

Implementasi Server VoIP Berbasis SIP Pada LAN Nirkabel

Implementation of SIP Based VoIP Server on Wireless LAN

Mohammad Shoffa Al Arofah, Nurdin Bahtiar, dan Ragil Saputra

*Program Studi Teknik Informatika Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang Semarang*

dekapital@gmail.com, nurdinbahtiar@gmail.com, ragil.saputra@undip.ac.id

Naskah diterima: 10 Januari 2013; Direvisi: 1 Maret 2013; Disetujui: 7 Maret 2013

Abstract— Voice over Internet Protocol (VoIP) is a technology for making telephone calls over an internet protocol network. In telecommunication, signaling is the main technology. Signaling is the capability to generate and exchange control information that used to establish, monitor, and release connections between two endpoints. One of the most widely used VoIP signaling protocol is Session Initiation Protocol (SIP). In addition to signaling, there are several parameters that need to be considered in the implementation of VoIP. They are Mean Opinion Score (MOS), network impairment, and bandwidth. Analysis was carried out on six codecs, they are G.722, PCMA, PCMU, Speex, GSM, and BV16. The conclusion are codec that had the lowest bandwidth usage was Speex (27.12 kbps) and Average delay generated by sipdroid better than jitsi.

Keywords— VoIP, Session Initiation Protocol, Mean Opinion Score, Bandwidth, Codec

Abstrak— *Voice over Internet Protocol (VoIP)* merupakan teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui protokol internet. Dalam telekomunikasi, diperlukan teknologi pensinyalan yang berguna untuk membangun, mengawasi, dan melepas hubungan antara dua titik. Salah satu teknologi pensinyalan yang banyak digunakan untuk VoIP adalah *Session Initiation Protocol*, dengan implementasinya yang berupa perangkat lunak *Open SIP Server*. Selain pensinyalan, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam implementasi VoIP, yaitu *Mean Opinion Score (MOS)*, *network impairment*, dan *bandwidth*. Pengujian dilakukan terhadap enam codec, yaitu G.722, PCMA, PCMU, Speex, GSM, dan BV16. Berdasarkan hasil analisis dapat diambil kesimpulan bahwa codec yang menggunakan *bandwidth* paling rendah adalah Speex (27,12 kbps); Rata-rata delay yang dihasilkan oleh sipdroid lebih baik daripada jitsi.

Kata kunci—VoIP, Session Initiation Protocol, Mean Opinion Score, Bandwidth, Codec

I. PENDAHULUAN

Media telekomunikasi suara yang dapat digunakan adalah telepon konvensional (PSTN), telepon seluler, dan *Voice over Internet Protocol (VoIP)*. VoIP merupakan teknologi yang lebih baru dibandingkan dengan PSTN dan telepon seluler (Hallock, 2004). VoIP adalah teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui protokol internet (Purbo, 2010).

Salah satu masalah pada PSTN dan telepon seluler adalah ketergantungan terhadap operator telekomunikasi. VoIP memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut dengan sifatnya yang fleksibel. VoIP dapat diimplementasikan di dalam suatu organisasi, institusi, dan perusahaan secara mandiri. Penggunaan VoIP secara internal untuk komunikasi sesama anggota organisasi, institusi, dan perusahaan tidak terbebani oleh tanggungan biaya telekomunikasi. VoIP juga dapat digabungkan dengan media komunikasi lain seperti e-mail dapat terjadi karena keduanya dapat dilakukan dalam satu jaringan komunikasi (Wallingford, 2005).

Teknologi utama dalam telekomunikasi suara adalah pensinyalan. Pensinyalan digunakan untuk membangun, mengawasi, dan melepas hubungan antara dua titik. *Session Initiation Protocol (SIP)* merupakan salah satu teknologi pensinyalan yang maju dan banyak digunakan untuk VoIP.

Dalam teknologi VoIP *bandwidth* bukanlah masalah utama, melainkan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu *Mean Opinion Score (MOS)* dan *network impairment*, seperti *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Walaupun tidak menjadi masalah utama, tetapi *bandwidth* setiap komunikasi VoIP juga mempengaruhi jumlah total komunikasi VoIP yang dapat dilakukan dalam satu waktu (Wallace, 2009).

Penggunaan *bandwidth*, nilai MOS, dan nilai *network impairment* dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah arsitektur jaringan dan *codec* yang digunakan. *Codec* adalah program komputer yang mampu mengkodekan sinyal analog ke sinyal digital dan menguraikan sinyal digital kembali ke

sinyal analog (Purbo, 2010). Setiap *codec* mempunyai algoritma kompresi dan dekompresi yang berbeda sehingga menghasilkan nilai MOS dan *network impairment* yang juga berbeda.

Pada penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem VoIP berbasis *Session Initiation Protocol* (SIP) pada Wireless LAN yang optimal, sehingga dapat dimanfaatkan oleh organisasi, institusi, maupun perusahaan untuk membangun sistem telekomunikasi yang optimal secara mandiri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

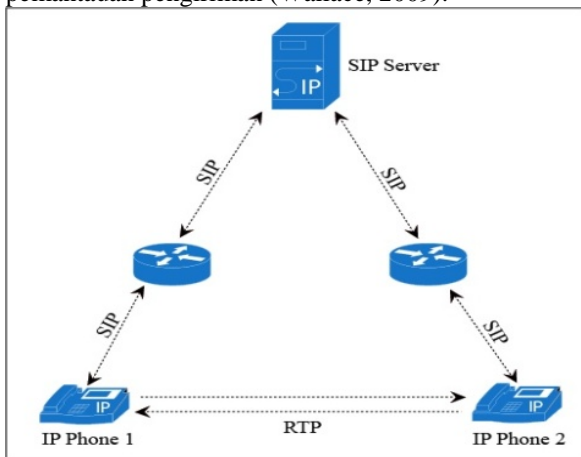
A. Voice over Internet Protocol

Arsitektur jaringan *Voice over Internet Protocol* (VoIP) terdiri dari beberapa komponen. Komponen yang paling penting adalah VoIP server. VoIP server menyimpan semua informasi mengenai pengguna VoIP. Secara sederhana, VoIP server mempunyai tabel yang berisi nomor telepon (nomor VoIP) pengguna dan alamat IP komputer pengguna.

Setiap kali pengguna ingin melakukan panggilan ke pengguna yang lain, perangkat akhir pengguna akan meminta alamat IP pengguna yang lain ke VoIP server. Perangkat akhir pengguna dapat berupa IP Phone maupun *Personal Computer* (PC), *notebook*, dan *smartphone* yang telah dilengkapi *softphone*.

B. Real-Time Transport Protocol

Pada jaringan VoIP, data suara dikirim menggunakan *Real-Time Transport Protocol* (RTP) (Schulzrinne, 2003). RTP memberikan fungsi transportasi jaringan secara *end-to-end* untuk aplikasi yang membutuhkan transmisi data secara *real-time*, seperti suara dan video. Fungsi-fungsi yang diberikan RTP adalah identifikasi tipe *payload* (data aktual dari sebuah paket data), pengurutan nomor, *time-stamping*, dan pemantauan pengiriman (Wallace, 2009).



Gambar 1. Aliran RTP dan SIP pada Jaringan VoIP

Gambar 1 merupakan jaringan VoIP sederhana yang berbasis SIP. Pensinyalan terjadi antara IP Phone dengan VoIP server, yang dalam kasus ini menggunakan SIP Server. Proses pengiriman suara dilakukan secara langsung oleh kedua IP Phone menggunakan RTP, tanpa perantara SIP Server (Schulzrinne, 2003).

Aliran RTP pada komunikasi VoIP terjadi pada saat *media session*. Pada *media session* dibentuk aliran RTP dua arah (Britt, et al., 2006), seperti terlihat pada Gambar 1. Aliran

RTP pertama digunakan untuk mengirim paket suara dari IP Phone 1 ke IP Phone 2. Sedangkan aliran RTP kedua digunakan untuk mengirim paket suara dari IP Phone 2 ke IP Phone 1.

C. Real-Time Transport Control Protocol

RTP didefinisikan pada RFC 1889 dan digantikan oleh RFC 3550 pada tahun 2003. *Request For Comment* (RFC) merupakan laporan teknis berseri mengenai metode, penelitian, dan inovasi dalam internet (Tanenbaum, 2003). RTCP memberikan informasi kontrol untuk setiap paket yang dikirimkan menggunakan standar RTP. RTCP bekerja bersamaan dengan RTP dalam pengiriman dan pembungkusan paket data multimedia. Fungsi utama RTCP adalah memberikan umpan balik mengenai informasi *Quality of Service* (QoS) yang diberikan RTP (Wallace, 2009).

