

## **IMPLEMENTASI DAN ANALISIS VOIP BERBASIS OPEN SIP SERVER PADA WIRELESS LAN**

Mohammad Shoffa Al Arofah, Nurdin Bahtiar, Ragil Saputra  
Program Studi Teknik Informatika Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedharto, Kampus UNDIP Tembalang Semarang  
Email: [yoho@apenk.com](mailto:yoho@apenk.com)

### **ABSTRAK**

Voice over Internet Protocol (VoIP) merupakan teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui protokol internet. VoIP dapat diimplementasikan untuk komunikasi internal organisasi, institusi, dan perusahaan tanpa terbebani oleh tanggungan biaya kepada operator telekomunikasi. VoIP banyak diimplementasikan dengan media nirkabel karena kebiasaan orang berkomunikasi sudah tidak dilakukan di satu tempat yang tetap, tetapi dilakukan dengan berpindah-pindah tempat. 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. Diperlukan analisis VoIP untuk dapat menilai ketiga parameter tersebut, sehingga dihasilkan informasi yang dapat digunakan untuk membangun sistem VoIP yang optimal. Analisis hasil dilakukan terhadap enam codec, yaitu G.722, PCMA, PCMU, Speex, GSM, dan BV16. Setiap codec dianalisis pada jarak 5, 10, 15, dan 20 meter, dihitung dari posisi responden ke access point. Kualitas suara yang terbaik didapatkan oleh G.722 (nilai MOS 4,2). Codec yang menggunakan bandwidth paling rendah adalah Speex (27,12 kbps).

**Kata kunci :** Voice over Internet Protocol, Session Initiation Protocol, Mean Opinion Score, Quality of Service, Bandwidth, Codec.

### **1. PENDAHULUAN**

Saat ini telekomunikasi suara sudah banyak dilakukan oleh organisasi, institusi, dan perusahaan. 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. VoIP adalah teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui protokol *internet*.

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. Terlebih lagi, penggunaan VoIP secara internal untuk

komunikasi sesama anggota organisasi, institusi, dan perusahaan tidak terbebani oleh tanggungan biaya kepada operator telekomunikasi.

Keunggulan lain digunakannya VoIP untuk telekomunikasi suara adalah nilai konvergensi yang didapat. Sistem VoIP dapat disatukan dengan jaringan komunikasi yang sudah ada di organisasi, institusi, dan perusahaan. Konvergensi media komunikasi suara (internal maupun eksternal) dan media komunikasi lain seperti *e-mail* dapat terjadi karena keduanya dapat dilakukan dalam satu jaringan komunikasi. Sistem komunikasi yang konvergen berkontribusi terhadap penghematan biaya operasional organisasi, institusi, maupun perusahaan.

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. SIP dikembangkan oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF), komunitas internasional yang mempunyai minat tersendiri terhadap arsitektur *internet* dan perkembangannya.

Transfer suara antar perangkat VoIP dapat menggunakan media kabel maupun nirkabel (*Wireless LAN / WLAN*). Media kabel mempunyai performa dan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan media nirkabel, tetapi mempunyai fleksibilitas yang lebih rendah. Seiring dengan perubahan zaman, kebiasaan orang berkomunikasi sudah tidak dilakukan di satu tempat yang tetap, tetapi dilakukan dengan berjalan atau berpindah-pindah tempat. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan baik oleh media nirkabel.

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.

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. Setiap *codec* mempunyai algoritma kompresi dan dekompresi yang berbeda sehingga menghasilkan nilai MOS dan *network impairment* yang juga berbeda. Selain itu, tingkat kompresi yang digunakan *codec* juga mempengaruhi penggunaan *bandwidth* komunikasi VoIP.

