

ANALISIS PROTOKOL ROUTING OSPF (OPEN SHORTEST PATH FIRST) PADA WIRELESS MESH NETWORK DALAM KASUS TRAFFIC DATA VOICE

Sofri Nada Cristanto¹, Rakhmadhany Primananda², Sabriansyah Rizqika Akbar³

¹Mahasiswa Program Studi Informatika/Ilmu Komputer Universitas Brawijaya

^{2,3}Dosen Program Studi Informatika/Ilmu Komputer Universitas Brawijaya

Program Studi Informatika/Ilmu Komputer
Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer
Universitas Brawijaya

Jalan Veteran Malang 65145, Indonesia

Email: ¹sofrinada@gmail.com, ²rakhmadhany@gmail.com, ³sabrian@ub.ac.id

ABSTRAK

Dunia Jaringan Internet saat ini sudah sangat berkembang pesat, terbukti dengan adanya jaringan dimana-mana. *Mesh Network* adalah salah satu topologi yang sering dapat kita jumpai seperti yang digunakan beberapa perusahaan besar dan bahkan dengan alasan tertentu *mesh* adalah solusi dari permasalahan jaringan. *Wireless Mesh Network* adalah kumpulan dari akses point berupa *mobile ad hoc network* yang saling terhubung dan secara luas merupakan solusi dari permasalahan jaringan secara global. *Wireless Mesh Network* secara pesat berkembang dan pada penerapannya dapat dikaitkan dengan protokol routing seperti OSPF. Protokol routing OSPF adalah protokol routing yang memberikan *rule* untuk mengirimkan paket data berdasarkan kepadatan *traffic*, dan bukan jarak antar *hop* dengan menggunakan algoritma *link-state*. Menggunakan dua kualitas suara dari parameter uji berupa *voice* yakni *high quality* (GSM) dan *low quality* (PCM) memberikan perbandingan hasil dalam simulasi untuk menguji banyaknya paket yang hilang selama proses transmisi data. Penelitian penulis menggunakan simulasi dari topologi WMN dengan protokol routing OSPF untuk menguji *traffic data voice* karena *voice* sangat rentan terhadap paket *loss*. Hasilnya adalah memang terjadi *loss* dan paket mengalami penundaan atau *delay* selama 2 detik, selain *delay* juga terdapat 10% persen data yang hilang selama proses transmisi.

Kata kunci: *Wireless Mesh Network, OSPF, Voice*

ABSTRACT

Network World Internet now is growing rapidly, as evidenced by the presence of a part of network everywhere. Mesh Network topology is one that often can be encountered as used several large companies and even for certain reasons mesh is the solution of network problems. Wireless Mesh Network is a collection of the access point in the form of a mobile ad hoc network of interconnected and broadly the solution of problems of a global network. Wireless Mesh Network is rapidly evolving and the applicability can be associated with routing protocols such as OSPF. OSPF routing protocol is a routing protocol that provides a rule to transmit data packets based on traffic density, and not the distance between hop by using a link-state algorithm. Using two drive quality sound of the test parameters such as the high quality of voice (GSM) and low quality (PCM) provide a comparison of the results in simulation to test the number of packets lost during data transmission. The study authors used a simulation of WMN topology with the OSPF routing protocol to test the voice data for voice traffic are highly susceptible to packet loss. The result is indeed happening and packet loss or delay delayed for 2 seconds, in addition to the delay also happened 10% percent of data lost during transmission.

Keywords: *Wireless Mesh Network, OSPF, Voice*

1. PENDAHULUAN

Pendahuluan akan membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah dan batasan masalah.

1.1 Latar Belakang

Dunia Jaringan Internet saat ini sudah sangat berkembang pesat, terbukti dengan adanya jaringan dimana-mana. *Mesh Network* adalah salah satu topologi yang sering dapat kita jumpai seperti yang digunakan

beberapa perusahaan besar dan bahkan dengan alasan tertentu *mesh* adalah solusi dari permasalahan jaringan. *Wireless Mesh Network* secara luas merupakan solusi dari permasalahan jaringan secara global karena berhasil menyediakan akses internet hingga ke pengguna *mobile* (Baumann, 2007). *Wireless Mesh Network* secara pesat berkembang dan pada penerapannya dapat dikaitkan dengan protokol routing seperti OSPF. Keterkaitan tersebut dapat dilihat dari beberapa teknologi yang memiliki konsep seperti *mobile*

ad hoc, atau MANET selain itu teknologi saat ini juga memungkinkan OSPF untuk menyediakan tambahan-tambahan dalam proses *developing* (Fuertes, 2012). OSPF adalah *link-state algorithm*, dimana algoritma ini lebih mementingkan jalur dengan *traffic* yang rendah dibandingkan jarak antar *hop*.

Praktik untuk efisiensi *Routing* dalam Jaringan Internet membutuhkan beberapa parameter yang mendukung agar dalam kasus ini aliran data dapat berjalan maksimal. Dalam teknologi *mesh* yang berbentuk seperti jala atau jaring, semua node saat terhubung satu sama lain. Dalam jaringan yang berbentuk jala, tiap node atau routernya harus bersifat dinamis, karena dalam hal tersebut memungkinkan router untuk memilih sendiri jalur routinnya dengan pertimbangan apakah jalur yang akan dia hadapi padat atau tidak, setelah itu router akan mempertimbangkan jalur dengan *traffic* terendah untuk mengirim paket ke tujuan. OSPF adalah protokol yang cocok untuk hal tersebut, karena pada dasarnya OSPF sendiri bersifat dinamis dan dapat diimplementasikan untuk kasus seperti ini dan OSPF menggunakan *mesh point to point* untuk simulasi pada network (Alwan, 2006).

OSPF sendiri memiliki beberapa kelebihan yaitu menggunakan algoritma *link-state* yang memungkinkan untuk dapat digunakan dalam tipe *router* seperti *Host*, *Network* dan *Subnetwork routes*. (Bahl, 2012). Menggunakan OSPF untuk topologi berbentuk *Mesh* seperti *Wireless Mesh Network* dapat dilakukan mengingat OSPF sendiri adalah protokol routing yang bersifat *link-state* yang merepresentasikan topologi jaringan secara penuh dan dapat membantu *network partitioning* dalam beberapa *routing area* untuk satu *internetwork* secara penuh (Fuertes, 2012).

Proses analisis tentunya juga harus terdapat data yang diuji didalamnya, data uji tersebut dapat berupa QoS dan waktu konvergensi, data uji tersebut memiliki beberapa parameter untuk dianalisis didalam QoS seperti *delay*, *jitter*, dan *packet loss*. Dalam prosesnya, parameter tersebut merupakan permasalahan yang menghasilkan hasil data analitik yang dapat menghasilkan kesimpulan berupa efisiensi routing. Proses pengujian dapat menggunakan media *voice* karena dapat dijadikan sebagai sarana atau parameter uji dalam scenario pengujian. Pengujian dilakukan terhadap *wireless mesh network* dengan protokol routing OSPF. Penggunaan *voice* dirasa tepat karena *voice* memiliki sifat yang rentan terhadap *loss* dan *delay*. Dari *loss* dan *delay* tersebut dapat terlihat kinerja dari protokol *routing* dalam proses transmisi data *voice* tersebut didalam topologi *wireless mesh network*. Selain *loss* dan *delay*, *voice* juga dapat digunakan sebagai sarana uji untuk menentukan nilai efisien dari parameter QoS yang akan diuji.

Perbandingan yang dilakukan untuk analisis dalam pengujian adalah kualitas data dari *voice*, terdapat 2 kualitas data yakni GSM dan PCM. GSM adalah singkatan dari Global System for Mobile Communication, yakni sebuah teknologi komunikasi seluler atau berbasis mobile yang bersifat digital. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai kepada tujuan, GSM dijadikan sebagai standard komunikasi global untuk seluler. Sedangkan PCM adalah singkatan dari Pulse Code Modulation, yakni bentuk representasi digital dari sinyal suara analog. PCM digunakan sebagai parameter uji karena kualitasnya yang berada dibawah GSM. Permasalahan sendiri terdapat pada topologi *mesh network* karena bentuknya yang rumit dan sulit dikontrol, namun pada penerapannya, topologi *mesh* yang mensimulasikan ke setiap *router* yang memiliki protokol routing masing-masing akan menjadikan proses routing menjadi efisien karena tiap *node* akan mengetahui kemana jalur terbaik untuk mengirimkan pakatnya hingga sampai ke tujuan apabila diterapkan pada topologi berbentuk *mesh* seperti yang telah dijelaskan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan mensimulasikan protokol *routing OSPF* pada topologi *Wireless Mesh Network*?
2. Bagaimana mensimulasikan tipe data *voice* sebagai sarana pengujian dalam topologi WMN dan protocol routing OSPF dalam proses pengiriman data?
3. Bagaimana hasil pengujian dari parameter QoS dan waktu konvergensi terhadap topologi tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Hasil analisis sepenuhnya berada dalam ruang lingkup simulator OPNET
2. Penelitian ini menggunakan satu topologi saja yaitu *Wireless Mesh Network*
3. Parameter-parameter yang digunakan dalam proses pengujian yaitu menggunakan QoS dan Waktu Konvergensi
4. Skema uji berupa scenario dengan jumlah *router* yang berbeda yang menerapkan modul *voice* dan mensimulasikan protokol *routing OSPF* di dalam simulator

2. LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Protokol OSPF (Open Shortest Path First)

OSPF merupakan sebuah protokol routing yang hanya bekerja pada jaringan internal suatu organisasi atau perusahaan. Maksud jaringan internal yaitu dimana Anda masih memiliki hak untuk mengatur atau memodifikasinya. Atau dengan kata lain, Anda masih memiliki hak administrasi terhadap jaringan tersebut. Jika Anda sudah tidak memiliki hak untuk menggunakan dan mengaturnya, maka jaringan tersebut dapat dikategorikan sebagai jaringan eksternal. OSPF merupakan routing protokol yang menggunakan konsep hirarki routing, artinya OSPF membagi-bagi jaringan menjadi beberapa tingkatan. Tingkatan-tingkatan ini diwujudkan dengan menggunakan sistem pengelompokan area. Dengan menggunakan konsep hirarki routing ini sistem penyebaran informasinya menjadi lebih teratur dan tersegmentasi, tidak menyebar ke sana ke mari dengan sembarangan.

Teknologi yang digunakan oleh routing protokol ini adalah teknologi link-state yang memang didesain untuk bekerja dengan sangat efisien dalam proses pengiriman update informasi rute. Hal ini membuat routing protokol OSPF menjadi sangat cocok untuk terus dikembangkan menjadi network berskala besar. Pengguna OSPF biasanya adalah para administrator jaringan berskala sedang sampai besar. Jaringan dengan jumlah router lebih dari sepuluh buah, dengan banyak lokasi-lokasi remote yang perlu juga dijangkau dari pusat, dengan jumlah pengguna jaringan lebih dari lima ratus perangkat komputer, mungkin sudah layak menggunakan routing protocol ini.

