

BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Umum

Pada bab ini akan dilakukan kajian dan pembahasan terhadap performansi jaringan VoIP dan server VoIP pada jaringan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Kajian yang dilakukan meliputi konfigurasi jaringan di laboratorium komputasi dan jaringan. Pembahasan dilanjutkan dengan membandingkan parameter Quality of Service (QoS) yang meliputi delay end-to-end packet loss dan throughput. Dari data yang di dapat maka kebutuhan bandwidth dapat dihitung dan dibandingkan dengan hasil pengukuran.

Performansi server VoIP dapat ditinjau dari beberapa parameter diantaranya QoS dengan variasi user (100-1000) serta sistem status pada server. Variasi client dilakukan dengan cara merekayasa trafik menggunakan aplikasi StarTrinity SIP Tester.

4.2 Konfigurasi Jaringan VoIP

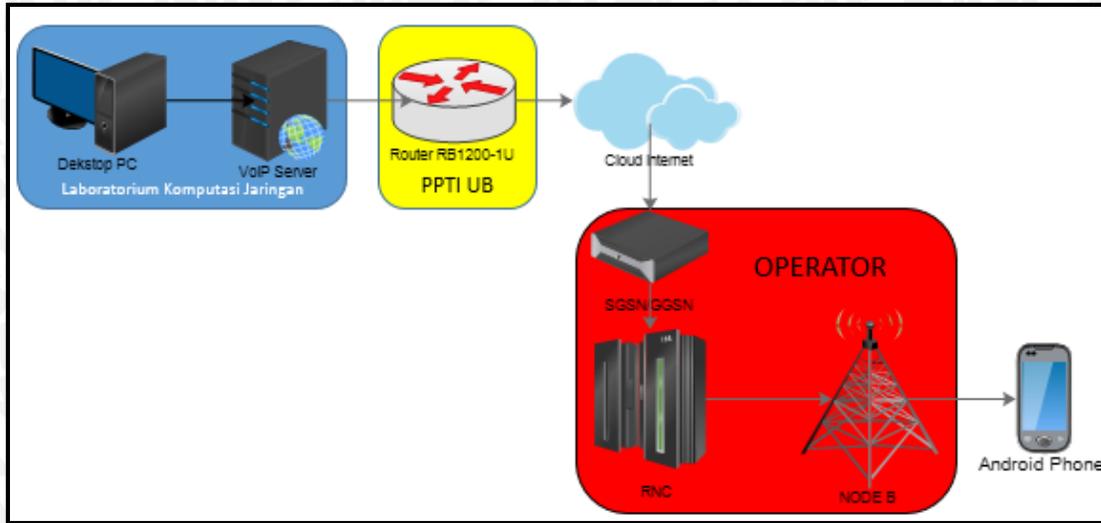
→ Beberapa spesifikasi yang menunjang skripsi ini meliputi:

- Konfigurasi jaringan Laboratorium Komunikasi dan Jaringan
- Codec suara G.729 dengan bitrate 8 kbps
- IP *public* Universitas Brawijaya dengan bandwidth 1 x E1 (2 Mbps)
- HP Proliant *Server* ML110G7-SATA sebagai penyedia layanan VoIP

→ Skenario pengukuran performansi *server* VoIP

Pengukuran dilakukan di laboratorium komputasi dan jaringan Universitas Brawijaya Malang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan software wireshark yang dipasang di percabangan *server*. Performansi server dapat ditinjau di aplikasi Trixbox.

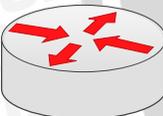
Beberapa Perangkat yang digunakan untuk pengukuran QoS adalah HP dengan system operasi android, server dengan system operasi freePBX, dan PC. Gambar 4.1 merupakan konfigurasi dari pengukuran QoS



Gambar 4.1 Konfigurasi umum layanan *mobile* VoIP

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar:

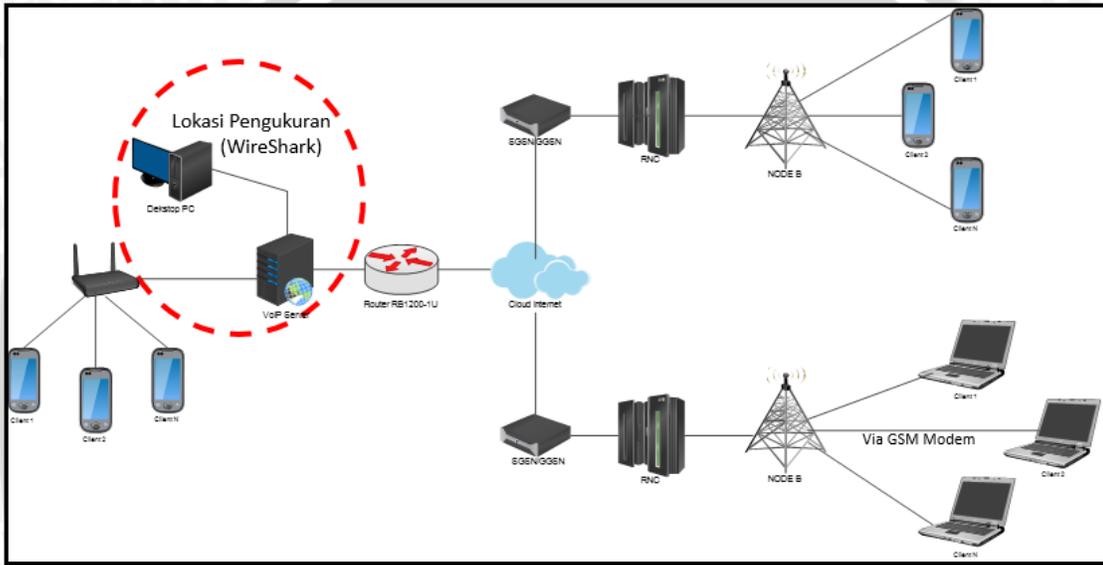
-  = VoIP Server
-  = Router
-  = Cloud Broadband Network (Public Network)
-  = SGSN/GGSN Operator
-  = RNC Operator



= Node B



= Mobile VoIP (Android Phone)



Gambar 4.2 Konfigurasi pengukuran Qos

Sumber : Perancangan

- VoIP Server (PC Server)
Penyedia Layanan VoIP
- Router DAP dan UB
Pengatur jalannya data dan proses switching dari server menuju jaringan HSDPA dan pengguna
- Internet (Cloud)
Jaringan luas sebagai media lewatnya data

- SGSN/GGSN
GGSN adalah gerbang penghubung jaringan GSM ke jaringan internet, SGSN adalah gerbang penghubung jaringan BSS/BTS ke jaringan GPRS
- *Radio Network Controller (RNC)*
RNC berfungsi untuk mengendalikan sumber-sumber radio dari beberapa node B, fungsinya serupa dengan BSC di GSM. RNC juga berperan penting untuk mengontrol *radio resources* UTRAN, seperti *power control (PC)* atau *handover control (HC)*, dimana sebagian diantaranya terdapat pada bagian RNC.
- *Node B*
Node-B adalah satu istilah dalam teknologi telepon genggam UMTS untuk menandakan suatu BTS (base transceiver station, stasiun penerima untuk 3G, 3.5 G ataupun 4G) yang berbeda dengan BTS untuk GSM. Node-B mempergunakan WCDMA untuk teknologi transportasi udara seperti di semua selular sistem UMTS dan GSM. Node-B mengandung pemancar frekuensi radio dan penerima yang dipergunakan untuk hubungan secara langsung dengan telepon genggam, yang bergerak dengan bebas di sekitarnya. Di dalam tipe ini telepon genggam tidak dapat berhubungan secara langsung namun berhubungannya harus melalui BTS terlebih dahulu.

Penelitian membutuhkan perangkat-perangkat dengan spesifikasi tertentu agar sistem dapat berjalan. Spesifikasi yang digunakan untuk masing-masing perangkat keras pada penelitian adalah sebagai berikut,

a. *Media Server (PC Server)*

HP Proliant Server adalah merk PC yang digunakan sebagai *VoIP Server* pada penelitian ini. Gambar server dan spesifikasi dari HP Proliant *Server ML110G7-SATA* sebagai server VoIP diuraikan pada Lampiran 1.

b. Router

Router adalah perangkat yang digunakan untuk proses *switching* dari server menuju jaringan *cloud* dan jaringan HSDPA. Router yang digunakan penelitian adalah merk Juniper. Spesifikasi dan gambar perangkat diuraikan pada Lampiran 1.

c. *Android Phone*

Android Phone adalah perangkat yang digunakan *user* untuk komunikasi menggunakan system VoIP melalui jaringan HSDPA. Spesifikasi dan gambar *Android Phone* yang digunakan dalam penelitian diuraikan pada Lampiran 1.

d. *Network Interface Card (NIC)*

Jenis NIC yang digunakan dalam penelitian ada 2 jenis, yakni NIC pada media *server* dan NIC pada komputer pengguna. Spesifikasi NIC pada media *server* diuraikan pada Lampiran 1.

e. Kabel *Unshielded Twisted Pair (UTP)* dan Konektor RJ-45

Kabel UTP dalam penelitian memiliki konfigurasi *cross*, karena digunakan untuk menghubungkan perangkat *media server* dan router PPTI UB (perangkat tidak sejenis). Spesifikasi kabel UTP yang digunakan pada penelitian diuraikan pada Lampiran 1.

f. UPS

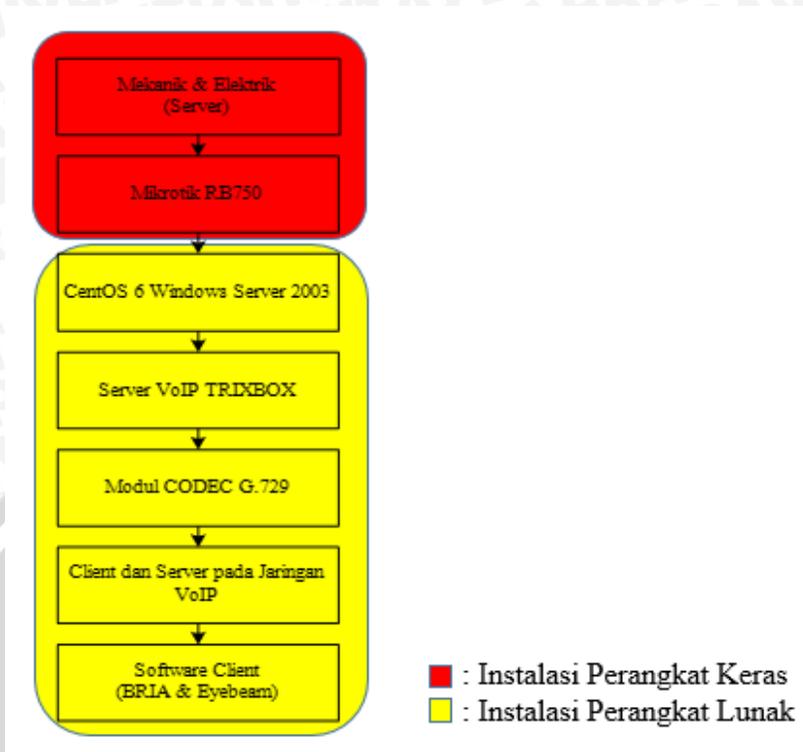
Perangkat UPS adalah perangkat tambahan yang harus dimiliki *server* untuk mengatasi perubahan tegangan yang mungkin terjadi. Selain itu, UPS juga mampu memberikan cadangan energi yang cukup saat pemutusan listrik terjadi dalam waktu singkat. UPS yang digunakan pada penelitian diuraikan gambar dan spesifikasinya pada Lampiran 1.

g. Komputer

Komputer digunakan untuk mendapatkan data *spectrogram*. Jenis computer yang digunakan pada penelitian adalah laptop. Spesifikasi minimal yang dibutuhkan untuk komputer pengguna untuk menjalankan program dan *capture* data diuraikan pada Lampiran 1.

4.3 Konfigurasi Perangkat Keras dan Lunak

Pada Tahap ini dilakukan konfigurasi perangkat keras dan lunak. Setelah terinstal perangkat keras dan lunak langkah selanjutnya adalah pengujian secara keseluruhan antara server dan jaringan.



Gambar 4.3 Blok Diagram Instalasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Sumber : Perancangan

4.3.1 Konfigurasi Perangkat Keras pada Sisi Server

Pada tahap ini dilaksanakan instalasi perangkat keras sesuai dengan perancangan blok diagram dan perangkat lunak yang dibutuhkan masing-masing perangkat untuk melaksanakan fungsinya pada sisi *server*.

Instalasi Perangkat Keras

Instalasi perangkat keras dilakukan untuk menghubungkan masing-masing perangkat keras dengan media fisik untuk menjadi satu jaringan yang terhubung. Perangkat keras pada sisi *server* antara lain, *pc server* dan *router*. Instalasi perangkat keras dimulai dari pemasangan *server* dan *rak server*. Langkah-langkah dalam memasang *server* dan *raknya* adalah sebagai berikut,

- 1) Pemilihan ruangan untuk peletakan *server* dan *rak server*. Ruangan ini tidak sering digunakan untuk aktivitas manusia, jadi ruangan ini khusus untuk ruangan *server*. Ruangan tersebut memiliki pendingin ruangan atau *Air Conditioner (AC)* agar tidak menyebabkan *overheat* pada perangkat.

- 2) Peletakan rak *server* pada tempat yang diinginkan.
- 3) Pemasangan stop kontak terdekat.
- 4) Proses instalasi UPS kemudian instalasi pc *server* (sambungan listrik).



