

PERANCANGAN DAN ANALISIS JARINGAN VOIP PADA MOBILE AD HOC NETWORK MENGGUNAKAN RASPBERRY PI SEBAGAI SERVER

DESIGN AND ANALYSIS VOIP ON MOBILE AD HOC NETWORK USING RASPBERRY PI AS SERVER

I Putu Sandy Andika Putra¹, Asep Mulyana, ST., MT², Agus Ganda Permana, Ir., MT³

Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom
sandschyt@gmail.com¹, asepm267@gmail.com², agus.ganda123@gmail.com³

Abstrak

Saat ini perkembangan teknologi telekomunikasi berkembang pesat dan mengarah pada teknologi yang berbasis Internet Protocol, salah satu teknologinya adalah Voice over Internet Protocol (VoIP). Terdapat cara lain yaitu melalui jaringan Mobile AdHoc Network (MANET). Karakteristik MANET yang memiliki topologi dinamis dapat bebas bergerak kemana saja dan kapan saja mengakibatkan topologi jaringan berubah secara acak dan cepat pada waktu yang tidak diprediksikan.

Pada proyek akhir ini dibuat perancangan jaringan Ad Hoc yang dibentuk oleh smartphone dan laptop, Pada jaringan ad hoc setiap node tidak hanya berfungsi sebagai pengirim dan penerima informasi tetapi juga berfungsi sebagai pendukung jaringan seperti router. smartphone dapat melakukan panggilan ke salah satu smatphone. Dalam percobaan yang dibuat, skenario panggilan antar smartphone tertentu dan dengan pengamatan jarak tertentu kemudian di monitor parameter kualitasnya oleh server yang menggunakan Raspberry Pi.

Hasil yang diperoleh dalam proyek akhir ini adalah dengan uji coba adhoc raspberry pi yang berfungsi sebagai server voip dengan melakukan panggilan indoor dan outdoor, didapat hasil OoS, untuk parameter GSM rata-rata delay voice indoor (0.0162636 s), voice outdoor (0.0134519 s), rata-rata packet loss voice indoor maupun outdoor (0%), rata-rata throughput voice indoor (70116 kbps), voice outdoor (73754 kbps), rata-rata voice jitter indoor (0.05909 s), voice jitter outdoor (0.022350 s), lalu untuk parameter H264, rata-rata packet loss video indoor (0.0297866%), outdoor (0%), rata-rata throughput video indoor (810201 kbps), video outdoor (1079618 kbps), rata-rata video jitter indoor (0.010250 s), video jitter outdoor (0.008551 s), dengan demikian dari hasil QoS nya dapat disimpulkan bahwa voip bisa diterapkan pada MANET menggunakan Raspberry Pi.

Kata Kunci : Manet, VoIP, Raspberry Pi, QoS

Abstract

At present the development of telecommunications technology is growing rapidly and leads to technology based on Internet Protocol, one of the technologies is Voice over Internet Protocol (VoIP). There is another way, namely through the Mobile AdHoc Network (MANET) network. MANET characteristics that have dynamic topologies can be free to move anywhere and anytime, resulting in network topologies changing randomly and quickly at unpredictable times.

In this final project, the design of an Ad Hoc network is formed by smartphones and laptops. In ad hoc networks, each node does not only function as the sender and recipient of information, but also functions as a support network such as routers. The smartphone can make calls to one of the smartphone. In the experiments made, call scenarios between certain smartphones and with certain distance observations are then monitored for quality parameters by servers that use Raspberry Pi.

The results obtained in this final project are an adhoc raspberry pi trial that functions as a voip server by making indoor and outdoor calls, OoS results are obtained, for GSM parameter average indoor delay voice (0.0162636 s), outdoor voice (0.0134519 s), on average indoor and outdoor voice loss (0%), average indoor voice throughput (70116 kbps), outdoor voice (73754 kbps), average indoor voice jitter (0.05909 s), outdoor jitter voice (0.022350 s), then for H264 parameters, the average indoor video packet loss (0.0297866%), outdoor (0%), average indoor video throughput (810201 kbps), outdoor video (1079618 kbps), indoor video jitter average (0.010250 s), outdoor jitter video (0.008551 s), thus from the QoS results it can be concluded that voip can be applied to MANET using Raspberry Pi.

