP/100,20") in new s
tack
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Called SIP/100
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Executing [400@default:1] Dial("SIP/300-00000002", "SIP/400,20") in new s
tack
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Called SIP/400
-- SIP/100-00000001 is ringing
-- SIP/400-00000003 is ringing
> Ox7facbc0064f0 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.19.68:5062
> Ox7facbc0064f0 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.19.68:5062
-- SIP/100-00000001 answered SIP/200-00000000
-- Channel SIP/200-00000000 joined 'simple_bridge' basic-bridge <3e9e8aa7-78
b3-4296-91a2-6a943c2c6ee7>
-- Channel SIP/100-00000001 joined 'simple_bridge' basic-bridge <3e9e8aa7-78
b3-4296-91a2-6a943c2c6ee7>
> Ox7facbc0064f0 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.19.68:5062
```

Gambar 5. 4 Proses komunikasi bersamaan

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa saat *client* 200 menghubungi *client* 100, *client* 300 juga menghubungi *client* 400. Proses panggilan diawali dengan mengeksekusi perintah Dial (SIP/XXX), pernyataan tersebut berarti panggilan yang berlangsung menggunakan protokol SIP dan XXX merupakan nomor *client*. Setelah perintah tersebut dieksekusi, maka proses panggilan dilakukan, kemudian nomor penerima merespon dengan berdering. Saat telepon diangkat oleh penerima, status di CLI akan menunjukkan SIP/XXX answered SIP/XXX. Setelah itu terjadi proses komunikasi antara *client* hingga telepon dimatikan.

Client 200 dan *client* 100 menggunakan *codec* G.711, dan *client* 300 dan *client* 400 menggunakan *codec* GSM. Pengaturan pemilihan *codec* di *softphone* ditunjukkan pada lampiran 6 dan lampiran 7.

5.3.2 Komunikasi *codec* GSM & G.711 tidak bersamaan

Pada tahap pengujian ini, *client* dengan *codec* G.711 melakukan komunikasi terlebih dahulu selama 2 menit. Setelah 10 kali pengujian dalam satu kondisi, kemudian *client* dengan *codec* GSM mulai melakukan komunikasi.

