

**ANALISIS KINERJA VOICE OVER INTERNET PROTOCOL PADA
MOBILE AD-HOC NETWORK
(STUDI KASUS: PROTOCOL OPTIMAZED LINK STATE ROUTING)**

Tofan Teguh Perkasa S.⁽¹⁾
samueltofan@yahoo.com

Gani Indriyanta⁽²⁾
ganind@ukdw.ac.id

Nugroho Agus Haryono⁽³⁾
cnuq@ukdw.ac.id

Abstraksi

Voice over Internet Protokol (VoIP) pada jaringan nirkabel umumnya menggunakan mekanisme single-hop dalam melakukan komunikasi antara pengirim (source) dengan penerima (destination), atau dengan kata lain seluruh komunikasi berpusat di satu titik access point..

Dalam penelitian ini dibahas mengenai pengujian kinerja teknologi VoIP yang diimplementasikan pada MANET yang menggunakan mekanisme Multi-Hop Communication, dengan mengamati beberapa parameter yaitu one way delay, jitter, packet loss, dan Mean Opinion Score. Selain itu akan diuji juga mengenai throughput untuk membuktikan konsistensi dari spek teoritis dari MANET.

Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa VoIP layak dan berhasil dilewatkan pada MANET. Hal ini dapat dilihat dari nilai one way delay, jitter, dan packet loss masih berada pada rentang yang direkomendasikan oleh ITU-T. Nilai MOS yang diperoleh juga menunjukan bahwa user cukup puas pada saat melakukan panggilan VoIP pada pengujian ini.

Kata Kunci: VoIP, MANET, MOS.

1. Pendahuluan

Sekarang ini teknologi komunikasi data yang lebih dikenal sebagai *packet switching* semakin berkembang dari tahun ke tahun. *Voice over Internet Protokol (VoIP)* merupakan salah satu teknologi yang mampu melewati trafik suara, video, dan data yang berbentuk paket melalui jaringan IP. Jaringan IP sendiri merupakan jaringan komunikasi data yang berbasis *packet switch*.

Jaringan nirkabel (*Wireless*) merupakan salah satu teknologi komunikasi data yang berbasis *packet switching* yang merupakan pengembangan dari Ethernet LAN (*Local Area Network*) yang memanfaatkan RF (*Radio Frequencies*) untuk berkomunikasi antar

¹ Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Duta Wacana

² Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi Univeristas Kristen Duta Wacana

³ Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Duta Wacana

komputer. Saat ini hampir semua teknologi *wired* telah dapat digantikan oleh teknologi *wireless*, salah satunya adalah VoIP. VoIP pada jaringan nirkabel saat ini cenderung menggunakan mekanisme *Single-Hop* dalam melakukan komunikasi antara pengirim (*source*) dengan penerima (*destination*), atau dapat dikatakan bahwa seluruh komunikasi berpusat di satu titik *access point*. Mekanisme semacam ini menyebabkan *delay* yang besar pada saat diimplementasikan pada komunikasi VoIP, terjadinya *delay* dapat menyebabkan *jitter* dan *packet loss* pada saat terjadi kemacetan transmisi paket akibat padatnya *traffic* yang harus dilayani.

Untuk itu sekarang ini muncul suatu teknologi *wireless* yang disebut dengan MANET (*Mobile Ad Hoc Network*) yang merupakan salah satu teknologi jaringan nirkabel yang terdiri dari node-node yang bisa saling berkomunikasi secara langsung dengan node tetangganya jika berada pada jangkauan komunikasi satu dengan yang lain tanpa memerlukan adanya suatu administrasi terpusat (*access point*). MANET merupakan jaringan *Ad-hoc* nirkabel dengan prinsip *multi-hop communication* dimana komunikasi antar node dilakukan dengan cara memanfaatkan node lain sebagai *relay* apabila node tujuan komunikasi berada diluar jangkauan komunikasi langsung.

1.1. Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang diambil dari penelitian ini adalah :

- a. Bagaimanakah tingkat kualitas layanan VoIP yang diimplementasikan pada jaringan MANET, ditinjau dari sisi *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*?
- b. Bagaimanakah tingkat kepuasan *user* saat menggunakan layanan VoIP pada MANET yang ditinjau dari sisi penilaian terhadap *Mean Opinion Score (MOS)*?