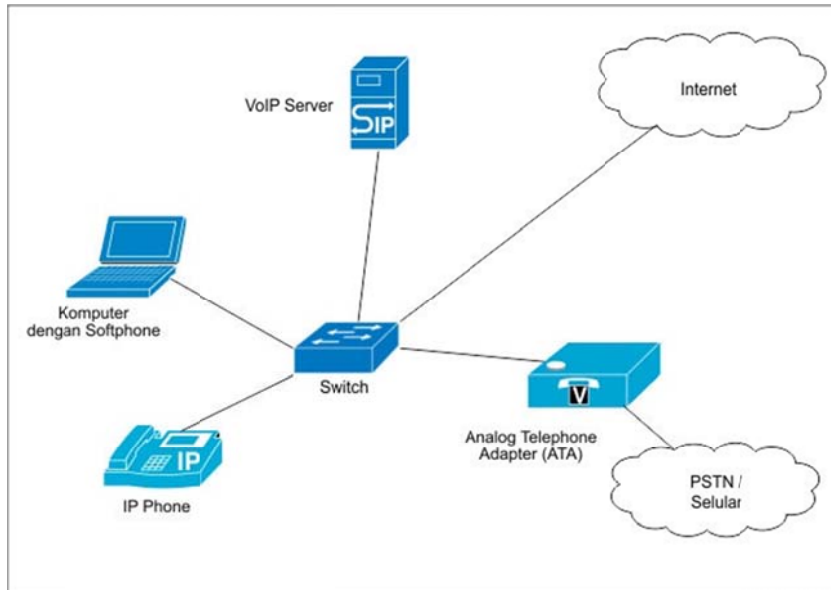
Berdasarkan uraian-uraian tersebut dapat dirumuskan permasalahan yang dihadapi, yaitu bagaimana melakukan implementasi dan optimalisasi VoIP berbasis SIP pada WLAN.

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah dapat menghasilkan sistem VoIP berbasis SIP pada WLAN yang optimal. Hasil penelitian dapat dimanfaatkan organisasi, institusi, maupun perusahaan untuk membangun sistem telekomunikasi yang optimal secara mandiri.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Voice over Internet Protocol*

Arsitektur jaringan *Voice over Internet Protocol* (VoIP) terdiri dari beberapa komponen, seperti terlihat pada Gambar 2.1. 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.



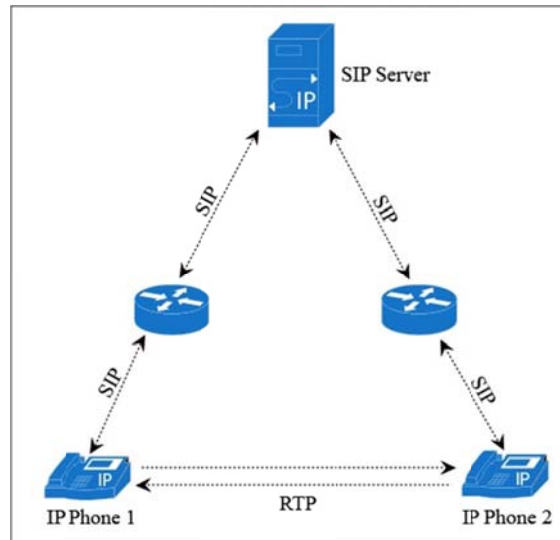
Gambar 2.1. Arsitektur Jaringan VoIP

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*.

### 2.2. Transmission Control Protocol / Internet Protocol

#### 2.2.1. *Real-Time Transport Protocol*

Pada jaringan VoIP, data suara dikirim menggunakan *Real-Time Transport Protocol* (RTP). 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.



Gambar 2.2. Aliran RTP dan SIP pada Jaringan VoIP

Gambar 2.2. 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*.

### 2.2.2. *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 penyiagaan antar titik.

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 2.1.

### 2.3. *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 mengkompresi dan mendekomresi berkas media digital. Sebuah *codec* terdiri dari dua komponen: *encoder* dan *decoder*. *Encoder* berfungsi untuk mengkompresi sekaligus mengkodekan berkas, sedangkan *decoder* berfungsi untuk mendekomresi sekaligus menguraikan kode berkas. Digunakannya *codec* memungkinkan data yang besar dilewatkan pada media transmisi dengan penggunaan *bandwidth* yang terbatas.