Gambar 4.4 Perakitan *Server*, Perangkat *Server*, serta Perangkat Pendukung dan Peletakan *Server*
(Sumber: Perancangan)

Perangkat keras yang dipasang selanjutnya adalah router dan penarikan kabel dari router hingga *server*. Router yang digunakan dalam penelitian adalah milik PPTI UB dan Laboratorium DAP FT-UB. Langkah yang dilakukan adalah penarikan kabel dari router PPTI UB dan DAP menuju *server*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut,

- 1) Perhitungan panjang kabel UTP yang dibutuhkan dari router hingga *server*.
- 2) Pengecekan konektivitas kabel dengan *command ping* antara 2 komputer terlebih dahulu untuk memastikan kehandalan kabel.
- 3) Konfigurasi kabel UTP dengan konfigurasi *cross*.
- 4) Pengecekan *command ping* dari 1 komputer dengan komputer 1 yang lain.
- 5) Pengecekan kehandalan kabel dan panjang kabel.
- 6) Pemasangan kabel ke router hingga turun ke *server*.

4.3.2 Konfigurasi Perangkat Lunak pada Sisi *Server*

Perangkat lunak dirancang untuk menjalankan dan menghubungkan suatu perangkat keras tertentu dengan perangkat keras lainnya. Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini difokuskan pada pengompresian data *voice* pada VoIP dengan menggunakan modul *codec*

G.729 sebagai kompresor data agar didapat bandwidth kanal suara yang hemat. Perancangan perangkat lunak yang diperlukan yaitu :

- Perancangan client dan server pada jaringan VoIP.
- Konfigurasi modul *codec* G.729

4.3.2.1 Perancangan Client dan Server Pada Jaringan VoIP

Perancangan perangkat lunak pada Client bertujuan untuk menggunakan layanan VoIP berbasis SIP yang diberikan oleh server pada jaringan. Sedangkan Perancangan Server untuk membentuk layanan VoIP yang berbasis pada SIP yang dapat mendaftarkan Client. Perancangan *Client* bertujuan untuk menggunakan layanan VoIP yang telah disediakan oleh *server*. Terdapat 2 perangkat lunak untuk Perancangan *Client*. Yang pertama untuk android *phone* menggunakan perangkat lunak *Softphone* BRIA versi 1.2.3 sedangkan yang kedua pada PC menggunakan perangkat lunak *softphone* Xlite



Gambar 4.5 *Softphone* BRIA versi 1.2.3



Gambar 4.6 *Softphone Xlite*

Berikut langkah-langkah untuk instalasi *softphone* BRIA dan *softphone* Xlite

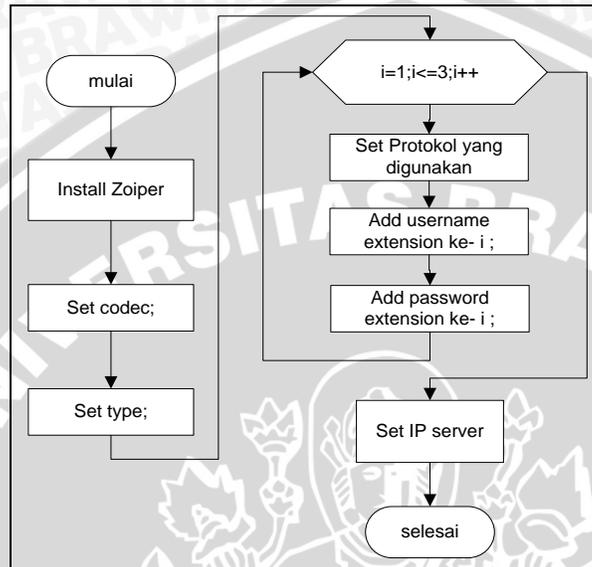
Bria memiliki tahap-tahap instalasi sebagai berikut,

- 1) Buka *play store* dari hp android
- 2) Ketik “Bria”
- 3) Pilih *install* pada home instalasi
- 4) Pilih *setting* pada *softphone* bria.
- 5) Masukkan SIP account yang sebelumnya telah di daftarkan di VoIP *server*.
- 6) Pilih *finish* atau back dan tunggu hingga terhubung ke *server*

Xlite memiliki tahap-tahap instalasi sebagai berikut,

- 1) Download Xlite dari internet (*free*)
- 2) Buka *installer* Xlite yang sudah di unduh
- 3) Pilih *agreement* dengan mencentang “*I Agrre*” kemudian *next* sampai selesai
- 4) Isikan *profile user* pada kolom SIP pada Xlite .
- 5) Masukkan SIP account yang sebelumnya telah di daftarkan di VoIP *server*
- 6) Pilih *finish* dan tunggu hingga terhubung ke *server*

Softphone ini mendukung protokol SIP dan memiliki fitur penting diantaranya *hold button*, *transfer button*, *quick dial button*, *numpad*, *slide bars* untuk pengaturan volume *speaker* dan *microphone*, serta *history button*.



Gambar 4.7 Diagram Alir Perancangan *Client*.

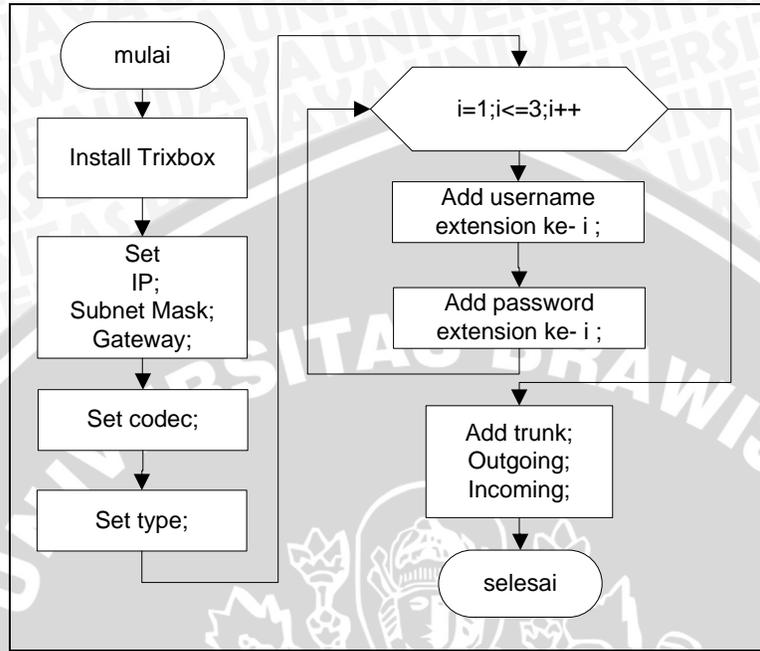
Dalam *flowchart* pada Gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa *client* dibangun dengan cara menginstall *Softphone* BRIA versi 1.2.3 pada handphone android sebagai *client*. Pada setiap BRIA ditambahkan alamat IP *server* agar dapat melakukan registrasi pada *server* tersebut.

Client dibuat dalam *Softphone* ini sesuai dengan *client* yang telah didaftarkan pada *server*. Setelah dibuat, *client* harus diregistrasi terlebih dahulu dengan menekan tombol *register*. Pengaturan *client* adalah sesuai dengan *extensions* yang diinginkan.

Perancangan *Server* bertujuan untuk membentuk layanan VoIP yang berbasis pada SIP yang dapat mendaftarkan *Client*. Pada penelitian ini menggunakan *server* trixbox. Trixbox yang sebelumnya dikenal sebagai “asterisk@home”, adalah *operating system* berbasis CentOS dan aplikasi *telephony* dengan menggunakan basis Asterisk *Open Source PBX Software*.

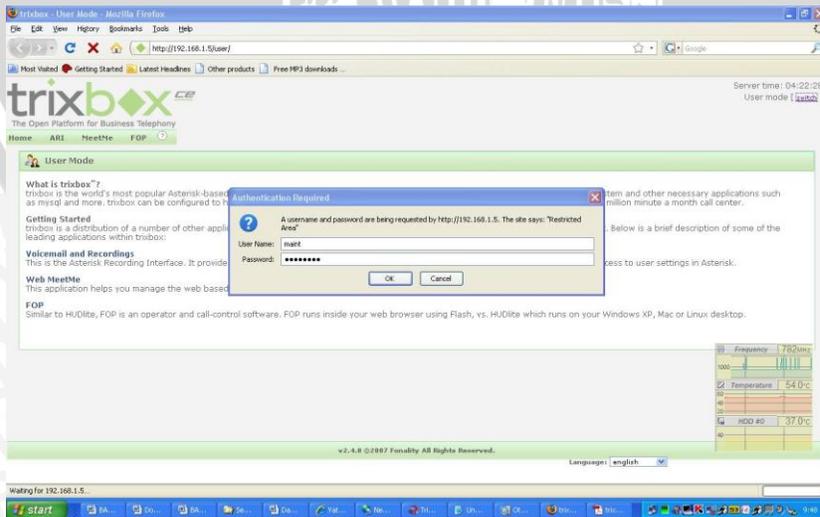
Langkah-langkah pemasangan perangkat lunak *operating system* pada *server* menggunakan CentOS 6 ditunjukkan pada Lampiran.

Setelah instalasi *operating system* berbasis CentOS telah siap, maka proses selanjutnya adalah pemasangan Trixbox.



Gambar 4.8 Flowchart Proses Konfigurasi Server.

Sesuai dengan *flowchart* pada Gambar 4.7 di atas, proses pemasangan *server* dimulai dengan memasang Trixbox. Trixbox dipilih karena memberikan kemudahan dalam manajemen maupun kemampuan untuk mengembangkan lebih lanjut, karena Trixbox menyertakan *freePBX* yang mendukung SIP dan bersifat *open source*.



Gambar 4.9 Tampilan Server Trixbox Diakses Menggunakan Web Browser.

Setelah selesai memasang Trixbox, dilanjutkan dengan konfigurasi IP sesuai dengan konfigurasi jaringan. Hal ini dilakukan agar komputer *server* dengan Trixbox dapat dikenali jaringan. Registrasi dilakukan pada *client* dan *server*. Hal ini dilakukan agar *client* dan *server* dapat saling berkomunikasi walaupun IP yang digunakan berubah, sehingga *username* dan *password* sudah masuk dalam *database* saat *client* berubah IP-nya.

4.3.2.2 Konfigurasi Modul Codec G729

Codec (Compressor-Decompressor) merupakan pengalihan kode *analog* menjadi kode digital (O, Purbo 2007). Agar suara dapat dikirim dalam jaringan komputer maka perlu di ubah menjadi bentuk digital. *Voice Codec* yang umum dikenal adalah : G.711, G.723, G.726, G.728, dan G.729.

Code G.729 *codec* ini adalah salah satu kodek berkualitas lebih baik (*better voice quality codec*). Codec ini mengkonversi voice menjadi 8 kbps. *Codec G.729* memiliki algoritma yang lebih sederhana dan membutuhkan *processing power* lebih sedikit dibandingkan dengan *codec* yang lain.

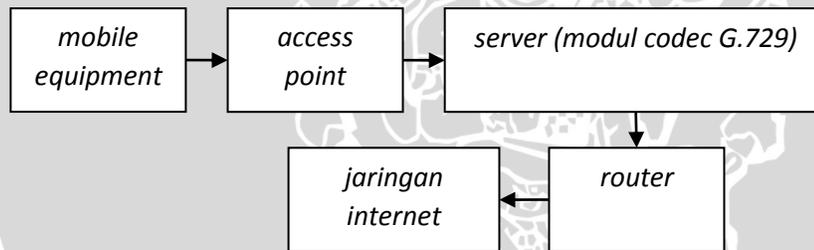
Langkah-langkah menginstal *codec G.729 VoIP* pada *open-source Asterisk1.4*:

1. Membuka tampilan server asterisk 1.4 pada browser yang digunakan
2. Memilih menu “Setting: Asterisk SIP Setting”
3. Menuju situs <http://asterisk.hosting.lv>
4. Memilih kode *binary G.729* yang sesuai dengan standar perangkat *server* digunakan, setelahnya mengunduh kode binary G.729 pada pilihan asterisk binary 1.80. (`codec_g729-ast18-gcc4-glibc-core2-sse4.so`)
5. Mengunduh *software WinSCP* kemudian jalan *software* tersebut. Mengisi alamat host name pada software tersebut dengan alamat IP 192.168.88.10, dan mengisi alamat “user” dan ” password” : root kemudian menyimpannya
6. Masuk pada alamat IP 192.168.88.10 pada tampilan WinSCP, setelah buka “folder” pada tampilan *hardisk drives* : C,membuka folder PBX dan terdapat unduhan *codec G.729* yang telah diunduh

7. Kemudian pilih *directory* “user”, kemudian “lib”, “asterisk” dan pilih “modules” . langkah berikutnya menyalin *codec* G.729 pada *folder* “modules” dan menamai *codec* dengan *codec* G.729
8. Membuka tampilan root PBX dengan perintah: `ls /usr/lib/asterisk/modules/` kemudian tekan “enter”. *Codec* G.729 telah terdaftar pada asterisk. Untuk mengaktifkan *codec* G.729 dengan menulis perintah: `amportal restart` dan tekan “enter”
9. Install *codec* G.729 telah selesai.

4.3.3 Pengujian Koneksi Jaringan

Pengujian koneksi bertujuan untuk mengetahui koneksi antar perangkat pada sistem telah terhubung atau belum terhubung, yakni dari *server* hingga pengguna (*android phone* dan *softphone* PC) sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4.9. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *network tester* yang diarahkan *cloud*.



Gambar 4.10 Blok Diagram Pengujian

Sumber: Perancangan

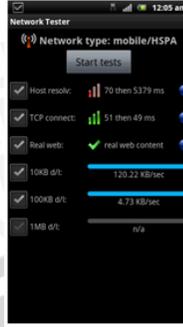
a. Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian koneksi jaringan *server* hingga pengguna adalah *Android Phone* dan *softphone* PC

b. Langkah-Langkah Pengujian

a.Langkah-langkah pengujian koneksi adalah sebagai berikut,

- 1) Pengaturan alamat IP *server* pada NIC pertama dengan IP *Public Address* yang diberikan PPTI UB, yakni 175.45.187.2
- 2) Mengaktifkan mode HSDPA pada *android Phone* dan menghubungkan ke jaringan
- 3) Menjalankan *network tester* pada *android phone* sesuai Gambar 4.22.