1.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah :

- a. Perencanaan dan analisis geografis terhadap jangkauan area MANET pada gedung Agape yang berkaitan dengan letak dari *node backbone* dan studi literatur dari buku-buku atau jurnal ilmiah yang berkaitan dengan teknologi VoIP dan MANET
- b. Perancangan dan Implementasi peralatan- peralatan untuk pengujian VoIP pada MANET yang sesuai dengan topologi hasil analisis geografis pada *node backbone*, dan disertai dengan mengamati kekuatan sinyal dari *node backbone* dengan menggunakan *tool wireless scanning*.
- c. Perancangan dan Implementasi peralatan- peralatan untuk pengujian VoIP pada MANET yang sesuai dengan topologi hasil analisis geografis pada *node backbone*,

dan disertai dengan mengamati kekuatan sinyal dari *node backbone* dengan menggunakan *tool wireless scanning*.

d. Menarik kesimpulan terhadap hasil analisis.

2. Landasan Teori

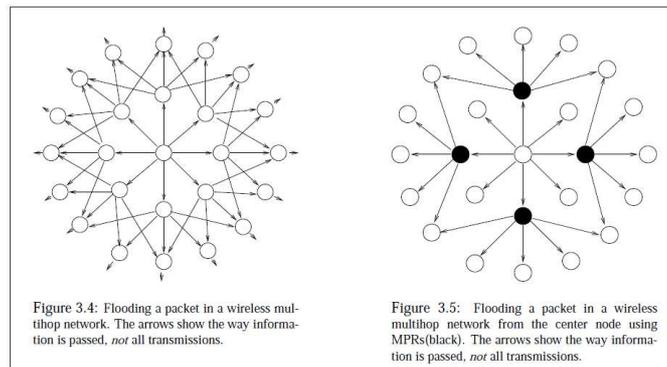
2.1. MANET (*Mobile Ad-hoc Network*)

Salah satu contoh jaringan *multipoint-to-multipoint* yang juga disebut sebagai *Ad-hoc* adalah MANET (*Mobile Ad-hoc Network*). MANET merupakan jaringan *Ad-hoc* nirkabel dengan prinsip *multi-hop communication* dimana komunikasi antar node dilakukan dengan cara memanfaatkan node lain sebagai *relay* apabila node tujuan komunikasi berada diluar jangkauan komunikasi langsung (Tønnesen, 2004). MANET merupakan jaringan *infrastructurless* karena dalam pengoperasiannya tidak diperlukan infrastruktur jaringan tetap seperti base stasiun ataupun AP. Node-node pada MANET bebas melakukan pergerakan secara acak dan bisa mengkonfigurasi dirinya sendiri. Oleh karena itu topologi pada MANET dapat berubah dengan sangat cepat dan tidak dapat diprediksi yang dapat disebut sebagai jaringan yang dinamis (Chlamtac et al., 2003). Lalu lintas data hanya dapat dikirimkan ke tetangga yang berada dalam jangkauan perangkat radio komunikasi nirkabel pada saat menggunakan mode *Ad-hoc*, oleh karena itu dibutuhkan suatu routing protokol pada MANET untuk mengatur dan menjaga jalur lalu lintas data tersebut (Tønnesen, 2004). Sesungguhnya tujuan utama dari algoritma routing pada jaringan *Ad-hoc* adalah dengan benar dan efisien membangun suatu jalur antar node pada jaringan sehingga pesan dapat disampaikan sesuai dengan parameter QoS yang diharapkan. Algoritma routing yang digunakan untuk penelitian ini adalah : ***Proactive routing protocols*** yang merupakan pembaharuan dari protokol-protokol sebelumnya seperti *internet distance-vector* dan *link-state* protocol. Algoritma ini bertujuan untuk menjaga konsistensi informasi routing disetiap node di dalam jaringan dan selalu *ter-update* dengan cara menyebarkan pembaharuan rute secara proaktif dalam interval waktu tetap. Biasanya setiap node menyimpan informasi routing di dalam suatu tabel, sehingga protokol ini biasa dikenal sebagai algoritma *table-driven*. Terdapat beberapa contoh protokol routing yang termasuk dalam algoritma protokol *proactive* salah satunya adalah OLSR.

2.1.1. Routing protocol OLSR

OLSR merupakan pengembangan dari algoritma *link-state* klasik untuk memenuhi persyaratan dari jaringan nirkabel dinamis seperti MANET (Clausen & jacquet, 2003). Sebuah node OLSR yang sedang beroperasi akan secara periodik membroadcast paket “hello” sehingga tetangga dapat mendeteksi keberadaan node tersebut. Setiap node

menghitung berapa jumlah paket “hello” yang hilang atau diterima dari tetangga sehingga mendapatkan informasi tentang topologi dan kualitas sambungan node lingkungan. Informasi topologi yang diterima di *broadcast* sebagai pesan topologi kontrol (TC) dan diteruskan oleh tetangga yang dipilih sebagai *multipoint-relay* (MPR) (Flickenger et al., 2007). MPR merupakan konsep utama yang digunakan dalam protokol OLSR (Clausen & jacquet, 2003). Pada gambar 1 melalui MPR, hanya node yang dipilih saja yang bertugas untuk membanjiri jaringan dengan mengirimkan *broadcast-messages* ke seluruh jaringan.