#### 2.4. *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.

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.

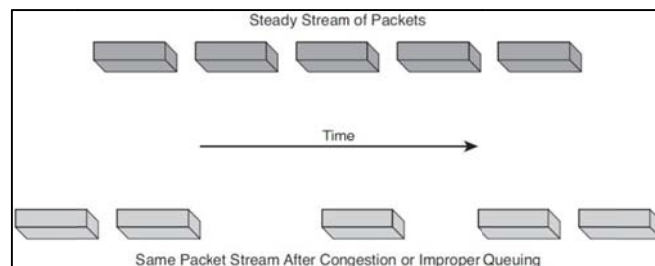
Oleh karena sifat dari jaringan IP, paket suara yang dikirim via IP akan mengalami beberapa masalah transmisi (*network impairment*). *Network impairment* biasanya ditandai dengan *delay*, *jitter*, atau *packet loss*. Berikut penjelasan *delay*, *jitter*, dan *packet loss* dikaitkan dengan VoIP:

1. *Delay*

*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.

2. *Jitter*

*Jitter* adalah variasi sampainya paket-paket suara pada tujuan akhir. Variasi waktu sampainya paket, seperti yang terlihat pada gambar 2.3., 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 milidetik. Jika *jitter* melebihi 20 milidetik, suara pada saat percakapan akan terputus-putus.



Gambar 2.3. Aliran Paket Data Stabil (atas) dan *Jitter* (bawah)

3. *Packet Loss*

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. Peneliti tidak menggunakan mekanisme QoS dalam pengukuran *network impairment*.

**2.5. 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*.

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 2.1. Nilai yang digunakan pada hasil akhir pengujian merupakan titik tengah dari nilai-nilai numerik yang diberikan oleh responden.

Tabel 2.1. Nilai Verbal dan Numerik

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

**3. PEMBAHASAN**

**3.1. Analisis Kebutuhan**

Sistem dibangun dengan tiga komponen utama, yaitu *SIP Server*, klien SIP, dan penganalisis protokol jaringan. Berikut adalah penjelasan singkat masing-masing komponen.

1. *SIP Server*

Dalam pembangunan sistem, digunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *Processor* : satu inti, dengan *clock speed* 2,8 GHz
- b. *Random Access Memory* : 512 MB
- c. Sistem Operasi : Debian 6.0.4
- d. Perangkat Lunak Utama : Open SIP Server 1.6.4

2. Klien SIP

Jumlah total klien SIP ada 3, dua berupa ponsel pintar, dan satu berupa komputer jinjing. Paparan berikut merupakan spesifikasi perangkat keras masing-masing klien SIP yang digunakan dalam pembangunan sistem.

Klien SIP-1 berupa ponsel pintar dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *Processor* : tipe ARM, dengan *clock speed* 600 MHz
- b. *Random Access Memory* : 384 MB
- c. Sistem Operasi : Android 2.3.6
- d. *Softphone* : Sipdroid 2.6

Klien SIP-2 berupa ponsel pintar dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *Processor* : tipe ARM, dengan *clock speed* 830 MHz
- b. *Random Access Memory* : 290 MB
- c. Sistem Operasi : Android 2.3.5
- d. *Softphone* : Sipdroid 2.6

Klien SIP-3 berupa komputer jinjing dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *Processor* : dua inti, dengan *clock speed* 1,8 GHz
- b. *Random Access Memory* : 2 GB
- c. *Harddisk* : 250 GB
- d. Sistem Operasi : Linux Mint 12
- e. *Softphone* : Jitsi 1.0