```

Asterisk Console on 'localhost.localdomain' (pid 15359)
Using SIP RTP CoS mark 5
Executing [100@default:1] Dial("SIP/200-00000002", "SIP/100,20") in new s
tack
Using SIP RTP CoS mark 5
Called SIP/100
SIP/100-00000003 is ringing
Ox7f2364006590 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.12.86:52006
Ox7f2364006590 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.12.86:52006
SIP/100-00000003 answered SIP/200-00000002
Channel SIP/200-00000002 joined 'simple_bridge' basic-bridge <1424ff8e-02
14-4d3b-b929-57067e7fb367>
Channel SIP/100-00000003 joined 'simple_bridge' basic-bridge <1424ff8e-02
14-4d3b-b929-57067e7fb367>
Bridge 1424ff8e-0214-4d3b-b929-57067e7fb367: switching from simple_brid
ge technology to native_rtp
Remotely bridged 'SIP/100-00000003' and 'SIP/200-00000002' - media will
flow directly between them
Remotely bridged 'SIP/100-00000003' and 'SIP/200-00000002' - media will
flow directly between them
Ox7f2364006590 -- Probation passed - setting RTP source address to 172.
21.12.86:52006

```

Gambar 5. 5 Proses panggilan VoIP

Pada Gambar 5.5 terlihat proses komunikasi *client* 200 memanggil *client* 100 ditunjukkan dengan perintah eksekusi `Dial(SIP/XXX)` yang berarti panggilan tersebut menggunakan protokol SIP. Setelah perintah tersebut berhasil dieksekusi, maka proses panggilan dilakukan ditandai dengan status *Called SIP/XXX* pada CLI asterisk. Telepon penerima merespon dengan berdering ditandai dengan *SIP/XXX is ringing*. Saat telepon diangkat oleh penerima, status di CLI akan menunjukkan *SIP/XXX answered SIP/XXX*. Setelah itu terjadi proses komunikasi antara *client* hingga telepon dimatikan.

5.3.3 Pengujian *Iperf*

Pengujian *iperf* digunakan untuk memberi beban pada jaringan dalam kondisi ramai dan menguji performansi jaringan yang digunakan. Pada penelitian ini, *iperf* digunakan sebelum panggilan dan ketika panggilan sedang berjalan. *Iperf* digunakan pada komputer yang bukan sebagai *client*. Perintah untuk *iperf* dapat dilihat pada lampiran 8.

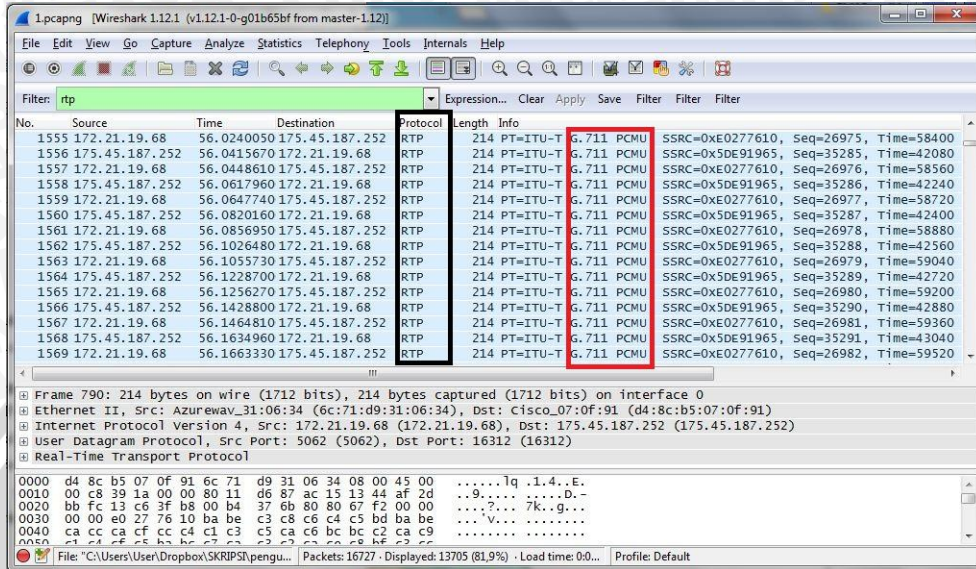
5.4 Pengambilan Data Kualitas VoIP

Pengambilan data kualitas VoIP akan dilakukan dengan *codec* yang berbeda, dan dengan proses komunikasi *codec* yang berbeda. Pengamatan untuk pengambilan data kualitas VoIP menggunakan aplikasi Wireshark, dan dilakukan selama komunikasi berlangsung. Dari hasil yang didapatkan Wireshark, dapat diketahui nilai dari parameter QoS yang diuji yaitu *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*.

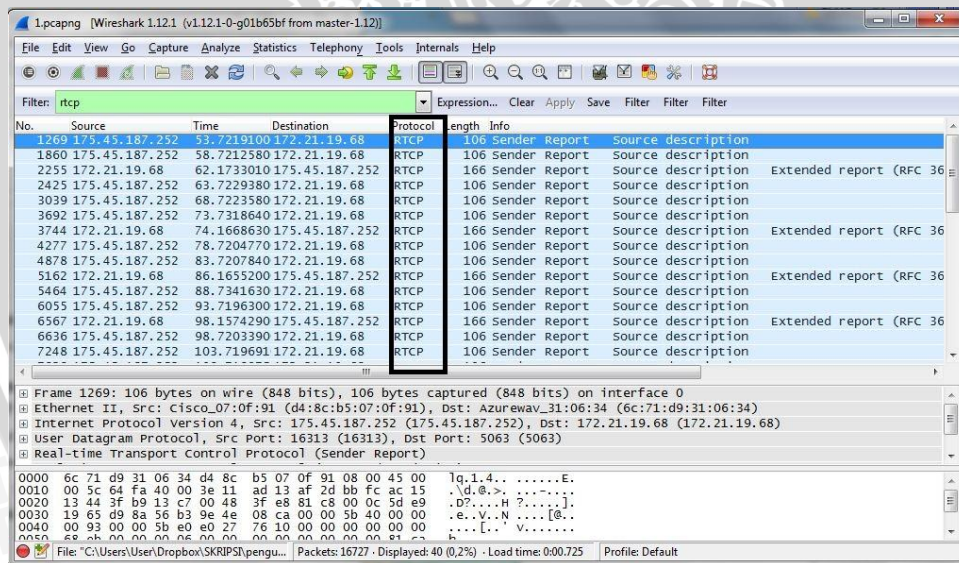
5.4.1 Pengambilan Data Kualitas VoIP dengan *codec* G.711

Alur pengujian kualitas VoIP dapat dilihat pada lampiran 5. Pengambilan data untuk kualitas VoIP dibedakan antara protokol RTP dan RTCP. *Client* yang

menggunakan *codec* G.711 adalah *client* 100 dan *client* 200. Panggilan dilakukan menggunakan *softphone* Ekiga pada dua gedung yang berbeda subnet. Pengambilan data menggunakan aplikasi Wireshark. Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 menunjukkan hasil *capturing* data dari Wireshark.



Gambar 5. 6 Hasil capturing data codec G.711 dengan protokol RTP



Gambar 5. 7 Hasil capturing data codec G.711 dengan protokol RTCP

Dari Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa komunikasi VoIP yang berjalan sudah menggunakan *codec* G.711 dan berjalan diatas protokol RTP. Gambar 5.7 memperlihatkan bahwa komunikasi VoIP berjalan diatas protokol RTCP. Pengambilan data untuk kualitas VoIP diambil dari dua sumber yaitu *client* 100 dengan IP address 172.21.19.XXX/23 menuju *client* 200 dengan IP address 172.21.3.XXX/32. Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 diambil dari sisi *client* 100.

Dari data yang diperoleh dapat dianalisis nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Untuk menganalisis nilai *bandwidth* dan *delay* dengan menggunakan

wireshark, terlebih dahulu dilakukan *filtering* paket seperti pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7, kemudian pilih menu *Statistic – Summary* seperti ditunjukkan Gambar 5.8.

Display						
Display filter:	ip.src==172.21.19.68&&rtcp					
Ignored packets:	0 (0,000%)					
Traffic	Captured	Displayed	Displayed %	Marked	Marked %	
Packets	16727	6904	41,275%	0	0,000%	
Between first and last packet	192,565 sec	138,062 sec				
Avg. packets/sec	86,864	50,006				
Avg. packet size	197 bytes	214 bytes				
Bytes	3303121	1477456	44,729%	0	0,000%	
Avg. bytes/sec	17153,250	10701,369				
Avg. MBit/sec	0,137	0,086				

Gambar 5. 8 Wireshark summary RTP codec G.711

Dari Gambar 5.8 dapat dicari nilai *bandwidth* dengan Persamaan 2.1

$$bandwidth = Avg. packets/ sec \times Avg. packet size$$

$$Bandwidth = 50,006 \times 214 = 10701,284 \text{ bytes/sec} = 30,60 \text{ kbps}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *bandwidth* sebesar 30,60 kbps. Untuk hasil perhitungan *bandwidth* lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9. Sedangkan untuk mengukur nilai *delay* dari *summary* tersebut, membagi antara waktu dengan jumlah paket data. Dari Gambar 5.8 dapat dicari nilai *delay* dengan persamaan 2.2.

$$delay = \frac{waktu}{jumlah \text{ paket}}$$

$$Delay = \frac{138,062}{6904} = 0,01999 \text{ sec} = 1 \text{ ms}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *delay* sebesar 1 ms. Untuk hasil perhitungan *delay* lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9. Untuk mendapatkan nilai *jitter* dan *packet loss* pilih menu *Telephony – RTP – Show All Streams* seperti terlihat pada Gambar 5.9.

Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)	Pb?
g711U	6904	0 (0,0%)	37,061000	5,487367	0,910738	X
g711U	6801	0 (0,0%)	277,199000	44,200292	4,068932	X

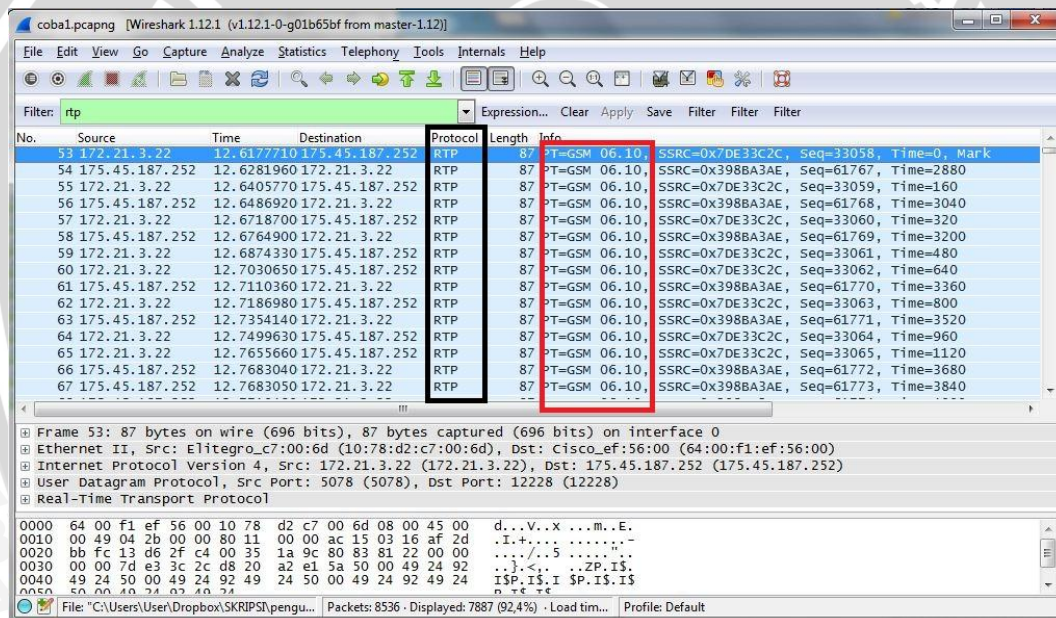
Forward: 172.21.19.68:5062 -> 175.45.187.252:16312, SSRC=0xE0277610
Reverse: 175.45.187.252:16312 -> 172.21.19.68:5062, SSRC=0x5DE91965

Gambar 5. 9 Wireshark RTP stream client 100

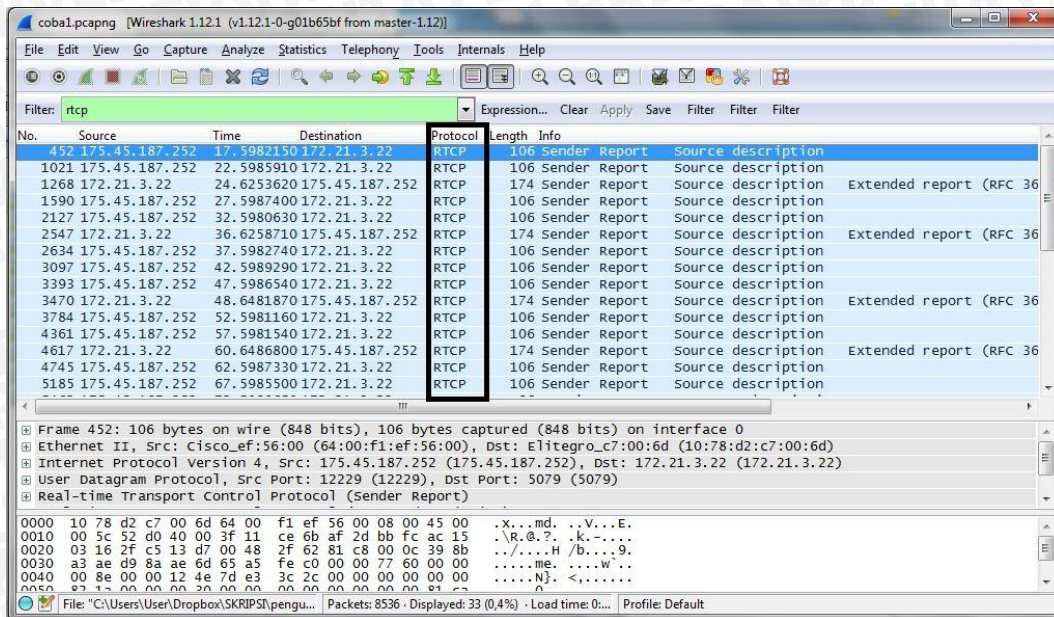
Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dilihat nilai *packet loss upstream* dari 172.21.19.68 menuju 175.45.187.252 sebesar 0,0% dengan jumlah *packet loss* 0. Sedangkan nilai *packet loss downstream* dari 175.45.187.252 menuju 172.21.19.68 sebesar 0,0% dengan jumlah *packet loss* 0. Dari Gambar 5.9 dapat dilihat pula nilai *jitter upstream* dari 172.21.19.68 menuju 175.45.187.252 sebesar 0,9107 ms. Sedangkan nilai *jitter downstream* dari 175.45.187.252 menuju 172.21.19.68 sebesar 4,0689 ms. Hasil analisis *jitter* dan *packet loss* VoIP dengan *codec* G.711 lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9.

5.4.2 Pengambilan Data Kualitas VoIP dengan Codec GSM

Alur pengambilan data untuk kualitas VoIP dapat dilihat pada lampiran 5. Pengambilan data untuk mengetahui kualitas VoIP dibedakan antara protokol RTP dan RTCP. *Client* yang menggunakan *codec* GSM adalah *client* 300 dan *client* 400. Panggilan dilakukan menggunakan *softphone* Ekiga pada dua gedung yang berbeda subnet. Pengambilan data menggunakan aplikasi Wireshark. Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 menunjukkan hasil *capturing* data dari Wireshark.



Gambar 5. 10 Hasil capturing data codec GSM dengan protokol RTP



Gambar 5. 11 Hasil capturing data codec GSM dengan protokol RTCP

Dari Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa komunikasi VoIP yang berjalan sudah menggunakan *codec* GSM dan berjalan diatas protokol RTP. Gambar 5.11 memperlihatkan bahwa komunikasi VoIP berjalan diatas protokol RTCP. Pengujian kualitas VoIP diambil dari dua sumber yaitu *client* 300 dengan IP address 172.21.3.XXX/32 menuju *client* 400 dengan IP address 172.21.19.XXX/23. Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 diambil dari sisi *client* 300.

Dari data yang diperoleh dapat dianalisis nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Untuk menganalisis nilai *bandwidth* dan *delay* dengan menggunakan wireshark, terlebih dahulu dilakukan *filtering* paket seperti pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11, kemudian pilih menu *Statistic – Summary* seperti ditunjukkan Gambar 5.12.

Display						
Display filter:	ip.src==172.21.3.22&&rtcp					
Ignored packets:	0 (0,000%)					
Traffic	Captured	Displayed	Displayed %	Marked	Marked %	
Packets	14377	11	0,077%	0	0,000%	
Between first and last packet	164,531	119,508				
Avg. packets/sec	87,382	0,092				
Avg. packet size	90 bytes	167 bytes				
Bytes	1299011	1834	0,141%	0	0,000%	
Avg. bytes/sec	7895,237	15,346				

Gambar 5. 12 Wireshark summary RTCP codec GSM

Dari Gambar 5.12 dapat dicari nilai *bandwidth* dengan persamaan (2 – 1)

$$bandwidth = Avg.packets/ sec \times Avg.packet size$$

$$\text{Bandwidth} = 0,092 \times 167 = 15,364 \text{ bytes/sec} = 0,12 \text{ kbps}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *bandwidth* sebesar 0,12 kbps. Untuk hasil perhitungan *bandwidth* lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9. Sedangkan untuk mengukur nilai *delay* dari *summary* tersebut, membagi antara waktu dengan jumlah paket data. Dari Gambar 5.12 dapat dicari nilai *delay* dengan persamaan (2 – 2)

$$\text{delay} = \frac{\text{waktu}}{\text{jumlah paket}}$$

$$\text{Delay} = \frac{119,508}{11} = 10,86 \text{ ms}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *delay* sebesar 10,86 ms. Untuk hasil perhitungan *delay* lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9. Untuk mendapatkan nilai *jitter* dan *packet loss* pilih menu *Telephony – RTP – Show All Streams* seperti terlihat pada Gambar 5.13.

SRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.21.3.22	GSM	6575	0 (0,0%)	21,111000	0,207766	0,052663
175.45.187.252	GSM	6573	0 (0,0%)	602,230000	48,682197	2,562688

Forward: 172.21.3.22:5072 -> 175.45.187.252:15692, SSRC=0x1613AD78
Reverse: 175.45.187.252:15692 -> 172.21.3.22:5072, SSRC=0x33A738F5

Gambar 5. 13 Wireshark RTP stream client 300

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat dilihat nilai *packet loss upstream* dari 172.21.3.22 menuju 175.45.187.252 sebesar 0,0% dengan jumlah *packet loss* 0. Sedangkan nilai *packet loss downstream* dari 175.45.187.252 menuju 172.21.3.22 sebesar 0,0% dengan jumlah *packet loss* 0. Dari Gambar 5.13 dapat dilihat pula nilai *jitter upstream* dari 172.21.3.22 menuju 175.45.187.252 sebesar 0,0526 ms. Sedangkan nilai *jitter downstream* dari 175.45.187.252 menuju 172.21.3.22 sebesar 2,5626 ms. Hasil analisis *jitter* dan *packet loss* VoIP dengan *codec* GSM lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9.

BAB 6 PEMBAHASAN

Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan, kemudian dilakukan analisis dari data tersebut. Analisis dilakukan terhadap nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Data hasil analisis dibedakan menjadi 2 yaitu *upstream* dan *downstream* untuk setiap *client*.

6.1 Bandwidth

Dari pengambilan yang dilakukan diperoleh nilai *bandwidth* yang dibutuhkan dalam komunikasi VoIP dengan *codec* GSM dan G.711. Tabel 6.1 menunjukkan nilai *bandwidth* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTP. Tabel 6.2 menunjukkan nilai *bandwidth* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTCP.