Gambar 1 perbedaan jaringan *Ad-hoc* tanpa MPR dengan MPR

2.2. VoIP

Voice over Internet Protokol (VoIP) merupakan salah satu teknologi yang mampu melewati trafik suara, video, dan data yang berbentuk paket melalui jaringan IP. Jaringan IP sendiri didesain untuk interkoneksi sistem komunikasi komputer pada jaringan *packet-switched*.

2.2.1 SIP

SIP merupakan pensinyalan kontrol protokol pada lapisan aplikasi yang digunakan untuk membangun, memelihara, dan mengakhiri sesi multimedia (VoIP). Arsitektur SIP terdiri dari dua komponen yang utama yaitu *User agents* dan *network servers*. Untuk *user agent* merupakan komponen SIP yang memulai, menerima, dan menutup sesi komunikasi yang terdiri dari dua komponen yaitu *User Agent Client* (UAC) dan *User Agent Server* (UAS) dan keduanya biasa dikenal sebagai klien dan server. UAC merupakan komponen yang memulai sesi komunikasi dan bertindak sebagai *users calling agent*, UAS merupakan komponen yang menerima atau menanggapi sesi komunikasi dan bertindak sebagai *user-called agent* (Davidson & Peters, 2000). Untuk *network server* juga memiliki dua tipe dalam SIP yaitu *proxy server* dan *redirect server*. *proxy server* merupakan komponen penengah dalam *user agent* dan bertindak sebagai klien dan server yang menerima *request message* dari *user agent* atau dari proxy lainnya dan bertindak untuk kepentingan dari *user agent* dalam mengalihkan atau menanggapi permintaan tersebut. *redirect server* berfungsi sebagai komponen yang menerima *request message* dari *user agent* dan menyampaikan pada

user agent lainnya (Davidson & peters, 2000). Pada SIP untuk pengalamatannya disebut SIP *Universal Resource Locators* (URLs), terdapat dalam bentuk *users @ host* yang serupa dengan susunan pada email. Bagian dari alamat pengguna atau *users* dapat diisi dengan nama pengguna atau alamat telepon, dan pada bagian *host* dapat diisi dengan nama domain ataupun alamat jaringan. Contoh dari pengalamatan pada SIP adalah sebagai berikut ini, sip : ciscopress@cisco.com dan sip : [4085262222@171.171.171.1](sip:4085262222@171.171.171.1) (Davidson & peters, 2000).

2.2.2. Voice codec

Voice coding atau umumnya disebut codec dirancang untuk menentukan bagaimana segmen sinyal suara analog di kodekan kedalam aliran data digital. Salah satu standar *voice coding* yang dikeluarkan oleh ITU-T adalah codec G.711 yang merupakan standar internasional untuk kompresi suara dengan menggunakan teknik *Pulse Code Modulation* (PCM) dalam pengiriman suara. PCM mengkonversikan sinyal analog ke bentuk digital dengan melakukan sampling sinyal analog tersebut 8000 kali/detik dan dikodekan dalam kode angka. Laju transmisi diperoleh dengan mengkalikan 8000 sampel/detik dengan 8 bit/ sampel yang menghasilkan 64.000 bit/detik sehingga *bit rate* codec jenis ini sebesar 64Kbps yang merupakan standar transmisi untuk satu kanal telepon digital (M.Iskandar H,2003).

2.2.3. Metode Pengujian Kinerja VoIP

Secara tidak langsung kinerja pada VoIP mengacu pada tingkat kecepatan dan kehandalan penyampaian berbagai jenis beban data didalam suatu komunikasi baik *voice* maupun video. Parameter-parameter obyektif diatas dapat didefinisikan sebagai berikut :

- a. *Jitter*: variasi kedatangan paket, hal ini terjadi dipenundaan yang dihadapi oleh paket-paket serupa yang melalui rute yang sama dalam jaringan.
- b. *Throughput* : kecepatan transfer data pada setiap paket dalam melalui jaringan.
- c. *Packet-los* : keadaan dimana paket yang dikirimkan hilang saat melalui jaringan.
- d. *Delay*: waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket untuk menempuh perjalanan dari asal ke tujuan.

Dalam teknologi VoIP parameter *delay* disebabkan oleh beberapa komponen *delay*. Pada penelitian ini beberapa komponen *delay* yang dapat dihitung antara lain : *coder delay*, *packetization delay*, *serialization delay*, *processing delay*, dan *network delay* (Ivan & michal, 2007).

