

STUDI EMPIRIS PERBAIKAN *QUALITY OF SERVICE* DENGAN DIFFSERV DAN MPLS PADA JARINGAN IP

Imam Rozali

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik
Universitas Widyatama, Jl. Cikutra 204A, Bandung
Telp./Faks. +62-22-7278860
E-mail: imam_r@widyatama.ac.id, i_rozali@hotmail.com

Abstrak

Masalah utama yang terdapat pada jaringan TCP/IP tradisional adalah masih belum adanya garansi *Quality of Services (QoS)* yang baik. Salah satu usulan perbaikan pada jaringan TCP/IP untuk meningkatkan *QoS* adalah jaringan TCP/IP dengan ruting Multi Protocol Label Switching (MPLS) dan jaringan TCP/IP dengan layanan *Differentiated Services (DiffServ)*.

Pada penelitian ini dilakukan studi empiris menggunakan simulasi komputer untuk membuktikan kebenaran adanya peningkatan *QoS* pada jaringan TCP/IP dengan ruting Multi Protocol Label Switching (MPLS) dan pada jaringan TCP/IP dengan layanan *Differentiated Services (DiffServ)*. Simulasi komputer menggunakan software *Network Simulator* versi 2. Sedangkan parameter *QoS* yang dibandingkan adalah parameter *throughput* dan *end-to-end delay*.

Dari hasil analisa data, dapat ditarik kesimpulan bahwa kedua model jaringan tersebut terbukti meningkatkan *QoS* baik dari sisi nilai *throughput* dan *delay*, tipe layanan pada user maupun dari sisi layanan multimedia.

Kata Kunci: TCP/IP, *Quality of Services (QoS)*, MPLS, *DiffServ*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampai saat ini, jaringan TCP/ IP masih merupakan pondasi bagi sekian banyak jaringan di dunia. Hal ini disebabkan jaringan TCP/ IP bisa memenuhi kebutuhan masyarakat akan komunikasi yang murah dan efisien. Jaringan TCP/ IP terus mengalami pembenahan dan peningkatan teknologi untuk memperbaiki masalah-masalah yang terdapat pada jaringan TCP/ IP tradisional. Masalah utama yang terdapat pada jaringan TCP/ IP tradisional adalah masih belum adanya garansi *Quality of Services* yang baik. Sementara kebutuhan *voice*, data, dan multimedia dalam skala besar pada jaringan TCP/ IP akan semakin meningkat di masa mendatang, yang tentunya membutuhkan garansi *QoS* yang lebih baik lagi. Hal tersebut mendorong kebutuhan akan perbaikan *Quality of Services* serta peningkatan teknis dan operasional pada jaringan TCP/ IP. Salah satu usulan perbaikan tersebut adalah jaringan TCP/ IP dengan ruting *Multi Protocol Label Switching (MPLS)* dan jaringan TCP/ IP dengan layanan *Differentiated Services (DiffServ)*.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan meningkatnya kebutuhan transmisi data, *voice* dan multimedia pada skala besar pada jaringan TCP/ IP, maka meningkat juga kebutuhan akan garansi *Quality of Services* yang baik. Berbagai macam usulan perbaikan pada jaringan TCP/ IP dilakukan diantaranya jaringan TCP/ IP dengan MPLS dan jaringan TCP/ IP dengan *DiffServ*.

Pertanyaan yang timbul adalah; Apakah penggunaan jaringan TCP/ IP dengan MPLS dan juga *DiffServ* benar-benar bisa meningkatkan *QoS* dibandingkan jaringan TCP/ IP tradisional? Untuk menjawab pertanyaan tersebut diatas maka penulis melakukan suatu studi empiris terhadap jaringan TCP/ IP tradisional, jaringan TCP/ IP dengan MPLS dan jaringan TCP/ IP dengan *DiffServ*. Dan sebagai tambahan diharapkan dapat dicari usulan alternatif-alternatif lain dengan memodifikasi arsitektur yang ada untuk dapat lebih meningkatkan *QoS* pada jaringan TCP/ IP.

