IMPLEMENTASI *MOBILE ADHOC NETWORK* (MANET) BERBASIS OPENWRT

[1]A.Rizal Muttaqien, [2]Susmini Indriani Lestariningati
[1,2]Jurusan Teknik Komputer, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Komputer Indonesia, Jl. Dipati Ukur No.112-116, Bandung 40132
Email: [1] arizal.muttaqien@gmail.com, [2]susmini.indriani@email.unikom.ac.id

ABSTRAK

Mobile Adhoc Network (MANET) adalah sebuah sistem yang terdiri dari kumpulan dua atau lebih perangkat dengan komunikasi nirkabel dan kemampuan jaringan yang saling berkomunikasi tanpa bantuan administrator terpusat dapat membentuk suatu jaringan untuk bertukar informasi tanpa menggunakan infrastruktur jaringan tetap. *Mobile Adhoc Network* (MANET) memungkinkan proses komunikasi dua arah melalui *Voice over Internet Protocol* (VoIP). Penggunaan router adalah untuk menggantikan *Base Tranceiver Station*, dengan memanfaatkan openWRT untuk sistem operasi yang tidak membutuhkan lisensi, agar biaya pembangungan menjadi lebih murah. Dari pengujian yang telah dilakukan bahwa dengan menggunakan OpenWRT telah berjalan dengan baik untuk implementasi *Mobile Adhoc Network*. Perbandingan pengujian yang telah dilakukan pada dua kondisi yaitu *indoor* dan *outdoor*, didapatkan hasil kondisi outdoor lebih baik dengan delay sebesar 21,75 ms dan packet loss sebesar 11.72%, dinyatakan memenuhi kualitas layanan yang baik menurut standard TIPHON.

Kata Kunci: *Mobile Adhoc Network*, OpenWRT, *VoIP*

1. PENDAHULUAN

Telekomunikasi adalah transfer informasi dari pemancar atau pengirim ke penerima pada jarak jauh. Beberapa bentuk energi elektromagnetik dapat digunakan untuk mewakili data, seperti melalui media fisik, kabel tembaga, *fiber glass* atau media tanpa fisik seperti infra merah dan gelombang radio. Dengan adanya perkembangan teknologi, kini manusia memiliki banyak pilihan dalam menyampaikan informasi. Kebutuhan komunikasi jarak jauh manusia untuk saat ini sudah cukup terpenuhi dengan adanya telepon tetap (PSTN) dan telepon selular seperti GSM, dan untuk komunikasi dalam ruang lingkup tertentu yang digunakan di gedung, perusahaan, kampus dan instansi biasanya menggunakan PABX. Telepon PABX mempunyai beberapa kekurangan diantaranya mahalnya biaya instalasi dan mobilitas yang rendah karena hanya terpaku pada pesawat telepon yang tetap dan terintegrasi dengan kabel.

Maka dari itu, penulis mencoba membangun sebuah jaringan *Mobile Adhoc Network* (MANET), yaitu sebuah sistem yang terdiri dari kumpulan dua atau lebih perangkat dengan komunikasi nirkabel dan kemampuan jaringan yang saling berkomunikasi tanpa bantuan administrator terpusat juga node nirkabel yang dinamis dapat membentuk suatu jaringan untuk bertukar informasi tanpa menggunakan infrastruktur jaringan tetap [1].

Mobile Adhoc Network memungkinkan proses komunikasi dua arah melalui *Voice over Internet Protocol* (VoIP). Dengan memanfaatkan *smartphone* Android yang sudah terinstall *softphone* dan terintegrasi dengan Router yang terinstall OpenWRT sebagai pengganti BTS. Masing masing *smartphone* dapat saling berkomunikasi jarak jauh dengan jarak tertentu sesuai jangkauan *Router* tanpa dikenakan biaya apapun.

