



**ANALISA PERBANDINGAN *VOICE OVER MPLS*  
PADA PROTOKOL CR-LDP DAN RSVP**

**SKRIPSI**

Oleh

**Edwin Bagas Arifiyanto**

**NIM 111910201049**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**ANALISA PERBANDINGAN *VOICE OVER MPLS*  
PADA PROTOKOL CR-LDP DAN RSVP**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

**Oleh**

**Edwin Bagas Arifiyanto**

**NIM 111910201049**

**PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah yang sangat luar biasa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Tidak lupa sholawat serta salam kita haturkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang menunjukkan kita sebagai manusia menuju jalan yang terang benderang dengan kehidupan yang lebih baik. Skripsi ini merupakan karya yang tidak pernah ternilai dan terlupakan bagi penulis yang selain sebagai syarat menyelesaikan program studi juga untuk kemajuan umat manusia agar lebih baik. Oleh karenanya karya ini ingin saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT, karena perlindungan, pertolongan, dan ridho-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik serta Nabi Besar Muhammad SAW;
2. Keluarga terutama kepada Ayah Erfin Junaedi dan Ibu Niluh Karyantini, terima kasih dukungan, bantuan, serta doa restunya hingga selesainya studi ini;
3. Kerabat dan sanak keluarga, dan semua keluargaku yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa;
4. Dosen pembimbing skripsi, Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si. selaku DPU dan Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T selaku DPA yang bersedia meluangkan waktu dan pikirannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesainya skripsi ini;
5. Dosen penguji 1, Ibu Ike Fibriani, S.T., M.T. dan Dosen penguji 2, Bapak Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T. yang telah meluangkan banyak waktu dan pikiran guna memberikan pengarahan demi kemajuan dan terselesainya penulisan skripsi ini dengan baik;
6. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing selama kurang lebih empat tahun ini. Penulis sampaikan banyak terima kasih atas semua ilmu, didikan, dan pengalaman yang sangat luar biasa;

7. Teman-teman elektro yang telah berjuang bersama di almamater tercinta, pengalaman mencari ilmu bersama kalian adalah hal yang tidak akan terlupakan. Aku bangga menjadi bagian dari kalian;
8. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran pembuatan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu;

Jember, 4 Oktober 2018

Penulis



Edwin Bagas Arifiyanto

**MOTTO**

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum hingga mereka mengubah diri mereka sendiri”  
( *Q.S Ar-ra'd ayat 11* )

*“Do not judge me by my successes, judge me by how many times I fell down and got back up again”*  
(Nelson Mandela)

“Jenius adalah 1 % inspirasi dan 99 % keringat. Tidak ada yang dapat menggantikan kerja keras”  
(Thomas Alva Edison)

“Ketika seseorang menghina kamu, itu adalah sebuah pujian bahwa selama ini mereka menghabiskan banyak waktu untuk memikirkan kamu, bahkan ketikakamu tidak memikirkan mereka”  
(BJ Habibie)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edwin Bagas Arifiyanto

NIM : 111910201049

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “**Analisa Perbandingan *Voice over MPLS* pada Protokol CR-LDP dan RSVP**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung Tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 4 Oktober 2018

Yang menyatakan,



Edwin Bagas Arifiyanto

NIM 111910201049

**SKRIPSI**

**ANALISA PERBANDINGAN *VOICE OVER MPLS*  
PADA PROTOKOL CR-LDP DAN RSVP**

**SKRIPSI**

Oleh :

Edwin Bagas Arifiyanto

111910201049

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Widya Cahyadi, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

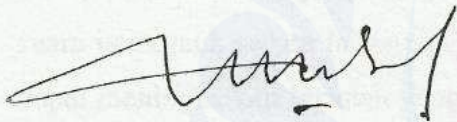
Skripsi berjudul “**Analisa Perbandingan Voice over MPLS pada Protokol CRLDP dan RSVP**” karya Edwin Bagas Arifiyanto telah diuji dan disahkan oleh Program Studi S-1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember dan dinyatakan lulus pada:

Hari, tanggal : Kamis, 4 Oktober 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji:**

Pembimbing Utama,



Catur Suko Sarwono, S.T., M.Si

NIP 196801191997021001

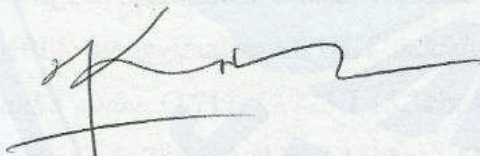
Pembimbing Anggota,



Widya Cahyadi, S.T., M.T.

NIP 198511102014041001

Penguji I,



Ike Fibriani, S.T., M.T.

NIP 198002072015042001

Penguji II,



Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T.

NIP 760014640

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Asnani Hidayah, M.UM.

NIP. 196612151995032001



**ANALISA PERBANDINGAN VOICE OVER MPLS PADA PROTOKOL  
CR-LDP DAN RSVP**

**Edwin Bagas Arifiyanto**

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember*

**ABSTRAK**

Perkembangan dunia telekomunikasi telah berjalan dengan sangat cepat yang membuat kemudahan berkomunikasi menjadi kebutuhan utama pada situasi saat ini. Penelitian dalam hal jaringan komunikasi juga telah banyak dilakukan. VoIP merupakan teknologi yang menjadikan media internet bisa melakukan percakapan suara jarak jauh secara langsung. MPLS merupakan teknologi jaringan baru yang dapat meningkatkan layanan yang disediakan oleh jaringan IP (*Internet Protocol*) sehingga juga meningkatkan kualitas dari layanan VoIP. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui protokol jaringan MPLS mana yang terbaik untuk menerapkan layanan VoIP serta *audio codec* mana yang terbaik pada masing-masing protokol. Mengacu pada tujuan diatas, maka dalam penelitian ini dilakukan simulasi jaringan MPLS menggunakan OPNET *modeler*. Pada jaringan MPLS VoIP menggunakan *audio codec* G.711, G.723.1 (5.3kbps, 6.3kbps), G.726 (16kbps, 24kbps, 32kbps, 40kbps), G.728 (12.8kbps, 16kbps), G.729, GSM EFR, dan IS-641 yang dijalankan secara bergantian menggunakan tiga penjadwalan antrian yaitu *Modified Weighted Round Robin* (MWRR), *Priority Queuing* (PQ), dan *Weighted Fair Queuing* (WFQ). Pada penelitian ini didapatkan VoMPLS dapat berjalan dengan baik pada protokol CR-LDP dengan menggunakan *audio codec* G.711 dimetode antrian PQ dengan nilai *jitter*  $6,66656 \times 10^{-8}$  detik, nilai PDV  $4,83159 \times 10^{-8}$  detik, nilai *end-to-end delay* 0,06547 detik, nilai MOS 3,663422, *trafik drop* tidak terjadi, nilai panggilan yang masuk 67 panggilan

**Kata Kunci:** MPLS, OPNET *modeler*, VoIP, *audio codec*, RSVP, CR-LDP

**ANALYSIS COMPARISON OF VOICE OVER MPLS IN CR-LDP AND  
RSVP PROTOCOLS**

**Edwin Bagas Arifiyanto**

*Department of Electrical Engineering, Engineering Faculty, University of Jember*

**ABSTRACT**

*The development of the telecommunications world has been developed very fast which makes the ease of communication to be a major need in the current situation. Research in terms of communication networks has also been carried out a lot. VoIP is a technology that allows internet media to conduct voice conversations remotely directly. MPLS is a new network technology that can improve services provided by the IP (Internet Protocol) network so that it also improves the quality of VoIP services. This study aims to find out which MPLS network protocols are best for implementing VoIP services and which audio codecs are the best in each protocol. Referring to the above objectives, then in this study MPLS network simulation was carried out using OPNET modeler. On the MPLS VoIP network uses audio codec G.711, G.723.1 (5.3kbps, 6.3kbps), G.726 (16kbps, 24kbps, 32kbps, 40kbps), G.728 (12.8kbps, 16kbps), G.729, GSM EFR, and IS-641 are run alternately using three queue scheduling Modified Weighted Round Robin (MWRR), Priority Queuing (PQ), dan Weighted Fair Queuing (WFQ). In this research, VoMPLS can run well on CR-LDP protocol using audio codec G.711 in PQ queue method with jitter value  $6,66656 \times 10^{-8}$  seconds, PDV value  $4,83159 \times 10^{-8}$  seconds, end-to-end delay value 0.06547 seconds, MOS value 3.663422, drop traffic did not occur, the value of incoming calls was 67 calls.*

**Keywords:** *MPLS, OPNET modeler, VoIP, audio codec, RSVP, CR-LDP*

## RINGKASAN

**Analisa Perbandingan *Voice over MPLS* pada Protokol CR-LDP dan RSVP;** Edwin Bagas Arifiyanto.; 111910201049; 2018; 88 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Semakin berkembangnya teknologi di dunia yang terjadi sangat pesat sehingga kemudahan berkomunikasi menjadi kebutuhan utama pada kehidupan saat ini. Seiring dengan penambahan kebutuhan manusia akan layanan yang di berikan oleh internet. Banyak hal yang dapat di berikan oleh layanan internet yang ada saat ini. Salah satu hal yang di tawarkan oleh layanan internet adalah VoIP (*Voice over Internet Protocol*). *Multi Protocol Label Switching* (MPLS) tidak menggantikan IP routing, namun akan bekerja sama dengan teknologi routing yang ada dan yang akan datang untuk memberikan penerusan data berkecepatan tinggi antara *Label-Switched Routers* (LSRs) bersamaan dengan reservasi *bandwidth* untuk arus lalu lintas dengan persyaratan *Quality of Service* (QoS) yang berbeda. Sehingga teknologi MPLS dapat menjadi sebuah solusi dari masalah jaringan IP konvensional yang tidak memberikan jaminan layanan dan *Traffic Engineering* (TE) dikarenakan MPLS memberikan jaminan layanan dan *Traffic Engineering* (TE). *Traffic Engineering* (TE) adalah proses dimana data disalurkan melalui jaringan sesuai dengan manajemen terhadap ketersediaan sumber daya dan arus lalu lintas yang ada. Kelas pelayanan dan kualitas layanan yang dibutuhkan untuk data juga dapat diperhitungkan dalam proses ini. Karena rendahnya *latency* dan *packet loss*, MPLS dianggap ideal untuk aplikasi VoIP. Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui kualitas VoIP pada jaringan MPLS. Tujuan penelitian adalah dapat mengetahui kualitas performa dari VoIP pada jaringan protokol CR-LDP dan RSVP di jaringan MPLS.

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan simulasi OPNET *modeler*. Simulasi dilakukan dengan membuat jaringan MPLS yang nantinya akan dilewati paket suara (*voice*). Pada jaringan MPLS peneliti menggunakan beberapa tipe *codec* suara yakni G.711, G.723.1 (5.3kbps, 6.3kbps), G.726 (16kbps, 24kbps, 32kbps, 40kbps), G.728 (12.8kbps, 16kbps), G.729, GSM EFR, dan IS-641 yang

mana setiap *codec* akan disimulasikan secara bergantian pada protokol jaringan CR-LDP dan RSVP menggunakan tiga penjadwalan antrian yaitu *Modified Weighted Round Robin* (MWRR), *Priority Queuing* (PQ), dan *Weighted Fair Queuing* (WFQ).

Penelitian yang dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi dan Terapan Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember ini pada hasil simulasi protokol CR-LDP ditemukan bahwa hasil *codec* terbaiknya yaitu menggunakan *audio codec* G.711 pada metode antrian PQ dengan nilai *jitter*  $6,66656 \times 10^{-8}$  detik, nilai PDV  $4,83159 \times 10^{-8}$  detik, nilai *end-to-end delay* 0,06547 detik, nilai MOS 3,663422 , *trafik drop* terjadi pada detik ke-113, nilai panggilan yang masuk 34 panggilan. Sementara pada simulasi protokol RSVP ditemukan bahwa hasil *codec* terbaiknya yaitu menggunakan *audio codec* G.726 32kbps pada metode antrian PQ dengan nilai *jitter*  $8,68555 \times 10^{-8}$  detik, nilai PDV  $6,90968 \times 10^{-8}$  detik, nilai *end-to-end delay* 0,06506 detik nilai MOS 3,6631 , *trafik drop* tidak terjadi, dengan nilai panggilan yang masuk 67 panggilan. Setelah dilakukan perbandingan pada kedua protokol jaringan dapat disimpulkan bahwa untuk VoIP pada jaringan MPLS lebih unggul menggunakan protokol jaringan CR-LDP dengan *audio codec* G.711 menggunakan metode antrian PQ

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisa Perbandingan Voice over MPLS Pada Protokol CR-LDP Dan RSVP**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua Orangtua Ibu Niluh Karyantini dan Bapak Erfin Junaedi yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, memberi motivasi semangat, menitikkan air mata dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis serta pengorbanannya selama ini, serta keluarga besar;
3. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
5. Bapak Dr. Triwahju Hardianto S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
6. Bapak Catur Suko Sarwono S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran guna membimbing menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Bapak Andrita Ceriana Eska, S.T., M.T. dan Ibu Ike Fibriani, S.T., M.,T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;

8. Seluruh Dosen yang ada di Fakultas Teknik khususnya Teknik Elektro beserta karyawan;
9. Keluarga besar Teknik Elektro 2011, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa;
10. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, 4 Oktober 2018



Penulis

DAFTAR ISI

|  | Halaman  |
|--|----------|
| HALAMAN JUDUL.....                       | i        |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                | iii      |
| HALAMAN MOTTO .....                      | v        |
| HALAMAN PERNYATAAN.....                  | vi       |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN.....                | vii      |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                  | viii     |
| ABSTRAK .....                            | ix       |
| <i>ABSTRACT</i> .....                    | x        |
| RINGKASAN .....                          | xi       |
| PRAKATA .....                            | xiii     |
| DAFTAR ISI.....                          | xv       |
| DAFTAR TABEL .....                       | xviii    |
| DAFTAR GAMBAR.....                       | xix      |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>          | <b>1</b> |
| <b>1.1 Latar Belakang.....</b>           | <b>1</b> |
| <b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>          | <b>3</b> |
| <b>1.3 Batasan Masalah .....</b>         | <b>4</b> |
| <b>1.4 Tujuan .....</b>                  | <b>4</b> |
| <b>1.5 Manfaat.....</b>                  | <b>5</b> |
| <b>1.6 Sistematika Penulisan .....</b>   | <b>5</b> |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>      | <b>6</b> |
| <b>2.1 Jurnal Acuan Penelitian .....</b> | <b>6</b> |

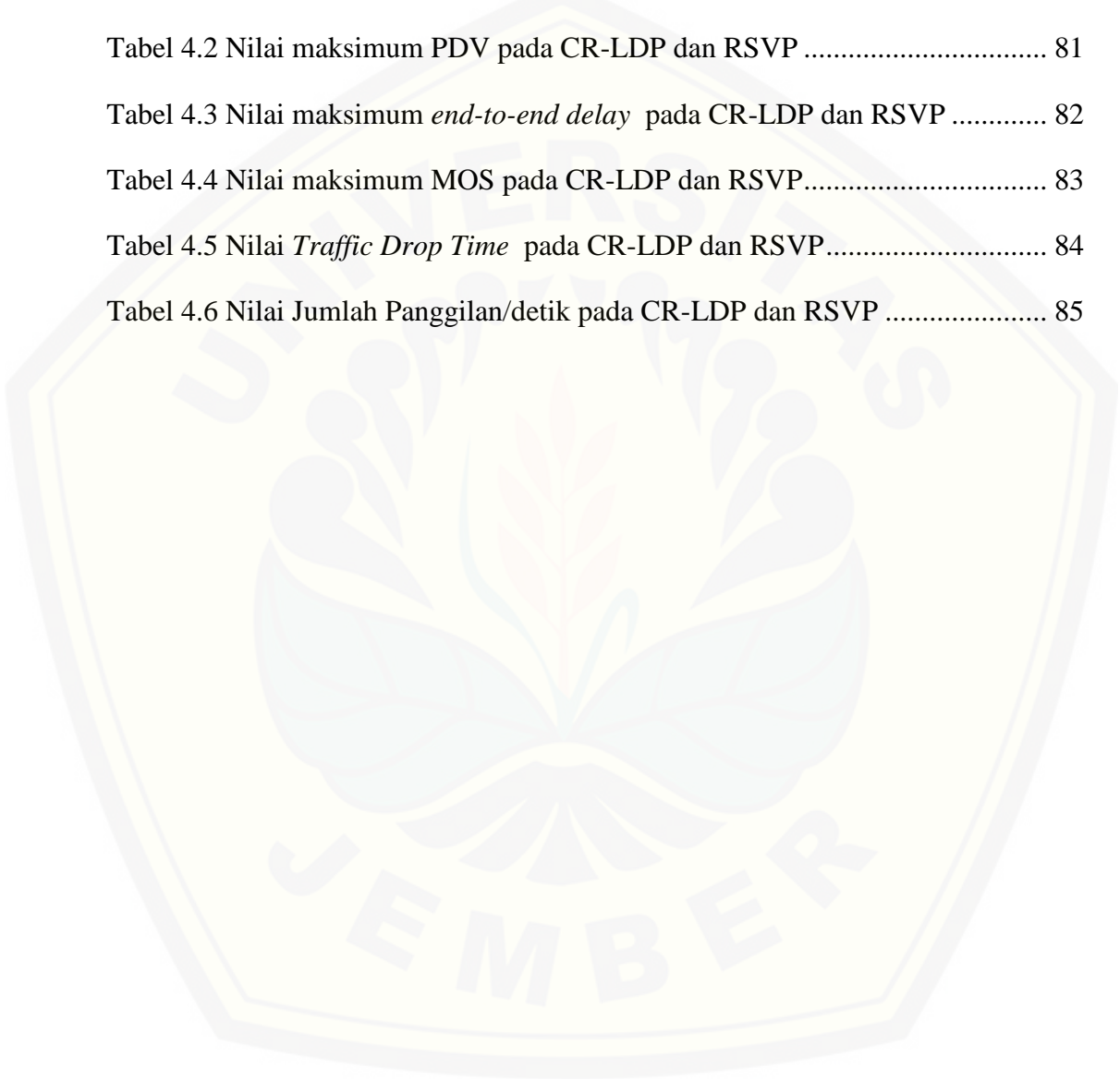
|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>2.2</b> | <b>Protokol Jaringan Komputer</b> .....              | <b>7</b>  |
| 2.2.1      | Standarisasi Protokol (ISO 7498) .....               | 7         |
| <b>2.3</b> | <b>VoIP (Voice over Internet Protocol)</b> .....     | <b>8</b>  |
| 2.3.1      | Traffic Characteristic and Requirements of VoIP..... | 9         |
| 2.3.2      | VoIP Codec .....                                     | 10        |
| <b>2.4</b> | <b>MPLS (Multi Protocol Label Switching)</b> .....   | <b>12</b> |
| 2.4.1      | MPLS Shim Header .....                               | 13        |
| 2.4.2      | MPLS Label Encapsulation .....                       | 13        |
| 2.4.3      | MPLS Label Operations .....                          | 14        |
| 2.4.4      | Label Switch Router (LSR).....                       | 15        |
| 2.4.5      | Label Switched Path (LSP).....                       | 16        |
| 2.4.6      | Forwarding Equivalence Class (FEC).....              | 18        |
| 2.4.7      | Label Distribution Protocol (LDP).....               | 19        |
| 2.4.8      | Keuntungan MPLS.....                                 | 21        |
| <b>2.5</b> | <b>Standarisasi Protokol MPLS</b> .....              | <b>21</b> |
| 2.5.1      | Constraint based Routed LDP (CR-LDP).....            | 22        |
| 2.5.2      | Resource Reservation Protocol (RSVP) approach.....   | 23        |
| 2.5.3      | Perbandingan antara RSVP dan CR-LDP .....            | 23        |
| <b>2.6</b> | <b>Traffic Engineering (TE)</b> .....                | <b>24</b> |
| 2.6.1      | Faktor penting yang dibutuhkan untuk TE.....         | 25        |
| 2.6.2      | Traffic Engineering dalam jaringan MPLS .....        | 26        |
| <b>2.7</b> | <b>Quality of Service (QoS)</b> .....                | <b>27</b> |
| 2.7.1      | Best Effort Service .....                            | 27        |
| 2.7.2      | Integrated Service (IntServ) .....                   | 27        |
| 2.7.3      | Differentiated Service (DiffServ).....               | 28        |
| 2.7.3.1    | Expedited Forwarding (EF).....                       | 29        |
| 2.7.3.2    | Assured Forwarding (AF) .....                        | 30        |
| <b>2.8</b> | <b>OPNET Modeler</b> .....                           | <b>31</b> |



|  |           |
|--|-----------|
| <b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                            | <b>32</b> |
| <b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>                         | <b>32</b> |
| <b>3.2 Tahapan Penelitian .....</b>                                  | <b>32</b> |
| <b>3.3 Protokol Jaringan MPLS .....</b>                              | <b>34</b> |
| <b>3.4 Skenario Simulasi.....</b>                                    | <b>34</b> |
| <b>3.5 Simulasi dan Pemodelan.....</b>                               | <b>35</b> |
| <b>3.6 Metrik Kinerja .....</b>                                      | <b>39</b> |
| <b>3.7 Penerapan Sistem dan Pengambilan Data.....</b>                | <b>40</b> |
| <b>BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>                     | <b>42</b> |
| <b>4.1 Perbandingan VoIP Codec Pada RSVP .....</b>                   | <b>42</b> |
| <b>4.2 Perbandingan VoIP Codec Pada CR-LDP .....</b>                 | <b>61</b> |
| <b>4.3 Perbandingan Performa Audio Codec dan Protokol MPLS .....</b> | <b>79</b> |
| <b>BAB 5. PENUTUP.....</b>   | <b>87</b> |
| <b>5.1 Kesimpulan .....</b>  | <b>87</b> |
| <b>5.2 Saran .....</b>   | <b>87</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>88</b> |