RTP mengumpulkan data statistik seperti: besarnya paket data yang terkirim, jumlah paket data yang terkirim, paket yang hilang (*packet loss*), *jitter*, dan *delay* (Wallace, 2009). Aplikasi dapat menggunakan informasi ini untuk meningkatkan QoS, salah satu contohnya adalah mengganti *codec* dengan tingkat kompresi tinggi dengan *codec* dengan tingkat kompresi yang rendah.

D. Session Initiation Protocol

Jaringan IP membutuhkan tambahan komponen agar bisa digunakan untuk komunikasi suara. Salah satu komponen tersebut adalah pensinyalan. Dalam VoIP, istilah pensinyalan merupakan kemampuan untuk menghasilkan dan bertukar informasi kontrol yang digunakan untuk membangun, mengawasi, dan melepas hubungan antara dua titik. Selain itu, pensinyalan juga memberikan fungsi pengalamatan dan penyediaan antar titik (Russell, 2008).

VoIP menawarkan beberapa pilihan untuk pensinyalan, salah satunya adalah *Session Initiation Protocol* (SIP). SIP adalah protokol yang memberikan spesifikasi perintah dan respon untuk membangun dan memutus komunikasi suara melalui jaringan paket data. Tujuan utama SIP adalah menciptakan aliran *Real-time Transport Protocol* (RTP) dua arah antara perangkat akhir komunikasi VoIP. Implementasi SIP pada sisi server terdapat pada SIP Server / VoIP Server, seperti terlihat pada Gambar 1.

Session Initiation Protocol (SIP) dikembangkan oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF) dalam grup kerja *Multiparty Multimedia Session Control* (MMUSIC), dan dipublikasi pada Maret 1999. Dalam berkomunikasi, SIP menggunakan pesan ASCII, standar umum yang sama dengan *World Wide Web* (WWW), sehingga mudah untuk diimplementasikan dan *troubleshooting* dapat dilakukan dengan mudah (Wallace, 2009).

SIP Server bertanggung jawab dalam pendaftaran pengguna dan pemetaan alamat IP ke alamat SIP. Seluruh *routing* SIP dan pensinyalan diurus oleh SIP Server, begitu pula dengan layanan penerusan (*forwarding*) panggilan, daftar putih dan daftar hitam (*whitelist & blacklist*), dan berbagai hal lainnya. Akan tetapi protokol ini tidak berurusan dengan perutean paket media (suara). Semua paket media dirutekan langsung antar penelepon menggunakan protokol RTP (Wallace, 2009).

E. Open SIP Server

Open SIP Server (OpenSIPS) adalah *SIP Server* dengan kode sumber terbuka berbasis perangkat lunak SER (perangkat lunak yang dikembangkan oleh institusi riset Fraunhofer Society). Karakteristik utama yang dimiliki OpenSIPS adalah kecepatan, fleksibilitas, skalabilitas, portabilitas, dan penggunaan memori komputer yang kecil (Goncalves, 2010).

OpenSIPS dikembangkan menggunakan ANSI C dengan beberapa *assembler routines*, sehingga OpenSIPS mampu menjalankan puluhan ribu panggilan per detik meskipun dengan perangkat keras biasa. OpenSIPS bersifat terbuka, sehingga administrator dapat mendefinisikan kebutuhannya melalui bahasa pemrograman. Ditambah lagi OpenSIPS dapat menerima bahasa pemrograman yang kompleks sekalipun.

OpenSIPS dapat dikembangkan dengan menuliskan kode-kode bahasa C. Kode-kode tersebut dapat dikembangkan secara mandiri, dan nantinya dihubungkan dengan bagian inti OpenSIPS. Ekstensi-ekstensi yang dibuat ini biasa disebut dengan modul. OpenSIPS bersifat portabel karena ditulis dalam ANSI C. Hal ini membuat OpenSIPS tersedia di berbagai macam sistem operasi berbasis UNIX, seperti Linux, Solaris, dan BSD.

Bagian inti OpenSIPS sangat kecil, berukuran sekitar 300 KB (versi terdahulu). Dengan ditambahkan beberapa modul, ukurannya hanya berubah menjadi beberapa *megabytes*. Karakteristik seperti ini yang membuat OpenSIPS banyak digunakan di platform *embedded*.

F. Coding-Decoding

Coding-decoding (codec) adalah program komputer yang mampu mengkodekan sinyal analog ke sinyal digital (menjadi berkas media digital) dan menguraikan sinyal digital ke sinyal analog, serta mampu mengompresi dan mendekomposisi berkas media digital (Microsoft, 2012). Sebuah *codec* terdiri dari dua komponen yaitu *encoder* dan *decoder*. *Encoder* berfungsi untuk mengompresi sekaligus mengkodekan berkas, sedangkan *decoder* berfungsi untuk mendekomposisi sekaligus menguraikan kode berkas. Digunakannya *codec* memungkinkan data yang besar dilewatkan pada media transmisi dengan penggunaan *bandwidth* yang terbatas.

Ada tiga konsep utama yang berhubungan dengan *codec*. Ketiga konsep tersebut adalah *sampling rate*, *bit depth*, dan *bit rate*. Pada perekaman analog, mesin perekam selalu merekam suara yang masuk melalui mikrofon. Pada perekaman digital, hal terekam adalah sederetan *sample* yang diambil dari sinyal suara. *Sampling rate* merupakan jumlah *sample* per detik yang diambil dari sinyal suara. Satuan untuk *sampling rate* adalah Hertz (Hz).

Bit depth mendeskripsikan jumlah *bit (binary digits)* pada setiap *sample*. *Bit* merupakan unit informasi terkecil (diekspresikan dalam 0 atau 1) yang disimpan dalam media penyimpanan digital. *Bit rate* mendefinisikan jumlah *bit* yang diproses per detik. Satuan untuk *bit rate* adalah *bits per second (bps)*. Secara teori, makin tinggi *bit rate*, suara yang dihasilkan akan makin baik.

Jumlah *channel* pada *codec* yang digunakan untuk VoIP adalah satu. Dengan begitu, jumlah *channel* tidak mempengaruhi ukuran *bit rate*.

Beberapa *codec* yang biasa digunakan untuk VoIP pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) G.722

G.722 merupakan *codec* yang distandardisasi oleh *Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)*. ITU-T merupakan salah satu sektor utama dari *International Telecommunication Union (ITU)*, sebuah lembaga di Amerika Serikat yang sangat peduli terhadap permasalahan teknologi informasi dan komunikasi (Johnston, 2004). Salah satu tugas ITU-T adalah membuat rekomendasi teknis mengenai telepon (Tanenbaum, 2003). Rekomendasi ITU-T mengenai *codec* G.722 adalah *sampling rate* 16 kHz dan *bit depth* 14 bit. Dengan algoritma kompresi yang digunakan, *bit rate* yang dimiliki G.722 menjadi 64 kbps.

2) G.711

G.711 juga merupakan *codec* yang distandardisasi oleh ITU-T. Nama formal G.711 adalah *Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies*. *Sampling rate* dan *bit depth* G.711 secara berurutan adalah 8 kHz dan 8 bit, menjadikan *codec* ini mempunyai *bit rate* 64 kbps. G.711, sebagai standard, mempunyai dua algoritma kompresi, yaitu algoritma A-Law dan U-Law. Kedua algoritma ini menghasilkan dua *codec* yang berbeda, yaitu G.711a atau PCMA (A-Law) dan G.711u atau PCMU (U-Law).

3) Speex

Speex dibuat oleh Xiph Foundation karena mereka menginginkan adanya *codec* VoIP yang bersifat kode sumber terbuka dan jauh dari paten perangkat lunak. Speex didesain untuk berbagai kualitas suara. Karena itu, Speex dapat dikodekan dengan *sampling rate* 16 kHz dan 32 kHz untuk kebutuhan kualitas suara yang prima, dan *sampling rate* 8 kHz untuk kebutuhan VoIP di saluran transmisi dengan *bandwidth* yang terbatas (Valin, 2007). *Bit rate* yang dimiliki Speex juga bervariasi, yaitu berkisar antara 2,15 kbps sampai 44,2 kbps.

4) GSM

GSM Full Rate / GSM 06.10 merupakan *codec* pertama yang digunakan pada *Global System for Mobile Communications (GSM)*. Selanjutnya pada penelitian ini, istilah GSM merujuk kepada GSM Full Rate. GSM dikembangkan sekaligus distandardisasi oleh *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*. ETSI merupakan organisasi non-profit yang memproduksi standar teknologi informasi dan komunikasi (ETSI, 2012). GSM menggunakan *sampling rate* 8 kHz dan *bit depth* 13 bit, menghasilkan *bit rate* 104 kbps. Dengan algoritma kompresi yang digunakan, *bit rate* yang dimiliki GSM menjadi 13 kbps.