1.3 Tujuan Penelitian

- Melakukan studi empiris peningkatan *QoS* pada jaringan TCP/ IP dengan *DiffServ*.
- Melakukan studi empiris peningkatan *QoS* pada jaringan TCP/ IP dengan MPLS.
- Mencari kemungkinan-kemungkinan lain untuk lebih meningkatkan *QoS* jaringan TCP/ IP dengan memodifikasi dari arsitektur yang ada.

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

- Studi Empiris dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer jaringan TCP/ IP.
- Simulasi dan Analisa dilakukan hanya pada jaringan IP dengan *DiffServ* dan MPLS serta modifikasinya.
- Parameter kinerja jaringan yang diukur dan dianalisa adalah 2 parameter *QoS*, yaitu *end-to-end delay* dan *throughput* pada jaringan.

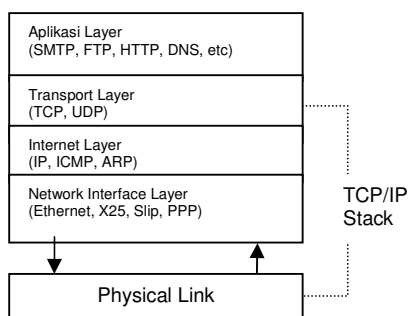
- Simulasi menggunakan software Network Simulator 2 dan MPLS Network Simulator 2 dengan menggunakan header IPv6 dan protokol *Constraint-based Routing Label Distribution Protocol* (CR-LDP).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Konsep TCP/ IP

2.1.1 Lapis-Lapis pada TCP/ IP

TCP/ IP (*Transmission Control Protocol/ Internet Protocol*) adalah sekumpulan protokol yang didesain untuk melakukan fungsi-fungsi komunikasi data pada WAN (*Wide Area Network*) maupun LAN (*Local Area Network*). TCP/ IP terdiri atas sekumpulan protokol yang masing-masing bertanggung jawab atas bagian-bagian tertentu dari komunikasi data.



Gambar 2.1 Susunan layer pada TCP/ IP

2.1.2 Komponen Fisik Pada Jaringan TCP/ IP

Secara umum komponen fisik jaringan TCP/ IP terbagi dalam beberapa kategori:

- Repeater dan Hub
- Bridge dan Switch
- Router

2.1.3 Protokol Ruting Pada Jaringan TCP/ IP

Protokol ruting yang umum digunakan pada jaringan TCP/ IP saat ini adalah *Routing Information Protocol* (RIP), *Open Shortest Path First* (OSPF), dan *Border Gateway Protocol* (BGP). RIP dan OSPF dapat dikategorikan interior gateway protokol (IGP), sedangkan BGP termasuk kategori exterior gateway protokol (IGP). IGP adalah protokol yang menangani ruting jaringan dalam sebuah *autonomous system* (AS) sementara EGP menangani ruting antar AS.

Autonomous system (AS) secara umum dapat didefinisikan sebagai jaringan yang berada dalam satu kendali administrasi dan teknis. Internet sendiri adalah kumpulan dari ribuan AS.

2.2 Konsep Ruting dan Switching

Label switching adalah bentuk lanjutan dari penyampaian paket yang menggantikan alat

konvensional yang panjang dengan algoritma *label switching* yang lebih efisien. Terdapat tiga perbedaan penting antara *label switching* dan ruting konvensional:

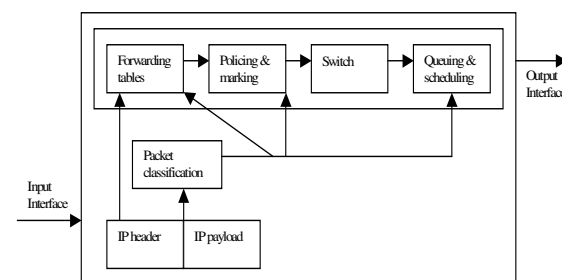
Tabel 2.1 Perbedaan dasar antara *label switching* dan ruting konvensional