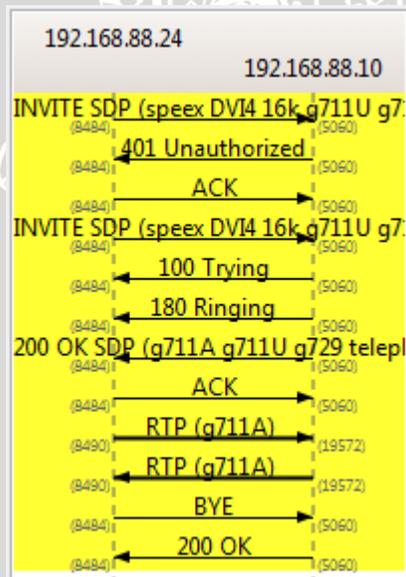


Gambar 4.11 Network Tester

Sumber : Pengujian

c. Hasil Pengujian *testcall*

Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10 yang berisi *flowgraph* dari *testcall* yang berisi informasi sumber, tujuan, dan pensinyalan dari VoIP.



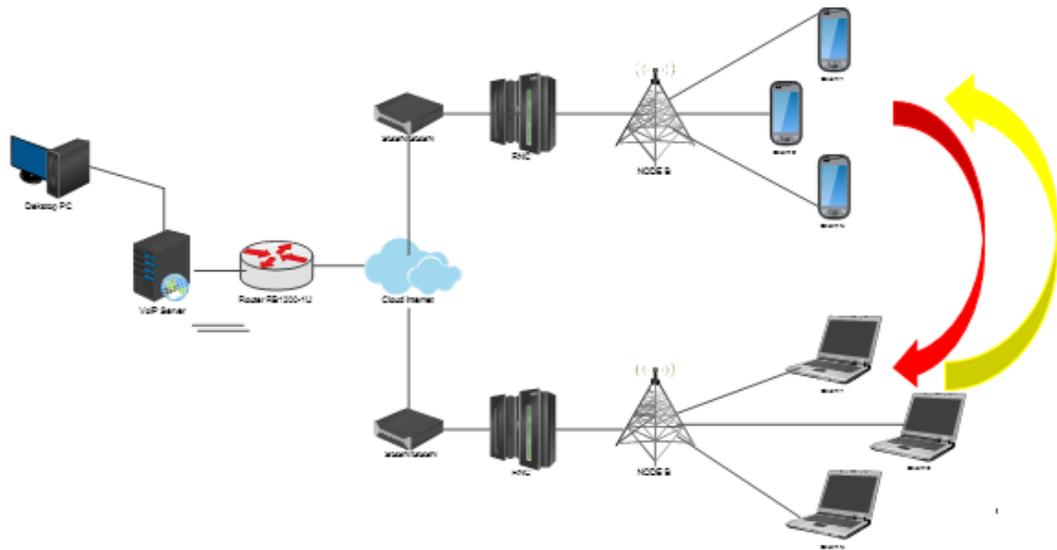
Gambar 4.12 Flowgraph

Sumber: Pengujian

Dan dari gambar tersebut, pengamatan dari hasil pengujian ini adalah:

- Kode 180 adalah sinyal untuk mengirimkan perintah dering
- Kode 200 adalah sinyal yang menyatakan komunikasi dimulai

Pengujian berikutnya setelah android *phone* terhubung dengan server adalah pengujian antar beberapa client (android *phone*- *softphone* PC, *softphone* PC- *softphone* PC dan android *phone*- android *phone*)



Gambar 4.13 Blok Diagram Pengujian Antar User

Sumber: Pengujian

d. Kesimpulan Pengujian Koneksi

Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar 4.12 , kesimpulan pengujian adalah:

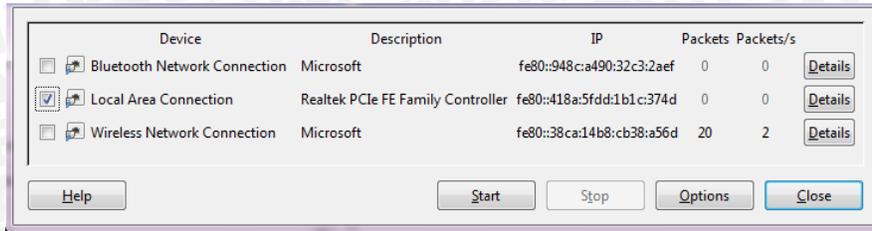
- *Server dan Pengguna telah terhubung (connection established).*

4.4 Pengukuran

Sistem komunikasi pada penelitian adalah dua arah, yakni dari pengguna 1 menuju pengguna yang lain yang berkala dari 100 pengguna – 1000 pengguna Komunikasi dilakukan dengan menggunakan codec G.729 yang di gunakan secara bergantian pada jam sibuk jaringan operator Telkomsel sesuai Lampiran 1.

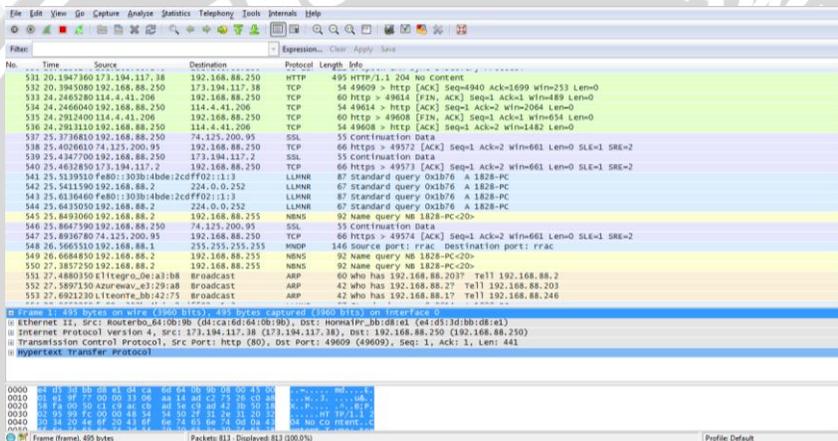
Jumlah pengguna yang digunakan dalam penelitian ini adalah minim 100 pengguna dan maksimal 1000 pengguna. Pengambilan data sebanyak sepuluh kali pengamatan secara berkala dimulai dari 100 pada jam sibuk (berdasarkan trafik operator) untuk mendapatkan hasil optimal dan menunjukkan kualitas jaringan. Pertama pengambilan data dengan 100 pengguna menggunakan penggabungan antara komunikasi Softphone PC dan HP Android. Pada proses pengambilan data dilaksanakan dengan menggunakan aplikasi Wireshark yang terletak pada sisi *server*. Wireshark akan menangkap, membaca dan menganalisis aliran data yang melewati *interface user*. *Interface* pada *user* bisa melalui jaringan kabel (*adapter RJ-45*)

maupun *wireless* adapter. Penggunaan dan pemilihan adapter ini dapat dilakukan sesuai dengan Gambar 4.13.



Gambar 4.14 Wireshark

Untuk menjalankan proses *capturing*, maka centang *adapter* yang dipilih dan klik “Start” seperti Gambar 4.14.



Gambar 4.15 Capturing

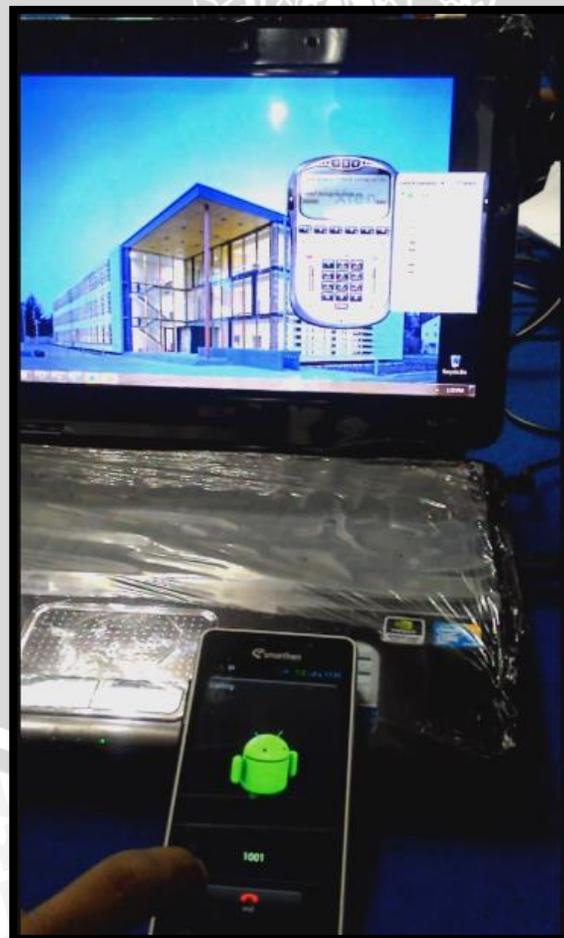
Proses *capturing* paket data dilakukan selama 60 menit. Paket data yang tertangkap oleh wireshark kemudian disimpan menjadi *file* dengan ekstensi *media library* pcap (*.pcap).

Setelah mendapatkan data, data kemudian dianalisis (didekodekan) menjadi aliran RTP. Ketika data sudah menjadi aliran RTP, maka data dapat diolah menjadi parameter-parameter yang dibutuhkan, yakni *throughput*, *packet loss* dan *delay end-to-end*. Luaran dari analisis data adalah *file* wireshark pcap yang telah didekodekan sebagai protokol RTP.

Pengolahan data dilakukan setelah pengambilan dan analisis data. Pengolahan data menghasilkan parameter-parameter QoS (*throughput*, *delay end-to-end* dan *packet loss*) dan jumlah paket pada setiap konfigurasi. Berikut ditampilkan masing-masing parameter dengan setiap konfigurasi.



Gambar 4.16 Pengujian test call HP - HP
(Sumber: Perancangan)



Gambar 4.17 Pengujian test call HP - PC
(Sumber: Perancangan)

4.5 Analisa Hasil Pengukuran Performansi

Pada bagian ini ditampilkan nilai dari masing-masing parameter (*bandwidth per call*, *delay end-to-end*, *packet loss*, *throughput* dan performansi *server VoIP*) berdasarkan hasil pengamatan menggunakan *wireshark* .



Gambar 4.18 Pengujian Performansi Server – Lab Komputasi dan Jaringan Univ Brawijaya

a) *Bandwidth per call*

Bandwidth per call menunjukkan besar bandwidth yang dibutuhkan *codec* dalam satu sesi komunikasi dan memiliki satuan *KBps*. Hasil pengamatan terhadap parameter *Bandwidth per call* untuk setiap konfigurasi pada penelitian diuraikan di Tabel 4.1

Setiap Pengukuran dilakukan selama 3 menit per pengukuran.

Tabel 4.1 Nilai *bandwidth per call*

No.	<i>Bandwidth per call</i> Codec G.729	
	Waktu Pengukuran	
	08 Agustus 2015 Pukul : 03:00 WIB	9 Agustus 2015 Pukul : 15:00 WIB
1.	6,041	6,456
2.	8,110	7,255
3.	7,565	7,625
4.	6,758	6,568
5.	7,001	6,210
6.	6,896	7,221
7.	6,236	6,925
8.	7,398	7,821
9.	7,431	6,792
10	6,893	6,210
Rata-rata	7,062	6,889

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

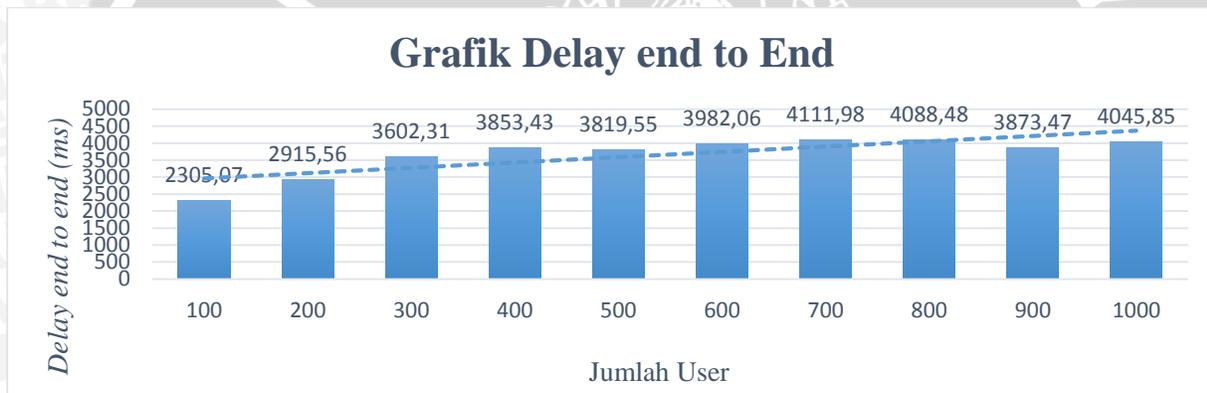
- Berdasarkan pengamatan antara jam sibuk dan jam kosong *codec* G.729 memang menunjukkan penurunan pada jam sibuk namun nilainya tidak terlalu signifikan.
- Berdasarkan pengamatan penggunaan *bandwidth* menunjukkan bahwa *codec* G.729 membutuhkan 7 KBps

b) Delay End-to-End

Delay end-to-end menunjukkan besarnya waktu tunda mulai dari *server* yang terletak di Laboratorium Dasar Komputasi dan Jaringan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang hingga pengguna (ujung ke ujung). Rata-rata *delay end-to-end* untuk satu sesi Komunikasi VoIP adalah 22,32 ms. Hasil pengamatan terhadap *delay end-to-end* sistem *mobile* VoIP dengan beberapa user diuraikan di Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai *Delay End-to-End*