Tabel 6. 1 Bandwidth protokol RTP

ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+Iper f		Sepi		Ramai		Ramai+Iper f	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	83,60	83,73	76,96	83,03	74,27	83,36	74,59	83,31	35,96	81,05	46,64	83,29
200	77,58	83,60	83,60	78,57	83,61	79,81	83,60	74,92	83,60	35,33	83,60	50,53
300	33,51	33,75	33,98	27,00	33,96	33,26	33,98	32,73	33,98	18,97	33,98	18,03
400	33,97	33,97	27,48	31,31	33,58	33,40	33,11	33,05	17,65	33,86	20,65	33,39
Rata – rata	57,17	58,76	55,51	54,98	56,35	57,46	56,32	56	42,8	42,3	46,22	46,31
Rata-rata	57,96		55,24		56,9		56,16		42,55		46,26	

Keterangan: U= *Upstream*

D= *Downstream*

Hasil dari Tabel 6.1 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *bandwidth* untuk *upstream* sebesar 57,17 kbps dan untuk *downstream* sebesar 58,76 kbps. Pada kondisi ramai membutuhkan *bandwidth* *upstream* sebesar 55,51 kbps dan *downstream* sebesar 54,98 kbps. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *bandwidth* *upstream* sebesar 56,35 kbps dan *downstream* sebesar 57,46 kbps. Sedangkan untuk komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan dengan menggunakan protokol RTP pada kondisi sepi membutuhkan *bandwidth* untuk *upstream* sebesar 56,32 kbps dan *downstream* 56 kbps. Pada kondisi ramai membutuhkan *bandwidth* *upstream* sebesar 42,8

kbps dan *downstream* 42,3 kbps. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *bandwidth upstream* sebesar 46,22 kbps dan *downstream* sebesar 46,31 kbps.

Tabel 6. 2 Bandwidth protokol RTCP

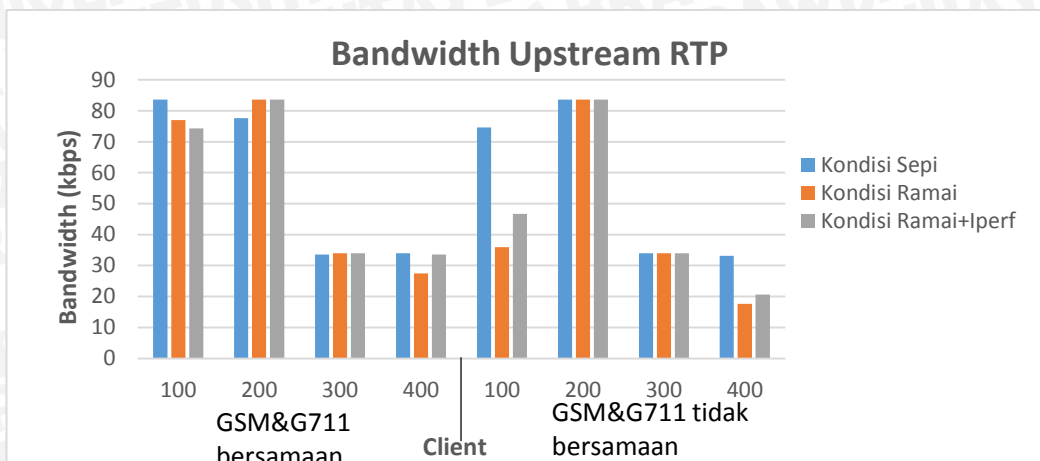
ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+Iperf		Sepi		Ramai		Ramai+Iperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	0,12	0,17	0,14	0,18	0,12	0,17	0,12	0,17	0,10	0,17	0,12	0,17
200	0,14	0,17	0,13	0,17	0,13	0,17	0,12	0,17	0,12	0,17	0,12	0,16
300	0,12	0,17	0,13	0,16	0,13	0,17	0,11	0,16	0,12	0,17	0,13	0,16
400	0,12	0,17	0,13	0,16	0,12	0,16	0,13	0,18	0,09	0,17	0,11	0,17
Rata-rata	0,12	0,17	0,13	0,17	0,12	0,17	0,12	0,17	0,11	0,17	0,12	0,17
Rata-rata	0,15		0,15		0,15		0,15		0,14		0,14	

Keterangan: U= *Upstream*

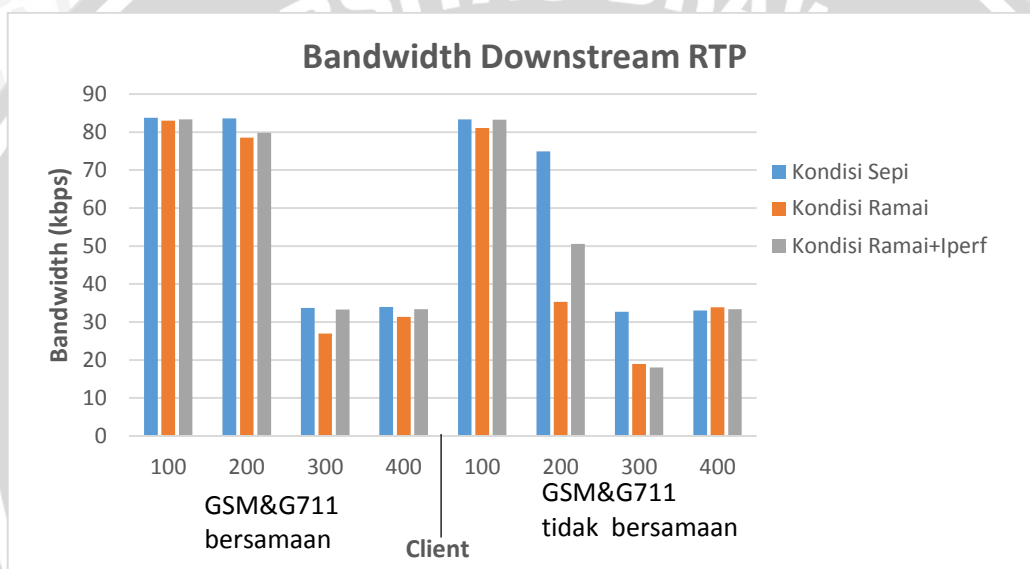
D= *Downstream*

Pada tabel 6.2 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTCP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *bandwidth* untuk *upstream* sebesar 0,12 kbps dan untuk *downstream* sebesar 0,17 kbps. Pada kondisi ramai membutuhkan *bandwidth upstream* sebesar 0,13 kbps dan *downstream* sebesar 0,17 kbps. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *bandwidth upstream* sebesar 0,12 kbps dan *downstream* sebesar 0,17 kbps. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan menggunakan protokol RTCP pada kondisi sepi membutuhkan *bandwidth* untuk *upstream* sebesar 0,12 kbps dan untuk *downstream* sebesar 0,17 kbps. Pada kondisi ramai membutuhkan *bandwidth upstream* sebesar 0,11 kbps dan *downstream* sebesar 0,17 kbps. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *bandwidth upstream* sebesar 0,12 kbps dan *downstream* sebesar 0,17 kbps.

Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 menunjukkan grafik *bandwidth upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Grafik *upstream* maupun *downstream* menunjukkan nilai *bandwidth client* 100 dan 200 lebih tinggi dibanding *client* lain saat komunikasi bersamaan maupun tidak bersamaan.

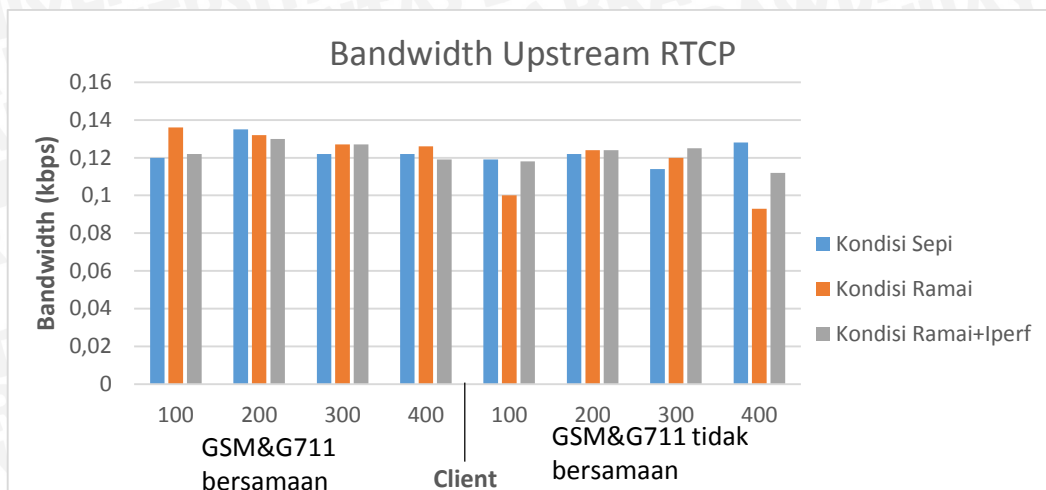


Gambar 6. 1 Bandwidth upstream VoIP dengan RTP

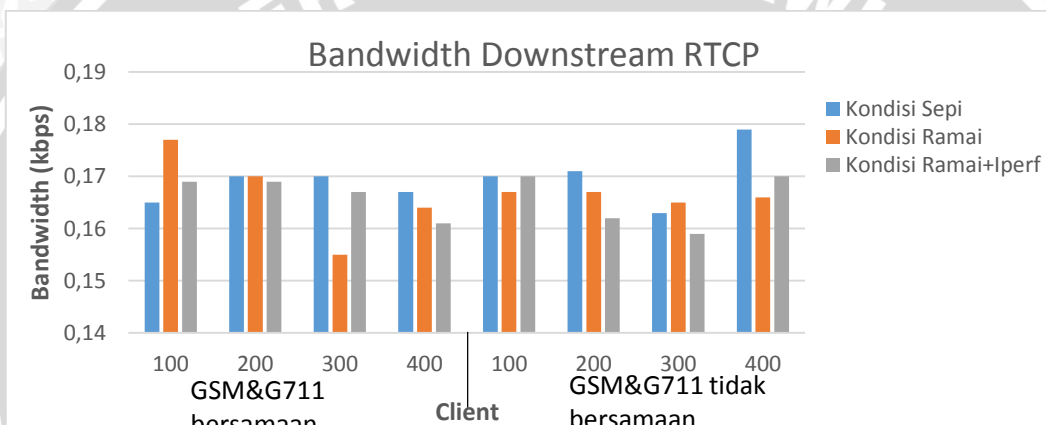


Gambar 6. 2 Bandwidth downstream VoIP dengan RTP

Gambar 6.3 dan Gambar 6.4 menunjukkan grafik *bandwidth upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Pada grafik *upstream* maupun *downstream* menunjukkan nilai *bandwidth* semua *client* cenderung stabil di berbagai kondisi.



Gambar 6. 3 Bandwidth upstream VoIP dengan RTCP



Gambar 6. 4 Bandwidth downstream VoIP dengan RTCP

6.2 Delay

Dari pengambilan data yang telah dilakukan diperoleh nilai *delay* yang dibutuhkan dalam komunikasi VoIP dengan *codec* GSM dan G.711 untuk masing-masing kondisi. Tabel 6.3 menunjukkan nilai *delay* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTP. Tabel 6.4 menunjukkan nilai *delay* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTCP.

Tabel 6. 3 Delay protokol RTP

ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai + lperf		Sepi		Ramai		Ramai + lperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	1,1	1,5	1,7	1,8	1,6	1,6	1,9	1,5	6,9	1,9	5,3	1,6
200	1,6	1,2	1	1,4	1	1	1	1,9	1,2	7,1	1	1
300	1,1	1,6	1,1	2,1	1,1	2	1	1,8	1	3,9	1	6,04
400	1,6	1,5	2,1	1,9	1,7	1,7	1,5	1,4	3,7	1,8	3,6	1,6
Rata-rata	1,35	1,45	1,48	1,80	1,35	1,58	1,35	1,65	3,20	3,68	2,73	2,56
Rata-rata	1,4		1,64		1,46		1,5		3,44		2,64	

Keterangan: U= *Upstream*

D= *Downstream*

Hasil dari Tabel 6.3 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *delay* untuk *upstream* sebesar 1,35 ms dan untuk *downstream* sebesar 1,45 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *delay upstream* sebesar 1,48 ms dan *downstream* sebesar 1,8 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *delay upstream* sebesar 1,35 ms dan *downstream* sebesar 1,58 ms. Sedangkan untuk komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan dengan menggunakan protokol RTP pada kondisi sepi membutuhkan *delay* untuk *upstream* sebesar 1,35 ms dan *downstream* 1,65 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *delay upstream* sebesar 3,2 ms dan *downstream* 3,68 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *delay upstream* sebesar 2,73 ms dan *downstream* sebesar 2,56 ms.

Tabel 6. 4 Delay prtokol RTCP

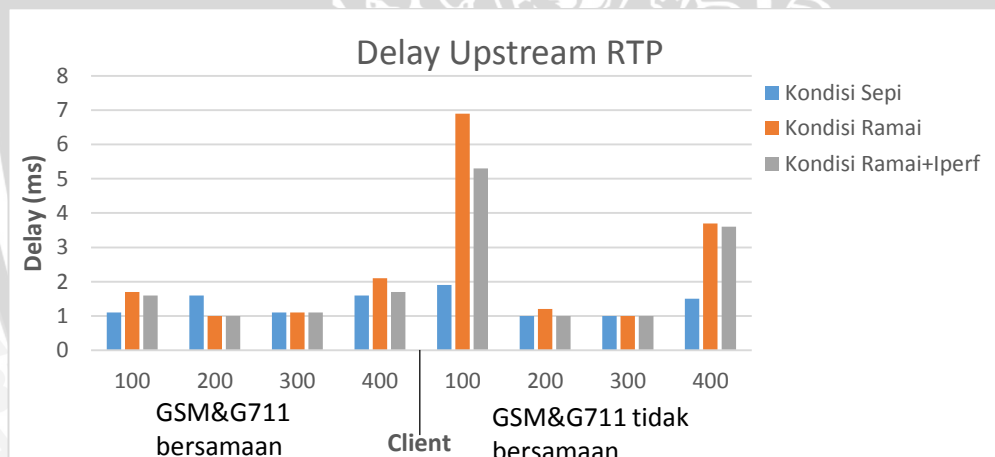
ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai + lperf		Sepi		Ramai		Ramai+ lperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	9,83	4,77	8,44	4,62	9,87	4,71	9,96	4,74	12,06	4,86	11,21	4,74
200	9,75	4,76	9,56	4,69	9,94	4,82	10,01	4,74	10,13	4,73	10,25	4,76
300	10,35	4,77	9,81	4,70	10,05	4,79	10,01	4,74	10,00	4,75	10,23	4,79
400	9,81	4,75	17,37	5,24	10,11	4,83	9,66	4,65	13,04	4,84	12,59	4,79
Rata-rata	9,94	4,76	11,3	4,81	9,99	4,79	9,91	4,72	11,3	4,80	11,07	4,77
Rata-rata	7,35		8,05		7,39		7,31		8,05		7,92	

Keterangan: U= *Upstream*

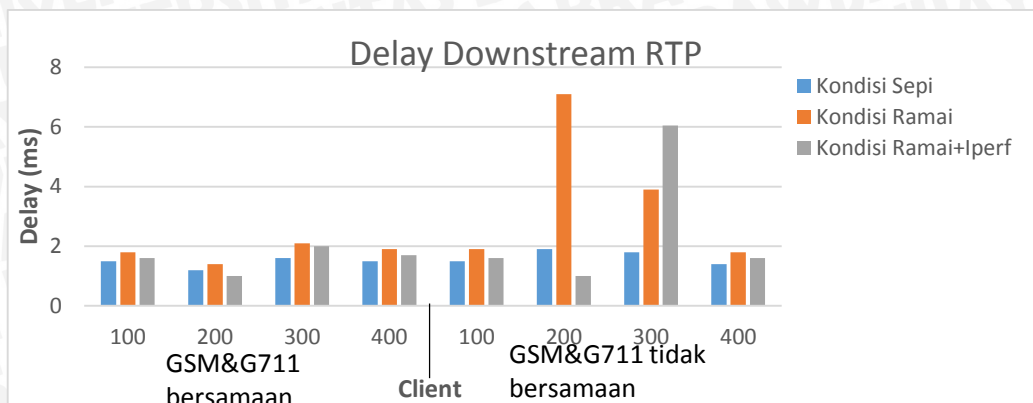
D= *Downstream*

Pada tabel 6.4 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTCP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *delay* untuk *upstream* sebesar 9,94 ms dan untuk *downstream* sebesar 4,76 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *delay upstream* sebesar 11,3 ms dan *downstream* sebesar 4,81 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *delay upstream* sebesar 9,99 ms dan *downstream* sebesar 4,79 ms. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan menggunakan protokol RTCP pada kondisi sepi membutuhkan *delay* untuk *upstream* sebesar 9,91 ms dan untuk *downstream* sebesar 4,72 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *delay upstream* sebesar 11,3 ms dan *downstream* sebesar 4,8 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *delay upstream* sebesar 11,07 ms dan *downstream* sebesar 4,77 ms.

Gambar 6.5 dan Gambar 6.6 menunjukkan grafik *delay upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Dari grafik *upstream* maupun *downstream* terlihat bahwa saat komunikasi tidak bersamaan nilai *delay* cenderung lebih tinggi dibanding saat komunikasi tidak bersamaan.

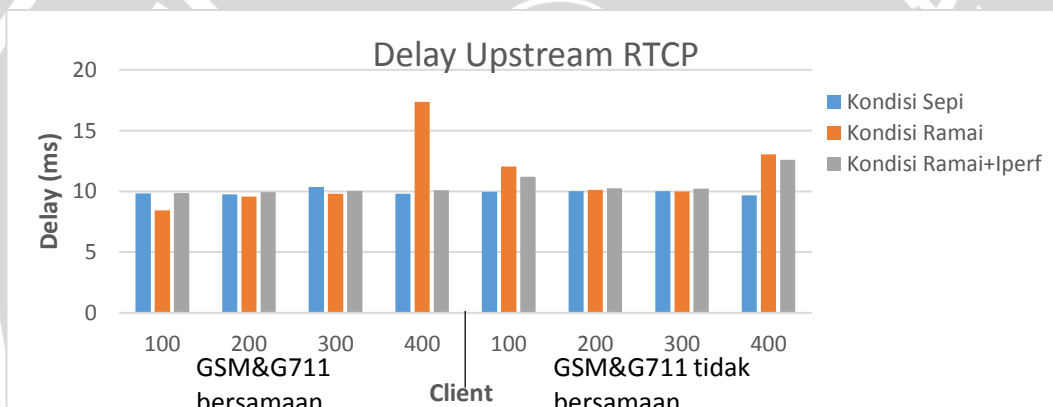


Gambar 6. 5 Delay upstream RTP

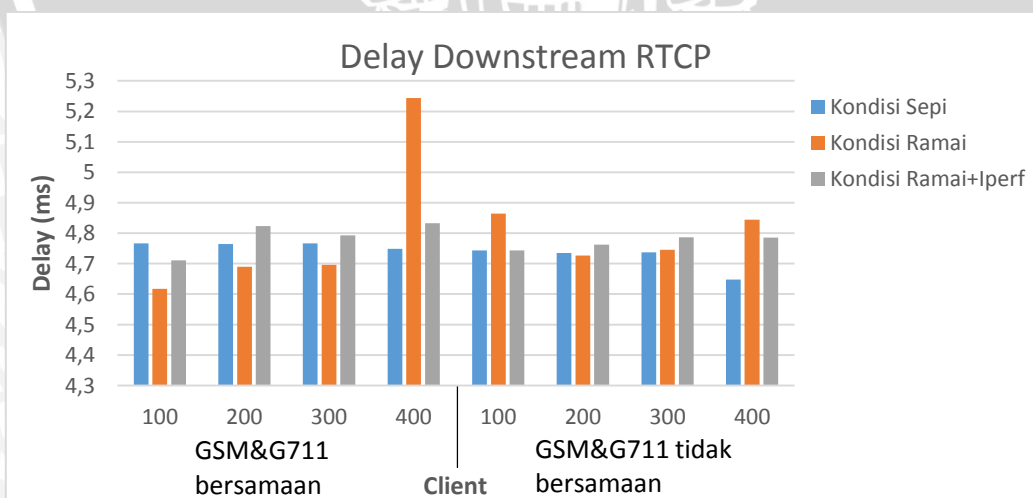


Gambar 6. 6 Delay downstream RTP

Gambar 6.7 dan Gambar 6.8 menunjukkan grafik *delay upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTCP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Grafik *upstream* maupun *downstream* terlihat bahwa nilai *delay* dari ketiga kondisi cenderung stabil.



Gambar 6. 7 Delay upstream RTCP



Gambar 6. 8 Delay downstream RTCP

6.3 Jitter

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai *delay* yang dibutuhkan dalam komunikasi VoIP dengan *codec* GSM dan G.711. Tabel 6.5 menunjukkan nilai *jitter* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTP. Tabel 6.6 menunjukkan nilai *jitter* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTCP.

Tabel 6. 5 Jitter protokol RTP

ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+ lperf		Sepi		Ramai		Ramai+ lperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	0,80	7,91	3,25	26,43	2,04	21,32	4,10	9,17	45,25	17,05	34,96	10,20
200	0,60	5,19	1,72	13,18	0,55	16,17	0,61	14,45	0,61	63,50	0,61	47,90
300	0,05	4,70	6,30	29,89	5,77	24,09	0,61	17,59	0,62	47,23	0,61	64,52
400	0,77	7,71	4,61	19,28	0,88	23,74	1,50	10,09	23,32	16,69	18,57	10,88
Rata-rata	0,56	6,38	3,97	22,19	2,31	21,33	1,71	12,83	17,45	36,12	13,69	33,38
Rata-rata	3,47		13,08		11,82		7,27		26,78		23,53	

Keterangan: U= *Upstream*

D= *Downstream*

Pada tabel 6.5 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *jitter* untuk *upstream* sebesar 0,56 ms dan untuk *downstream* sebesar 6,38 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *jitter upstream* sebesar 3,97 ms dan *downstream* sebesar 22,19 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *jitter upstream* sebesar 2,31 ms dan *downstream* sebesar 21,33 ms. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan menggunakan protokol RTP pada kondisi sepi membutuhkan *jitter* untuk *upstream* sebesar 1,71 ms dan untuk *downstream* sebesar 12,83 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *jitter upstream* sebesar 17,45 ms dan *downstream* sebesar 36,12 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *jitter upstream* sebesar 13,69 ms dan *downstream* sebesar 33,38 ms.

Tabel 6. 6 Jitter protokol RTCP

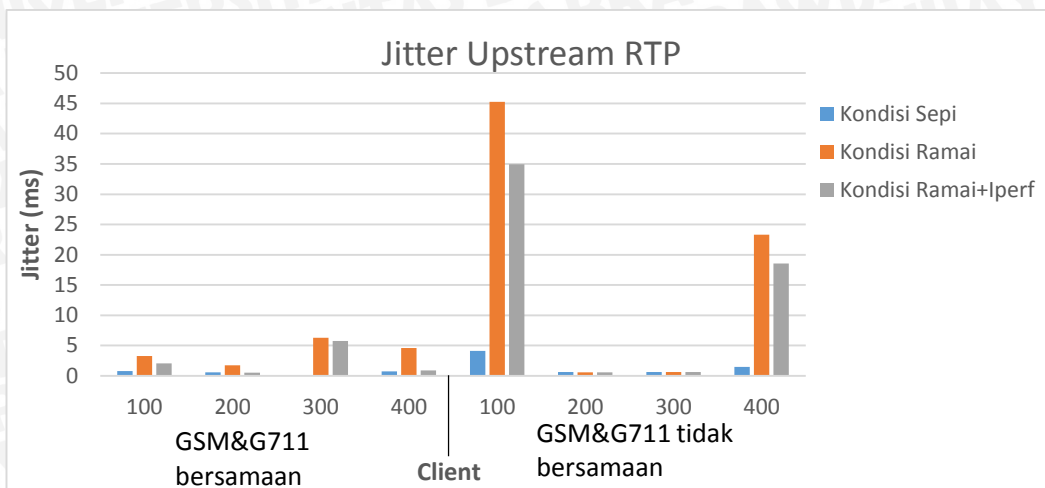
ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+lper f		Sepi		Ramai		Ramai+lper f	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	92,4	41,1	121,4	130,6	173,6	103,5	60,8	156,2	208,5	370,5	116,4	226,5
200	53,1	3,4	140,8	13,0	126,4	3,7	158,2	3,4	334,0	3,3	191,3	3,2
300	68,8	0,0	196,8	49,4	116,2	48,1	74,1	3,0	191,1	3,9	145,2	3,2
400	99,4	46,8	291,0	179,7	181,2	142,7	89,0	126,6	103,9	214,7	84,3	258,5
Rata - rata	78,4	22,8	187,5	93,2	149,4	74,5	95,5	72,3	209,4	148,1	134,3	122,9
Rata-rata	50,6		140,3		111,9		83,9		178,7		128,6	

Keterangan: U= *Upstream*

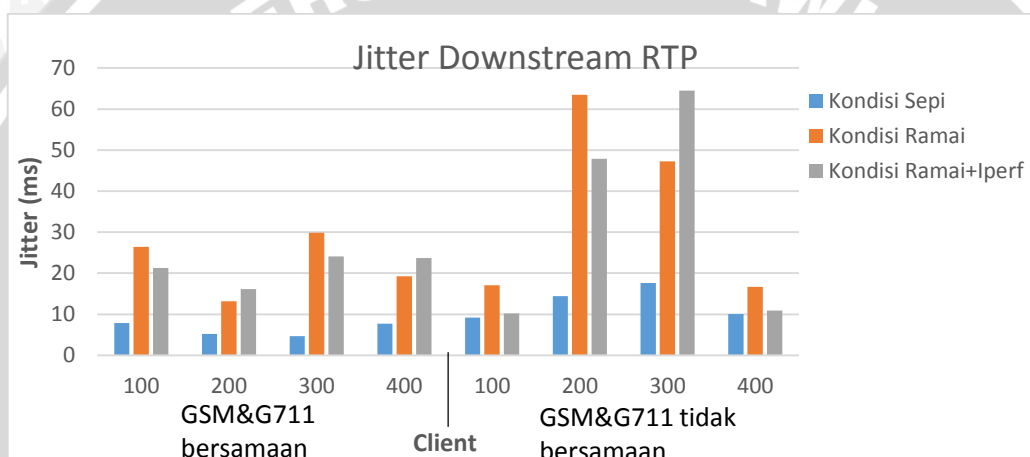
D= *Downstream*

Pada tabel 6.6 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTCP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *jitter* untuk *upstream* sebesar 78,4 ms dan untuk *downstream* sebesar 22,8 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *jitter upstream* sebesar 187,5 ms dan *downstream* sebesar 93,2 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *jitter upstream* sebesar 149,4 ms dan *downstream* sebesar 74,5 ms. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan menggunakan protokol RTCP pada kondisi sepi membutuhkan *jitter* untuk *upstream* sebesar 95,5 ms dan untuk *downstream* sebesar 72,3 ms. Pada kondisi ramai membutuhkan *jitter upstream* sebesar 209,4 ms dan *downstream* sebesar 148,1 ms. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *jitter upstream* sebesar 134,3 ms dan *downstream* sebesar 122,9 ms.

