

KINERJA JARINGAN VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VOIP) ADHOC BERBASIS OPENWRT

Clara Gabriel Sindoro¹, Aloysius Adya Pramudita²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta

ABSTRAK

Jaringan VoIP ad hoc memiliki potensi yang sangat luas dalam pengembangannya seperti sebagai alternatif layanan komunikasi pada daerah yang tidak terjangkau sinyal, peningkatan coverage jaringan selular dan sebagai pengganti PABX. Melihat besarnya potensi yang dimiliki jaringan ini, maka sangat penting untuk menguji kemampuan/kinerja dari jaringan VoIP ad hoc. Kualitas kinerja sistem dapat dilihat dari beberapa parameter QoS seperti delay dan packet loss yang dihasilkan, serta Mean Opinion Score (MOS). Selain itu juga akan dilakukan pengujian kapasitas sambungan dan jarak coverage untuk 1 router. Jaringan VoIP ad hoc dapat dibuat dengan mengoptimalkan kemampuan yang ada pada router. Dengan mengubah firmware asli router dengan firmware open source memungkinkan otoritas pengelolaan dapat dioptimalkan. OpenWrt merupakan salah satu firmware open source yang dapat digunakan untuk router. Selain itu, protokol yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah OLSR. Protokol ini mampu mengonfigurasi informasi routing yang ada, sehingga meskipun node berpindah tempat, paket data selalu tetap dapat sampai.

Kata kunci: Jaringan VoIP ad hoc, QoS, delay, packet loss, MOS, OpenWrt, OLSR

I. Pendahuluan

Dewasa ini, proses pertukaran informasi melalui jaringan internet, baik itu suara, video, maupun data menjadi sesuatu hal yang tak terelakkan dalam kehidupan sehari-hari. Internet menjadi suatu hal yang primer dan digunakan oleh masyarakat luas. Hal inilah yang melandasi potensi yang besar dalam penerapan jaringan VoIP ad hoc.

Penerapan jaringan VoIP ad hoc memiliki potensi pengembangan yang sangat luas. Di Indonesia, masih banyak daerah yang belum terjangkau oleh sinyal telepon, terutama daerah Tertinggal, Terdepan dan Terluar (3T). Menurut Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS), pada tahun 2015 masih terdapat 122 kabupaten yang tertinggal dari total 416 kabupaten di Indonesia [7]. Pada daerah ini, jaringan VoIP ad hoc dapat menjadi salah satu alternatif untuk menyediakan layanan komunikasi dengan biaya minimum. Selain itu, contoh potensi pengembangan yang lain adalah untuk peningkatan coverage jaringan selular. Apabila masing-masing kendaraan bermotor yang ada dipasang router dan dikonfigurasi menjadi satu jaringan ad hoc, maka cakupan areanya akan menjadi lebih besar. Protokol *Optimized Link State Routing* (OLSR) akan mengonfigurasi informasi routing yang ada sehingga meskipun node berpindah tempat, selalu dapat dicari rute yang baru untuk mengirim informasi. Contoh pengembangan yang terakhir adalah untuk mengoptimalkan jaringan privat. Hampir semua badan organisasi seperti perusahaan, sekolah, dan universitas membutuhkan PABX. Dengan menggunakan jaringan VoIP ad hoc, maka tidak diperlukan lagi *fixed line* melainkan setiap client yang terhubung dengan jaringan akan dapat melakukan panggilan dari *softphone* mereka masing-masing.

Jaringan VoIP ad hoc dapat dibuat dengan mengoptimalkan kemampuan yang ada pada router. Mengubah firmware asli router dengan firmware open source memungkinkan otoritas pengelolaan dapat dioptimalkan. OpenWrt merupakan salah satu firmware open source yang dapat digunakan untuk router.

Dengan melakukan konfigurasi tertentu pada OpenWrt, maka selain router akan menjadi *access point* untuk layanan internet, router juga berfungsi sebagai VoIP server. Server ini dapat melayani client untuk melakukan pertukaran data dengan client lain secara gratis selama client tersebut tersambung dan berada dalam coverage area jaringan router ad hoc.

Mempertimbangkan potensi yang sangat besar dari jaringan VoIP ad hoc dan penerapan OpenWrt untuk membangun jaringan tersebut, maka sangat penting untuk menguji kemampuan/kinerjanya. Kualitas kinerja sistem dapat dilihat dari kapasitas sambungan, delay dan packet loss yang dihasilkan, Mean Opinion Score (MOS) serta jarak coverage 1 router.

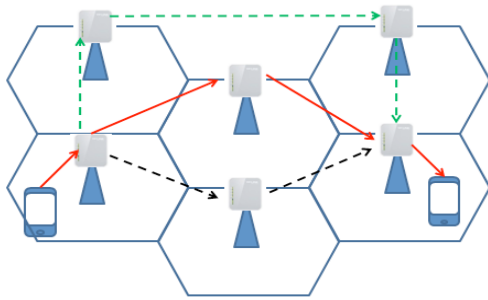
II. Teori Pendukung

A. Jaringan Wireless Ad Hoc

Jaringan wireless ad hoc adalah jaringan nirkabel yang terdiri dari sekumpulan node yang bersifat dinamis dan membentuk jaringan sementara dengan infrastruktur yang tidak tetap. Node tersebut tersebar secara acak dan dapat bergerak ke segala arah [12].