**DAFTAR TABEL**

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 4.1 Nilai maksimum <i>jitter</i> pada CR-LDP dan RSVP.....            | 80      |
| Tabel 4.2 Nilai maksimum PDV pada CR-LDP dan RSVP .....                     | 81      |
| Tabel 4.3 Nilai maksimum <i>end-to-end delay</i> pada CR-LDP dan RSVP ..... | 82      |
| Tabel 4.4 Nilai maksimum MOS pada CR-LDP dan RSVP.....                      | 83      |
| Tabel 4.5 Nilai <i>Traffic Drop Time</i> pada CR-LDP dan RSVP.....          | 84      |
| Tabel 4.6 Nilai Jumlah Panggilan/detik pada CR-LDP dan RSVP .....           | 85      |



## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 OSI Layer (Putra, 2012).....   | 7       |
| Gambar 2.2 MPLS Shim Header building block (Kharel & Adhikari, 2011).....   | 13      |
| Gambar 2.3 MPLS Label Encapsulation (Kharel & Adhikari, 2011) .....   | 14      |
| Gambar 2.4 MPLS Label Operations (Kharel & Adhikari, 2011) .....  | 15      |
| Gambar 2.5 LSP pada jaringan MPLS (Ghein, 2006) .....   | 17      |
| Gambar 2.6 Nested LSP (Ghein, 2006).....  | 17      |
| Gambar 2.7 Jaringan MPLS yang sedang menjalankan iBGP (Ghein, 2006) .....   | 19      |
| Gambar 2.8 Struktur Protokol LDP (Kharel & Adhikari, 2011) .....  | 20      |
| Gambar 2.9 Model Proses Traffic Engineering (Kharel & Adhikari, 2011) .....   | 25      |
| Gambar 2.10 Arsitektur DiffServ (Kharel & Adhikari, 2011) .....   | 29      |
| Gambar 2.11 Forwarding PHBs dan prioritasnya (Kharel & Adhikari, 2011) ....   | 31      |
| Gambar 3.1 Tahapan Penelitian .....   | 33      |
| Gambar 3.2 CR-LDP.....  | 34      |
| Gambar 3.3 RSVP .....   | 34      |
| Gambar 3.4 Skema Model Simulasi.....  | 35      |
| Gambar 3.5 Konfigurasi Aplikasi .....   | 37      |
| Gambar 3.6 Konfigurasi Profil.....  | 38      |
| Gambar 3.7 Flowchart Pengambilan Data.....  | 41      |
| Gambar 4.1 (a) Codec G.711 Jitter dan PDV (b) Codec G.711 MOS dan End-to-End Delay (c) Codec G.711 Recieve Traffic.....                               | 43      |
| Gambar 4.2 (a) Codec G.723.1 5,3kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.723.1 5,3kbps MOS dan End-to-End Delay (c) Codec G.723.1 5,3kbps Recieve Traffic..... | 45      |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.3 (a) G.723.1 6,3kbps Jitter dan PDV (b) G.723.1 6,3kbps MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) G.723.1 6,3kbps <i>Recieve Traffic</i> .....                    | 46 |
| Gambar 4.4 (a) Codec G.726 16kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 16kbps MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.726 16kbps <i>Recieve Traffic</i> ....            | 48 |
| Gambar 4.5 (a) Codec G.726 24kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 24kbps MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.726 24kbps <i>Recieve Traffic</i> ....            | 49 |
| Gambar 4.6 (a) Codec G.726 32kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 32kbps MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.726 32kbps <i>Recieve Traffic</i> ....            | 51 |
| Gambar 4.7 (a) Codec G.726 40kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 40kbps dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.726 40kbps <i>Recieve Traffic</i> .....               | 52 |
| Gambar 4.8 (a) Codec G.728 12,8kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.728 12,8kbps dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.728 12,8kbps <i>Recieve Traffic</i> .             | 54 |
| Gambar 4.9 (a) Codec G.728 16kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.728 16kbps dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.728 16kbps <i>Recieve Traffic</i> .....               | 55 |
| Gambar 4.10 (a) Codec G.729 Jitter dan PDV (b) Codec G.729 MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.729 <i>Recieve Traffic</i> .....                               | 57 |
| Gambar 4.11 (a) Codec GSM-EFR Jitter dan PDV (b) Codec GSM-EFR MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec GSM-EFR <i>Recieve Traffic</i> .....                         | 58 |
| Gambar 4.12 (a) Codec IS-641 Jitter dan PDV (b) Codec IS-641 MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec IS-641 <i>Recieve Traffic</i> .....                            | 60 |
| Gambar 4.13 (a) Codec G.711 Jitter dan PDV (b) Codec G.711 MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.711 <i>Recieve Traffic</i> .....                               | 62 |
| Gambar 4.14 (a) Codec G.723.1 5,3kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.723.1 5,3kbps MOS dan <i>End-to-End Delay</i> (c) Codec G.723.1 5,3kbps <i>Recieve Traffic</i> ..... | 63 |

Gambar 4.15 (a) Codec G.723.1 6,3kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.723.1 6,3kbps dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.723.1 6,3kbps *Send and Recieve Traffic*..... 65

Gambar 4.16 (a) Codec G.726 16kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 16kbps MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.726 16kbps *Recieve Traffic* ..... 66

Gambar 4.17 (a) Codec G.726 24kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 24kbps dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.726 24kbps *Recieve Traffic* ..... 68

Gambar 4.18 (a) Codec G.726 32kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 32kbps MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.726 32kbps *Recieve Traffic* ..... 69

Gambar 4.19 (a) Codec G.726 40kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.726 40kbps MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.726 40kbps *Recieve Traffic* ..... 71

Gambar 4.20 (a) Codec G.728 12,8kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.728 12,8kbps MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.728 12,8kbps *Recieve Traffic*..... 72

Gambar 4.21 (a) Codec G.728 16kbps Jitter dan PDV (b) Codec G.728 16kbps MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.728 16kbps *Send and Recieve Traffic* ..... 74

Gambar 4.22 (a) Codec G.729 Jitter dan PDV (b) Codec G.729 MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec G.729 *Recieve Traffic*..... 75

Gambar 4.23 (a) Codec GSM EFR Jitter dan PDV (b) Codec GSM EFR MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec GSM EFR *Recieve Traffic*..... 77

Gambar 4.24 (a) Codec IS-641 Jitter dan PDV (b) Codec IS-641 MOS dan *End-to-End Delay* (c) Codec IS-641 *Recieve Traffic* ..... 78

DAFTAR LAMPIRAN

|   | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran 1 Grafik nilai <i>jitter</i> semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan RSVP.....              | 89      |
| Lampiran 2 Grafik nilai MOS semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan RSVP.....                        | 90      |
| Lampiran 3 Grafik nilai PDV semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan RSVP .....                       | 91      |
| Lampiran 4 Grafik nilai <i>end-to-end delay</i> semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan<br>RSVP..... | 92      |
| Lampiran 5 Grafik <i>traffic drop time</i> semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan<br>RSVP.....      | 92      |
| Lampiran 6 Grafik <i>number of call</i> semua <i>codec</i> protokol CR-LDP dan RSVP....             | 94      |
| Lampiran 7 Tabel standarisasi untuk parameter QoS <i>end-to-end delay</i> .....                     | 95      |
| Lampiran 8 Tabel standarisasi untuk parameter QoS <i>jitter</i> .....                               | 95      |
| Lampiran 9 Perhitungan.....   | 96      |
| Lampiran 10 Dokumentasi pengambilan data simulasi.....  | 101     |

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya teknologi yang terjadi sangat pesat sehingga kemudahan berkomunikasi menjadi kebutuhan utama pada kehidupan saat ini. Seiring dengan pertambahan kebutuhan manusia akan layanan yang diberikan oleh internet. Banyak hal yang dapat diberikan oleh layanan internet yang ada saat ini. Salah satu hal yang ditawarkan oleh layanan internet adalah VoIP (*Voice over Internet Protocol*).

Di akhir abad ke-20, industri telekomunikasi mengimplementasikan teknologi *broadband* dalam bentuk rangkaian ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) over SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). ATM telah memiliki mekanisme pemeliharaan QoS (*Quality of Service*), dan memungkinkan diferensiasi layanan dalam sebuah network. Kelemahan ATM adalah pada masalah skalabilitas yang mengakibatkan perlunya investasi tinggi untuk implementasinya. Dilain pihak, teknologi Internet yang berbasis pada IP berkembang lebih cepat. IP sangat baik dari segi skalabilitas, yang membuat teknologi internet menjadi cukup murah.

Berbagai cara telah dilakukan untuk memperbaiki karakteristik *broadband network*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengimplementasikan QoS ke dalam jaringan IP. Metode-metode IP over ATM misalnya, telah diajukan untuk membentuk *broadband network* yang sekaligus memiliki skalabilitas dan QoS yang baik. Diluar ATM sendiri, ada dikembangkan beberapa metode untuk memperbaiki kinerja jaringan IP, termasuk dengan teknologi MPLS (*Multi Protocol Label Switching*). (Putra, 2012)

*Multi Protocol Label Switching* (MPLS) adalah teknologi baru yang akan digunakan oleh banyak jaringan inti masa depan, termasuk jaringan data dan suara yang terkonvergensi. MPLS tidak menggantikan IP *routing*, namun akan bekerja sama dengan teknologi *routing* yang ada dan yang akan datang untuk memberikan penerusan data berkecepatan tinggi antara *Label-Switched Routers* (LSRs)

bersamaan dengan reservasi *bandwidth* untuk arus lalu lintas dengan persyaratan *Quality of Service* (QoS) yang berbeda.

MPLS meningkatkan layanan yang dapat disediakan oleh jaringan IP, menawarkan cakupan untuk Teknik Lalu Lintas, QoS dan Virtual Private Networks (VPN) yang terjamin. Sehingga teknologi MPLS dapat menjadi sebuah solusi dari masalah jaringan IP konvensional yang tidak memberikan jaminan layanan dan *Traffic Engineering* (TE) dikarenakan MPLS memberikan jaminan layanan dan *Traffic Engineering* (TE). *Traffic Engineering* (TE) adalah proses dimana data disalurkan melalui jaringan sesuai dengan manajemen terhadap ketersediaan sumber daya dan arus lalu lintas yang ada. Kelas pelayanan dan kualitas layanan yang dibutuhkan untuk data juga dapat diperhitungkan dalam proses ini. Karena rendahnya *latency* dan *packet loss*, MPLS dianggap ideal untuk aplikasi VoIP.

Pada tahun 2010 KerrthiPramukh Jannu dan Radhakrishna Deekonda melakukan penelitian perbandingan pengiriman *voice* antara jaringan yang menggunakan IP konvensional dengan jaringan yang menerapkan MPLS-TE. Penelitian ini mendapatkan kesimpulan bahwa performa dari VOIP meningkat ketika diimplementasikan pada jaringan MPLS-TE. Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan 1 jenis *codec* yaitu G.711 dan pada jaringan MPLS tidak disebutkan menggunakan protokol CR-LDP atau RSVP.

Pada tahun 2011 Jeevan Kharel dan Deepak Adhikari melanjutkan penelitian dari KerrthiPramukh dan Radhakrishna dengan membandingkan performa dari VoIP pada jaringan MPLS-TE dan jaringan MPLS-TE yang menggunakan implementasi QoS. Penulis melakukan perbandingan pada algoritma yang digunakan di QoS yaitu algoritma PQ, WFQ, dan FIFO. Data yang penulis dapatkan saat melakukan simulasi disimpulkan bahwa algoritma PQ mempunyai performa paling baik dari pada algoritma FIFO dan WFQ. Pada penelitian ini penulis hanya menggunakan 1 jenis *codec* yaitu G.711 dan pada jaringan MPLS tidak disebutkan menggunakan protokol CR-LDP atau RSVP



Pada tahun 2012 dikembangkan oleh Sarmad K. Ibrahim dan Mahmoud M. Al-Quzwini penelitian tentang perbandingan performa dari VoIP jika menggunakan protokol jaringan yang berbeda dan menggunakan *voice codec* yang berbeda juga. Penulis menggunakan protokol CR-LDP dan RSVP untuk dibandingkan performanya serta menggunakan dua buah *codec* yaitu PCM dan GSM. Setelah melakukan simulasi penulis mendapatkan kesimpulan bahwa CR-LDP memiliki performa yang jauh lebih baik dari pada RSVP dalam pengiriman VoIP baik itu menggunakan *codec* PCM ataupun GSM. Sayangnya pada penelitian ini penulis tidak menggunakan *audio codec* yang lebih bervariasi dan tidak membandingkan *codec* mana yang lebih baik untuk penerapan VoIP pada jaringan MPLS.

Oleh karena itu skripsi ini bertujuan untuk mensimulasi dan menganalisis bagaimana perbandingan antara *Voice over Multi-Protocol Label Switching (VoMPLS)* pada *CR-LDP signaling protocol* dengan *Voice over Multi-Protocol Label Switching (VoMPLS)* pada *RSVP signaling protocol* dengan menggunakan *audio codec* yang beragam dan membandingkan *audio codec* yang terbaik untuk penerapan VoIP pada jaringan MPLS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana perbandingan tiap-tiap VoIP *codec* menggunakan VoMPLS RSVP?
- b. Bagaimana perbandingan tiap-tiap VoIP *codec* menggunakan VoMPLS CR-LDP?
- c. Bagaimana performa dari VoMPLS menggunakan CR-LDP dengan VoMPLS menggunakan RSVP?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penulisan skripsi ini dapat mencapai sasaran dan tujuan yang diharapkan, maka dalam pembahasan penelitian ini membatasi pembahasan menjadi beberapa permasalahan berikut :

- a. Analisis hanya dilakukan untuk suara (*voice*) yang melalui jaringan.
- b. Simulasi yang dilakukan hanya menggunakan 7 tipe *audio codec* yaitu :
  1. G.711
  2. G.723.1
  3. G.726
  4. G.728
  5. G.729
  6. GSM EFR
  7. IS-641
- c. Penggunaan simulasi protokol RSVP dan CR-LDP menggunakan IPv4
- d. Menggunakan tiga mekanisme antrian yaitu, *Modified Weighted Round Robin* (MWRR), *Priority Queuing* (PQ), dan *Weighted Fair Queuing* (WFQ)
- e. Analisa yang dilakukan pada kedua protokol hanya digunakan untuk mendapatkan hasil QoS terbaik pada jaringan VoMPLS
- f. Software yang digunakan adalah OPNET Modeler 14.5

### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Dapat mengetahui *audio codec* mana yang paling baik dalam jaringan MPLS protokol RSPV
- b. Dapat mengetahui *audio codec* mana yang paling baik dalam jaringan MPLS protokol CR-LDP
- c. Dapat mengetahui protokol jaringan MPLS mana yang terbaik beserta *audio codec* yang digunakan untuk *voice over MPLS*.

### 1.5 Manfaat

Adapun mafaat yang diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat menjadi referensi dalam merancang VoIP menggunakan jaringan MPLS.
- b. Untuk mengembangkan kualitas VoIP yang biasa digunakan pada jaringan sehari-hari.
- c. Dapat menjadi acuan pengembangan penelitian dari jaringan MPLS.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

#### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

#### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

#### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

#### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

#### BAB 5 PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jurnal Acuan Penelitian

Mengacu pada latar belakang yang ada maka peneliti menjadikan beberapa jurnal yang ada sebagai acuan untuk penulisan tugas akhir. Pertama adalah jurnal dari Jannu, K., & Deekonda, R. 2010. Berjudul *OPNET Simulation of Voice over MPLS With Considering Traffic Engineering*. Pada jurnal ini membahas tentang perbandingan performa dari *voice over ip (traditional)* dengan *voice over MPLS-TE*. Menggunakan OPNET sebagai *simulator* dari penelitian maka hasil analisa dinyatakan performa dari VOIP meningkat ketika diimplementasikan pada jaringan MPLS-TE. Peneliti mengambil jurnal ini sebagai acuan dasar untuk pengembangan yang dilakukan pada skripsi ini.

Pada jurnal kedua yaitu Kharel, J., & Adhikari, D. 2011. Berjudul *Performance Evaluation of Voice over MPLS Network with TE and QoS Implementation*. Pada jurnal ini membahas bagaimana performa VOIP pada MPLS-TE tanpa implementasi QoS dengan VOIP pada MPLS-TE dengan implementasi QoS. Peneliti menggunakan *software OPNET simulator* untuk melakukan simulasi dan menganalisis hasil dari simulasi, sehingga didapatkan bahwa performa dari VOIP pada MPLS-TE meningkat setelah diimplementasikan QoS. Disimpulkan pula bahwa algoritma PQ mempunyai performa paling baik dari pada algoritma FIFO dan WFQ. Peneliti mengambil jurnal ini sebagai jurnal acuan untuk melakukan analisis terhadap kualitas performa pada skripsi yang dianalisa.