Grafik *jitter upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan dapat dilihat pada Gambar 6.9 dan Gambar 6.10. Pada grafik *upstream* nilai *jitter* lebih tinggi saat komunikasi tidak bersamaan. Pada grafik *downstream* nilai *jitter* cenderung lebih tinggi saat kondisi ramai.

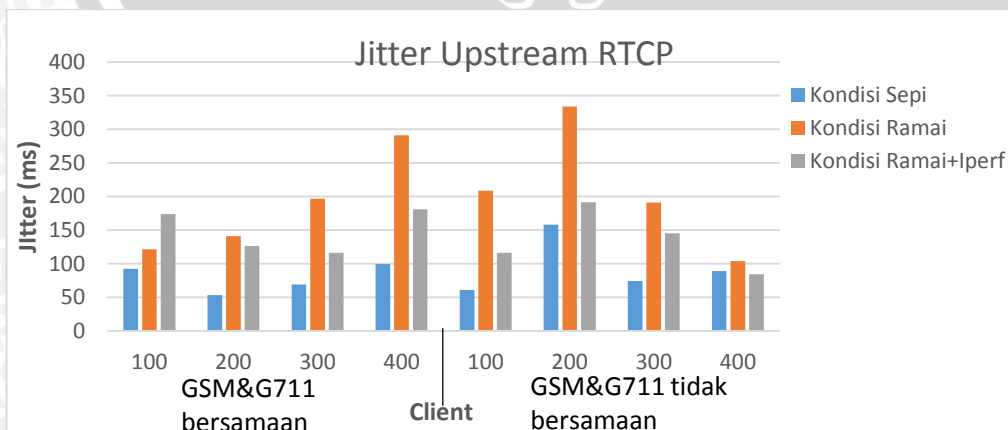


Gambar 6. 9 Jitter Upstream RTP

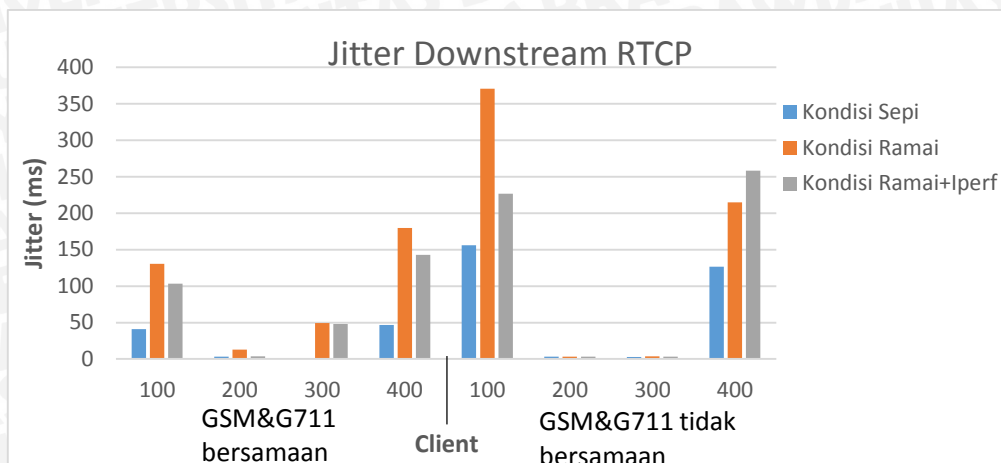


Gambar 6. 10 Jitter downstream RTP

Gambar 6.11 dan Gambar 6.12 menunjukkan grafik *jitter upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTCP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Pada grafik *upstream* terlihat bahwa pada kondisi ramai nilai *jitter* cenderung lebih tinggi dan pada grafik *downstream* nilai *jitter* tinggi saat kondisi ramai pada *client* 100 dan 400.



Gambar 6. 11 Jitter upstream RTCP



Gambar 6. 12 Jitter Downstream RTCP

6.4 Packet Loss

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh nilai *delay* yang dibutuhkan dalam komunikasi VoIP dengan *codec* GSM dan G.711. Tabel 6.7 menunjukkan nilai *packet loss* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTP. Tabel 6.8 menunjukkan nilai *packet loss* dari komunikasi dengan menggunakan protokol RTCP.

Tabel 6. 7 Packet loss protokol RTP

ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+Iperf		Sepi		Ramai		Ramai+Iperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	0	0,02	0	0,64	0	0,28	0,1	0,03	20,77	2,61	8,32	0,01
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0,03	0,02	8,8	4,67	0,78	1,54	0,14	1,9	11,96	0,91	2,52	0,16
Rata-rata	0,01	0,01	2,2	1,33	0,2	0,46	0,06	0,48	8,18	0,88	2,71	0,04
Rata-rata	0,01		1,76		0,33		0,27		4,53		1,38	

Keterangan: U= *Upstream*

D= *Downstream*

Pada tabel 6.7 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *packet loss* untuk *upstream* sebesar 0,0075% dan untuk *downstream* sebesar 0,01%. Pada kondisi ramai membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 2,2% dan *downstream* sebesar 1,33%. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 0,2% dan *downstream* sebesar 0,46%. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak

bersamaan menggunakan protokol RTP pada kondisi sepi membutuhkan *packet loss* untuk *upstream* sebesar 0,06% dan untuk *downstream* sebesar 0,48%. Pada kondisi ramai membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 8,18% dan *downstream* sebesar 0,88%. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 2,71% dan *downstream* sebesar 0,04%.

Tabel 6. 8 Packet loss protokol RTCP

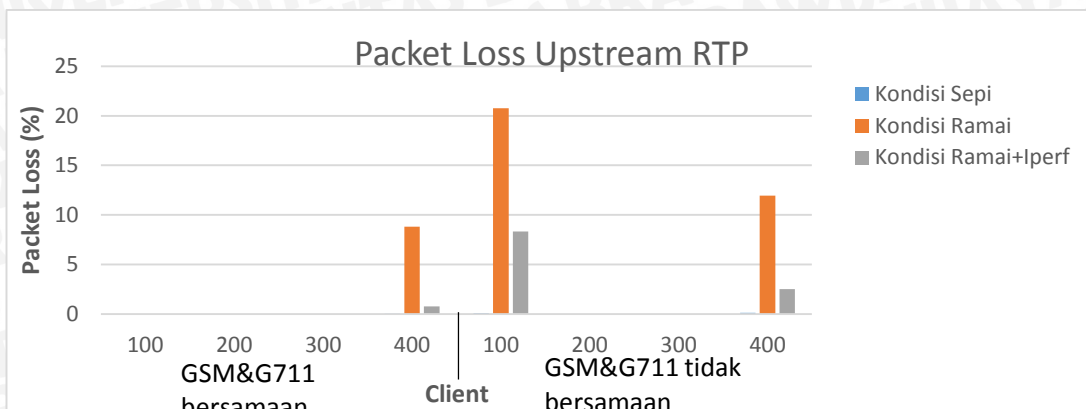
ID Client	GSM & G.711 komunikasi bersamaan						GSM & G.711 komunikasi tidak bersamaan					
	Sepi		Ramai		Ramai+ lperf		Sepi		Ramai		Ramai+ lperf	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
100	0	0	0	17,5	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0
400	0	1,2	0	6,9	0	0	0	0,1	0	3,1	0	0
Rata - rata	0	0,3	0	6,1	0	0,03	0	0,03	0	0,8	0	0,03
Rata-rata	0,15		3,05		0,01		0,01		0,4		0,01	

Keterangan: U= *Upstream*

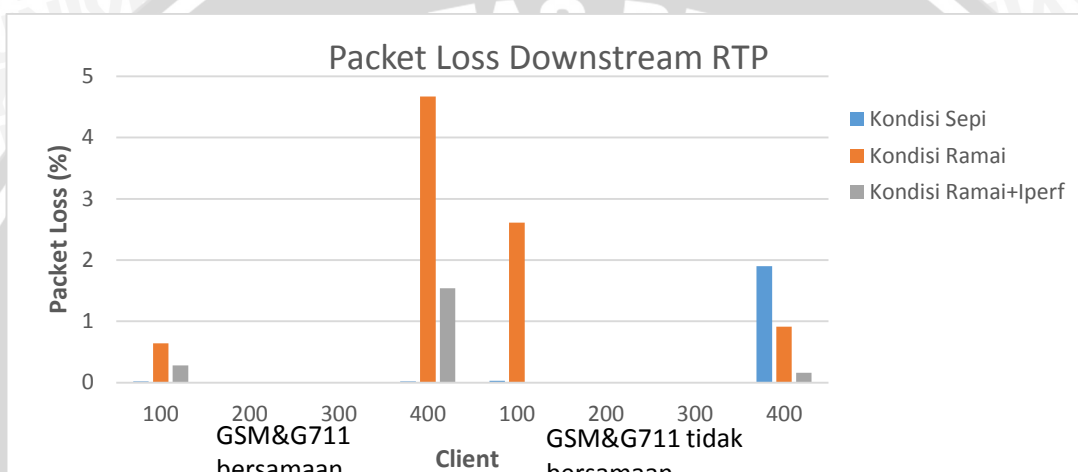
D= *Downstream*

Pada tabel 6.8 dapat dilihat bahwa implementasi VoIP menggunakan protokol RTCP pada komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan pada kondisi sepi membutuhkan *packet loss* untuk *upstream* sebesar 0,0% dan untuk *downstream* sebesar 0,3%. Pada kondisi ramai membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 0,0% dan *downstream* sebesar 6,1%. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 0,0% dan *downstream* sebesar 0,03%. Sedangkan untuk komunikasi dengan *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan menggunakan protokol RTCP pada kondisi sepi membutuhkan *packet loss* untuk *upstream* sebesar 0,0% dan untuk *downstream* sebesar 0,03%. Pada kondisi ramai membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 0,0% dan *downstream* sebesar 0,8%. Pada kondisi ramai dengan beban membutuhkan *packet loss upstream* sebesar 0,0% dan *downstream* sebesar 0,03%.

Gambar 6.13 dan Gambar 6.14 menunjukkan grafik *packet loss upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Pada grafik *upstream* terlihat bahwa pada kondisi ramai nilai *packet loss* cenderung lebih tinggi dibanding kondisi lainnya pada *client* 400. Pada grafik *downstream* terlihat nilai *packet loss* pada *client* 100 dan 400 lebih tinggi dibanding *client* 200 dan 300

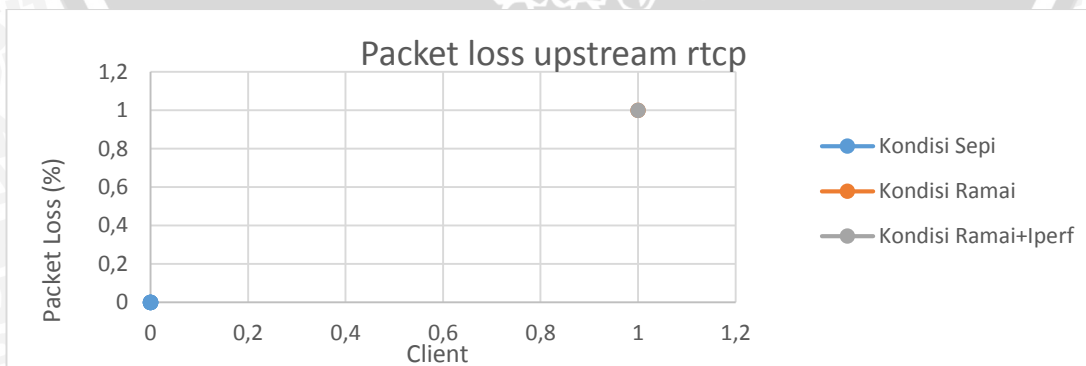


Gambar 6. 13 Packet loss upstream RTP

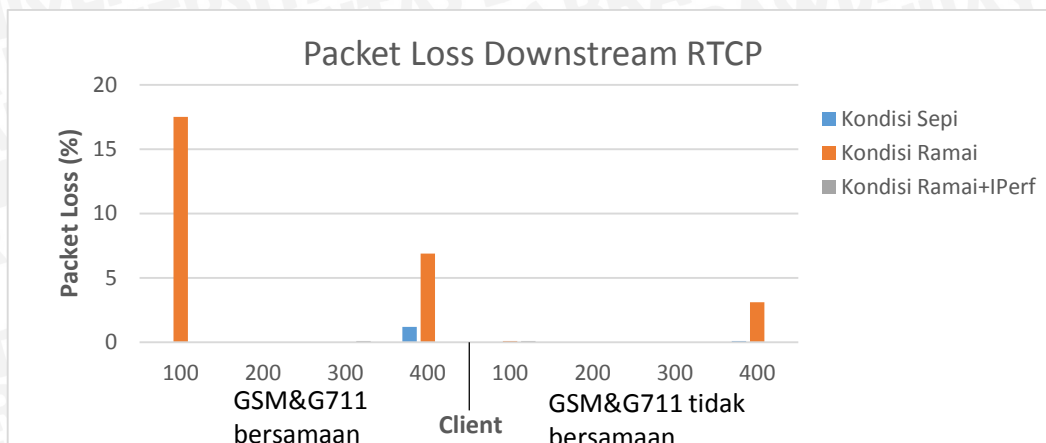


Gambar 6. 14 Packet loss downstream RTP

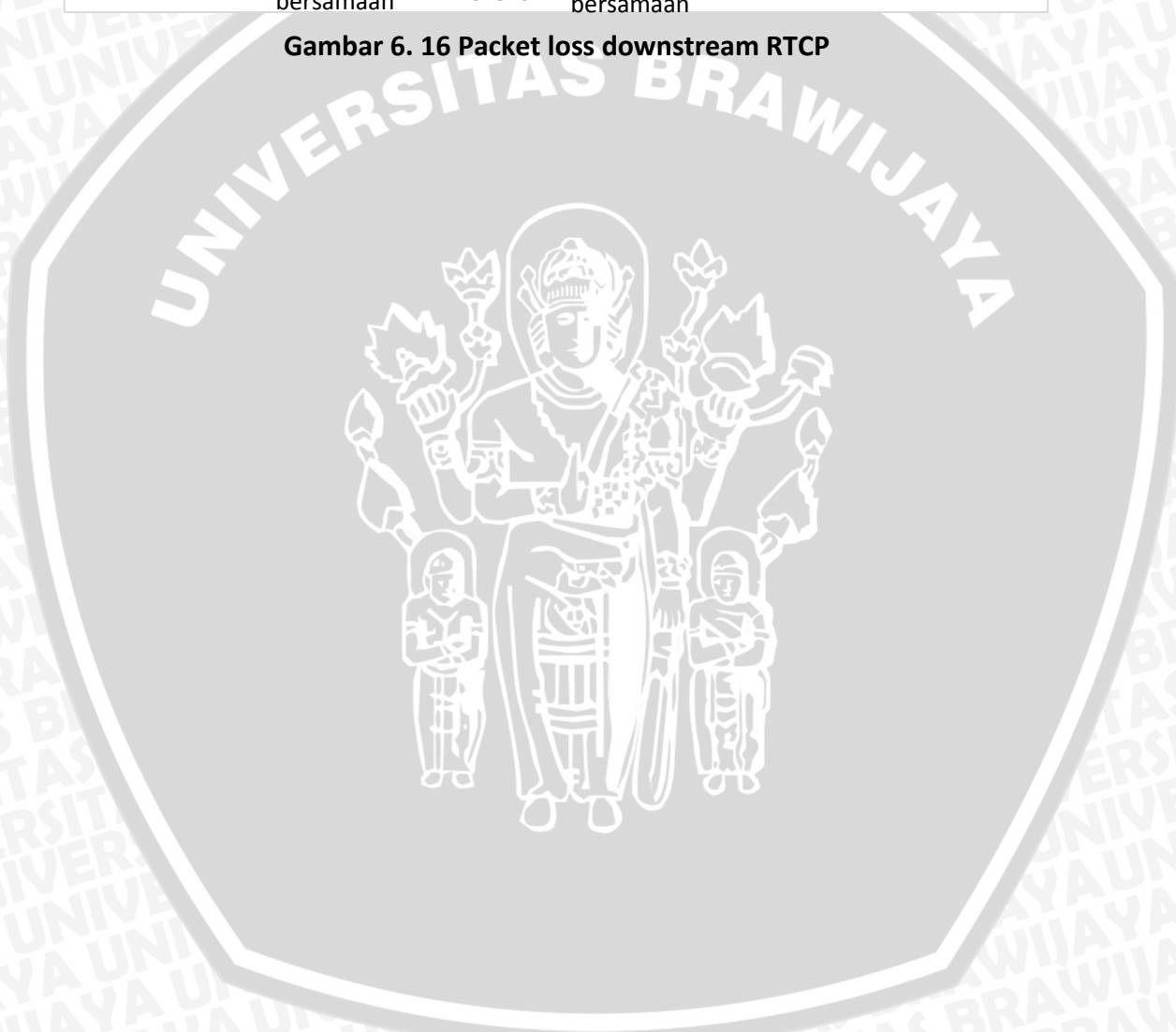
Gambar 6.15 dan Gambar 6.16 menunjukkan grafik *packet loss upstream* dan *downstream* dengan menggunakan protokol RTCP dan cara komunikasi antar *client* dengan bersamaan dan tidak bersamaan. Pada grafik *upstream* terlihat bahwa pada kondisi sepi, ramai maupun ramai+iperf grafik menunjukkan nilai 0.00%. Pada grafik *downstream* terlihat bahwa pada kondisi ramai nilai *packet loss* cenderung lebih tinggi dibanding kondisi lainnya.



Gambar 6. 15 Packet loss upstream RTCP



Gambar 6. 16 Packet loss downstream RTCP



BAB 7 PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Protokol RTP & RTCP dapat berjalan bersamaan dengan *codec* GSM & G.711, sehingga pengguna dapat memilih menggunakan protokol atau *codec* yang terbaik dan sesuai dengan kebutuhan.
2. Kualitas layanan VoIP dipengaruhi oleh pemilihan protokol saat berkomunikasi. Protokol RTP memiliki nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss* lebih kecil daripada RTCP. Hal tersebut dikarenakan cara kerja RTCP yang lebih kompleks dibanding RTP yaitu melakukan pemantauan pada kondisi jaringan tersebut untuk menentukan kualitas yang digunakan. Penggunaan *codec* juga mempengaruhi kualitas layanan VoIP. Saat menggunakan *codec* GSM nilai *bandwidth*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* lebih kecil dibanding menggunakan *codec* G.711 karena bit rate yang digunakan GSM yaitu 13 kbps. Kualitas layanan VoIP juga dipengaruhi oleh kondisi jaringan yang digunakan. Pada kondisi jaringan sepi, nilai dari keempat parameter lebih kecil dibanding kondisi ramai dan ramai ditambah beban iperf. Jadi, komunikasi menggunakan protokol RTP dengan *codec* GSM merupakan kombinasi terbaik untuk melakukan komunikasi VoIP dilihat dari nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang kecil.

7.2 Saran

Saran untuk pengembangan sistem komunikasi VoIP selanjutnya antara lain:

1. Pengujian komunikasi VoIP dapat dikembangkan untuk menguji kualitas suara saat berkomunikasi.
2. Komunikasi VoIP dapat dikembangkan untuk media komunikasi berupa *video* atau *conference*.
3. Pengujian dilakukan pada skala jaringan yang lebih luas.

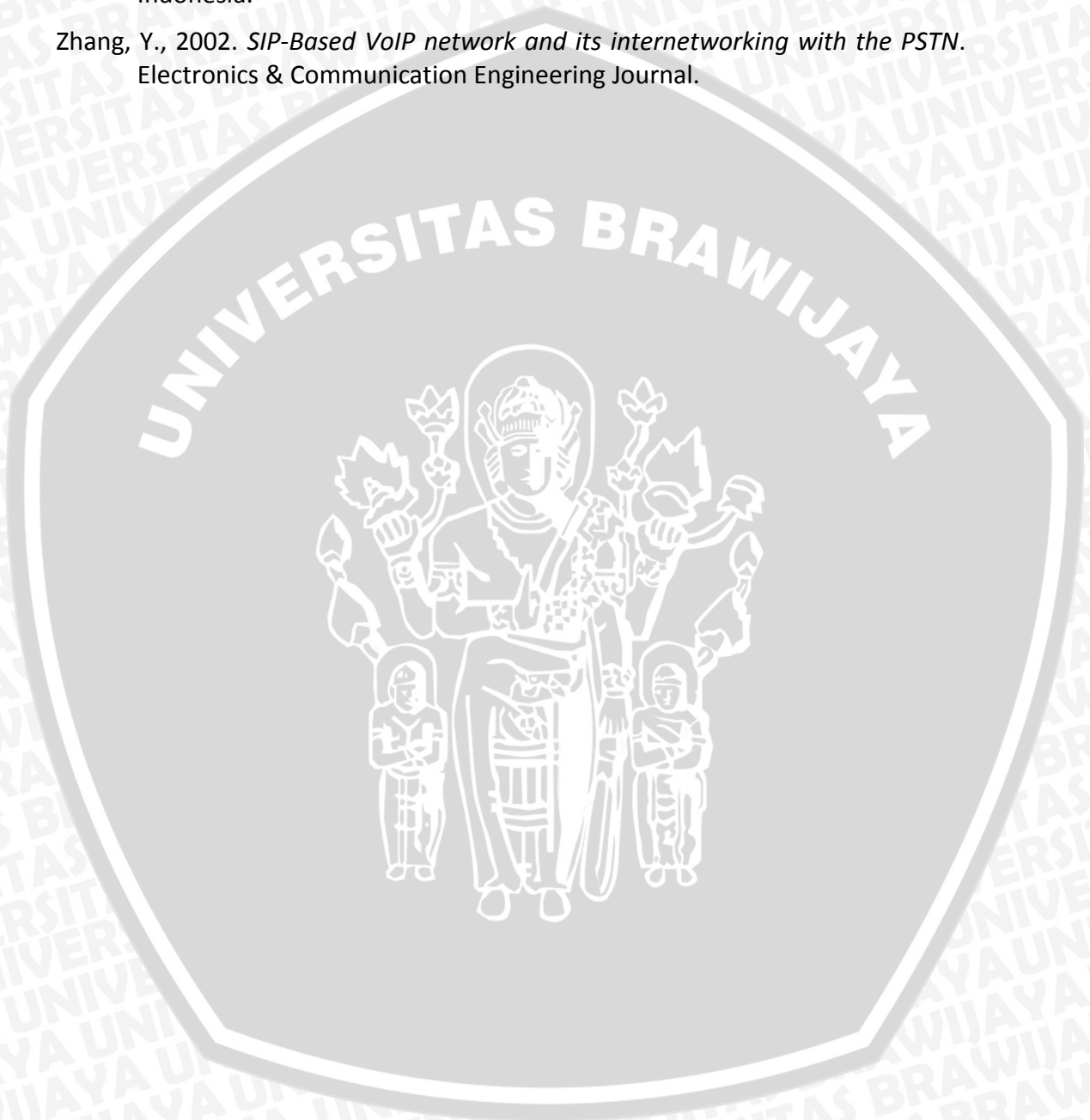
DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S.R., 2012. Konfigurasi sederhana Asterisk PBX dengan SIP Phone Client dan SIP Phone Software Based. *Sabriansyah R.A Blog*, [Online] Tersedia di: <<http://sabrian.lecture.ub.ac.id/2012/04/konfigurasi-sederhana-asterisk-pbx-dengan-sip-phone-client-dan-sip-phone-software-based/>> [Diakses 5 Mei 2015].
- Basuki, M., 2009. *Voice Over IP*. [pdf] Tersedia di: <<http://ilmukomputer.org>> [Diakses 2 Maret 2015].
- Cisco, 2006. *Voice Over IP – Per Call Bandwidth Consumption*. [Online] Tersedia di: <<http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bandwidth-consume.html>> [Diakses 20 Agustus 2015].
- Darmawan, A., Nur, A. & Setio, B., 2010. Analisa QoS pada Codec G711 dalam Jaringan VoIP Berbasis Protokol SIP. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Goode, B., 2002. *Voice over Internet Protocol (VoIP)*. IEEE.
- GL Communications Inc, 2014. *Voice Codecs*. [Online] Tersedia di: <<http://www.gl.com/voice-codecs.html>> [Diakses 7 September 2015].
- Iskandarsyah, M., 2003. *Dasar-dasar Jaringan VoIP*. [pdf] Tersedia di: <<http://ilmukomputer.org>> [Diakses 2 Maret 2015].
- Liu, C., 2000. *Multimedia Over IP: RSVP, RTP, RTCP, RTSP*. [pdf] Tersedia di: <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/ip_multimedia/index.htm> [Diakses 13 Januari 2015].
- Luthra, P., Sharma, M., 2012. Performance Evaluation of Audio Codecs using VoIP Traffic in Wireless LAN using RSVP. *International Journal of Computer Applications*, 40(7), p.15-21.
- Mehta, P., Udani, S., 2001. *Voice over IP: Sounding good on the Internet*. IEEE Potentials.
- Rohan, D., 2013a. The difference between RTP and RTCP. *Thoughts on unix, networking, storage, security and web technologies*, [Online] Tersedia di: <<http://jumboframe.net/jumboframe/2013/7/9/the-difference-between-rtp-and-rtcp>> [Diakses 13 Agustus 2015].
- Rohan, D., 2013b. Why is RTCP a “sister” protocol of RTP?. *Quora*, [Online] Tersedia di: <<https://www.quora.com/Why-is-RTCP-a-sister-protocol-of-RTP>> [Diakses 13 Agustus 2015].
- Saputra, A.T., 2010. Implementasi dan Analisa Unjuk Kerja Secure VoIP pada Jaringan VPN Berbasis MPLS dengan Menggunakan Tunneling IPsec. S1. Universitas Indonesia.

Telecompute Corporation, 2015. *Telecompute Local Telephone Network*. [Online] Tersedia di: <<http://telecompute.com/telecompute-local-telephone-network/>> [Diakses 12 Desember 2015].

Wulandari, H., 2010. *Pembangunan Simulasi dan Analisa Kinerja Optimalisasi VoIP-SIP dengan Resource Reservation Protocol (RSVP)*. S1. Universitas Indonesia.

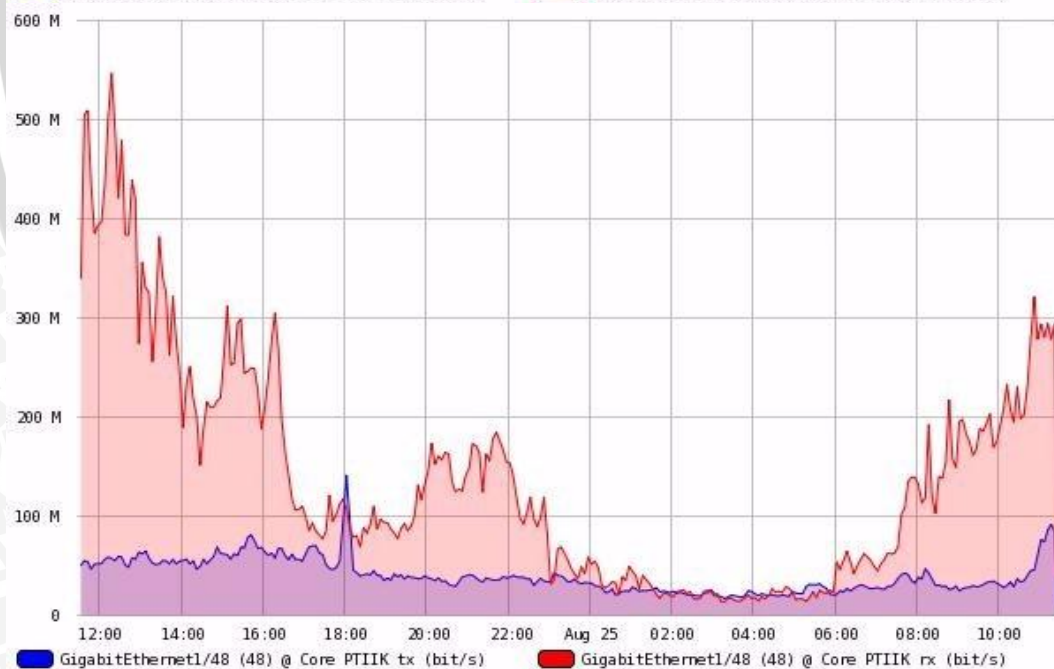
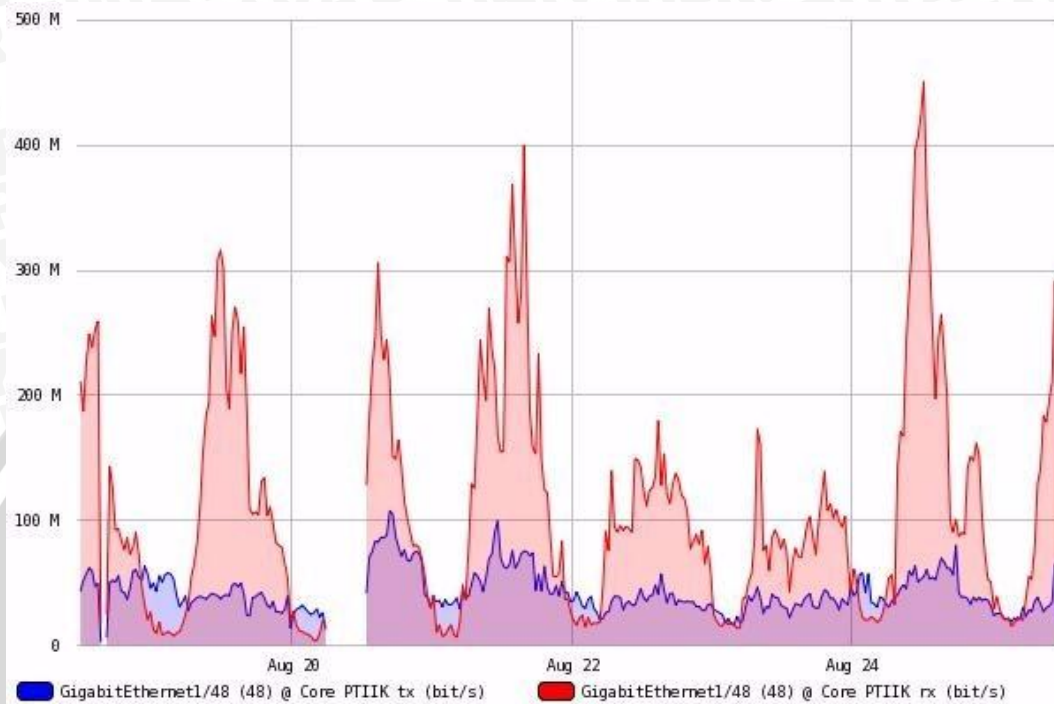
Zhang, Y., 2002. *SIP-Based VoIP network and its internetworking with the PSTN*. *Electronics & Communication Engineering Journal*.



LAMPIRAN

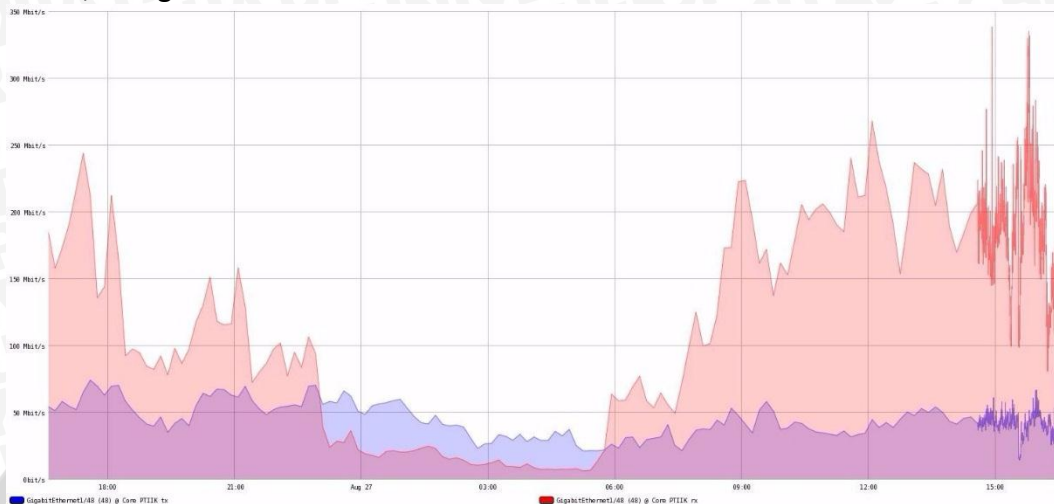
Lampiran 1 Data Trafik Jaringan FILKOM

Trafik Satu Minggu Sebelum Pengujian

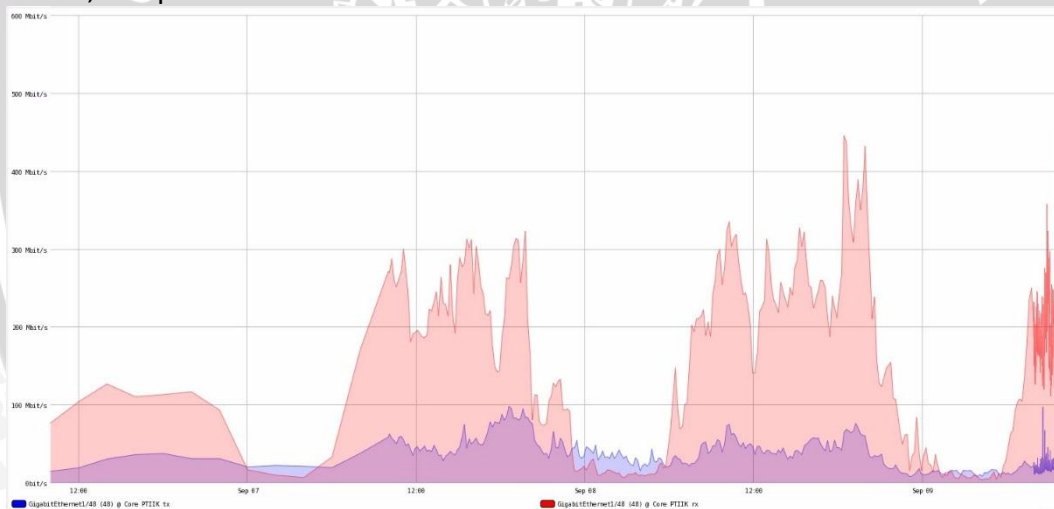


Trafik Satu Hari Sebelum Pengujian

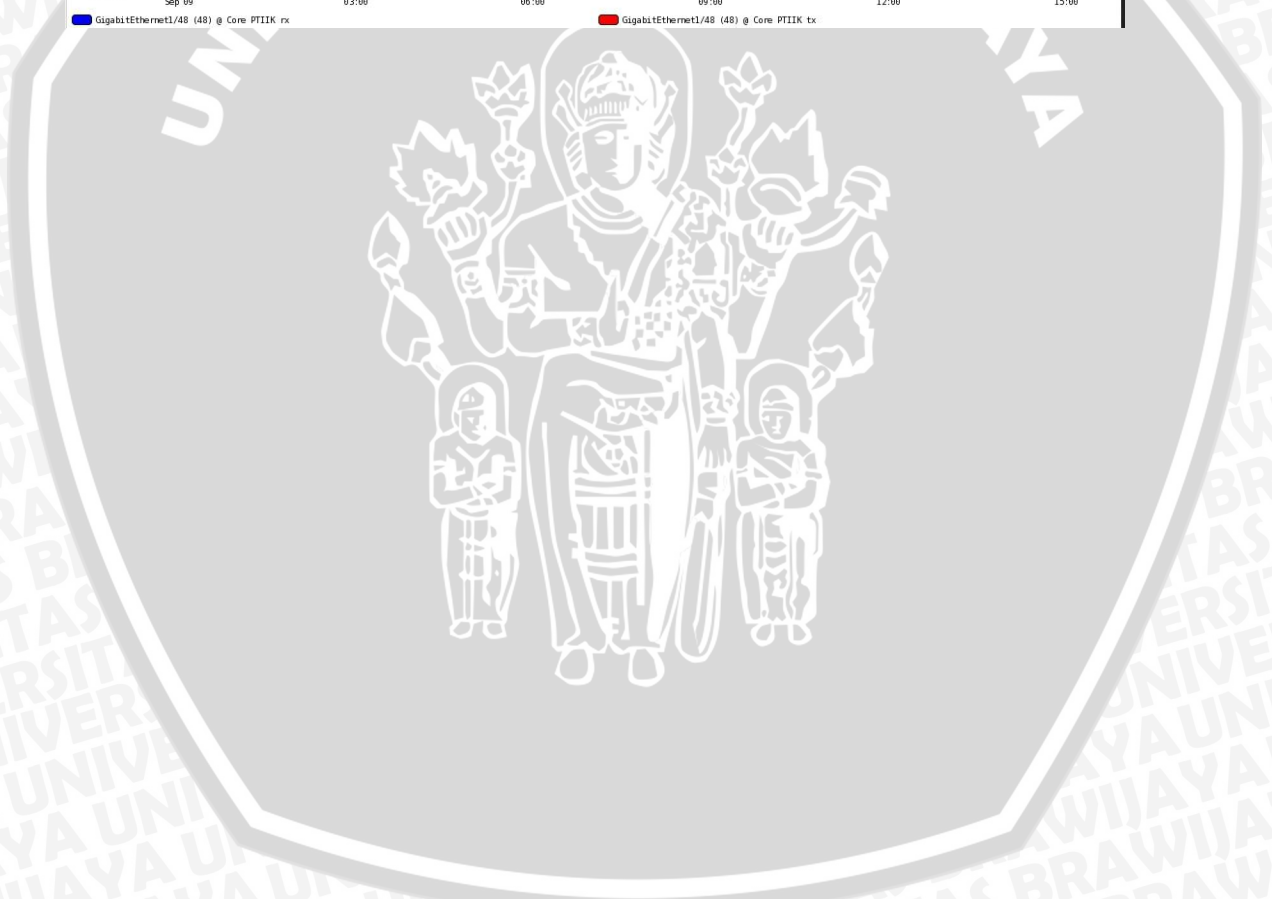
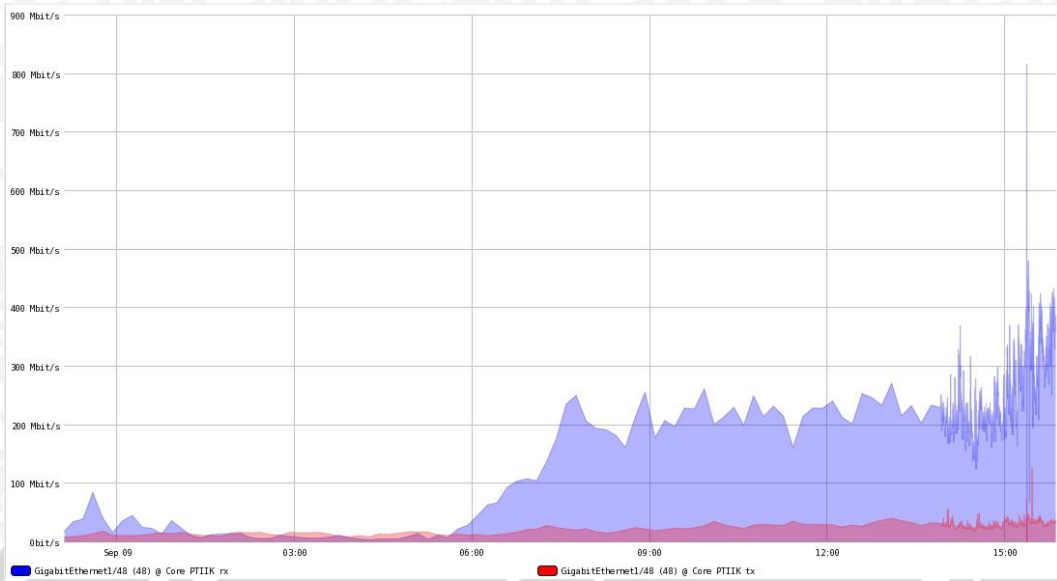
Kamis, 27 Agustus 2015



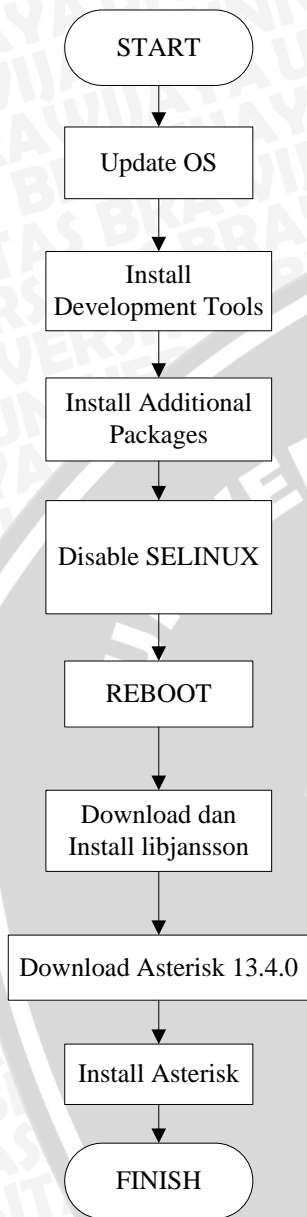
Selasa, 8 September 2015



Trafik Pengujian Hari Rabu, 9 September 2015



Lampiran 2 Diagram Alir Instalasi Server Asterisk



Lampiran 3 Konfigurasi *sip.conf* dan *extensions.conf*• *sip.conf*

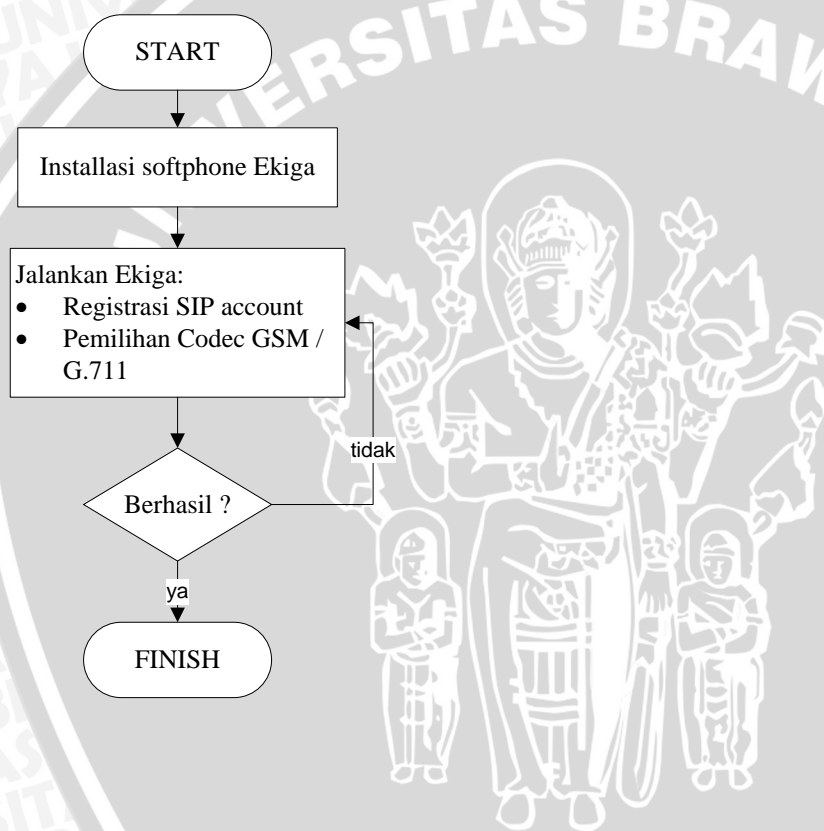
```
1 [general]
2 context=default
3 allowoverlap=no
4 allowguest=yes
5 canreinvite=yes
6 allowanonymous=yes
7 bindport=5060
8 bindaddr=0.0.0.0
9 disallow=all
10 allow=alaw
11 allow=ulaw
12 allow=gsm
13 allow=g711
14
15 [100]
16 context=default
17 type=friend
18 username=100
19 secret=100
20 nat=yes
21 qualify=yes
22 host=dynamic
23 dtmfmode=rfc2833
24 callerid=100
25
26 [200]
27 context=default
28 type=friend
29 username=200
30 secret=200
31 nat=yes
32 qualify=yes
33 host=dynamic
34 dtmfmode=rfc2833
35 callerid=200
36
37 [300]
38 context=default
39 type=friend
40 username=300
41 secret=300
42 nat=yes
43 qualify=yes
44 host=dynamic
45 dtmfmode=rfc2833
46 callerid=300
47
48 [400]
49 context=default
50 type=friend
51 username=400
52 secret=400
53 nat=yes
54 qualify=yes
55 host=dynamic
56 dtmfmode=rfc2833
57 callerid=400
```


- *extensions.conf*

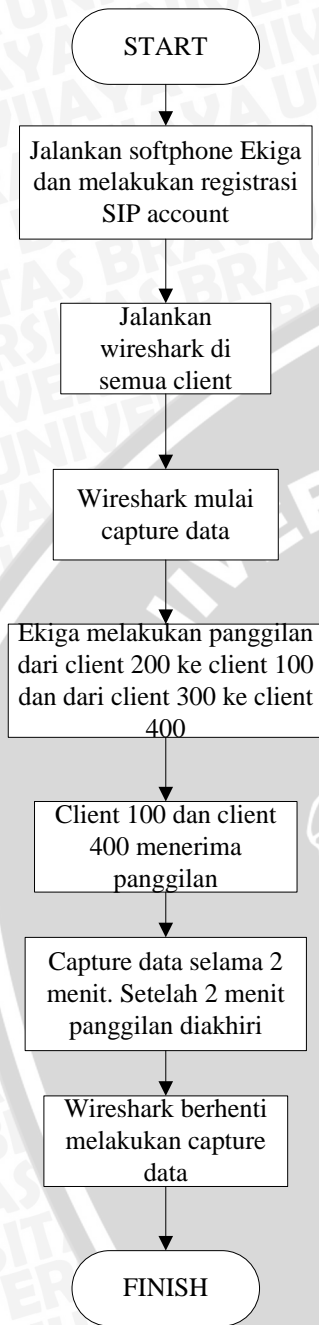
```