Node dalam jaringan wireless ad hoc dapat bertindak sebagai host maupun sebagai router sehingga setiap node dapat berkomunikasi satu sama lain secara langsung. Hal ini memungkinkan karena setiap node memiliki kemampuan routing, sehingga

data dapat dikirimkan ke tujuan melalui *node* lain (perantara) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Pengiriman data melalui *node* perantara

Jaringan *wireless ad hoc* memerlukan protokol *routing* yang handal dan sesuai dengan dinamika dari jaringan *ad hoc* itu sendiri, yaitu karakteristik yang dinamis. Dalam jaringan *wireless ad hoc* terdapat 3 kategori protokol *routing* [3]:

1. *Table Driven Routing Protocol (Proactive Routing Protocol)*
2. *On Demand Routing Protocol (Reactive Routing Protocol)*
3. *Hybrid Routing Protocol*

B. *Optimized Link State Routing (OLSR)*

Optimized Link State Routing (OLSR) termasuk dalam kategori protokol *routing* proaktif. Berdasarkan sifatnya, protokol ini mampu menyediakan rute dengan segera apabila dibutuhkan. Setiap *node* pada *routing* ini menggunakan informasi rute yang dimilikinya untuk meneruskan paket ke tujuan, sehingga meskipun sebuah *node* berpindah tempat, maka paket tetap dapat sampai [8].

C. *Voice over Internet Protocol (VoIP)*

Voice over Internet Protocol (VoIP) adalah teknologi yang mampu melewati trafik suara, video dan data melalui jaringan IP. Jaringan IP sendiri merupakan jaringan komunikasi data yang berbasis *packet-switching* sehingga dalam bertelepon menggunakan jaringan IP [1].

Teknologi VoIP bekerja dengan cara mengubah suara yang merupakan sinyal *analog* menjadi sinyal *digital* yang dapat dikirimkan melalui jaringan IP. Dalam VoIP, suara, video, dan data diubah menjadi paket-paket yang kemudian dikirim lewat jaringan IP. *Bandwidth* jaringan yang ada dapat dipakai sekaligus untuk mentransfer suara, video, dan data sehingga sangat efisien [6].

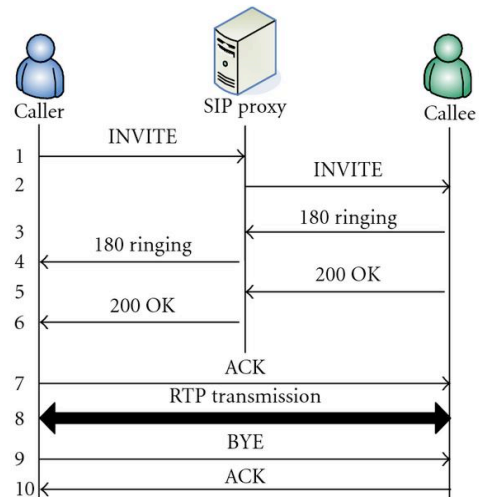
VoIP memiliki banyak keuntungan, salah satu yang utama adalah biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan *fixed line*. Dengan VoIP, komunikasi tidak dipengaruhi oleh besarnya jarak yang ada, sehingga komunikasi untuk jarak bersebelahan maupun beda negara akan memakan biaya yang sama. Selain itu, untuk membangun

jaringan VoIP dapat menggunakan infrastruktur yang sudah ada sehingga biayanya minim. Akan tetapi di lain sisi VoIP juga memiliki kelemahan. Kualitas suara yang dihasilkan VoIP tidak akan sejernih dan sejelas *fixed line* dan juga ada *delay* yang timbul [11].

D. *Session Initiation Protocol (SIP)*

Session Initiation Protocol (SIP) adalah sebuah protokol *signalling* pada *layer* aplikasi yang berfungsi untuk membuat, memodifikasi, dan mengakhiri suatu sesi multimedia yang melibatkan satu atau beberapa pengguna. Sesi multimedia ini meliputi pertukaran data antar pengguna yang dapat berupa suara, video maupun data [10]. Sesi VoIP dengan SIP dapat dilihat dari Gambar 2 di bawah ini.

SIP merupakan *signalling protocol*, bukan *media transfer protocol* sehingga SIP tidak membawa paket data. Dalam implementasi VoIP berbasis protokol SIP, *media transfer protocol* yang digunakan adalah RTP (*Real Time Protocol*).



Gambar 2 Sesi VoIP via SIP signalling

E. *OpenWrt*

OpenWrt adalah sebuah sistem operasi (*firmware*) *open source* berbasis Linux yang dapat ditanam (*embedded system*) pada perangkat radio *wireless*. *Firmware* ini memiliki lisensi *General Public License (GPL)*. Hal ini mengakibatkan sistem *OpenWrt* bersifat *open source* sehingga pengguna dapat mengganti *firmware* asli yang ada dengan *OpenWrt*.

Dengan menggunakan *firmware* *OpenWrt*, fungsi *router* tidak hanya terbatas pada fungsi dasar *router* itu sendiri tetapi fungsinya dapat dikembangkan secara luas.

F. *Standar Quality of Service (QoS) ITU-T untuk VoIP*

Menurut ITU-T E.800, *Quality of Service (QoS)* adalah performansi yang menunjukkan derajat kepuasan pengguna terhadap *service* yang diberikan

jaringan berdasarkan parameter [9]. Parameter yang akan digunakan adalah *delay*, *packet loss* dan *Mean Opinion Score* (MOS).