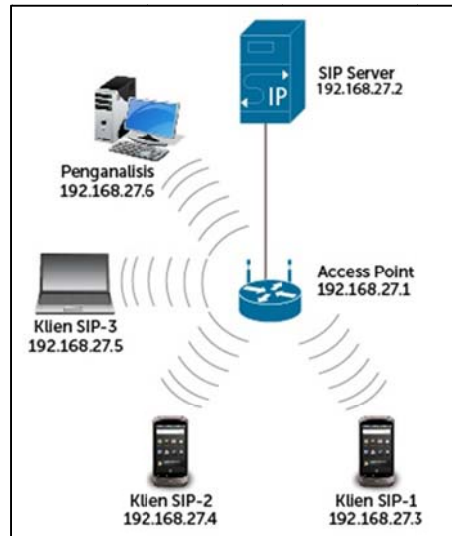
3. Penganalisis Protokol Jaringan

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

- a. *Processor* : empat inti, dengan *clock speed* 3,2 GHz
- b. *Random Access Memory* : 4 GB
- c. Perangkat Lunak Utama : Wireshark 1.6.5

### 3.2. Desain Sistem

Arsitektur sistem VoIP yang dibangun beserta seluruh komponennya terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Arsitektur Sistem VoIP Beserta Seluruh Komponen Pembangun

### 3.3. Penggunaan Codec

Ada 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* Sipdroid, maka keseluruhan *codec* yang didukung oleh Sipdroid bisa digunakan. Daftar *codec* beserta spesifikasi *sampling rate* dan *bit rate* yang didukung oleh Sipdroid dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1. 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 Sipdroid, sedangkan Klien SIP-3 menggunakan Jitsi. Dari daftar *codec* yang kedua *softphone* miliki, hanya ada empat *codec* yang sama. Daftar *codec* beserta spesifikasi *sampling rate* dan *bit rate* yang sama-sama didukung oleh Sipdroid dan Jitsi dapat dilihat di Tabel 3.2.



Tabel 3.2. Daftar *Codec* yang Didukung oleh Sipdroid dan Jitsi

No.	Nama <i>Codec</i>	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

### 3.4. Analisis Sistem

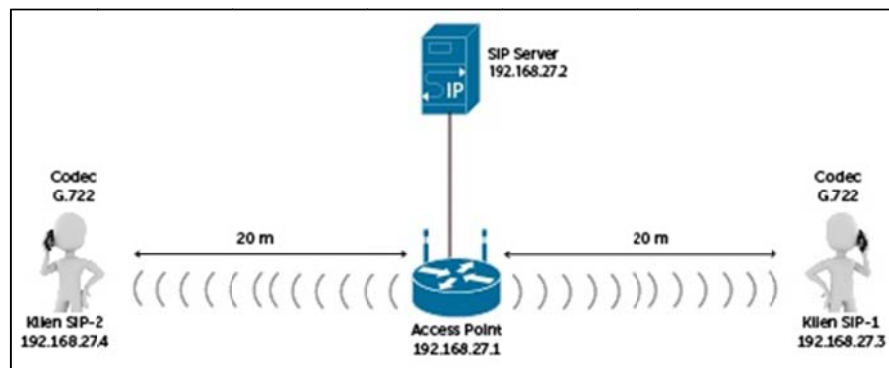
#### 3.3.1. Analisis *Mean Opinion Score*

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

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 tipe-tipe *codec* yang mereka gunakan untuk menjaga subjektivitas.

Setiap *codec* dicoba di berbagai jarak yang berbeda, yaitu 5, 10, 15, dan 20 meter. Jarak tersebut dihitung dari posisi responden ke AP. Jarak antar responden adalah kelipatan dari jarak yang sudah disebutkan. Dengan sepuluh *codec* dan empat jarak berbeda, maka setiap pasangan melakukan tes percakapan dengan jumlah total sebanyak 40 kali. Penggunaan jarak yang berbeda mempunyai tujuan untuk mengukur pengaruh jarak terhadap kualitas suara pada komunikasi VoIP. Gambaran tes percakapan pada jarak 20 meter dengan *codec* G.722 dapat dilihat pada Gambar 3.5.