	Ruting Konvensional	Label Switching
Analisa header IP penuh	Terjadi di setiap <i>node</i>	Terjadi pada edge (gerbang) jaringan ketika label diberikan
Dukungan <i>unicast & multicast</i>	Membutuhkan algoritma penyampaian yang kompleks	Membutuhkan satu algoritma penyampaian
Keputusan ruting	Berbasis hanya pada alamat/ address	Dapat berbasis pada beberapa parameter, seperti QoS, keanggotaan VPN

2.3 Model-model QoS pada jaringan IP

Quality of Services (QoS) adalah kualitas dari layanan yang disediakan oleh *service provider* kepada user yang diukur dengan parameter tertentu. QoS disebut baik jika kualitas layanan yang disediakan sesuai dengan kualitas layanan dalam perjanjian kontrak *service* antara user dengan *service provider*, demikian pula sebaliknya.

Gambar dibawah ini menunjukkan komponen dari arsitektur jaringan yang berorientasi QoS:



Gambar 2.3 Arsitektur jaringan QoS

2.4 Konsep Dasar *Integrated Services* dan RSVP

Model *Integrated Services* (IntServ) memperkenalkan dua kelas pelayanan selain *best effort service*, yaitu *guaranteed service* untuk aplikasi yang membutuhkan batasan *delay* yang tetap dan *controlled load service* untuk aplikasi yang membutuhkan reliabilitas dan *best effort service* yang lebih tinggi. Filosofi dari model ini adalah "there is an inescapable requirement for routers to able to reserve resources in order to provide special QoS for specific user packet stream, or flows. This in turn requires flow-specific state in the routers".

2.5 Konsep Dasar Differentiated Services

Differentiated Services (DiffServ) berhasil menyederhanakan pengambilan keputusan yang kompleks yang terdapat pada IntServ. Hasilnya mengurangi proses loading pada router inti dan mempercepat operasi dengan adanya pengurangan signal pada proses dan storage. Cara kerja DiffServ berdasar pada *type-of-services* (ToS) dan *precedence field* dengan IPv6 header. *IP precedence field* pertama kali didefinisikan dalam IP untuk menunjukkan jalan tertentu dengan memberikan IP datagram yang seharusnya mengantri pada router atau peralatan jaringan lainnya melewati koneksi *end-to-end*. Misalnya, prioritas tinggi trafik, ditunjukkan dengan nilai spesifik pada *IP precedence field*, maka router seharusnya meletakkan paket tersebut pada antrian didepan paket yang lainnya dengan prioritas rendah. *Assured Forwarding* (AF) *Per-Hop Behaviour* (PHB) mendukung adanya fleksibilitas dan *sharing* dinamik pada *resource* jaringan dengan *soft bandwidth* dan *garansi loss* terutama pada trafik yang padat. Untuk mendukung pelayanan DiffServ menggunakan meter dan marker pada edge jaringan dan dropper dengan beberapa macam mekanisme dropping pada core jaringan. Meter mengukur aliran rate sementara, dan marker mengeset DiffServ field dari paket sesuai dengan kontrak rate. Dropper membuang paket dari aliran yang berbeda berdasar pada DiffServ field dari paket dan level dari muatan.