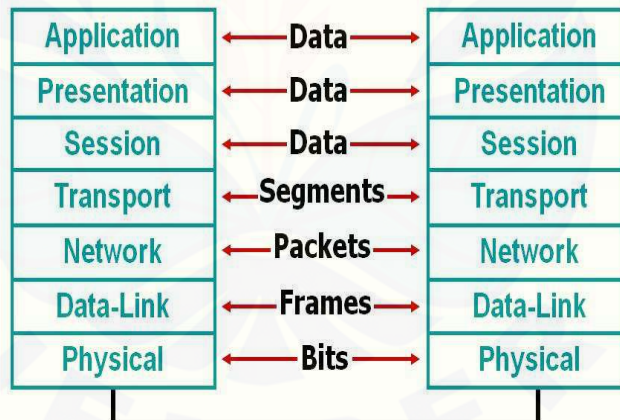
Pada jurnal ketiga Ibrahim, Sarmad K., & Al-Quuzwini, Mahmoud M. 2012. Berjudul *Performance Evaluation of MPLS TE Signal Protocols with Different Audio Codecs for Voice Application*. Pada jurnal ini membahas bagaimana perbandingan jaringan MPLS protokol CR-LDP dengan jaringan MPLS protokol RSVP dengan menggunakan GSM dan PCM *codec* sebagai *codec voice*. Disimpulkan bahwa protokol CR-LDP yang dapat mengantarkan *voice* paling baik.

## 2.2 Protokol Jaringan Komputer

Protokol adalah sebuah aturan yang mendefinisikan beberapa fungsi yang ada dalam sebuah jaringan komputer, misalnya mengirim pesan, data, informasi dan fungsi lain yang harus dipenuhi oleh sisi pengirim dan sisi penerima agar komunikasi dapat berlangsung dengan benar, walaupun sistem yang ada dalam jaringan tersebut berbeda sama sekali. Protokol ini mengatur perbedaan format data pada kedua sistem hingga pada masalah koneksi listrik. Standar protokol yang terkenal yaitu OSI (*Open System Interconnection*) yang ditentukan oleh ISO (*International Standard Organization*).

### 2.2.1 Standarisasi Protokol (ISO 7498)

ISO (*International Standard Organization*) mengajukan struktur dan fungsi protokol komunikasi data. Model tersebut dikenal sebagai OSI (*Open System Interconnection*).



Gambar 2.1 OSI Layer (Putra, 2012)

1. *Physical Layer* : lapisan *physical* mengatur pengiriman data berupa bit lewat kabel. Lapisan ini berkaitan langsung dengan perangkat keras seperti kabel, dan kartu jaringan (LAN CARD).
2. *Data Link Layer* :lapisan *data link* mengendalikan kesalahan antara dua komputer atau jaringan yang berkomunikasi lewat lapisan *physical*.

3. *Network Layer* : lapisan bertanggung jawab untuk menerjemahkan alamat logis jaringan ke alamat fisik jaringan. Lapisan ini juga memberi identitas alamat, jalur perjalanan pengiriman data, dan mengatur masalah jaringan misalnya pengiriman paket-paket data. Pada *layer* inilah MPLS bekerja. MPLS bekerja dengan memberi label sebuah data yang dikirimkan.
4. *Transport Layer* : lapisan ini mengatur pengiriman pesan dari *host-host* di jaringan. Pertama data dibagi-bagi menjadi paket-paket sebelum pengiriman dan kemudian penerima akan menggabungkan paket-paket tersebut menjadi data utuh kembali. Lapisan ini juga memastikan bahwa pengiriman data bebas kesalahan dan kehilangan paket data.
5. *Session Layer* : membuat sesi untuk proses dan mengakhiri sesi tersebut. Contohnya jika ada login secara interaktif maka sesi dimulai dan kemudian jika ada permintaan *log off* maka sesi berakhir. Lapisan ini juga menghubungkan lagi jika sesi login terganggu sehingga terputus.
6. *Presentation Layer* : bertanggung jawab untuk menyandikan informasi. Lapisan ini membuat dua *host* dapat berkomunikasi.
7. *Application Layer* : menyediakan layanan untuk aplikasi misalnya *transfer file, email*, akses suatu komputer atau layanan. (Putra, 2012)

### 2.3 VoIP (*Voice over Internet Protocol*)

Penerapan aplikasi *real-time* seperti suara dan video di internet menjadikan VoIP layanan yang paling diminati dan hemat biaya bagi semua orang. VoIP juga dikenal sebagai *Internet Telephony*. VoIP adalah data *real-time* yang dibawa pada internet dengan menggunakan *Real Time Protocol* (RTP). RTP terdiri dari data dan bagian kontrol. Bagian kontrol disebut dengan *Real Time Control Protocol* (RTCP). Paket VoIP diangkut dengan menggunakan paket protokol RTP/UDP/IP. Meskipun

TCP/IP adalah protokol komunikasi yang handal, namun tidak dapat digunakan dalam komunikasi *real-time* karena TCP/IP menggunakan fitur *retransmission* yang akan menyebabkan *delay* yang berlebihan. Dikarenakan transmisi suara sangat tidak toleran terhadap *delay* menyebabkan TCP/IP tidak cocok digunakan. RTP digunakan dengan UDP untuk menyediakan transmisi *end-to-end* dari *real-time* data dimana RTCP digunakan untuk memantau jaringan tersebut.

### 2.3.1 Traffic Characteristic and Requirements of VoIP

Ada banyak faktor yang mempengaruhi kualitas dari suara termasuk pemilihan *codec*, *packet loss*, *end-to-end delay*, dan *jitter*. Untuk VoIP sendiri dibutuhkan minimal *end-to-end packet delay* tidak melebihi 150 ms untuk menjaga kualitas panggilan VoIP yang ada dapat diterima. *Delay* diatas dapat dibagi menjadi tiga komponen pendukung yang digambarkan sebagai berikut :

1. *Encoding*, *compression*, dan *packetization delay* pada pengirim. Pada *codec G.711 delay* yang ada untuk *encoding* dan *packetization* masing-masing adalah 1 ms dan 20 ms. *Delay* pada pengirim diperkirakan mendekati 25 ms mengingat ada dua *delay* bersamaan.
2. Pada penerima, *delay* yang ada adalah dari *buffering*, *decompression*, *depacketization*, dan *playback delay*. Total *delay* diperkirakan mendekati 45 ms.
3. Dengan *delay* yang didapat dari pengirim dan penerima maka dapat kita kalkulasikan *delay* jaringan tidak melebihi 80 ms atau (150-25-45). *Delay* jaringan adalah jumlah dari *delay* yang ada di propagasi, transmisi, dan *delay* antrian di jaringan

*Delay* jaringan dari sumber ke penerima tidak boleh melebihi 80 ms agar kualitas panggilan VoIP dapat diterima dengan baik. *Bandwidth* yang dibutuhkan untuk panggilan VoIP adalah 64 kbps

*Packet loss* pada jaringan adalah karakteristik lain yang tidak diinginkan pada VoIP. *Packet loss* menyebabkan hilangnya informasi antara pecakapan panggilan VoIP yang menyebabkan pengguna dan penyedia layanan tidak senang.

*Packet drops* menyebabkan suara terpecah dan suara terlewati. Codec dapat memperbaiki beberapa paket suara yang hilang, namun algoritma codec menjadi efektif hanya pada satu paket saja selama periode pembicaraan. *Voice jitter (delay variation)* dapat dikurangi dengan menggunakan *buffer* pada perangkat penerima. (Jannu & Deekonda, 2010)

### 2.3.2 VoIP Codec

*Codec* adalah istilah yang digunakan untuk konversi sinyal analog ke bentuk digital untuk transmisi dan dari bentuk digital ke analog. Ini adalah istilah yang digunakan untuk kata *coder-decoder*. Ada banyak *codec* yang tersedia untuk *audio*, *video* dan teks. *Codec* yang paling umum digunakan untuk aplikasi VoIP adalah G.711, G.722, G.723, G.726, G.729, dll.

1. G.711 *Codec* PCM adalah *codec* yang paling terkenal diantara semua *codec*. G.711 merupakan *Pulse-Code Modulation (PCM)* dengan sampel 8 bit untuk sinyal frekuensi suara, sampel dengan kecepatan 8000 sampel / detik, pada kanal 64 kbps. Menggunakan *codec audio* G.711 untuk VoIP akan memberikan kualitas suara terbaik; karena tidak menggunakan kompresi dan *codec* yang sama yang digunakan oleh semua jaringan *Public Switched* dan ISDN. Kedengarannya seperti menggunakan telepon biasa atau telepon ISDN. Tapi *codec* ini membutuhkan lebih banyak *bandwidth* dari pada *codec* lainnya, sampai 84 Kbps termasuk semua TCP / IP *overhead*. Namun, dengan meningkatnya *bandwidth broadband*, seharusnya tidak menjadi masalah.
2. G.722. Ini adalah *codec* standar ITU yang menyediakan *audio wideband* 7 kHz dengan kecepatan data berkisar dari 48, 56 dan 64 Kbit / s. Ini memberikan kualitas ucapan yang lebih baik dibandingkan *codec narrowband* yang lebih tua seperti G.711, tanpa banyak kerumitan.
3. G.723.1 adalah standar ITU-T yang menentukan representasi kode untuk *speech* di PSTN dengan menggunakan tingkat pengkodean *Algebraic Code Excited Linier Prediction (CELP)* di 5,3 Kbit/s dan



*Multipulse Maximum Likelihood Quantization* (MP-MLQ) pada 6,3 Kbit/s. 6,3 Kbit/s memberikan kualitas suara yang sangat bagus sedangkan bit rate yang lebih rendah memberikan kualitas yang baik dengan beberapa fungsi lainnya.

4. G.726 adalah Rekomendasi untuk *speech coding* pada 40, 32, 24, dan 16 Kbit/s (*bit rate variabel*) dengan teknik *transcoding Adaptif Diferensial Pulse Code Modulation* (ADPCM).
5. G.728 adalah Rekomendasi ITU-T untuk pengkodean *speech* pada 16 Kbit/s dengan menggunakan *Low-Delay Code-Excited Linear Prediction Coding* (LD-CELP). *Codec* ini memberikan kualitas suara yang lebih baik dengan menggunakan *bandwidth* yang lebih sedikit namun kualitasnya menjadi lebih buruk dalam lalu lintas latar belakang
6. G.729 adalah standar ITU yang menawarkan kualitas *pulse* pada *bit rate* rendah 8Kbps menggunakan CS-ACELP (*Conjugate Structure - Algebraic Code Excited Linear Prediction*). Namun, *codec* ini yang agak banyak memakan waktu pemrosesan CPU. Oleh karena itu beberapa telepon VoIP dan adaptor hanya bisa menangani satu panggilan G.729 (saluran) sekaligus. *Codec* ini memberikan kinerja yang kuat namun dengan harga kompleksitasnya. Hal ini dapat menyebabkan panggilan gagal jika pengguna mencoba menggunakan panggilan tiga arah, atau melakukan panggilan simultan pada kedua jalur perangkat dua baris, dan G.729 adalah satu-satunya *codec* yang diizinkan. (Luthra & Sharma, 2012)
7. GSM *Enhanced Full-Rate* (EFR) *codec* adalah *codec* pertama yang menyediakan sistem seluler digital yang setara dengan kualitas referensi *wireline telephony* (standar G.726 ADPCM pada 32 kbit/s). *Codec* EFR memberikan peningkatan kualitas yang substansial dibandingkan dengan *codec* GSM sebelumnya, *codec full-rate* (FR) dan *half-rate* (HR). EFR menyediakan kualitas *wireline speech* di semua kondisi radio yang khas sampai ke rasio *carrier-to interference* (C/I) sekitar 10 dB. Namun, *codec* masih menyisakan beberapa ruang untuk perbaikan.

Secara khusus, kinerja pada kondisi kesalahan saluran parah dapat diperbaiki dengan menggunakan alokasi bit yang berbeda antara *speech* dan saluran pengkodean. (Järvinen)

8. IS-641 adalah standar pengkodean *speech* yang digunakan di beberapa komputer dan jaringan telekomunikasi di A.S. Penggunaan utama ada di jaringan TDMA A.S. yang didefinisikan oleh IS-136. Kecepatan *bit speech codec* adalah 7,4 kbit/s. *Codec* ini sama dengan mode 7,4 kbit/s dalam *speech codec* AMR. Desain *speech codec Adaptive Multiple Rate* (AMR) (digunakan untuk UMTS 3g) menggabungkan beberapa *codec* untuk digunakan dalam mode *full-rate* atau tingkat *half-rate* yang ditentukan oleh kualitas saluran. AMR beroperasi di delapan submodel yang menggabungkan versi *bitexact* dari 12.2kps US1 / GSM EFR dan 7.4kbps IS-641 *full-rate speech coders*. AMR bisa meningkatkan kapasitas suara hingga 150% dibanding GSM. (Garg, 2007)

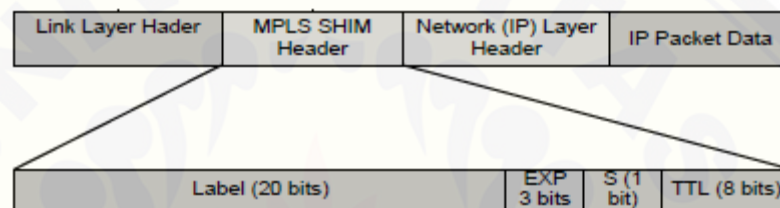
#### 2.4 MPLS (*Multi Protocol Label Switching*)

Label MPLS dipasang diantara *router* sehingga merekat dan dapat membuat pemetaan label ke label. Label ini dipasang pada paket IP, yang memungkinkan *router* meneruskan lalu lintas dengan melihat pada label dan bukan alamat IP tujuan. Paket diteruskan dengan label *switching* bukan dengan IP *switching*. Teknik label *switching* bukanlah hal baru. *Frame Relay* dan ATM menggunakan teknik ini untuk memindahkan *frame* atau sel di seluruh jaringan. Pada *frame relay*, *frame* dapat berapapun panjangnya sementara pada ATM, sel dengan panjang yang telah ditetapkan terdiri dari *header 5 byte* dan muatan *48 byte*. *Header* sel ATM dan bingkai *frame relay* mengacu pada sirkuit *virtual* yang dipasang pada sel atau *frame*. Persamaan antara *frame relay* dan ATM adalah pada setiap *hop* di seluruh jaringan nilai *header* pada “label” berganti. Inilah perbedaan dengan penerusan paket IP. Ketika sebuah *router* meneruskan sebuah paket IP, dia tidak mengubah nilai yang berhubungan dengan tujuan paket, artinya tidak mengubah alamat IP tujuan dari paket. Fakta bahwa label MPLS digunakan untuk meneruskan paket dan

tidak lagi digunakan untuk meneruskan ke IP tujuan yang menyebabkan kepopuleran MPLS. (Ghein, 2006)

#### 2.4.1 MPLS Shim Header

Ketika paket data sampai pada LER, “*Shim Header*” ditempatkan di antara *layer 2* dan *layer 3* pada OSI *layer*. Struktur *shim header* terdiri dari empat bagian yang memiliki total panjang 32 bit terbagi menjadi 20 bit untuk label, 3 bit untuk *eksperimental* (exp), 1 bit untuk *bottom of stack*, dan 8 bits untuk *Time to Live* (TTL) yang ditunjukkan pada gambar 2.2

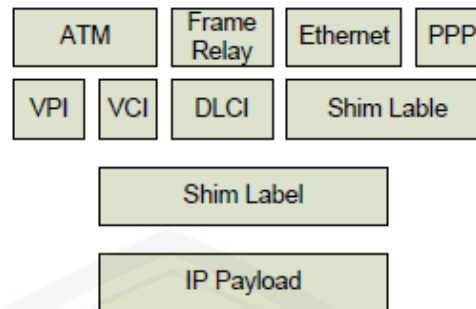


Gambar 2.2 MPLS Shim Header building block (Kharel & Adhikari, 2011)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 MPLS Shim Header terdiri dari sebuah *indentifier* yang disebut “*Label*” yang bertindak sebagai pengolah *Forwarding Equivalence Class* (FEC) dan juga digunakan untuk menentukan *Label Switched Path* (LSP). Diikuti dengan *label* adalah bidang *eksperimental* (EXP) yang dicadangkan untuk penggunaan *eksperimental* atau sering digunakan untuk tujuan QoS. *Stack Field* (S) digunakan untuk menunjukkan apakah *label* berada pada bagian bawah tumpukan, jika *label* berada pada *entri* terakhir tumpukan maka nilai *one else* diset menjadi nol. Yang terakhir adalah nilai *Time to Live* (TTL). Nilai TTL menurun sebesar satu disetiap hop saat melewati LSR. Paket dijatuhkan saat nilai TTL mencapai nol. Diantara semua bidang MPLS shim header, *label* memerankan peran paling penting.

#### 2.4.2 MPLS Label Encapsulation

MPLS memiliki skema enkapsulasi yang berbeda untuk ATM, *Frame Relay*, *Ethernet*, dan PPP. Gambar 2.3 menunjukkan metodologi yang berbeda yang digunakan untuk enkapsulasi label di jaringan MPLS.



Gambar 2.3 MPLS *Label Encapsulation* (Kharel & Adhikari, 2011)

Mekanisme enkapsulasi label berbeda untuk setiap lapisan teknologi *Data Link Layer* (DLL) yang berbeda. Pada teknologi ATM, label enkapsulasi dalam MPLS berada langsung pada enkapsulasi langsung antara *Virtual Path Identifier* (VPI) atau *Virtual Channel Identifier* (VCI) dimana dalam *Frame Relay* enkapsulasi langsung terjadi pada *Data Link Connection Identifier* (DLCI). Di sisi lain untuk teknologi seperti *Ethernet* dan *PPP* menggunakan *Shim Header*.

#### 2.4.3 MPLS *Label Operations*

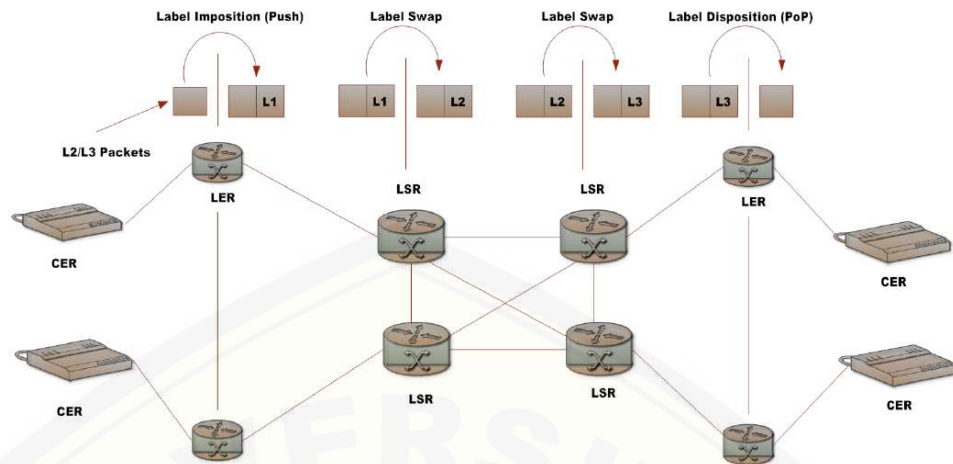
Ketika paket yang berlabel tiba, bagian atas dari tumpukan akan diperiksa nilai labelnya untuk menentukan dua hal:

1. Lokasi *hop* berikutnya dan antarmuka keluar dimana paket-paketnya akan diteruskan
2. Operasi yang akan dilakukan pada *label stack* oleh LSR sebelum meneruskan paket.