Delay adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data dari sumber (pengirim) ke tujuan (penerima). Besarnya *delay* maksimum yang direkomendasikan ITU-T adalah 150 ms, sedangkan *delay maksimum* dengan kualitas suara yang masih dapat diterima pengguna adalah 400 ms [5].

Packet loss terjadi ketika terjadi *peak load* dan *congestion* (kemacetan transmisi paket akibat padatnya trafik yang harus dilayani) dalam batas waktu tertentu, sehingga ada *frame* yang dibuang. Probabilitas jumlah paket yang hilang saat transmisi disebut dengan *Packet Loss Ratio* (PLR) [2]. Berdasarkan ITU-T G.1010, untuk VoIP, besar PLR yang baik adalah lebih kecil (<) dari 3% untuk total jumlah paket [5].

Skala Absolut	Quality	Keterangan
5	<i>Excellent</i>	Sangat jelas dan sangat jernih
4	<i>Good</i>	Jelas dan jernih
3	<i>Fair</i>	Cukup jelas dan cukup jernih
2	<i>Poor</i>	Tidak jelas dan tidak jernih
1	<i>Bad</i>	Sangat tidak jelas dan sangat tidak jernih

Tabel 1 Skala absolut pada metode MOS [4]

Mean Opinion Score (MOS) merupakan sebuah metode dalam mengukur kualitas suara secara subjektif berdasarkan deskripsi kualitatif dari suara yang didengar. Terminologi MOS merupakan hasil rekomendasi dari ITU-T P.800 [4]. Teknisnya, beberapa orang diminta untuk melakukan percakapan melalui jaringan VoIP *ad hoc* dan kemudian memberikan umpan balik berupa nilai dari rentang 1 sampai 5 mengenai kualitas suara percakapan yang telah dilakukan. Seluruh hasil umpan balik kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk menjadi nilai MOS. Kriteria penilaian yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

III. Metodologi

A. Pembangunan Jaringan VoIP Ad Hoc

Dalam melakukan pembangunan jaringan VoIP *ad hoc*, perlu dilakukan beberapa langkah berikut:

1. Mengubah *firmware* dasar *router* dengan *firmware* OpenWrt
2. Melakukan pemasangan aplikasi pada OpenWrt
3. Melakukan proses *exroot* untuk memperbesar kapasitas memori *router*
4. Melakukan instalasi asterisk dan OLSR

5. Melakukan konfigurasi jaringan *wireless ad hoc* untuk VoIP (*network, wireless, firewall, OLSRD, sip, extension*)
6. Melakukan pemeriksaan konektivitas jaringan *ad hoc* untuk memastikan jaringan sudah berfungsi dengan baik
7. Melakukan instalasi aplikasi VoIP pada *softphone* Android yang akan berfungsi sebagai *client*

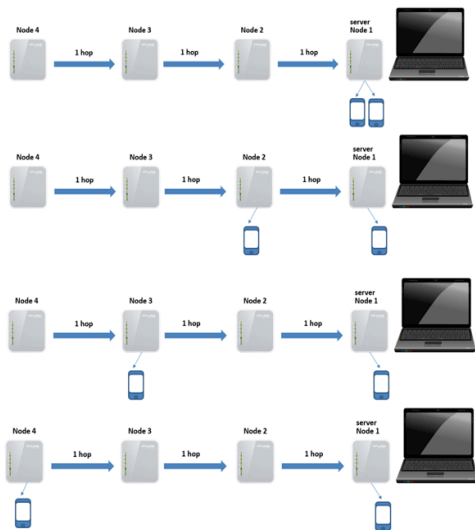
B. Skenario Pengujian Jaringan VoIP Ad Hoc

B.1 Pengujian Packet Loss dan Delay yang Terjadi Selama Koneksi Tersambung

Dalam komunikasi VoIP, suara yang ada diubah ke dalam bentuk paket-paket yang kemudian disalurkan melalui jaringan IP. Hal ini yang dapat menyebabkan timbulnya *delay* dan adanya *packet loss*. Pada percobaan ini, *delay* dan *packet loss* yang terjadi selama koneksi tersambung akan dipantau dengan menggunakan aplikasi Wireshark.

Saat menggunakan aplikasi Wireshark, dalam salah satu percakapan, salah satu *client* harus menggunakan komputer agar aplikasi tersebut dapat membaca aktivitas dari sambungan yang dilakukan. *Client* yang digunakan bervariasi yaitu 2, 4 dan 6 orang. Percobaan ini akan dilakukan dalam 2 kategori: pertama menguji pengaruh banyaknya *node* dan *hop* terhadap *delay* dan *packet loss*, dan kedua menguji pengaruh banyaknya *client* terhadap *delay* dan *packet loss*. Pada percobaan pertama, jumlah *router* yang digunakan adalah 4 buah dan pada percobaan kedua jumlah *router* yang digunakan adalah 1 buah.