Coder delay tergantung dari penggunaan *codec* yang dipilih dan kapasitas *processor* dari sebuah DSP (*Digital Signal Processing*). *Coder delay* adalah waktu yang diperlukan oleh DSP *processor* untuk mengkompres sampel dari PCM (*Pulse Code Modulation*).

$$\text{Coder delay} = \text{frame size} + \text{algorithmic delay}$$

[1]

Tabel 1. Individual delays dari codec yang dipilih

Coder	Type	Rate [kbps]	Packetization period [ms]	Frame size [ms]	Algorithmic delay [ms]	Codec delay [ms]
G.711	PCM	64	20	0,125	0	0,125
G.723.1	MPC-MLQ	5,33	30	30	7,5	37,5
G.723.1	ACELP	6,4	30	30	7,5	37,5
G.726	ADPCM	32	20	10	0	10
G.728	LD-CELP	16	30	0,625	0	0,625
G.729A	CS-ACELP	8	20	10	5	15

Packetization delay merupakan *delay* yang muncul selama proses enkapsulasi blok data menjadi paket-paket, yang sebagai akibat dari proses transmisi pada jaringan. Untuk mencari *packetization delay* ini terlebih dahulu harus diketahui *voice payload* yang dikirimkan. Setiap *codec* memiliki nilai *payload* yang berbeda-beda, untuk *codec* G.711 *voice payload*nya adalah 160 bytes (Ivan & michal, 2007). Rumus untuk perhitungan dari *packetization delay* pada penelitian ini adalah :

$$T_P = \frac{8 \cdot P_S}{C_{BW}}$$

T_P = *packetization delay* (ms)

P_S = *Payload size* (B)

C_{BW} = *Codec bandwidth* (kbit/sec)

Serialization delay merupakan komponen *delay* berikutnya yang tergantung dari besarnya *bandwidth* tranmisi. Setiap paket yang dikirimkan membutuhkan beberapa waktu saat pengirimannya, waktu tersebut tergantung pada tingkat rata-rata medium transmisi dan ukuran paket setiap individu, penundaan ini membawa dampak yang negatif terhadap hasil dari *voice delay* (Ivan & michal, 2007). Rumus untuk perhitungan dari *serialization delay* pada penelitian ini adalah :

$$T_{SER} = \frac{F_S}{L_S}$$

T_{SER} = *Serialization delay* (ms)

F_S = *Frame size* (b)

L_S = *line Speed* (kbit/sec)

Dengan,

$$F_S = H_L + P_S$$

H_L = header dan tail length (IP + UDP + RTP = 40 B) (tabel 2).

P_S = Payload size (160 B)

Tabel 2. header size

Techonology/protocol	Header and tail size (B)
Ethernet	14 B
Frame Relay	4 B
PPP	6B
IP + UDP + RTP	40 B
IP + UDP + cRTP	2 B

Untuk *network delay* didapatkan dengan menggunakan *software* wireshark sebagai *software protokol analyzer* dengan filterisasi dari paket yang digunakan adalah filter untuk paket RTP.

Processing delay merupakan *delay* yang terbentuk akibat dari proses *coding*, *decoding*, kompresi dan dekompresi yang ditentukan oleh *codec* yang digunakan (Ivan & michal, 2007). Rumus untuk perhitungan dari *serialization delay* pada penelitian ini adalah :

$$\text{Processing delay} = \text{compression delay} + \text{decompression delay} + \text{algorithmic delay}$$

$$\text{compression delay} = 3 \times \text{frame size} + \text{look ahead}$$

$$\text{decompression delay} = 10\% \times \text{compression delay}$$

$$\text{algorithmic delay (codec G.711)} = 0$$

Rekomendasi ITU G.114 merekomendasikan standar *delay* bahwa terdapat tiga kualifikasi yang ditunjukkan oleh ITU-T untuk *delay*, yaitu :

Tabel 3 Rekomendasi ITU-T G.114 untuk *delay*

Kisaran Milidetik	Deskripsi
0 – 150	Dapat diterima oleh kebanyakan aplikasi suara.
150 - 400	Dapat diterima tetapi administrator harus mengetahui waktu transmisi dan dampaknya pada kualitas transmisi pengguna aplikasi.
> 400	Tidak dapat diterima untuk tujuan perencanaan umum jaringan.