Operasi label dibagi menjadi tiga bagian utama :

1. *Push Operation*
2. *Swap Operation*
3. *Pop Operation*

Gambar 2.4 menunjukkan representasi diagram tentang bagaimana ketiga operasi ini dilakukan pada label. Pada gambar 2.4 *Customer Edge Router* (CER) menghubungkan pengguna dengan jaringan MPLS.



Gambar 2.4 MPLS *Label Operations* (Kharel & Adhikari, 2011)

1. *Label Imposition (Push)*:

Operasi ini dilakukan oleh LER masuk selama klasifikasi dan pelabelan paket dilakukan.

2. *Label Swapping/ Switching*:

Operasi ini dilakukan oleh LSR selama penerusan paket menggunakan label dilakukan. Operasi ini menunjukkan kelas pelayanan dan tujuan.

3. *Label Disposition (PoP)*:

Operasi ini dilakukan oleh LER keluar selama penghapusan label dilakukan dan akhirnya meneruskan paket asli dari jaringan MPLS. (Kharel & Adhikari, 2011)

#### 2.4.4 *Label Switch Router (LSR)*

*Label Switch Router (LSR)* adalah router yang mendukung MPLS. LRS mampu memahami label MPLS dan menerima serta mentransmisikan paket berlabel pada *link* data. Ada tiga jenis LSR pada jaringan MPLS :

1. *Ingress LSRs*

*Ingress LSRs* menerima paket yang tidak diberi label, memasukkan label kebagian depan paket dan mengirimkannya ke data *link*.

## 2. *Egress* LSRs

*Egress* LSRs menerima paket yang terlabel, menghapus label, dan mengirimkannya ke data *link*. *Ingress* dan *Egress* LSRs adalah LSR tepi.

## 3. *Intermediate* LSRs

*Intermediate* LSRs menerima paket berlabel yang masuk, memproses paket tersebut, mengganti pakatnya dan mengirimkan pakatnya ke data *link* yang benar.

Sebuah LSR dapat melakukan tiga jenis operasi *pop*, *push*, atau *swap*

LSR harus bisa memunculkan satu atau lebih label (menghapus satu atau beberapa label dari bagian atas label *stack*) sebelum mengganti paket keluar. LSR juga harus bisa mendorong satu atau beberapa label ke atas paket yang diterima. Jika paket yang diterima sudah diberi label, LSR akan mendorong satu atau beberapa label ke label *stack* dan menukar paket. Jika paket tidak diberi label maka LSR akan memberikan sebuah label *stack* dan mendorongnya ke dalam paket. LSR juga harus bisa menukar label. Secara sederhana berarti ketika paket berlabel diterima, label teratas ditukar dengan label baru dan paket diaktifkan pada *link* data keluar.

LSR yang mendorong label ke sebuah paket yang tidak diberi label disebut *imposing* LSR karena LSR pertama yang memberikan label ke dalam paket. Dan yang melakukan proses *imposing* LSR adalah *ingress* LSR. LSR yang menghapus semua label dari paket sebelum ditukar disebut *disposing* LSR. Dan yang melakukan proses *disposing* adalah *egress* LSR.

### 2.4.5 *Label Switched Path* (LSP)

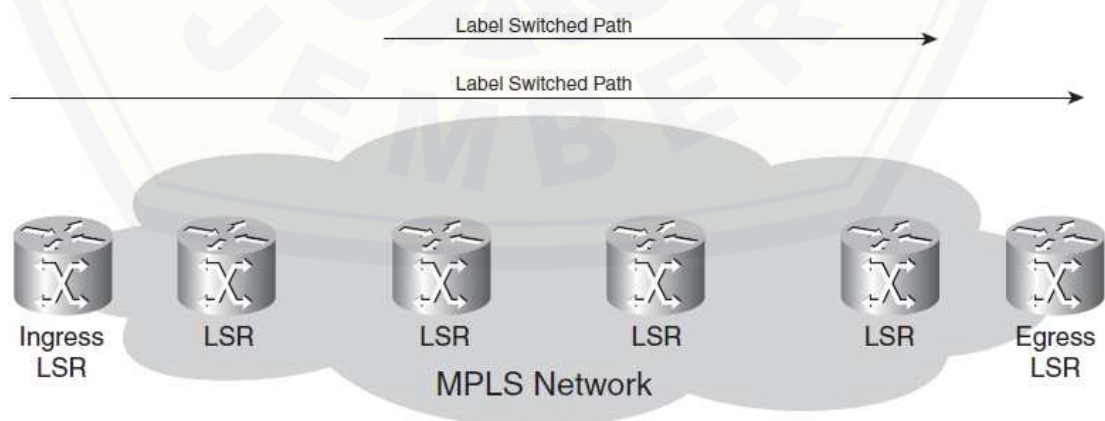
*Label Switched Path* (LSP) adalah urutan LSR yang mengganti paket berlabel melalui jaringan MPLS atau bagian dari jaringan MPLS. Pada dasarnya, LSP adalah jalur melalui jaringan MPLS atau bagian dari paket yang diambilnya. LSR pertama dari LSP adalah *ingress* LSR untuk LSP tersebut, sedangkan LSR terakhir dari LSP adalah *egress* LSR. Semua LSR di antara *ingress* dan *egress* LSRs adalah *intermediate* LSR. Pada gambar 2.5, panah di atas menunjukkan arah LSP,

karena LSP searah. Aliran dari paket berlabel ke arah lain-kanan ke kiri-antara tepi LSR yang sama akan menjadi LSP lainnya.



Gambar 2.5 LSP pada jaringan MPLS (Ghein, 2006)

*Ingress* LSR dari LSP tidak harus router pertama yang memberi label pada paket. Paket mungkin telah diberi label oleh LSR sebelumnya. Kasus semacam itu akan menjadi *nested* LSP yaitu sebuah LSP di dalam LSP lainnya. Pada gambar 2.6, Anda dapat melihat LSP yang mencakup lebar keseluruhan jaringan MPLS. LSP lain dimulai pada LSR ketiga dan berakhir pada LSR berikutnya. Karena itu, saat paket masuk ke LSP kedua pada *ingress* LSR (ini berarti LSR ketiga), sudah berlabel. LSR *ingress* dari *nested* LSP ini kemudian mendorong label kedua ke dalam paket. Label *stack* pada paket pada LSP kedua memiliki dua label sekarang. Label teratas milik *nested* LSP, dan label bawahnya milik LSP yang mencakup seluruh jaringan MPLS.



Gambar 2.6 *Nested* LSP (Ghein, 2006)

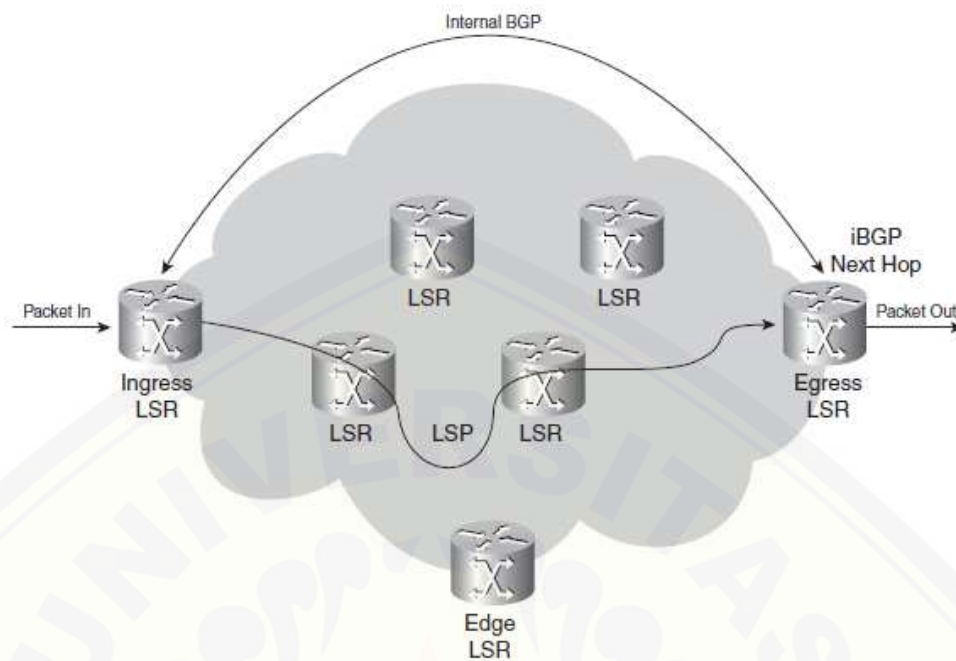
#### 2.4.6 Forwarding Equivalence Class (FEC)

*Forwarding Equivalence Class* (FEC) adalah kelompok atau aliran paket yang diteruskan sepanjang jalur yang sama dan diperlakukan sama sehubungan dengan *forwarding treatment*. Semua paket milik FEC yang sama memiliki label yang sama. Namun, tidak semua paket yang memiliki label sama milik FEC yang sama, karena nilai EXP mereka mungkin berbeda; *forwarding treatment* bisa berbeda, dan mereka bisa saja berada dalam FEC yang berbeda. Router yang menentukan paket mana yang menjadi milik satu FEC dan lainnya adalah *ingress* LSR. Karena *ingress* LSR mengklasifikasikan dan memberi label pada paket.

Berikut adalah beberapa contoh FEC:

1. Paket dengan alamat IP tujuan *Layer 3* yang cocok dengan awalan tertentu
2. Paket *multicast* milik grup tertentu
3. Paket dengan *forwarding treatment* yang sama, berdasarkan pada *precedence* atau IP *DiffServ Code Point* (DSCP) lapangan
4. Frame *Layer 2* dibawa melintasi jaringan MPLS yang diterima pada satu antarmuka VC atau (sub) antarmuka LSR dan dikirim pada satu antarmuka VC atau (sub) pada *egress* LSR
5. Paket dengan alamat IP tujuan *Layer 3* yang termasuk dalam satu set *Border Gateway Protocol* (BGP) *prefiks*, semua dengan BGP yang sama pada *hop* berikutnya.





Gambar 2.7 Jaringan MPLS yang sedang menjalankan iBGP (Ghein, 2006)

Alamat IP tujuan dari semua paket IP yang masuk ke *ingress* LSR akan dicari di tabel IP *forwarding*. Semua alamat ini termasuk dalam satu set awalan yang dikenal di tabel *routing* sebagai BGP prefiks. Banyak BGP prefiks di tabel *routing* memiliki alamat BGP next-hop yang sama, yaitu satu *egress* LSR. Semua paket dengan alamat IP tujuan di mana pencarian IP dalam tabel *routing* *recurses* ke alamat BGP *hop* selanjutnya yang sama dan akan dipetakan ke FEC yang sama. Seperti telah disebutkan, semua paket FEC yang sama mendapatkan label yang sama dengan yang diberikan oleh *ingress* LSR. (Ghein, 2006)

#### 2.4.7 Label Distribution Protocol (LDP)

Pada jaringan MPLS, LSR menggunakan label untuk meneruskan paket namun saat mengirim paket tersebut satu sama lain, kedua LSR tersebut harus menyetujui arti label yang digunakan. LDP adalah protokol yang dirancang khusus untuk menyelesaikan tugas ini dengan menentukan seperangkat peraturan dan prosedur sehingga LSR dapat saling memberi informasi tentang label yang telah mereka lakukan. Singkatnya LDP adalah sebuah protokol dimana informasi mengenai label bindings dan pemetaan dibagi antara LSR untuk menghasilkan

penerusan data paket yang efisien. Hal ini bertanggung jawab agar menjaga operasi label di jaringan MPLS. Gambar 2.8 menunjukkan struktur protokol LDP.



Gambar 2.8 Struktur Protokol LDP (Kharel & Adhikari, 2011)

1. *Version* : Menunjukkan versi protokol LDP.
2. *PDU Length* : Menunjukkan panjang total PDU tidak termasuk versi dan bidang panjang PDU.
3. *LDP Identifier* : Ruang label LSR pengirim diidentifikasi oleh pengenalan ini. Alamat IP yang ditugaskan ke LSR dikodekan dengan empat oktet pertama sementara dua yang terakhir menunjukkan ruang label di dalam LSR.

"LDP peers" yang merupakan LSR yang menggunakan LDP untuk bertukar informasi pemetaan label, memiliki sesi LDP antara satu sama lain. Karena LSR dapat berbagi informasi pemetaan label mereka pada sesi yang sama, protokol ini *bi-directional*. LDP messages terdiri dari empat macam :

1. *Discovery Messages*: Merupakan pesan *hello* yang dikirim secara berkala sebagai paket UDP dan ini memberitahukan adanya LSR di jaringan.
2. *Session Messages*: Ini adalah pesan yang digunakan untuk mengelola atau mengendalikan sesi saat sesi baru dimulai atau berakhir antara LSR yang dipasangkan.
3. *Advertisement Messages*: Pesan ini digunakan untuk mengelola pemetaan label yang ada untuk FEC.
4. *Notification*: Pesan ini digunakan untuk tujuan pemberitahuan kesalahan dan saran. Pemberitahuan kesalahan bertanggung jawab untuk mengakhiri sesi dengan menandakan kesalahan fatal sedangkan

pemberitahuan saran digunakan untuk menyampaikan informasi mengenai LSR pada sesi LDP. Bahkan memberitahukan tentang pesan yang diterima sebelumnya dari *peers*. (Kharel & Adhikari, 2011)

#### 2.4.8 Keuntungan MPLS

MPLS memiliki tingkat keamanan yang sangat baik, tidak kalah dari keamanan pada jaringan *frame relay* maupun ATM. Bagi pelanggan yang sangat mengutamakan keamanan, di perbankan misalnya, tingkat keamanan MPLS ini malah masih dapat ditingkatkan lagi dengan menggabungkan MPLS dengan IPSec. Dilihat dari sisi penyedia jasa, MPLS merupakan solusi yang baik karena fleksibel dan skalabel. Fleksibel karena seluruh pelanggan dapat menggunakan perangkat dan konfigurasi perangkat lunak yang sejenis untuk bermacam-macam jenis layanan premium seperti VoIP, Internet, Intranet, extranet, dan VPN-dial. Semua layanan dapat diaktifkan hanya dengan perubahan parameter di konfigurasi perangkat lunaknya. Skalabel karena perangkat yang ada di sisi pelanggan hanya perlu melakukan peering ke perangkat akses di sisi penyedia jasa.

Keuntungan menggunakan teknologi MPLS :

1. Paket yang sampai lebih cepat.
2. Hilangnya istilah FIFO (First in First Out) karena pada MPLS ini bekerja menggunakan skala prioritas.
3. Mengurangi banyaknya proses pengolahan di IP *routers*, serta memperbaiki proses pengiriman di suatu paket data.
4. Menyediakan *Quality of Service* (QoS) dalam jaringan *backbone*, sehingga setiap layanan paket yang dikirimkan mendapat perlakuan sesuai dengan skala prioritas.

### 2.5 Standarisasi Protokol MPLS

Dalam jaringan MPLS, LSP dibentuk dan label didistribusikan pada setiap hop di sepanjang LSP sebelum paket diteruskan. Ada dua cara untuk membangun

LSP di jaringan MPLS, satu adalah *control driven* LSP dan yang lainnya *Constraint based Routed* LSP (CR-LSP). LSP yang dikendalikan juga disebut sebagai *hop-by-hop* LSP yang diatur menggunakan protokol LDP. Pengaturan *control driven* melibatkan proses setiap LSR yang menentukan hop berikutnya untuk LSP berdasarkan tabel penerusan IP dan mengirimkan permintaan label ke hop berikutnya untuk menetapkan LSP, proses ini berlanjut sampai LSP mencapai *router* tepi (yaitu, *egress router*) dalam domain MPLS.

LSPs yang diarahkan secara eksplisit juga disebut sebagai *Constraint based Routed* LSPs (CR-LSPs). CR-LSPs ditetapkan dengan menentukan rute untuk LSP dalam pesan pengaturan. Pesan pengaturan ini melintasi semua hop di sepanjang rute yang ditentukan. Pada setiap hop, permintaan label dikirim ke hop yang ditunjukkan berikutnya di sepanjang LSP. Perbedaan antara *control driven* LSPs dan CR-LSP adalah bahwa sebuah paket di *control driven* LSPs mengikuti jalur dimana *routing IP default* yang telah digunakan. Sedangkan CR-LSP diatur oleh administrator jaringan atau aplikasi manajemen jaringan yang lalu lintasnya dikirim yang independen terhadap LSP yang dihitung dengan *IP forwarding*. Dengan cara ini CR-LSP digunakan untuk TE dalam MPLS. Dua protokol digunakan untuk mengatur CR-LSP di MPLS adalah :

1. *Constraint based Routed* LDP (CR-LDP)
2. *Resource Reservation Protocol* (RSVP)

#### 2.5.1 *Constraint based Routed* LDP (CR-LDP)

Gagasan utama CR-LDP adalah meningkatkan protokol LDP untuk mengerjakan rute eksplisit, yaitu CR-LSPs, yang mengangkut berbagai parameter untuk reservasi sumber daya dan menyediakan opsi untuk fitur ketahanan dari CR-LSP. Protokol CR-LDP dan LDP adalah protokol *hard-state* yang berarti pesan pensinyalan dikirim hanya satu kali, dan tidak memerlukan penyegaran informasi berkala. Dalam penggunaan CR-LDP, UDP digunakan untuk *peer discovery* dan TCP digunakan untuk pesan iklan, pemberitahuan dan sesi LDP.

CR-LSP di jaringan MPLS diatur dengan menggunakan pesan *Label Request*. Pesan *Label Request* adalah pesan sinyal yang berisi informasi dari daftar *node* yang berada di sepanjang *constraint-based route*. Dalam proses pembentukan CR-LSP, pesan *Label Request* dikirim sepanjang *constraint-based route* menuju tujuan. Jika rute memenuhi persyaratan yang diberikan oleh operator jaringan atau administrator jaringan, semua *node* hadir dalam rute mendistribusikan label dengan menggunakan pesan *Label Mapping*. Distribusi label dimulai dari tujuan dan bergerak berlawanan arah dengan sumbernya, label akhir yang mencapai sumber menunjukkan bahwa CR-LSP didirikan.

Untuk proses pemulihan saat terjadi kegagalan CR-LDP menggunakan TCP sebagai mekanisme transportasi untuk memastikan bahwa proses pemulihan dimulai tepat waktu berdasarkan kebijakan yang ditentukan oleh operator jaringan.