NO	Jumlah User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	Delay end to End (ms)
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	2305,07
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	2915,56
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	3602,31
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	3853,43
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	3819,55
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	3982,06
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	4111,98
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	4088,48
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	3873,47
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	4045,85



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Nilai *delay end to end* terhadap jumlah *user*

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

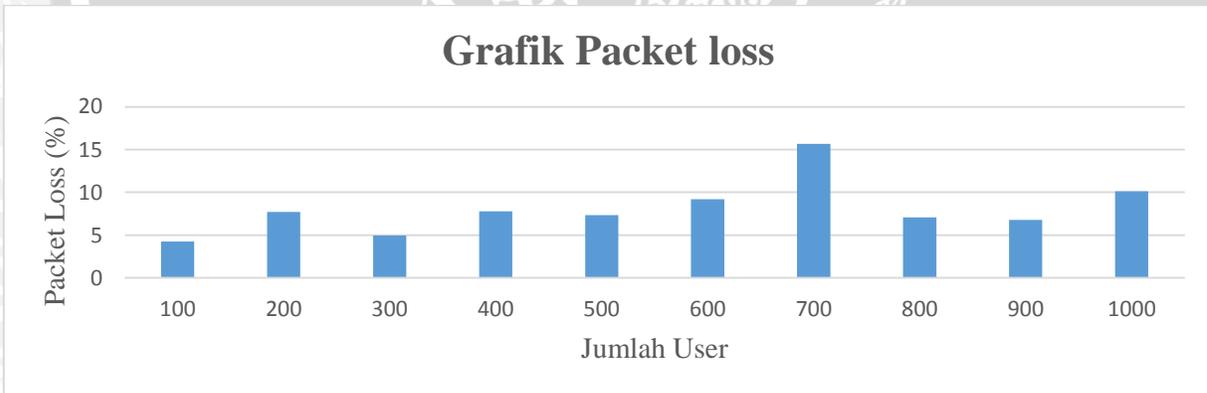
- *Delay end-to-end codec G.729* berbanding lurus dengan banyaknya jumlah *user (traffic)*, semakin banyak jumlah *user* atau waktu *traffic* padat maka semakin besar pula *Delay end-to-end*.
- Pada Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengukuran nilai *Delay end-to-end* terbesar adalah 4111,98 ms (700 user) dan terendah 2305,07 ms (100 user).

c) **Packet Loss**

Packet Loss pada penelitian menunjukkan nilai rasio dalam persen paket yang hilang dengan jumlah paket keseluruhan yang dikirimkan. Rata-rata *packet loss* untuk 1 Komunikasi VoIP adalah 0,81 %. Nilai *packet loss* pada sistem VoIP penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.3

Tabel 4.3 *Packet Loss*

No	Jumlah User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	Packet loss (%)
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	4,23
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	7,69
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	4,95
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	7,79
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	7,34
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	9,18
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	15,67
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	7,07
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	6,77
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	10,12



Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Nilai *packet loss* terhadap jumlah *user*

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Nilai *Paket loss* pada VoIP dengan Codec G.729 berbanding lurus dengan banyaknya jumlah user, semakin banyak jumlah user maka semakin besar pula *packet loss*.

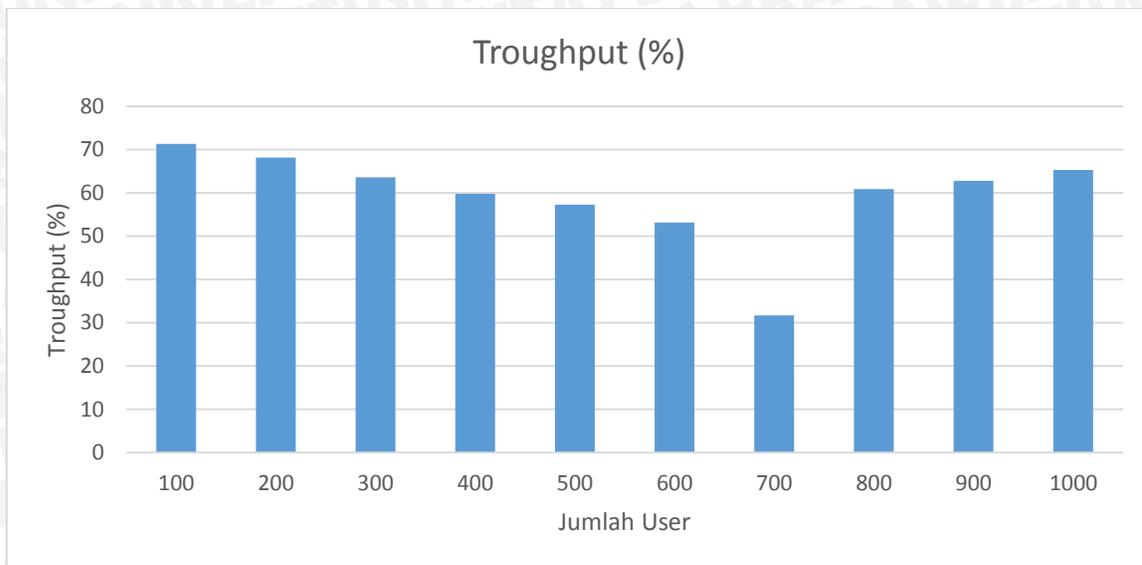
- Nilai *Paket loss* pada VoIP dengan Codec G.729 tertinggi 15,67 % pada saat jumlah user ialah 700 User dan Nilai *Paket loss* terendah 4,23 % dengan jumlah user ialah 100 user.
- Nilai *Paket loss* VoIP dengan Codec G.729 pada 800 user mengalami penurunan secara signifikan yaitu 7,07 %. Hal tersebut dipengaruhi oleh performansi server.
- Bila mengacu pada Standart Nilai *Packet Loss* ITU-T G.1010, Besarnya nilai *Paket loss* dari hasil pengukuran untuk jumlah 100 user sampai dengan 600 user berada pada $range\ 3\ \% \leq \rho < 15\ \%$, sehingga memiliki kualitas baik, sedangkan untuk jumlah 700 user memiliki nilai *Packet Loss* lebih dari 15 %, sehingga memiliki kualitas sedang.

d) *Throughput*

Throughput menunjukkan kecepatan penerimaan paket data yang diterima pengguna dengan benar. *Throughput* memiliki satuan byte/detik. Rata-rata *throughput* untuk 1 Komunikasi VoIP adalah 0,055 Mbps. Hasil pengamatan terhadap parameter *throughput* untuk setiap konfigurasi pada penelitian ditunjukkan oleh Tabel 4.4

Tabel 4.4 *Throughput*

No	Jumlah User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	<i>Throughput</i> (%)
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	71,35
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	68,17
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	63,57
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	59,81
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	57,25
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	53,13
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	31,69
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	60,91
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	62,77
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	65,26



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Nilai *packet loss* terhadap jumlah *user*

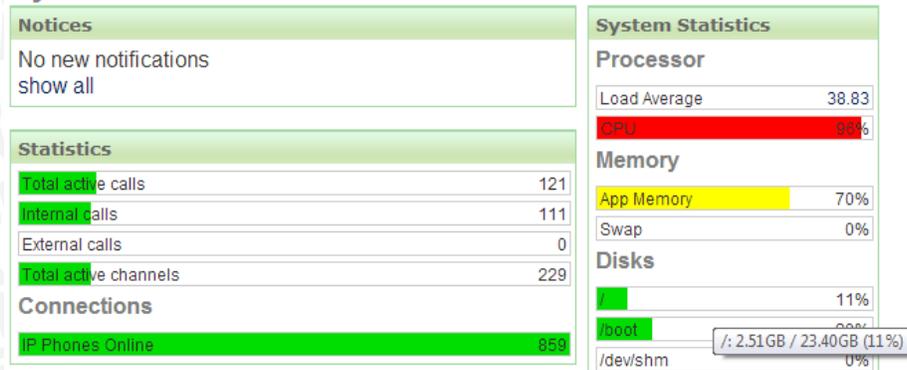
Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Nilai *Throughput* pada VoIP dengan Codec G.729 tertinggi 71,35 % pada saat jumlah user ialah 100 User dan Nilai *Throughput* terendah 31,69 % dengan jumlah user ialah 700 user.
- Nilai *Throughput* dipengaruhi oleh jaringan HSDPA itu sendiri, semakin banyak pengguna jaringan HSDPA maka nilai *Throughput* akan menurun, semakin banyak terjadi *congestion* menyebabkan nilai *Throughput* akan menurun pula.
- Hal lain yang mempengaruhi kecilnya nilai *Throughput* adalah keadaan dari jaringan internet yang dilalui maupun jarak dari server yang diakses.

e) **Performansi server VoIP**

Performansi server VoIP dapat dilihat pada tabel system statistic TRIXBOX. Performansi tersebut meliputi beberapa parameter diantaranya performansi *processor*, *memory* dan *failed call* pada saat pengukuran. Hasil pengamatan terhadap Performansi server VoIP diuraikan di Tabel 4.5.

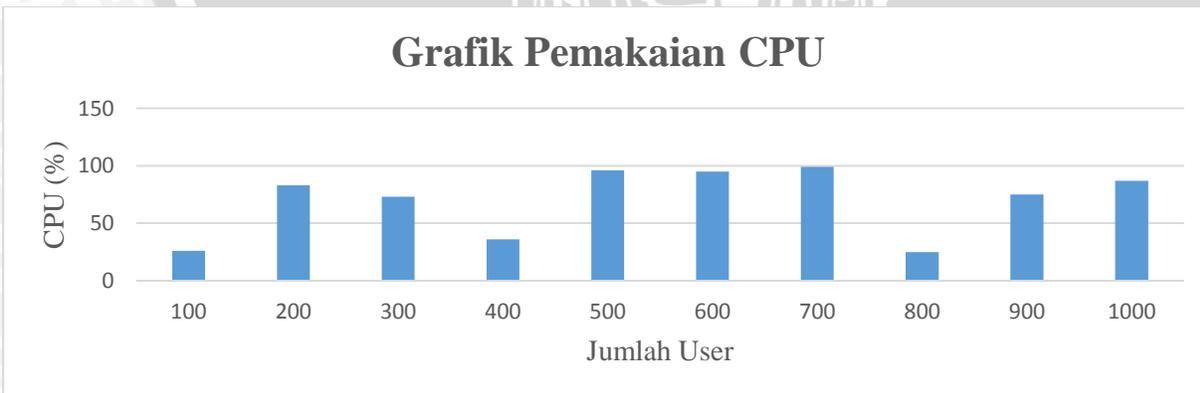
System Status



Gambar 4.22 System Status statistic Server

Tabel 4.5 Kinerja Prosesor Server VoIP

No	Jumlah User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	CPU (%)
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	26
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	83
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	73
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	36
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	96
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	95
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	99
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	25
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	75
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	87



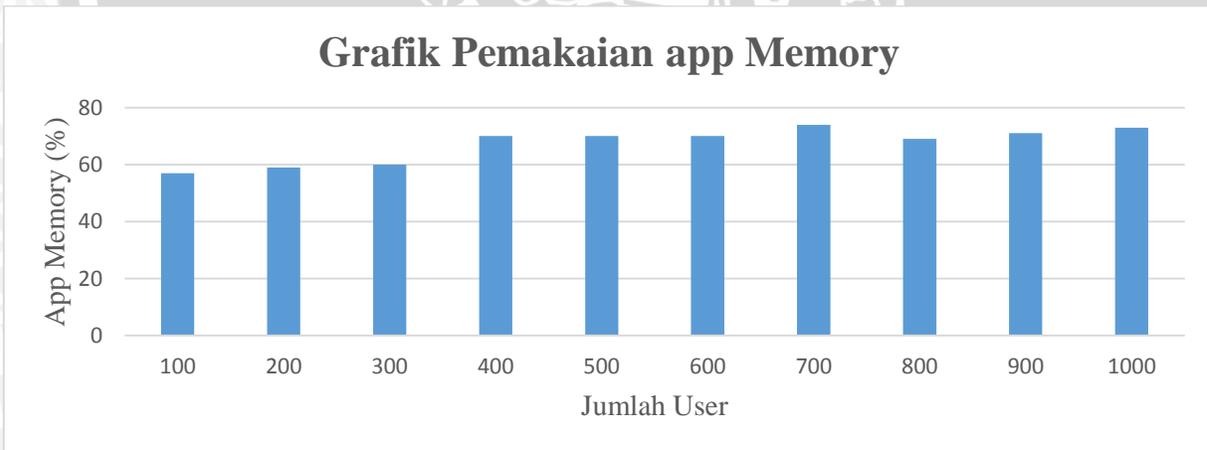
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan pemakaian CPU terhadap jumlah user

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Kinerja Prosesor pada VoIP dengan Codec G.729 berbanding lurus dengan banyaknya jumlah user, semakin banyak jumlah user maka semakin besar pula Kinerja Prosesor.
- Kinerja Prosesor pada VoIP dengan Codec G.729 maksimal terjadi pada saat jumlah user ialah 700 User

Tabel 4.6 Penggunaan Memori Server

NO	Jumlah User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	App Memori (%)
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	57
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	59
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	60
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	70
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	70
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	70
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	74
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	69
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	71
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	73