1 [default]
2 exten => 100,1,Dial(SIP/100,20)
3 exten => 100,2,Hangup()
4 exten => 200,1,Dial(SIP/200,20)
5 exten => 200,2,Hangup()
6 exten => 300,1,Dial(SIP/300,20)
7 exten => 300,2,Hangup()
8 exten => 400,1,Dial(SIP/400,20)
9 exten => 400,2,Hangup()
    
```

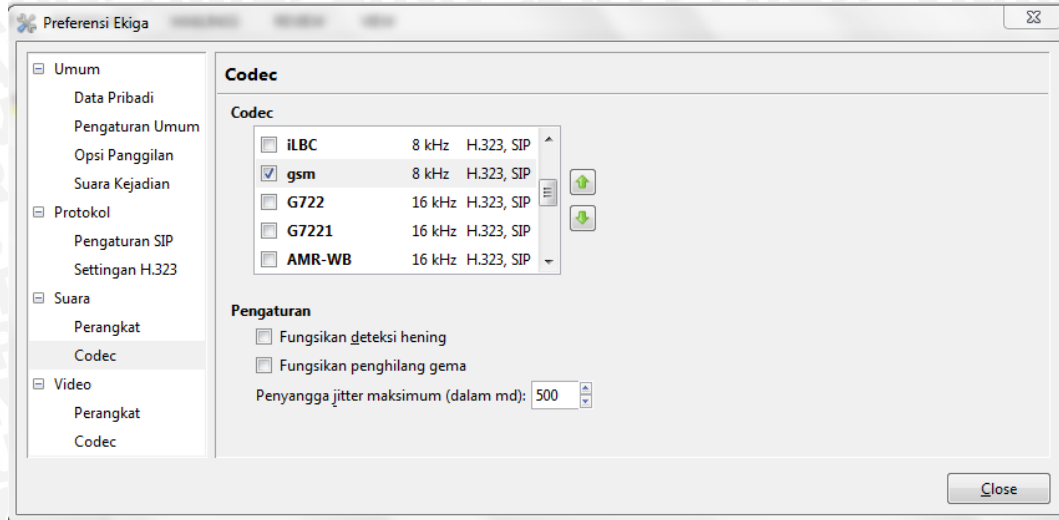
Lampiran 4 Diagram alir perancangan *softphone*



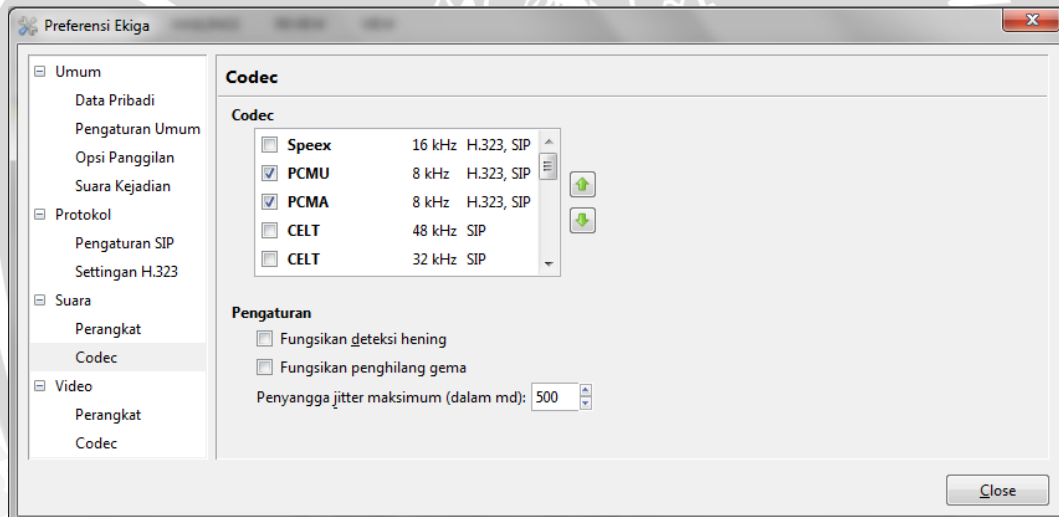
Lampiran 5 Diagram alir pengujian kualitas VoIP



Lampiran 6 Pemilihan codec GSM pada Ekiga



Lampiran 7 Pemilihan codec G.711 pada Ekiga



Lampiran 8 Pengujian Iperf

- Iperf server