5) BV16

BroadVoice merupakan keluarga *codec* yang diciptakan dan dikembangkan oleh Broadcom, lalu distandardisasi oleh CableLabs, SCTE, ANSI, dan ITU-T. Salah satu anggota keluarga *codec* BroadVoice adalah BroadVoice16 (BV16). BV16 mempunyai *sampling rate* 8 kHz dan *bit depth* 2 bit, menghasilkan *bit rate* 16 kbps (Broadcom, 2012).

G. Softphone

Softphone adalah perangkat lunak yang memberikan fungsi VoIP kepada komputer. Kebutuhan minimum

komputer untuk dapat melakukan panggilan VoIP dengan memanfaatkan *softphone* adalah kartu suara, *speaker/headset*, mikrofon, dan tentunya kartu jaringan, agar dapat terhubung dengan komputer lain.

Setelah kebutuhan minimum tersebut terpenuhi, komputer yang dilengkapi *softphone* dapat digunakan untuk melakukan seperti *smartphone*. Jadi, dengan menggunakan ponsel ber-*softphone*, antar pengguna dapat berkomunikasi menggunakan layanan VoIP (Purbo, 2010).

Syarat utama dalam berkomunikasi menggunakan layanan VoIP adalah kedua (atau lebih) pengguna harus menggunakan *codec* yang sama (Rodman, 2008). Protokol yang biasanya didukung oleh kebanyakan *softphone* adalah SIP, dan *codec* yang biasanya didukung oleh kebanyakan *softphone* adalah PCMA, PCMU, dan GSM. Setiap *softphone* mempunyai satu atau lebih *codec*. Pada saat membangun telepon, masing-masing *softphone* membagi daftar *codec* yang mereka dukung. Jika ada beberapa *codec* yang sama-sama didukung, maka *codec* yang dipilih adalah *codec* yang sama-sama menjadi prioritas kedua *softphone* (Rodman, 2008).

H. Quality of Service dan Network Impairment

Quality of Service (QoS) dapat didefinisikan dari dua sudut pandang, yaitu sudut pandang pengguna akhir dan sudut pandang jaringan. Dari sudut pandang pengguna akhir, QoS adalah persepsi pengguna akhir terhadap kualitas layanan (data, video, atau suara) yang didapat dari penyedia jaringan. Sedangkan dari sudut pandang jaringan, QoS adalah kemampuan jaringan untuk menyediakan QoS sesuai dengan persepsi pengguna akhir (Park, 2005).

Ada dua kemampuan jaringan yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS pada *packet-switched network*. Pertama, jaringan harus mampu membedakan kelas lalu lintas (*traffic*) sehingga pengguna akhir dapat memperlakukan satu atau lebih kelas lalu lintas secara berbeda. Kedua, jaringan harus mampu memperlakukan kelas-kelas tersebut secara jelas dengan menyediakan jaminan sumber daya dan diferensiasi layanan (Park, 2005).

Oleh karena sifat dari jaringan IP, paket suara yang dikirim via IP akan mengalami beberapa masalah transmisi (*network impairment*). *Network impairment* biasanya ditandai dengan *delay*, *jitter*, atau *packet loss*.

Delay atau *latency* adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk memproses data. Pada VoIP, data berupa sinyal audio. Pada jaringan komputer, *delay* diukur secara *one-way* maupun *round-trip*. *One-way delay* adalah waktu tunggu yang dihitung mulai paket data dikirim oleh sumber, sampai paket data diterima oleh tujuan. Sedangkan *round-trip delay* adalah *one-way delay* dari sumber ke tujuan ditambah *one-way delay* dari tujuan kembali ke sumber. Pada jaringan VoIP, yang digunakan adalah *one-way delay*. *Delay* (*one-way*) maksimal yang masih bisa diterima adalah 150 milidetik. *Delay* yang melebihi 150 milidetik akan sangat mengganggu jalannya percakapan.

Jitter adalah variasi sampainya paket-paket suara pada tujuan akhir. Variasi waktu sampainya paket, mengakibatkan jeda pada reproduksi dan *playback* suara. *Jitter* dapat terjadi karena ada kemacetan pada jalur transmisi paket atau terjadi antrian paket yang tidak berimbang pada *buffer* di titik-titik jaringan. *Jitter* maksimal yang masih bisa diterima adalah 20

panggilan VoIP antar komputer, dari komputer ke telepon PSTN/seluler, dan dari telepon PSTN/seluler ke komputer. Layanan yang umumnya diberikan oleh penyedia jasa VoIP adalah panggilan antar komputer. *Softphone* tidak hanya dapat diinstal pada komputer, tetapi juga pada perangkat lain,

milidetik. Jika *jitter* melebihi 20 milidetik, suara pada saat percakapan akan terputus-putus.

Paket suara bisa saja hilang di tengah jalan karena berbagai kondisi, seperti jaringan yang tidak stabil, kemacetan, atau *jitter* yang terlalu sering. *Packet loss* yang tinggi akan menyebabkan adanya celah atau suara yang hilang di tengah percakapan.

Jumlah *network impairment* pada jaringan IP dapat diminimalisir dengan menggunakan mekanisme QoS. Pada penelitian ini, tidak digunakan mekanisme QoS dalam pengukuran *network impairment*. Dalam melakukan analisis *network impairment* dan penggunaan *bandwidth*, diperlukan alat-alat bantu yang dapat menghasilkan nilai-nilai pasti. Alat bantu berupa perangkat lunak yang biasa digunakan adalah Wireshark. Wireshark merupakan perangkat lunak kode sumber terbuka untuk melakukan analisis paket-paket pada jaringan (Wong, 2009). Wireshark mempunyai kemampuan untuk mengurutkan informasi dan menyaring paket-paket apa saja yang ditampilkan. Wireshark mendukung mode *promiscuous*. Mode *promiscuous* adalah sebuah konfigurasi yang dilakukan pada perangkat keras kartu jaringan, sehingga kartu jaringan tersebut mampu mengambil semua paket yang diterimanya, tidak hanya paket yang memang ditujukan untuk kartu jaringan tersebut (Wong, 2009).

Wireshark melakukan kalkulasi penggunaan *bandwidth* komunikasi VoIP pada level IP. Wireshark menghitung ukuran *payload* suara dengan mengikutsertakan *overhead* yang berupa *header* RTP, UDP, dan IP. Secara teoritis, penghitungan penggunaan *bandwidth* dapat dilakukan tanpa melakukan analisis hasil. Akan tetapi, hasil penghitungannya belum tentu sesuai dengan kenyataan.

I. Mean Opinion Score

Mean Opinion Score (MOS) merupakan salah satu cara dalam melakukan tes subjektif untuk pengukuran kualitas jaringan VoIP. Dengan MOS, jaringan VoIP bisa dievaluasi akan adanya gangguan jaringan/komponen jaringan. Selain itu, MOS juga berfungsi untuk mengevaluasi algoritma kompresi pada penggunaan *codec*.

Dalam komunikasi suara, kejernihan / kejelasan suara menjadi hal yang paling penting. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kejernihan suara. Faktor-faktor tersebut merupakan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam MOS. Kejernihan suara pada VoIP disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini (Wallace, 2009) :

1) Kemurnian Suara

Fidelity atau kemurnian suara adalah derajat keakuratan sistem untuk mereproduksi suara penelepon.

2) Gaung

Gaung/echo adalah hasil dari ketidakcocokan impedansi elektrik pada jalur transmisi. Suara yang terpantul (*gaung*) dengan jeda yang cukup lama dengan suara asli akan sangat mengganggu jalannya percakapan.

3) *Jeda Percakapan*

Jeda percakapan adalah waktu tunggu yang antara suara yang diucapkan oleh penelepon A dengan suara yang diterima oleh penelepon B. Jeda percakapan yang cukup lama disebabkan oleh *delay* yang tinggi.

4) *Suara Terputus-putus*

Jika penelepon A mengucapkan "Selamat siang" sedangkan penelepon B mendengar "Se...lam...at.....si..ang", berarti suara yang diucapkan terputus-putus. Hal ini biasanya disebabkan oleh *jitter* yang tinggi.

5) *Suara Hilang*

Suara yang hilang (kata/kalimat yang hilang) di tengah percakapan disebabkan oleh *packet loss*.

6) *Background Noise*

Background noise adalah suara latar bervolume rendah (gaduh) yang disebabkan oleh keadaan sekitar penelepon. Selain dapat mengganggu penelepon yang lain, *background noise* juga akan membebani penggunaan *bandwidth*.

III. METODE PENELITIAN

A. *Analisis Kebutuhan Sistem*

Sistem dibangun dengan tiga komponen utama, yaitu SIP Server, client SIP, dan penganalisis protokol jaringan.