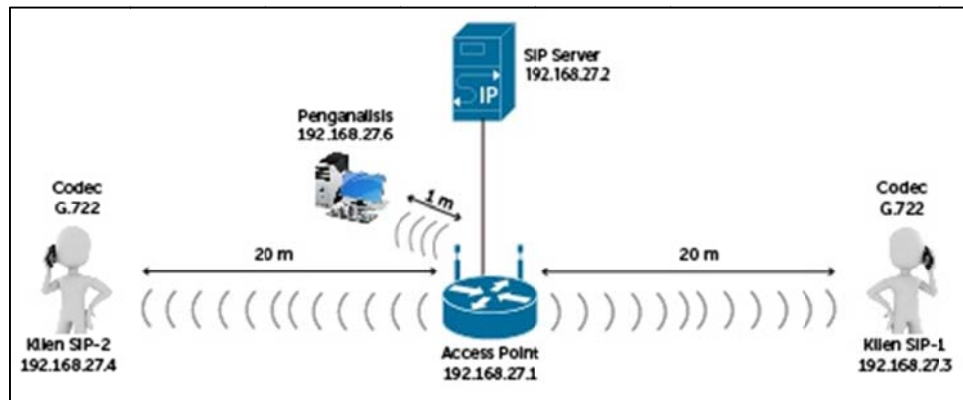
Gambar 3.2. Gambaran Tes Percakapan pada Jarak 20 Meter

Hal-hal yang diperhatikan dalam penilaian adalah sebagai berikut:

1. Kemurnian dan kejelasan suara.
2. Ada tidaknya jeda percakapan, gaung, suara hilang, suara gaduh, dan suara yang terputus-putus.

### 3.3.2. Analisis *Network Impairment* dan Penggunaan *Bandwidth*

Proses analisis *network impairment* dimulai dari penangkapan paket data menggunakan perangkat lunak Wireshark. Gambaran penangkapan paket data di tes percakapan dengan *codec* G.722 dan jarak 20 meter dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Gambaran Penangkapan Paket Data

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.

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 3.4. Masing-masing aliran menghasilkan nilai *delay (delta)*, *jitter*, *packet loss*, dan penggunaan *bandwidth (IP BW)* yang berbeda, seperti terlihat di Gambar 3.5.

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 Delt	
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 3.4. 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	Marke	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 3.5. Tampilan Analisis Wireshark pada Satu Aliran RTP

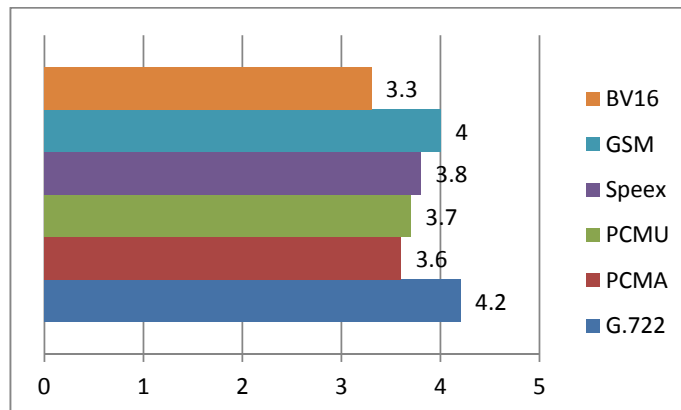
## 4. HASIL

### 4.1. Mean Opinion Score

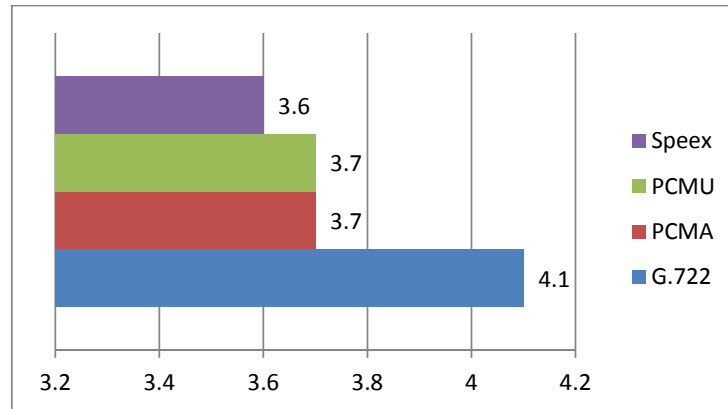
Jarak antar klien SIP (responden) dan jarak antara klien SIP dengan AP kurang mempengaruhi nilai MOS terhadap tipe *codec* yang digunakan. Hasil tersebut valid untuk jarak yang digunakan dalam penelitian ini, dan posisi antara klien SIP dengan AP berupa garis lurus tanpa halangan.