```
[root@localhost ~]# iperf -s -u
```

- Iperf client sebelum panggilan

```
iperf -c 175.45.187.252 -b 32k
```

- Iperf client saat komunikasi dengan menggunakan wireless

```
iperf -c 175.45.187.252 -b 50m -t 60
```

- Iperf client saat komunikasi dengan menggunakan kabel

```
iperf -c 175.45.187.252 -b 90m -t 60
```

Hasil iperf *client* sebelum panggilan

```

CA Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Khanti>cd downloads
C:\Users\Khanti\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 32k
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[152] local 172.21.18.167 port 49373 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[152] 0.0-10.7 sec  41.6 KBytes  32.0 Kbits/sec
[152] Server Report:
[152] 0.0-10.7 sec  41.6 KBytes  32.0 Kbits/sec  20.448 ms   0/ 29 (0%)
[152] Sent 29 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>
    
```

Hasil iperf *client* saat komunikasi dengan menggunakan *wireless*

```

CA Command Prompt
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[152] local 172.21.18.167 port 60238 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[152] 0.0-61.1 sec  17.1 MBytes  2.34 Mbits/sec
[152] Server Report:
[152] 0.0-61.5 sec  17.0 MBytes  2.32 Mbits/sec  65.866 ms  62/12173 (0.51%)
[152] Sent 12173 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 50m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[152] local 172.21.18.167 port 60723 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[152] 0.0-62.0 sec  4.18 MBytes  566 Kbits/sec
[152] Server Report:
[152] 0.0-62.1 sec  4.18 MBytes  564 Kbits/sec  175.755 ms   0/ 2982 (0%)
[152] Sent 2982 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>
    
```

```

CA Command Prompt
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[156] local 172.21.18.167 port 62902 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[156] 0.0-60.5 sec  7.47 MBytes  1.04 Mbits/sec
[156] Server Report:
[156] 0.0-61.2 sec  7.46 MBytes  1.02 Mbits/sec  14.354 ms   5/ 5328 (0.094%)
[156] Sent 5328 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 50m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[152] local 172.21.18.167 port 54061 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[152] 0.0-60.3 sec  12.1 MBytes  1.69 Mbits/sec
[152] Server Report:
[152] 0.0-60.3 sec  12.0 MBytes  1.67 Mbits/sec  30.873 ms  75/ 8647 (0.87%)
[152] Sent 8647 datagrams

C:\Users\Khanti\Downloads>
    
```



Hasil iperf *client* saat komunikasi dengan menggunakan kabel

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe

C:\Users\Mikko S\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 32k
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[236] local 172.21.3.31 port 58898 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[236] 0.0-10.7 sec  41.6 KBytes  32.0 Kbits/sec
[236] Server Report:
[236] 0.0-10.7 sec  41.6 KBytes  32.0 Kbits/sec  0.157 ms  0/ 29 (0%)
[236] Sent 29 datagrams

C:\Users\Mikko S\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 90m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[236] local 172.21.3.31 port 54533 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[236] 0.0-60.0 sec  644 MBytes  90.0 Mbits/sec
[236] Server Report:
[236] 0.0-60.0 sec  644 MBytes  90.0 Mbits/sec  1.044 ms  28/459343 (0.0061%)
[236] Sent 459343 datagrams

C:\Users\Mikko S\Downloads>iperf -c 175.45.187.252 -b 90m -t 60
WARNING: option -b implies udp testing
-----
Client connecting to 175.45.187.252, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 64.0 KByte (default)
-----
[236] local 172.21.3.31 port 51991 connected with 175.45.187.252 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[236] 0.0-60.0 sec  611 MBytes  85.3 Mbits/sec
[236] Server Report:
[236] 0.0-60.0 sec  611 MBytes  85.4 Mbits/sec  1.025 ms  0/435491 (0%)
[236] Sent 435491 datagrams

```



Lampiran 9 Hasil analisis kualitas layanan VoIP

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi sepi dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
- *Codec* G.711

PengujianKe-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.19.XXX								Client 200 - 172.21.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	83,60	83,60	1,00	1,00	0,91	4,07	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,61	3,37	0,00	0,00
2	83,61	83,40	1,00	2,00	0,90	12,52	0,00	0,00	83,60	83,61	1,00	1,00	0,60	8,10	0,00	0,00
3	83,62	83,50	1,00	2,00	0,82	6,87	0,00	0,10	83,59	83,62	1,00	1,00	0,60	5,38	0,00	0,00
4	83,60	83,59	1,00	1,00	0,73	5,73	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	3,60	0,00	0,00
5	83,61	83,58	1,00	2,00	0,81	8,38	0,00	0,10	23,42	83,60	7,00	1,00	0,60	3,19	0,00	0,00
6	83,60	83,57	1,00	2,00	0,75	12,69	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	4,94	0,00	0,00
7	83,58	83,58	2,00	2,00	0,85	7,27	0,00	0,00	83,60	83,56	1,00	2,00	0,60	3,83	0,00	0,00
8	83,60	83,61	1,00	1,00	0,79	10,59	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	9,74	0,00	0,00
9	83,60	85,28	1,00	1,00	0,79	7,20	0,00	0,00	83,61	83,57	1,00	2,00	0,60	6,14	0,00	0,00
10	83,61	83,60	1,00	1,00	0,79	3,82	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	3,63	0,00	0,00
Rata-rata	83,60	83,73	1,10	1,50	0,81	7,91	0,00	0,02	77,58	83,60	1,60	1,20	0,60	5,19	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

• Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.19.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	33,98	33,99	1,00	1,00	0,05	2,56	0,00	0,00	34,01	33,98	1,00	2,00	1,04	4,25	0,00	0,00
2	33,98	33,81	1,00	2,00	0,04	8,12	0,00	0,00	33,97	33,82	2,00	2,00	0,74	12,45	0,10	0,10
3	29,26	33,78	2,00	2,00	0,05	4,72	0,00	0,00	33,97	33,99	1,00	1,00	0,80	6,88	0,00	0,00
4	33,98	33,98	1,00	1,00	0,05	2,79	0,00	0,00	33,99	33,98	1,00	2,00	0,72	5,51	0,00	0,00
5	33,98	33,99	1,00	1,00	0,05	1,70	0,00	0,00	33,97	33,98	2,00	1,00	0,69	4,74	0,00	0,00
6	33,98	33,70	1,00	2,00	0,04	5,62	0,00	0,00	33,91	33,99	2,00	1,00	0,78	12,64	0,20	0,00
7	33,98	33,98	1,00	1,00	0,05	3,21	0,00	0,00	33,97	33,97	2,00	2,00	0,71	6,22	0,00	0,10
8	33,98	32,50	1,00	2,00	0,05	10,23	0,00	0,00	33,99	33,97	1,00	2,00	0,70	10,92	0,00	0,00
9	34,01	33,96	1,00	2,00	0,05	5,39	0,00	0,00	33,97	34,02	2,00	1,00	0,76	9,48	0,00	0,00
10	33,99	33,79	1,00	2,00	0,05	2,66	0,00	0,00	33,96	34,00	2,00	1,00	0,72	4,04	0,00	0,00
Rata-rata	33,51	33,75	1,10	1,60	0,05	4,70	0,00	0,00	33,97	33,97	1,60	1,50	0,77	7,71	0,03	0,02