2.6 Konsep Dasar Label Switching MPLS

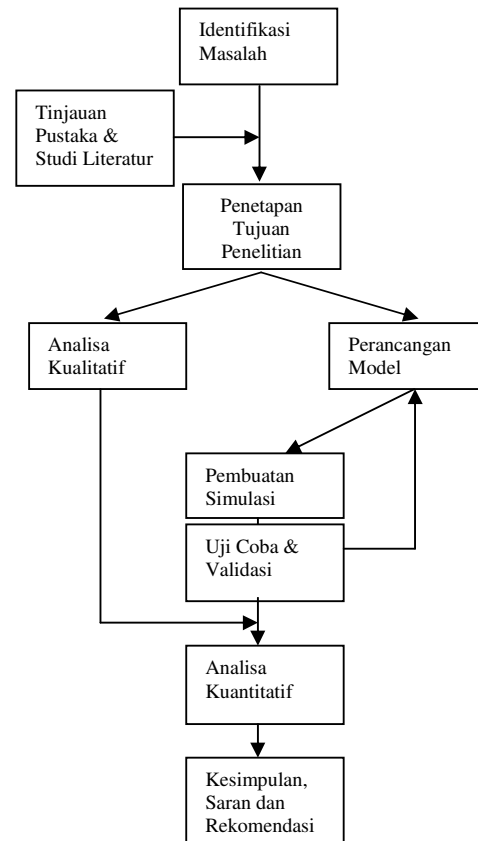
MPLS pertama kali diperkenalkan oleh tim kerja IETF (*Internet Engineering Task Force*), yang merupakan gabungan beberapa staf ahli dari berbagai manufaktur jaringan pada tahun 1998. MPLS diperkenalkan dengan protokol *signalling* LDP, kini telah diajukan dua protokol untuk *signalling* MPLS, yaitu RSVP (kini telah dikembangkan menjadi Extended RSVP) dan CR-LDP. Secara umum keduanya mempunyai fungsi yang sama. Saat ini telah banyak vendor yang mengeluarkan produk jaringan mereka dengan teknologi MPLS ini, antara lain Cisco, Juniper, Nortel dan lain-lain, yang membedakan diantara produk mereka adalah dukungan produk tersebut terhadap salah satu protokol *signalling*.

Multiprotocol Label Switching (MPLS) merupakan metode dengan unjuk kerja tinggi untuk proses *forwarding* data (*frame*) di sebuah jaringan. Yang memungkinkan router di gerbang (*edge*) jaringan untuk menyisipkan label sederhana pada paket, sehingga router yang ada di *network core* dapat meneruskan paket sesuai label yang ada dengan proses *lookup* minimal.

MPLS mengintegrasikan kapabilitas unjuk kerja dan manajemen trafik Data Link Layer 2 dengan skalabilitas dan fleksibilitas ruting Network Layer 3. Berbeda dari *label switching*, ruting IP

Layer 3 konvensional yang berbasis pada pertukaran informasi sesuai jangkauan jaringan. Suatu paket yang melintasi jaringan, setiap router mengekstraksi semua informasi yang berhubungan dengan proses *forwarding* dari *header* Layer 3. Informasi ini kemudian digunakan sebagai indeks ruting tabel *lookup* untuk menentukan hop paket berikutnya. Hal ini berulang di setiap router yang ditemui di jaringan.

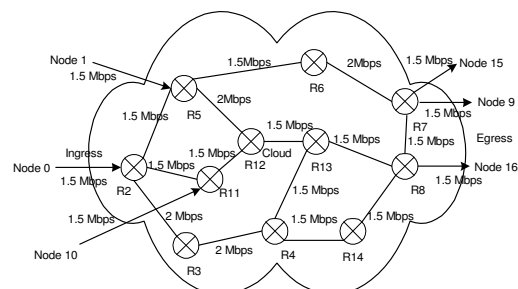
3. METODOLOGI PENELITIAN



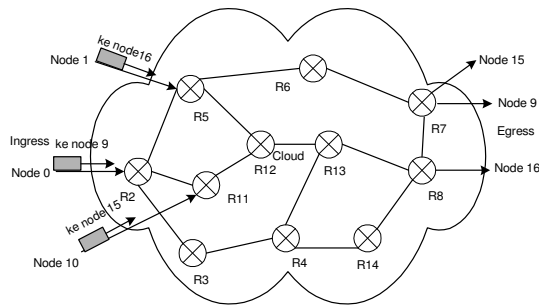
4. PERANCANGAN MODEL SIMULASI

4.1 Topologi Jaringan

Topologi yang digunakan secara fisik digambarkan sebagai berikut :