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.

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. Grafik 4.1. menunjukkan nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2, dan Grafik 4.2. menunjukkan nilai MOS antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3.



Grafik 4.1. Nilai MOS Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



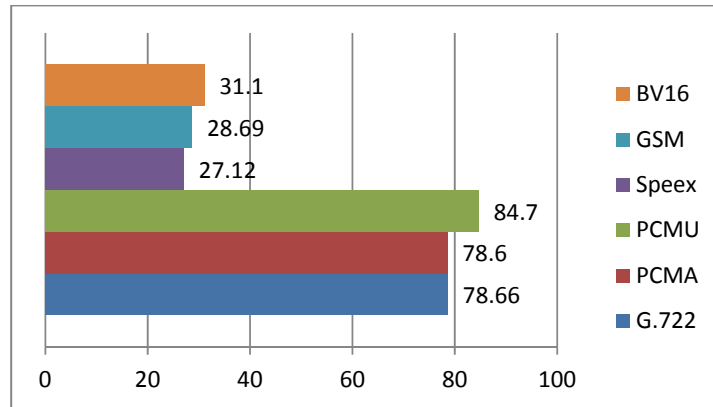
Grafik 4.2. Nilai MOS Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3

#### 4.2. Network Impairment dan Penggunaan *Bandwidth*

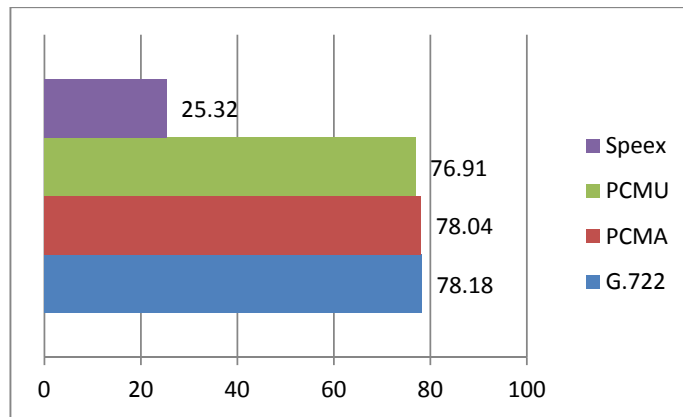
Tipe *codec* yang digunakan cukup mempengaruhi salah satu elemen *network impairment*, yaitu *jitter*. Salah satu yang sangat terlihat dari hal tersebut adalah nilai *jitter* rata-rata G.722 yang selalu paling tinggi (paling buruk). Penggunaan *bandwidth* rata-rata masing-masing *codec* juga berbeda. 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 Grafik 4.3. dan Grafik 4.4.).

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. Grafik 4.3. menunjukkan penggunaan *bandwidth* antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2, dan Grafik 4.4. menunjukkan nilai penggunaan *bandwidth* antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3.