Keywords: Manet, VoIP, Raspberry Pi, QoS

1. Pendahuluan

Karakteristik wilayah Indonesia yang rawan bencana dengan dikelilingi lempeng tektonik dengan ring of fire menjadi masalah utama yang harus dihadapi yang setiap saat terjadi bencana sehingga sulit dalam melakukan penggelaran alat komunikasi yang bersifat tetap (fixed). Para pengguna smartphone dapat melakukan komunikasi percakapan yang tanpa batas wilayah, dan dengan biaya yang murah. Sesungguhnya, konsep dari fitur aplikasi tersebut adalah memanfaatkan teknologi jaringan Voice over Internet Protocol (VoIP) sebagai akses internet multimedia system (IMS). Namun hal tersebut tidak terlepas dari konektivitas yang digunakan. Konektivitas wireless merupakan salah satu fitur konektivitas untuk melakukan komunikasi pada smartphone. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemampatan wireless adapter telah ada pada device saat ini. Keberadaan pemampatan wireless adapter tersebut dapat mendorong dalam membangun jaringan komunikasi lingkup kecil.

Penggelaran sistem komunikasi selama ini lebih banyak bersifat tetap atau fixed yang penggelarannya membutuhkan waktu cukup lama dan di saat terjadi bencana seluruh sistem komunikasi yang tergelar lumpuh atau mati mengakibatkan kesulitan dalam koordinasi antar lembaga untuk penyaluran bantuan. Dengan penggelaran Jaringan VoIP bisa dikatakan memiliki bandwidth yang terbatas. VoIP pada MANET ini juga bisa diimplementasikan pada daerah bencana, dimana pada daerah tersebut infrastruktur backbone tidak berfungsi lagi, akan tetapi komunikasi harus tetap berjalan. Sehingga MANET cocok digunakan pada daerah bencana. Selain itu juga bisa digunakan pada daerah terpencil yang belum ada jaringan infrastrukturnya.

Dari permasalahan di atas maka dibuat Proyek Akhir perancangan dan analisis jaringan voip pada mobile ad hoc network menggunakan raspberry pi sebagai server dengan mengukur QoS dan analisis pada jaringan yang bergerak (mobile) di indoor dan outdoor. Jika dikembangkan lebih lanjut, jaringan ini dapat diterapkan pada daerah atau tempat yang rawan terjadi bencana karena ketika semua infrastruktur mati dan jaringan backbone mati, jaringan ini dapat berfungsi, apalagi dengan menggunakan raspberry pi sebagai server tentu akan lebih menjadi efisien dan portable karena bentuknya yang berukuran kecil bersifat mobile, mudah digelar dalam waktu singkat, ringan, praktis dan cepat dengan penggelaran VOIP (Voice Over Internet Protocol) merupakan teknologi yang dalam jaringan MANET. sehingga mudah untuk digunakan.

2. Dasar Teori

2.1 VoIP (Voice over Internet Protokol) ^[1]

Voice Over Internet Protocol atau biasa disebut VoIP adalah teknologi yang memungkinkan percakapan suara jarak jauh melalui media internet. Data suara diubah menjadi kode digital dan dialirkan melalui jaringan yang mengirimkan Paket-paket data dan bukan lewat sirkuit analog telepon biasa.

2.2 MANET (Mobile Ad Hoc Network) ^[8]

Mobile Ad hoc Network (MANET) merupakan jaringan nirkabel yang dibangun secara auto configuration tanpa memerlukan infrastruktur. Perangkat MANET (Mobile Node/MN atau Mobile Host/MH) dapat bergerak bebas tanpa putus sepanjang masih dalam jangkauan (coverage). Masing-masing mobile node MN dapat meneruskan lalu lintas pesan yang bukan untuknya. Jadi sebuah MN dapat menjadi sumber atau tujuan, atau berfungsi sebagai router. Tujuan utama dari jaringan ad hoc adalah masing-masing MN dapat terus menjaga informasi yang diperlukan dan diteruskan ke tujuan yang benar

2.3 PortSIP^[6]

Portsip adalah sebuah aplikasi opensource pendukung VoIP yang dibangun pada PortSIP VoIP SDK menggunakan teknologi IAX, SIP (Session Initiation Protocol) untuk panggilan VoIP melalui 3G atau Wifi. Portsip di kembangkan oleh PortSIP Solutions, Inc.