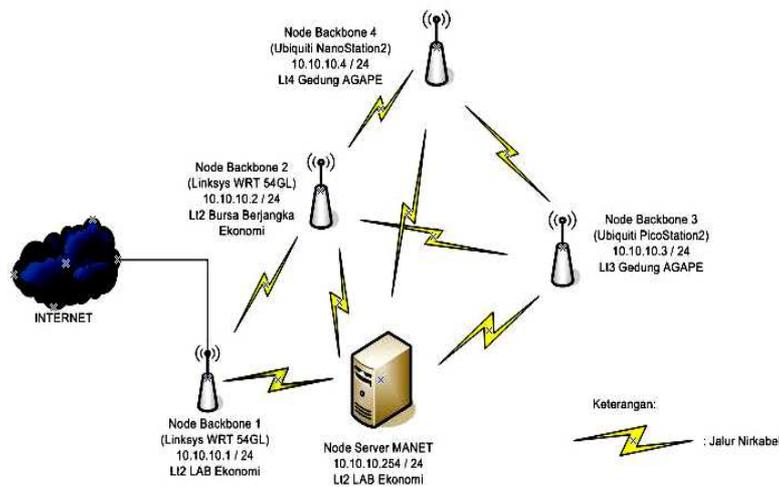
Selain parameter obyektif, untuk menentukan kualitas layanan suara dalam jaringan IP dapat digunakan beberapa parameter subyektif, salah satunya dengan menggunakan metode *Mean Opinion Score* (MOS). Metode ini bersifat subyektif karena didasarkan pada kepuasan pendengar dan pembicara pada saat mengadakan hubungan VoIP. Rekomendasi ITU-T P.800 untuk nilai MOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4 Rekomendasi ITU-T P.800 untuk nilai MOS

Nilai MOS	Opini
5	Sangat baik
4	Baik
3	Cukup
2	Buruk
1	Sangat buruk

3. Hasil dan Pembahasan

MANET merupakan jaringan *Ad-hoc* nirkabel dengan prinsip *multi-hop communication*. Gambar 2 menunjukkan topologi MANET yang akan diimplementasikan pada penelitian ini :



Gambar 2. Topologi *Multi-hop* pada MANET

Tabel 5 menunjukkan pengambilan sampel data dalam pengujian kinerja VoIP pada MANET ini dibagi menjadi dua skenario besar yaitu pengujian dengan menggunakan *Access Point* (pengujian *backbone*) dan pengujian tanpa menggunakan *Access Point* (pengujian *non backbone*). Setiap skenario besar tersebut dibagi menjadi lima skenario kecil yaitu pengujian dengan melibatkan dua node, empat node, enam node, delapan node, dan sepuluh node. Pada setiap skenario kecil tersebut diambil sampel data selama sepuluh menit

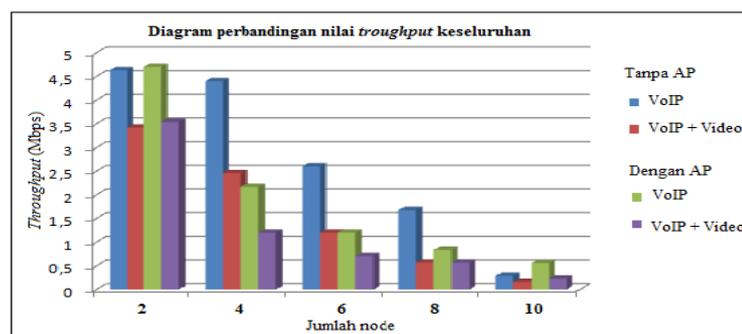
dengan pembagian lima menit pertama yaitu pengujian VoIP saja dan pengujian kedua yaitu pengujian VoIP dengan diberikan beban jaringan (*video streaming*).

Tabel 5. Detail skenario pengujian

Pengujian VoIP non-Access Point			Pengujian VoIP Access Point		
Skenario	VoIP	VoIP + Video	Skenario	VoIP	VoIP + Video
1	2 node	2 node	6	2 node	2 node
2	4 node	4 node	7	4 node	4 node
3	6 node	6 node	8	6 node	6 node
4	8 node	8 node	9	8 node	8 node
5	10 node	10 node	10	10 node	10 node

3.1. Hasil Pengukuran Throughput

Throughput menunjukkan perbandingan antara paket data yang berhasil sampai tujuan dengan waktu pengamatan. Pada analisis *throughput* ini, peneliti akan membahas mengenai hasil *throughput* yang diperoleh saat pengujian VoIP dengan aplikasi yang telah disediakan. Satuan yang dipakai untuk analisis *throughput* ini adalah Mbps atau *Mega bits per second*. Setiap data analisis diambil dari node laptop yang berada pada lantai terjauh dari server yaitu berada pada lantai lima gedung AGAPE UKDW. Setiap skenario diambil dua nilai *throughput* yaitu setiap lima menit sekali pada setiap skenarionya.