1) *SIP Server*

SIP Server menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Processor : Satu Inti 2,8 GHz
- b. RAM : 512 MB
- c. Sistem Operasi : Debian 6.0.4
- d. Perangkat Lunak : Open SIP Server 1.6.4

1) *Klien SIP*

Jumlah total klien SIP ada 3, dua berupa ponsel pintar, dan satu berupa komputer jinjing. Spesifikasi perangkat keras klien yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1 SPESIFIKASI KLIEN SIP

Spesifikasi	Klien SIP-1	Klien SIP-2	Klien SIP-3
Processor	ARM, 600 MHz	ARM, 830 MHz	dua inti, 1,8 GHz
RAM	384 MB	290 MB	2 GB
Sistem Operasi	Android 2.3.6	Android 2.3.5	Linux Mint 12
Perangkat Lunak	Sipdroid 2.6	Sipdroid 2.6	Jitsi 1.0

2) *Penganalisis Protokol Jaringan*

Komponen ini menggunakan satu komputer *desktop* dengan spesifikasi sebagai berikut:

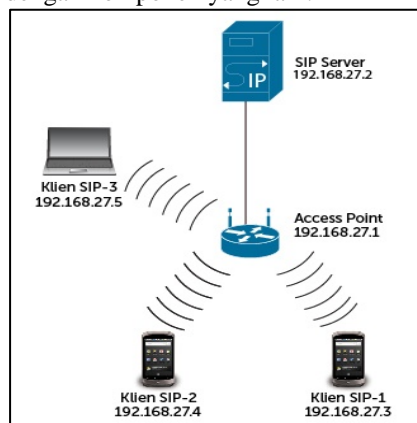
- a. Processor : Empat inti 3,2 GHz
- b. RAM : 4 GB
- c. Perangkat Lunak : Wireshark 1.6.5

B. *Arsitektur Sistem*

Arsitektur sistem yang dibangun dapat disajikan pada Gambar 2. Terdapat satu SIP Server yang terhubung ke Acces Point (AP) menggunakan kabel UTP *cross-over*. Ada tiga

klien SIP yang terhubung dengan AP, yaitu Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 yang berupa *smartphone*, serta Klien SIP-3 berupa komputer jinjing. Ketiganya terhubung dengan memanfaatkan sinyal radio berfrekuensi 2,4 GHz (standar *IEEE 802.11g*).

Arsitektur WLAN yang digunakan adalah mode infrastruktur. Pada arsitektur ini SIP Server terhubung ke LAN port AP, sehingga SIP Server berada di satu alamat jaringan yang sama dengan komponen yang lain.



Gambar 2. Arsitektur Sistem VoIP

Alamat IP yang digunakan untuk membangun sistem adalah 192.168.27.1 dengan *netmask* 255.255.255.248. Rincian alamat IP diberikan pada Tabel 2.

TABEL 2 RINCIAN ALAMAT IP

Alamat IP	Desimal
Alamat IP	192.168.27.1
Netmask	255.255.255.248
Alamat jaringan	192.168.27.0
Alamat broadcast	192.168.27.7
Alamat host minimal	192.168.27.1
Alamat host maksimal	192.168.27.6

uloNetmask 255.255.255.248 merupakan yang pilihan yang paling tepat karena sistem yang dibangun hanya mempunyai lima *host*, yaitu satu SIP Server, tiga klien SIP, dan satu AP. Dengan penggunaan *netmask* ini, masih ada satu alamat IP yang bisa digunakan untuk tahap analisis hasil. Delegasi masing-masing alamat IP terdapat pada Tabel 3.

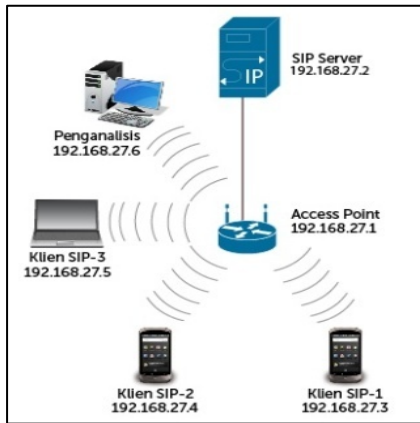
TABEL 3 DELEGASI ALAMAT IP TIAP KOMPONEN

Komponen Sistem	Alamat IP
Access Point	192.168.27.1
SIP Server	192.168.27.2
Klien SIP - 1	192.168.27.3
Klien SIP - 2	192.168.27.4
Klien SIP - 3	192.168.27.5

Pada tahap proses analisis hasil, ditambahkan satu buah komputer *desktop* (Gambar 3.) yang berfungsi untuk menganalisis parameter-parameter *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* dari arsitektur VoIP. Masih terdapat satu alamat IP yang bisa digunakan, yaitu 192.168.27.6. IP tersebut didelegasikan untuk komputer penganalisis.

Langkah berikutnya yaitu pengkodean, pengkodean merupakan hal-hal yang berhubungan dengan instalasi dan konfigurasi perangkat lunak. Pengkodean dilakukan terhadap

Kebutuhan awal untuk pengkodean SIP Server adalah instalasi dan konfigurasi sistem operasi, aplikasi pendukung, dan aplikasi server pendukung. Setelah ketiga hal tersebut selesai dilakukan, hal terakhir yang dilakukan dalam pengkodean SIP Server adalah instalasi dan konfigurasi aplikasi SIP Server, yaitu Open SIP Server.



Gambar 3. Arsitektur Sistem VoIP proses Analisis

C. Proses Analisis Hasil

Tahap analisis hasil mencakup analisis nilai-nilai penggunaan bandwidth dan network impairment, serta nilai-nilai MOS. Nilai-nilai tersebut, selain dipengaruhi oleh kinerja dan kapasitas jaringan, juga sangat dipengaruhi oleh penggunaan codec.

Terdapat enam codec yang digunakan antara Klien SIP-1 dengan Klien SIP-2. Selain itu, ada empat codec yang digunakan antara Klien SIP-1 dengan Klien SIP-3. Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 sama-sama menggunakan softphone Sipsdroid, maka keseluruhan codec yang didukung oleh Sipsdroid bisa digunakan. Daftar codec beserta spesifikasi sampling rate dan bit rate yang didukung oleh Sipsdroid dapat dilihat di Tabel 4.

TABEL 4 DAFTAR CODEC YANG DIDUKUNG OLEH SIPDROID

No.	Nama Codec	Sampling Rate	Bit Rate
1	G.722	16 kHz	64 kbps
2	PCMA	8 kHz	64 kbps
3	PCMU	8 kHz	64 kbps
4	Speex	8 kHz	11 kbps
5	GSM	8 kHz	13 kbps
6	BV16	8 kHz	16 kbps

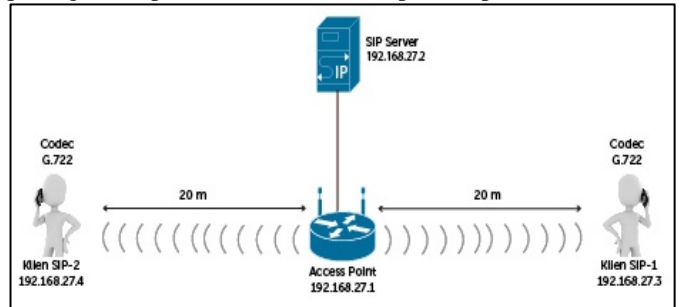
Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 menggunakan softphone yang berbeda. Klien SIP-1 menggunakan Sipsdroid, sedangkan Klien SIP-3 menggunakan Jitsi. Dari daftar codec yang kedua softphone miliki, hanya ada empat codec yang sama, yaitu G.722, PCMA, PCMU, dan Speex.

Proses analisis MOS dilakukan dengan tes percakapan, yang dibantu oleh sepuluh responden. Responden dipilih berdasarkan pada rekomendasi P.800 dari ITU-T (International Telecommunication Union) mengenai metode determinasi kualitas transmisi secara subjektif. Dokumen

ketiga komponen, yaitu SIP Server, Klien SIP, dan penganalisis protokol jaringan.

tersebut menyatakan bahwa responden-responden yang dipilih untuk mengikuti tes percakapan haruslah orang yang tidak memiliki hubungan langsung dengan uji kualitas sistem VoIP.

Setiap percakapan dilakukan selama 60 sampai 80 detik. Agar percakapan yang dilakukan menjadi terarah dan natural, kesepuluh responden dipasang-pasangkan menjadi lima pasangan tetap untuk melakukan tes percakapan.



Gambar 4. Tes Percakapan pada Jarak 20 Meter

Setiap pasangan diarahkan untuk menggunakan kesepuluh codec (Klien SIP-1 dengan Klien SIP-2 dan Klien SIP-1 dengan Klien SIP-3) secara bergantian. Akan tetapi, kesepuluh responden tidak diinformasikan mengenai nama-nama codec yang mereka gunakan untuk menjaga subjektivitas. Setiap codec dicoba di berbagai jarak yang berbeda, yaitu 5, 10, 15, dan 20 meter. Gambaran test dapat disajikan pada Gambar 4.