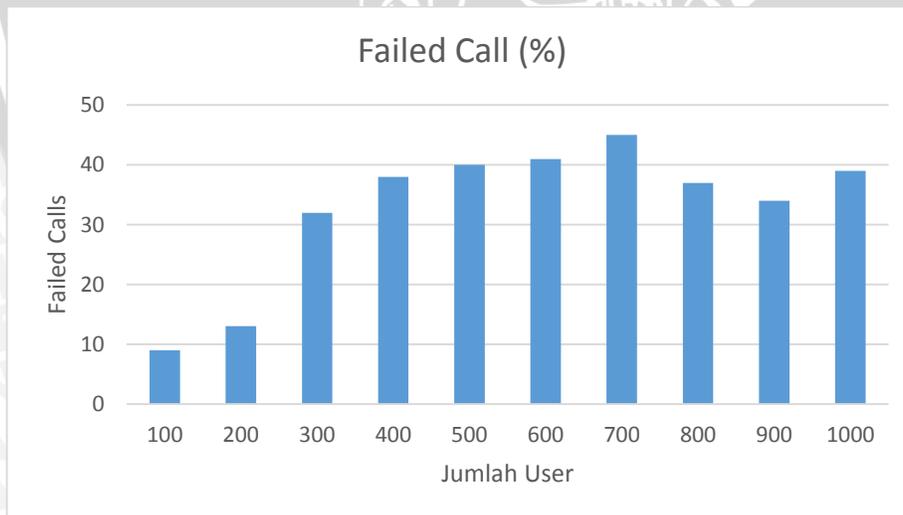
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan pemakaian CPU terhadap jumlah user

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Memori yang terpakai pada VoIP dengan Codec G.729 berbanding lurus dengan banyaknya jumlah user, semakin banyak jumlah user maka semakin besar pula Memori yang terpakai.
- Memori pada server VoIP dengan Codec G.729 maksimal terjadi pada saat jumlah user ialah 700 User

Tabel 4.7 *Failed Call*

NO	User	Waktu Pengujian (Tanggal)	Waktu Pengujian (Pukul)	<i>Failed Call (%)</i>
1	100	8 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	9
2	200	8 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	13
3	300	9 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	32
4	400	9 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	38
5	500	15 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	40
6	600	15 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	41
7	700	16 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	45
8	800	16 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	37
9	900	22 Agustus 2015	03:00 – 04:00 WIB	34
10	1000	22 Agustus 2015	04:00 – 05:00 WIB	39



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan *Failed Call* terhadap jumlah user

Berdasarkan hasil pengamatan, diketahui bahwa:

- Pada sistem VoIP dengan Codec G.729 tersebut terjadinya *failed call* berbanding lurus dengan banyaknya jumlah user, semakin banyak jumlah user maka semakin besar pula *failed call* yang terjadi.
- *Failed calls* VoIP dengan Codec G.729 maksimal terjadi pada saat jumlah user ialah 700 User

4.6 Analisa Teoritis VoIP dalam Jaringan HSDPA

Analisa Hubungan Perhitungan Spesifikasi Server dengan Perancangan Server

Tabel 2. Spesifikasi PC Server HP ML110G7-SATA

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Processor	Quad Core Intel® Xeon® E3-1220 (3.10GHz/4-core/8MB/80W, 1333, Turbo 1/2/3/4)
2.	RAM	2GB (1x2GB) PC3-10600E DDR3 UB ECC NOTE: Total 4 DIMM slots
3.	Kapasitas Hard Disk	1 x 250GB 3.5" Non-hot plug SATA, Speed HD : 256 KB
4.	Operating System	CentOS 5.5
5.	NIC	10 Gb/detik (2 buah)
6.	VGA	<i>Integrated</i> Matrox G200eH, 16MB <i>video standard</i> 16 bit color: <i>maximum resolution of</i> 1920 x 1200 32 bit color: <i>maximum resolution of</i> 1280 x 1024
7.	Port USB	Ada, 2 x 4 buah <i>port</i>

(Sumber: Hewlett Packard / HP®)

Kapasitas total RAM : 2 GB

Speed Hard disk : 256 KB

Chase Memory : 8.192 KB (Core CPU)

XenCenter 444 MB	Slackware Linux 256 MB	VoIP 1300 MB
---------------------	------------------------------	-----------------

RAM yang digunakan untuk VoIP : 1.300 MB

Transfer Rate server = RAM VoIP + Speed Hard disk + Chase Memory

$$= 1.300.000 \text{ KB} + 256 \text{ KB} + 8.192 \text{ KB}$$

$$= 1.308.448 \text{ KB}$$

- Voice payload (V) codec G.729 dapat diperoleh sebagai berikut :

$$V = B_c \times f_s$$

$$V = 8 \text{ kbps} \times 20 \cdot 10^{-3}$$

$$V = 160 \text{ bit}$$

$$V = 20 \text{ byte}$$

Jika diketahui *overhead header* RTP/UDP/IP adalah 40 byte dan Ethernet mempunyai ukuran header 14 byte dijadikan media link layer, maka besar paket per kebutuhan *bandwidth* adalah:

$$BW_{(b/s)} = (V + I + L) \times P$$

$$BW_{(b/s)} = (20 + 40 + 14) \times 50$$

$$BW_{(b/s)} = 3,7 \text{ KBps} \quad \text{masih 1 Kanal Uplink}$$

$$BW_{(b/s)} = 7,4 \text{ KBps} \quad \text{Uplink dan Downlink}$$

waktu time holding : 3 Menit = 3 x 60 = 180 s

$$BW = 7,4 \text{ KBps} \times 180 \text{ s}$$

$$= 1.332 \text{ KB}$$

Jadi untuk menentukan jumlah user adalah Transfer Rate server dibagi dengan *BW*

$$\text{User} = 1.308.448 \text{ KB} : 1.332 \text{ KB} = 982,32 \text{ User}$$

Sehingga pemilihan server telah terpenuhi yaitu server dengan spesifikasi diatas.

4.6.1 Analisa Bandwidth per call

Bandwidth yang diperlukan saat berkomunikasi suara tergantung pada codec yang digunakan. Codec yang digunakan adalah G.729 yang mempunyai karakteristik yang ditunjukkan pada table 4.5:

Tabel 4.8 Karakteristik Codec G.729

Bitrate	8 kbps
Frame size	20 ms
Paket per detik	50 paket/detik

- Voice payload (V) codec G.729 dapat diperoleh sebagai berikut :

$$V = B_c \times f_s$$

$$V = 8 \text{ kbps} \times 20 \cdot 10^{-3}$$

$$V = 160 \text{ bit}$$

$$V = 20 \text{ byte}$$

Jika diketahui *overhead header* RTP/UDP/IP adalah 40 byte dan Ethernet mempunyai ukuran header 14 byte dijadikan media link layer, maka besar paket per kebutuhan *bandwidth* adalah:

$$BW_{(b/s)} = (V + I + L) \times 8 \times P$$

$$BW_{(b/s)} = (20 + 40 + 14) \times 8 \times 50$$

$$BW_{(b/s)} = 29600 \text{ bps}$$

$$BW_{(b/s)} = 29,6 \text{ Kbps}$$

Untuk memperkecil bandwith yang dibutuhkan, overhead header dapat dikompresi sampai 4 byte.

$$BW_{(b/s)} = (V + I + L) \times 8 \times P$$

$$BW_{(b/s)} = (20 + 4 + 14) \times 8 \times 50$$

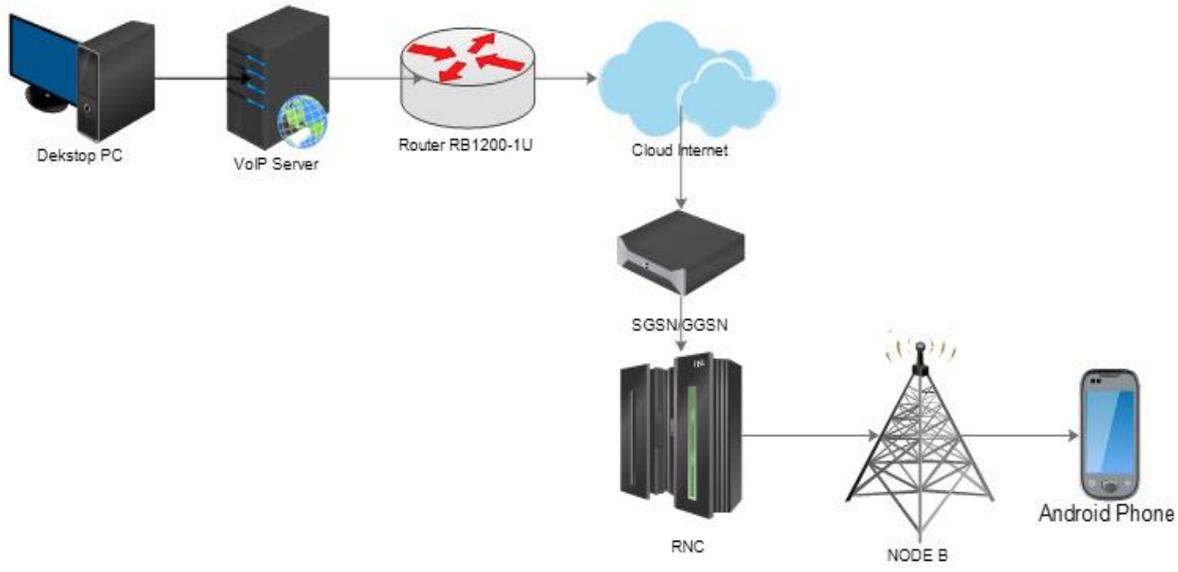
$$BW_{(b/s)} = 15200 \text{ bps}$$

$$BW_{(b/s)} = 15,2 \text{ kbps}$$

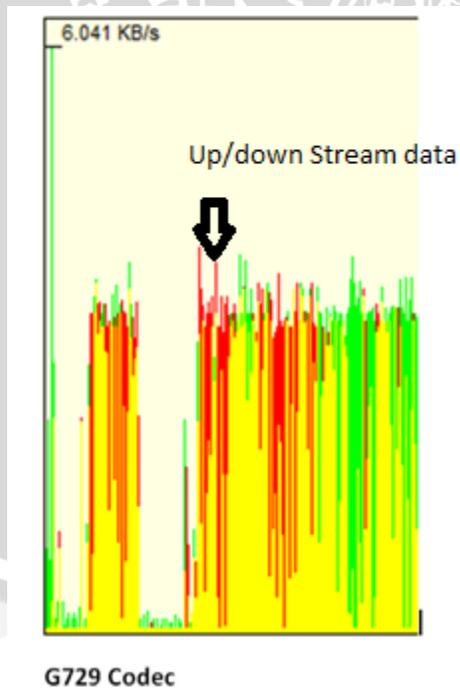
Jadi kebutuhan bandwith tanpa kompresi header sebesar 29,6 kbps dan 15,2 kbps dengan kompresi header. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar paket data yang dikirim, maka makin besar pula bandwith yang dibutuhkan.

Bandwidth per call pada penelitian ini dapat dianalisis berdasarkan konfigurasi jaringan sistem *mobile* VoIP yang telah dibuat. Konfigurasi jaringan yang digambarkan pada Gambar 4.22

Bandwidth per call diukur pada sisi *user* dengan mengukur total *traffic* data yang digunakan pada jaringan HSDPA pada saat komunikasi terbentuk dan aliran data sudah stabil.



Gambar 4.26 Pemodelan jaringan untuk pengukuran bandwidth



Gambar 4.27 Pola aliran data *mobile* VoIP

Berdasarkan pengukuran dapat diketahui bahwa:

- Bandwidth yang dibutuhkan codec G.729 sebesar 6.041 KB/s. Hal ini dikarenakan model kompresi suara yang digunakan codec G.729 menggunakan metode kompresi CELP atau *Code-excited linear prediction* yaitu sebesar 8 kbps.

4.6.2 Delay end-to-end

Delay end-to-end merupakan *delay* antara *node* sumber dengan *node* tujuan. *Delay end-to-end* bersifat fluktuatif, karena paket data untuk sampai ke tujuan melewati jalur yang berbeda – beda.

$$T_{total} = t_{end-to-end\ HSDPA} + t_{delaycodec}$$

$$= (t_{proc} + t_{trans} + t_{prop} + t_W) + t_{delaycodec}$$

4.6.2.1 Delay Proses

a. Server VoIP

$$W_{segment} = W_{VoIP} + Header_{RTP} + Header_{UDP}$$

$$= 20 + 12 + 8$$

$$= 40\ \text{byte}$$

$$W_{datagram} = W_{segment} + Header_{IP}$$

$$= 40 + 20$$

$$= 60\ \text{byte}$$

$$W_{frameVoIP(server)} = W_{datagram} + header_{eth}$$

$$= 60 + 14$$

$$= 74\ \text{byte}$$

Jika pada server menggunakan standard *Gigabyte Ethernet* maka *delay encapsulasi* pada server:

$$t_{E1} = \frac{W_{frameVoIP(server)}}{C_{VoIP}} \times 8$$

$$t_{E1} = \frac{74\ \text{byte}}{10^9\ \text{bps}} \times 8$$

$$t_{E1} = 5,92 \times 10^{-7}\ \text{s}$$



b. GGSN

$$\begin{aligned} W_{VoIP(GGSN)} &= W_{frameVoIP} - \text{Header}_{IP} - \text{Header}_{UDP} - \text{Header}_{ETHERNET} - \\ &\text{Header}_{RTP} \\ &= 74 - 20 - 8 - 14 - 12 \\ &= 20 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan asumsi GGSN menggunakan standard *Fast Ethernet* kecepatan 100 Mbps, maka *delay* decapsulasi pada GGSN:

$$\begin{aligned} t_{D1} &= \frac{W_{VoIP(GGSN)}}{C_{GGSN}} \times 8 \\ t_{D1} &= \frac{20}{100 \times 10^6} \times 8 \\ t_{D1} &= 1,6 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{frame(GGSN)} &= W_{VoIP(GGSN)} + \text{Header}_{IP} + \text{Header}_{UDP} + \text{Header}_{ETH} + \text{Header}_{RTP} \\ &= 20 + 20 + 8 + 14 + 12 \\ &= 74 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* encapsulasi pada GGSN adalah

$$\begin{aligned} t_{E2} &= \frac{W_{frame(GGSN)}}{C_{GGSN}} \times 8 \\ t_{E2} &= \frac{74 \text{ byte}}{100 \times 10^6} \times 8 \\ t_{E2} &= 1,6 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

c. SGSN

$$\begin{aligned} W_{VoIP(SGSN)} &= W_{frameGGSN} - \text{Header}_{IP} - \text{Header}_{UDP} - \text{Header}_{ETH} - \text{Header}_{RTP} \\ &= 74 - 20 - 8 - 14 - 12 \\ &= 20 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan asumsi SGSN menggunakan standard *Fast Ethernet* kecepatan 100 Mbps, maka *delay* decapsulasi pada SGSN:

$$\begin{aligned} t_{D2} &= \frac{W_{VoIP(SGSN)}}{C_{SGSN}} \times 8 \\ t_{D2} &= \frac{20}{100 \times 10^6} \times 8 \\ t_{D2} &= 1,6 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{frame(SGSN)} &= W_{VoIP(SGSN)} + \text{Header}_{IP} + \text{Header}_{UDP} + \text{Header}_{ETH} + \text{Header}_{RTP} \\ &= 20 + 20 + 8 + 14 + 12 \\ &= 74 \text{ byte} \end{aligned}$$