2.1.1 Topologi WMN (Wireless Mesh Network)

Wireless Mesh Network atau WMN adalah jenis dari topologi jaringan yang memiliki node yang saling tergabung dan tidak hanya menerima atau mengirim data dari sumbernya, tapi juga berfungsi sebagai relay atau media *transmitter* untuk node lain dalam proses pengiriman data. Topologi yang digunakan dalam jaringan ini adalah topologi mesh (Atlantic, 2014). Kedudukan dari setiap node adalah setara, tidak ada node utama/pusat dan tidak ada yang bertindak sebagai pelayan dari atasannya sehingga setiap node bertindak sebagai sumber atau *source* dan *sink* dari lalu lintas jaringan (Methley, 2009). Komponen penyusun dari Wireless Mesh Network terdiri dari dua tipe node yaitu mesh router dan mesh client. Mesh router merupakan perangkat jaringan yang tidak hanya berfungsi sebagai gateway/bridge seperti pada wireless router, namun juga memiliki fungsi routing tambahan untuk mendukung jaringan mesh. Perangkat yang mendukung sebagai mesh router dapat berupa wireless router, embedded system, laptop, dan dekstop

PC. Sedangkan mesh client merupakan perangkat pengguna yang juga dapat difungsikan sebagai router, namun dengan spesifikasi yang lebih sederhana dibanding mesh router. Perangkat yang mendukung sebagai mesh client dapat berupa laptop, dekstop PC, smartphone, RFID reader, dll (Akyildiz & Xudong, 2005).

2.1.2 Parameter QoS (Quality of Service)

Parameter Quality of Service merupakan indikator untuk menampilkan hasil dari proses analisis. Parameter tersebut digunakan untuk proses pengujian. Beberapa parameter QoS dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Throughput

Throughput adalah kecepatan atau *rate* dari data transfer yang diukur dalam *bit per second* (bps) yang sampai secara akurat atau efektif ke tujuan. Rumus dari *throughput* yaitu :

$$\text{Throughput} = \frac{P_{received}}{T_{total}} \dots\dots\dots \text{(Rumus 1)}$$

Dengan kata lain, (Yekti, 2012) mendefinisikan bahwa *throughput* dapat dihitung dari jumlah data yang sampai ke *node* tujuan dibagi dengan total data yang dikirim dari *source* atau sumber.

b. Jitter

Jitter adalah variasi dari paket yang datang yang disebabkan oleh panjang antrian atau *queue*, dan pengaruh dari waktu respon dalam penyusunan ulang paket hingga sampai di *node* tujuan. Jitter memiliki keterkaitan terhadap *latency* yang menunjukkan seberapa banyak *delay* pada saat transmisi data di dalam jaringan. Penyebab *jitter* juga dapat dipengaruhi oleh *delay* yang terjadi pada switch dan *router*.

c. Packet Loss

Packet loss adalah perhitungan dari berapa paket data yang hilang selama proses pengiriman data. Hal tersebut dapat terjadi karena *collision* atau peristiwa tabrakan antar data dan *congestion* atau antrian dalam pengiriman data pada jaringan. Jika terjadi *packet loss* maka jaringan akan melakukan pengiriman ulang data dan dapat berpengaruh pada tingkat efisiensi pengiriman paket data. *Packet loss* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Rasio Packet Loss} = \frac{\text{Paket dikirim} - \text{Paket diterima}}{\text{Paket dikirim}} * 100 \% \dots\dots\dots \text{(Rumus 2)}$$

Dengan kata lain, hasil rasio dari *packet loss* adalah selisih antara jumlah paket yang dikirim dan diterima ke tujuan, dibagi dengan jumlah paket diterima, lalu diprosentasikan dalam satuan persen (Widi, 2014).

d. Delay

Delay adalah gangguan dalam proses transmisi yaitu berupa terlambatnya paket tersebut datang ke



tujuan. Delay juga dapat diartikan bahwa dalam sebuah jaringan, paket yang dikirim memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai tujuan karena adanya antrian yang panjang (Yekti, 2012). Delay memiliki dampak yang cukup penting bagi *client*, dimana nilainya bergantung kepada jenis layanan. Delay dapat mempengaruhi parameter QoS yang lain seperti *throughput* dan *jitter*.

e. Waktu Konvergensi

Waktu konvergensi adalah waktu yang dibutuhkan jaringan untuk menyesuaikan tabel *routing* jika terjadi permasalahan berupa *down* pada satu atau beberapa router yang menimbulkan perubahan informasi routing. Konvergensi juga merupakan sebuah keadaan beberapa router yang memiliki informasi topologi yang sama mengenai *internetwork* dimana mereka beroperasi, konvergensi adalah proses penting dalam keadaan routing dinamis agar pemahaman antar router dapat disamakan sehingga tidak menimbulkan kerancuan dalam topologi.

2.2 OPNET

Penelitian ini difokuskan untuk membuat sebuah simulator yang berjalan dengan mengimplementasikan protokol OSPF di dalam topologi *mesh network*, dalam proses pengukuran dan analisis efisiensi routing. Di dalam simulator, dikatakan routing telah mencapai hasil yang efisien adalah apabila dalam simulator tersebut proses pengiriman paket data tidak melebihi batas-batas nilai dari parameter yang ditentukan yaitu QoS, *routing overhead*, dan waktu konvergensi. Dengan menggunakan OPNET, peneliti membuat topologi yang dimaksud. Topologi yang dibuat adalah *Wireless Mesh Network* dimana elemen dalam topologi tersebut adalah *wireless router* dan *wireless client*. Kedua entitas tersebut akan dijadikan perbandingan juga dalam skenario yakni perbandingan jumlah *router* dan *client*. Entitas lain dalam topologi adalah *switch* dan *server*. Kedua entitas ini hanya bersifat menerima transmisi data dari keseluruhan *router* dan *client*, kedua entitas tersebut tidak dibandingkan. Semua entitas dipetakan sehingga membentuk arsitektur *wireless mesh network* secara keseluruhan.

2.3 Voice

Voice adalah parameter uji yang rentan untuk loss. Selain itu voice juga parameter yang cocok digunakan untuk pengiriman antar router secara wireless karena sangat rentan untuk terkena delay dan loss ketika

melewati proses transmisi antar wireless router. Selain hal tersebut, performa voice dalam teknologi wireless juga sangat dipengaruhi oleh jarak dan tipe dari link. Karena menggunakan wireless, maka link yang digunakan tentu adalah udara, maka dari itu untuk teknologi wireless mesh network adalah jarak yang dapat membuat konerja dan hasil dari performa *voice* memiliki perbedaan dan dapat digunakan untuk parameter uji. Jarak yang dimaksud adalah jarak antar router. Jarak antara satu router dengan router yang lainnya yang memiliki kerapatan berbeda-beda juga mempengaruhi kecepatan transmisi dari *voice*.

2.4 Codec

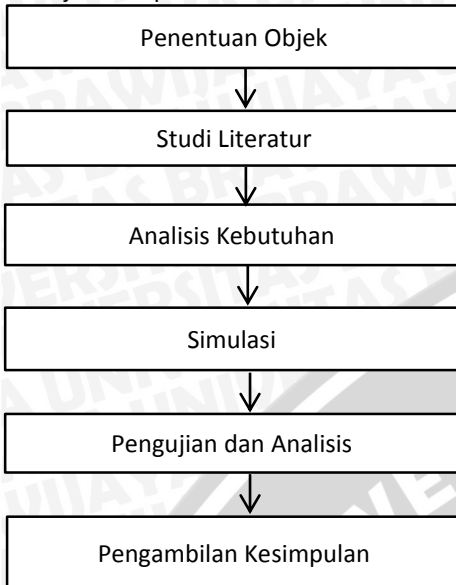
Codec merupakan istilah dari *code / decode* yang memiliki fungsi untuk mengkompres dan mengekstrak file berupa media seperti audio atau video. Codec mengubah data ke dalam bentuk lain untuk disimpan dan ditransmisikan dan mengubahnya kembali agar dapat digunakan. Dalam penelitian ini, *codec* adalah cara untuk mengkompres file berupa *voice* ke dalam ukuran yang dapat diatur sehingga dapat mempermudah proses transmisi data pada suatu topologi dalam jaringan. Penelitian ini menggunakan *codec* G.711 yang merupakan standard dari ITU (*International Telecommunication Union*) untuk *audio companding*, dimana dalam proses tersebut *codec* akan mengurangi efek merugikan dari saluran suara dengan rentang yang terbatas. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan hasil yang lebih jernih setelah proses transmisi selesai. G.711 digunakan karena secara formal merupakan *default application* dari PCM. Dalam frekuensi *voice*. G.711 adalah *codecyang* cocok untuk skema perbandingan transmisi data dalam penelitian untuk perbandingan GSM dan PCM. G.711 adalah *codec* yang menghasilkan suara dalam kualitas 64 kbits/sec dan melewati sinyal *audio* di kisaran 300 – 3.400 Hz.

3. METODOLOGI

Metodologi akan membahas metode atau langkah-langkah yang akan digunakan dalam proses simulasi dari beberapa skenario mengenai uji *voice* dalam topologi WMN yang menggunakan protokol *routing* OSPF.

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

Berdasarkan bagan pada Gambar 3.1, tahapan penelitian skripsi dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Menentukan objek yang akan diteliti dan diuji
2. Mengumpulkan literatur yang terkait dan mempelajari metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian skripsi ini
3. Melakukan analisis terhadap kebutuhan system
4. Melakukan perancangan berupa pembuatan topologi dari system
5. Melakukan implementasi menggunakan simulator untuk proses scenario dan pengujian
6. Melakukan pengujian terhadap topologi dan protokol routing dari system
7. Pengambilan kesimpulan terhadap apa yang telah dianalisa dan diuji

3.2 Data Uji

Dalam penelitian ini, data berupa parameter uji QoS diperoleh dari hasil analisis. Penelitian ini melibatkan pengujian data *voice* dalam 6 skenario, yakni melibatkan jumlah *router*, skema kualitas *voice* yakni GSM (*high quality*) dan PCM (*Low Quality*).

3.3 Protokol yang digunakan

Penelitian ini menggunakan protokol *routing* OSPF (*Open Shortest Path First*) yang ditanamkan dalam topologi *Wireless Mesh Network* dan menerapkan scenario uji *voice* dengan kualitas dan jumlah *router* yang berbeda. Protokol tersebut menentukan hasil berupa grafik rata-rata dari penelitian yang dilakukan.