4.2 Skenario Ruting secara umum



4.3 Skenario Trafik

Tabel 4.1. Skenario trafik

Trafik	Asal	Tujuan	Tipe Data	Besarnya Trafik	Start Trafik	Stop Trafik
#1	Node0	Node9	Video	1,28 Mbps	0 s	2,2 s
#2	Node1	Node16	Data & Image	1,28 Mbps	0 s	1,9 s
#3	Node10	Node15	Audio	1,28 Mbps	0,1 s	1,5 s

Tabel 4.2. Tabel skenario simulasi DiffServ

Source	Skenario 1		Skenario 2	
	CIR	PIR	CIR	PIR
Node 0	1,28 Mbps	1,5 Mbps	1,28 Mbps	1,28 Mbps
Node 1	1,28 Mbps	1,5 Mbps	0,32 Mbps	0,64 Mbps
Node 10	1,28 Mbps	1,5 Mbps	0,64 Mbps	0,96 Mbps

5. ANALISA DATA

5.1 Analisa Kuantitatif

Tabel 5.1. Tabel rata-rata throughput hasil simulasi

Model Simulasi	Jumlah paket yang diterima	Throughput
Jaringan TCP/ IP OSPF		
- Trafik #1 (Video)	627	0.1672
- Trafik #2 (Data & Image)	713	0.1901
- Trafik #3 (Audio)	378	0.1008
Jaringan DiffServ 1		
- Trafik #1 (Video)	688	0.1834
- Trafik #2 (Data & Image)	577	0.1539
- Trafik #3 (Audio)	799	0.2131
Jaringan DiffServ 2		
- Trafik #1 (Video)	755	0.2013
- Trafik #2 (Data & Image)	448	0.1195
- Trafik #3 (Audio)	864	0.2304
Jaringan MPLS standar		
- Trafik #1 (Video)	1053	0.2808
- Trafik #2 (Data & Image)	273	0.0728
- Trafik #3 (Audio)	648	0.1728
Jaringan MPLS dgn ERLSP		
- Trafik #1 (Video)	1682	0.4485
- Trafik #2 (Data & Image)	1440	0.3840
- Trafik #3 (Audio)	1111	0.2963

Tabel 5.2. Tabel rata-rata delay hasil simulasi

Model Simulasi	Jumlah paket yang diterima	Rata-rata delay (ms)
Jaringan TCP/ IP OSPF		
- Trafik #1 (Video)	627	0.1021
- Trafik #2 (Data & Image)	713	0.1202
- Trafik #3 (Audio)	378	0.1129
Jaringan DiffServ 1		
- Trafik #1 (Video)	688	0.1703
- Trafik #2 (Data & Image)	577	0.1711
- Trafik #3 (Audio)	799	0.1704
Jaringan DiffServ 2		
- Trafik #1 (Video)	755	0.1692
- Trafik #2 (Data & Image)	448	0.1723
- Trafik #3 (Audio)	864	0.1699
Jaringan MPLS standar		
- Trafik #1 (Video)	1053	0.1030
- Trafik #2 (Data & Image)	273	0.1220
- Trafik #3 (Audio)	648	0.1137
Jaringan MPLS dgn ERLSP		
- Trafik #1 (Video)	1682	0.1024
- Trafik #2 (Data & Image)	1440	0.1232
- Trafik #3 (Audio)	1111	0.1908

5.1.1 Jaringan DiffServ VS Jaringan TCP/IP standar

Dari hasil perbandingan diatas dapat kita lihat sebenarnya jaringan DiffServ mempunyai nilai *throughput* yang lebih kecil dibandingkan dengan jaringan TCP/ IP biasa kecuali untuk trafik #2. Hal ini disebabkan pada jaringan DiffServ terdapat proses tambahan pada *edge router* dan *core router*, yaitu proses *marking*, *dropping* dan *metering* yang menyebabkan *start* pengiriman paket yang lebih lambat dan juga *delay* pengiriman paket yang lebih besar, sehingga jumlah paket yang diterima menjadi lebih kecil (menurunkan *throughput*).