2.4 RasPBX ^[4]

RasPBX merupakan proyek khusus yang menggabungkan Asterisk dan FreePBX yang difokuskan untuk Raspberry Pi. RasPBX ini menggunakan sistem operasi dasar Raspbian, Asterisk versi 11 dan FreePBX 12.

2.5 FreePBX^[13]

FreePBX adalah software berbasis web open source GUI yang mengontrol dan mengelola asterisk. FreePBX dilisensikan dibawah GNU General Public License FreePBX dapat diinstal secara manual atau sebagai bagian dari pra-konfigurasi FreePBX Distro yang mencakup sistem OS, Asterisk, FreePBX GUI dan berbagai macam dependensi. Dengan kata lain freepbx merupakan distro lengkap untuk kebutuhan untuk membangun voip server baik untuk kebutuhan skala kecil maupun besar.

2.6 Asterisk ^[5]

Asterisk adalah software IP PBX untuk membuat sistem layanan VoIP (Voice over Internet Protocol). Asterisk merupakan software Open Source yang berjalan di linux. Asterisk juga memungkinkan komunikasi antar pengguna telepon regular dengan telepon berbasis SIP (SIP phones). Asterisk memiliki dukungan yang luas terhadap sistem operasi Linux, BSD, MacOSX dan Windows, namun kebanyakan digunakan dalam Linux karena lebih stabil dan lebih mudah operasinya.

2.7 Raspberry Pi ^[3]

Raspberry Pi merupakan komputer mungil seukuran dengan sebuah kartu kredit dengan berbagai fungsi yang dapat dilakukannya. Raspberry Pi menggunakan sistem operasi Raspbian. Raspberry memiliki prosesor yang memiliki spesifikasi 700MHz ARM11.

2.8 Wireshark ^[9]

Wireshark adalah satu dari sekian banyak tool Network Analyzer yang dipakai oleh orang-orang yang bekerja di bidang jaringan yang ingin melihat atau menganalisa paket jaringan, pengembangan protokol jaringan. Yang menjadi kelebihan bagi wireshark adalah lisensinya yang free alias open source.

2.9 SIP (Session Intiation Protocol) ^[10]

Salah satu protokol yang digunakan dalam penelitian ini adalah session intiation protocol (SIP). Protokol SIP merupakan protokol standar multimedia, produk dari Internet Engineering Task Force (IETF) dan telah digunakan menjadi suatu standar penggunaan VoIP. SIP merupakan protokol yang berada pada layer aplikasi untuk mendefinisikan proses awal, pengubahan, dan pengakhiran (pemutusan) suatu sesi komunikasi multimedia.

2.10 Quality of Service (QoS) ^[12]

Quality of Service didefinisikan sebagai suatu pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari suatu layanan. QoS mengacu pada kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik jaringan tertentu melalui teknologi yang berbeda-beda. Beberapa parameter QoS yaitu delay, jitter, throuthput, dan packet loss.

2.10.1 Delay

Delay dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari sumber (pengirim) ke tujuan (penerima).

KATEGORI LATENSI	BESAR DELAY
Excellent	< 150 ms
Good	150 s/d 300 ms
Poor	300 s/d 450 ms
Unacceptable	> 450 ms

Tabel 1 Standar delay berdasarkan ITU-T

2.10.2 Jitter

Jitter atau variasi kedatangan paket, hal ini diakibatkan oleh variasi-variasi dalam panjang antrian, dalam waktu pengolahan data, dan juga dalam waktu penghimpunan ulang paket-paket di akhir perjalanan jitter. Jitter lazimnya disebut variasi delay, berhubungan erat dengan latency, yang menunjukkan banyaknya variasi delay pada taransmisi data di jaringan. Delay antrian pada router dan switch dapat menyebabkan jitter.

KATEGORI JITTER	BESAR JITTER
Sangat bagus	0 ms
bagus	0 - 75 ms
sedang	76 - 125 ms
buruk	125 - 225 ms

Tabel 2 standar jitter berdasarkan ITU-T

2.10.3 Packet Loss

Packet loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang, dapat terjadi karena *collision* dan *congestion* pada jaringan dan hal ini berpengaruh pada semua aplikasi karena *retransmisi* akan mengurangi efisiensi jaringan secara keseluruhan meskipun jumlah *bandwidth* cukup tersedia untuk aplikasi-aplikasi tersebut. Umumnya perangkat jaringan memiliki *buffer* untuk menampung data yang diterima. Jika terjadi kongesti yang cukup lama, *buffer* akan penuh, dan data baru tidak akan diterima.