3.4 Kebutuhan Sistem

Kebutuhan sistem berguna untuk mengetahui terkait spesifikasi yang diperlukan dalam pembuatan sistem ini. Di mana kebutuhan-kebutuhan tersebut antara lain:

1. Kebutuhan Hardware, yaitu:
 - Laptop / PC
 - RAM 4,00 GB
2. Kebutuhan Software, yaitu:
 - Sistem Operasi Microsoft Windows 8.1
 - OPNET sebagai Simulator

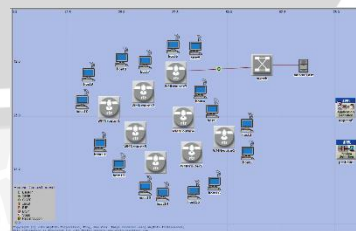
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Skenario Percobaan

Proses simulasi memiliki beberapa tahap, yaitu pembuatan topologi WMN terlebih dahulu, implementasi protokol *routing* OSPF, dan melakukan simulasi kasus pengiriman data berupa *voice* dengan dua keadaan untuk dibandingkan dalam satu topologi yang sama. Keadaan yang dimaksud yakni *voice* yang memiliki *load* tinggi (*Heavy / GSM Quality*) dan *voice* yang memiliki *load* yang rendah (*Light / PCM Quality*). Semua scenario *voice* diterapkan dalam ketiga keadaan topologi, yakni 8 *router*, 16 *router*, dan 32 *router*. Ketiga kondisi topologi tersebut masing-masing melaksanakan scenario uji *voice heavy* dan juga *light*. Skenario *voice* untuk pengujian juga memiliki setting *codec* yang sama yakni G.711 (*normal and silence*). Hasil yang diambil untuk dianalisa yakni berupa grafik *average* atau rata-rata dari tiap-tiap QoS dan waktu konvergensi. Perbandingan dianalisa dari perbedaan *load heavy* dan *light* untuk tiap-tiap jumlah *router* dan juga hasil dari QoS yang berbeda-beda dari tiap *router*.

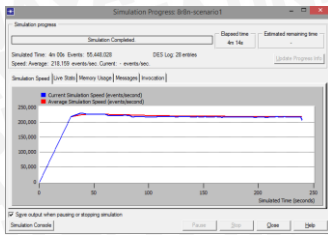
Skenario dijelaskan tiap-tiap point dan dibagi menjadi 3 point utama yakni 8, 16 dan 32 dengan masing-masing point dibagi lagi menjadi dua sub point yaitu GSM dan PCM. Tiap scenario akan menampilkan grafik hasil rata-rata sehingga dapat langsung dilakukan analisa. Skenario yang dimaksud merupakan pengujian dari penelitian dengan menggunakan tipe data berupa *voice* yang memiliki dua kualitas suara yaitu GSM dan PCM.

• Skenario 8 *router* 16 *client* kualitas GSM (*High*)



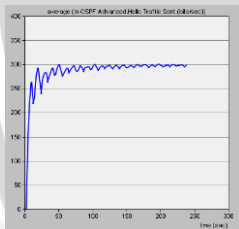
Gambar 4. 1 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 8 *router* dan 16 *client* / *host* yang saling terhubung, *switch*, dan *server* dari *voice*.

Topologi tersebut sudah disiapkan untuk scenario voice Heavy load (GSM quality)



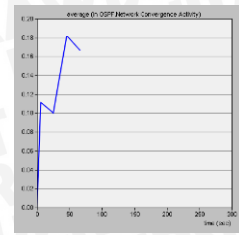
Gambar 4. 2 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 8 GSM yang diuji

Pada Gambar 4.2, selama proses run berlangsung, tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 8 *router* dan 16 *client* selama 4 menit *runtime* dengan scenario *Voice High Load (heavy)* :



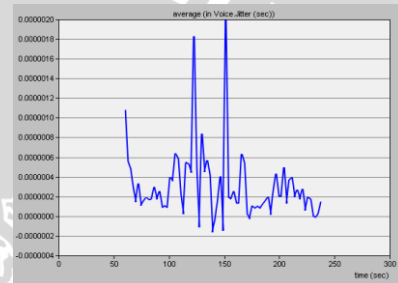
Gambar 4. 3 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

Grafik pada Gambar 4.3 tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 50 waktu *runtime*. *Hello Traffic* sendiri merupakan scenario dari protokol routing OSPF untuk mengetahui apakah *router* tetangga dari dirinya masih hidup dan mampu bekerjasama untuk mengirimkan paket. Caranya adalah dengan mengirimkan paket kecil berupa *hello messages* yang nantiya akan dibalas oleh *router* tetangga yang mendakan apakah dia masih hidup atau sudah *down*.



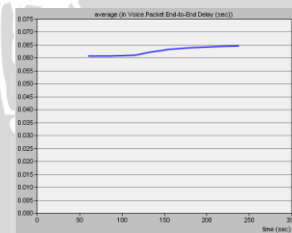
Gambar 4. 4 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

Grafik pada Gambar 4.4 tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat dan berhenti di detik ke 100 dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit. Konvergensi dalam simulasi ini adalah ketika *router* down dan network secara keseluruhan memerlukan waktu untuk mengatur ulang jalur pengiriman data sehingga tidak melewati *router* yang mati tersebut.



Gambar 4. 5 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

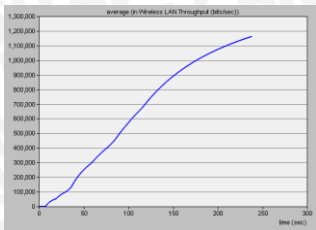
Fluktuasi jitter pada Gambar 4.5 dalam grafik tersebut menandakan bahwa terdapat variasi *delay* dalam topologi *Wireless Mesh Network*, sehingga besar atau kecilnya gangguan ini dalam topologi akan sangat berpengaruh terhadap proses pengiriman data.



Gambar 4. 6 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

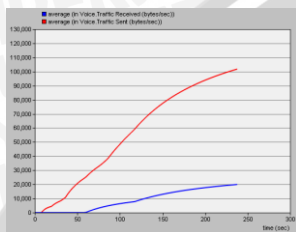
Pada Gambar 4.6 Grafik tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (*source*) ke tujuan (*destination*) setelah 50 detik waktu *runtime*.





Gambar 4. 7 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN

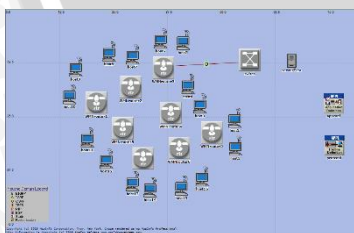
Grafik pada Gambar 4.7 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu runtime dan terus-menerus meningkat hingga detik ke 250 pengujian. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec).



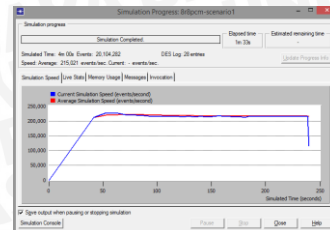
Gambar 4. 8 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

Grafik pada Gambar 4.8 Packet Loss tersebut menyatakan bahwa di dalam topologi terjadi fenomena data yang hilang karena router wireless menyebarkan paket data secara acak dalam protokol routing, sehingga banyak data yang hilang hingga detik ke 250 runtime terjadi 90.000 bytes packet loss. Hal ini merupakan fenomena yang normal terjadi mengingat paket dikirimkan secara nirkabel dan terdapat banyak router dan banyak host dalam topologi tersebut.

- Skenario 8 router 16 client kualitas PCM (Low)

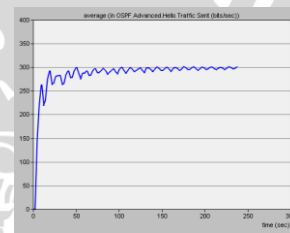


Gambar 4. 9 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 8 router dan 16 client / host yang saling terhubung, switch, dan server dari voice. Topologi tersebut sudah disiapkan untuk skenario voice Light load (PCM quality)



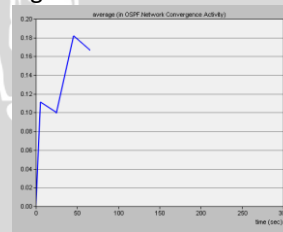
Gambar 4. 10 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 8 PCM yang diuji

Selama proses run berlangsung pada Gambar 4.10, tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 8 router dan 16 client selama 4 menit runtime dengan scenario Voice Low Load (light) :



Gambar 4. 11 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

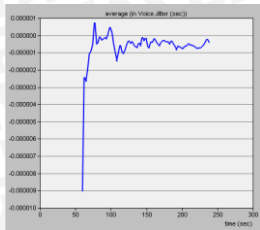
Grafik pada Gambar 4.11 tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 50 waktu runtime. Skema *hello packet* dari OSPF akan sama apabila dalam pengiriman data tidak ada kasus router yang *down*.



Gambar 4. 12 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

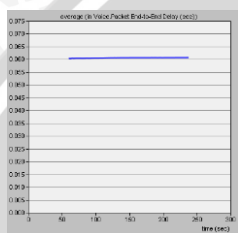
Grafik pada Gambar 4.12 tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat dan berhenti di detik ke 100 dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit.





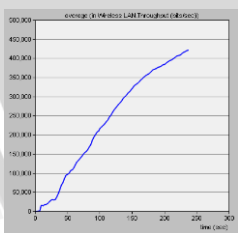
Gambar 4. 13 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

Dalam Gambar 4.13 tersebut terjadi perbedaan yang besar antara jitter dari skema PCM (low) jika dibandingkan dengan GSM (heavy). Jitter dalam grafik tersebut menandakan bahwa terdapat variasi delay dalam topologi Wireless Mesh Network, sehingga besar atau kecilnya gangguan ini dalam topologi akan sangat berpengaruh terhadap proses pengiriman data. Jitter meningkat drastis setelah detik ke 50 pengujian dan cenderung stabil setelah detik 100.



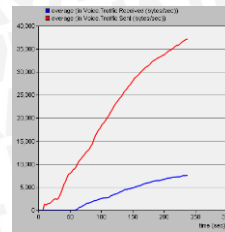
Gambar 4. 14 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

Grafik pada Gambar 4.14 tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (source) ke tujuan (destination) setelah 50 detik waktu runtime dan berlangsung secara konstan hingga detik ke 250 dalam nominal bilangan yang sama.



Gambar 4. 15 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN

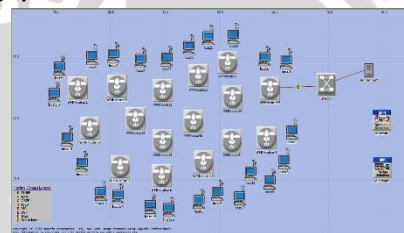
Grafik pada Gambar 4.15 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu runtime dan terus-menerus meningkat. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec).