Pada setiap tes, responden menilai suara yang mereka dengar pada saat tes percakapan dengan skala 1 sampai 5, dimana 1 adalah terburuk dan 5 adalah terbaik. Kesetaraan nilai verbal dan numerik dapat dilihat pada tabel 5. Nilai yang digunakan pada hasil akhir pengujian merupakan titik tengah dari nilai-nilai numerik yang diberikan oleh responden.

TABEL 5 NILAI VERBAL DAN NUMERIK

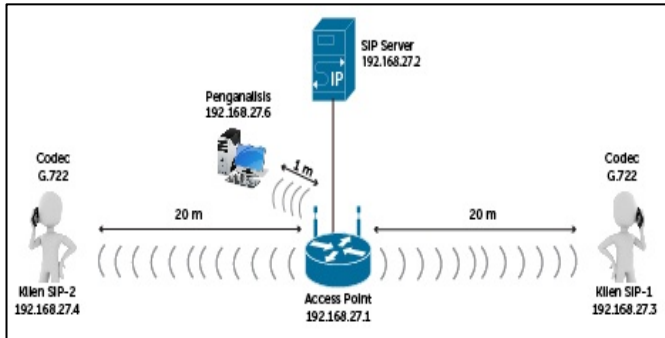
Nilai Verbal	Nilai Numerik
Sangat baik	5
Baik	4
Cukup baik	3
Kurang baik	2
Buruk	1

Sumber: ITU-T Recommendation P.800, 1996

Selanjutnya dilakukan analisis network impairment, proses analisis network impairment dimulai dari penangkapan paket data menggunakan perangkat lunak Wireshark. Komputer penganalisis diletakkan berdekatan (jarak 1 meter) dengan AP, agar seluruh paket data dari dan ke AP dapat ditangkap. Gambaran penangkapan paket data di tes percakapan dengan codec G.722 dan jarak 20 meter dapat dilihat pada Gambar 5.

Proses penangkapan paket data dilakukan bersamaan dengan dilakukannya tes percakapan. Dengan lima pasangan tes percakapan, sepuluh codec, dan empat jarak berbeda, maka jumlah total komunikasi VoIP yang ditangkap adalah 200. Langkah selanjutnya adalah mengekstrak nilai-nilai delay, jitter, packet loss, dan penggunaan bandwidth dari

paket data yang ditangkap. Nilai-nilai tersebut disusun dalam



Gambar 5. Gambaran Penangkapan Paket Data

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Instalasi dan Konfigurasi SIP Server

Penelitian ini menggunakan OpenSIPS versi 1.6.4 untuk tahap implementasi. Dengan konfigurasi standar, OpenSIPS sudah dapat dimanfaatkan untuk komunikasi antar SIP Klien. Akan tetapi belum dapat digunakan untuk *user authentication* (otentikasi akun pengguna). Sehingga semua SIP Klien dengan nama pengguna dan sandi apapun dapat terhubung dengan Open SIPS tanpa terkecuali. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan modifikasi *routing script* Open SIPS agar mendukung *user authentication*. Penyimpanan *user credentials* (akun pengguna) dibantu oleh MySQL Server.

OpenSIPS terdiri dari komponen utama dan berbagai modul dengan fungsi yang berbeda-beda. Beberapa modul yang harus digunakan untuk membangun SIP Server dengan dukungan media proxy adalah *Nathelper* dan *Rtpproxy*.

B. Penambahan Akun Pengguna pada SIP Server

Pada SIP Server, dibuat tiga akun pengguna untuk masing-masing Klien SIP. Ketiga akun tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 6 KLIEN SIP DAN ALAMAT SIP

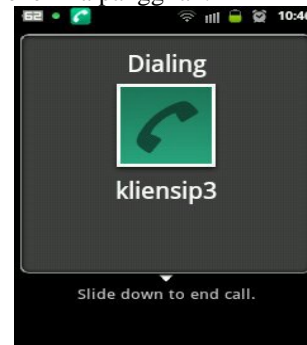
Klien SIP	Alamat SIP
Klien SIP-1	sip:kliensip1@192.168.27.2
Klien SIP-2	sip:kliensip2@192.168.27.2
Klien SIP-3	sip:kliensip3@192.168.27.2

Dua tipe *softphone* yang digunakan pada penelitian ini adalah Sipdroid dan Jitsi. Keduanya memiliki tampilan dan dukungan terhadap daftar *codec* yang berbeda. Sipdroid digunakan oleh Klien SIP-1 dan Klien SIP-2, sedangkan Jitsi digunakan oleh Klien SIP-3. Sipdroid mempunyai tampilan yang sederhana dan mudah dipahami. *Codec* yang didukung oleh Sipdroid adalah G.722, PCMA, PCMU, Speex, GSM, dan BV16.

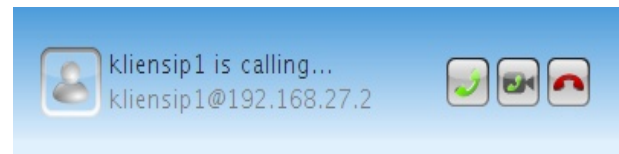
Pengujian sistem dilakukan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3. Keduanya terhubung dengan *access point* (AP) yang sama. Pengujian ini juga menggunakan komputer penganalisis untuk menangkap paket SIP yang masuk dan keluar AP.

Awalnya Klien SIP-1 menghubungi Klien SIP-3, seperti terlihat pada Gambar 6. Kemudian Klien SIP-3 menerima telepon, sehingga antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 sudah

bentuk tabel untuk selanjutnya dilakukan proses evaluasi. bisa melakukan komunikasi suara, seperti pada Gambar 7, jitsi berdering menerima panggilan.

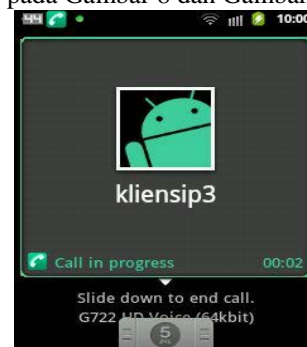


Gambar 6. Sipdroid menghubungi Klien SIP-3

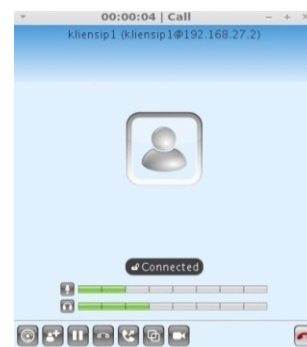


Gambar 7 Tampilan Jitsi Saat Berdering

Kemudian Klien SIP-3 menerima telepon, sehingga antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 sudah bisa melakukan komunikasi suara. Pada saat percakapan, tampilan Sipdroid dan Jitsi terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Sipdroid Saat Percakapan Berlangsung



Gambar 9. Jitsi Saat Percakapan Berlangsung

Komputer penganalisis yang dilengkapi perangkat lunak Wireshark berhasil mendeteksi satu komunikasi VoIP. Deteksi tersebut terlihat pada Gambar 10. Proses terjadinya komunikasi VoIP pun dapat ditangkap oleh Wireshark, seperti terlihat pada Gambar 11.

Detected 1 VoIP Call. Selected 0 Calls.					
Start Time	Stop Time	Initial Speaker	From	To	Protocol
63.607046	82.653915	192.168.27.2	<sip:klisip1@192.168.27.2	<sip:klisip3@192.168.27.2	SIP

Gambar 10. Wireshark mendeteksi komunikasi VoIP



Gambar 11. Komunikasi VoIP pada Wireshark

C. Tahap Analisis Hasil

Tahap analisis hasil menyangkut analisis terhadap nilai-nilai *Mean Opinion Score* (MOS). Selain MOS, pada tahap ini juga dilakukan analisis hasil terhadap nilai-nilai penggunaan *bandwidth* dan *network impairment*, yaitu *delay*, *jitter*, dan *packet loss* dari tes percakapan VoIP. Bagian terakhir dari analisis hasil adalah evaluasi nilai-nilai MOS, *network impairment*, dan penggunaan *bandwidth* terhadap sistem yang telah dibangun

Analisis hasil *Mean Opinion Score* didapatkan nilai-nilai dari sepuluh responden disusun berdasarkan nama *codec* dan jarak. Nilai-nilai tersebut juga disusun berdasarkan klien SIP yang digunakan. Nilai MOS tiap *codec* dihitung dengan menggunakan formula (1).

$$MOS = \frac{(N_E \times 5) + (N_G \times 4) + (N_F \times 3) + (N_P \times 2) + (N_B \times 1)}{N} \quad (1)$$

Nilai N_E , N_G , N_F , N_P , dan N_B merupakan jumlah responden yang memberikan nilai secara berurutan: sangat baik, baik, cukup baik, kurang baik, dan buruk. Nilai N merupakan jumlah total responden, kalkulasinya disajikan pada formula (2).

$$N = N_E + N_G + N_F + N_P + N_B \quad (2)$$

Nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 dipaparkan dalam Tabel 7. Masing-masing *codec* mempunyai empat nilai MOS, terhitung dari empat jarak yang berbeda.