Diharapkan dengan diimplementasikannya sebuah *Mobile Adhoc Network* (MANET), maka dapat menghadirkan komunikasi yang murah dari sisi penyediaan infrastruktur. Untuk melihat kinerja dari sebuah MANET, maka akan diukur kualitas layanan (QoS) seperti *delay* dan *packet loss*.menggunakan sebuah aplikasi bernama *wireshark*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Jaringan Komputer

Jaringan adalah kombinasi perangkat keras, perangkat lunak, dan pengkabelan (cabelling) yang memungkinkan berbagai alat komputasi berkomunikasi satu sama lain. Selain itu jaringan komputer juga dapat diartikan sebagai kumpulan beberapa komputer dan peralatan lain yang saling terhubung dengan menggunakan aturan aturan tertentu. Hubungan ini dapat terjadi menggunakan media fisik berupa kabel ataupun melalui gelombang radio, infrared, bahkan satelit. Setiap peralatan yang tersambung ke jaringan disebut node. Beberapa jenis jaringan berdasarkan areanya adalah LAN (Local Area Network), MAN (Medium Area Network), WAN (Wide Area Network)., perangkat lain seperti printer, hub, dan sebagainya yang saling terhubung satu sama lain melalui media perantara. Media perantara ini biasa berupa media kabel ataupun media tanpa kabel (nirkabel). Informasi berupa data akan mengalir dari satu komputer ke komputer lainnya atau dari satu komputer ke perangkat lain, sehinngga masing-masing komputer yang terhubung tersebut biasa saling bertukar data atau berbagai perangkat keras.

2.1.1. Jaringan Wireless

Teknologi wireless dapat diartikan teknologi tanpa kabel. Teknologi wireless menggunakan udara sebagai media perantara untuk melakukan pertukaran data. Teknologi wireless tidak hanya diterapkan pada dunia komputer saja tetapi juga pada

Bidang telekomunikasi Teknologi wireless sangat cocok dan banyak digunakan sebagai pengganti kabel-kabel seperti kabel mouse, kabel jaringan LAN dan bahkan kabel WAN (Wide Area Network).

2.2. Mobile Network Adhoc

Mobile Adhoc Newtwork (MANET) adalah sebuah jaringan infrastruktur yang terus menerus melakukan konfigurasi perangkat mobile yang terhubung tanpa kabel. Setiap perangkat dalam MANET bebas untuk bergerak secara independen ke segala arah, dan karena itu akan mengubah link ke perangkat lain secara rutin. Memanfaatkan Router untuk meneruskan lalu lintas yang terjadi kepada masing masing perangkat yang terhubung.

2.3. Wireshark

Wireshark merupakan salah satu tools atau aplikasi "Network Analyzer" atau Penganalisa Jaringan. Penganalisaan Kinerja Jaringan itu dapat melingkupi berbagai hal, mulai dari proses menangkap paket-paket data atau informasi yang berlalu-lalang dalam jaringan, sampai pada digunakan pula untuk sniffing (memperoleh informasi penting seperti password email, dll). Wireshark sendiri merupakan free tools untuk Network Analyzer yang ada saat ini. Dan tampilan dari wireshark ini sendiri terbilang sangat bersahabat dengan user karena menggunakan tampilan grafis atau GUI (Graphical User Interface).

2.4. Softphone

Selain berupa telepon utuh (hardware), perangkat telepon juga bisa berbentuk software. Di dunia VoIP, perangkat ini disebut Softphone. Softphone memiliki jenis yang beragam baik dari kemampuan dan lisensi. Saat ini banyak Softphone yang disebarkan dengan lisensi gratis. Bahkan ada yang menyediakan lisensi software gratis sekalligus layanan jaringan VoIP -nya. SkyPe salah satu penyedia Softphone Cuma-Cuma, sekaligus layanan PC-to-PC call yang prima. SoftPhone Skype ini hanya bisa bekerja di jaringan milik Skype. Jika ingin membuat jaringan sendiri harus menggunakan Softphone jenis lain. Softphone lain diantaranya adalah X-Lite, IAX-Lite, MyPhone. X-Lite merupakan softphone untuk VoIP yang berjalan melalui protokol SIP. Selain suara, X-Lite juga bisa digunakana untuk saling berkirim text dan video.