Walaupun pada kenyataannya jaringan DiffServ menurunkan nilai *throughput*, tetapi jaringan DiffServ memiliki keuntungan yang jauh lebih berguna dibandingkan dengan sedikit penurunan nilai *throughput*-nya, yaitu adanya fasilitas penerapan *differensiasi* pelayanan kepada user. Operator bisa membedakan tipe dan tingkat pelayanan untuk masing-masing user. Tipe dan tingkat pelayanan ini menentukan kualitas pelayanan yang diminta user sesuai dengan perjanjian *service*-nya. Pada *Edge Router*, apabila user mengirimkan paketnya dengan rate lebih dari CIR (*Committed Information Rate*) maka paket tersebut secara otomatis akan di-*dropping*.

5.1.2 Jaringan MPLS standar VS Jaringan TCP/IP dengan ruting OSPF

Dari tabel di atas, diperoleh *throughput* untuk MPLS lebih besar dibandingkan dengan jaringan TCP/ IP dengan ruting OSPF kecuali dengan trafik

#2 yang lebih kecil nilai *throughput*-nya. Hal ini disebabkan karena:

- Protokol OSPF lebih lambat dalam membangun tabel rutingnya dibandingkan dengan model simulasi lainnya. Hal ini disebabkan pada OSPF setiap router harus membangun peta jaringan dengan saling mengirimkan informasi *link-state*. Setelah semua router mempunyai peta jaringan, barulah router dapat menentukan jalur terbaik untuk paket yang datang dengan algoritma *Dijkstra*.
- Jumlah paket yang dapat disalurkan ke tujuan pada ruting konvensional OSPF lebih rendah, hal ini dikarenakan adanya perbedaan waktu *start* penyampaian paket.
- Terdapat prioritas paket untuk jaringan MPLS dimana trafik #1 (video) dan trafik #3 (audio) merupakan paket dengan prioritas tinggi. Sehingga nilai *throughput* kedua trafik tersebut lebih tinggi. Sedangkan untuk trafik #2 (data & gambar) nilai *throughput*-nya lebih rendah karena pada simulasi paket tersebut merupakan paket dengan prioritas rendah

Dari Tabel rata-rata delay diatas dapat dilihat bahwa besarnya rata-rata *end-to-end delay* antara ruting OSPF dengan MPLS tidak jauh berbeda. Hal ini cukup untuk memperlihatkan bahwa dengan *label switching* MPLS tidak menambah beban link atau memperlambat waktu yang diperlukan oleh sebuah paket untuk mencapai tujuannya.

5.1.3 Jaringan MPLS VS Jaringan DiffServ

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa *throughput* untuk jaringan MPLS lebih besar daripada jaringan DiffServ, hal ini disebabkan jalur routing untuk MPLS berbeda dengan DiffServ, karena pada MPLS menggunakan LSP yang lebih efisien, yang memungkinkan pemilihan jalur yang lebih bagus daripada pada DiffServ dengan routing biasa. Pada router-router DiffServ baik *edge router* maupun *core router* terdapat proses tambahan seperti *marking*, *metering* dan *dropping* yang memperlambat proses pengiriman paket, sehingga menurunkan nilai *throughput*. Dan juga pada DiffServ lebih banyak paket yang didrop pada *core router* karena adanya policy pada *edge routernya*.

Sedangkan delay untuk MPLS tidak jauh berbeda dibandingkan pada DiffServ. Hal ini disebabkan karena perbedaan proses, antara MPLS dan DiffServ. Hasil delay diatas belum tentu lebih besar untuk MPLS daripada DiffServ atau sebaliknya, tergantung bentuk jaringannya, pada DiffServ juga ada pengaruh dari proses pada *edge router* yang lebih lambat dibandingkan proses pada *edge router* pada MPLS.