TABEL 7 NILAI MOS ANTARA KLIEN SIP-1 DAN KLIEN SIP-2

Nama Codec	Jarak (m)	Nilai dari Tiap Responden										MOS	RR
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
G.722	5	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4,3	4,2
	10	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4,1	
	15	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4,3	
	20	3	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4,2	
PCMA	5	3	5	3	3	3	3	3	3	4	3	3,3	3,6
	10	3	5	4	5	3	3	3	4	4	3	3,7	
	15	4	5	3	4	3	4	3	3	4	3	3,6	
	20	4	5	3	4	4	4	4	3	4	3	3,8	
PCMU	5	4	5	2	4	4	4	3	3	3	3	3,5	3,7
	10	3	5	4	4	4	4	4	3	4	3	3,8	
	15	4	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3,7	
	20	3	5	3	4	4	4	3	3	4	3	3,6	
Speex	5	3	5	2	4	4	5	3	4	3	3	3,6	3,8
	10	3	5	3	4	4	5	3	4	3	4	3,8	
	15	4	5	4	4	4	5	5	4	3	3	4,1	

Nama Codec	Jarak (m)	Nilai dari Tiap Responden										MOS	RR
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
	20	3	5	3	4	4	5	4	4	3	3	3,8	

Dari data pada Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa kualitas komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 sangat dipengaruhi oleh *codec* yang digunakan, tetapi tidak terlalu dipengaruhi oleh jarak antara klien SIP dengan *access point* (AP) maupun jarak antar klien SIP.

Dilihat dari nilai MOS rata-rata (RR), nilai tertinggi diraih oleh G.722, lalu diikuti GSM, Speex, PCMU, PCMA, dan BV16. Hal ini membuktikan bahwa masing-masing *codec* mempunyai kualitas suara yang berbeda, dan G.722 merupakan *codec* dengan kualitas suara terbaik diantara *codec* yang diuji lainnya.

Nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 dipaparkan dalam Tabel 8. Masing-masing *codec* mempunyai empat nilai MOS, terhitung dari empat jarak yang berbeda.

TABEL 8 NILAI MOS ANTARA KLIEN SIP-1 DAN KLIEN SIP-3

Nama Codec	Jarak (m)	Nilai dari Tiap Responden										MOS	RR
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J		
G.722	5	4	5	4	3	5	5	4	3	3	4	4	4,1
	10	3	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	
	15	3	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4,2	
	20	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4,2	
PCMA	5	4	4	4	3	4	3	3	5	5	4	3,9	3,7
	10	4	5	4	3	3	3	4	3	3	3	3,5	
	15	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3,6	
	20	4	5	3	4	4	3	3	3	3	4	3,6	
PCMU	5	4	4	4	5	5	3	4	3	4	4	4	3,7
	10	4	5	3	4	4	4	3	4	3	3	3,7	
	15	4	5	3	4	4	4	3	3	3	3	3,6	
	20	4	5	3	4	4	3	3	4	3	3	3,6	
Speex	5	3	3	3	5	5	4	4	3	4	4	3,8	3,6
	10	3	5	2	4	3	5	3	4	3	3	3,5	
	15	3	5	3	4	3	3	3	4	3	4	3,5	
	20	3	5	3	4	3	5	3	4	3	4	3,7	

Dari data pada Tabel 6, dapat disimpulkan bahwa kualitas komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 sangat dipengaruhi oleh *codec* yang digunakan, tetapi tidak terlalu dipengaruhi oleh jarak antara klien SIP dengan AP maupun jarak antar klien SIP.

Dilihat dari nilai MOS rata-rata (RR), nilai tertinggi diraih oleh G.722, lalu diikuti PCMA dan PCMU, dan terakhir adalah Speex. Hal ini membuktikan bahwa masing-masing *codec* mempunyai kualitas suara yang berbeda, dan G.722 merupakan *codec* dengan kualitas suara terbaik diantara *codec* yang diuji lainnya.

Hasil analisis berikutnya yaitu *Network Impairment dan Penggunaan Bandwidth*. Nilai-nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* diekstrak dari paket data yang ditangkap oleh Wireshark. Setiap percakapan menghasilkan dua aliran RTP, seperti yang terlihat di Gambar 12. Masing-masing aliran menghasilkan nilai *delay* (delta), *jitter*, *packet loss*, dan penggunaan *bandwidth* yang berbeda, seperti terlihat di Gambar 13.

Detected 2 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis									
Src IP Addr	Src port	Dst IP Addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Del	
192.168.27.3	21000	192.168.27.4	21000	0x3CD5EB2A	g722	6870	133 (1.9%)	425.86	
192.168.27.4	21000	192.168.27.3	21000	0xF3A1C2C6	g722	6839	129 (1.9%)	426.26	

Gambar 12. Wireshark Mendeteksi Dua Aliran RTP

Analysing stream from 192.168.27.3 port 21000 to 192.168.27.4 port 21000 SSRC = 0x3CD5EB2A							
Pack	Sequenc	Delta(m)	Filtered Jitter(Skew(ms)	IP BW(kb	Mark	Status
3221	1546	0.60	21.23	-205.48	94.40		[Ok]
3278	1575	0.57	22.88	-205.91	94.40		[Ok]
3397	1634	18.71	21.24	-200.91	94.40		[Ok]
9472	4638	5.66	20.20	-199.66	94.40		[Ok]
3164	1516	18.28	19.52	-210.82	92.80		[Ok]
3220	1545	39.76	21.35	-224.87	92.80		[Ok]
3250	1560	20.27	21.03	-208.08	92.80		[Ok]

Max delta = 425.86 ms at packet no. 11954
 Max jitter = 34.34 ms. Mean jitter = 13.01 ms.
 Max skew = -384.03 ms.
 Total RTP packets = 7003 (expected 7003) Lost RTP packets = 133 (1.90%) Sequence errors = 65
 Duration 140.25 s (-32 ms clock drift, corresponding to 7998 Hz (-0.02%))

Gambar 13. Tampilan Analisis Wireshark pada RTP

Pemaparan nilai-nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama merupakan nilai-nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 (Tabel 9).

TABEL 9 HASIL NETWORK IMPAIRMENT SIP-1 DAN SIP-2

Parameter Uji	Type Codec					
	BV16	GSM	Speex	PCMU	PCMA	G.722
Bandwidth (Kbps)	31.1	28.69	27.12	84.7	78.6	78.66
Delay (milidetik)	21.05	20.78	20.83	20.66	20.77	20.81
Jitter (milidetik)	9.33	8.61	7.97	8.4	8.37	11.27
Paket Loss (%)	3.63	2.54	2.56	2.0	2.51	2.75

Bagian kedua merupakan nilai-nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 (Tabel 9).

TABEL 9 NILAI NETWORK IMPAIRMENT SIP-1 DAN SIP-3

Parameter Uji	Type Codec			
	Speex	PCMU	PCMA	G.722
Bandwidth (Kbps)	25.32	76.91	78.04	78.18
Delay (milidetik)	21.12	21.46	21.14	21.24
Jitter (milidetik)	5.6	6.72	6.71	8.18
Paket Loss (%)	4.38	5.95	4.71	4.94

Tipe *codec* yang digunakan cukup mempengaruhi salah satu elemen *network impairment*, yaitu *jitter*. Salah satu yang sangat terlihat dari hal tersebut adalah nilai *jitter* rata-rata G.722 yang selalu paling tinggi (paling buruk). Penggunaan *bandwidth* rata-rata masing-masing *codec* juga berbeda. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan *bandwidth* rata-rata yang hampir sama karena *bit rate* ketiganya juga sama. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan *bandwidth* yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan Speex, GSM, dan BV16.

Pada analisis ada perubahan nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* yang diperoleh pada jarak yang

berbeda, tetapi hal tersebut tidak menentu. Jarak antar klien SIP yang lebih jauh belum tentu menghasilkan nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* yang lebih buruk. Dengan begitu, jarak antar klien SIP maupun jarak antara klien SIP dengan AP kurang mempengaruhi nilai *network impairment* dan penggunaan *bandwidth*.

Hanya Speex yang selalu memiliki penggunaan *bandwidth* rata-rata lebih rendah pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan *bandwidth* rata-rata hampir sama, baik digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 maupun Klien SIP-1 dan Klien SIP-3.

D. Evaluasi MOS, Network Impairment, dan Bandwidth

Berdasarkan hasil data pengujian analisis MOS, *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* didapatkan hubungan diantara ketiganya.