Gambar 3. Diagram perbandingan *throughput* keseluruhan

Dari gambar 3 dapat disimpulkan bahwa semakin banyak node yang melibatkan dalam pengujian maka nilai *throughput* akan semakin berkurang (pengaruh dari *multihop*) dan semakin banyak aplikasi yang dijalankan juga mempengaruhi nilai dari *throughput* yang dihasilkan. Kesimpulan lain yang didapat dari gambar 3 adalah node *backbone* (*access*

point) tidak membuat nilai *throughput* yang dihasilkan semakin besar tetapi justru mengurangi nilai dari *throughput* yang dihasilkan, ini membuktikan bahwa *access point* pada pengujian ini hanya berfungsi sebagai node *relay* saja.

3.2. Hasil Pengukuran Delay

Pengukuran ini bertujuan untuk mengevaluasi *one way delay* pada hubungan antar *user*. *Delay* merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu paket data dari node sumber (*source node*) hingga mencapai tujuan (*destination*). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *codec G.711 ulaw*. Dalam teknologi VoIP parameter *delay* disebabkan oleh beberapa komponen *delay* yang secara garis besar adalah *coder delay*, *packetization delay*, *serialization delay*, *processing delay*, dan *network delay*. *Coder delay* yang dihasilkan pada penelitian kali ini adalah :

$$\begin{aligned} \text{Coder delay} &= 0,125 + 0 \\ &= 0,125 \text{ ms} \end{aligned}$$

Packetization delay yang dihasilkan pada penelitian ini adalah :

$$\begin{aligned} T_P &= \frac{8 \cdot 160}{64} \\ &= 20 \text{ ms} \end{aligned}$$

Serialization delay yang dihasilkan pada penelitian ini adalah :

$$\begin{aligned} F_S &= 40 + 160 \\ &= 200 \text{ B} \\ L_S &= 11 \text{ Mbps} = 11264 \text{ Kbps} \end{aligned}$$

jadi

$$\begin{aligned} T_{SER} &= \frac{200}{11264} \\ T_{SER} &= 0,01776 \text{ ms} \end{aligned}$$

Untuk *network delay* didapatkan dengan menggunakan *software* wireshark sebagai *software protokol analyzer* dengan filterisasi dari paket yang digunakan adalah filter untuk paket RTP.

Processing delay yang dihasilkan pada penelitian ini adalah :

$$\begin{aligned} \text{compression delay} &= 3 \times 0,125 \text{ ms} + 0 \\ &= 0,375 \text{ ms} \\ \text{decompression delay} &= 0,1 \times 0,375 \\ &= 0,0375 \text{ ms} \end{aligned}$$

algorithmic delay (codec G.711) = 0

jadi,

Processing delay = 0,375 + 0.0375 + 0

Processing delay = 0,4125 ms

Tabel 6. Hasil perhitungan *one way delay* keseluruhan

<i>One way delay (ms)</i>				
Jumlah node	Tanpa AP		AP	
	VoIP	VoIP + Video	VoIP	VoIP + Video
2	61,364	61,512	61,440	61,408
4	61,328	61,092	56,141	60,595
6	63,989	62,67	62,211	61,098
8	60,711	63,203	61,757	61,308
10	61,394	61,304	61,602	61,304
Rata-rata	61,757	61,956	60,630	61,143

Dari tabel 6 dapat disimpulkan bahwa aplikasi VoIP layak dilewatkan pada MANET. Hal ini dapat dilihat dengan hasil dari *one way delay* yang didapat berada pada rentang antara 56 ms – 64 ms yang merupakan rentang *delay* yang dapat diterima oleh aplikasi *user*. Merujuk pada rekomendasi G.114 mengenai *one way delay* pada *delay* jaringan aplikasi *voice*, *delay* sistem termasuk pada *range* terbaik 0-150 ms yang artinya *acceptable for most application*. Terlihat pada tabel 4 pemberian *access point* pada MANET sedikit berpengaruh terhadap nilai dari *one way delay* yang dapat dilihat dengan nilai rata-rata dari *one way delay* pada pengujian VoIP dengan *access point* sedikit lebih rendah jika dibandingkan pada pengujian VoIP tanpa *access point*. Jumlah node pengujian tidak begitu berpengaruh terhadap nilai *one way delay* yang dihasilkan, dapat dilihat dari nilai *one way delay* pada pengujian dengan melibatkan node yang banyak tidak menghasilkan nilai yang lebih besar (berada pada kisaran yang tidak jauh berbeda).