KATEGORI PACKET LOSS	PACKET LOSS
bagus	0 - 1%
Cukup	1% - 5%
kurang	5% - 10%
buruk	> 10%

Tabel 3 standar paket loss berdasarkan ITU-T

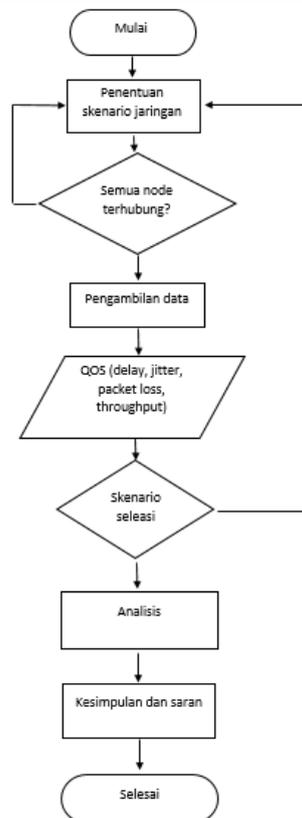
2.10.4 Throughput

Throughput yaitu kecepatan (rate) transfer data efektif, yang diukur dalam bps. Throughput merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada destination selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut.

3. Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Skenario Proyek Akhir

Dalam proses perancangan sebuah sistem, diperlukan sebuah skenario yang terstruktur dengan baik. Untuk memudahkan proses perancangan implementasi diperlukan *flowchart* yang membantu dalam memahami proses perancangan yang akan dibuat.

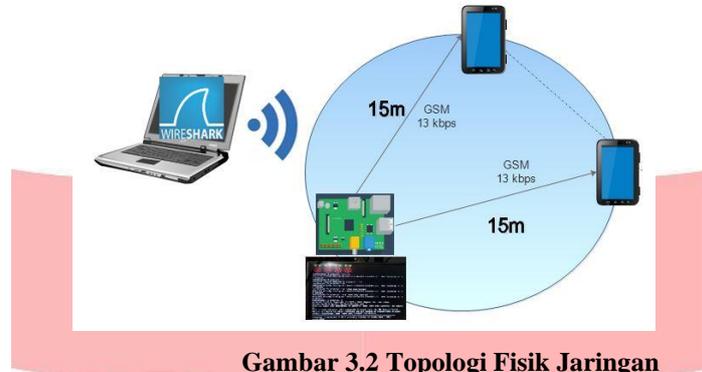


Gambar 3.1 flowchart perancangan

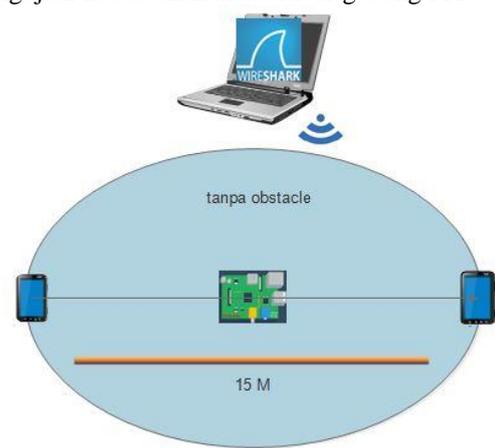
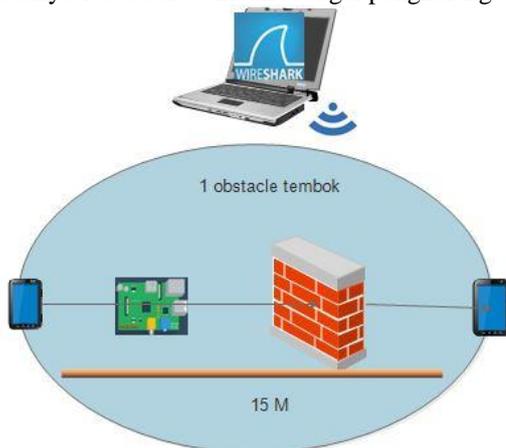
3.2 Implementasi Sistem

Dalam penelitian proyek akhir ini jaringan MANET yang digunakan adalah sebanyak 2 buah user client, dimana setiap user client terhubung secara ad hoc menggunakan WLAN Adapter.