1) Hubungan MOS dengan tipe codec

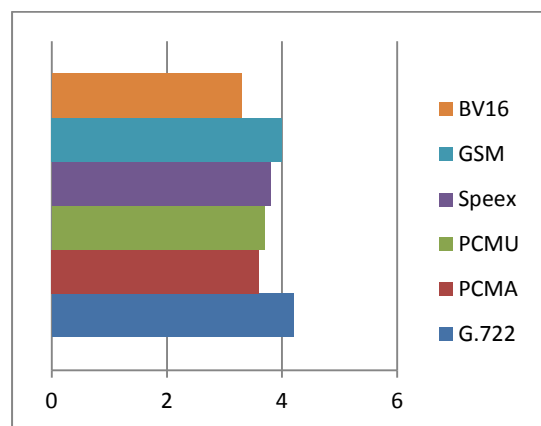
Tipe *codec* yang digunakan dalam komunikasi VoIP cukup mempengaruhi nilai MOS. Ada *codec* yang menghasilkan kualitas suara yang baik menurut responden, tetapi ada pula yang kurang baik. Selain itu, ada *codec* yang mempunyai kualitas yang hampir sama, yaitu PCMA dan PCMU. Hal tersebut terlihat dari kemiripan nilai MOS keduanya.

2) Hubungan MOS terhadap jarak antara klien SIP dengan access point (AP)

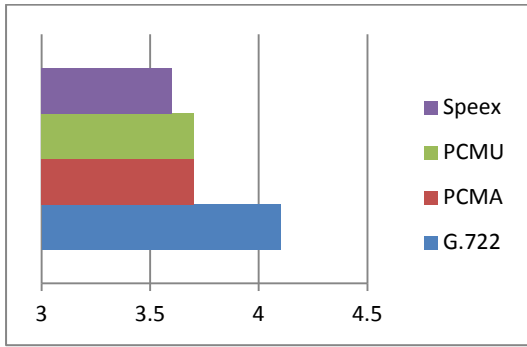
Seperti terlihat pada Tabel 6 dan Tabel 7, jarak antar klien SIP (responden) dan jarak antara klien SIP dengan AP kurang mempengaruhi nilai MOS terhadap tipe *codec* yang digunakan. Hasil tersebut valid untuk jarak yang digunakan dalam penelitian ini, dan posisi antara klien SIP dengan AP berupa garis lurus tanpa halangan.

3) Hubungan MOS dengan klien SIP yang digunakan

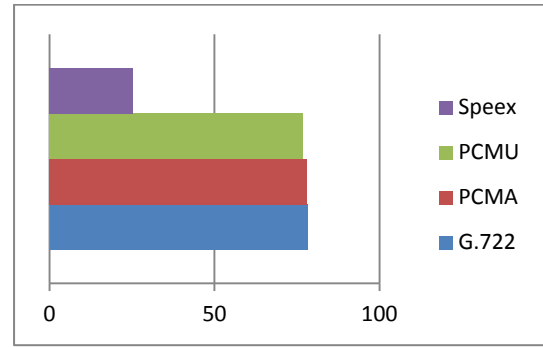
Perbedaan klien SIP yang digunakan kurang mempengaruhi nilai MOS. Pada komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 maupun antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3, G.722 tetap menjadi pilihan responden dengan nilai MOS rata-rata 4,2 dan 4,1. Perangkat keras, ponsel pintar dan komputer jinjing, serta *softphone*, Sipdroid dan Jitsi, berfungsi sama baiknya dalam komunikasi VoIP. Gambar 14 menunjukkan nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2, dan Gambar 15 menunjukkan nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3.



Gambar 14. Nilai MOS Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



Gambar 15. Nilai MOS Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3



Gambar 17. Penggunaan Bandwidth (dalam kbps) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3

4) Hubungan network impairment dan penggunaan bandwidth dengan tipe codec

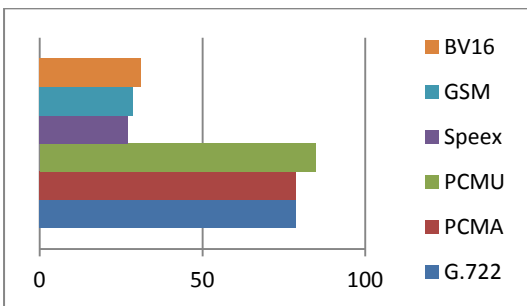
Tipe codec yang digunakan cukup mempengaruhi salah satu elemen network impairment, yaitu jitter. Salah satu yang sangat terlihat dari hal tersebut adalah nilai jitter rata-rata G.722 yang selalu paling tinggi (paling buruk). Penggunaan bandwidth rata-rata masing-masing codec juga berbeda. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan bandwidth rata-rata yang hampir sama karena bit rate ketiganya juga sama. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan bandwidth yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan Speex, GSM, dan BV16 (dapat dilihat pada Gambar 17 dan Gambar 18).

5) Hubungan network impairment dan penggunaan bandwidth dengan jarak antara klien SIP ke AP

Pada analisis ada perubahan nilai network impairment dan penggunaan bandwidth yang diperoleh pada jarak yang berbeda, tetapi hal tersebut tidak menentu. Jarak antar klien SIP yang lebih jauh belum tentu menghasilkan nilai network impairment dan penggunaan bandwidth yang lebih buruk. Dengan begitu, jarak antar klien SIP maupun jarak antara klien SIP dengan AP kurang mempengaruhi nilai network impairment dan penggunaan bandwidth.

6) Hubungan penggunaan bandwidth dengan klien SIP yang digunakan

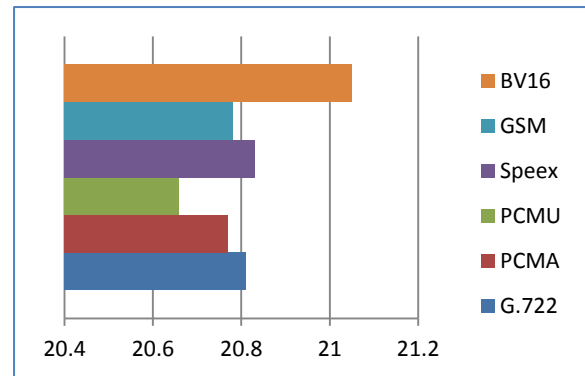
Hanya Speex yang selalu memiliki penggunaan bandwidth rata-rata lebih rendah pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3. G.722, PCMA, dan PCMU mempunyai penggunaan bandwidth rata-rata hampir sama, baik digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 maupun Klien SIP-1 dan Klien SIP-3. Gambar 16. menunjukkan penggunaan bandwidth antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2, dan Gambar 17. menunjukkan nilai penggunaan bandwidth antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3.



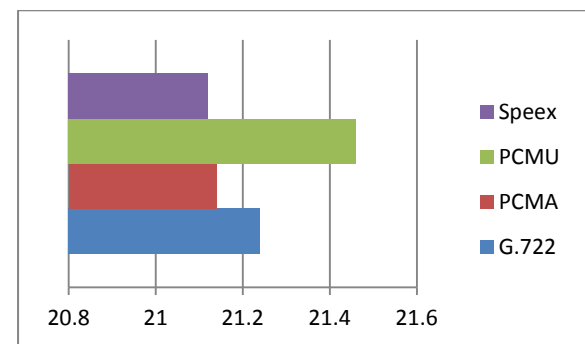
Gambar 16. Penggunaan Bandwidth (dalam kbps) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2

7) Hubungan network impairment dengan klien SIP yang digunakan

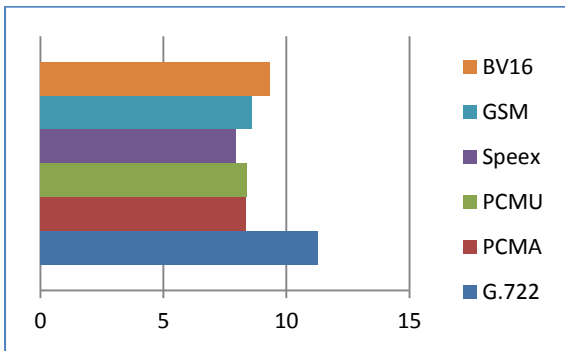
Nilai jitter rata-rata semua codec pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 pasti lebih rendah dibandingkan dengan pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 (dapat dilihat pada Gambar 20 dan Gambar 21). Dilihat dari nilai packet loss rata-rata, komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 menghasilkan nilai packet loss yang lebih tinggi dibandingkan dengan komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 (dapat dilihat pada Gambar 22 dan Gambar 23). Dilihat dari nilai delay rata-rata, komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 menghasilkan nilai delay yang lebih tinggi dibandingkan dengan komunikasi VoIP antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 (dapat dilihat pada Gambar 18 dan Gambar 19).