Gambar 4. 16 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

Grafik pada Gambar 4.16 Packet Loss tersebut menyatakan bahwa di dalam topologi terjadi fenomena data yang hilang karena router wireless menyebarkan paket data secara acak dalam protokol routing, sehingga banyak data yang hilang sebanyak 30.000 bytes packet loss.

• **Skenario 16 router 24 client kualitas GSM (High)**



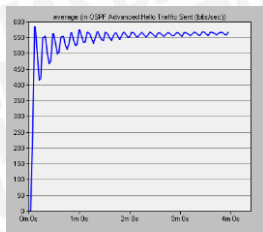
Gambar 4. 17 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 16 router dan 24 client / host yang saling terhubung, switch, dan server dari voice. Topologi tersebut sudah disiapkan untuk skenario voice Heavy load (GSM quality)



Gambar 4. 18 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 16 GSM yang diuji

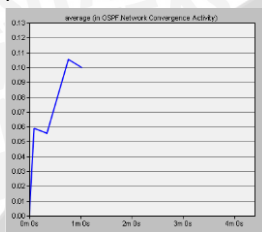
Selama proses run berlangsung pada **Gambar 4.18**, tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 16 *router* dan 24 *client* selama 4 menit *runtime* dengan skenario *Voice High Load (Heavy)* :





Gambar 4. 19 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

Grafik pada **Gambar 4.19** tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 0 waktu *runtime* atau langsung naik drastis sejak awal dijalankan. Skema *hello packet* dari OSPF berbeda karena jumlah elemen dalam jaringan lebih banyak, yakni terdapat penambahan *router* dan penambahan *client*.



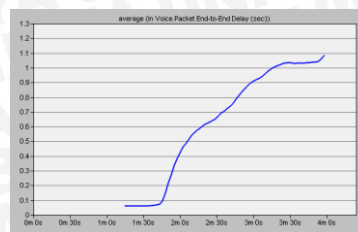
Gambar 4. 20 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

Grafik pada **Gambar 4.20** tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat sejak perama dijalankan dan berhenti di menit pertama dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit. Hal ini berbeda dari pengujian sebelumnya dimana hanya terdapat setengah elemen dari pengujian ini di dalam topologinya.



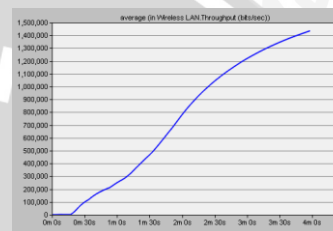
Gambar 4. 21 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

Dalam gambar 4.21 tersebut terjadi perbedaan yang besar antara jitter dari skema PCM (low) jika dibandingkan dengan GSM (heavy), dan bahkan dari pengujian sebelumnya. Jitter dalam grafik tersebut menandakan bahwa terdapat variasi delay dalam topologi Wireless Mesh Network, yang terjadi dari menit ke-1 hingga proses run selesai. Jitter dalam pengujian ini mengalami fluktuasi dari menit ke-2.



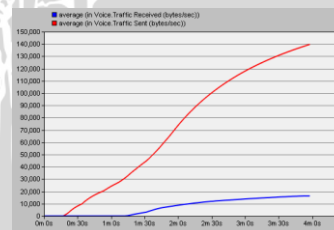
Gambar 4. 22 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

Grafik pada Gambar 4.22 tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (*source*) ke tujuan (*destination*) setelah menit ke-1 *runtime* dan berlangsung meningkat hingga menit terakhir dan terus meningkat. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas dari topologi tersebut, dimana elemen dari topologi mempengaruhi besarnya delay.



Gambar 4. 23 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN

Grafik pada Gambar 4.23 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu *runtime* dan terus-menerus meningkat. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec). Throughput terus meningkat hingga simulasi selesai selama 4 menit dengan mencapai jumlah maksimum 1.400.000 bits/second

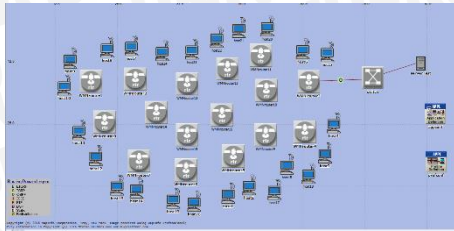


Gambar 4. 24 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

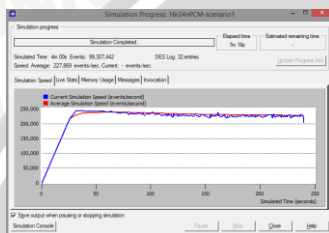
Grafik pada Gambar 4.24 tersebut menyatakan bahwa Packet Loss di dalam topologi terjadi fenomena data yang hilang karena *router wireless* menyebarkan paket data secara acak dalam protokol routing, sehingga terdapat 120.000 bytes/second yang hilang selama proses transmisi dalam waktu 4 menit.



- Skenario 16 router 24 client kualitas PCM (Low)

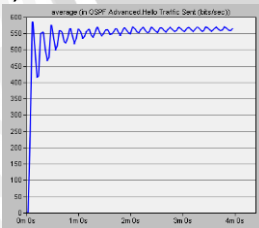


Gambar 4. 25 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 16 router dan 24 client / host yang saling terhubung, switch, dan server dari voice. Topologi tersebut sudah disiapkan untuk scenario voice Low load (PCM quality)



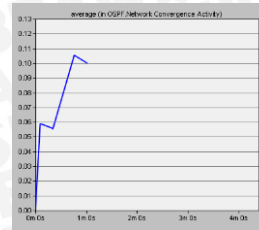
Gambar 4. 26 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 16 PCM yang diuji

Selama proses run berlangsung pada Gambar 2.26, tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 16 router dan 24 client selama 4 menit runtime dengan scenario Voice Low Load (Light) :



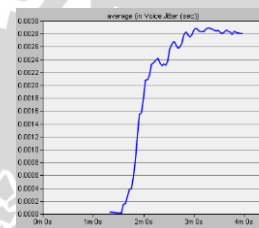
Gambar 4. 27 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

Grafik pada Gambar 2.27 tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 0 waktu runtime atau langsung naik drastis sejak awal dijalankan dan berlangsung cenderung konstan hingga akhir simulasi saat menit ke-4.



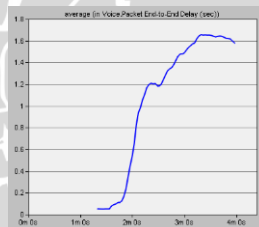
Gambar 4. 28 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

Grafik pada Gambar 2.28 tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat sejak perama dijalankan dan berhenti di menit pertama dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit.



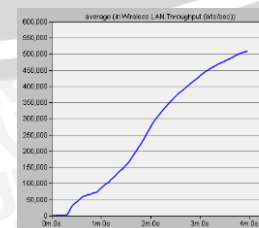
Gambar 4. 29 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

Dalam gambar 4.29 tersebut terjadi variasi delay sejak menit ke-1 dan terus meningkat secara drastis dari menit ke-2 hingga menit ke-4.



Gambar 4. 30 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

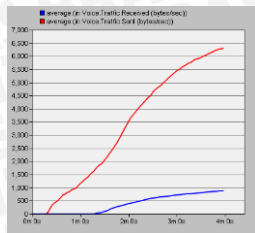
Grafik pada Gambar 4.30 tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (source) ke tujuan (destination) setelah menit ke-1 runtime dan berlangsung meningkat hingga menit terakhir dan terus meningkat hingga akhir simulasi.



Gambar 4. 31 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN



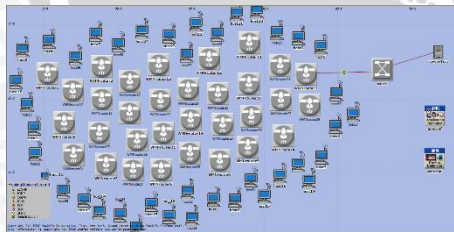
Grafik pada Gambar 4.31 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu runtime dan terus-menerus meningkat. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec). Jumlah throughput terus meningkat hingga simulasi selesai selama 4 menit dengan mencapai jumlah maksimum 500.000 bits/second, tidak sebesar paket pada GSM karena paket yang digunakan adalah low.



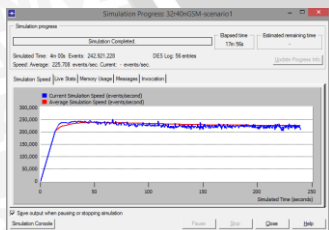
Gambar 4. 32 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

Grafik pada Gambar 4.32 Packet Loss tersebut menyatakan bahwa di dalam topologi terjadi fenomena data yang hilang karena router wireless menyebarkan paket data secara acak dalam protokol routing, sehingga terdapat 5.000 bytes/second yang hilang selama proses transmisi dalam waktu 4 menit.

- Skenario 32 router 40 client kualitas GSM (High)



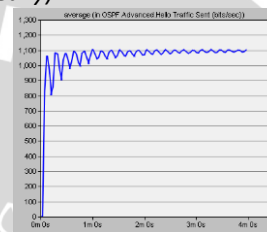
Gambar 4. 33 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 32 router dan 40 client / host yang saling terhubung, switch, dan server dari voice. Topologi tersebut sudah disiapkan untuk scenario voice High load (GSM quality)



Gambar 4. 34 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses

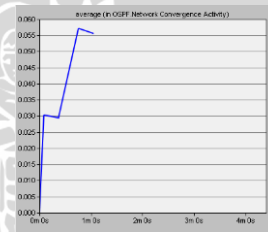
simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 32 GSM yang diuji

Selama proses run berlangsung pada Gambar 4.34, tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 32 router dan 40 client selama 4 menit runtime dengan scenario *Voice High Load (Heavy)* :



Gambar 4. 35 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

Grafik pada Gambar 4.35 tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 0 waktu runtime atau langsung naik drastis sejak awal dijalankan dan berlangsung cenderung konstan hingga akhir simulasi saat menit ke-4 dengan mencapai 1.100 bits/sec



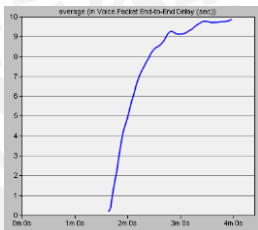
Gambar 4. 36 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

Grafik pada Gambar 4.36 tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat sejak perama dijalankan dan berhenti di menit pertama dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit.