2.4.1. Zoiper

ZoIPer adalah salah satu softphone VoIP yang memungkinkan kita membuat chatting atau membuat panggilan suara dan video dengan teman, keluarga , kolega dan mitra bisnis. Tidak seperti software lain seperti Skype atau Viber, Zoiper terbuka dan dapat digunakan dengan penyedia VoIP atau PBX. Memungkinkan untuk fleksibilitas lebih banyak dan penghentian kualitas yang lebih murah atau lebih baik.

2.5. OpenWRT

OpenWrt merupakan sebuah sistem operasi (firmware) open source yang dapat di install (lebih tepatnya ditanam / *embedded system*) pada perangkat *radio wireless*. OpenWrt ini dibuat dengan kernel Linux, oleh karena itu openWrt bisa disebut sebagai salah satu distro Linux untuk perangkat *embedded*.

2.6. Asterisk Server

Asterisk adalah implementasi perangkat lunak dari sentral telepon PBX (private branch), yang memungkinkan terpasang telepon untuk melakukan panggilan ke satu sama lain, dan untuk terhubung ke layanan telepon lainnya, seperti public switched telephone network (PSTN) dan Voice over Internet Protocol (VoIP).

2.7. Protokol

Apabila ada dua buah sistem saling berkomunikasi dengan bahasa yang berlainan, tentunya dua sistem tersebut tidak akan saling memahami. Untuk itu sistem membutuhkan sebuah mekanisme pengaturan bahasa yang dapat dipahami oleh dua sistem tersebut, sehingga pertukaran informasi antar sistem akan dapat terjadi dengan benar.

Protokol merupakan seperangkat aturan formal yang mendeskripsikan cara mentrasmisikan data, khususnya dalam jaringan. Protokol level bawah meliputi observasi terhadap standar elektrik dan fisik, perintah bit dan byte, pendeteksian transmisi dan kesalahan, dan koreksi aliran bit. protokol level atas berkaitan dengan pemformatan data, meliputi sintaks pesan, dialog dari terminal ke komputer, dan pengurutan pesan.[2]

2.7.1. Session Initiation Protocol (SIP)

SIP didasarkan pada RFC 2543 dan merupakan protokol aplikasi lapisan signaling. Ini berkaitan dengan sesi komunikasi multimedia interaktif antara pengguna akhir, yang disebut agen pengguna. Mendefinisikan inisiasi, modifikasi, dan pemutusan. Panggilan SIP merupakan panggilan terminal-to-terminal, atau SIP mungkin memerlukan sebuah server yang diperlukan untuk mencari pihak yang dipanggil. Untuk interworking dengan jaringan non-IP, dan Megaco H.323 diperlukan.Seringkali vendor peralatan VoIP mengintegrasikan semua tiga protokol pada platform tunggal. [7]

2.7.2. User Datagram Protocol

User Datagram Protocol adalah salah satu protokol lapisan transpor TCP/IP yang mendukung komunikasi yang tidak andal (*unreliable*), tanpa koneksi (*connectionless*) antara host-host dalam jaringan yang menggunakan TCP/IP. Protokol ini didefinisikan dalam RFC 768.UDP memiliki karakteristik-karakteristik berikut:

a. *Connectionless* (tanpa koneksi): Pesan-pesan UDP akan dikirimkan tanpa harus dilakukan proses negosiasi koneksi antara dua host yang hendak bertukar informasi.
b. *Unreliable* (tidak andal): Pesan-pesan UDP akan dikirimkan sebagai datagram tanpa adanya nomor urut atau pesan acknowledgment. Protokol lapisan aplikasi yang berjalan di atas UDP harus melakukan pemulihan terhadap pesan-pesan yang hilang selama transmisi. Umumnya, protokol lapisan aplikasi yang berjalan di atas UDP mengimplementasikan layanan keandalan mereka masing-masing, atau mengirim pesan secara periodik atau dengan menggunakan waktu yang telah didefinisikan.
c. UDP menyediakan mekanisme untuk mengirim pesan-pesan ke sebuah protokol lapisan aplikasi atau proses tertentu di dalam sebuah host dalam jaringan yang menggunakan TCP/IP. *Header* UDP berisi *field* Source Process Identification dan Destination Process Identification.