Topologi fisik jaringan yang digunakan pada jaringan ini adalah sebagai berikut:



Pengujian pertama skenario tersebut berada di dalam gedung lantai 1 FIT Telkom dengan adanya 1 obstacle tembok sebagai penghalang dan pengujian kedua dilakukan di luar gedung FIT.



4. Hasil Pengukuran dan Analisis

4.1 Analisis Voice Call Codec GSM Pada Indoor dan Outdoor

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, aspek propagasi di sini dianalisis dari hasil pengukuran jarak maksimal untuk kondisi *Free Space Loss* Dengan melihat pengaruh redaman pada gedung, dapat diprediksikan jarak maksimum antar user baik dalam kondisi LOS (outdoor) maupun NLOS (indoor) (adanya *obstacle*). Pengukuran *Free Space Loss* dilakukan dengan melakukan panggilan yang menggunakan codec GSM antara node satu dengan node lainnya.

4.1.1 Delay Voice Call

Jarak	Delay indoor	Delay outdoor
5 M	0.01469707 s	0.0127817 s
10 M	0.01643911 s	0.0132537 s
15 M	0.0176549 s	0.0143212 s

Tabel 4.1 Delay GSM Indoor dan Outdoor

dapat dilihat bahwa komunikasi telepon VoIP di dalam jaringan MANET dapat berjalan dengan baik meskipun antara satu node dengan node yang lain dapat bergerak bebas. Perbandingan hasil pengujian menunjukkan bahwa perbandingan antara delay indoor maupun outdoor, delay yang paling besar terjadi pada saat komunikasi rata-rata terjadi di dalam ruangan. Hal tersebut terjadi karena pada proses pengujian tempat yang digunakan memiliki penghalang obstacle dinding ruangan. Sedangkan untuk pengujian delay pada outdoor, delay cenderung lebih kecil dibanding indoor, hal tersebut karena outdoor bersifat free space dan LOS.

4.1.2 Packet Loss Voice Call

Jarak	Packet loss indoor	Packet loss outdoor
5 M	0%	0%
10 M	0%	0%
15 M	0%	0%

Tabel 4.2 Packet Loss GSM Indoor dan Outdoor

Terlihat bahwa packet loss antara indoor dan outdoor semuanya bernilai 0% dan masih dibawah 5%, hal ini menunjukkan bahwa kualitas jaringan VoIP pada MANET sangat bagus berdasarkan standar pada ITU-T.

4.1.3 Throughput Voice call

Jarak	Throughput indoor	Throughput outdoor
5 M	71107 kbps	74668 kbps
10 M	70825 kbps	73469 kbps
15 M	68417 kbps	73125 kbps

Tabel 4.3 Throughput GSM Indoor dan Outdoor

Throughput yang dihasilkan antara indoor dan outdoor cukup signifikan dilihat dari perbandingannya. Namun throughput yang paling kecil dihasilkan pada pengujian indoor dengan jarak 15 meter karena Pengaruh obstacle dinding ruangan dan jarak yang cenderung agak jauh menjadi faktor penyebab pengujian indoor tersebut menghasilkan throughput yang kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa throughput yang dihasilkan baik outdoor maupun indoor pada jaringan VoIP masih layak di jaringan MANET.

4.1.4 Jitter Voice Call

Jarak	Jitter indoor	Jitter outdoor
5 M	0.0341341 s	0.0234122 s
10 M	0.0598231 s	0.0401278 s
15 M	0.0833133 s	0.0631663 s

Tabel 4.4 Jitter GSM indoor dan outdoor

Jitter adalah variasi delay, jitter yang dihasilkan dalam indoor memiliki variasi kedatangan paket data lebih besar jika dibandingkan outdoor. Hal tersebut dapat dilihat dari pengaruh delay yang dihasilkan pada outdoor. Ketika jitter indoor lebih besar namun delay outdoor yang dihasilkan kecil maka jaringan tidak bisa dikatakan jelek karena besarnya jitter dapat dikompensasikan dengan nilai delay yang kecil.