#### 2.5.2 *Resource Reservation Protocol (RSVP) approach*

RSVP adalah protokol *soft-state*. Menggunakan perintah *Path* and *Resv* untuk membuat jalur. CR-LSP yang ditetapkan oleh protokol pensinyalan RSVP di jaringan MPLS dijelaskan oleh langkah-langkah berikut.

1. *Ingress Router* di jaringan MPLS memilih LSP dan mengirim pesan *Path* ke setiap LSR sepanjang LSP tersebut, menjelaskan bahwa ini adalah LSP yang dikehendaki untuk digunakan membangun CR-LSP.
2. LSR di sepanjang LSP yang dipilih menyimpan sumber daya dan informasi dikirim ke *Ingress router* menggunakan pesan *Resv*.
3. Dalam proses ini pesan *Path* and *Resv* dikirim secara berkala untuk me-*refresh* keadaan yang dipelihara di semua LSR bersamaan dengan CR-LSP.

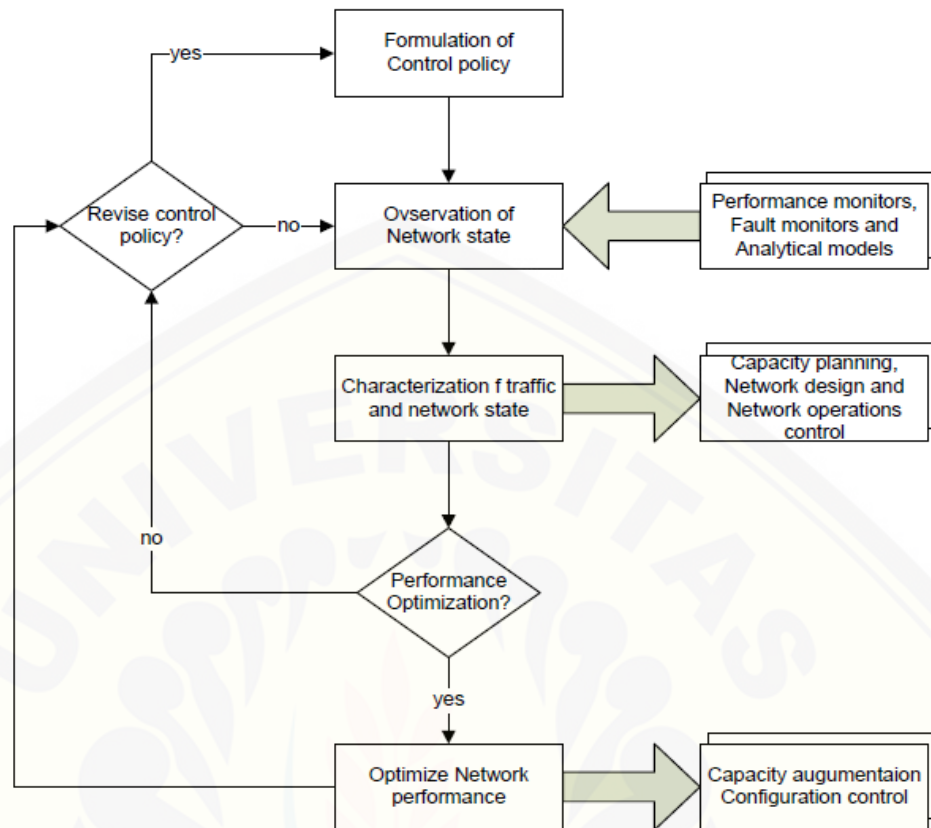
#### 2.5.3 Perbandingan antara RSVP dan CR-LDP

Perbandingan protokol pensinyalan RSVP dan CR-LDP adalah sebagai berikut :

1. RSVP adalah protokol *soft-state*. Sehingga membutuhkan penyegaran secara berkala terhadap pesan *Path* and *Resv* untuk menjaga keadaan di semua LSR sepanjang CR-LSP. Lalu lintas sinyal (pesan *Path* dan *Resv*) meningkat seiring jumlah CR-LSP meningkat di jaringan MPLS. Karena ini, RSVP menyediakan skalabilitas yang buruk pada jaringan MPLS.
2. Sebaliknya, CR-LDP menyediakan skalabilitas yang lebih baik. Karena protokol *hard-state* dan menetapkan CR-LSP berdasarkan permintaan Label dan pesan pemetaan Label. Setelah CR-LSP didirikan, maka tidak akan terjadi pencopotan sampai ada permintaan khusus.
3. Perbedaan lainnya adalah CR-LDP menggunakan TCP untuk mengirim pesan pensinyalannya. Bila terjadi kegagalan, pesan kesalahan dikirim menggunakan mekanisme transportasi yang andal yang memastikan pemberitahuan kegagalan secara cepat. Sedangkan RSVP tidak menjamin pemberitahuan kegagalan secara cepat, karena RSVP memiliki infrastruktur transportasi yang kekurangan andal.
4. RSVP dibuat sebelum CR-LDP untuk tujuan yang berbeda, jadi tidak mengherankan jika RSVP tidak sesuai untuk jaringan TE di jaringan MPLS. Di antara kedua protokol CR-LDP yang paling cocok di MPLS TE. (Jannu & Deekonda, 2010)

## **2.6 Traffic Engineering (TE)**

*Traffic Engineering* (TE) adalah mekanisme yang mengendalikan arus lalu lintas di jaringan dan memberikan optimalisasi kinerja dengan memanfaatkan sumber daya jaringan secara optimal. Beberapa fitur utama TE adalah reservasi sumber daya, toleransi kesalahan dan pemanfaatan Sumber Daya yang optimal.



Gambar 2.9 Model Proses *Traffic Engineering* (Kharel & Adhikari, 2011)

### 2.6.1 Faktor penting yang dibutuhkan untuk TE

#### 1. Distribusi informasi topologi

Mekanisme untuk memberitahu informasi terkini tentang jaringan kepada *node*, sehingga *node* dapat membangun peta tentang topologi jaringan. Sangat penting agar informasi tentang kegagalan tautan atau *node* harus cepat diperbanyak melalui jaringan sehingga masalah ini diperbaiki dengan cepat

#### 2. Pemilihan jalur

Proses ini melibatkan komputasi informasi jalur antara *node* dalam jaringan. Jalur terpendek dengan link minimum dipilih. Kendala lain seperti *bandwidth* dan *delay* juga dipertimbangkan selama pemilihan jalur.

#### 3. Mengarahkan lalu lintas sepanjang jalur yang dihitung

Lalu lintas diteruskan sepanjang jalur yang dihitung antara sumber dan *node* tujuan. Biasanya hal ini dicapai dengan *forwarding table*.

#### 4. Manajemen lalu lintas

Pengelolaan lalu lintas berkaitan dengan proses meneruskan lalu lintas dengan kualitas yang dapat diprediksi. Parameter seperti *bandwidth*, *delay*, *jitter* dan *packet loss* menjadi perhatian utama manajemen lalu lintas.

#### 2.6.2 *Traffic Engineering* dalam jaringan MPLS

Tujuan utama untuk mempertimbangkan penggunaan TE adalah menggunakan sumber daya jaringan yang tersedia secara efisien dan meningkatkan kualitas layanan aplikasi di Internet. Motivasi dibalik MPLS TE adalah *Constraint Based Routing* (CBR) yang mengambil *bandwidth*, kebijakan dan topologi jaringan (*routing* IP menggunakan OSPF, yang menghitung jalur terpendek antara *node* dan tidak memperhatikan apakah jalur tersebut memiliki sumber daya yang cukup) untuk mempertimbangkan jalur (jalur mengacu pada LSPs) di domain MPLS untuk meneruskan paket.

#### *Constraint Based Routing* (CBR)

*Constraint Based Routing* (CBR) juga disebut sebagai *Constrained Shortest Path First* (CSPF) adalah perpanjangan dari algoritma jalur terpendek. CBR menghitung jalur di MPLS, berdasarkan batasan seperti jumlah minimal *bandwidth* yang dibutuhkan dalam sebuah *link*, *end-to-end delay* dan kebijakan administrasi. Pada CBR pemilihan jalur didasarkan pada prosedur yang melibatkan, menghapus jalur yang memiliki *bandwidth* yang tidak mencukupi atau tidak memenuhi kendala yang dipersyaratkan. Hanya jalur yang memenuhi kriteria yang dipersyaratkan oleh kebijakan administratif yang dipilih dan algoritma jalur terpendek dijalankan di jalur ini untuk menemukan jalur terpendek dari *ingress* ke *egress router* di jaringan MPLS. Jalur yang diberikan oleh CBR *routing* mungkin merupakan jalur yang lebih panjang tapi ringan yang lebih baik daripada jalur



terpendek yang lebih berat. CBR digunakan secara luas di MPLS TE untuk mendistribusikan lalu lintas secara merata dan meningkatkan kinerja jaringan.

Untuk membangun LSP dari *ingress* ke *egress router* dan menerapkan TE dalam protokol pensinyalan jaringan MPLS. RSVP dan CR-LDP adalah protokol pensinyalan yang dikembangkan oleh IETF untuk mengimplementasikan TE dalam MPLS.

## 2.7 Quality of Service (QoS)

QoS didefinisikan sebagai seperangkat teknik untuk mengklasifikasikan dan mengelola sumber daya jaringan dengan bantuan tingkat tertentu dari *packet loss*, *bit rate*, *jitter*, *delay*, dll. Aplikasi *real time* seperti VoIP, *game online*, siaran langsung *video* atau *audio* sensitif terhadap *delay* dan memerlukan *bitrate* tetap. QoS memainkan peran penting dalam jaringan di mana kapasitas adalah sumber daya yang terbatas. Hal yang sama pentingnya bagi aplikasi dan konsumen untuk mendapatkan beberapa tingkat jaminan QoS agar aplikasi *real time* seperti itu berjalan lancar. Ada tiga jenis dari model QoS yaitu *best effort service*, *integrated service (IntServ)*, *Differentiated Service (DiffServ)*

### 2.7.1 Best Effort Service

Ini adalah model layanan tunggal. Dalam model ini, tidak ada informasi yang diberikan dan tidak ada izin yang diambil dari jaringan oleh aplikasi sebelum mengirim data. Dalam *Best Effort Service* tidak ada jaminan keandalan, *throughput*, dan *delay*. Antrian *First In First Out (FIFO)* digunakan sebagai default untuk penjadwalan; Menggunakan manajemen antrian *drop tail*. Dalam mekanisme ini, paket masuk baru disimpan di ujung antrian dan paket yang datang saat antrian penuh akan dibuang.

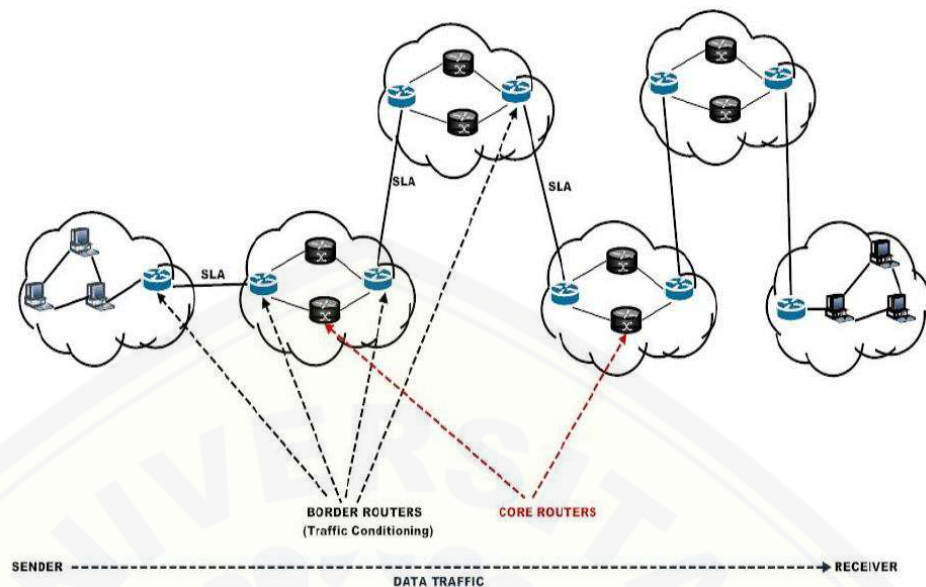
### 2.7.2 Integrated Service (IntServ)

*Integrated Service (IntServ)* adalah beberapa model layanan yang dapat mempertimbangkan persyaratan QoS yang berbeda. Permintaan sebelumnya dikirim ke jaringan sebelum mengirim data. Proses penanganan permintaan di

jaringan dilakukan oleh *Resource reservation Protocol* (RSVP). Layanan permintaan aplikasi dari jaringan dengan persyaratan sumber daya tertentu seperti *bandwidth* dan *delay*. Bila permintaan diproses oleh jaringan informasi ini dikirimkan ke aplikasi untuk mengirim data. Layanan khusus dengan beberapa persyaratan *delay* dan *bandwidth* diminta dari jaringan oleh aplikasi, kemudian bila jaringan mengkonfirmasi, aplikasi akan mengirimkan data. Model ini juga dilengkapi mekanisme kontrol masuk dengan mengambil informasi sumber daya aplikasi dan jaringan yang sedang dipertimbangkan. Jaringan yang menggunakan model ini mempertahankan keadaan aliran dan melakukan operasi tertentu seperti *policing*, klasifikasi paket dan antrian.

### 2.7.3 *Differentiated Service (DiffServ)*

Model ini diciptakan untuk mengatasi masalah skalabilitas yang ada di *IntServ*. Pada *DiffServ*, kelas dibagi menjadi beberapa kelas layanan yang diperlakukan secara berbeda. Ada fenomena *Behavioral Aggregate* (BA) di mana kelompok arus digabungkan yang seharusnya membuat *diffserv* terukur. Fenomena BA ini dilakukan dengan menggunakan *router* yang berbeda dengan sumber daya yang berbeda; fungsionalitas *router* inti dan *router* pinggir dipisahkan. Router inti tidak dapat bertukar paket dengan domain lain karena mereka hanya memiliki akses ke koneksi *internal*. Oleh karena itu, jika paket itu harus ditukar dengan domain lain maka *router* pinggir ikut bermain.



Gambar 2.10 Arsitektur *DiffServ* (Kharel & Adhikari, 2011)

Paket dari BA yang berbeda diberi perlakuan unik oleh *router* dan ini disebut sebagai *Per Hop Behavior* (PHB). *Differentiated Service Code Point* (DSCP) yang ditandai di bidang *Differentiated Service* (DS) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan paket dalam *Diffserv*. Menjaga catatan informasi per arus dan pengkondisian lalu lintas dilakukan oleh *router* pinggir. Ada profil kesepakatan tertentu yang dibuat untuk lalu lintas masuk dan keluar yang tidak boleh diubah. Oleh karena itu, untuk mengurus hal ini dan tidak membiarkan trafik turun dari batas, diperlukan pengkondisian lalu lintas. Konfigurasi *router* pinggir dilakukan dengan mengambil profil lalu lintas dengan bantuan SLA. *Packet forwarding* dilakukan oleh *router* inti yang memeriksa DSCP dan pemetaan dengan PHB. Seperti yang distandarisasi oleh IETF, ada dua jenis PHB yaitu, *Expedited Forwarding* (EF) dan *Assured Forwarding* (AF)

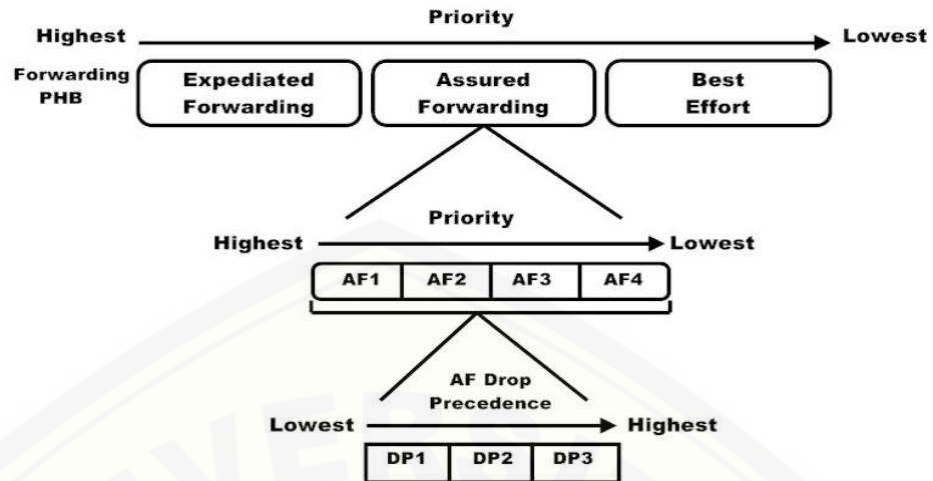
### 2.7.3.1 *Expedited Forwarding* (EF)

EF adalah mekanisme *forwarding* dengan prioritas tertinggi dan dianggap terbaik untuk aplikasi yang membutuhkan layanan kelas satu. Untuk memilih PHB sebagai perawatan penerusan ke paket, titik kode digunakan pada *header IP* oleh *node* jaringan dengan menggunakan peningkatan layanan terdiferensiasi ke IP.

PHB yang dipilih dalam proses ini disebut ekspedisi forwarding (EF). PHB EF ini dapat disediakan untuk menyediakan layanan *end-to-end* di jaringan *DiffServ*. Hal ini juga digunakan untuk *provisioning low jitter, low loss, least delay, least latency*, dan *guaranteed bandwidth*. Masalah *latency, jitter*, dan *loss* dialami karena trafik pada antrian terjadi saat berada di jaringan. Paket yang diberi label dengan DSCP dan menentukan PHB EF dipastikan tidak memiliki antrian atau antrian yang lebih pendek di simpul jalurnya. Agar antrian tidak muncul di *node*, tingkat kedatangan maksimum lalu lintas EF tidak boleh melebihi tingkat keberangkatan minimum. Kondisi ini ditentukan dengan mengkonfigurasi *node* dan mengkondisikan agregat dengan menerapkan kebijakan antrian pada setiap *node* interior sehingga dapat mengatur antrian untuk semua lalu lintas PHB.

#### 2.7.3.2 Assured Forwarding (AF)

AF PHB memiliki prioritas lebih rendah daripada EF namun prioritasnya lebih tinggi daripada *best effort*. Ada empat kelas yang diteruskan secara independen. Kelas dapat dianggap sebagai AF1, AF2, AF3, dan AF4 dimana prioritasnya terus menurun berurutan. Bergantung pada *Service Level Agreement (SLA) bandwidth* tertentu untuk antarmuka dan ukuran ruang penyangga tertentu dialokasikan untuk setiap kelas. Dalam setiap kelas AFX ada tiga sub kelas yang disebut *drop precedence*, yang dikenal sebagai DP1, DP2 dan DP3 dengan *drop precedence* yang lebih tinggi secara berurutan. Kapan pun kemacetan terjadi pada node DS dari link tertentu maka paket di kelas AFx tertentu akan terjatuh. Paket di AFx akan turun sesuai  $DP1 (AFx) \leq DP2 (AFx) < DP3 (AFx)$ . Jadi jika kita mempertimbangkan kelas AF1, maka DP3 memiliki penurunan tertinggi didahulukan maka paket kelas AF1 dengan DP1 akan dijatuhkan sebelum paket kelas AF1 dengan DP2 dan paket dari kelas AF1 dengan DP3 dijatuhkan pada akhirnya.