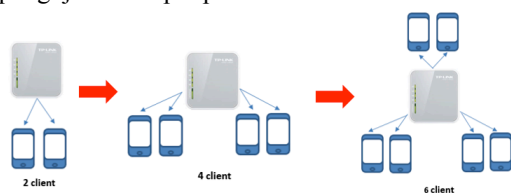
Pada percobaan pertama, 2 *client* akan disambungkan ke *node* yang sama. Setelah itu langkah selanjutnya adalah melakukan panggilan dari satu *client* ke *client* lain dan kemudian merekamnya dengan menggunakan pilihan yang sudah tersedia pada aplikasi Wireshark. Dari situ bisa dilihat proses *signalling* yang terjadi dan juga besar *delay* dan *packet loss* yang dihasilkan selama percakapan berlangsung.



Gambar 3 Ilustrasi pengujian pengaruh jumlah *node* dan *hop* terhadap *packet loss* dan *delay*

Apabila hasil telah didapatkan, langkah-langkah di atas akan diulang namun *node* yang tersambung antara 1 *client* dengan *client* lainnya akan diubah-ubah (tidak tersambung ke 1 *node* saja). Hal ini ditujukan untuk dapat melihat pengaruh dari banyaknya *node* dan *hop* terhadap besarnya *delay* dan *packet loss* yang dihasilkan. Ilustrasi pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada percobaan kedua, sama seperti pada percobaan pertama, 2 *client* akan disambungkan ke *node* yang sama dan *client* yang satu akan melakukan panggilan ke *client* lainnya. Percakapan ini juga akan direkam dan sekali lagi dipantau besar *delay* dan *packet loss* yang dihasilkan. Percobaan akan diulang untuk jumlah 4 *client* (2 percakapan) dan 6 *client* (3 percakapan). Hal ini ditujukan untuk dapat melihat pengaruh dari banyaknya *client* terhadap besarnya *delay* dan *packet loss* yang dihasilkan. Ilustrasi pengujian terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi pengujian pengaruh jumlah *client* terhadap *packet loss* dan *delay*

B.2 Pengujian Nilai Kepuasan *Client* terhadap Kualitas Jaringan

Nilai kepuasan *client* terhadap kualitas jaringan VoIP *ad hoc* akan diambil dengan cara meminta 50 *client* secara acak untuk melakukan percakapan melalui jaringan. Setelah itu, masing-masing *client* akan diminta untuk memberikan

umpan balik berupa nilai kualitas suara yang dihasilkan dari skala 1 (*bad*) sampai 5 (*excellent*).

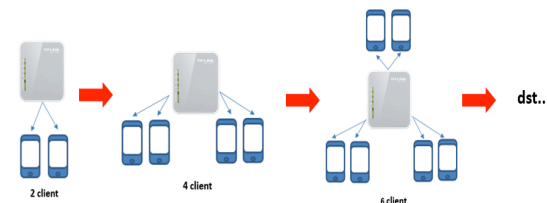
Pengujian nilai kepuasan ini akan dibagi menjadi 2 kategori: dalam ruangan dan luar ruangan. *Router* yang digunakan berjumlah satu buah, dan setiap percakapan akan membutuhkan 2 *client*. *Client* yang pertama akan selalu tetap (penulis) dan *client* kedua adalah orang yang akan melakukan penilaian kualitas jaringan.

Masing-masing *client* akan memberikan nilai dan dari penilaian tersebut, semua hasilnya akan dihitung nilai rata-ratanya. Hasil tersebut akan menjadi nilai kualitatif kepuasan *client* terhadap kualitas jaringan VoIP *ad hoc* atau disebut dengan *Mean Opinion Score* (MOS).

B.3 Pengujian Jumlah Maksimum *Client* yang Dapat Dilayani

Pada pengujian ini, jumlah *client* maksimum yang dapat melakukan percakapan melalui jaringan VoIP *ad hoc* akan dihitung. *Router* yang digunakan hanya 1 buah dan jarak *client* ke *router* tidak akan diperhitungkan. Posisi *client* semuanya akan berada di sekitar *router* (≤ 5 meter).

Langkah awal yang dilakukan adalah seperti biasa 2 *client* akan melakukan percakapan melalui *softphone* masing-masing yang tersambung ke jaringan VoIP *ad hoc*. Sementara kedua *client* tersebut tengah berada dalam percakapan, 2 *client* lain juga akan menambahkan panggilan dan melakukan percakapan. Jumlah *client* akan terus ditambahkan hingga *client* tidak dapat menambahkan jumlah panggilan lagi, ataupun jika *client* dapat melakukan penambahan panggilan, suaranya sudah tidak dapat terdengar dengan baik. Apabila hal tersebut terjadi, maka artinya jumlah panggilan sudah melebihi batas maksimum yang dapat ditangani *router*. Panggilan terakhir yang masih dapat terdengar dengan baik akan dicatat sebagai jumlah maksimum *client* yang dapat dilayani. Selain itu, panggilan tersebut juga akan diamati seberapa besar *delay* dan *packet loss* yang terjadi dengan aplikasi Wireshark. Ilustrasi pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Jumlah *client* akan terus ditambah hingga batas maksimal *router*

B.4 Pengujian Jarak *Coverage* Maksimum *Router*

Pengujian jarak *coverage* maksimum *router* dilakukan di 2 tempat: luar ruangan dan dalam ruangan. *Router* yang digunakan hanya 1 buah dan terdapat 2 *client* yang tersambung ke jaringan. Satu

client akan menggunakan komputer/laptop untuk memungkinkan dipantaunya parameter-parameter VoIP menggunakan aplikasi WireShark dan letaknya akan diam dan tetap berada di sebelah router (client 1), sedangkan client lainnya akan menggunakan softphone Android dan akan bergerak menjauh dari router (client 2). Jarak diukur dari letak router sampai letak client 2 dari jarak 5 meter hingga jarak maksimal seperti ilustrasi pada Gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi pengujian jarak coverage maksimum router

Jarak terjauh yang diambil adalah jarak ketika client masih dapat tersambung dengan koneksi jaringan VoIP ad hoc dan masih dapat melakukan percakapan dengan jelas. Selain itu, parameter-parameter yang ada seperti besar delay dan adanya packet loss yang terjadi juga harus memenuhi persyaratan dari ITU-T.