2.7.3. Realtime Transport Protocol

Real-time Transport Protocol (RTP) didefinisikan sebagai standarisasi paket untuk mengirimkan audio dan video pada jaringan IP. RTP digunakan untuk komunikasi dan sistem entertain yang termasuk didalamnya streaming media seperti telepon, aplikasi video teleconference dan web yang memiliki fitur berbasis push-to-talk. [10]

2.7.4. H323

H.323 merupakan sebuah protokol yang mendefinisikan untuk menyediakan sesi komunikasi audio visual pada setiap jaringan paket. H.323 alamat standar panggilan sinyal dan kontrol, transportasi multimedia, dan kontrol bandwidth untuk point to point dan multi point [11].

2.8. Voice Over Internet Protocol

VoIP adalah teknologi yang memungkinkan kemampuan melakukan percakapan telepon dengan menggunakan jalur komunikasi data pada suatu jaringan (networking).Sehingga teknologi ini memungkinkan komunikasi suara menggunakan jaringan berbasis IP (Internet Protocol) untuk dijalankan diatas infrastruktur jaringan *packet network*.Jaringan yang dapat digunakan bisa berupa Internet atau Intranet. Teknologi ini bekerja dengan jalan merubah suara menjadi format digital tertentu yang dapat dikirim melalui jaringan IP.[6]

2.9. Router

Router adalah peranti jaringan yang berfungsi meneruskan paket data sepanjang jaringan menggunakan header dan tabel *forwarding* untuk menentukan rute terbaik transportasi data. Router bekerja di layer Network di model TCP/IP atau layer ketiga di model OSI. Router menyediakan interkoneksi antar media dengan cara meneliti header dari paket data dan memutuskan kebagian mana paket data tersebut akan dikirim.

2.10. Quality of Service

Quality of Service (QoS) atau kualitas layanan adalah kemampuan sebuah jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik lagi bagi layanan trafik yang melewatinya. QoS merupakan sebuah arsitektur *end-to-end* dan bukan merupakan sebuah fitur yang dimiliki oleh jaringan. QoS suatu jaringan merujuk pada tingkat kecepatan dan kehandalan penyampaian berbagai jenis data di dalam suatu komunikasi. Terdapat beberapa aspek untuk mengukur kualitas suatu layanan, yaitu : [4]

1. *Delay*

   Delay adalah waktu tunda suatu paket yang diakibatkan oleh proses transmisi dari satu node ke node lain yang menjadi tujuannya. Menurut versi THIPON, besarnya delay dapat di klasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi Besar Delay

Kategori Latency	*Besar Delay*
Sangat Baik	< 150 ms
Baik	150 s/d 300 ms
Sedang	300 s/d 450 ms
Buruk	> 450 ms

Rumus untuk mengetahui besaran *delay* adalah sebagai berikut :

$$\text{Rata - rata delay} = \frac{\text{Waktu Transmisi}}{\text{Paket yang diterima}}$$

2. *Jitter*

   Merupakan variasi waktu kedatangan antara waktu yang dikirim terus menerus dari suatu perangkat ke perangkat yang lain pada suatu jaringan. Hal ini disebabkan oleh beban trafik, perubahan rute paket, kemacetan paket (*congestion*), dan waktu tunda pemrosesan.