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi sepi dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Penguji nKe-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	81,87	83,60	2,00	1,00	1,66	7,03	0,00	0,00	83,60	81,85	1,00	2,00	0,61	9,54	0,00	0,00
2	82,58	83,35	2,00	2,00	1,23	6,72	0,00	0,10	83,60	82,56	1,00	2,00	0,61	8,65	0,00	0,00
3	83,62	83,39	1,00	2,00	0,75	4,90	0,00	0,00	83,60	83,61	1,00	1,00	0,60	4,94	0,00	0,00
4	83,28	83,59	2,00	1,00	0,97	6,19	0,00	0,00	83,60	83,29	1,00	2,00	0,61	9,29	0,00	0,00
5	76,25	83,61	2,00	1,00	3,22	10,56	0,20	0,00	83,60	76,98	1,00	2,00	0,61	14,85	0,00	0,00
6	59,96	83,60	2,00	1,00	10,39	9,87	0,10	0,00	83,60	62,12	1,00	2,00	0,61	24,93	0,00	0,00
7	61,61	83,61	2,00	1,00	8,80	9,94	0,00	0,00	83,60	62,73	1,00	2,00	0,61	19,83	0,00	0,00
8	80,72	83,36	2,00	2,00	1,76	7,06	0,00	0,00	83,60	80,74	1,00	2,00	0,61	13,49	0,00	0,00
9	66,60	81,72	2,00	2,00	6,76	13,48	0,70	0,10	83,60	66,33	1,00	2,00	0,61	21,01	0,00	0,00
10	69,37	83,31	2,00	2,00	5,52	15,97	0,00	0,10	83,60	68,95	1,00	2,00	0,61	18,01	0,00	0,00
Rata-rata	74,59	83,31	1,90	1,50	4,10	9,17	0,10	0,03	83,60	74,92	1,00	1,90	0,61	14,45	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

• Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	34,02	31,08	1,00	2,00	0,93	21,77	0,00	0,00	33,98	31,00	1,00	2,00	0,62	16,61	0,00	0,00
2	34,03	33,99	1,00	1,00	0,85	8,34	0,00	0,00	33,98	34,04	1,00	1,00	0,61	11,02	0,00	0,00
3	32,33	33,99	2,00	1,00	2,34	8,38	0,00	0,00	33,98	32,03	1,00	2,00	0,61	16,11	0,00	0,00
4	33,25	33,97	2,00	2,00	1,36	9,09	0,00	0,10	33,98	33,14	1,00	2,00	0,61	19,06	0,00	0,00
5	33,98	33,99	1,00	1,00	0,96	9,38	0,00	0,00	33,98	33,96	1,00	2,00	0,62	11,52	0,00	0,00
6	29,96	32,45	1,00	2,00	3,25	9,90	1,10	4,50	33,98	29,37	1,00	2,00	0,61	26,97	0,00	0,00
7	33,41	29,11	2,00	1,00	1,36	8,64	0,00	14,40	33,98	33,48	1,00	2,00	0,61	22,04	0,00	0,00
8	33,99	33,90	1,00	2,00	0,99	7,08	0,00	0,00	33,98	34,67	1,00	1,00	0,61	14,66	0,00	0,00
9	32,27	33,99	2,00	1,00	2,17	10,45	0,00	0,00	33,98	31,66	1,00	2,00	0,62	23,61	0,00	0,00
10	33,90	33,99	2,00	1,00	0,82	7,86	0,30	0,00	34,00	33,91	1,00	2,00	0,61	14,34	0,00	0,00
Rata-rata	33,11	33,05	1,50	1,40	1,50	10,09	0,14	1,90	33,98	32,73	1,00	1,80	0,61	17,59	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi ramai dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.18.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	81,11	83,13	2,00	2,00	1,66	32,96	0,00	0,50	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	7,27	0,00	0,00
2	63,88	82,35	2,00	2,00	8,11	33,40	0,00	1,60	83,60	83,61	1,00	1,00	0,61	16,01	0,00	0,00
3	73,94	82,90	2,00	2,00	4,43	34,34	0,00	0,80	83,60	83,62	1,00	1,00	0,61	10,64	0,00	0,00
4	63,70	82,35	2,00	2,00	8,11	33,40	0,00	1,60	83,61	63,16	1,00	2,00	0,61	24,02	0,00	0,00
5	81,11	83,15	2,00	2,00	1,66	32,34	0,00	0,60	83,61	83,43	1,00	2,00	0,60	11,48	0,00	0,00
6	73,94	82,93	2,00	2,00	4,43	34,34	0,00	0,80	83,61	64,52	1,00	2,00	0,60	24,03	0,00	0,00
7	81,11	83,10	2,00	2,00	1,66	32,96	0,00	0,50	83,60	72,98	1,00	2,00	0,60	22,45	0,00	0,00
8	83,59	83,60	1,00	1,00	0,86	4,71	0,00	0,00	83,60	83,61	1,00	1,00	0,61	3,62	0,00	0,00
9	83,61	83,18	1,00	2,00	0,87	18,15	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	6,06	9,76	0,00	0,00
10	83,60	83,61	1,00	1,00	0,75	7,70	0,00	0,00	83,60	83,61	1,00	1,00	6,31	2,54	0,00	0,00
Rata-rata	76,96	83,03	1,70	1,80	3,25	26,43	0,00	0,64	83,60	78,57	1,00	1,40	1,72	13,18	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

• Codec GSM

Pengujian Ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.18.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	33,98	26,53	1	2	6,3	33,67	0	0	28,74	28,33	2	2	4,929	21	0	7,5
2	33,99	33,46	1	2	6,31	25,06	0	0	33,59	33,84	2	2	0,723	18,08	1,1	0,4
3	33,99	23,26	2	2	6,3	27,23	0	0	23,16	28,76	2	2	1,154	20,7	31,7	10,1
4	33,98	24,45	1	2	6,3	35,67	0	0	24,64	33,72	2	2	8,466	18,62	0	0
5	33,99	34,11	1	1	6,3	18	0	0	33,95	34,08	2	1	1,229	10,74	0	0
6	33,98	24,34	1	2	6,3	36,48	0	0	26,86	33,93	2	2	6,048	18,86	0,6	1,6
7	33,98	25,99	1	2	6,3	33,51	0	0	25,77	25,06	2	2	2,479	26,36	20,3	20
8	33,98	15,68	1	4	6,3	41,67	0	0	15,21	31,9	4	2	15,74	23,93	34,3	6,2
9	33,99	33,91	1	2	6,3	18,51	0	0	34	33,78	1	2	0,656	15,26	0	0,6
10	33,98	28,24	1	2	6,3	29,06	0	0	28,85	29,72	2	2	4,675	19,22	0	0,3
Rata-rata	33,984	26,997	1,1	2,1	6,3	29,89	0	0	27,48	31,31	2,1	1,9	4,61	19,28	8,8	4,67

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi ramai dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	66,59	83,48	2,00	2,00	6,68	15,30	0,00	0,00	83,60	66,57	2,00	2,00	0,61	21,81	0,00	0,00
2	10,05	83,48	16,60	2,00	120,21	16,88	60,60	0,10	83,60	9,38	1,00	17,81	0,61	143,75	0,00	0,00
3	8,53	70,79	19,50	2,00	134,11	25,51	68,70	15,10	83,60	8,48	1,00	19,70	0,61	150,24	0,00	0,00
4	26,41	83,55	6,32	2,00	45,67	18,56	7,20	0,10	83,60	25,85	1,00	6,00	0,60	63,13	0,00	0,00
5	55,55	83,58	3,00	2,00	11,67	12,34	0,50	0,00	83,60	55,38	1,00	3,00	0,61	29,02	0,00	0,00
6	38,26	83,60	4,00	1,00	23,02	17,27	15,80	0,00	83,60	38,03	1,00	4,00	0,61	40,10	0,00	0,00
7	40,65	82,93	4,00	2,00	23,07	14,30	1,00	0,00	83,60	37,38	1,00	4,00	0,61	43,09	0,00	0,00
8	61,52	83,36	2,00	2,00	9,21	8,80	0,10	0,00	83,60	63,06	1,00	2,00	0,61	20,50	0,00	0,00
9	29,82	82,27	5,00	2,00	36,58	18,74	9,40	0,00	83,60	29,96	1,00	5,00	0,61	54,30	0,00	0,00
10	22,17	73,47	7,53	2,00	42,33	22,75	44,40	10,80	83,59	19,17	2,00	8,00	0,61	69,05	0,00	0,10
Rata-rata	35,96	81,05	7,00	1,90	45,25	17,05	20,77	2,61	83,60	35,33	1,20	7,15	0,61	63,50	0,00	0,01

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

• Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	17,72	33,90	3,00	2,00	18,34	14,90	8,30	0,00	33,98	19,42	1,00	3,00	0,62	39,44	0,00	0,00
2	6,98	32,79	9,00	2,00	66,63	20,94	37,80	3,00	33,98	7,04	1,00	9,00	0,62	89,87	0,00	0,00
3	29,96	32,45	1,00	2,00	3,25	9,90	1,10	4,50	33,98	29,37	1,00	2,00	0,61	26,97	0,00	0,00
4	25,78	33,90	2,00	1,00	7,73	12,52	0,50	0,00	33,98	24,00	1,00	2,00	0,61	32,51	0,00	0,00
5	12,31	29,89	5,00	2,00	35,52	20,49	6,60	0,60	33,98	8,81	1,00	7,00	0,61	81,02	0,00	0,00
6	17,04	33,88	3,00	2,00	14,69	15,25	25,20	0,30	33,98	17,26	1,00	3,00	0,61	50,73	0,00	0,00
7	21,61	33,96	3,00	2,00	12,33	13,28	1,80	0,10	33,98	21,60	1,00	3,00	0,61	34,29	0,00	0,00
8	18,67	33,97	3,00	1,00	17,24	23,13	5,00	0,00	33,99	18,21	1,00	3,00	0,62	42,40	0,00	0,00
9	14,15	33,97	4,00	2,00	21,94	15,04	27,30	0,10	33,98	13,00	1,00	5,00	0,62	49,57	0,00	0,00
10	12,30	39,90	4,00	2,00	35,51	21,49	6,00	0,50	33,98	31,00	1,00	2,00	0,61	25,48	0,00	0,00
Rata-rata	17,65	33,86	3,70	1,80	23,32	16,69	11,96	0,91	33,98	18,97	1,00	3,90	0,62	47,23	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi ramai ditambah beban dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.18.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	82,59	83,25	2,00	2,00	1,18	26,41	0,00	0,30	83,60	82,57	1,00	2,00	0,61	15,75	0,00	0,00
2	82,65	83,02	2,00	2,00	1,11	17,78	0,00	0,30	83,63	82,60	1,00	2,00	0,60	15,10	0,00	0,00
3	19,89	83,30	2,00	2,00	3,20	31,48	0,00	0,80	83,60	75,24	1,00	2,00	0,60	20,92	0,00	0,00
4	76,74	82,53	2,00	2,00	2,90	32,42	0,00	1,30	83,60	76,67	1,00	2,00	0,60	19,56	0,00	0,00
5	83,60	83,60	1,00	1,00	0,75	18,56	0,00	0,00	83,60	83,62	1,00	1,00	0,60	10,59	0,00	0,00
6	62,78	83,53	2,00	2,00	8,10	24,27	0,00	0,00	83,63	62,87	1,00	2,00	0,60	20,79	0,00	0,00
7	83,64	83,60	1,00	1,00	0,76	7,28	0,00	0,00	83,60	83,61	1,00	1,00	0,61	6,90	0,00	0,00
8	83,62	83,59	1,00	1,00	0,88	20,76	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,07	18,76	0,00	0,00
9	83,60	83,61	1,00	1,00	0,72	15,70	0,00	0,00	83,60	83,60	1,00	1,00	0,60	14,67	0,00	0,00
10	83,59	83,57	2,00	2,00	0,85	18,53	0,00	0,10	83,60	83,67	1,00	1,00	0,60	18,62	0,00	0,00
Rata-rata	74,27	83,36	1,60	1,60	2,04	21,32	0,00	0,28	83,61	79,81	1,00	1,00	0,55	16,17	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

➤ Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.18.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	33,98	33,97	1,00	2,00	6,30	15,55	0,00	0,00	34,00	32,01	1,00	2,00	0,69	26,43	0,00	5,80
2	33,98	34,02	1,00	1,00	6,30	1,63	0,00	0,00	33,83	33,90	2,00	2,00	0,77	16,90	0,50	0,10
3	33,98	33,84	1,00	2,00	6,31	32,14	0,00	0,00	33,99	33,89	1,00	2,00	0,78	27,37	0,00	0,30
4	33,98	32,26	1,00	2,00	6,30	32,11	0,00	0,00	33,18	33,60	2,00	2,00	0,86	24,58	2,00	0,30
5	33,98	31,03	1,00	2,00	6,30	32,49	0,00	0,00	31,96	31,51	2,00	2,00	1,65	31,97	2,50	7,70
6	33,74	32,07	2,00	2,00	0,96	35,12	0,00	0,00	33,10	33,60	2,00	2,00	0,86	24,57	2,30	0,30
7	33,98	34,02	1,00	1,00	6,30	11,13	0,00	0,00	33,99	33,79	2,00	2,00	0,81	21,27	0,00	0,40
8	33,99	34,01	1,00	1,00	6,29	26,08	0,00	0,00	33,98	33,95	1,00	2,00	0,84	26,13	0,00	0,00
9	33,98	33,64	1,00	2,00	6,31	30,29	0,00	0,00	33,83	33,91	2,00	2,00	0,78	16,90	0,50	0,10
10	33,99	33,75	1,00	2,00	6,30	24,40	0,00	0,00	33,97	33,79	2,00	2,00	0,80	21,26	0,00	0,40
Rata-rata	33,96	33,26	1,10	1,70	5,77	24,09	0,00	0,00	33,58	33,40	1,70	2,00	0,88	23,74	0,78	1,54

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTP pada kondisi ramai ditambah beban dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	11,05	82,82	15,11	2,00	134,02	14,61	4,70	0,00	83,60	9,76	1,00	17,12	0,61	169,66	0,00	0,00
2	23,93	83,49	6,00	2,00	53,50	9,19	7,50	0,10	83,60	67,11	1,00	2,00	0,61	5,94	0,00	0,00
3	54,06	83,61	3,00	1,00	12,73	5,90	1,10	0,00	83,60	54,23	1,00	3,00	0,61	28,86	0,00	0,00
4	44,26	83,62	3,00	1,00	19,60	13,39	2,80	0,00	83,60	43,45	1,00	3,00	0,61	43,31	0,00	0,00
5	55,18	83,59	3,00	1,00	13,35	11,26	0,00	0,00	83,60	54,02	1,00	3,00	0,61	36,11	0,00	0,00
6	66,58	83,61	2,00	1,00	6,88	11,30	0,00	0,00	83,60	66,17	1,00	2,00	0,61	23,77	0,00	0,00
7	63,92	81,64	2,00	2,00	7,78	6,58	0,70	0,00	83,60	63,93	1,00	2,00	0,61	20,16	0,00	0,00
8	83,05	83,38	2,00	2,00	1,08	4,14	0,00	0,00	83,60	83,18	1,00	2,00	0,61	10,64	0,00	0,00
9	11,62	83,57	14,38	2,00	86,85	14,73	66,40	0,00	83,60	11,52	1,00	14,50	0,60	107,07	0,00	0,00
10	52,79	83,58	3,00	2,00	13,80	10,94	0,00	0,00	83,60	51,88	1,00	3,00	0,61	33,44	0,00	0,00
Rata-rata	46,64	83,29	5,35	1,60	34,96	10,20	8,32	0,01	83,60	50,53	1,00	1,00	0,61	47,90	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	33,98	33,97	1,00	2,00	0,83	7,32	0,00	0,00	33,98	33,72	1,00	2,00	0,61	16,88	0,00	0,00
2	18,81	33,47	3,00	2,00	13,55	18,43	16,90	1,60	33,98	16,74	1,00	4,00	0,61	46,58	0,00	0,00
3	33,99	33,99	1,00	1,00	0,82	5,00	0,00	0,00	33,98	33,64	1,00	2,00	0,61	19,39	0,00	0,00
4	29,31	33,98	2,00	2,00	4,28	12,35	0,00	0,00	33,98	28,37	1,00	2,00	0,61	30,52	0,00	0,00
5	11,35	29,02	5,00	2,00	40,72	17,74	3,30	0,00	33,99	10,70	1,00	6,00	0,61	63,69	0,00	0,00
6	34,10	33,99	1,00	1,00	0,61	10,35	0,00	0,00	33,98	2,89	1,00	23,40	0,61	233,53	0,00	0,00
7	16,17	33,53	4,00	2,00	23,50	11,32	2,90	0,00	33,98	16,14	1,00	4,00	0,61	49,66	0,00	0,00
8	9,00	33,90	7,00	2,00	47,84	11,05	2,10	0,00	33,98	8,84	1,00	7,00	0,61	69,55	0,00	0,00
9	11,34	33,99	5,00	1,00	43,95	5,87	0,00	0,00	33,98	9,23	1,00	7,00	0,61	74,56	0,00	0,00
10	8,49	34,03	7,00	1,00	9,62	9,40	0,00	0,00	33,98	20,03	1,00	3,00	0,62	40,85	0,00	0,00
Rata-rata	20,65	33,39	3,60	1,60	18,57	10,88	2,52	0,16	33,98	18,03	1,00	6,04	0,61	64,52	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi sepi dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.19.XXX								Client 200 - 172.21.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	9,59	4,75	50,00	11,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,34	4,81	40,00	4,00	0,00	0,00
2	0,12	0,17	9,81	4,79	73,00	52,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,65	4,79	51,00	4,00	0,00	0,00
3	0,13	0,17	8,57	4,67	143,00	129,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,48	4,70	30,00	4,00	0,00	0,00
4	0,12	0,17	9,66	4,72	85,00	44,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,60	4,78	63,00	3,00	0,00	0,00
5	0,12	0,14	10,33	4,82	244,00	13,00	0,00	0,00	0,23	0,17	6,00	4,79	39,00	3,00	0,00	0,00
6	0,12	0,17	9,62	4,70	105,00	27,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,55	4,78	48,00	3,00	0,00	0,00
7	0,12	0,17	9,74	4,76	134,00	72,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,48	4,81	110,00	3,00	0,00	0,00
8	0,13	0,17	9,22	4,73	50,00	20,00	0,00	0,00	0,13	0,17	10,05	4,79	61,00	3,00	0,00	0,00
9	0,11	0,15	11,14	4,88	25,00	9,00	0,00	0,00	0,13	0,17	10,33	4,70	47,00	3,00	0,00	0,00
10	0,11	0,17	10,57	4,84	15,00	34,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,06	4,69	42,00	4,00	0,00	0,00
Rata-rata	0,12	0,17	9,83	4,77	92,40	41,10	0,00	0,00	0,14	0,17	9,75	4,76	53,10	3,40	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