IV. Hasil dan Pembahasan

A. Evaluasi Pengujian Delay dan Packet Loss yang Terjadi Selama Koneksi Tersambung

Pada percobaan ini, didapatkan hasil untuk 2 kategori pengujian yaitu pengujian pengaruh banyaknya node dan hop terhadap delay dan packet loss, dan pengujian pengaruh banyaknya client terhadap delay dan packet loss.

Kedua pengujian ini dilakukan di dalam ruangan tertutup dan setiap sambungannya dipantau dengan menggunakan aplikasi Wireshark.

A.1 Evaluasi Pengaruh Banyaknya Node dan Hop terhadap Packet Loss dan Delay

Percobaan ini dilakukan di depan ruang laboratorium ELKOM Atma Jaya. Setiap router diletakkan sedemikian rupa sehingga membentuk suatu jalur hop yang lurus dari node yang ada.

Tabel 2 Pengaruh jumlah node terhadap besar packet loss dan delay

Jumlah Node	No.	Packet Loss	Delay RTP	Delay SIP	Total Delay
1	1	0%	0.0040	0.0333	0.0373
	2	0%	0.0006	0.0245	0.0251
	3	0%	0.0017	0.0278	0.0295
Rata-rata		0%			0.0306

2	1	4.88%	0.0154	0.0299	0.0453
	2	6.09%	0.0099	0.0325	0.0424
	3	5.34%	0.0068	0.0388	0.0456
Rata-rata		5.44%			0.0444

3	1	8.46%	0.0545	0.0502	0.1047
	2	8.07%	0.0725	0.0486	0.1211
	3	7.33%	0.0628	0.0432	0.1059
Rata-rata		7.95%			0.1106

4	1	21.61%	0.3493	0.0366	0.3859
	2	24.36%	0.3781	0.0304	0.4085
	3	22.18%	0.3057	0.0459	0.3516
Rata-rata		22.72%			0.3820

Sesuai dengan standar ITU-T, besar packet loss yang masih diperbolehkan untuk VoIP adalah kurang dari 3%. Akan tetapi, dari data Tabel 2 terlihat bahwa kondisi ini hanya terpenuhi pada saat jumlah node berjumlah 1 buah, yaitu saat kedua client yang melakukan percakapan tersambung ke router yang sama.

Perihal delay, standar ITU-T menyatakan delay yang baik adalah kurang dari 150 ms, sedangkan delay maksimal yang masih dapat ditolerir adalah 400 ms. Pada percobaan ini, hasil delay yang didapatkan untuk 1,2 dan 3 node adalah kurang dari 150 ms sehingga dapat dikatakan hasilnya sangat baik. Sedangkan untuk jumlah 4 node, besar nilai delay hampir menyentuh angka 400 ms. Meskipun demikian, delay ini masih dapat ditolerir.

Dari sisi subjektif, saat jumlah node berjumlah 1,2 dan 3 node, kualitas suaranya masih cukup baik dan jelas. Akan tetapi ketika jumlah node sudah berjumlah 4, suara yang terdengar sudah putus-putus. Dari data percobaan dan perspektif yang ada, dapat disimpulkan bahwa peranan packet loss dalam percobaan ini lebih dominan dibandingkan dengan peranan delay.

A.2 Evaluasi Pengaruh Banyaknya Client terhadap Packet Loss dan Delay

Percobaan ini dilakukan di dalam ruangan laboratorium Telekomunikasi Atma Jaya. Hasil dari percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengaruh jumlah client terhadap besar packet loss dan delay

Jumlah Client	No.	Packet Loss	Delay RTP	Delay SIP	Total Delay
2	1	0%	0.0007	0.0303	0.0310
	2	0%	0.0018	0.0284	0.0302
	3	0%	0.0002	0.0294	0.0296
Rata-rata		0%			0.0303

4	1	2.93%	0.0654	0.0298	0.0952
	2	3.72%	0.0641	0.0341	0.0982
	3	2.86%	0.0719	0.0389	0.1108
Rata-rata		3.17%			0.1014

6	1	4.86%	0.2781	0.0482	0.3263
	2	5.17%	0.3695	0.0308	0.4003
	3	5.85%	0.3435	0.0396	0.3831
Rata-rata		5.29%			0.3699

Saat jumlah *client* yang terhubung hanya 2 *client* atau artinya hanya 1 sambungan, *packet loss* bernilai 0%. Akan tetapi ketika ditambahkan satu sambungan lagi, nilai *packet loss* menjadi 3.17%. Artinya saat sambungan berjumlah 2 atau lebih, kondisinya sudah tidak memenuhi standar dari ITU-T.