4.2 Analisis Video Call Codec H264 Pada Indoor dan Outdoor

Pada sub bab ini akan dijelaskan hasil dari pengukuran video call dengan Codec H264, sama dengan sub bab sebelumnya pada voice call, hasil pengukuran jarak maksimal untuk kondisi *Free Space Loss* Dengan melihat pengaruh redaman pada gedung, dapat diprediksikan jarak maksimum antar user baik dalam kondisi LOS maupun NLOS (adanya *obstacle*). Pengukuran *Free Space Loss* dilakukan dengan melakukan panggilan yang menggunakan codec H264 antara node satu dengan node lainnya.

4.2.1 Delay Video Call

Jarak	Delay indoor	Delay outdoor
5 M	0.00591283 s	0.00424499 s
10 M	0.00649583 s	0.00502345 s
15 M	0.00724754 s	0.00546385 s

Tabel 4.5 Delay H264 Indoor dan Outdoor

Bisa dilihat bahwa komunikasi video jaringan VoIP pada MANET dapat berjalan dengan baik meskipun antara satu node dengan node yang lain dapat bergerak bebas. Perbandingan hasil pengujian menunjukkan bahwa perbandingan antara delay indoor maupun outdoor, delay yang paling besar terjadi pada saat komunikasi rata-rata terjadi di dalam ruangan yaitu pada jarak 15m. Hal tersebut terjadi karena pada proses pengujian tempat yang digunakan memiliki penghalang obstacle dinding ruangan. Sedangkan untuk pengujian delay pada outdoor, delay cenderung lebih kecil dibanding indoor, hal tersebut karena outdoor bersifat free space dan LOS.

4.2.2 Packet Loss Video Call

Jarak	Packet loss indoor	Packet loss outdoor
5 M	0%	0%
10 M	0%	0%
15 M	0.08936%	0%

Tabel 4.6 Packet Loss H264 Indoor dan Outdoor

Terlihat bahwa packet loss antara indoor dan outdoor hampir semuanya bernilai 0% tetapi terjadi packet loss pada indoor dengan jarak 15m sebesar 0.08936% dan tidak masalah karena masih <1%, hal ini menunjukkan bahwa kualitas jaringan VoIP pada MANET sangat bagus berdasarkan standar pada ITU-T

4.2.3 Throughput Video Call

Jarak	Throughput indoor	Throughput outdoor
5 M	821477.123 kbps	1101759.33 kbps
10 M	813499.672 kbps	1075606.77 kbps
15 M	795629.197 kbps	1061491.87 kbps

Tabel 4.7 Throughput H264 Indoor dan Outdoor

Throughput yang dihasilkan pada outdoor lebih besar, karena tidak adanya obstacle seperti indoor, throughput terbesar terjadi pada outdoor dengan jarak 5m. Namun throughput yang paling kecil dihasilkan pada pengujian indoor dengan jarak 15 meter karena Pengaruh obstacle dinding ruangan dan jarak yang cenderung agak jauh menjadi faktor penyebab pengujian indoor tersebut menghasilkan throughput yang kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa throughput yang dihasilkan baik outdoor maupun indoor pada jaringan VoIP masih layak di jaringan MANET.

4.2.4 Jitter Video Call

Jarak	Jitter indoor	Jitter outdoor
5 M	0.009423341 s	0.007443156 s
10 M	0.010311112 s	0.008442234 s
15 M	0.011021223 s	0.009775645 s

Tabel 4.8 Jitter H264 Indoor dan Outdoor

jitter yang dihasilkan video call dalam indoor memiliki variasi kedatangan paket data lebih besar jika dibandingkan outdoor. Hal tersebut dapat dilihat dari pengaruh delay yang dihasilkan pada outdoor lebih kecil dibanding indoor.

4.3 Pengujian Attenuasi Pada Wireless Raspberry Pi

Pengujian pada bagian ini dilakukan dengan cara melakukan pemanggilan melalui smartphone dengan syarat user diam pada suatu tempat. Pengujian ini bertujuan untuk menguji seberapa jauh smartphone dapat menerima sinyal wireless dari Raspi yang ada pada jaringan VoIP dan mengukur titik terjauh. Pengukuran jarak terjauh ini menggunakan aplikasi WiFi Analyzer yang telah terinstal pada smartphone, dimana aplikasi tersebut dapat menunjukkan -dB yaitu satuan redaman / pelemahan atau loss dari WiFi dan jarak terjauh jika -dB semakin banyak maka semakin jauh juga jarak antara user dan VoIP