Tabel 2.2 Degradasi Jitter

Kategori degradasi	*Besar Jitter*
Sangat Baik	0 ms
Baik	75 ms
Sedang	125 ms
Jelek	225 ms

3. *Packet Loss*

   Paket loss didefenisikan sebagai kegagalan transmisi paket IP mencapai tujuannya. Kegagalan dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya terjadi *overload traffic*, tabrakan, *error* yang terjadi pada media fisik dan kegagalan yang terjadi pada sisi penerima. Berikut tabel *category* degradasi *packet loss.*

Tabel 2.3 Degradasi *Packet Loss*

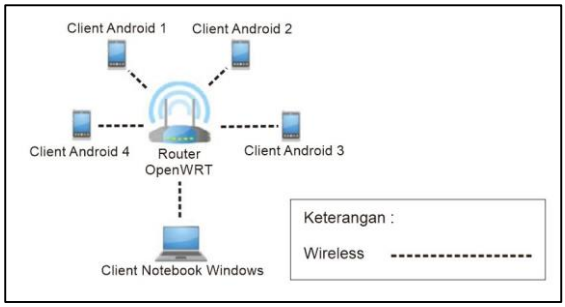
Kategori Degradasi	*Packet Loss*
Sangat Baik	0 %
Baik	3 %
Sedang	15 %
Buruk	25 %

Rumus untuk mengetahui besaran nilai *packet loss* adalah sebagai berikut :

$$\text{Persentase Packet Loss} = \frac{\text{Paket yang dikirim - Paket data yang diterima}}{\text{Paket data yang di terima}} X100\%$$

3. PERANCANGAN

Pada bagian ini menjelaskan tentang perancangan sistem implementasi Mobile Adhoc Network menggunakan OpenWrt. Pada jaringan ini beberapa *user/client* akan mengakses VoIP server pada Router yang telah terinstall OpenWRT.



Gambar 3.1 Diagram Blok MANET

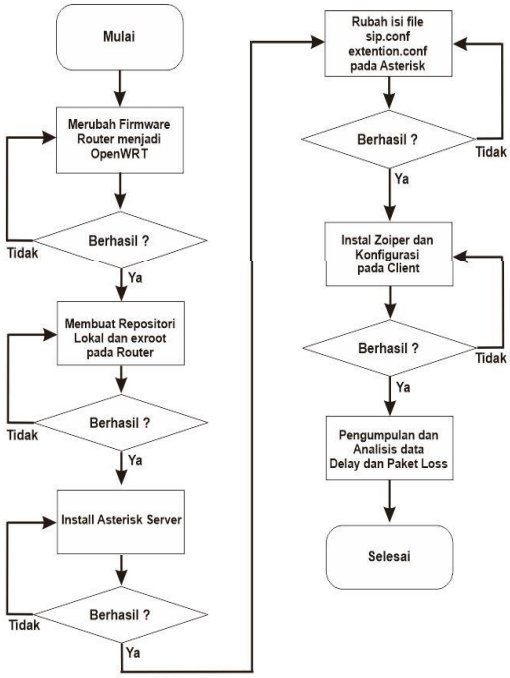
Berikut keterangan dari sistem yang terlihat pada Gambar III.1 :

1. *Client Android* 1, 2, 3 dan 4 adalah perangkat *smartphone* dengan Sistem Operasi Android yang terhubung pada jaringan VoIP. *Smartphone* ini menggunakan *softphone* Zoiper untuk bisa saling berkomunikasi antar perangkat dengan jaringan VoIP.
2. Router 1 adalah *Router* TL-MR3220 dengan Sistem Operasi OpenWrt yang berfungsi sebagai penghubung antar perangkat yang ada pada jaringan lokal (*gateway*). Router ini telah di konfigurasi dan terinstall Asterisk Server yang memungkinkan panggilan VoIP bisa dilakukan antar client yang terhubung.
3. Client Notebook Windows adalah perangkat Notebook dengan Sitem Operasi Windows 10 yang terhubung pada jaringan Router dengan OpenWRT. Notebook ini digunakan sebagai pemantau aktivitas jaringan melalui aplikasi Wireshark.

Dengan desain dan konsep seperti ini maka akan dihasilkan sebuah alat yang dapat bekerja sama halnya seperti BTS konvensional namun dengan menggunakan frekuensi 2,4 GHz sebagai air interface dengan mobile station. Selain itu, dengan desain dan modifikasi seperti ini maka akan menghasilkan pula alat dengan konsumsi daya yang rendah serta harga yang terjangkau [2].