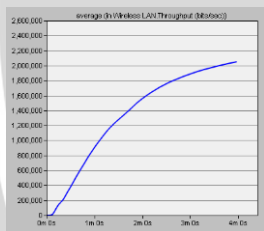
Gambar 4. 37 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

Dalam gambar 4.37 tersebut terjadi variasi delay yang terjadi saat memasuki menit ke-2.



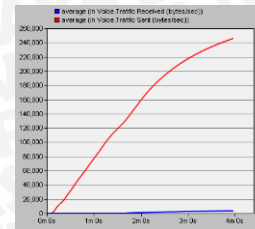
Gambar 4. 38 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

Grafik pada Gambar 4.38 tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (source) ke tujuan (destination) saat akan memasuki menit ke-2 runtime dan berlangsung meningkat hingga menit terakhir dan terus meningkat hingga akhir simulasi.



Gambar 4. 39 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN

Grafik pada Gambar 4.39 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu runtime dan terus-menerus meningkat. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec). Jumlah throughput terus meningkat hingga simulasi selesai selama 4 menit dengan mencapai jumlah maksimum 2.000.000 bits/second, angka ini termasuk besar karena elemen dalam topologi yang sangat banyak, kompleks, dan juga kualitas yang heavy dari voice.



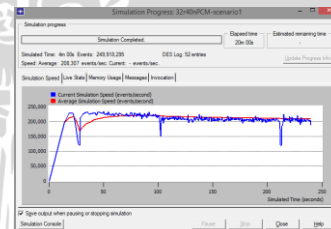
Gambar 4. 40 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

Grafik pada Gambar 4.40 Packet Loss tersebut menyatakan bahwa di dalam topologi terjadi skema *packet loss* yang besar karena mencapai lebih dari 240.000 bytes/second, hal ini disebabkan karena router wireless menyebarkan paket data secara acak dalam protokol routing dan kompleksitas yang sangat besar dari topologi tersebut.

- Skenario 32 router 40 client kualitas PCM (Low)



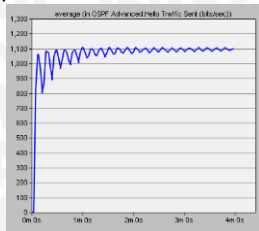
Gambar 4. 41 Bentuk topologi dari Wireless Mesh Network yang memiliki 32 router dan 40 client / host yang saling terhubung, switch, dan server dari voice. Topologi tersebut sudah disiapkan untuk scenario voice low load (PCM quality)



Gambar 4. 42 Runtime Simulator yang diset berjalan 4 menit dan menampilkan grafik pengerjaan dari proses simulasi tersebut dengan satuan (event/second) dari topologi 32 PCM yang diuji

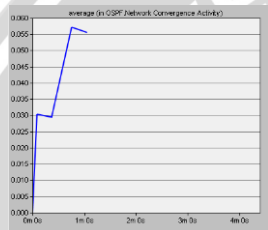
Selama proses run berlangsung pada Gambar 4.42 , tidak terjadi kesalahan atau *error messages*. Sehingga hasil dari proses simulasi dapat langsung digunakan untuk dianalisa. Hasil dari simulasi tersebut yang dijadikan parameter uji yakni grafik *average* dari *delay*, *jitter*, *routing convergence*, *packet loss*, dan *throughput*. Sehingga, dapat terlihat efisiensi dari penerapan protokol *routing* adalah ketika penyimpulan data analisa dari semua parameter uji tersebut. Berikut adalah grafik hasil dari pengujian topologi WMN dengan 32 router dan

40 client selama 4 menit runtime dengan scenario Voice Low Load (Light) :



Gambar 4. 43 Grafik average time dari OSPF Hello Traffic Sent (bits/sec)

Grafik pada **Gambar 4.43** tersebut menandakan aktivitas pengiriman *hello packet* berjalan stabil setelah detik ke 0 waktu *runtime* atau langsung naik drastis sejak awal dijalankan dan berlangsung cenderung konstan hingga akhir simulasi saat menit ke-4 dengan mencapai 1.100 bits/sec



Gambar 4. 44 Grafik average time dari OSPF Network Convergence

Grafik pada **Gambar 4.44** tersebut menandakan aktivitas dari waktu konvergensi dalam topologi tersebut juga berjalan meningkat sejak perama dijalankan dan berhenti di menit pertama dari pengujian yang berlangsung selama 4 menit.



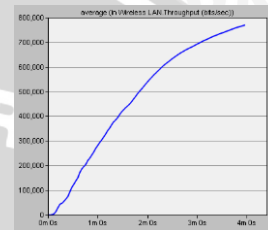
Gambar 4. 45 Grafik average time dari parameter uji Jitter dalam voice

Dalam gambar 4.45 tersebut terjadi variasi delay yang terjadi saat memasuki menit ke-2 dan berlangsung cenderung fluktuatif hingga menit ke-4.



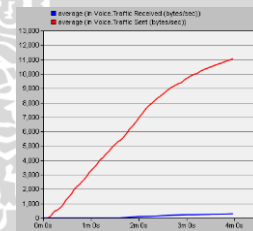
Gambar 4. 46 Grafik average time dari parameter uji end-to-end delay

Grafik pada Gambar 4.46 tersebut menyatakan terjadi penundaan pada waktu pengiriman dari sumber (source) ke tujuan (destination) saat akan memasuki menit ke-2 runtime dan meningkat hingga simulasi berakhir.



Gambar 4. 47 Grafik average time dari parameter uji Throughput dalam WMN

Grafik pada Gambar 4.47 tersebut menyatakan bahwa terjadi peningkatan transmisi data secara konstan sejak awal waktu runtime dan terus-menerus meningkat. Throughput dalam kasus ini merupakan data voice yang dikirim dalam satuan (bits/sec). Jumlah throughput terus meningkat hingga simulasi selesai selama 4 menit dengan mencapai jumlah maksimum hamper 800.000 bits/second



Gambar 4. 48 Grafik average time dari parameter uji Packet Loss

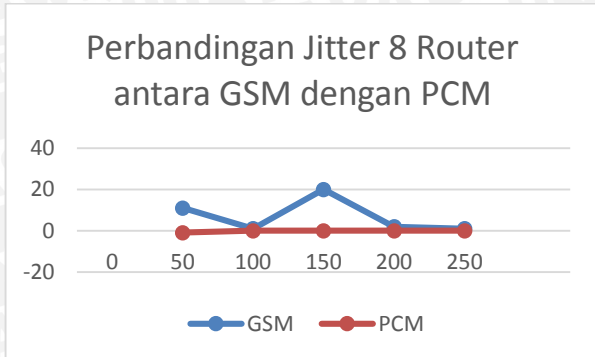
Grafik pada **Gambar 4.48** Packet Loss tersebut menyatakan bahwa di dalam topologi terjadi skema *packet loss* yang mencapai lebih dari 10.000 bytes/second, hal ini disebabkan karena kompleksitas yang sangat besar dari topologi tersebut.

4.2 Perbandingan GSM (High Quality) dan PCM (Low Quality) dalam WMN

4.2.1 Perbandingan Jitter

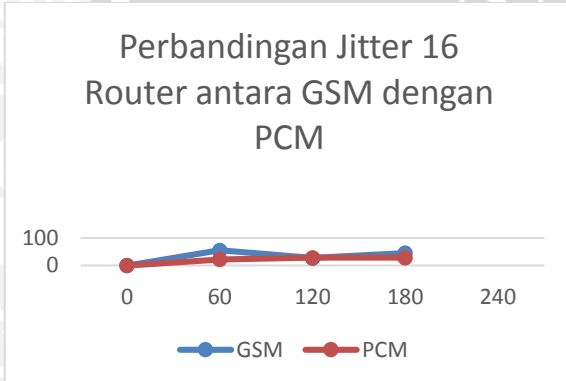
Topologi dalam jaringan memiliki 8, 16, dan 32 router beserta 16, 24, dan 40 client. Perbandingan

dinyatakan dalam satu kali waktu uji coba sehingga didapatkan interval atau jeda tiap 50 detik, *value* dari GSM maupun PCM diambil dari grafik *average jitter* dari simulator.



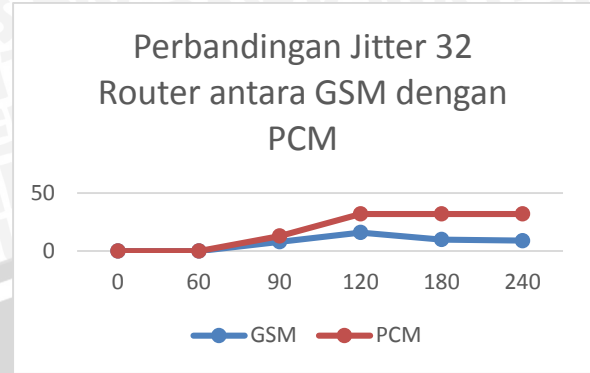
Gambar 4.49 Grafik perbandingan jitter dari topologi yang berisi 8 router dan 16 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.49** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *jitter* dalam kualitas PCM sangat rendah jika dibandingkan dengan GSM, dari skala nominal, PCM memiliki titik terendah yaitu -9, sedangkan GSM memiliki titik terendah 1, hal tersebut dapat terjadi karena kualitas data yang dikirimkan mempengaruhi kinerja dari system pengiriman data. Semakin bagus kualitasnya, maka kemungkinan untuk terjadi *jitter* atau variasi *delay* juga tinggi.



Gambar 4.50 Grafik perbandingan jitter dari topologi yang berisi 16 router dan 24 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.50** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *jitter* dalam dari topologi yang semakin kompleks dapat memiliki titik rendah yang sama, hal ini dibuktikan dari titik terendah *jitter* menunjukkan nominal 0 untuk GSM dan juga PCM. Hal tersebut dapat terjadi karena kompleksitas suatu jaringan yang meningkat juga menyebabkan variasi *delay* juga meningkat.

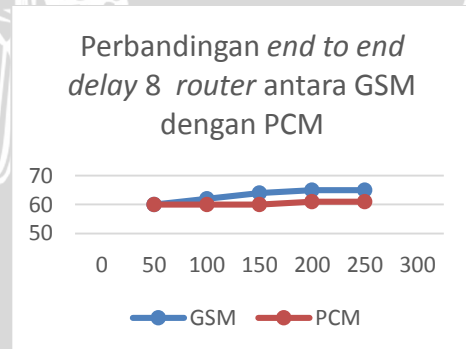


Gambar 4.51 Grafik perbandingan jitter dari topologi yang berisi 32 router dan 40 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.51** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *jitter* dalam dari topologi tersebut memiliki variasi yang berbeda, hal ini dapat diketahui dari bentuk grafik yang terbentuk antara GSM dan PCM. GSM memiliki titik rendah yang lebih tinggi daripada PCM yaitu 8, sedangkan titik rendah PCM adalah 5. *Jitter* dalam GSM cenderung menurun, sedangkan dalam PCM cenderung meningkat. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin kompleks lingkungan topologi, maka variasi dari *delay* juga akan berubah-ubah.