3.3. Hasil Pengukuran Jitter

Jitter merupakan masalah yang tidak bisa dihilangkan dalam jaringan yang berbasis paket, setiap frame yang dikirimkan lewat jaringan IP maka tiap frame akan mengalami *delay* yang berbeda. Pengukuran ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya interval waktu antar paket suara yang dikirimkan oleh node *originating* ke *destination terminal*. Sistematis pengukuran untuk perhitungan *jitter* sama seperti sistematis dari pengukuran *one way delay* yaitu melakukan filterisasi pada *network analyzer* dengan filter yang digunakan yaitu filter khusus paket RTP.

Tabel 7. Hasil pengukuran *jitter* keseluruhan

<i>Jitter (ms)</i>				
Jumlah node	Tanpa AP		AP	
	VoIP	VoIP + Video	VoIP	VoIP + Video
2	12,15	13,12	7,98	12,85
4	8,76	6,72	21,31	10,05
6	13,36	15,65	20,67	16,67
8	43,36	44,53	21,73	25,32
10	15,30	14,12	8,97	6,61
Rata-rata	18,586	18,828	16,132	14,3

Dari tabel 7 dapat disimpulkan bahwa hasil dari nilai *jitter* yang didapat masih dalam batas yang direkomendasikan oleh ITU-T yaitu nilai standar dari *jitter* yang masih ditoleransi adalah 30 ms dan nilai rata-rata dari *jitter* berada pada rentang 16 ms- 18 ms sehingga nilai *jitter* masih dapat diterima. Tabel 7 menunjukkan bahwa untuk setiap skenarionya nilai *jitter* yang paling besar didapat pada skenario keempat, hal ini dikarenakan besarnya interfrensi yang terjadi dan adanya ketidakstabilan jaringan MANET yang menyebabkan beberapa node penguji mengalami penurunan sinyal. pemberian *access point* pada MANET cukup berpengaruh terhadap nilai dari *jitter* terlihat dari penurunan rata-rata nilai *jitter* antara 2 ms – 4 ms pada saat pengujian VoIP dengan *access point*. Pemberian beban jaringan dan jumlah node yang terlibat dalam pengujian tidak berpengaruh terhadap hasil dari nilai *jitter* yang dihasilkan, dapat dilihat dari hasil pengukuran yang terlihat bahwa jumlah node yang banyak dan penambahan beban dalam pengujian belum tentu menghasilkan nilai *jitter* yang lebih besar.

3.4. Hasil Pengukuran Packet Loss

Pada bagian ini, berisi tentang pengukuran yang bertujuan untuk mengetahui berapa besarnya *packet loss* yang terjadi antara *originating* ke *destination terminal*. Paket yang akan dianalisis dikhususkan pada pengiriman paket RTP sebagai media stream yang membawa *voice*. Sistematika pengukuran untuk perhitungan *packet loss* sama seperti sistematika dari pengukuran *one way delay* dan *jitter* yaitu melakukan filterisasi pada *network analyzer* dengan filter yang digunakan yaitu filter untuk khusus paket RTP.

Tabel 8. Hasil pengukuran *packet loss* keseluruhan

<i>Packet loss (%)</i>				
Jumlah node	Tanpa AP		AP	
	VoIP	VoIP + Video	VoIP	VoIP + Video
2	0,19	2,20	0,91	0,91
4	1,26	0,00	0,14	0
6	13,12	7,25	6,3	0,03
8	0,95	12,05	1,99	0,60
10	4,35	0,21	2,02	0,59
Rata-rata	3,97	4,342	2,27	0,426

Dari tabel 8 dapat disimpulkan bahwa hasil dari besarnya *packet loss* yang terjadi masih dalam batas yang direkomendasikan oleh ITU-T yaitu nilai dari *packet loss* yang ditoleransi adalah 5%. Besarnya rata-rata dari *packet loss* yang terjadi berada pada rentang 0,42 % – 4,5 % sehingga besarnya *packet loss* yang terjadi masih berada dalam rekomendasi, sehingga *packet loss* masih dapat diterima. Tabel 8 juga menunjukkan pemberian *access point* pada MANET sangat berpengaruh terhadap besarnya *packet loss* yang terjadi terlihat dari penurunan besarnya rata-rata *packet loss* yang terjadi menjadi 2,27 % dan 0,426 %. *Packet loss* yang paling banyak terjadi pada skenario ketiga dan keempat. Hal ini disebabkan karena hilangnya sinyal atau terputusnya jaringan secara tiba-tiba pada node penguji, yang menyebabkan banyak paket yang hilang saat pengiriman. Pemberian beban jaringan dan jumlah node yang terlibat dalam pengujian tidak berpengaruh terhadap hasil dari besarnya *packet loss* yang dihasilkan, dapat dilihat dari hasil pengukuran yang terlihat bahwa jumlah node yang banyak dan pemberian beban jaringan dalam pengujian belum tentu menghasilkan terjadinya *packet loss* yang lebih besar.