Di lain sisi, *delay* untuk jumlah 1 dan 2 sambungan masih memenuhi standar *delay* yang baik untuk VoIP yaitu di bawah 150 ms. Akan tetapi, kualitas percakapan ketika sambungan yang ada ditambahkan menjadi 3 sambungan menurun, hingga *delay* menjadi 369.9 ms. Meskipun demikian, besar *delay* ini masih dapat ditolerir.

Dari sisi subjektif, untuk setiap percobaan yang dilakukan dengan 2,4 dan 6 *client*, kualitas suara yang dihasilkan dirasakan cukup jelas dan nyaman untuk digunakan.

B. Evaluasi Pengujian Nilai Kepuasan Client terhadap Kualitas Jaringan

Pada percobaan ini didapatkan hasil pengujian nilai kepuasan *client* atau *Mean Opinion Score* (MOS) dari kualitas jaringan VoIP *ad hoc*. Pengujian dikategorikan menjadi 2 yaitu dalam ruangan dan luar ruangan. Tempat percobaan berada di sekitar lingkungan Atma Jaya seperti di lapangan parkir, ruang laboratorium, dan ruang kelas. Pada masing-masing kategori didapatkan hasil penilaian dari 25 *client* sebagai berikut.

B.1 Pengujian Dalam Ruangan (Indoor)

Tabel 4 Hasil survei MOS indoor

Nilai	Jumlah
5	12 orang
4	9 orang
3	4 orang
2	-
1	-
Rata-rata	4.32

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan, didapatkan rata-rata hasil penilaian kualitatif untuk kualitas jaringan dalam ruangan seperti yang tertera pada Tabel 4. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa

mayoritas mengatakan bahwa kualitas dari jaringan sangat baik yaitu 4.32 dari total nilai 5. Dengan demikian dapat disimpulkan kualitas suara yang dihasilkan jaringan ini di dalam ruangan sangat baik.

B.2 Pengujian Luar Ruangan (Outdoor)

Pada pengujian luar ruangan yang dilakukan, didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel 5. Pengujian kualitas jaringan pada luar ruangan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pengukuran di dalam ruangan. Angka tersebut mencapai 4.44 dari total 5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kualitas suara yang dihasilkan jaringan ini juga sangat baik.

Tabel 5 Hasil survei MOS outdoor

Nilai	Jumlah
5	12 orang
4	12 orang
3	1 orang
2	-
1	-
Rata-rata	4.44

C. Evaluasi Pengujian Jumlah Maksimum Client yang dapat Dilayani

Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan laboratorium Telekomunikasi Atma Jaya. Dari pengujian ini didapatkan hasil jumlah maksimum *client* yang dapat dilayani oleh satu *router* MR3020.

Adapun sambungan total yang masih dapat dilayani *router* berjumlah 9 sambungan (18 *client*) dan *client* terakhir yang tersambung ke jaringan dipantau menggunakan Wireshark. Hasil pemantauan dengan Wireshark tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Besar *packet loss* dan *delay* terhadap 18 *client*

Jumlah Client	No.	Packet Loss	Delay RTP	Delay SIP	Total Delay
18 orang	1	16.56%	0.5992	1.6600	2.2592
	2	19.05%	0.6189	1.6636	2.2825
	3	17.82%	0.6001	1.6458	2.2459
Rata-rata		17.81%			2.2625

Dari Tabel 6, terlihat bahwa besar *packet loss* dan *delay* yang terjadi sangat besar dan sudah tidak memenuhi standar dari ITU-T. Meskipun demikian, suara masih dapat terdengar meskipun terkadang kurang jelas. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *router* masih dapat melayani sampai dengan 9 sambungan secara bersama-sama, idealnya, *router* ini hanya dapat melayani kurang dari 9 panggilan.

D. Evaluasi Pengujian Jarak Coverage Maksimum Router

Pada percobaan ini, pengujian juga dilakukan di dalam ruangan dan di luar ruangan. Pengujian

dilakukan setiap jarak 5 meter hingga jarak maksimum yang masih dapat dijangkau oleh sinyal *router* tersebut. Berikut ini akan dibahas satu persatu hasil percobaan tersebut.

D.1 Pengujian Dalam Ruangan (Indoor)

Pengujian ini dilakukan di depan ruang laboratorium ELKOM Atma Jaya. *Router* yang digunakan hanya satu dan letaknya di dalam ruang laboratorium Elektronika bersama dengan *client* 1, sedangkan *client* 2 akan bergerak menjauh setiap jarak 5 meter.

Dari Tabel 7, dapat dikatakan bahwa besar *packet loss* yang terjadi pada jarak 5 sampai dengan 20 m sangat kecil. Akan tetapi, ketika memasuki jarak 25 m, *packet loss* naik hingga 3,51%. Hal ini sudah tidak memenuhi kondisi ideal menurut standar ITU-T.