Jarak (M)	Atenuasi (-dB)
1 m	-40
5 m	-54
10 m	-60
15 m	-65
20 m	-73

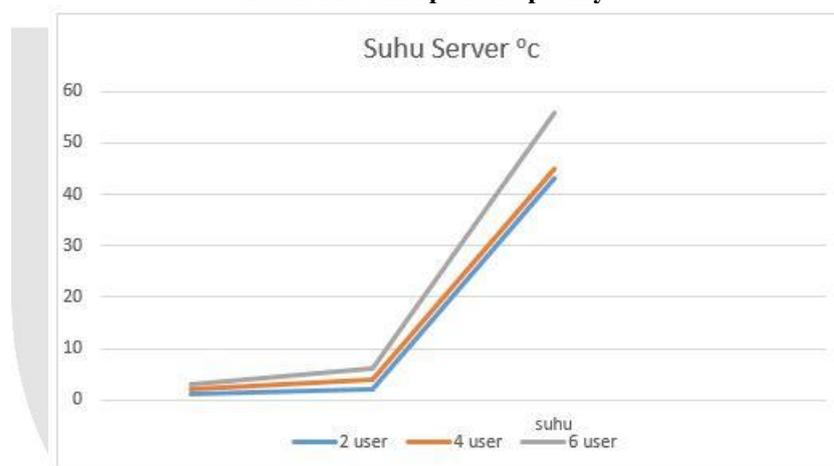
Tabel 4.9 pelemahan sinyal

4.4 Pengujian Suhu Pada Raspberry Pi

Pengujian dan pengambilan data dilakukan pada terminal dengan mengetik command "vcgencmd measure temp"

Panggilan yang aktif	Jumlah User Client	Suhu Raspberry Pi
1	2	43.2° c
2	4	45.6° c
3	6	53.2° c

Tabel 4.10 suhu pada raspberry



Gambar 3.16 grafik suhu pada raspberry

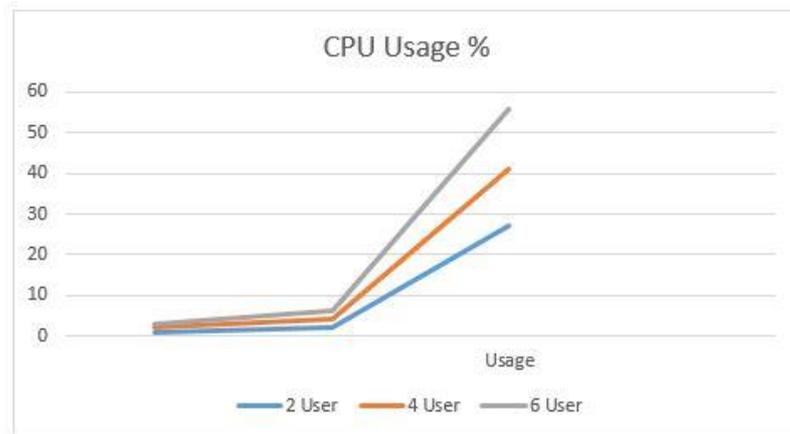
Dari tabel dan grafik diatas bisa dilihat dengan jumlah user 2 sampai dengan 6 yang sedang melakukan panggilan aktif dapat mempengaruhi suhu server, semakin banyak panggilan aktif, semakin besar juga suhu servernya, dalam kasus ini suhu terkecil bernilai 43°c dan yang terbesar bernilai 53.2°c.

4.5 Pengujian CPU Usage Pada Raspberry Pi

Pengujian cpu usage pada raspberry bisa dilakukan pada FreePBX dan terminal di raspberry pi dengan mengetik command 'top'.

Panggilan yang aktif	Jumlah User Client	CPU Usage
1	2	27%
2	4	41%
3	6	56%

Tabel 4.11 cpu usage pada raspberry



Gambar 3.17 grafik cpu usage pada raspberry

Dari tabel dan grafik diatas bisa dilihat dengan jumlah user 2 sampai dengan 6 yang sedang melakukan panggilan aktif dapat mempengaruhi CPU Usage, semakin banyak panggilan aktif, semakin besar juga CPU Usage nya, dalam kasus ini usage terkecil bernilai 27% dan yang terbesar bernilai 56%.