Sehingga *delay* encapsulasi pada SGSN adalah

$$t_{E3} = \frac{W_{frame(SGSN)}}{C_{SGSN}} \times 8$$

$$t_{E3} = \frac{74 \text{ byte}}{100 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{E3} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ s}$$

d. RNC

$$\begin{aligned} W_{VoIP(RNC)} &= W_{frameSGSN} - \text{Header}_{IP} - \text{Header}_{UDP} - \text{Header}_{ETH} - \text{Header}_{RTP} \\ &= 74 - 20 - 8 - 14 - 12 \\ &= 20 \text{ byte} \end{aligned}$$

Dengan asumsi RNC menggunakan standard *Fast Ethernet* kecepatan 100 Mbps, maka *delay* decapsulasi pada RNC

$$t_{D3} = \frac{W_{VoIP(RNC)}}{C_{RNC}} \times 8$$

$$t_{D3} = \frac{20}{100 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{D3} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Kemudian data di encapsulasi pada layer PDCP (*Packet Data Coverage Protocol*) dengan diberi *header* sebesar 1 *byte*

$$\begin{aligned} W_{frame(PDCP)} &= W_{VoIP(RNC)} + \text{header}_{PDCP} \\ &= 20 + 1 \\ &= 21 \text{ byte} \end{aligned}$$

Pada layer RLC, *frame* PDCP di segmentasi menjadi RLC PDU *fixed size* sebesar 40 *byte*.

$$\begin{aligned} N_{frame(RLC)} &= 21 / 40 \\ &= 0,525 \end{aligned}$$

Terdapat 4 *frame* RLC dengan panjang masing – masing 40 *byte* serta *frame* berisi data sebesar (0.025 x 40 = 1 *byte*). *Frame* yang berisi 1 *byte* tersebut kemudian diberi *padding* *byte* sebesar (40 - 1 = 39 *byte*) sehingga terdapat 5 *frame* RLC. Kemudian setiap *frame* diberi *header* 2 *byte*.

$$\begin{aligned} W_{frame(RLC) \text{ total}} &= N_{frame(RLC)} \times W_{frame(RLC)} \\ &= 1 \times 42 \end{aligned}$$

$$= 42 \text{ byte}$$

Pada layer MAC-d, RLC PDU disegmentasi menjadi MAC-d SDU (*Service Data Unit*) sebesar 42 byte.

$$N_{\text{frame}(\text{MAC-d})} = \frac{W_{\text{Frame}(\text{RLC})\text{total}}}{42 \text{ byte}}$$

$$N_{\text{frame}(\text{MAC-d})} = \frac{42 \text{ byte}}{42 \text{ byte}} = 1$$

$$W_{\text{frame}(\text{MAC-d})} = \text{header}_{\text{MAC}} + 42 \text{ byte}$$

$$= 3 + 42$$

$$= 45 \text{ byte}$$

Frame MAC-d kemudian di enkapsulasi pada HS-DSCH FP (*Frame Protocol*) dengan menambah header 7 byte dan CRC 2 byte.

$$W_{\text{frame}(\text{FP})} = W_{\text{frame}(\text{MAC-d})} + \text{header}_{\text{FP}} + \text{CRC}$$

$$= 45 + 7 + 2$$

$$= 54 \text{ byte}$$

$$W_{\text{frame}(\text{FP})\text{total}} = N_{\text{frame}(\text{MAC-d})} \times W_{\text{frame}(\text{FP})}$$

$$= 1 \times 54$$

$$= 54 \text{ byte}$$

$$W_{\text{frame}(\text{RNC})\text{total}} = W_{\text{frame}(\text{FP})\text{total}}$$

$$= 54 \text{ byte}$$

Sehingga besar *delay* enkapsulasi yang terjadi pada RNC adalah

$$t_{E4} = \frac{W_{\text{frame}(\text{RNC})}}{C_{\text{RNC}}} \times 8$$

$$t_{E4} = \frac{54}{100 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{E4} = 4,32 \times 10^{-6} \text{ s}$$

e. Node B

$$W_{\text{VoIP}(\text{Node-B})} = W_{\text{frame}(\text{RNC})} - \text{Header}_{\text{eth}} - \text{header}_{\text{FP}} - \text{CRC}$$

$$= 54 - 14 - 7 - 2$$

$$= 31 \text{ byte}$$

Dengan asumsi Node B menggunakan standard *Fast Ethernet* kecepatan 100 Mbps, maka *delay* decapsulasi pada Node B

$$t_{D4} = \frac{W_{VoIP(Node B)}}{C_{Node B}} \times 8$$

$$t_{D4} = \frac{31}{100 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{D4} = 2,48 \times 10^{-6} \text{ s}$$

Pada saat memasuki layer MAC-HS paket data di segmentasi sebesar 42 byte

$$N_{frame(MAC-HS)} = \frac{W_{VoIP(Node B)}}{42}$$

$$N_{frame(MAC-HS)} = \frac{31}{42}$$

$$N_{frame(MAC-HS)} = 0,73809$$

$W_{frame(MAC-HS)}$

$$= \text{Header}_{MAC} + 42 \text{ byte}$$

$$= 3 + 42$$

$$= 45 \text{ byte}$$

$W_{frame(NodeB)}$

$$= N_{frame(MAC-HS)} \times W_{frame(MAC-HS)}$$

$$= 0,73809 \times 45 \text{ byte}$$

$$= 33,21405$$

Sehingga diperoleh *delay* Node B sebesar:

$$t_{E5} = \frac{W_{FRAME(Node B)}}{C_{Node B}} \times 8$$

$$t_{E5} = \frac{33,21405}{100 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{E5} = 2,657124 \times 10^{-6} \text{ s}$$

e. *User Equipment*

$W_{VoIP(UE)}$

$$= W_{frame(NodeB)} - \text{Header}_{PDCP} - \text{header}_{RLC} - \text{header}_{MAC}$$

$$= 33,21405 - 1 - 2 - 3$$

$$= 27,21405$$

Dengan data rate maksimum 3.6 Mbps, maka dengan delay dekapsulasi yang terjadi pada UE adalah:

$$t_{D5} = \frac{W_{VoIP(UE)}}{C_{UE}} \times 8$$

$$t_{D5} = \frac{27,21405}{3,6 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8$$

$$t_{D5} = 6,047567 \times 10^{-5} \text{ s}$$

4.6.2.1.1 Delay Proses Total

- a. Delay Enkapsulasi total

$$\begin{aligned} t_{E(TOTAL)} &= t_{E1} + t_{E2} + t_{E3} + t_{E4} + t_{E5} \\ &= 5,92 \times 10^{-7} + 1,6 \times 10^{-6} + 1,6 \times 10^{-6} + 4,33 \times 10^{-6} + 2,657124 \times 10^{-6} \\ &= 1,23791 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

- b. Delay dekapsulasi total

$$\begin{aligned} t_{D(TOTAL)} &= t_{D1} + t_{D2} + t_{D3} + t_{D4} + t_{D5} \\ &= 1,28 \times 10^{-5} + 1,28 \times 10^{-5} + 1,28 \times 10^{-5} + 1,976 \times 10^{-5} + 5,74761 \times 10^{-4} \\ &= 6,77557 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

- c. Delay Proses Total

$$\begin{aligned} t_{PROC(TOTAL)} &= t_{E(TOTAL)} + t_{D(TOTAL)} \\ &= 1,23791 \times 10^{-5} \text{ s} + 6,77557 \times 10^{-5} \text{ s} \\ &= 8,01348 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

4.6.2.2 Delay Transmisi

- a. Server - GGSN

Jika server dan GGSN dihubungkan dengan *Interface Ethernet* dengan kecepatan 1Gbps, maka *delay* transmisi adalah

$$\begin{aligned} t_{T1} &= \frac{W_{frameVoIP(Server)}}{C_{ETH}} \times 8 \\ &= \frac{74}{10^9} \times 8 \\ &= 5,92 \times 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

- b. GGSN - SGSN

Jika GGSN dan SGSN dihubungkan dengan *Interface Ethernet* dengan kecepatan 1Gbps, maka *delay* transmisi adalah

$$\begin{aligned} t_{T2} &= \frac{W_{frame(GGSN)}}{C_{ETH}} \times 8 \\ &= \frac{74}{10^9} \times 8 \end{aligned}$$

$$= 5,92 \times 10^{-7} \text{ s}$$

c. SGSN - RNC

Jika SGSN dan RNC dihubungkan dengan *Interface Ethernet* dengan kecepatan 1Gbps, maka *delay* transmisi adalah

$$\begin{aligned} t_{T3} &= \frac{W_{frame(SGSN)}}{C_{ETH}} \times 8 \\ &= \frac{74}{10^9} \times 8 \\ &= 5,92 \times 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

d. RNC – Node B

Jika RNC dan Node B dihubungkan dengan *Interface Ethernet* dengan kecepatan 1Gbps, maka *delay* transmisi adalah

$$\begin{aligned} t_{T4} &= \frac{W_{frame(RNC)}}{C_{ETH}} \times 8 \\ &= \frac{54}{10^9} \times 8 \\ &= 4,32 \times 10^{-7} \text{ s} \end{aligned}$$

e. Node B – *User equipment* (UE)

Terminal pengguna memiliki *data rate* maksimum 3.6 Mbps dan jumlah slot sebanyak 3 slot, maka *delay* transmisi adalah

$$\begin{aligned} t_{T5} &= \frac{W_{frame(Node-B)}}{n \times C_{UE}} \times 8 \\ &= \frac{33,21405}{3 \times (3,6 \times 10^9)} \times 8 \\ &= 2,4603 \times 10^{-8} \text{ s} \end{aligned}$$

4.6.2.2.1 Delay transmisi total

$$\begin{aligned} t_{T(TOTAL)} &= t_{T1} + t_{T2} + t_{T3} + t_{T4} + t_{T5} \\ &= 5,92 \times 10^{-7} + 5,92 \times 10^{-7} + 5,92 \times 10^{-7} + 4,32 \times 10^{-7} + 2,4603 \times 10^{-8} \\ &= 2,23260 \times 10^{-6} \text{ s} \end{aligned}$$

4.6.2.3 Delay Propagasi

a. Server - GGSN

Jika server dan GGSN dihubungkan dengan *Fiber Optic* dengan jarak 3 km dan cepat rambat gelombang di cahaya adalah sebesar 2.10^{-8} m/s, maka *delay* propagasi adalah

$$\begin{aligned} t_{P1} &= \frac{N_{frameVoIP(Server) \times R}}{V} \times 8 \\ &= \frac{1 \times 3.10^3}{2 \times 10^8} \times 8 \\ &= 1,5 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

b. GGSN - SGSN

Jika GGSN dan SGSN dihubungkan dengan *Fiber Optic* dengan jarak 3 km dan cepat rambat gelombang di cahaya adalah sebesar 2.10^{-8} m/s, maka *delay* propagasi adalah

$$\begin{aligned} t_{P2} &= \frac{N_{frame(GGSN) \times R}}{V} \times 8 \\ &= \frac{1 \times 2.10^3}{2 \times 10^8} \times 8 \\ &= 1 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

c. SGSN - RNC

Jika SGSN dan RNC dihubungkan dengan *Fiber Optic* dengan jarak 2 km dan cepat rambat gelombang di cahaya adalah sebesar 2.10^{-8} m/s, maka *delay* propagasi adalah

$$\begin{aligned} t_{P3} &= \frac{N_{frame(SGSN) \times R}}{V} \times 8 \\ &= \frac{1 \times 2.10^3}{2 \times 10^8} \times 8 \\ &= 1 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

d. RNC – Node B

Jika RNC dan Node B dihubungkan dengan *Fiber Optic* dengan jarak 400 meter dan cepat rambat gelombang di cahaya adalah sebesar 2.10^{-8} m/s, maka *delay* propagasi adalah

$$\begin{aligned}
 t_{p4} &= \frac{N_{frame(RNC)xR}}{V} \times 8 \\
 &= \frac{1 \times 4 \cdot 10^2}{2 \times 10^8} \times 8 \\
 &= 2 \times 10^{-6} \text{ s}
 \end{aligned}$$

e. Node B – *User equipment* (UE)

Terminal pengguna cepat rambat cahaya sebesar $3 \cdot 10^8$ m/s, dengan jarak 3 km maka *delay* propagasi adalah

$$\begin{aligned}
 t_{p5} &= \frac{N_{frame(NodeB)xR}}{V} \times 8 \\
 &= \frac{1 \times 3 \cdot 10^3}{3 \times 10^8} \times 8 \\
 &= 1 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