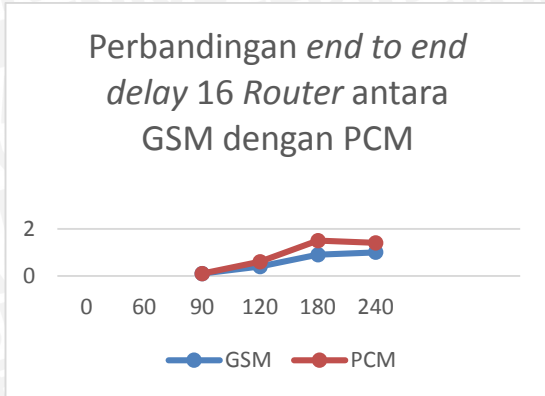
4.2.2 Perbandingan Delay (End to End Delay)

Topologi dalam jaringan memiliki 8, 16, dan 32 *router* beserta 16, 24, dan 40 *client*. Perbandingan dinyatakan dalam satu kali waktu uji coba sehingga didapatkan interval atau jeda tiap 50 detik, *value* dari GSM maupun PCM diambil dari grafik *average end to end delay* dari simulator.



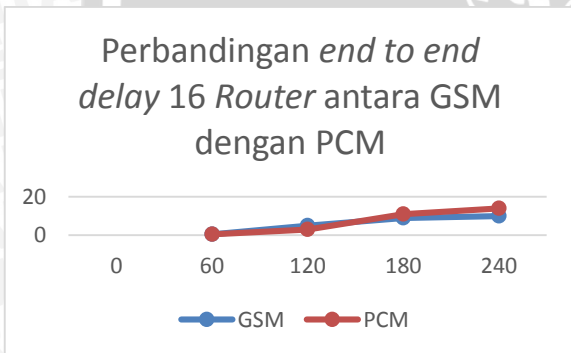
Gambar 4.52 Grafik perbandingan end to end delay dari topologi yang berisi 8 router dan 16 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.51** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *end to end delay* cenderung bersifat konstan atau datar. Hal tersebut dibuktikan dalam bentuk grafik yang lurus dalam rentang waktu 50 hingga 300 detik mengalami fluktuasi disekitar nominal 60 baik itu untuk GSM maupun PCM.



Gambar 4. 53 Grafik perbandingan end to end delay dari topologi yang berisi 16 router dan 24 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.53** yang dihasilkan dari gambar tersebut menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *end to end delay* cenderung bersifat konstan atau datar. Hal tersebut dibuktikan dalam bentuk grafik yang lurus dalam rentang waktu 90 hingga 240 detik mengalami fluktuasi disekitar nominal 0,1 hingga 1,5 baik itu untuk GSM maupun PCM.

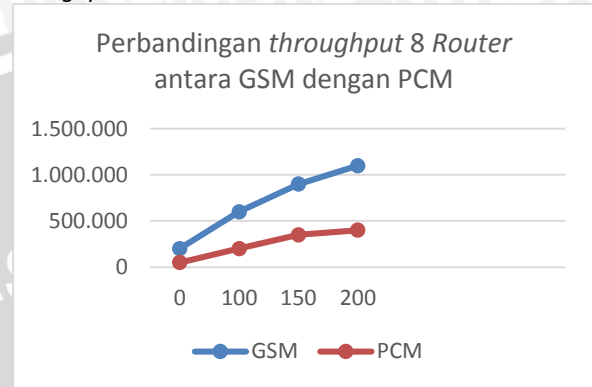


Gambar 4. 54 Grafik perbandingan end to end delay dari topologi yang berisi 32 router dan 40 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.54** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa *end to end delay* cenderung bersifat konstan atau datar dengan sedikit meningkat. Hal tersebut dibuktikan dalam bentuk grafik yang lurus dalam rentang waktu 60 hingga 240 detik mengalami fluktuasi disekitar nominal 1 hingga 14 baik itu untuk GSM maupun PCM dengan kenaikan nominal dialami oleh PCM sehingga mendapatkan nominal akhir 14, sedangkan GSM 10. Hal tersebut dapat terjadi karena lingkungan topologi yang sangat kompleks dengan 32 router yang menaungi 40 client sehingga *delay* yang tercipta sangat besar untuk skala *wireless mesh* yang besar juga.

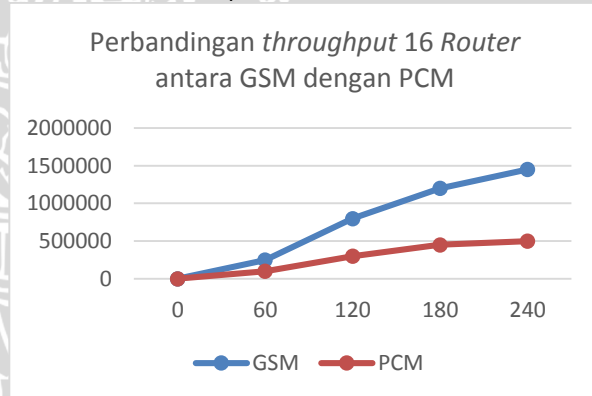
4.2.3 Perbandingan Throughput

Topologi dalam jaringan memiliki 8, 16, dan 32 router beserta 16, 24, dan 40 client. Perbandingan dinyatakan dalam satu kali waktu uji coba sehingga didapatkan interval atau jeda tiap 30 detik, *value* dari GSM maupun PCM diambil dari grafik *average throughput* dari simulator.



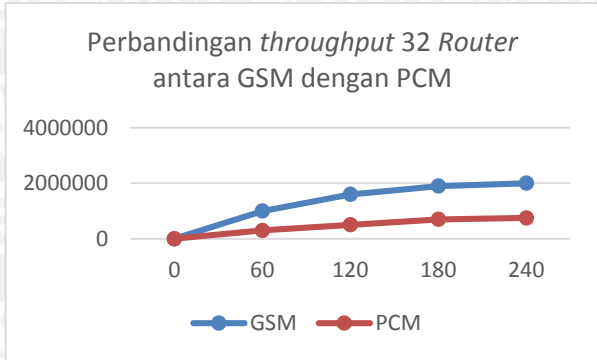
Gambar 4. 55 Grafik perbandingan throughput dari topologi yang berisi 8 router dan 16 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.55** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa besaran transmisi data berupa *throughput* akan terus naik dan bertambah dari awal hingga akhir simulasi. Besaran *throughput* pada GSM lebih besar daripada dari PCM.



Gambar 4. 56 Grafik perbandingan throughput dari topologi yang berisi 16 router dan 24 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.56** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa besaran transmisi data berupa *throughput* akan terus naik dan bertambah dari awal hingga akhir simulasi. Besaran *throughput* pada GSM lebih besar daripada dari PCM dengan selisih yang signifikan.

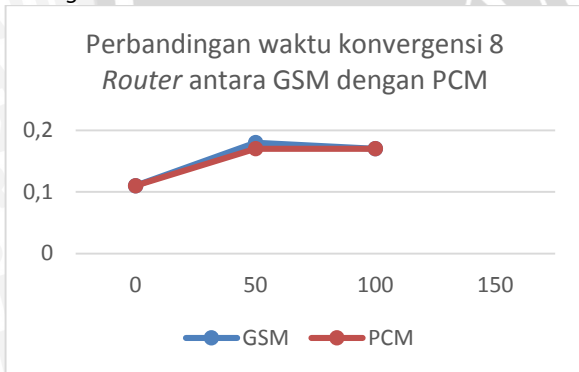


Gambar 4. 57 Grafik perbandingan throughput dari topologi yang berisi 16 router dan 24 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.57** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa besaran transmisi data berupa *throughput* akan terus naik dan bertambah. Besaran *throughput* pada GSM lebih besar daripada dari PCM dengan selisih yang signifikan karena pengaruh dari kompleksitas yang tinggi di dalam topologi tersebut.

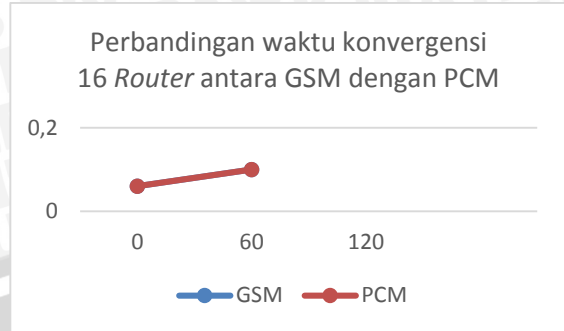
4.2.4 Perbandingan Waktu Konvergensi

Topologi dalam jaringan memiliki 8, 16, dan 32 *router* beserta 16, 24, dan 40 *client*. Perbandingan dinyatakan dalam satu kali waktu uji coba sehingga didapatkan interval atau jeda tiap 50 detik, *value* dari GSM maupun PCM diambil dari grafik *average waku konvergensi* dari simulator.



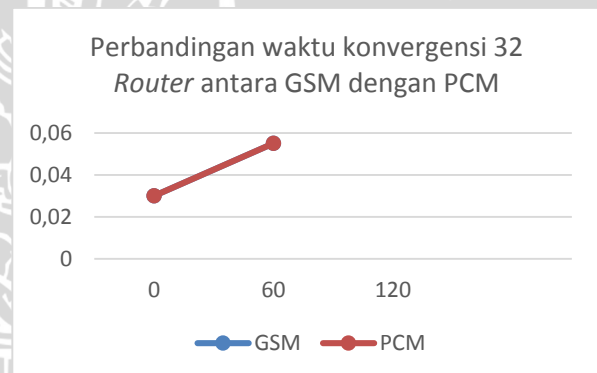
Gambar 4. 58 Grafik perbandingan waktu konvergensi dari topologi yang berisi 8 router dan 16 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.58** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa waku konvergensi atau waktu untuk me-load ulang topologi secara keseluruhan untuk melakukan cek terhadap jalur atau *routing* memiliki besaran nilai yang cenderung konstan dengan nominal dibawah 1 baik itu GSM maupun PCM.



Gambar 4. 59 Grafik perbandingan waktu konvergensi dari topologi yang berisi 16 router dan 24 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.59** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa waku konvergensi dari topologi dengan 16 *router* memiliki bisaran nilai yang unik karena GSM dan PCM memiliki nominal yang sama, yakni 0,06 (sec) di awal dan berhenti pada 0,1 (sec). Hal tersebut dapat terjadi karena kompleksitas yang sama yang berpengaruh pada topologi, yakni sama-sama kompleks dan sama-sama memiliki *load routing* yang sama.