Codec GSM

Penguji n ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.19.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	10,86	4,80	15,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,18	8,61	4,55	67,00	5,00	0,00	0,00
2	0,12	0,17	10,49	4,80	25,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	9,77	4,77	67,00	10,00	0,00	12,00
3	0,13	0,17	10,02	4,70	19,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,15	10,74	4,85	120,00	68,00	0,00	0,00
4	0,12	0,17	10,77	4,79	149,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,18	9,07	4,63	74,00	20,00	0,00	0,00
5	0,12	0,17	10,51	4,78	135,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	9,63	4,71	101,00	5,00	0,00	0,00
6	0,12	0,17	10,68	4,78	152,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	9,78	4,77	270,00	74,00	0,00	0,00
7	0,12	0,17	10,45	4,81	151,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	9,74	4,76	156,00	111,00	0,00	0,00
8	0,12	0,17	10,14	4,79	8,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,31	4,74	57,00	11,00	0,00	0,00
9	0,12	0,17	9,97	4,68	15,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,14	11,10	4,88	43,00	122,00	0,00	0,00
10	0,13	0,17	9,63	4,73	19,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,34	4,83	39,00	42,00	0,00	0,00
Rata-rata	0,12	0,17	10,35	4,77	68,80	0,00	0,00	0,00	0,12	0,17	9,81	4,75	99,40	46,80	0,00	1,20

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi sepi dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	10,40	4,81	18,00	33,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,65	4,73	49,00	4,00	0,00	0,00
2	0,12	0,17	9,57	4,67	21,00	116,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,55	4,78	33,00	3,00	0,00	0,00
3	0,12	0,17	9,68	4,75	59,00	39,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,69	4,78	44,00	3,00	0,00	0,00
4	0,12	0,17	10,32	4,78	46,00	98,00	0,00	0,00	0,13	0,18	9,38	4,62	237,00	3,00	0,00	0,00
5	0,12	0,17	9,95	4,76	74,00	282,00	0,00	0,00	0,14	0,17	9,05	4,66	172,00	3,00	0,00	0,00
6	0,11	0,17	10,82	4,81	82,00	188,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,99	4,72	140,00	3,00	0,00	0,00
7	0,11	0,17	10,59	4,78	128,00	574,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,66	4,72	295,00	6,00	0,00	0,00
8	0,13	0,17	9,24	4,74	64,00	170,00	0,00	0,00	0,08	0,17	10,21	4,77	393,00	3,00	0,00	0,00
9	0,12	0,17	9,54	4,67	65,00	36,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,40	4,79	115,00	3,00	0,00	0,00
10	0,12	0,17	9,52	4,66	51,00	26,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,48	4,78	104,00	3,00	0,00	0,00
Rata-rata	0,12	0,17	9,96	4,74	60,80	156,20	0,00	0,00	0,12	0,17	10,01	4,74	158,20	3,40	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

➤ Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,21	0,32	5,99	2,55	158,00	97,00	0,00	0,00	0,12	0,14	10,58	4,78	114,00	3,00	0,00	0,00
2	0,12	0,17	9,08	4,78	51,00	80,00	0,00	0,00	0,12	0,14	10,76	4,78	101,00	3,00	0,00	0,00
3	0,10	0,17	11,48	4,79	29,00	26,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,67	4,73	63,00	3,00	0,00	0,00
4	0,12	0,17	10,26	4,79	73,00	20,00	0,00	0,00	0,13	0,18	9,43	4,63	35,00	3,00	0,00	0,00
5	0,11	0,17	10,41	4,80	40,00	121,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,57	4,68	58,00	3,00	0,00	0,00
6	0,14	0,16	9,12	4,99	112,00	406,00	0,00	0,00	0,13	0,15	10,13	4,79	173,00	3,00	0,00	0,00
7	0,12	0,15	10,24	5,47	160,00	131,00	0,00	0,00	0,13	0,17	9,50	4,65	5,00	3,00	0,00	0,00
8	0,13	0,17	9,17	4,77	92,00	153,00	0,00	0,00	0,01	0,17	10,03	4,79	142,00	3,00	0,00	0,00
9	0,12	0,17	10,33	4,78	91,00	42,00	0,00	1,00	0,12	0,17	10,38	4,78	1,00	3,00	0,00	0,00
10	0,11	0,14	10,53	4,76	84,00	190,00	0,00	0,00	0,12	0,17	10,05	4,76	49,00	3,00	0,00	0,00
Rata-rata	0,13	0,18	9,66	4,65	89,00	126,60	0,00	0,10	0,11	0,16	10,01	4,74	74,10	3,00	0,00	0,00

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi ramai dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
 - *Codec* G.711

Penguji n Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.18.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,14	0,18	8,4	4,6	183	240	0	43	0,13	0,17	9,94	4,77	36	3	0	0
2	0,12	0,17	9,45	4,83	140	132	0	20	0,12	0,17	10,36	4,76	203	4	0	0
3	0,14	0,18	7,6	4,46	68	130	0	3	0,14	0,17	9,11	4,68	113	3	0	0
4	0,12	0,17	9,45	4,83	146	134	0	21	0,13	0,17	10,35	4,73	198	4	0	0
5	0,14	0,18	8,42	4,6	180	245	0	42	0,14	0,17	9,27	4,66	95	3	0	0
6	0,15	0,18	7,63	4,46	70	134	0	3	0,14	0,17	8,67	4,64	275	4	0	0
7	0,14	0,18	8,4	4,63	183	248	0	43	0,13	0,17	9,43	4,66	319	4	0	0
8	0,14	0,18	8,13	4,62	23	19	0	0	0,12	0,17	9,98	4,68	89	7	0	0
9	0,13	0,17	8,92	4,65	129	9	0	0	0,13	0,17	9,4	4,66	33	49	0	0
10	0,14	0,18	8,03	4,49	92	15	0	0	0,14	0,17	9,13	4,66	47	49	0	0
Rata-rata	0,136	0,177	8,443	4,617	121,4	130,6	0	17,5	0,132	0,17	9,564	4,69	140,8	13	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

➤ Codec GSM

Pengujian Ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.19.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,15	10,36	4,78	65	50	0	0	0,14	0,14	8,99	5,62	186	53	0	16
2	0,12	0,17	10,37	4,76	158	51	0	0	0,12	0,18	9,4	4,57	196	201	0	5
3	0,13	0,15	9,68	4,7	184	51	0	0	0,12	0,13	11,08	6,04	581	169	0	3
4	0,13	0,15	10,28	4,72	175	48	0	0	0,13	0,18	9,44	4,58	140	144	0	0
5	0,13	0,17	9,52	4,66	150	49	0	0	0,14	0,18	84,5	4,63	117	150	0	9
6	0,14	0,17	9,11	4,66	175	48	0	0	0,13	0,17	9,77	4,63	862	184	0	8
7	0,13	0,17	9,15	4,66	177	48	0	0	0,11	0,12	10,56	6,57	21	243	0	8
8	0,12	0,17	9,93	4,68	616	51	0	0	0,1	0,14	12	5,8	523	455	0	16
9	0,12	0,17	10,23	4,68	189	48	0	0	0,13	0,17	8,98	4,64	127	23	0	0
10	0,13	0,17	9,43	4,66	79	50	0	0	0,14	0,14	9	5,36	157	175	0	4
Rata-rata	0,127	0,164	9,806	4,696	196,8	49,4	0	0	0,126	0,16	17,37	5,244	291	180	0	6,9

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi ramai dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	9,74	4,75	58	378	0	1	0,12	0,17	10,28	4,76	60	3	0	0
2	0,08	0,14	13,98	4,75	175	917	0	0	0,12	0,17	10,27	4,72	122	3	0	0
3	0,06	0,17	17,03	5,76	141	208	0	0	0,12	0,16	10,89	4,8	165	3	0	0
4	0,1	0,17	11,56	4,83	476	688	0	0	0,13	0,18	9,26	4,59	643	4	0	0
5	0,11	0,17	11,07	4,79	165	179	0	0	0,14	0,17	9,06	4,64	331	3	0	0
6	0,1	0,17	11,48	4,78	128	134	0	0	0,13	0,17	9,41	4,6	512	4	0	0
7	0,12	0,17	10,79	4,63	211	0	0	0	0,12	0,16	10,27	4,8	0	3	0	0
8	0,12	0,18	9,43	4,62	156	298	0	0	0,12	0,17	10,54	4,76	695	4	0	0
9	0,1	0,17	11,99	4,8	171	614	0	0	0,12	0,16	10,4	4,8	412	3	0	0
10	0,09	0,16	13,49	4,93	404	289	0	0	0,12	0,16	10,89	4,8	400	3	0	0
Rata-rata	0,1	0,167	12,06	4,864	208,5	370,5	0	0,1	0,124	0,17	10,13	4,727	334	3,3	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

➤ Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,13	0,17	9,1	4,69	108	193	0	0	0,13	0,17	10,02	4,77	267	4	0	0
2	0,06	0,17	17,85	4,97	235	195	0	25	0,12	0,17	10,67	4,78	264	4	0	0
3	0,1	0,17	11,48	4,79	73	200	0	0	0,09	0,14	9,38	4,59	205	4	0	0
4	0,1	0,17	11,99	4,79	42	313	0	0	0,13	0,18	9,46	4,63	218	7	0	0
5	0,07	0,16	16,87	5,15	65	137	0	2	0,13	0,17	10,06	4,77	73	3	0	0
6	0,1	0,17	11,45	4,78	218	383	0	3	0,13	0,17	10,3	4,78	196	4	0	0
7	0,11	0,17	10,57	4,64	16	175	0	0	0,12	0,17	10,39	4,78	415	3	0	0
8	0,1	0,15	11,93	4,78	153	258	0	0	0,15	0,17	9,15	4,78	126	4	0	0
9	0,09	0,17	13,7	4,78	70	152	0	1	0,12	0,17	10,3	4,78	38	3	0	0
10	0,07	0,16	15,42	5,07	59	141	0	0	0,08	0,14	10,26	4,79	109	3	0	0
Rata-rata	0,093	0,166	13,04	4,844	103,9	214,7	0	3,1	0,12	0,17	9,999	4,745	191,1	3,9	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi ramai ditambah beban dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.18.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	9,88	4,82	260	121	0	0	0,12	0,17	10,66	4,8	181	5	0	0
2	0,12	0,15	10,37	4,81	25	11	0	0	0,17	0,17	8	4,8	28	3	0	0
3	0,11	0,17	11,5	4,78	271	88	0	0	0,13	0,16	9,89	4,79	227	3	0	0
4	0,12	0,17	9,9	4,65	272	75	0	0	0,12	0,17	10,77	5,2	231	3	0	0
5	0,13	0,17	9,13	4,65	31	221	0	0	0,13	0,17	9,88	4,79	100	6	0	0
6	0,12	0,17	10,02	4,8	116	56	0	0	0,12	0,17	9,98	4,7	104	3	0	0
7	0,13	0,17	9,13	4,66	82	9	0	0	0,13	0,17	9,85	4,79	42	4	0	0
8	0,12	0,18	9,89	4,62	295	240	0	0	0,13	0,17	9,83	4,79	121	4	0	0
9	0,13	0,17	9,01	4,65	124	132	0	0	0,12	0,17	10,72	4,78	53	3	0	0
10	0,12	0,17	9,83	4,67	260	82	0	0	0,13	0,17	9,82	4,79	177	3	0	0
Rata-rata	0,122	0,169	9,866	4,711	173,6	103,5	0	0	0,13	0,169	9,94	4,823	126,4	3,7	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

➤ Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 300 - 172.21.3.XXX								Client 400 - 172.21.18.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,12	0,17	10,14	4,79	23	50	0	1	0,13	0,17	9,37	4,77	185	101	0	0
2	0,12	0,14	10,92	4,8	12	48	0	0	0,12	0,17	9,78	4,7	171	100	0	0
3	0,12	0,17	10,21	4,8	88	50	0	0	0,12	0,17	9,52	4,66	191	229	0	0
4	0,13	0,17	9,92	4,79	98	51	0	0	0,12	0,17	9,69	4,9	120	153	0	0
5	0,12	0,17	10,78	4,79	221	48	0	0	0,11	0,15	10,97	5,24	181	204	0	0
6	0,12	0,17	10,37	4,81	145	3	0	0	0,12	0,16	9,69	4,92	133	153	0	0
7	0,12	0,17	10,43	4,78	160	49	0	0	0,12	0,15	11,1	4,8	230	165	0	0
8	0,16	0,17	8	4,79	161	51	0	0	0,12	0,15	10,41	4,81	203	57	0	0
9	0,12	0,17	10,57	4,78	79	51	0	0	0,12	0,17	9,7	4,73	171	100	0	0
10	0,14	0,17	9,12	4,8	175	80	0	0	0,11	0,15	10,83	4,8	227	165	0	0
Rata-rata	0,127	0,167	10,05	4,793	116,2	48,1	0	0,1	0,12	0,161	10,11	4,833	181,2	143	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

- Kualitas layanan VoIP menggunakan RTCP pada kondisi ramai ditambah beban dengan komunikasi *codec* GSM dan G.711 tidak bersamaan
 - *Codec* G.711

Pengujian Ke-	Codec G.711															
	Client 100 - 172.21.12.XXX								Client 200 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,08	0,17	13,87	4,8	36	1023	0	0	0,13	0,16	10,21	4,8	412	3	0	0
2	0,14	0,17	8,86	4,76	86	460	0	0	0,12	0,16	10,72	4,78	42	4	0	0
3	0,12	0,17	9,73	4,73	102	57	0	0	0,12	0,17	10,71	4,78	104	3	0	0
4	0,08	0,17	13,78	4,76	120	217	0	1	0,14	0,17	8,8	4,71	200	3	0	0
5	0,11	0,17	11,45	4,78	210	122	0	0	0,13	0,17	9,68	4,73	162	3	0	0
6	0,16	0,17	7,99	4,75	158	80	0	0	0,12	0,15	10,41	4,76	196	3	0	0
7	0,12	0,17	9,49	4,65	135	64	0	0	0,12	0,17	10,48	4,78	174	3	0	0
8	0,12	0,17	9,67	4,71	48	55	0	0	0,12	0,17	10,66	4,78	85	3	0	0
9	0,06	0,17	20,42	4,77	138	76	0	0	0,12	0,15	10,77	4,78	214	3	0	0
10	0,19	0,17	6,81	4,72	131	111	0	0	0,12	0,15	10,09	4,72	324	4	0	0
Rata-rata	0,118	0,17	11,21	4,743	116,4	226,5	0	0,1	0,12	0,162	10,25	4,762	191,3	3,2	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream

Codec GSM

Pengujian ke-	Codec GSM															
	Client 400 - 172.21.12.XXX								Client 300 - 172.21.3.XXX							
	Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)		Bandwidth (kbps)		Delay (ms)		Jitter (ms)		Packet Loss (%)	
	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D	U	D
1	0,11	0,17	10,58	4,79	185	73	0	0	0,13	0,17	9,78	4,79	180	3	0	0
2	0,14	0,17	9,13	4,76	21	293	0	0	0,12	0,16	10,26	4,79	244	3	0	0
3	0,12	0,17	10,42	4,79	57	56	0	0	0,13	0,17	9,68	4,73	157	3	0	0
4	0,11	0,17	10,76	4,78	145	187	0	0	0,13	0,17	9,84	4,79	19	3	0	0
5	0,04	0,17	26,01	4,78	41	161	0	0	0,13	0,16	10	4,8	160	3	0	0
6	0,1	0,17	10,71	4,79	63	557	0	0	0,13	0,15	10,21	4,79	328	3	0	0
7	0,05	0,17	24	4,77	50	506	0	0	0,12	0,17	10,51	4,78	91	5	0	0
8	0,12	0,17	9,07	4,79	94	229	0	0	0,12	0,15	10,93	4,8	104	3	0	0
9	0,12	0,17	9,18	4,82	32	343	0	0	0,12	0,14	10,48	4,82	77	3	0	0
10	0,21	0,17	5,99	4,78	155	180	0	0	0,12	0,15	10,61	4,78	92	3	0	0
Rata-rata	0,112	0,17	12,59	4,785	84,3	258,5	0	0	0,13	0,159	10,23	4,787	145,2	3,2	0	0

Keterangan:

U = Upstream

D = Downstream