Tabel 7 Pengaruh jarak terhadap besar *delay* dan *packet loss* (indoor)

Jarak	No.	Packet Loss	Delay RTP	Delay SIP	Total Delay
5 meter	1	0%	0.0007	0.0303	0.0310
	2	0%	0.0012	0.0345	0.0357
	3	0%	0.0010	0.0298	0.0308
Rata-rata		0%			0.0325
10 meter	1	0.13%	0.0087	0.0379	0.0466
	2	0%	0.0099	0.0384	0.0483
	3	0%	0.0075	0.0403	0.0478
Rata-rata		0.04%			0.0476
15 meter	1	0.42%	0.0069	0.0493	0.0562
	2	0.13%	0.0072	0.0556	0.0628
	3	0.38%	0.0082	0.0503	0.0585
Rata-rata		0.31%			0.0592
20 meter	1	0.52%	0.0040	0.0432	0.0472
	2	0.64%	0.0082	0.0468	0.0550
	3	0.35%	0.0063	0.0439	0.0502
Rata-rata		0.50%			0.0508
25 meter	1	3.01%	0.0358	0.0471	0.0829
	2	3.31%	0.0364	0.0386	0.0750
	3	4.21%	0.0375	0.0401	0.0776
Rata-rata		3.51%			0.0785
30 meter	1	11.65%	0.1452	0.0491	0.1943
	2	11.02%	0.1983	0.0457	0.2440
	3	10.83%	0.1394	0.0482	0.1876
Rata-rata		11.17%			0.2086
35 meter	1	11.04%	0.3727	0.0385	0.4112
	2	11.16%	0.3629	0.0459	0.4088
	3	10.98%	0.3758	0.0466	0.4224
Rata-rata		11.06%			0.4141
40 meter	1	29.64%	0.6048	0.5498	1.1546
	2	27.54%	0.5896	0.5674	1.1570
	3	30.87%	0.5992	0.5661	1.1653
Rata-rata		29.35%			1.1590

Sedangkan untuk *delay*, jarak maksimal idealnya adalah 25 meter, dengan besar total *delay* hanya 78,5 ms. Untuk jarak 30 meter, besar *delay* yang dihasilkan juga masih dapat ditolerir, yaitu 208,6 ms. Akan tetapi ketika jarak sudah di atas 30 meter, *delay* yang terjadi sudah dapat diterima lagi.

Dari sisi subjektif, suara yang dihasilkan pada percobaan ini masih terdengar dengan baik dan jelas hingga jarak 35 meter.

D.2 Pengujian Luar Ruangan (Outdoor)

Pengujian luar ruangan berlokasi di perumahan Palembang Indah, Pondok Kelapa. *Router* yang digunakan juga berjumlah satu buah dan diletakkan bersama dengan *client* 1, sedangkan *client* 2 akan bergerak menjauh setiap jarak 5 meter.

Tabel 8 Pengaruh jarak terhadap besar *delay* dan *packet loss* (outdoor)

Jarak	No.	Packet Loss	Delay RTP	Delay SIP	Total Delay
5 meter	1	0%	0.0040	0.0333	0.0373
	2	0%	0.0048	0.0348	0.0396
	3	0%	0.0028	0.0298	0.0326
Rata-rata		0%			0.0365
10 meter	1	0%	0.0405	0.0334	0.0739
	2	0%	0.0428	0.0339	0.0767
	3	0.13%	0.0398	0.0294	0.0692
Rata-rata		0.04%			0.0733
15 meter	1	0%	0.0528	0.0501	0.1029
	2	0.21%	0.0547	0.0499	0.1046
	3	0.13%	0.0498	0.0487	0.0985
Rata-rata		0.11%			0.1020
20 meter	1	0.13%	0.0558	0.0481	0.1039
	2	0.13%	0.0589	0.0476	0.1045
	3	0.25%	0.0601	0.0502	0.1103
Rata-rata		0.17%			0.1062
25 meter	1	0.42%	0.2681	0.0305	0.2986
	2	0%	0.2588	0.0337	0.2925
	3	0.27%	0.2596	0.0388	0.2984
Rata-rata		0.23%			0.2965
30 meter	1	1.98%	0.1100	0.1602	0.2702
	2	2.05%	0.0996	0.1485	0.2481
	3	2.49%	0.1068	0.1533	0.2601
Rata-rata		2.17%			0.2595
35 meter	1	3.46%	0.0789	9.5920	9.6709
	2	3.01%	0.0884	9.5829	9.6713
	3	4.89%	0.0702	9.5672	9.6374
Rata-rata		3.79%			9.6599
40 meter	1	8.96%	0.1101	9.5354	9.6455
	2	7.97%	0.1145	9.5461	9.6607
	3	5.64%	0.1214	9.5501	9.6715
Rata-rata		7.52%			9.6592
45 meter	1	10.86%	0.1385	9.6812	9.8197
	2	9.67%	0.1298	9.6901	9.8199
	3	9.53%	0.1406	9.7207	9.8613
Rata-rata		10.02%			9.8336
50 meter	1	10.34%	0.2300	9.5912	9.8212
	2	11.21%	0.3410	9.6175	9.9585
	3	11.63%	0.2942	9.6871	9.9813
Rata-rata		11.06%			9.9203
55 meter	1	18.97%	0.5981	9.6871	10.2852
	2	20.19%	0.6067	9.6016	10.2083
	3	19.53%	0.6354	9.6548	10.2902
Rata-rata		19.56%			10.2612
60 meter	1	30.28%	0.7154	9.7844	10.4998
	2	27.20%	0.8415	9.6587	10.5002
	3	28.09%	0.6774	9.5939	10.2713
Rata-rata		28.52%			10.4238

Dari data pada Tabel 8, besar *packet loss* yang dihasilkan masih memenuhi standar ITU-T hingga dengan jarak 30 meter, yaitu 2,17%. Untuk jarak melebihi 30 meter, nilainya sudah tidak dapat ditolerir lagi.