Gambar 2.11 *Forwarding* PHBs dan prioritasnya (Kharel & Adhikari, 2011)

## 2.8 OPNET Modeler

OPNET menyediakan beberapa modul untuk simulasi yang terdiri dari protokol dan elemen jaringan. Telah mendapatkan popularitas di bidang akademis karena ditawarkan secara gratis untuk biaya institusi dan juga diperoleh sebagai versi siswa. Pengguna tidak perlu memiliki pengetahuan pemrograman untuk menggunakan OPNET. Pengguna bisa langsung berkonsentrasi dalam membangun dan menganalisa model dari simulasi. Fitur utama dari OPNET adalah menyediakan berbagai kemampuan konfigurasi jaringan kehidupan nyata yang membuat lingkungan simulasi mendekati kenyataan. Kelebihan OPNET dibandingkan simulator lainnya mencakup antarmuka GUI, perpustakaan komprehensif protokol jaringan dan model, antarmuka grafis untuk melihat hasilnya, ketersediaan dokumentasi bagi pengguna untuk mengembangkan model jaringan dll.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Terapan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian analisa perbandingan *voice over* MPLS pada protokol CR-LDP dan RSVP adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dan memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Perumusan masalah

Tahapan kedua adalah merumuskan masalah dari beberapa hal yang berkaitan dengan penelitian dan dari hasil studi literatur yang sebelumnya telah dilakukan.

3. Perancangan simulasi

Tahap ketiga adalah melakukan perancangan simulasi yang akan dilakukan menggunakan OPNET *Modeler* 14.5 beserta parameter-parameternya yang akan digunakan.

4. Pengujian dan pengambilan data

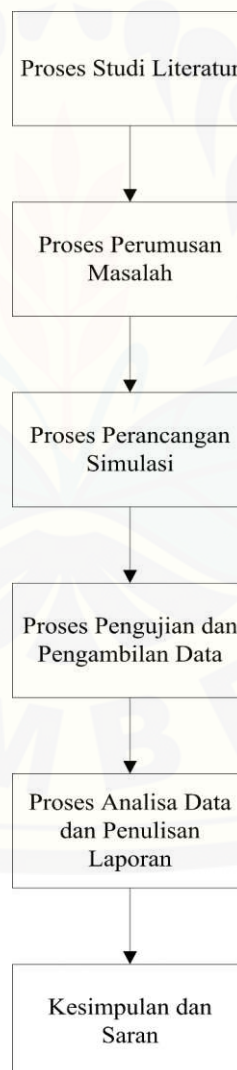
Tahap keempat adalah melakukan simulasi jaringan VoMPLS dengan protokol CR-LDP dan RSVP untuk mengirimkan data komunikasi (*voice*) dengan berbagai macam *codec* yang telah ditentukan menggunakan *OPNET Modeler*.

5. Analisa data dan penulisan laporan

Tahap kelima adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dari tahap sebelumnya.

6. Kesimpulan dan saran

Tahap keenam adalah tahap terakhir pada penelitian ini yaitu memberikan kesimpulan dan saran dari pengujian dan analisa data yang diperoleh.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

### 3.3 Protokol Jaringan MPLS

Berikut adalah protokol jaringan yang akan digunakan dalam simulasi dan nantinya akan dianalisa dan disimpulkan mana protokol yang paling baik untuk melakukan VoIP dalam jaringan MPLS. Terdapat 2 protokol jaringan yang akan digunakan pada penelitian.



Gambar 3.2 CR-LDP

Pada protokol jaringan pertama CR-LDP merupakan protokol kontrol yang digunakan pada beberapa jaringan komputer. CR-LDP merupakan perpanjangan dari *Label Distribution Protocol (LDP)*, salah satu protokol dalam arsitektur MPLS. CR-LDP berisi ekstensi LDP untuk memperluas kinerjanya seperti jalur penyimpanan di luar.



Gambar 3.3 RSVP

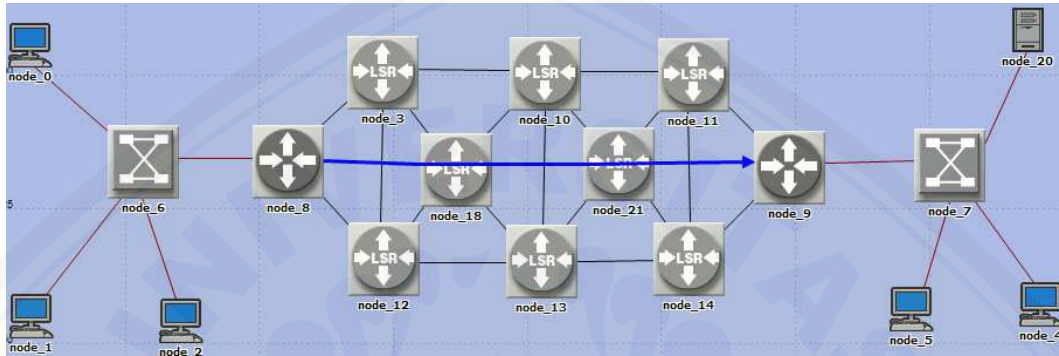
Pada protokol jaringan kedua RSVP yang mana mendukung pemesanan sumber daya di jaringan IP. RSVP merupakan protokol terpisah pada tingkat IP. Menggunakan datagram IP untuk berkomunikasi antara tiap LSR.

### 3.4 Skenario Simulasi

Pada Gambar 3.4 memperlihatkan skenario simulasi jaringan MPLS yang akan digunakan. Jaringan ini akan di simulasikan dengan protokol RSVP dan CR-LDP. Agar simulasi dapat berjalan sama seperti keadaan sesungguhnya maka



aplikasi FTP, *video*, *voice* digunakan pada jaringan ini. FTP dikirimkan dari sumber (FTP) menuju penerima (FTP server), *video* dikirimkan dari sumber (*VIDEO a*) menuju penerima (*VIDEO b*), VoIP dikirimkan dari sumber (*VOICE a*) menuju penerima (*VOICE b*). Jaringan ini terdiri dari lima *workstation*, satu *server*, dua *switch*, dua LER router, dan delapan LSR router.



Gambar 3.4 Skema Model Simulasi

Pada router akan digunakan topologi mesh dengan routing protokol yang digunakan adalah OSPF (*Open Shortest Path First*) sementara pada *voice workstation* akan menggunakan tipe *codec* yang berbeda-beda yakni G.711, G.723.1 (5.3kbps, 6.3kbps), G.726 (16kbps, 24kbps, 32kbps, 40kbps), G.728 (12.8kbps, 16kbps), G.729, GSM EFR, dan IS-641 setiap *codec* akan disimulasikan secara bergantian.

### 3.5 Simulasi dan Pemodelan

Pada sub bab ini membahas tentang komponen pada pemodelan, pengaturan yang dilakukan dalam berbagai modul OPNET dan langkah-langkah untuk prosedur jaringan lalu lintas.

#### 3.5.1 Komponen Pada Pemodelan Jaringan

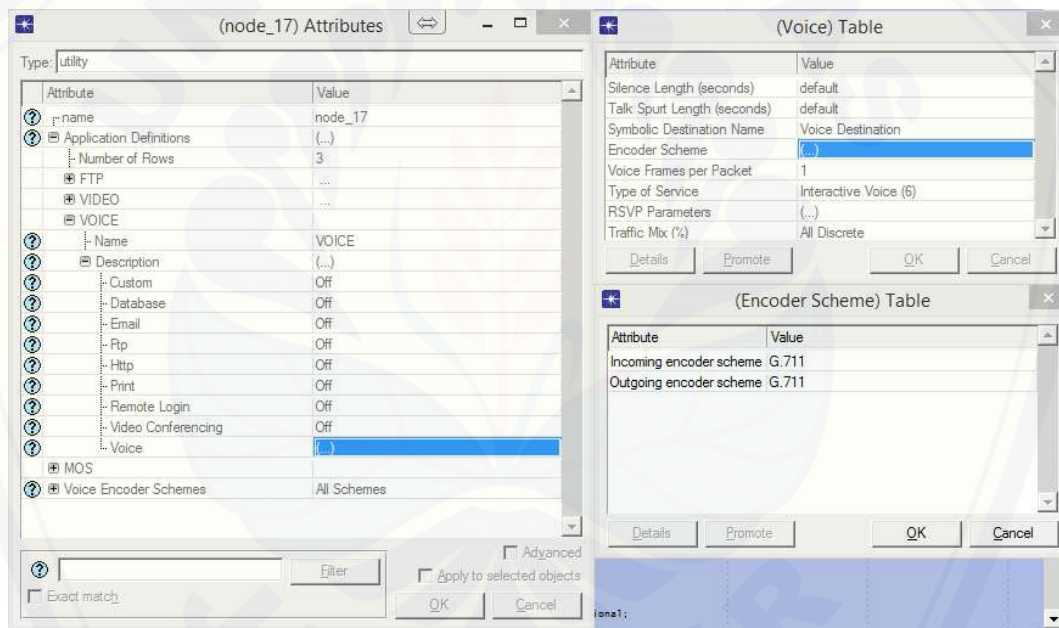
Untuk pengaturan modul jaringan pada simulasi, berbagai macam modul dari OPNET *model library* digunakan dan berikut ini jenis jenis modul yang digunakan :

1. Ethernet\_wkstn digunakan sebagai *workstations* dengan fungsi kedua aplikasi *client-server* berjalan.
2. PPP\_DS3 *links* digunakan untuk menghubungkan LER dengan LSR dan LSR dengan LSR lainnya dengan data *rate* 44,7 Mbps.
3. 100BaseT *links* digunakan untuk menghubungkan *workstations* dengan *switch* dan *switch* dengan LER.
4. Ethernet16\_ *switch* digunakan sebagai penghubung antar *workstations*.
5. Ethernet2\_slip8\_1er (*Label Edge Router*) digunakan sebagai LER yang menyediakan 2 ethernet dan 8 *interface* jalur serial. LER ini digunakan karena merupakan LER standart yang disediakan dalam *library models* OPNET MPLS.
6. Ethernet2\_slip8\_1sr (*Label Switch Router*) digunakan sebagai LSR yang memiliki struktur *interface* yang sama seperti pada ethernet2\_slip9\_1er. LSR ini digunakan karena merupakan LSR standart yang disediakan dalam *library models* OPNET MPLS.
7. MPLS\_E-LSP\_Static digunakan untuk membuat *Label Switched Path* (LSP).
8. *Application\_Config* berisi informasi dari berbagai parameter aplikasi seperti aplikasi suara, aplikasi video, dan lain lain. Nama aplikasi yang diberikan di sini digunakan dalam objek *Profile\_Config* pada saat membuat profil pengguna.
9. *MPLS\_Config* digunakan untuk mengkonfigurasi *Traffic Trunks* dan *Forward Equivalence Class* (FEC).
10. *QoS\_Config* digunakan untuk menentukan detail konfigurasi QoS.
11. *Profile\_Config* digunakan untuk membuat profil pengguna. Saat membuat profil pengguna tersebut, objek ini menggunakan aplikasi yang ditentukan dalam *Application\_Config*.

### 3.5.2 Prosedur Jaringan Lalu Lintas VoIP pada OPNET

*Voice Traffic* adalah *traffic* utama yang dipertimbangkan dalam skripsi ini. FTP *traffic* dan *video traffic* berperan sebagai *traffic* latar belakang. Karena *traffic*

FTP dan *video* menghabiskan lebih banyak sumber daya jaringan, maka menggunakan ini sebagai *traffic* latar belakang memungkinkan kita dapat menyelidiki kinerja jaringan ketika jaringan menjadi padat. Untuk dapat menerapkan *traffic* tersebut maka *application\_config* digunakan dari OPNET *model library*. *Application\_config* memiliki fasilitas untuk mengkonfigurasi atribut dari definisi aplikasi, dan memiliki sejumlah aplikasi standar yang dapat kita gunakan secara langsung atau dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan. Di antara semua aplikasi yang ada kami hanya menggunakan FTP, *video*, dan *voice*. Pengaturan untuk aplikasi *voice* dibuat dengan menggunakan parameter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5

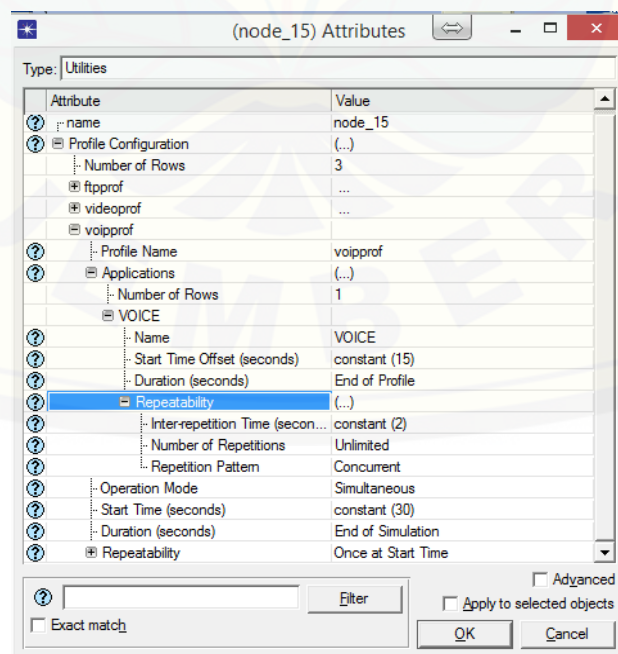


Gambar 3.5 Konfigurasi Aplikasi

Untuk aplikasi *voice* kita mengatur kualitas suara menggunakan jenis layanan *Interactive Voice* (6) sementara untuk *encoder scheme* pada *incoming* dan *outgoing* menggunakan *codec* G.711, G.722 (48,56, dan 64 kbps), G.723.1 (5,3 dan 6,3 kbps), G.726 (16, 24, 32 dan 40 kbps), G.728 (12,8 dan 16 kbps), G.729, GSM EFR, dan IS-641 yang digunakan secara bergantian. Untuk aplikasi FTP kami menetapkan *heavy file transfer* atau *high load* sehingga kami dapat mengirimkan *traffic* latar belakang yang tinggi dan membuat jaringan menjadi padat. Untuk tipe

*service* yang digunakan adalah *Best Effort Service*. Sedangkan untuk aplikasi *video* kami menggunakan *High Resolution Video* dan tipe *service* yang digunakan adalah *Streaming multimedia* (4).

Setelah mengkonfigurasi aplikasi selanjutnya adalah mengkonfigurasi profil aplikasi yang mana sebenarnya terspesifikasi pada profil aplikasi di jaringan. Dimana profile dibuat untuk semua aplikasi VoIP, aplikasi FTP dan aplikasi *Video* berdasarkan pengaturan dalam jaringan seperti waktu mulai panggilan VoIP, waktu akhir, mode operasi dan profil serupa untuk aplikasi FTP dan *Video*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6, *Start time* dari aplikasi VoIP diatur pada *constant* (30) dan *Start time* dari panggilan pertama diatur pada *constant* (15) yang berarti panggilan VoIP pertama berlangsung pada detik ke-45 dari waktu simulasi. Pada tiap 2 detik setelah panggilan pertama akan ada panggilan baru yang masuk di jaringan selama simulasi berjalan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur *inter-repetition time* pada *constant* (2) yang memungkinkan aplikasi *voice* mengulang panggilan setiap 2 detik selama simulasi. Proses ini berakhir ketika simulasi selesai yang dikonfigurasi dengan menetapkan *setting duration* pada *end of simulation*. Demikian pula pada profil FTP dan aplikasi video.



Gambar 3.6 Konfigurasi Profil

### 3.6 Metrik Kinerja

Pada simulasi ini, saya menggunakan empat metrik untuk mengevaluasi kinerja dari VoMPLS CR-LDP dan RSVP dengan berbagai *codec*.

#### 3.6.1 Mean Opinion Score (MOS)

MOS menyediakan ukuran numerik kualitas ucapan manusia dalam telekomunikasi suara, dengan nilai berkisar antara 1 sampai 5; Dimana 1 adalah kualitas terburuk dan 5 adalah kualitas terbaik. MOS dihitung menggunakan pemetaan non linier dari faktor R seperti pada :

$$MOS = 1 + 0.035R + 7 * 10^{-6}R(R - 60)(100 - R) \quad (3.1)$$

Dimana  $R = 100 - I_s - I_e - I_d + A$ .  $I_s$  adalah efek dari gangguan yang terjadi dengan sinyal suara;  $I_e$  adalah gangguan yang disebabkan oleh berbagai jenis kerugian yang terjadi akibat *codec* dan jaringan,  $I_d$  merupakan penurunan yang disebabkan oleh keterlambatan penundaan lalu lintas, dan  $A$  merupakan keuntungan akses dari jaringan. Menggunakan pengaturan standar untuk  $I_s$  dan  $A$ , Eqn 1 dapat dikurangi menjadi  $R = 94.2 - I_e - I_d$ .

#### 3.6.2 Packet End-to-End Delay

Total dari *voice packet delay* di hitung dengan :

$$D_{e2e} = D_n + D_e + D_d + D_c + D_{de} \quad (3.2)$$

Dimana  $D_n, D_e, D_d, D_c$ , dan  $D_{de}$  mewakili jaringan, *encoding*, *decoding*, kompresi dan dekompresi penundaan, masing-masing.