4.6.2.3.1 Delay Propagasi Total

$$\begin{aligned}
 t_{p(TOTAL)} &= t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{p5} \\
 &= 1,5 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-5} + 1 \times 10^{-5} + 2 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-5} \\
 &= 4,7 \times 10^{-5} \text{ s}
 \end{aligned}$$

4.6.2.4 Delay Antrian

Pada GGSN dan SGSN menggunakan standard *Fast Ethernet* dengan kecepatan 100 Mbps. Sedangkan Server menggunakan standar *Gigabyte Ethernet* dengan kecepatan 1 Gbps, maka laju pelayanan paket:

$$\begin{aligned}
 \mu_{GGSN} &= \frac{C_{GGSN}}{L} \\
 &= \frac{100 \times 10^6}{74 \times 8} \\
 &= 168918,9189 \text{ Packet/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{SGSN} &= \frac{C_{SGSN}}{L} \\
 &= \frac{10^6}{74 \times 8} \\
 &= 1689,189189 \text{ Packet/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{server} &= \frac{C_{ethernet}}{L} \\
 &= \frac{10^9}{74 \times 8} \\
 &= 1689189,189 \text{ Packet/s}
 \end{aligned}$$

Dengan asumsi faktor utilisasi (ρ) sebesar 0.1 sampai 0.9 dengan kenaikan 0.1, maka laju kedatangan paket (λ)

$$\begin{aligned}\lambda_{GGSN} &= \mu_{GGSN} \times \rho \\ &= 168918,9189 \times 0,1 \\ &= 16891,89189 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{SGSN} &= \mu_{SGSN} \times \rho \\ &= 1689,189189 \times 0,1 \\ &= 168,9189189 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{SERVER} &= \mu_{SERVER} \times \rho \\ &= 1689189,189 \times 0,1 \\ &= 168918,9189 \text{ paket/s}\end{aligned}$$

Sehingga delay antrian untuk setiap kanal:

$$\begin{aligned}t_{W(GGSN)} &= \frac{\lambda_{GGSN}}{\mu_{GGSN}(\mu_{GGSN} - \lambda_{GGSN})} + \frac{1}{\mu_{GGSN}} \\ t_{W(GGSN)} &= \frac{16891,89189}{168918,9189(168918,9189 - 16891,89189)} + \frac{1}{168918,9189} \\ &= 6,57778 \times 10^{-6} \text{ s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{W(SGSN)} &= \frac{\lambda_{SGSN}}{\mu_{SGSN}(\mu_{SGSN} - \lambda_{SGSN})} + \frac{1}{\mu_{SGSN}} \\ t_{W(SGSN)} &= \frac{168,9189189}{1689,189189(1689,189189 - 168,9189189)} + \frac{1}{1689,189189} \\ &= 6,57778 \times 10^{-4} \text{ s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{W(server)} &= \frac{\lambda_{server}}{\mu_{server}(\mu_{server} - \lambda_{server})} + \frac{1}{\mu_{server}} \\ t_{W(server)} &= \frac{168918,9189}{1689189,189(1689189,189 - 168918,9189)} + \frac{1}{1689189,189} \\ &= 6,57778 \times 10^{-8} \text{ s}\end{aligned}$$

4.6.2.4.1 Delay antrian total

$$\begin{aligned}t_{W(TOTAL)} &= t_{W(GGSN)} + t_{W(SGSN)} + t_{W(server)} \\ &= 6,57778 \times 10^{-6} + 6,57778 \times 10^{-4} + 6,57778 \times 10^{-7} \\ &= 6,65013 \times 10^{-4} \text{ s}\end{aligned}$$

4.6.2.5 Delay Codec pada Layanan Voice Over Internet Protocol

Aplikasi *Voice Over Internet Protocol* pada penelitian menggunakan *codec audio G.729* yang mempunyai besaran *delay codec* sebesar 10 ms.

4.6.2.6 Perhitungan Delay Total (Delay End-to-End)

Besarnya nilai *delay total* dihitung dengan menjumlahkan nilai *delay codec* dan *delay jaringan HSDPA* (*delay proses, delay transmisi, delay propagasi, delay antrian*). Sehingga besarnya nilai *delay end-to-end* sesuai dengan persamaan.

$$\begin{aligned}
 T_{total} &= t_{end-to-end\ HSDPA} + t_{delaycodec} \\
 &= (t_{proc} + t_{trans} + t_{prop} + t_W) + t_{delaycodec} \\
 &= 8,01348 \times 10^{-5} + 2,23260 \times 10^{-6} + 4,7 \times 10^{-5} + 6,65013 \times 10^{-4} + 1 \times 10^{-2} \\
 &= 0,010794381 \times 10^{-4} \text{ s} \\
 &= 10,794381 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapatkan nilai *delay end-to-end* dengan faktor utilisasi (ρ) diubah dari nilai 0,1 sampai 0,9 dengan kenaikan sebesar 0,1, yaitu:

Tabel 4.9 Nilai *Delay End-to-End*

Faktor Utilisasi	<i>Delay End-to-End</i> (ms)
0,1	10,794
0,2	7,481
0,3	8,550
0,4	9,975
0,5	11,970
0,6	14,962
0,7	19,950
0,8	29,925
0,9	59,851

Dari pembahasan secara perhitungan diatas maka di dapat hasil:

- Semakin besar faktor utilisasi, maka semakin besar nilai *delay jaringan* atau *delay end-to-end*. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat faktor utilisasi 0,1

memiliki nilai *delay end-to-end* 10,794 ms dan pada saat faktor utilisasi 0,9 memiliki nilai *delay end-to-end* 59,851 ms.

- Besarnya nilai *delay end-to-end* dari hasil perhitungan berdasarkan standar ITU-T G.114 untuk faktor utilisasi 0,1 sampai dengan 0,9 berada pada *range* $0 \text{ ms} < t_{\text{end-to-end}} \leq 150 \text{ ms}$, sehingga memiliki kualitas baik.

4.6.3 Probabilitas *Packet Loss*

Probabilitas *packet loss* total pada HSDPA ditentukan berdasarkan probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss* pada *transport layer* UDP dan *network layer*.

4.6.3.1 Probabilitas *Packet Loss* UDP/IP

Besarnya nilai probabilitas *packet loss* ($\rho_{\text{UDP/IP}}$) yang terjadi pada *transport layer* dan *network layer* berdasarkan standar dari *White Paper* Qualcomm besarnya, yaitu 10^{-8} .

4.6.3.2 Probabilitas *Packet Loss* pada Jaringan HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA dihitung dari probabilitas *packet loss* yang terjadi pada *air interface* sistem HSDPA serta pada jaringan IP *backbone* yang meliputi RAN (Node B dan RNC) dan *Core Network* (SGSN dan GGSN).

a. Probabilitas *Packet Loss* pada *Air Interface* HSDPA

Probabilitas *packet loss* pada *air interface* HSDPA ditentukan berdasarkan parameter-parameter pada data *downlink link budget* yang terdapat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.11 *Downlink Link Budget* untuk HSDPA

Parameter <i>Link Budget</i>	HSDPA
HS-DSCH Tx Power	37,4 dBm
CPICH Tx Power	33 dBm
Tx Antenna Gain	18 dBi
HS-DSCH EIRP	57 dBW
Node B Antenna Height	40 m
Cell Radius	0,93 km
UE Noise Figure	8 dB
Thermal Noise	-174dBm
Rx Antenna Gain	0 dB
Processing Gain	12 dB
Orthogonality Factor (α)	0,6
Interference Margin	9 dB

Sumber: PT. Telkomsel, Tbk

- Terminal pengguna yang digunakan adalah kategori 5 sesuai dengan Pengguna *Terminal Categories* HSDPA menggunakan skema modulasi 16 QAM, jumlah *Transport Block Size* pada layer MAC-hs di *Node B* adalah 7298 bit dan *data rate* maksimal sebesar 3,6 Mbps (Siemens HSDPA White Paper,2004).
- Physical Interface pada GGSN, SGSN, RNC dan *Node B* sesuai dengan protokol stack pada Bab 2
- Panjang bit header dan frame yang digunakan pada setiap proses memiliki nilai yang disesuaikan dengan Tabel 2.11.

Model Propagasi COST 231- walfisch Ikegami

Model Propagasi COST 231-Walfisch Ikegami digunakan untuk menyempurnakan model propagasi sebelumnya, yakni Okumura Hata. Model propagasi COST 231-Walfisch ikegami valid untuk frekuensi 800 Mhz hingga 2000 MHz, tinggi antena Tx 4 m hingga 50 m, tinggi antena ms 1 m hingga 3 m dan jarak Tx-Rx 0,02 km hingga 5 km (Vijay K. Garg,2007). Ketinggian antena *Node B* beserta gedung yang diamati pada penelitian adalah 40 m (Gedung FISIP UB Malang, 2015)

Parameter yang digunakan dalam perhitungan, antara lain:

- Frekuensi carrier, $f_c = 1900$ MHz
- Lebar jalan, $w = 24$ Meter
- Jarak antar gedung , $b = 44$ Meter
- Sudut insiden, $\phi = 59^0$
- Tinggi antena *Node B*, $h_b = 40$ meter
- Tinggi antena ms $h_m = 1,5$ meter
- Tinggi gedung uji, $h_r = 21$ meter
- jarak Tx-Rx $d = 0,24$ km
- Delta $h_m (h_r - h_m)$, $\Delta h_m = 21-1,5$
 $\Delta h_m = 19,5$ meter
- Delta $h_m (h_b - h_r)$, $\Delta h_b = 40-21$
 $\Delta h_b = 19$ meter
- *Free space path loss*, $L_f = 32,4 + 20 \log (0,24) + 20 \log (1900)$
 $= 85,58$ dB

- *Rooftop to Street Diffraction and Scatter Loss*

$$\begin{aligned} L_{rts} &= 16,9 + 10 \log (w) + 10 \log (f_c) + 20 \log \Delta h_m + l_0 \\ &= 16,9 + 10 \log (24) + 10 \log (1900) + 20 \log (19,5) + [4 - 0,114(59 - 55)] \\ &= 31,43 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{rts} &= -18 \log (11 + \Delta h_b) \\ &= -18 \log (11 + 19) \\ &= -26,59 \text{ dB} \end{aligned}$$

- $k_a = 54$; $h_b > h_r$

- $k_d = 18 - (15 \times \Delta h_b / \Delta h_m)$
 $= 18 - (15 \times 19 / 19,5)$
 $= 3,38$

- $k_f = 4 + 1,5 (f_c / 925 - 1)$
 $= 4 + 1,5 (1900 / 925 - 1)$
 $= 5,58$

- *Multiscreen / Multiscatter Loss*

$$\begin{aligned} L_{ms} &= L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f_c - 9 \log b \\ &= -26,59 + 54 + 3,38 \log (0,24) + 5,58 \log (1900) - 9 \log (44) \\ &= 28,82 \text{ dB} \end{aligned}$$

- *Pathloss (L)* = 85,58 dB + 31,34 dB + 28,82 dB = 145,83 dB

Sebelum menghitung besarnya nilai probabilitas *packet loss* pada *air interface* HSDPA, maka terlebih dahulu dihitung besarnya daya yang diterima kanal trafik, E_b/N_0 kanal trafik, dan BER kanal trafik.

- Daya yang diterima kanal trafik (P_{tr})

Berdasarkan pada Tabel 4.11 dan persamaan (2.58) didapatkan besarnya daya yang diterima kanal trafik (P_{tr}), yaitu:

$$\begin{aligned} P_{tr} &= EIRP - L + G_{MS} - I_m \\ &= 57 - 145,83 + 0 - 9 \\ &= -97,83 \text{ dBW} \end{aligned}$$

- E_b/N_o kanal trafik

Besarnya nilai E_b/N_o kanal trafik yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.59), yaitu:

$$\begin{aligned} E_b/N_o &= P_{tr} - 10 \log R_b - 10 \log 10^{0,1N_o} \\ &= -97,83 - 10 \log (3,6 \cdot 10^6) - 10 \log 10^{0,1(-174)} \\ &= -97,83 - 65,563 + 174 \\ &= 10,61 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Probabilitas *error* kanal trafik

Besarnya nilai probabilitas *error* kanal trafik HSDPA yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.60), yaitu:

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{e^{-E_b/N_o}}{\sqrt{2\pi(E_b/N_o)}} \\ &= \frac{e^{-10,61}}{2 \cdot \sqrt{(3,14)(10,61)}} \\ &= 4,29 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- Probabilitas *packet loss* air interface HSDPA

Besarnya nilai probabilitas *packet loss* pada *air interface* HSDPA yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.61), yaitu:

$$\begin{aligned} \rho_{AI} &= 1 - (1 - P_e)^{l+l'} \\ &= 1 - (1 - 4,29 \times 10^{-6})^{74 \times 8} \\ &= 0,00253 \end{aligned}$$

b. Probabilitas *Packet Loss* pada IP Backbone

IP backbone pada HSDPA terdiri dari *Core Network* (SGSN dan GGSN) dan RAN (Node B dan RNC). Dengan menggunakan persamaan (2.62), maka besarnya nilai BER pada IP backbone, yaitu:

- GGSN

$$\begin{aligned} \rho_{GGSN} &= W_{frame \text{ GGSN}} \times \rho_e \\ &= 74 \times 8 \times 4,29 \times 10^{-6} \\ &= 2,53968 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

- SGSN

$$\rho_{SGSN} = W_{frame \text{ SGSN}} \times \rho_e$$

$$= 74 \times 8 \times 4,29 \times 10^{-6}$$

$$= 2,53968 \times 10^{-3}$$

- RNC

$$\rho_{RNC} = W_{frame RNC} \times \rho_e$$

$$= 54 \times 8 \times 4,29 \times 10^{-6}$$

$$= 1,85328 \times 10^{-3}$$

- Node B

$$\rho_{Node B} = W_{frame Node B} \times \rho_e$$

$$= 33,21405 \times 8 \times 4,29 \times 10^{-6}$$

$$= 1,1399 \times 10^{-3}$$

c. Probabilitas *Packet Loss* Jaringan HSDPA

Besarnya nilai probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.57), yaitu:

$$\rho_{net} = 1 - [(1 - \rho_{AI})(1 - \rho_{IP backbone})^h]$$

$$= 1 - [(1 - \rho_{AI})(1 - \rho_{GGSN})(1 - \rho_{SGSN})(1 - \rho_{RNC})(1 - \rho_{NodeB})]$$

$$= 1 - [(1 - 0,00253)(1 - 2,53968 \times 10^{-3})(1 - 2,53968 \times 10^{-3})(1 - 1,85328 \times 10^{-3})(1 - 1,1399 \times 10^{-3})]$$

$$= 0,98944$$

4.6.3.3 Probabilitas *Packet Loss* Total

Besarnya nilai probabilitas *packet loss* pada jaringan HSDPA yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2.56), yaitu:

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{net})(1 - \rho_{UDP/IP})]$$

$$= 1 - [(1 - 0,98944)(1 - 10^{-8})]$$

$$= 0,98944$$

Besarnya probabilitas *packet loss* dalam persen dirumuskan dalam persamaan (2.54).

$$Packet Loss (\%) = \frac{N_{Packet Loss}}{N_{Packet} + N_{Packet Loss}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,98944}{427,4281 + 0,98944} \times 100 \%$$

$$= 0,23095 \%$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- ,Besarnya nilai *Paket loss* dari hasil perhitungan berdasarkan Standart Nilai *Packet Loss* ITU-T G.1010, berada pada *range* $0 \% \leq \rho < 3 \%$, sehingga memiliki kualitas sangat baik.