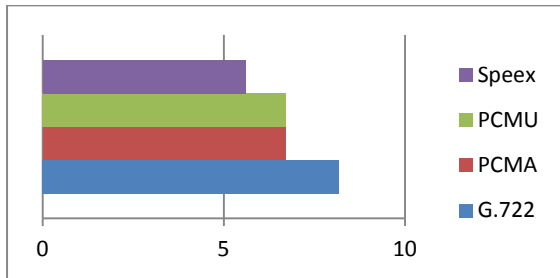
Gambar 18. Delay (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



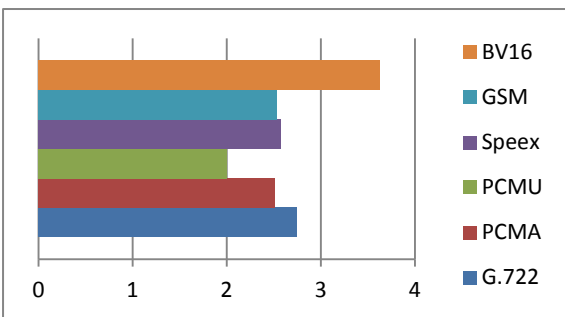
Gambar 19. Delay (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3



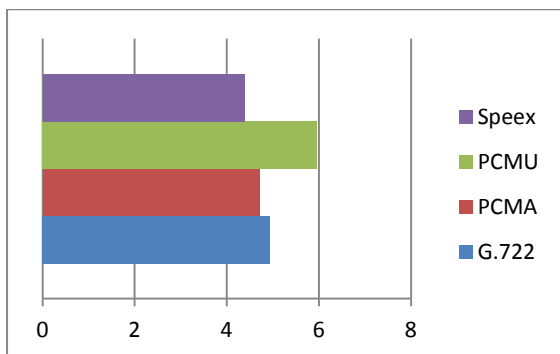
Gambar 20. Jitter (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



Gambar 21. Jitter (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3



Gambar 22. Packet Loss (dalam persentase) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



Gambar 23. Packet Loss (dalam persentase) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3

Pada analisis hasil MOS, G.722 mendapatkan nilai terbaik dibanding *codec* lainnya. Tetapi hal ini berbanding terbalik dengan analisis hasil *network impairment* dan penggunaan *bandwidth*, G.722 hampir selalu menjadi *codec* dengan nilai terburuk. Dengan *sampling rate* 16 kHz dan *bit depth* 14 bit, G.722 menghasilkan kualitas suara yang baik menurut responden. Akan tetapi, G.722 dengan *bit rate* 64 kbps, menggunakan *bandwidth* yang cukup tinggi untuk komunikasi VoIP. Untuk mengubah *sampling rate* 16 KHz dan 14 bit sinyal suara menjadi *bit rate* 64 kbps, diperlukan sebuah

metode kompresi tertentu. Hal ini lah yang membuat *jitter* rata-rata G.722 lebih tinggi dibanding *codec* yang lain. Jadi spesifikasi *codec* dan algoritma kompresi/dekompresi yang digunakan *codec* merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi *network impairment*.

MOS dihitung dengan menggunakan sistem yang diimplementasikan secara ideal. Pada penelitian ini, digunakan AP dengan *bandwidth* 54 Mbps dan komunikasi VoIP dilakukan secara bergantian oleh pasangan responden. Dalam satu waktu, hanya ada satu percakapan yang dilakukan. Jika lebih dari satu percakapan dilakukan dalam satu waktu, hal ini tentu mempengaruhi *network impairment* dan penggunaan *bandwidth* jaringan yang digunakan.

V. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

Beberapa hal dapat disimpulkan dari penelitian ini. Hal-hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan sebuah sistem VoIP berbasis SIP pada Wireless LAN. Satu komputer dan satu *access point* merupakan perangkat yang digunakan untuk membangun komponen utama sistem. Komputer menggunakan Open SIP Server sebagai *SIP Server*. *Access point* digunakan untuk menghubungkan jaringan antar klien dan antara klien dengan *SIP Server*. Klien (pengguna akhir) dapat menggunakan *smartphone* dengan *softphone* Sipdroid, atau menggunakan komputer jinjing dengan *softphone* Jitsi.
2. Urutan pilihan *codec* mulai dari yang menghasilkan kualitas suara terbaik untuk Sipdroid adalah G.722 (4,2), GSM (4), Speex (3,8), PCMU (3,7), PCMA (3,6), BV16 (3,3). Sedangkan untuk Jitsi, urutan pilihan *codec* mulai dari yang menghasilkan kualitas suara terbaik adalah G.722 (4,1), PCMU (3,7), PCMA (3,7), Speex (3,6).
3. Urutan pilihan *codec* mulai dari yang menggunakan *bandwidth* paling minim untuk Sipdroid adalah Speex (27,12 kbps), GSM (28,69 kbps), BV16 (31,1 kbps), PCMA (78,6 kbps), G.722 (78,66 kbps), PCMU (84,7 kbps). Sedangkan untuk Jitsi, urutan pilihan *codec* mulai dari yang menggunakan *bandwidth* paling minim adalah Speex (25,32 kbps), PCMU (76,91 kbps), PCMA (78,04 kbps), G.722 (78,18 kbps).
4. Sipdroid menghasilkan rata-rata *delay* yang lebih baik (rata-rata *delay* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 20,77 milidetik) dibandingkan dengan Jitsi (rata-rata *delay* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 21,24 milidetik).
5. Sipdroid menghasilkan rata-rata *packet loss* yang lebih baik (rata-rata *packet loss* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 2,46%) dibandingkan dengan Jitsi (rata-rata *packet loss* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 4,1%).
6. Jitsi menghasilkan rata-rata *jitter* yang lebih baik (rata-rata *jitter* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 6,8 milidetik) dibandingkan dengan Sipdroid (rata-rata *jitter* pada G.722, PCMA, PCMU, dan Speex adalah 9 milidetik).

B. Rekomendasi

Dapat dilakukan analisis terhadap *Secure Real-Time Transport Protocol* (SRTP) dan *Compressed Real-Time Transport Protocol* (cRTP). SRTP digunakan untuk melakukan proses enkripsi terhadap paket RTP, dan cRTP digunakan untuk mengompresi paket RTP agar penggunaan *bandwidth* menjadi lebih kecil.

Diperlukan adanya *stress call test* untuk mengukur jumlah klien yang mampu ditangani oleh *SIP Server* dalam satu waktu. *Stress call test* juga dapat digunakan untuk mengukur jumlah komunikasi VoIP yang dapat berlangsung dalam satu waktu dengan penggunaan *bandwidth* yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Britt, DT et al. (2006). *"TCP/IP Tutorial and Technical Overview"*, 8th ed. International Business Machines Corporation.
- Broadcom. (2012). *"Broadvoice"*. diakses dari www.broadcom.com, pada tanggal 10 Agustus 2012.
- ETSI. (2012). *"About ETSI"*. diakses dari www.etsi.org, pada tanggal 15 Agustus 2012.
- Goncalves, F E. 2010. *"Building Telephony Systems with OpenSIPS 1.6"*. Packt Publishing. Birmingham.
- Hallock, J. (2004). *"A Brief History of VoIP"*. University of Washington.
- Johnston, AB. (2004). *"SIP: Understanding the Session Initiation Protocol"*. 2nd ed. Artech House. Massachusetts.
- Microsoft, (2012). *"Codecs: Frequently Asked Questions"*, diakses dari windows.microsoft.com, pada tanggal 20 Agustus 2012, pukul 10:30 WIB.
- Park, K I. (2005). *"QoS In Packet Networks"*. Springer.
- PCMAG. *"Payload Definition from PC Magazine Encyclopedia"*, diakses dari www.pcmag.com, pada tanggal 8 Agustus 2012
- Purbo, O W and Raharja, A. (2010). *"VoIP Cookbook: Building your own Telecommunication infrastructure"*. One Destination Center.
- Rodman, J. (2008). *"VoIP to 20 kHz: Codec Choices for High Definition Voice Telephony"*. Polycom.
- Russell, T. (2008). *"Session Initiation Protocol (SIP): Controlling Convergent Networks"*. McGraw-Hill.
- Schulzrinne, H. (2003). *"Request for Comments: 3550 - RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications"*. Internet Engineering Task Force (IETF).
- Tanenbaum, AS. (2003). *"Computer Networks"*. 4th ed. Prentice Hall.
- Valin, J. (2007). *"The Speex Codec Manual"*. Xiph.org Foundation.
- Wallace, K. (2009). *"Cisco Voice over IP (CVOICE)"*, 3rd ed. Cisco Press. Indianapolis.
- Wallingford, T. (2005). *"Switching to VoIP"*. O'Reilly Media, Inc. Sebastopol.
- Wong, DTC, et al. (2009). *"Wireless Broadband Networks"*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.