Di sisi lain, besar *delay* ideal yang terjadi hanya sampai 20 meter saja. Akan tetapi, besar *delay* untuk jarak 25 dan 30 meter masih dapat ditolerir.

Dari sisi subjektif, suara yang terdengar saat percobaan masih baik dan jelas hingga jarak jangkauan 50 meter. Namun, mulai dari jarak 35 meter, *delay* sip yang terjadi dirasakan cukup mengganggu. Diperlukan kurang lebih waktu 9 detik dari saat tombol telepon ditekan hingga muncul nada *dialing*. Dari sini dapat diketahui, faktor *delay* lebih dominan dibandingkan dengan faktor *packet loss*.

E. Keadaan yang Mempengaruhi Hasil Percobaan

Kondisi lingkungan tempat percobaan berlangsung akan sangat berpengaruh terhadap hasil percobaan. Sebagai contoh, percobaan pada lapangan bola dengan percobaan pada halaman parkir sebuah gedung akan menghasilkan hasil yang berbeda. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, meskipun keduanya sama-sama dapat dikategorikan sebagai luar ruangan (*outdoor*).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil percobaan di dalam maupun luar ruangan antara lain:

1. Adanya interferensi frekuensi dari perangkat wireless lain di sekitar router yang digunakan
2. Bangunan dan benda-benda yang berada di sekitar lokasi

V. Kesimpulan

Dari percobaan dan analisis yang telah dilakukan untuk menguji kinerja dari jaringan VoIP *ad hoc*, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Banyaknya jumlah *node* dan *hop* akan sangat berpengaruh terhadap *packet loss* dan *delay* yang dihasilkan. Semakin banyak *node* dan *hop*, maka besar *packet loss* dan *delay* juga akan semakin bertambah.
2. Banyaknya *client* akan mempengaruhi besar *packet loss* dan *delay* yang dihasilkan. Semakin banyak *client* yang terhubung ke *router*, maka *packet loss* dan *delay* yang ada juga akan bertambah.
3. Kualitas suara secara subjektif dari jaringan VoIP *ad hoc* dapat dikategorikan sangat baik (rata-rata nilai MOS di atas angka 4), baik itu untuk di dalam maupun di luar ruangan.
4. Jumlah maksimum *client* yang dapat dilayani oleh satu buah *router* MR3020 adalah sejumlah 18 *client* (9 sambungan). Meskipun demikian, kualitas suara yang dihasilkan sudah cukup menurun.
5. Jarak *coverage router* MR3020 dalam ruangan yang masih memenuhi standar ITU-T untuk *packet loss* adalah sejauh 20 meter. Sedangkan untuk *delay*, jarak jangkauan yang masih memenuhi persyaratan adalah sejauh 30 meter. Dari sisi subjektif, jarak untuk kualitas suara

yang dirasakan masih baik adalah hingga jarak 35 meter.

6. Jarak *coverage router* MR3020 luar ruangan yang masih memenuhi standar ITU-T untuk *packet loss* dan *delay* adalah sejauh 30 meter. Akan tetapi, dari sisi subjektif, kualitas suara hingga jarak 50 meter masih dirasakan cukup baik.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alsahlany, A. M. June 2014. Performance Analysis of VoIP Traffic over Integrating Wireless LAN And WAN Using Different Codecs. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, 6(3): 79-89.
- [2] Anurag, Kumar et.al. 2008. *Wireless Networking*. USA: Morgan Kaufmann.
- [3] Hong, Xiaoya et al. 2002. *Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks*. University of California: tidak diterbitkan.
- [4] ITU-T. 1996. *Recommendation P.800 – Telephone Transmission Quality*, (<https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>, diakses 29 Maret 2016).
- [5] ITU-T Study Group 12. 2001. *Recommendation G.1010 - End User Multimedia QoS Categories*, (<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010-200111-I/en>, diakses tanggal 13 Maret 2013).
- [6] Jalendry, S. and Verma, S. May 2015. A Detail Review on Voice over Internet Protocol (VoIP). *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 23(4): 161-166.
- [7] Lembaga Pengelola Dana Pendidikan. 2015. *Daftar Daerah Tertinggal, Terdepan dan Terluar (Perbatasan) Tahun 2015*, (<http://www.lpd-p.kemenkeu.go.id/wp-content/uploads/2015/07/Daftar-Daerah-3T-2015.pdf>, diakses 21 Maret 2016).
- [8] Rashmi. 2013. Improved OLSR Protocol in MANET. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, p. 174-178.
- [9] Sharma, A., Varshney, M., Singh, N. K. and Shekhar, J. 2011. Performance Evaluation of VoIP: QoS Parameters. *VSRD International Journal of Computer Science & Information Technology*, 1(4): 210-221.
- [10] Sinnreich, H. and Johnston, A. B. 2001. *Internet Communication Using SIP: Delivering VoIP and Multimedia Services with Session Initiation Protocol*. New York: John Wiley & Sons.
- [11] Tharom, Trabatas. 2002. *Teknik dan Bisnis VoIP*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [12] Wahidin. 2008. *Jaringan Wireless untuk Orang Awam*. Jakarta: Maxicom.