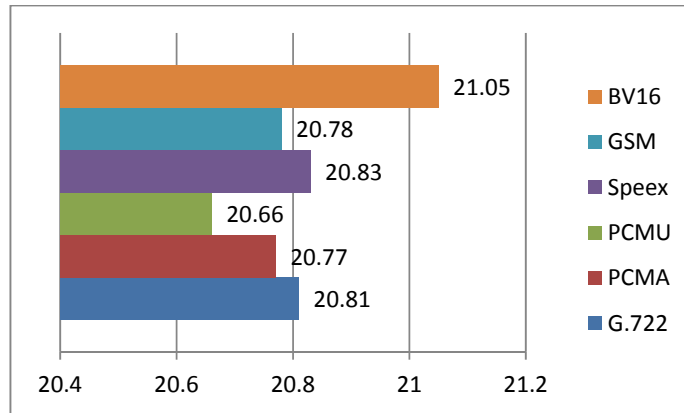


Grafik 4.3. Penggunaan *Bandwidth* (dalam kbps) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2

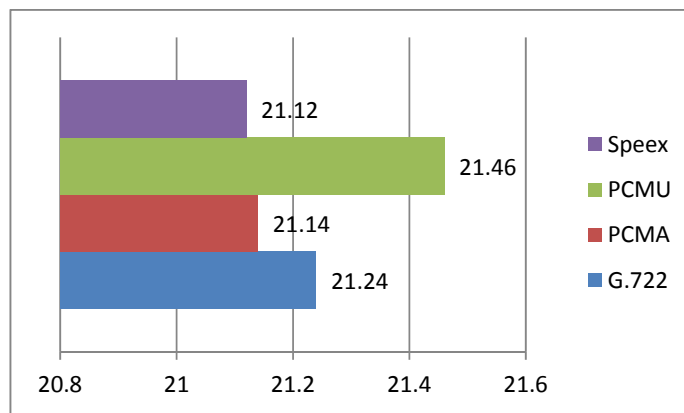


Grafik 4.4. Penggunaan *Bandwidth* (dalam kbps) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3

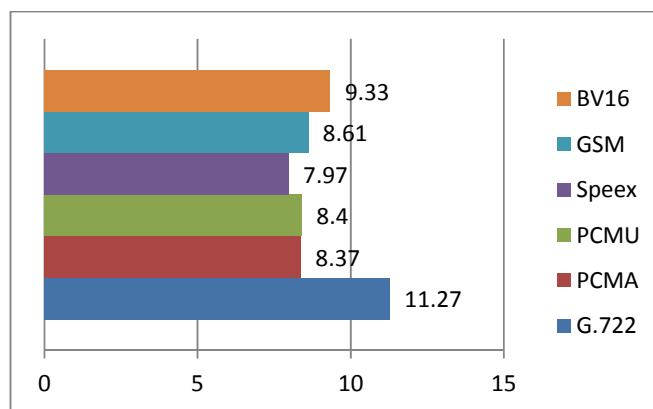
Nilai *jitter* rata-rata semua *codec* pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3 pasti lebih rendah dibandingkan dengan pada saat digunakan antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2 (dapat dilihat pada Grafik 4.7. dan Grafik 4.8.). Dilihat dari nilai *packet loss* rata-rata, komunikasi VoIP antara 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 Grafik 4.9. dan Grafik 4.10.). 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 Grafik 4.5. dan Grafik 4.6.).



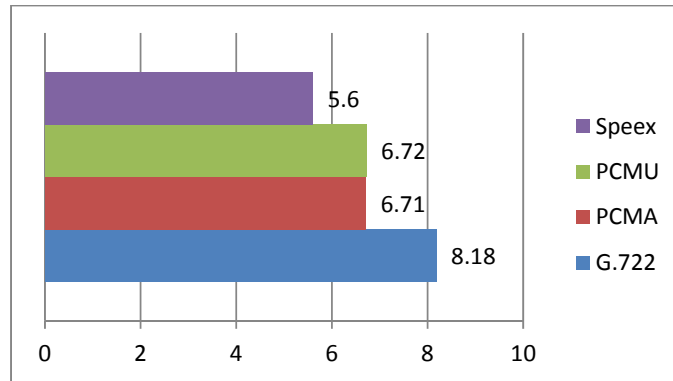
Grafik 4.5. *Delay* (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