3.1. Tahapan Instalasi Sistem

Setalah komponen perangkat keras telah disiapkan selanjutnya dilakukan instalasi perangkat lunak untuk mendukung kebutuhan pada sistem. Berikut gambar diagram alir tahapan instalasi sistem secara keseluruhan dalam Mobile Network Adhoc (MANET) menggunakan OpenWrt. Dapat dilihat diagram alir tahapan instalasi sistem pada gambar III.2.



Gambar 3.2 Flow Chart Instalasi MANET

4. PENGUJIAN DAN ANALISA

Bagian ini membahas mengenai hasil pengujian dan analisa dari Mobile Network Adhoc pada jaringan lokal untuk penggunaan aplikasi VoIP pada Router berbasis OpenWRT menggunakan aplikasi Wireshark. Nilai yang di ukur pada pengujian adalah *delay* dan *paket loss*. Masing masing pengujian dilakukan minimal 30 detik.

4.1. Pengujian Outdoor

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan komunikasi VoIP menggunakan aplikasi Zoiper dan analisis data Quality of Service melalui Aplikasi Wireshark. *Capture* data diambil pada saat transfer data dari *client* dengan alamat IP 192.168.1.6 ke *router gateway* dengan alamat IP 192.168.1.1.

Pengujian dilakukan di komplek Perumahan Arcamanik Endah, Kota Bandung. Parameter yang diukur hanya *delay* dan *paket loss*, pengukuran menggunakan rumus yang telah ditentukan. Berikut adalah tabel hasil pengujian outdoor.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Outdoor

Pengujian	Waktu Transmisi (s)	Data Dikirim	Data Diterima	Delay (ms)	Paket Loss (%)	Status Komunikasi	Status QoS	
							Paket Loss	Delay
1	31,25	1558	1492	20,94	4,24 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
2	31,21	1560	1549	20,14	0,71 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
3	3,89	186	166	23,43	10,75 %	Terputus	Baik	Sangat Baik
4	31,88	1594	1567	20,34	1,69 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
5	31,40	1570	1568	20,02	0,13 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
6	30,45	1522	1522	20,00	0,00 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
7	14,69	651	496	29,61	23,81 %	Terputus	Sedang	Sangat Baik
8	30,47	1523	1522	20,01	0,07 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
9	31,11	1535	1409	22,07	8,21 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
10	41,85	2085	2003	20,89	3,93 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
Rata-rata				**21,75**	**5,354 %**	**Berhasil**	**Baik**	Sangat Baik

4.2. Pengujian Indoor

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan komunikasi VoIP menggunakan aplikasi Zoiper dan analisis data Quality of Service melalui Aplikasi Wireshark. *Capture* data diambil pada saat transfer data dari *client* dengan alamat IP 192.168.1.6 ke *router gateway* dengan alamat IP 192.168.1.1.

Pengujian dilakukan di PT Saga Visi Paripurna, Jl. Layar No. 10 Arcamanik, Kota Bandung. Parameter yang diukur adalah *delay* dan *paket loss*, pengukuran menggunakan rumus yang telah ditentukan. Berikut adalah tabel hasil pengujian outdoor.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Indoor

Pengujian	Waktu Transmisi (s)	Data Dikirim	Data Diterima	Delay (ms)	Paket Loss (%)	Status Komunikasi	Status QoS	
							Paket Loss	Delay
1	30,41	1520	1515	20,07	00,33 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
2	30,57	1528	1507	20,28	01,37 %	Berhasil	Sangat Baik	Sangat Baik
3	30,26	1512	1303	23,22	13,82 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
4	42,43	2121	1762	24,08	16,93 %	Berhasil	Sedang	Sangat Baik
5	30,34	1515	1424	21,30	06,01 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
6	30,36	1511	1409	21,54	06,75 %	Berhasil	Baik	Sangat Baik
7	10,51	505	424	24,78	16,04 %	Terputus	Sedang	Sangat Baik
8	10,32	368	252	40,95	31,52 %	Terputus	Buruk	Sangat Baik
9	16,48	688	624	26,41	09,30 %	Terputus	Baik	Sangat Baik
10	30,75	1538	1305	23,56	15,15 %	Berhasil	Sedang	Sangat Baik
Rata-rata				**24,62**	**11,72 %**	**Berhasil**	**Baik**	Sangat Baik