5.1.4 Jaringan MPLS dengan ER-LSP

Bila dibandingkan dengan semua model simulasi diatas untuk jaringan dengan ruting OSPF standar, MPLS standar dan DiffServ, *throughput* MPLS dengan ER-LSP adalah yang paling besar, hal ini disebabkan lebih banyak paket yang sukses yang berhasil sampai ke tujuan dalam rentang waktu yang sama. Banyaknya paket yang sukses tersebut adalah berkat adanya pengalihan trafik ke rute yang lain untuk lebih memanfaatkan *resource* jaringan. Pengalihan rute dari node-node standar LSP yang sibuk diarahkan ke node-node yang tidak sibuk oleh operator untuk menghindari *dropping* paket pada node yang sibuk tersebut. *Traffic Engineering* pada MPLS bermanfaat sekali apabila pada keadaan sebagai berikut:

- Pada suatu jaringan yang mempunyai beberapa link yang sangat sibuk dalam waktu yang relatif lama, dimana link-link tersebut berada pada *shortest path* dari node *ingress* ke node *egress*.
- Diperlukannya jaminan garansi bandwidth untuk link-link tertentu, ataupun untuk node tertentu ke node yang lain. Dimana garansi bandwidth tersebut merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi penyedia layanan internet maupun perusahaan yang bergerak di bidang IT (*Information Technology*).

Untuk masalah *end-to-end delay* dari tabel maupun grafik, dapat disimpulkan bahwa ruting dengan *traffic engineering* ini mempunyai delay yang lebih besar dibandingkan yang lainnya. Hal ini bukan dikarenakan rendahnya kemampuan transfer paket oleh jaringan, tetapi karena rute yang dilalui lebih panjang dari rute standar LSP. Tentunya dengan adanya penambahan delay tersebut lebih kecil artinya dibandingkan dengan kemampuan *throughput* yang dihasilkan. Selain itu dikarenakan adanya pengalihan trafik, maka jumlah paket yang hilang lebih kecil sehingga bermanfaat pada tipe paket UDP yang tidak mempunyai karakteristik *retransmisi*.

5.2 Analisa Kualitatif

Pada simulasi dengan software *Network Simulator 2* tidak mendukung protokol *signalling* RSVP-TE untuk MPLS, oleh karena itu simulasi MPLS diatas hanya menggunakan protokol *signalling* CR-LDP. Sedangkan untuk mengetahui lebih jelas mengenai kedua protokol *signalling* MPLS tersebut, maka akan dibahas perbandingan kedua protokol tersebut secara kualitatif berdasarkan data-data dari sumber lain yang dikumpulkan penulis.

Tabel 5.4. Perbandingan protokol Signalling RSVP-TE dengan CR-LDP

Keterangan	RSVP-TE	CR-LDP
Protokol transport yang digunakan	UDP dan IP	UDP dan TCP
Resource Reservation	Selama pengembalian Resv message. LSP setup sering mengalami kegagalan.	Selama proses label_request message. LSP setup jarang mengalami kegagalan.
QoS Mapping dan QoS Support	Tidak halus seperti pada IntServ.	Halus sekali seperti pada ATM Traffic Manajement
Availabilitas	Lebih bagus dengan adanya rapid failure notification dan hello extension	Lebih rendah karena tidak menyediakan rapid failure notification.
Policy networking support	Lebih mudah dengan explicit RSVP POLICY_DATA object.	Lebih susah.
Penggunaan Traffic Engineering	Mudah. Resource class tidak disediakan	Lebih Mudah. Resource class otomatis disediakan.
Skalabilitas	Rendah	Tinggi
Reliabilitas	Lebih Bagus	Bagus

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data pada bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Pada jaringan DiffServ, didapatkan hasil *throughput* yang lebih kecil dan delay yang lebih besar daripada jaringan TCP/ IP biasa, disebabkan adanya proses tambahan *metering, marker dan dropping*. Walaupun dengan adanya penurunan *throughput* berarti juga ada penurunan QoS, tetapi secara keseluruhan justru membantu meningkatkan nilai QoS (dari segi konsekuensi pelayanan), karena dengan DiffServ kita bisa memberikan berbagai macam tingkat kualitas layanan jaringan dalam satu jaringan dengan hanya mengubah *policy*-nya saja. Dengan adanya skala prioritas dan tingkat kualitas layanan ini maka berarti jaringan DiffServ dapat mendukung layanan multimedia. Jaringan DiffServ sangat bagus digunakan untuk penyedia layanan jaringan yang mempunyai beberapa segmen pelanggan dan layanan jaringan.