4.6.4 Throughput

Perhitungan *throughput* digunakan untuk mengetahui jumlah data yang diterima oleh UE dalam keadaan benar per waktu total transmisi yang dibutuhkan dari *Node B* ke UE. Waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah *frame* dari *Node B* menuju UE berdasarkan persamaan (2.65), yaitu:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{(PL_{frame} + H_{frame}) \times 8}{C_{trans}} \\ &= \frac{74 \times 8}{3,6 \cdot 10^6} \\ &= 0,000164 \text{ s} \end{aligned}$$

Waktu total yang dibutuhkan untuk melewati sebuah *frame* dari *Node B* menuju UE berdasarkan persamaan (2.64), yaitu:

$$\begin{aligned} t_T &= \frac{t_{p \text{ total}}}{N_{paket}} \\ &= \frac{4,7 \times 10^{-5}}{1} \\ &= 4,7 \times 10^{-5} \text{ s} \end{aligned}$$

Konstanta α yang diperoleh berdasarkan persamaan (2.63), yaitu:

$$\begin{aligned} \alpha &= 3 + \frac{2t_p}{t_l} \\ &= 3 + \frac{2 \times (4,7 \times 10^{-5})}{0,000164} \\ &= 3,573170732 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *throughput* berdasarkan persamaan (2.62) berikut dipengaruhi oleh perubahan nilai *pathloss*, sehingga besarnya nilai *throughput*, yaitu:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1 - \rho_{tot})}{t_1 [1 + (\alpha - 1)\rho_{tot}]} \\ &= \frac{(1 - 0,98944)}{0,000164 \times [1 + (3,573170732 - 1) \times 0,98944]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,9780050 \times 10^{-3} \text{ bps} \\
 &= (2,9780050 \times 10^{-3} \times 74) \times 8 \text{ bps} \\
 &= 1,76297896 \times 10^6 \text{ bps} \\
 &= 1,76297896 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

4.6.5 Grade of Service (B)

Jumlah trafik yang ditolak oleh jaringan digunakan sebagai indeks dari kualitas pelayanan dari jaringan yang disebut dengan *grade of service* (GOS) atau B. *Grade of Service* didefinisikan sebagai perbandingan trafik yang hilang (ditolak) dengan trafik yang ditawarkan ke jaringan.

$$GOS = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{X=0}^N \frac{A^X}{X!}} \quad (2.67)$$

Untuk menghitung N (kanal) menggunakan rumus

- Voice payload (V) codec G.729 dapat diperoleh sebagai berikut :

$$V = B_c \times f_s$$

$$V = 8 \text{ kbps} \times 20 \cdot 10^{-3}$$

$$V = 160 \text{ bit}$$

$$V = 20 \text{ byte}$$

Jika diketahui *overhead header* RTP/UDP/IP adalah 40 byte dan Ethernet mempunyai ukuran header 14 byte dijadikan media link layer, maka besar paket per kebutuhan *bandwidth* adalah:

$$BW_{(b/s)} = (V + I + L) \times 8 \times P$$

$$BW_{(b/s)} = (20 + 40 + 14) \times 8 \times 50$$

$$BW_{(b/s)} = 29600 \text{ bps}$$

$$BW_{(b/s)} = 29,6 \text{ Kbps}$$

Diketahui bahwa kanal IP *public* Universitas Brawijaya dengan bandwidth 1 x E1 (2 Mbps = 2048 Kbps), maka untuk menjadikan kanal harus dibagi dengan Bandwith per call.

$$N = \frac{E1}{2 \times BW} = \frac{2048}{2 \times 29,6} = 35 \text{ kanal.}$$

Perhitungan nilai intensitas trafik berdasarkan persamaan (2.68) dengan 100 user-1000 user.

$$A = \frac{c \times h}{T}$$

$$A_{100} = \frac{100 \times 3}{60} = 5 \text{ erlang}$$

Dengan cara yang sama untuk menghitung 100 user – 1000 didapatkan

Tabel 4.11 Intensitas Trafik

NO	User	Intensitas Trafik (E)
1	100	5
2	200	10
3	300	15
4	400	20
5	500	25
6	600	30
7	700	35
8	800	40
9	900	45
10	1000	50

Selanjutnya untuk menghitung *grade of service* (GOS) atau probabilitas *blocking* perhitungan menggunakan rumus (2.67)

grade of service (GOS) atau probabilitas *blocking* untuk 100 user

$$GOS = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{X=0}^N \frac{A^X}{X!}}$$

$$GOS = P(35) = \frac{5^{35}}{35!} \div \sum_{X=0}^N \frac{5^X}{35!}$$

$$= 1,89 \times 10^{-16}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan *grade of service* (GOS) atau probabilitas *blocking* untuk 100 -1000 user berikut tabelnya.

Tabel 4.12 *grade of service* (GOS)

NO	User	<i>grade of service</i> (%)
1	100	$1,89 \times 10^{-16}$
2	200	$4,39 \times 10^{-8}$
3	300	$4,31 \times 10^{-4}$
4	400	$6,86 \times 10^{-2}$
5	500	1,16
6	600	5,38
7	700	12,34
8	800	20,02
9	900	27,19
10	1000	33,5

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa:

- Semakin besar jumlah user , maka semakin besar pula nilai *grade of service* (GOS) atau probabilitas *blocking* yang terjadi. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan pada saat jumlah user 100 memiliki nilai *grade of service* $1,89 \times 10^{-16}$ % dan pada saat jumlah user 1000 memiliki nilai *grade of service* sebesar 33,5 %.
- Besarnya nilai *grade of service* dari hasil perhitungan berdasarkan standar Rekayasa Trafik untuk jumlah user 100user – 600user berada pada *range* $0\% < GOS \leq 6\%$, sehingga memiliki kualitas baik atau layak., sedangkan untuk jumlah user 700user – 1000user memiliki nilai diatas 6 % hal tersebut tidak layak untuk diterapkan.



4.7 Perbandingan Data Pengukuran dan Perhitungan Secara Teori

Perbandingan perhitungan secara teori dengan hasil pengukuran untuk satu sesi komunikasi sesuai dengan tabel berikut

Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Secara Teori

Bandwith per Call (KBps)		Delay end to end (ms)		Probabilitas packet loss (%)		Throughput (MBps)	
Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran	Perhitungan
7,062	29,6	22,32	10,79	0,81	0,23	0,055	1,763

Berdasarkan tabel diatas maka dapat diketahui nilai koreksinya

Nilai koreksi = (Nilai Perhitungan – Nilai Pengukuran)

Prosentase nilai koreksi = Nilai koreksi/Nilai pengukuran x 100%

- Pada Bandwith per Call

Nilai koreksi = (Nilai Perhitungan – Nilai Pengukuran)

$$= (29,6 - 7,062)$$

$$= 2,254$$

Prosentase nilai koreksi = Nilai koreksi/Nilai pengukuran x 100%

$$= 2,254 / 7,062 \times 100 \%$$

$$= 31,92 \%$$

- Pada *Delay end to end*

Nilai koreksi = (Nilai Perhitungan – Nilai Pengukuran)

$$= (10,79 - 22,32)$$

$$= -11,53$$

Prosentase nilai koreksi = Nilai koreksi/Nilai pengukuran x 100%

$$= -11,53 / 22,32 \times 100 \%$$

$$= -51,66 \%$$

$$= -5,16 \%$$

- Pada *packet loss*

Nilai koreksi = (Nilai Perhitungan – Nilai Pengukuran)

$$= (0,23 - 0,81)$$

$$= -0,58$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase nilai koreksi} &= \text{Nilai koreksi/Nilai pengukuran} \times 100\% \\ &= 0,28/0,81 \times 100 \% \\ &= 34,56 \% \end{aligned}$$

- Pada *Throughput*

$$\begin{aligned} \text{Nilai koreksi} &= (\text{Nilai Perhitungan} - \text{Nilai Pengukuran}) \\ &= (1,763 - 0,055) \\ &= 170,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase nilai koreksi} &= \text{Nilai koreksi/Nilai pengukuran} \times 100\% \\ &= 170,8/0,055 \times 100 \% \\ &= 31,05 \% \end{aligned}$$

Tabel 4.14 Perbandingan perhitungan secara teori dengan hasil pengukuran untuk performansi server sesuai dengan tabel berikut

USER	PENGUKURAN			PERHITUNGAN GOS (Grade Of Service)
	Performansi Server			
	CPU%	App Memori%	Failed Call %	
100	26	57	9	1,89E-16
200	83	59	13	4,39E-08
300	73	60	32	0,000431
400	36	70	38	0,0686
500	96	70	40	1,16
600	95	70	41	5,38
700	99	74	45	12,34
800	25	69	37	20,02
900	75	71	34	27,19
1000	87	73	39	33,5

Dari hasil perbandingan dapat diketahui bahwa :

1. Terjadi perbedaan nilai antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hal ini dapat terjadi karena berbagai hal, diantaranya:

Tabel 4.16 Perbedaan Hasil Pengujian dan Hasil Perhitungan

No	Keterangan	Alasan
1	<i>Bandwith per call</i>	Hal ini berkaitan dengan aliran data pada jaringan. Diketahui bahwa saat sesi komunikasi terbentuk maka aliran data muncul jika ada suara (<i>voice</i>) yang masuk ke dalam sistem VoIP. Data tidak langsung mencapai puncak karena banyaknya suara (<i>voice</i>) yang lewat tidak selalu pada posisi maksimal dan juga dipengaruhi oleh karakter suara yang lewat
2	<i>Delay end-to-end</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikasi jumlah <i>node</i> perangkat jaringan pada router mikrotik dan switch - Acuan nilai <i>delay codec</i> pada pengujian dan perhitungan berbeda sehingga mempengaruhi jumlah paket data. - Kondisi jaringan <i>server</i> di laboratorium komputasi jaringan komputer menuju <i>user</i> terpengaruh oleh utilitas pemakai yang lain.
3	Probabilitas <i>Packet Loss</i>	Pada Pengujian Jumlah <i>node</i> yang dilewati berbeda-beda untuk tiap paket data, sedangkan pada perhitungan jumlah <i>node</i> dan jalur yang tetap.
4	<i>Throughput</i>	<i>Bandwidth</i> yang diberikan oleh pihak PPTI UB terhadap penelitian skripsi ini pada server laboratorium komputasi dan jaringan komputer sebesar 1 E1, kemudian pada saat pengujian berlangsung terdapat pula beberapa pemakai non penelitian yang menggunakan sehingga mempengaruhi nilai <i>throughput</i> pengujian

4.8 Kualitas Performansi Layanan *Voice Over Internet Protocol* pada HSDPA

- 1) Besarnya nilai *delay end-to-end* dari hasil pengukuran memenuhi dari standar ITU-T G.114 sebesar 22,32 ms berada pada *range* $0 \text{ ms} < t_{\text{end-to-end}} \leq 150 \text{ ms}$, sehingga memiliki kualitas baik. Sedangkan dari hasil perhitungan didapatkan hasil *delay end-to-end* sebesar 10.794381 ms yang juga memenuhi standar ITU-T G.114 dengan kualitas baik yaitu $< 150 \text{ ms}$.
- 2) Besarnya nilai *Paket loss* satu sesi komunikasi dari hasil perhitungan berdasarkan Standart Nilai *Packet Loss* ITU-T G.1010, 0.23095 % berada pada *range* $0 \% \leq \rho < 3 \%$, sehingga memiliki kualitas sangat baik. Sedangkan dari hasil pengukuran juga didapatkan hasil *Paket loss* sebesar 0,18 yang juga berada pada *range* $0 \% \leq \rho < 3 \%$,
- 3) Bila mengacu pada Standart Nilai *Packet Loss* ITU-T G.1010, Besarnya nilai *Paket loss* dari hasil pengukuran untuk jumlah 100 user sampai dengan 600 user berada pada *range* $3 \% \leq \rho < 15 \%$, sehingga memiliki kualitas baik, sedangkan untuk jumlah 700 user memiliki nilai *Packet Loss* lebih dari 15 %, sehingga memiliki kualitas sedang
- 4) Kapasitas server untuk layanan VoIP dengan codec G.729 mampu menampung 700 User.