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan dari hasil implementasi, pengujian dan analisis jaringan VoIP pada MANET menggunakan raspberry dapat disimpulkan bahwa VoIP dapat berjalan pada mobile ad hoc network (MANET) dari voice call maupun video call.
2. Packet loss indoor maupun outdoor pada GSM bernilai 0%
3. Packet loss pada outdoor bernilai 0%, tetapi pada jarak 15m indoor bernilai 0.08936%
4. Delay paling besar terjadi pada GSM dibanding H264 pada jarak 15m, sebesar 0.0176549 s
5. pengujian voice dan video di indoor (1 obstacle) maupun outdoor (free space) dengan semua pengujian jarak. Dikatakan baik jika berada range delay 0-150 ms. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kualitas komunikasi yang dihasilkan aplikasi VoIP di dalam jaringan MANET memiliki kualitas yang baik.
6. Packet loss yang dihasilkan pada pengujian baik indoor maupun outdoor berada pada range 0% - 1%, ITU-T menetapkan bahwa standard packet loss yang untuk layanan aplikasi VoIP adalah < 5%. Hal tersebut menunjukkan bahwa packet loss yang dihasilkan masih berada pada batas yang ditentukan dan bisa dikatakan baik.
7. Dari semua parameter QoS yang diukur, terlihat bahwa performa kualitas QoS terbaik ada pada outdoor

5.2 Saran

1. Diharapkan kedepan nya ditambahkan software untuk analisis topologi jaringan karena implementasi jaringan MANET tidak memiliki topologi yang tetap.
2. Implementasi ini hanya menggunakan 2 node saja, diharapkan untuk dicoba dengan node yang lebih banyak lagi.
3. Jaringan ini masih menggunakan IPv4 dalam implementasi nya, untuk kedepan nya coba untuk menggunakan IPv6.
4. Diharapkan kedepan nya untuk dicoba menggunakan berbagai protokol routing.

Daftar Pustaka:

- [1] Cisco. How Voice Over IP (VoIP) Works [Online]. http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small_business/resource_center/articles/serve_customers_better/how_voip_works/index.html., Diakses Februari 25, 2019., Jam 12:30 WIB.
- [2] How to VoIP Works [Online]. http://www.dfwbusinessphonesystems.com/wp-content/uploads/2014/11/how_voip_works.jpg., Diakses januari 20, 2019., jam 08.20 WIB.
- [3] What is a Raspberry Pi? [Online]. <https://www.raspberrypi.org/help/what-%20is-a-raspberry-pi/>., Diakses november 20, 2018., jam 08.20 WIB.
- [4] RasPBX. Asterisk for Raspberry Pi [Online]. <http://www.raspberry-asterisk.org/>., Diakses Desember 12, 2018., Jam 09:00 WIB.
- [5] Asterisk. About Asterisk [Online]. <http://www.voip-info.org/wiki/view/Asterisk>., Diakses januari 10, 2019., Jam 21:30 WIB.
- [6] Client App/Softphone [Online]. <https://www.portsip.com/about/>., Diakses Maret 29, 2019., Jam 16:20 WIB.
- [7] ADC (Analog To Digital Converter) Elektronika Digital [Online]., <http://zoniaelektro.net/adc-analog-to-digital-converter/> ., Diakses Mei 12, 2019 ., Jam 22.20
- [8] MANET: Mobile Ad hoc Network [Online] ., <https://www.geeksforgeeks.org/manet-mobile-ad-hoc-network/> ., Diakses Februari 13, 2019 ., Jam 10:30
- [9] About Wireshark [Online] ., <https://www.wireshark.org/index.html#aboutWS> ., Diakses januari 12 ., Jam 12:10
- [10] Session Initiation Protocol [Online] ., <https://www.voipmechanic.com/sip-basics.htm> ., Diakses Februari 7, 2019 ., Jam 12.30.
- [11] Suryawan, K. D., Husni, M., & Anggraini, E. L. (2012). Analisis Layanan Kinerja Jaringan Voip Pada Protokol Srtip Dan Vpn. Analisis Layanan Kinerja Jaringan Voip Pada Protokol Srtip Dan Vpn.
- [12] Voip QOS Info [online]. <https://www.voip-info.org/qos/> . diakses Maret 13, 2019 ., jam 11.10
- [13] The "Free" Stands for Freedom [online]. <https://www.freepbx.org/> . diakses 21 maret 2019 jam 10.20
- [14] Ramadhan, Dadan Nur, Hafidudin & Ahmad Sven Heddin Timoryansyah (2015). Implementasi Voip Server Dengan Menggunakan Mini