#### 3.6.3 Jitter

Di *Riverbed*, *jitter* dihitung sebagai selisih maksimum dalam *delay* satu arah paket selama *interval* waktu tertentu. Misalkan  $t_{(i)}$  dan  $t'_{(i)}$  adalah waktu yang ditransmisikan pada pemancar dan waktu yang diterima pada penerima. Jitter dihitung sebagai berikut:

$$jitter = \max_{i=1}^n ([t'(n) - t'(n-1)] - [t(n) - t(n-1)]) \quad (3.3)$$

#### 3.6.4 Packet Delay Variation (PDV)

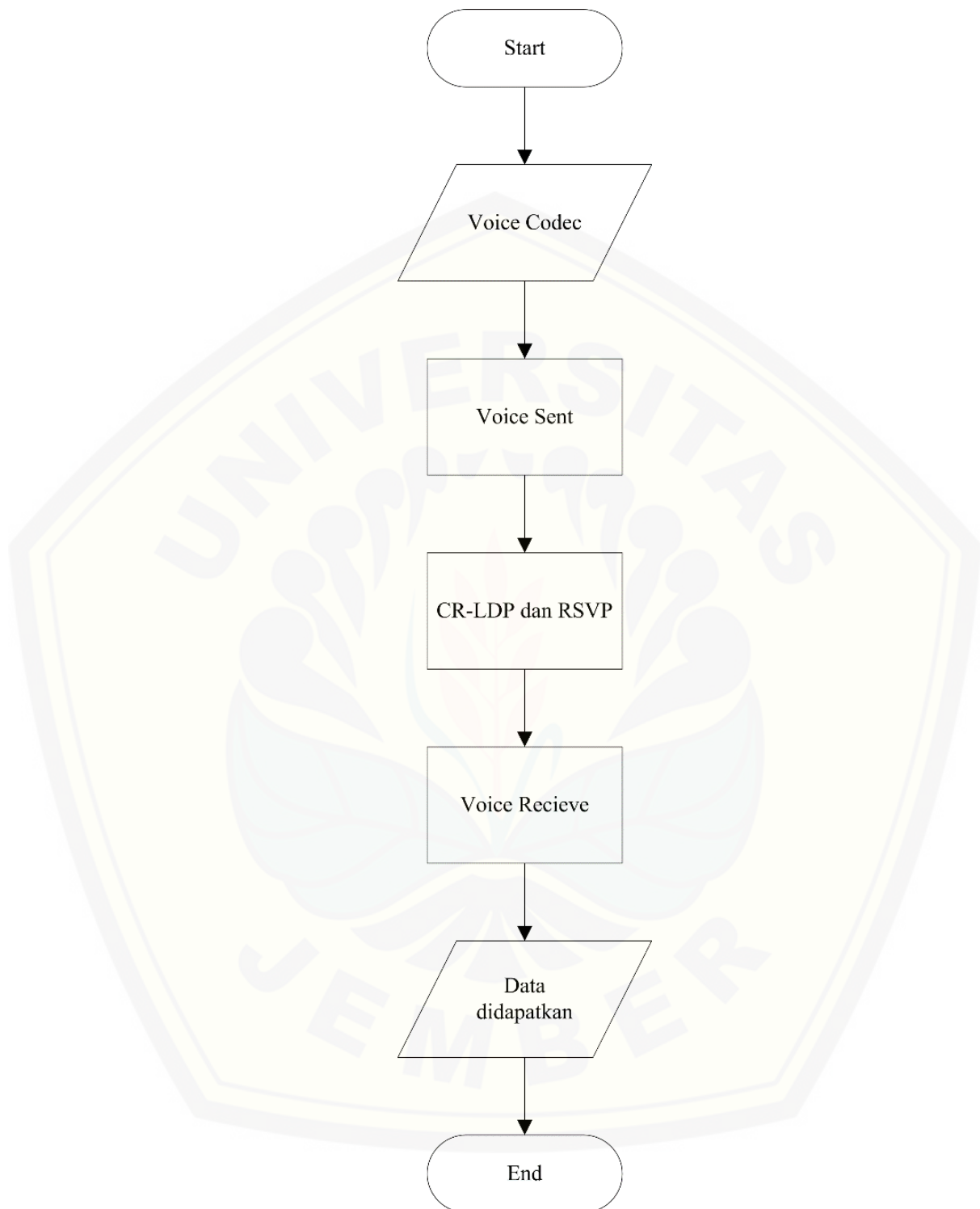
PDV pada *Riverbed* didefinisikan sebagai varian dari *delay* paket, yang dihitung sebagai berikut:

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^n ([t'(n) - t(n)] - u)^2}{n} \quad (3.4)$$

Dimana  $u$  adalah *delay* rata-rata dari paket yang dipilih sebagai  $n$ . (Jadhav, Zhang, & Huang)

### 3.7 Penerapan Sistem dan Pengambilan Data

Pada Gambar 3.5 di tunjukkan bahwa pengujian akan dimulai dari pengaturan sistem yaitu mengatur dan menyiapkan semua kondisi dan perangkat yang akan di gunakan saat simulasi mulai dari pengaturan protokol yang digunakan. Dengan menentukan *codec* yang akan digunakan satu persatu pada *voice* yang akan kita kirimkan secara berurutan dari *codec* G.711, G.723.1 5,3kbps, G.723.1 6,3kbps, G.726 16kbps, G.726 24kbps, G.726 32kbps, G.726 40kbps, G.728 12,8kbps, G.728 16kbps, G.729, GSM EFR, IS-641. Setelah *codec* ditentukan dan dipilih maka penulis mengirimkan *voice*. Pengiriman *voice* dilewatkan melalui protokol CR-LDP dan RSVP. Setelah *voice* diterima maka penulis melakukan pengambilan data pada simulasi yaitu data MOS, *voice packet jitter*, data *voice packet delay variation*, dan data *voice packet end-to-end delay*. Jika data didapatkan maka penulis akan melakukan perbandingan dari semua data yang ada dan melakukan penulisan laporan dan menganalisa serta melakukan penulisan hasil perbandingan terbaik dari semua data yang ada.



Gambar 3.7 *Flowchart* Pengambilan Data

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan skenario simulasi dan pelaksanaan simulasi serta pengambilan data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. VoMPLS pada jaringan protokol RSVP dapat berjalan dengan baik dengan menggunakan *audio codec* G.726 32kbps pada metode antrian *Priority Queuing* (PQ) dengan nilai *jitter*  $8,68555 \times 10^{-8}$  detik, nilai PDV  $6,90968 \times 10^{-8}$  detik, nilai *end-to-end delay* 0,0656 detik nilai MOS 3,6631 , *trafik drop* pada detik ke-180, dengan nilai panggilan sukses 67 VoIP call.
2. VoMPLS pada jaringan protokol CR-LDP dapat berjalan dengan baik dengan menggunakan *audio codec* G.711 pada metode antrian *Priority Queuing* (PQ) dengan nilai *jitter*  $6,66656 \times 10^{-8}$  detik, nilai PDV  $4,83159 \times 10^{-8}$  detik, nilai *end-to-end delay* 0,06547 detik, nilai MOS 3,663422, *trafik drop* pada detik ke-113, nilai panggilan sukses 34 VoIP call.
3. Data VoMPLS pada jaringan protokol RSVP dan CR-LDP setelah di bandingkan kedua data tersebut maka protokol jaringan MPLS terbaik untuk VoMPLS adalah CR-LDP dengan *audio codec* G.711 menggunakan metode antrian *Priority Queuing* (PQ).
4. Metode antrian terbaik untuk VoMPLS baik pada protokol RSVP maupun CR-LDP adalah metode antrian *Priority Queuing* (PQ)

### 5.2 Saran

Setelah melakukan simulasi *Voice over* MPLS pada jaringan protokol CR-LDP dan RSVP dengan program OPNET ini terdapat beberapa kekurangan atau kendala, berikut ini merupakan saran untuk pengembangan lebih lanjut :

1. Dapat dicoba semua kondisi pengiriman *voice* pada ToS sehingga dapat mengetahui *codec* mana yang lebih tahan terhadap kualitas suara yang dikirimkan.

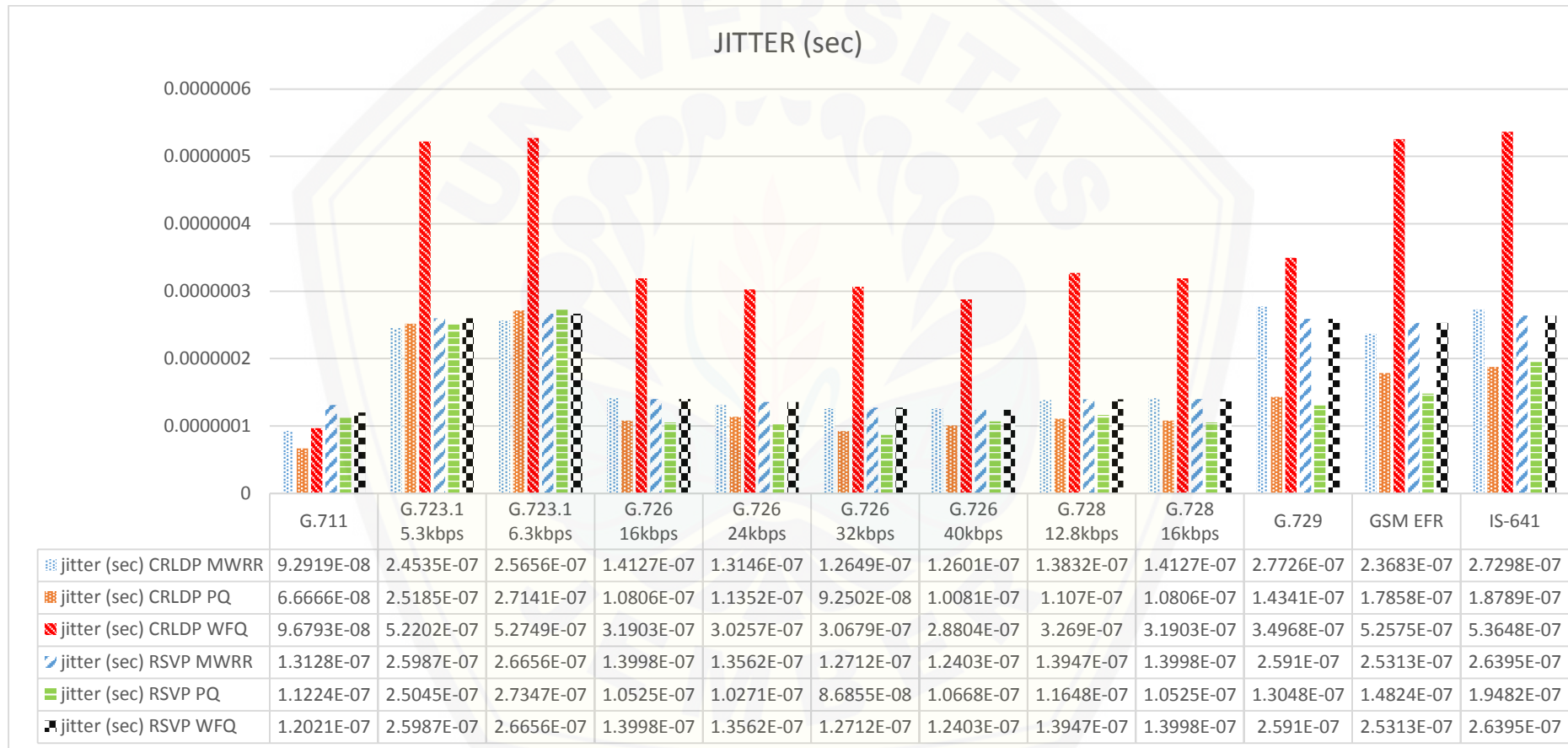


**DAFTAR PUSTAKA**

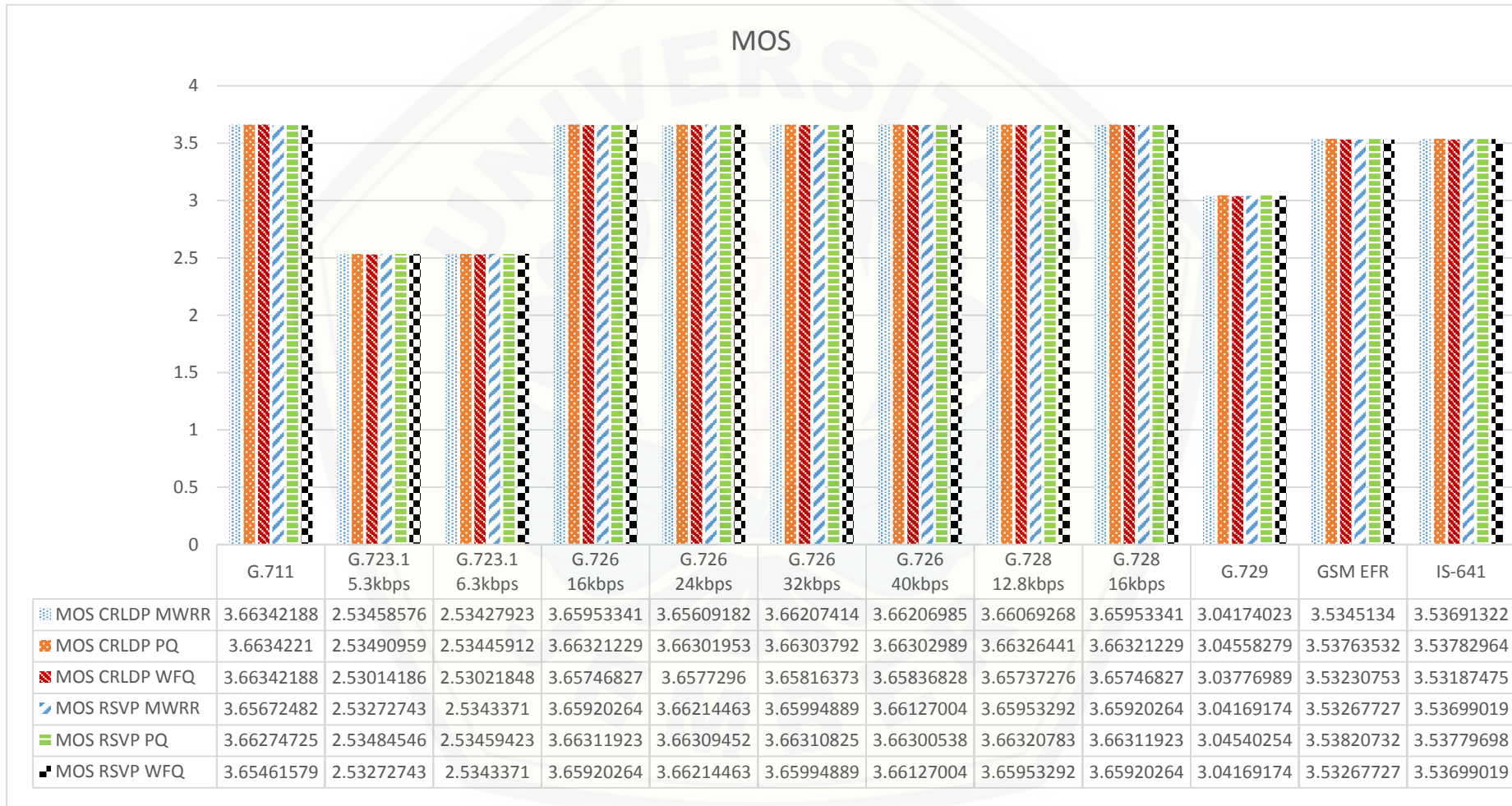
- Garg, V. (2007). *WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING*. Morgan Kaufmann.
- Ghein, D. L. (2006). *MPLS Fundamentals*. Cisco Press.
- Ibrahim, S. K., & Al-Quzwini, M. M. (2012). *Performance Evaluation of MPLS TE Signaling Protocols with Different Audio Codecs for Voice Application*.
- Jadhav, S., Zhang, H., & Huang, Z. *Performance Evaluation of Quality of VoIP in WiMAX and UMTS*.
- Jannu, K., & Deekonda, R. (2010). *OPNET simulation of voice over MPLS With Considering Traffic Engineering*. Master Thesis, Blekinge Institute of Technology.
- Järvinen, K. (t.thn.). *STANDARDISATION OF THE ADAPTIVE MULTI-RATE CODEC*.
- Kharel, J., & Adhikari, D. (2011). *Performance Evaluation of Voice Traffic over MPLS Network with TE and QoS Implementation*. Master Thesis, Blekinge Institute of Technology.
- Luthra, P., & Sharma, M. (2012). *Performance Evaluation of Audio Codecs using VoIP Traffic in Wireless LAN using RSVP*.
- Naoum, D. S., & Maswady, M. (2012). *Performance Evaluation for VOIP over IP and MPLS*.
- Putra, F. Y. (2012). *ANALISIS KINERJA SISTEM PROTEKSI DALAM TEKNOLOGI MPLS (MULTI PROTOCOL LABEL SWITCHING) TERHADAP TRANSMISI PT. APLIKANUSA LINTASARTA SURABAYA. SKRIPSI, UNIVERSITAS JEMBER, TEKNIK ELEKTRO, JEMBER. Dipetik 2016*
- Shabbir, A. (2005). *VoMPLS - Voice with MPLS-TE*.

## LAMPIRAN

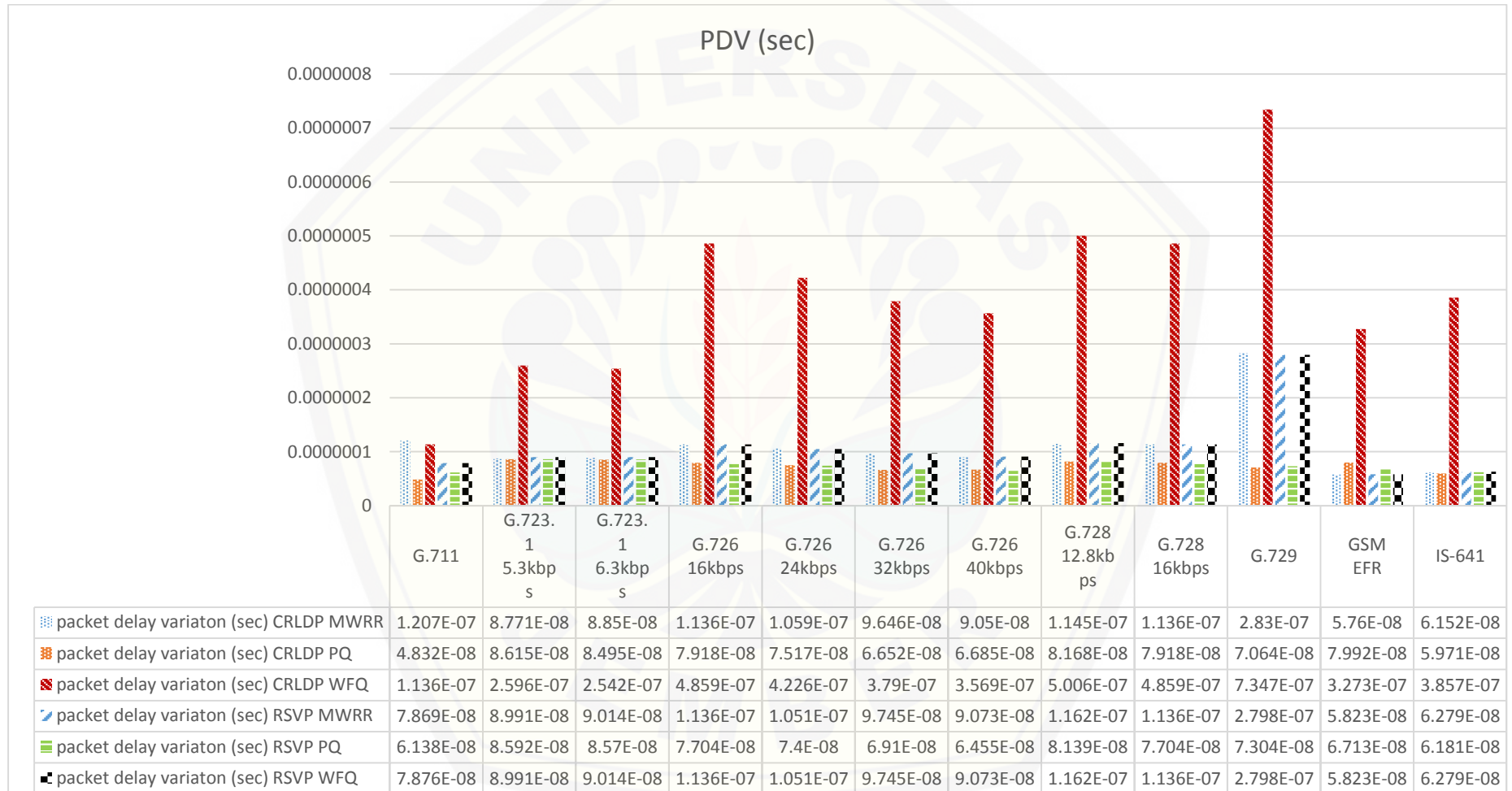
Lampiran 1 Grafik nilai *jitter* semua *codec* protokol CR-LDP dan RSVP