4.3. Analisa

Pada kolom status komunikasi, status terputus menyatakan bahwa komunikasi tersebut tidak bisa memenuhi target yaitu hingga 30 detik atau lebih. Masing-masing pengujian baik Indoor maupun Outdoor dilakukan sebanyak 10 kali, dan didapatkan hasilnya untuk pengujian Indoor, rata rata Delay 24,62 ms dan rata-rata Paket Loss 11,72%. Sementara untuk pengujian Outdoor hasilnya adalah rata rata Delay 21,75 ms dan rata-rata Paket Loss 5,35%. Hal ini menunjukan bahwa performa Mobile Adhoc Network lebih baik ketika digunakan diluar ruangan (*Outdoor).*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan baik indoor maupun outdoor, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan OpenWRT telah berjalan dengan baik untuk implementasi *Mobile Adhoc Network*.
2. Dari pengujian yang telah dilakukan bahwa perbandingan pengujian yang telah dilakukan pada dua kondisi yaitu *indoor* dan *outdoor*, didapatkan hasil kondisi outdoor lebih baik dengan *delay* sebesar 21,75 ms dan *packet loss* sebesar 11.72%, dinyatakan memenuhi kualitas layanan yang baik menurut standard TIPHON.

1.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini diantaranya :

a. Untuk memperluas jangkauan jaringan, perlu dilakukan penambahan Router.
b. Penggunaan *Mobile Adhoc Network* sangat direkomendasikan digunakan diluar ruangan.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Saleh Ali K.Al-Omari, Putra Sumari, "An Overview of Mobile Ad Hoc Networks for The Existing Protocols and Applications", pp. 87-110 pada International Journal on Applications of Graph Theory in Wireless Ad Hoc Networks and Sensor Networks (Graph-Hoc), Vol.2, No.1, March 2010.

[2] Asriadi, Istas Pratomo, "WiFi BTS : Konsep dan Desain Komunikasi Nirkabel Bergerak Untuk Rural Area Berbasis OpenWRT", Oktober 2014

[3] Faosan Mapa, Supeno Djanali, Ary Mazharuddin S. "Optimasi OLSR Routing Protocol Pada Jaringan Wireless Mesh Dengan Adaptive Refreshing Time Interval Dan Enhance Multipoint Relay Selecting Algorithm"

[4] Olejniczak, Stephen P.; Kirby, Brady (2007). Asterisk For Dummies. *John Wiley & Sons*. *ISBN 9780470098547*.

[5] Van Meggelen, Jim; Smith, Jared; Madsen, Leif (2007). Asterisk: The Future of Telephony. *O'Reilly Media, Inc. ISBN 9780596510480*.

[6] Akbar, Taufiq. Manajemen Bandwidth Berdasarkan Prioritas Menggunakan Metode CBQ (*Class Based Queue*) berbasis GNU/Linux Pada Jaringan VoIP

[7] L.freeman, Roger. 2005. *Fundamentals Of Telecommunications, second edition*. New Jersey : Wiley-Interscience

[8] Wahana Komputer. 2014. Konsep & Implementasi Jaringan dengan Linux Ubuntu. Yogyakarta : ANDI

[9] https://id.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol

[10] Daniel Hardy (2002). *Network*. De Boeck Université. p. 298

[11] *Davidson, Jonathan; James Peters; Jim Peters; Brian Gracely. "H.323"*. Voice over IP fundamentals. *Cisco Press. pp. 229–230*

[12] https://id.wikipedia.org/wiki/Penghala#Jenis-jenis_router

[13] Suryadi Syamsu – Modul Jaringan Komputer, STIMIK AKBA

[14] https://id.wikipedia.org/wiki/Protokol_Konfigurasi_Hos_Dinamik