Gambar 4. 60 Grafik perbandingan waktu konvergensi dari topologi yang berisi 32 router dan 40 client dengan kualitas High (GSM) dan Low (PCM)

Grafik pada **Gambar 4.60** menampilkan data yang dapat kita simpulkan bahwa waku konvergensi dari topologi dengan 32 *router* memiliki bisaran nilai yang unik karena GSM dan PCM memiliki nominal yang sama, yakni 0,03 (sec) di awal dan berhenti pada 0,055 (sec). Hal tersebut dapat terjadi karena kompleksitas yang sama yang berpengaruh pada topologi, yakni sama-sama kompleks dan sama-sama memiliki *load routing* yang sama.

4.2.5 Perbandingan Packet Loss

Topologi dalam jaringan memiliki 8, 16, dan 32 *router* beserta 16, 24, dan 40 *client*. Perbandingan dinyatakan dalam satu kali waktu uji coba dengan *value*



dari GSM maupun PCM diambil dari grafik *average packet loss* dari simulator.

Secara umum perhitungan packet loss adalah :

$$packet\ loss = \frac{traffic\ diterima}{traffic\ dikirim} * 100\% .. (Rumus\ 3)$$

Dimana :

- Packet loss : besaran prosentase yang akan dihitung
- Traffic diterima : besaran (bytes) data yang diterima oleh router
- Traffic dikirim : besaran (bytes) data yang dikirim oleh router

Secara umum untuk tiap-tiap scenario memiliki perhitungan *packet loss* sendiri-sendiri, hal tersebut dilakukan agar dapat dibandingkan antara scenario dari GSM dan juga PCM sehingga dapat ditarik grafik bahwa *packet loss* antar kedua scenario tersebut berbeda hasilnya. Berikut adalah perhitungan *packet loss* untuk tiap-tiap scenario :

• **Perbandingan Packet Loss untuk 8 router 16 client**

$$8\ GSM = \frac{20.000}{100.000} * 100\% = 20\%$$

$$8\ PCM = \frac{7.500}{37.500} * 100\% = 20\%$$

Untuk perbandingan 8 GSM dan 8 PCM memiliki prosentase jumlah *packet* yang hilang sama. Fenomena tersebut dapat terjadi karena skema dalam topologi yang memuat adanya protokol *routing* yang mengatur proses transmisi data. Data atau paket yang hilang adalah paket yang tersebar secara merata dan acak oleh tiap-tiap *router* sehingga pada saat penerimaan data yang masuk hanya 80% baik itu untuk GSM dan PCM. Terjadi persamaan karena jumlah elemen dalam jaringan yang sama sehingga menimbulkan *overload traffic* yang sama, baik untuk GSM maupun PCM pada skema tersebut hanya dapat menerima 80% dari total jumlah transmisi yang dikirimkan tiaptiap *router*.

• **Perbandingan Packet Loss untuk 16 router 24 client**

$$16\ GSM = \frac{15.000}{140.000} * 100\% = 10,71\%$$

$$16\ PCM = \frac{1000}{6500} * 100\% = 15,38\%$$

Perbandingan packet loss antara kedua scenario tersebut memiliki perbedaan. *Packet loss* lebih banyak terjadi pada skema 16 *router* dan 24 *client* dari kualitas *low* atau PCM. Hal tersebut dapat terjadi karena dalam skema PCM terdapat *collision* yang lebih besar daripada GSM, hal tersebut dapat dibuktikan karena *delay* PCM yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan GSM. Karena data yang dikirim *loss*, maka agar komunikasi dapat berjalan kembali *sender* harus mengirim ulang (*retransmit*), hal inilah yang menyebabkan penambahan

waktu sehingga menjadi lambat dan prosentase *packet loss* menjadi tinggi.

• **Perbandingan Packet Loss untuk 32 router 40 client**

$$32\ GSM = \frac{5000}{250.000} * 100\% = 2\%$$

$$32\ PCM = \frac{250}{11.000} * 100\% = 2,27\%$$

Skenario *packet loss* untuk 32 *router* dan 40 *client* memiliki prosentase yang berbeda untuk GSM dan PCM. Berbeda dengan scenario 16 yang telah disebutkan karena *delay*, pengujian terhadap 32 tersebut PCM mengalami prosentase yang lebih besar karena *jitter* yang lebih besar dibandingkan GSM. Hal tersebut dapat terjadi karena variasi dari *delay* yang dipengaruhi oleh beban *traffic* yang sangat besar, sehingga menyebabkan peluang tabrakan data (*congestion*) menjadi besar, dengan demikian nilai *jitter* akan semakin besar.

4.3 Perbandingan Hasil Skenario Percobaan GSM dan PCM

Perbandingan disajikan dalam bentuk tabel yang menampilkan nilai-nilai akhir dari tiap-tiap hasil uji dalam scenario. Dalam tabel tersebut, pengujian yang dimaksud adalah pengujian 1 untuk 8 *router* dan 16 *client*, pengujian 2 untuk 16 *router* dan 24 *client*, dan pengujian 3 untuk 32 *router* dan 40 *client*.

Tabel 4. 1 Hasil pengujian jitter pada WMN dalam scenario GSM (high) dan PCM (low)

Pengujian (ke-)	Uji Jitter	
	GSM (high)	PCM (low)
1	7 sec	0,13 sec
2	31,75 sec	19,5 sec
3	10,75 sec	16 sec
Rata-rata	16,5 sec	11,88 sec

Dalam **tabel 4.1**, hasil analisa dari simulasi parameter QoS berupa *jitter* pada scenario GSM dan PCM dalam topologi *Wireless Mesh Network* dapat disimpulkan bahwa rata-rata *jitter* untuk GSM lebih tinggi daripada PCM, hal tersebut dapat terjadi karena kualitas data dari GSM yang lebih besar daripada PCM sehingga kemungkinan terjadinya *jitter* juga lebih tinggi daripada PCM. Namun perbandingan dari referensi menyatakan bahwa kondisi *jitter* tersebut masih dalam nominal Bagus (TIPHON, 1999).

Tabel 4. 2 Hasil pengujian delay (end to end) pada WMN dalam scenario GSM (high) dan PCM (low)

Pengujian (ke-)	Uji delay (end to end)	
	GSM (high)	PCM (low)
1	0,06	0,06
2	0,7	0,95
3	6,125	7,125

Rata-rata (dalam secon)	2,295	2,712
-------------------------	-------	-------

Dalam **tabel 4.2**, hasil analisa dari simulasi parameter QoS berupa *end to end delay* pada scenario GSM dan PCM dalam topologi *Wireless Mesh Network* dapat disimpulkan bahwa rata-rata *end to end delay* untuk GSM lebih tinggi daripada PCM, hal tersebut dapat terjadi karena kualitas data dari GSM yang lebih besar daripada PCM. *Delay* secara umum atau waktu tunda dari GSM memiliki nominal yang lebih besar dari PCM namun tidak terlalu jauh selisih dari keduanya.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian throughput pada WMN dalam scenario GSM (high) dan PCM (low)

Pengujian (ke-)	Uji throughput	
	GSM (high)	PCM (low)
1	700.000	250.000
2	925.000	327.500
3	1.625.000	562.500
Rata-rata (dalam bits/secon)	1.083.333	380.000

Dalam **tabel 4.3**, hasil analisa dari simulasi parameter QoS berupa *throughput* pada scenario GSM dan PCM dalam topologi *Wireless Mesh Network* dapat disimpulkan bahwa rata-rata *throughput* untuk GSM lebih tinggi daripada PCM, hal tersebut dapat terjadi karena kualitas data dari GSM yang lebih besar daripada PCM. *Throughput* secara rata-rata diambil dan dijumlahkan selama 4 menit waktu runtime setelah dianalisis masih dalam batas normal dan dibawah ambang batas atau *threshold* yang ditentukan dalam jaringan, sehingga besaran *throughput* dari yang dikirimkan masih dapat sampai ke *receiver* walau beberapa telah hilang karena *packet loss* dalam scenario yang telah dijalankan.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian Waktu Konvergensi pada WMN dalam scenario GSM (high) dan PCM (low)

Pengujian (ke-)	Uji Waku Konvergensi	
	GSM (high)	PCM (low)
1	0,153	0,15
2	0,08	0,08
3	0,0425	0,0425
Rata-rata (dalam secon)	0,0918	0,0908

Dalam **tabel 4.4**, hasil analisa dari simulasi parameter QoS berupa waktu konvergensi pada scenario GSM dan PCM dalam topologi *Wireless Mesh Network* dapat disimpulkan bahwa rata-rata waktu konvergensi untuk GSM sama dengan PCM, perbedaan nominal angka terjadi namun sangat kecil, hal tersebut dapat terjadi karena waktu konvergensi adalah waktu yang diperlukan oleh topologi untuk *establishment*

semua elemen dan semua entitas dalam topologi agar dapat menjalankan proses sebagaimana mestinya. Waktu konvergensi cenderung relative dan sama untuk GSM dan PCM karena tidak terdapat kasus berat dalam topologi seperti salah satu elemen yang mati sehingga konvergensi harus berjalan kembali untuk melakukan pembentukan jalur lagi.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian Packet Loss pada WMN dalam scenario GSM (high) dan PCM (low)

Pengujian (ke-)	Uji Packet loss	
	GSM (high)	PCM (low)
1	20	20
2	10,71	15,38
3	2	2,27
Rata-rata (dalam %)	10,90	12,55

Dalam **tabel 4.5**, hasil analisa dari simulasi parameter QoS berupa *packet loss* pada scenario GSM dan PCM dalam topologi *Wireless Mesh Network* dapat disimpulkan bahwa rata-rata *packet loss* untuk GSM lebih kecil daripada PCM, hal tersebut dapat terjadi karena dalam scenario, semakin kompleks elemen dalam topologi, maka *packet loss* akan semakin besar, hal tersebut berlaku untuk PCM karena *packet loss* untuk scenario 16 dan 32 memiliki nominal yang lebih besar apabila dibandingkan dengan GSM.

4.4 Hasil Analisis

Untuk mengetahui pengaruh parameter QoS terhadap WMN yang diimplementasikan protokol OSPF, analisa dilakukan dengan *me-run* simulator selama 4 (empat) menit untuk tiap-tiap jumlah *router* dengan sarana uji berupa *voice*. Hasil yang ditampilkan sudah berupa hasil akhir dengan spesifikasi grafik yang menampilkan *average* atau rata-rata dari tiap-tiap parameter uji. Dari hasil tersebut muncul grafik yang tertera pada subbab diatas sehingga dapat dilakukan analisis dan menghasilkan table perbandingan antara kualitas data bertipe GSM dan PCM pada uji *voice*.