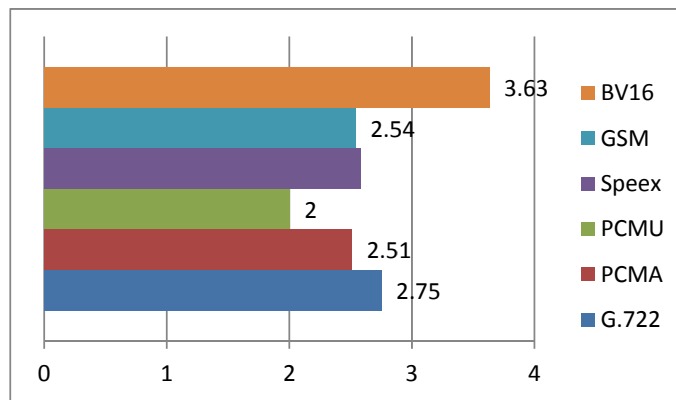
Grafik 4.6. *Delay* (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3



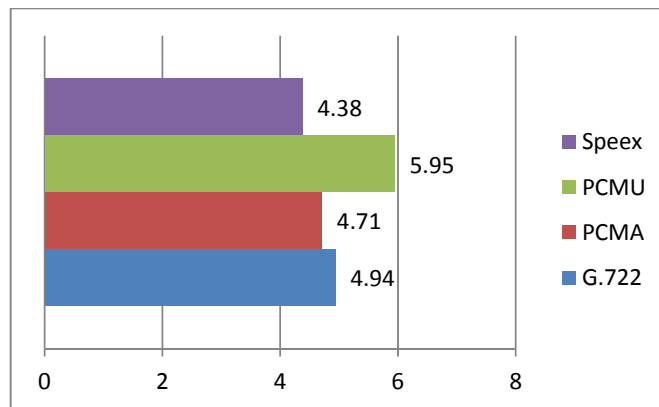
Grafik 4.7. *Jitter* (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



Grafik 4.8. *Jitter* (dalam milidetik) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-3



Grafik 4.9. *Packet Loss* (dalam persentase) Antara Klien SIP-1 dan Klien SIP-2



Grafik 4.10. *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.

## 5. KESIMPULAN

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

1. Dihasilkan sebuah sistem VoIP berbasis SIP pada WLAN. 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).



**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Anonim, 2012, "*Latency (Engineering)*", diakses dari en.wikipedia.org, pada tanggal 10 April 2012, pukul 15:30 WIB.
- [2] Anonim, 2009, "*Softphone*", diakses dari opensource.telkomspeedy.com/wiki, pada tanggal 15 April 2011, pukul 20:10 WIB.
- [3] Britt DT et al., 2006, "*TCP/IP Tutorial and Technical Overview*", 8th ed., International Business Machines Corporation.
- [4] Goncalves FE, 2010, "*Building Telephony Systems with OpenSIPS 1.6*", Packt Publishing, Birmingham.
- [5] ITU-T, 1996, "*ITU-T Recommendation P.800*", International Telecommunication Union, Geneva.
- [6] Johnston AB, 2004, "*SIP: Understanding the Session Initiation Protocol*", 2nd ed., Artech House, Massachusetts.
- [7] PCMAG, "*Payload Definition from PC Magazine Encyclopedia*", diakses dari www.pcmag.com, pada tanggal 8 April 2012, pukul 11:00 WIB.
- [8] Park KI, 2005, "*QoS In Packet Networks*", Springer.
- [9] Purbo OW and Raharja A, 2010, "*VoIP Cookbook: Building your own Telecommunication infrastructure*", One Destination Center.
- [10] Russell T, 2008, "*Session Initiation Protocol (SIP): Controlling Convergent Networks*", McGraw-Hill.
- [11] Walberg S, 2007, "*Expose VoIP Problems Using Wireshark*", diakses dari www.linuxjournal.com, pada tanggal 15 April 2011, pukul 17:01 WIB.
- [12] Wallace K, 2009, "*Cisco Voice over IP (CVOICE)*", 3rd ed., Cisco Press, Indianapolis.
- [13] Wallingford T, 2005, "*Switching to VoIP*", O'Reilly Media, Inc., Sebastopol.