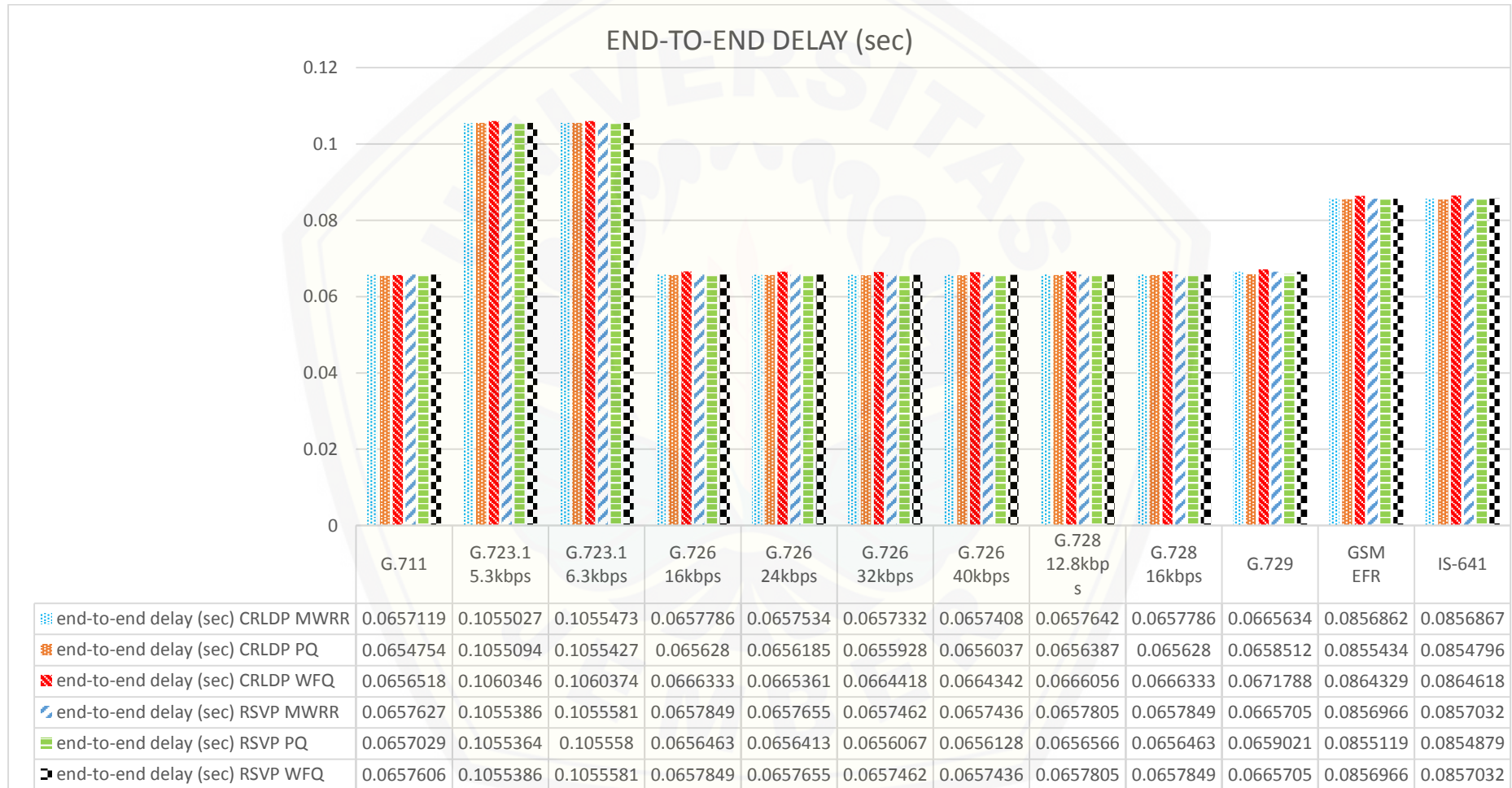
Lampiran 2 Grafik nilai MOS semua *codec* protokol CR-LDP dan RSVP



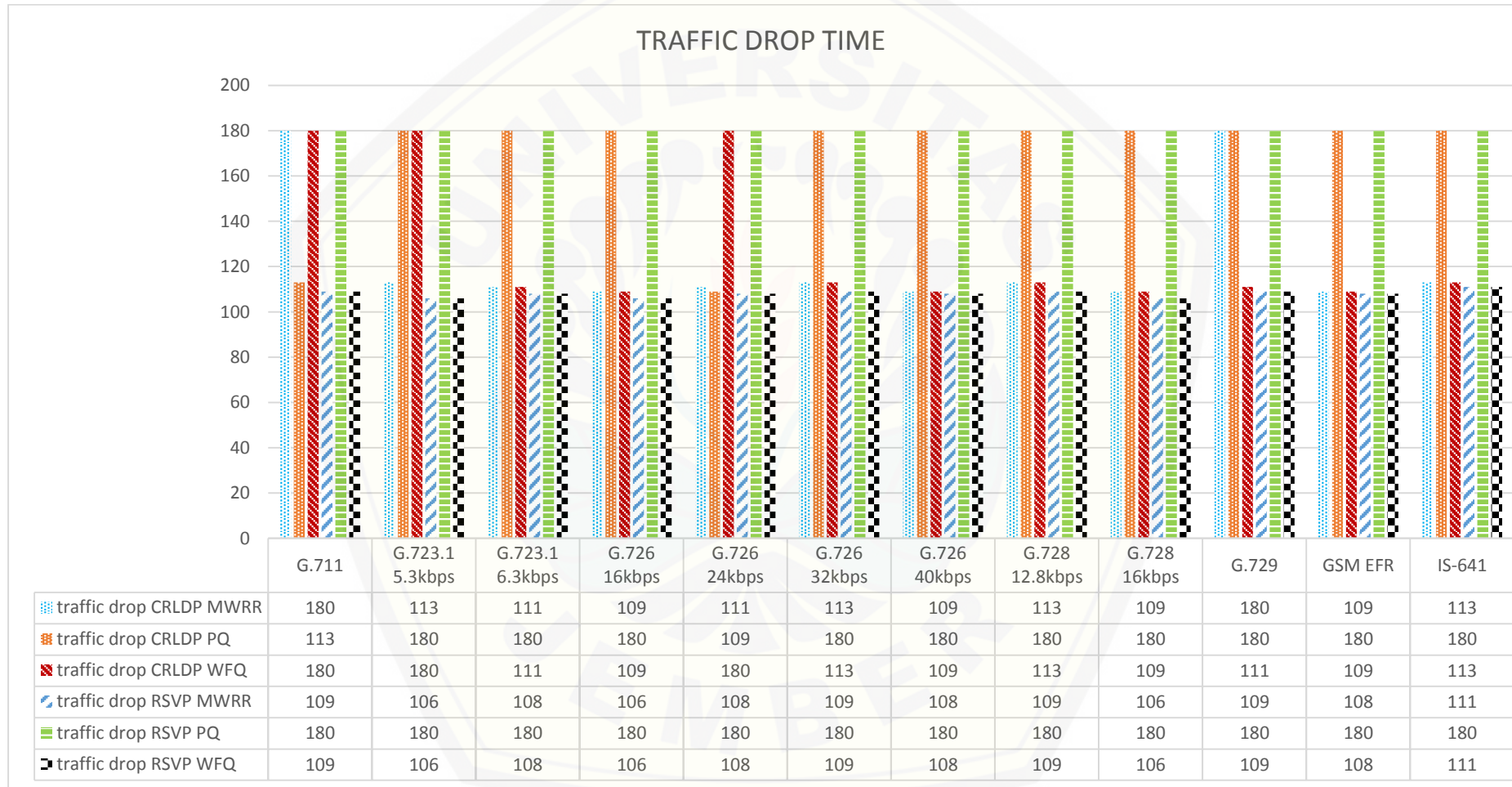
Lampiran 3 Grafik nilai PDV semua *codec* protokol CR-LDP dan RSVP



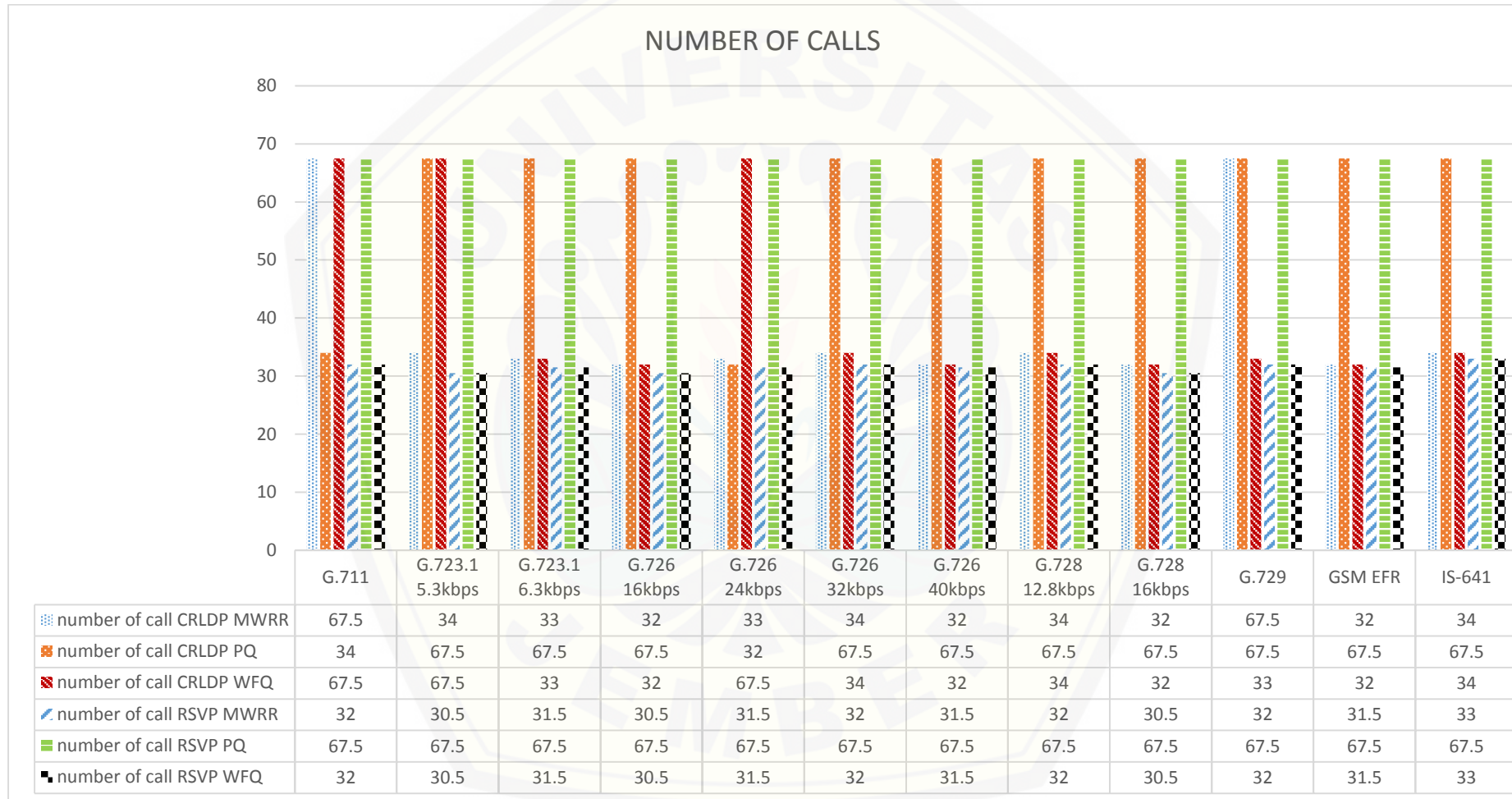
Lampiran 4 Grafik nilai *end-to-end delay* semua *codec* protokol CR-LD dan RSVP P



Lampiran 5 Grafik *traffic drop time* semua *codec* protokol CR-LDP dan RSVP



Lampiran 6 Grafik *number of call* semua *codec* protokol CR-LDP dan RSVP



Lampiran 7 Tabel standarisasi untuk parameter QoS *end-to-end delay*

| Kategori <i>delay</i> | Besar <i>delay</i> (ms) | Indeks |
|-----------------------|-------------------------|--------|
| Sangat Baik           | < 150 ms                | 4      |
| Baik                  | 150 ms s/d 300 ms       | 3      |
| Sedang                | 300 s/d 450 ms          | 2      |
| Buruk                 | > 450 ms                | 1      |

Lampiran 8 Tabel standarisasi untuk parameter QoS *jitter*

| Kategori <i>Jitter</i> | <i>Jitter</i>      | Indeks |
|------------------------|--------------------|--------|
| Sangat Baik            | 0 ms               | 4      |
| Baik                   | 0 ms s/d 75 ms     | 3      |
| Sedang                 | 75 ms s/d 125 ms   | 2      |
| Buruk                  | >125 ms s/d 225 ms | 1      |



## Lampiran 9 Perhitungan

### ➤ CR-LDP G.723.1 6.3 WFQ

#### ➤ MOS

$$MOS = 1 + 0.035R + 7 \times 10^{-6} R(R - 60)(100 - R)$$

$$R = 94.2 - (0.024d + 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3)) - I_e$$

$$R = 94.2 - (0.024 \times 1189 + 0.11(1189 - 177.3)0(1189 - 177.3)) - 15$$

$$R = 94.2 - 28.536 - 15$$

$$R = 50.664$$

$$MOS = 1 + 0.035 \times 50.664 + 0.000007 \times 50.664(50.664 - 60)(100 - 50.664)$$

$$MOS = 1 + 1.77324 + 0.16335$$

$$MOS = 2.60989$$

#### ➤ *End-to-end delay*

$$D_{e2e} = D_n + D_e + D_d + D_c + D_{de}$$

$$D_{e2e} = 109.61 + 0.0219 + 0.00219 + 97.5 + 9.75$$

$$D_{e2e} = 216.884 \text{ ms}$$

➤ *Jitter*

$$jitter = \max_{i=1}^n ([t'(n) - t'(n-1)] - [t(n) - t(n-1)])$$

$$jitter = \max_{i=1}^{75} ([6.531 \times 10^{-7}(75) - 6.531 \times 10^{-7}(75-1)] - [9.17 \times 10^{-8}(75) - 9.17 \times 10^{-8}(75-1)])$$

$$jitter = (4.89825 \times 10^{-5} - 4.83294 \times 10^{-5}) - (6.8775 \times 10^{-6} - 6.7858 \times 10^{-6})$$

$$jitter = 5.614 \times 10^{-7} \text{ s}$$

➤ *PDV*

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^n ([t'(n) - t(n)] - u)^2}{n}$$

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^{75} ([t'(1,2, \dots, 75) - t(1,2, \dots, 75)] - u)^2}{75}$$

$$PDV = \frac{0.0000242925}{75}$$

$$PDV = 3.239 \times 10^{-7} \text{ s}$$

➤ *RSVP G.726 32kbps PQ*

➤ *MOS*

$$MOS = 1 + 0.035R + 7 \times 10^{-6} R(R - 60)(100 - R)$$

$$R = 94.2 - (0.024d + 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3)) - I_e$$

$$R = 94.2 - (0.024 \times 712 + 0.11(712 - 177.3)(712 - 177.3)) - 7$$

$$R = 94.2 - 17.088 - 7$$

$$R = 70.112$$

$$MOS = 1 + 0.035 \times 70.112 + 0.000007 \times 70.112(70.112 - 60)(100 - 70.112)$$

$$MOS = 1 + 2.45392 + 0.14833$$

$$MOS = 3.60225$$

➤ *End-to-end delay*

$$D_{e2e} = D_n + D_e + D_d + D_c + D_{de}$$

$$D_{e2e} = 106.8 + 0.0158 + 0.00158 + 0.375 + 0.0375$$

$$D_{e2e} = 107.229 \text{ ms}$$

➤ *Jitter*

$$jitter = \max_{i=1}^n ([t'(n) - t'(n-1)] - [t(n) - t(n-1)])$$

$$jitter = \max_{i=1}^{75} ([9.138 \times 10^{-8}(75) - 9.138 \times 10^{-8}(75-1)] - [9.21 \times 10^{-10}(75) - 9.21 \times 10^{-10}(75-1)])$$

$$jitter = (6.8535 \times 10^{-6} - 6.76212 \times 10^{-6}) - (6.9075 \times 10^{-8} - 6.8154 \times 10^{-8})$$

$$jitter = 9.0459 \times 10^{-8} \text{ s}$$

➤ PDV

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^n ([t'(n) - t(n)] - u)^2}{n}$$

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^{75} ([t'(1,2, \dots 75) - t(1,2, \dots 75)] - u)^2}{75}$$

$$PDV = \frac{5.67135 \times 10^{-6}}{75}$$

$$PDV = 6.216 \times 10^{-8} \text{s}$$

➤ RSVP G.723.1 6,3kbps WFQ

➤ MOS

$$MOS = 1 + 0.035R + 7 \times 10^{-6} R(R - 60)(100 - R)$$

$$R = 94.2 - (0.024d + 0.11(d - 177.3)H(d - 177.3)) - I_e$$

$$R = 94.2 - (0.024 \times 1201 + 0.11(1201 - 177.3)0(1201 - 177.3)) - 15$$

$$R = 94.2 - 28.824 - 15$$

$$R = 50.376$$

$$MOS = 1 + 0.035 \times 50.376 + 0.000007 \times 50.376(50.376 - 60)(100 - 50.376)$$

$$MOS = 1 + 1.76316 + 0.16841$$

$$MOS = 2.59475$$

➤ End-to-end delay

$$D_{e2e} = D_n + D_e + D_d + D_c + D_{de}$$

$$D_{e2e} = 109.9 + 0.0219 + 0.00219 + 97.5 + 9.75$$

$$D_{e2e} = 217.17 \text{ ms}$$

➤ Jitter

$$jitter = \max_{i=1}^n ([t'(n) - t'(n-1)] - [t(n) - t(n-1)])$$

$$jitter = \max_{i=1}^{75} ([4.514 \times 10^{-7} (75) - 4.514 \times 10^{-7} (75-1)] - [1.583 \times 10^{-7} (75) - 1.583 \times 10^{-7} (75-1)])$$

$$jitter = (3.3855 \times 10^{-5} - 3.34036 \times 10^{-5}) - (1.18725 \times 10^{-5} - 1.17142 \times 10^{-5})$$

$$jitter = 2.931 \times 10^{-7} \text{ s}$$

➤ PDV

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^n ([t'(n) - t(n)] - u)^2}{n}$$

$$PDV = \frac{\sum_{i=1}^{75} ([t'(1,2, \dots, 75) - t(1,2, \dots, 75)] - u)^2}{75}$$

$$PDV = \frac{0.000008589}{75}$$

$$PDV = 1.1452 \times 10^{-7} \text{ s}$$

# Digital Repository Universitas Jember

## Lampiran 10 Dokumentasi simulasi