Hasil simulasi untuk parameter dalam GSM dan PCM meliputi QoS dan waktu konvergensi, secara spesifik dalam uji *jitter* GSM lebih tinggi daripada PCM karena kualitas data mempengaruhi variasi waktu dalam proses transmisi. Dalam uji *Delay (end to end)* GSM juga lebih besar daripada PCM karena waktu transmisi juga mendapatkan pengaruh dari besarnya ukuran data. Uji parameter *throughput* GSM juga secara keseluruhan setelah dirata-rata memiliki nominal 3x lebih besar daripada PCM, hal tersebut juga wajar terjadi karena ukuran data dari GSM lebih besar dengan kualitas yang lebih baik daripada PCM. Dalam uji Waktu Konvergensi secara detil nominal GSM sama dengan PCM karena waktu konvergensi terjadi hanya ketika akan *establishment* atau persiapan elemen-elemen dalam topologi, sehingga tidak melakukan proses konvergensi

untuk kedua kalinya karena tidak terjadi *elemen down* dalam topologi tersebut. Saat pengujian *packet loss*, PCM memiliki nominal yang lebih besar daripada GSM karena dalam scenario 2 dan 3 terdapat rata-rata data yang hilang dari topologi dalam proses pengujian.

Hasil analisis dan hasil perbandingan GSM dan PCM memiliki perbedaan yang cukup signifikan, hal tersebut dapat dibuktikan dengan hanya ada satu dari 4 QoS yang memiliki hasil nominal yang sama untuk GSM dan juga PCM yaitu saat uji waktu konvergensi. 3 yang berbeda yakni *jitter*, *delay (end to end)* dan juga *throughput*, juga *packet loss* antara GSM dan PCM memiliki perbedaan. Dari hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu konvergensi dari OSPF tersebut yang diimplementasikan dalam topologi *Wireless Mesh Network* memiliki skema yang sama saat *establishment* dalam topologi. Dapat juga disimpulkan bahwa *jitter*, *delay*, *throughput*, dan *packet loss* dapat berbeda-beda hasilnya dalam scenario pengujian, selain parameter QoS dan Waktu konvergensi, perbedaan juga dapat dilihat dari jumlah elemen dalam topologi, semakin kompleks topologi maka akan semakin besar juga *effort* untuk tiap-tiap parameter uji, sehingga dengan adanya protokol routing OSPF dapat menjadikan proses transmisi data dan *routing* menjadi lebih efisien dalam topologi *Wireless Mesh Network*, namun hasil yang berkebalikan juga akan didapatkan apabila makin banyak dan makin kompleks elemen dalam topologi sehingga mengakibatkan kompleksitas yang sangat besar.

5. PENUTUP

Dari hasil pengujian dan analisis kinerja protokol *routing* OSPF dalam topologi *Wireless Mesh Network*, maka dapat disimpulkan bahwa :

5.1 Kesimpulan

1. Protokol *routing* dapat dirancang dan disimulasikan pada topologi *wireless mesh network* dengan simulator OPNET dengan parameter QoS untuk diuji melalui *voice* sebagai paket data yang dikirim antar *router*. *Voice* tersebut dapat disimulasikan menjadi dua kualitas data yaitu GSM dan PCM sebagai sarana uji lebih lanjut untuk dibandingkan hasilnya. Secara keseluruhan, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan menggunakan protokol OSPF pada topologi *Wireless Mesh Network* untuk uji *voice* menghasilkan nilai cenderung buruk, hal tersebut terjadi karena banyak paket yang hilang dan *delay* yang cukup tinggi yakni diatas 2 detik yang terjadi selama scenario percobaan.
2. Faktor yang mempengaruhi proses *routing* dalam topologi *Wireless Mesh Network* antara lain parameter QoS yaitu *jitter*, *delay*, *throughput*, *packet loss*, dan Waktu

konvergensi. Hal tersebut dapat terjadi karena dalam proses simulasi, besaran nominal dari jumlah tiap-tiap parameter menghasilkan data yang bervariasi untuk dianalisis. Hasil analisis dalam penelitian ini semua parameter QoS memiliki pengaruh dalam proses transmisi data terutama *jitter*, *delay*, dan *packet loss* dengan nilai 11 – 16 detik untuk *jitter*, 2 detik untuk *delay*, dan 10 % untuk *packet loss*.

3. Parameter lain yang juga dapat mempengaruhi hasil dan kinerja protokol *routing* OSPF dalam topologi *Wireless Mesh Network* adalah jumlah elemen dalam topologi atau dalam kasus ini adalah jumlah *router* dan jumlah *client* yang melakukan pertukaran data berupa *voice*. Semakin banyak jumlah *router* dan *Client*, maka semakin besar juga kompleksitas dari topologi tersebut.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pengujian selain menggunakan *voice*, pengujian juga seharusnya dapat dilakukan tanpa menggunakan protokol UDP. Pengujian juga dapat dilakukan dengan menambahkan parameter uji yang berbeda dari QoS yang telah tersedia.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kompleksitas dari elemen dalam topologi dan dibandingkan dengan kompleksitas dari protokol *routing* agar mendapatkan hasil yang sempurna untuk proses efisiensi *routing*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Fuertes, J, A, C., Philipp, M., & Baccelli, E., *Routing Across Wired And Wireless Mesh Networks: Experimental Compound Internetworking With OSPF*, 2012. The 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, Aug 2012, Limassol, Cyprus
- Baumann, R., Heimlicher, S., Lenders, V., May, M., *Routing Packets into Wireless Mesh Network*, 2007, Department of Electrical Egeineering Princeton University, NJ, USA
- Alwan, A, M., *OSPF for Wireless Mesh Backbone Network*, 2006. A Thesis to Ryerson University for degree of Master of Applied Science in Program of Computer Networks, Toronto, Ontario, Canada.
- Jun, J., & Sichertui, M, L., *MRP: Wireless Mesh Networks Routing Protocol*, 2008, Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, Raleigh, USA

- Baccelli, E., Cordero, J. A., Jacquet, P., *OSPF over Multi-Hop ad Hoc Wireless Communications*, 2010. International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) vol 2, no 5, September 2010
- Atlantic, 2014. *Wireless Mesh and the Internet of Things*. [Online]
Available at: <http://atlantic.com/wireless-mesh-and-the-internet-of-things>
[Diakses 22 Juni 2016].
- Wikipedia, 2016. *Routing Convergence*. [Online]
Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Convergence_\(routing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Convergence_(routing))
[Diakses 22 Juni 2016]
- Yekti, 2012. *Bandwith, Delay, Throughput*. [Online]
Available at: <http://blog.ub.ac.id/yekti/2012/09/24/bandwidth-delay-dan-throughput/>
[Diakses 22 Juni 2016]
- Widi, 2016. *Analisa QoS Jaringan*. [Online]
Available at: <http://widi.lecturer.pens.ac.id/Praktikum/Praktikum%20Jarkom1/Prakt%20Modul%2014%20Analisa%20QoS.pdf>
[Diakses 22 Juni 2016]
- Methley, S., 2009. *Essentials of Wireless Mesh Networking*. s.l.:Cambridge University Press.
- Bemmoussat, C., Didi, F., Feham, M., *Efficient Routing Protocol to Support QoS in Wireless Mesh Network*, 2012. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) vol 4, no 5, October 2012
- Akyildiz, F. I. & Xudong, W., 2005. *A Survey on Wireless Mesh Networks*. IEEE Radio Communications, September. pp. 23-30.
- Sanchez, C. C., *Multi-service OSPF network analyzing in the simulation environment OMNET++*, 2011., Czech Technical University in Prague, September 24, 2011
- Wang, S, Y., Lin, C,C., Chou, C, L., *Implementing and Evaluating three routing protocols in dual-radio-dual-mode IEEE 802.11(b) wireless mesh networks*, 2008. Department of Computer Science, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan, April, 11 2008
- Seelwal, P., *Layered Issues in Wireless Mesh Networks*, 2013. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering vol 3, issue 11, November 2013
- Saha, M., & Krishna., *Bandwith Management Framework for Multicasting in Wireless Mesh Networks*, 2012. International Journal of Information and Electronics Engineering, vol 2, no 3, May 2012
- Baccelli, E., Fuertes, J,A,C., Jacquet, P., *Multi-point Relaying Techniques with OSPF on Ad hoc Networks*, 2011. HAL, Parc Orsay Universite, 4 rue J. Monod, Orsay Cedex, France
- Catatan Teknisi, 2011. *Pengertian Routing, Tabel Routing dan Protocol Routing*. [Online] Available at: <http://www.catatanteknisi.com/2011/05/pengertian-routing-tabel-routing.html> [Diakses 18 Februari 2016]
- Cordero, J, A., Clausen, T, H., Baccelli, E., *MPR+SP : Towards a Unified MPR-based MANET Extension of OSPF*, 2010. HAL, Institut National De Recherche en Informatique et en Automatique, INRIA, France
- Bahl, V., *Performance Issues and Evaluation considerations of web traffic RIP & OSPF Dynamic Routing Protocols for Hybrid Network using OPNET*, 2012. International Journal of advanced research in computer science and software engineering. Vol 2, issue 9 Spetember 2012
- Grang, N., & Gupta, A., *Compare OSPF Routing Protocol with other Interior Gateway Routing Protocols*, 2013. International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBA).RIMT-IET, India.
- Cabarkapa, M., Mijatovic, D., and Krajnovic, N., 2011. *Network Topology Availability Analysis*. Telfor Journal, vol.3 no. 1, University of Westminster, London, UK.
- Gundalwar, P.R.,& Dr. Chavan, V. N., 2013. *Area Configuration and Link Failure Effect in IP Networks using OSPF Protocol*. International Journal of Scientific and Research Publications, vol 2, issue 4, april 2013, Dept. Of CS & IT, S. K. Porwal College, Kamptee, Nagpur (MS), India
- Fencel, T., 2011, *Algorithm for network topology design*. Doctoral Thesis Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, Department of Control Engineering, March 2011, Prague
- Silk, L. M., Suhardi, 2011, *Pengaruh Model Jaringan Terhadap Optimasi Routing Open Shortest Path First (OSPF)*. Teknologi, vol. 1 no. 2, Juli 2011, ATKP Surabaya & Jurusan Informatika Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB
- Singla, A., Godfrey P. B., & Kolla, A., 2014, *High Throughput Data Center Topology Design*. University of Illinois at Urbana-Champaign, Paper of 11th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI '14), April 2-4, 2014, Seattle, USA
- Diaz, C., Murdoch, S. J., & Troncoso, C., 2010, *Impact of Network Topology on Anonymity and Overhead in Low-Latency Anonymity Networks*, Computer Laboratory, University of Cambridge, UK, 2010