3.5. Hasil Pengukuran MOS

Setelah pembahasan mengenai pengukuran pada parameter obyektif selanjutnya adalah pembahasan mengenai hasil dari pengukuran parameter subyektif. Metode yang digunakan untuk pengukuran parameter subyektif adalah menggunakan metode MOS. Penelitian ini bersifat subyektif karena didasarkan pada kepuasan pendengar dan pembicara pada saat mengadakan hubungan VoIP. Berikut merupakan hasil dari rata-rata pemberian nilai MOS dari para responden pada saat pengujian VoIP baik dengan menggunakan *access point* maupun tanpa menggunakan *access point* (dari keseluruhan skenario):

Tabel 9. Hasil pengukuran MOS keseluruhan

Nilai MOS (1 – 5)				
Jumlah node	Tanpa AP		AP	
	VoIP	VoIP + Video	VoIP	VoIP + Video
2	4	4	5	5
4	4,25	3,5	3,5	3,75
6	4	3,6	4,1	4
8	2,625	2,375	2,5	2,375
10	2,5	2,3	3,5	3,4
Rata-rata	3,475	3,155	3,72	3,7

Dari tabel 9 hasil terbaik berada pada skenario pertama yaitu bernilai 5 yang merupakan pengujian VoIP dengan *access point* dengan node penguji berjumlah dua node. Sedangkan hasil yang terburuk berada pada pengujian skenario kesepuluh dengan nilai 2, , merupakan skenario pengujian VoIP tanpa *access point* pada saat pengujian lima menit dengan jumlah node penguji sebanyak sepuluh node. Rata-rata dari nilai MOS berada pada kisaran antara 3,1 – 3,7 yang berarti user cukup puas dengan layanan VoIP yang diberikan. Pada pengukuran MOS jumlah node yang terlibat dan pemberian beban jaringan pada pengujian dinilai berpengaruh terhadap nilai MOS, sedangkan pemberian *access point* cukup berpengaruh terlihat dari nilai rata-rata MOS lebih tinggi daripada saat pengujian tanpa *access point*.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, dapat disimpulkan bahwa:

- 1) VoIP layak dilewatkan dan berhasil dilewatkan pada MANET. Dapat dilihat dari rata-rata nilai *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang berada pada rentang nilai yang direkomendasikan oleh ITU-T.
- 2) Penggunaan *access point* dalam pengujian terbukti menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan pengujian tanpa menggunakan *access point*.
- 3) Semakin banyak jumlah node yang terlibat pada pengujian (semakin banyak *multihop* yang terjadi) dan semakin banyak aplikasi yang dijalankan, maka semakin menurun pula nilai dari *throughput* yang dihasilkan.
- 4) Untuk nilai MOS berada pada kisaran 3,1 – 3,7 yang menunjukkan *user* cukup puas pada saat melakukan panggilan VoIP pada MANET.
- 5) Pemberian *access point* pada pengujian terbukti hanya sebagai *relay*, terlihat dari hasil *throughput* yang ditunjukkan bahwa pemberian *access point* pada pengujian tidak

meningkatkan nilai dari *throughput* bahkan pada beberapa skenario membuat penurunan terhadap nilai dari *throughput* itu sendiri.

Daftar Pustaka

- Baronak, Ivan., Halas, Michal. (2007). *Mathematical Representation of VoIP Connection Delay*. Journal off Radio Engeneering 16(3) : 77-84
- Clausen, T., & Jacquet, P. *Optimized Link State Routing (OLSR)*. Diperoleh dari <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- Davidson, J.Peters, J. (2000). *Voice Over IP Fundamentals*. Indianapolis : Cisco Press.
- Flickenger, R., Aichele, C., Büttrich, S., Drewett, L. M., Escudero-Pascual, A., Berthilson, L., Zennaro, M. (2007). *Wireless Networking in the Developing World: A practical guide to planning and building low-cost telecommunications infrastructure* (2nd ed.). United States: Hacker Friendly Publishing.
- Iskandarsyah, HM. (2003). *Dasar-dasar Jaringan VoIP*. Diperoleh dari <http://ike.kawanua.net.id/beseri/iskandar-voip>.
- Tonnesen, Andreas. (2004). *Implementing and extending the Optimized Link State Routing Protocol*. Oslo : University of OSLO Department of Informatics.