- Pada jaringan MPLS, didapatkan hasil *throughput* yang lebih besar dan delay yang hampir sama dibandingkan dengan jaringan TCP/ IP dengan ruting OSPF. Hal ini disebabkan pada ruting MPLS proses pembangunan tabel ruting lebih cepat dibandingkan jaringan TCP/ IP dengan ruting OSPF dan juga adanya *Label Switched Path* yang mengoptimalkan jalur ruting lain yang ada. Dengan adanya kenaikan *throughput* tersebut berarti MPLS juga meningkatkan QoS. Jaringan MPLS meningkatkan fleksibilitas, efisiensi dan skalabilitas sehingga sangat cocok untuk diterapkan pada operator dengan layanan multimedia.
- Pengembangan jaringan MPLS dengan ER-LSP, lebih memaksimalkan *resource* jaringan, walaupun *end-to-end delay* lebih besar tetapi *throughput* juga jauh lebih besar dibandingkan dengan model jaringan MPLS biasa.
- Penggunaan protokol *signalling* CR-LDP lebih cocok diterapkan pada sekeliling dari *core network*. Sedangkan protokol *signalling* untuk RSVP-TE lebih baik digunakan pada *core network*.

6.2 Saran

- Untuk pengembangan kedepan kita bisa menggabungkan MPLS dan DiffServ dalam satu jaringan WAN. Sudah ada beberapa penelitian untuk penggabungan tersebut tetapi sampai sekarang belum ada hasil implementasinya secara nyata.
- Untuk penelitian berikutnya lebih baik jika mengimplementasikan penelitian ini pada jaringan.

Daftar Pustaka

- Xipeng Xiao, Providing Quality Of Service in the Internet, Ph. D dissertation, Michigan State University, 2000.
- Eric Horlait, DiffServ and IntServ use of MPLS, Paper, University Pierre Et Marie Currie, France, 2001.
- Ilias Andrikopoulos, George Pavlou, Supporting DiffServ in MPLS Networks, Research, University of Surrey, 2001.
- Brian Williams, Quality of Service DiffServ and Multi Protocol Label Switching, White Paper, Ericsson Australia, March 2000.
- Anderson L., Doolan P., Feldman N., Fredette A., Thomas B, *LDP Specification*, Internet draft <draft-ietf-mpls-ldp-11.txt>, 2000.
- Awduche D., Chiu A., Elwaild A., Widjaja I., and Xiao X. A. , *Framework for Internet Traffic Engineering*, Internet draft, Jan. 2000.
- Callon R., Doolan P., Feldman N., Fredette A., Swallow G., Viswanathan A., *A Framework for*

- Multiprotocol Label Switching*, Internet draft <draft-ietf-mpls-framework-05.txt>, Sept. 1999.
- [8] Fall, Kevin and Varadhan, Kannan, *The ns Manual*. UC Berkeley. LBL: USA, December 9, 2000.
 - [9] Hengan A., Xiao X. , Bailey B., and Ni Lionel M., *Traffic Engineering with MPLS in the Internet*, USA, 2000.
 - [10] Ni Lionel M. and Xiao Xipeng, *Internet QoS : A Big Picture*, Michigan State University, USA, 2000.
 - [11] Web Forum, *Multiprotocol Label Switching (MPLS) Tutorial*, <http://www.iec.org/tutorials/mpls/topic01.html>, 2000.
 - [12] S. Blake et al., An Architecture for Differentiated Services, RFC 2475, Dec 1998.
 - [13] J. Postel, Internet Protocol Specification, RFC 791, Sept 1991.
 - [14] E. Crawley et al, A Framework for QoS-based Routing in the Internet, RFC 2386, Aug. 1998.
 - [15] E. Rosen et al, MPLS Architecture, work in progress, draft-ietf-mpls-arch-07, July 2000.
 - [16] A. Conta et al, Use of Label Switching on Frame Relay Networks Specification, RFC 3034, Jan 2001.