



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENAMBAHAN FUNGSI *EXPLICIT CONGESTION*
NOTIFICATION (ECN) PADA SATELIT MPLS**

SKRIPSI

**SHELLY
0404030768**

**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENAMBAHAN FUNGSI *EXPLICIT CONGESTION*
NOTIFICATION (ECN) PADA SATELIT MPLS**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Elektro**

**SHELLY
0404030768**

**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Shelly

NPM : 0404030768

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Shelly
NPM : 0404030768
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Penambahan Fungsi *Explicit Congestion Notification* (ECN) Pada Satelit MPLS

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Hj. Rochmah NS, M.EngSc

Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng

Penguji : Dr. Ir. Kalamullah Ramli, M.Eng

Ditetapkan di : Kampus UI Depok
Tanggal : 31 Desember 2008

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini yang merupakan salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia, tempat saya menuntut ilmu sejak September 2004. Saya sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dari berbagai pihak, sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Hj. Rochmah NS, M.EngSc, yang bersedia menjadi dosen pembimbing saya dalam menyusun skripsi ini;
2. Dr. Ir. Muhamad Asvial, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk mengarahkan saya dari awal pemilihan topik sampai pemilihan perangkat lunak simulasi, dan akhir penyusunan skripsi ini;
3. Pak Astha, yang telah memberikan masukan yang sangat berarti kepada saya dalam proses penyusunan skripsi ini;
4. Mercator Office, yang telah memberikan saya tempat yang kondusif untuk mencari literatur, mencari perangkat lunak, dan menyusun skripsi;
5. Mama dan Papa yang telah memberikan dukungan moral dan material;
6. Sahabat saya, Hetty dan Cita, yang telah memberi masukan dan bersedia meluangkan waktu mendengarkan segala ide dan keluh kesah saya selama masa penyusunan skripsi ini.
7. Sahabat-sahabat lain yang telah membantu dalam berbagai hal.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya dalam penyusunan skripsi ini. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pembacanya.

Depok, 10 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shelly
NPM : 0404030768
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Penambahan Fungsi *Explicit Congestion Notification* (ECN)
Pada Satelit MPLS**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok, Indonesia
Pada tanggal : 10 Desember 2008
Yang menyatakan

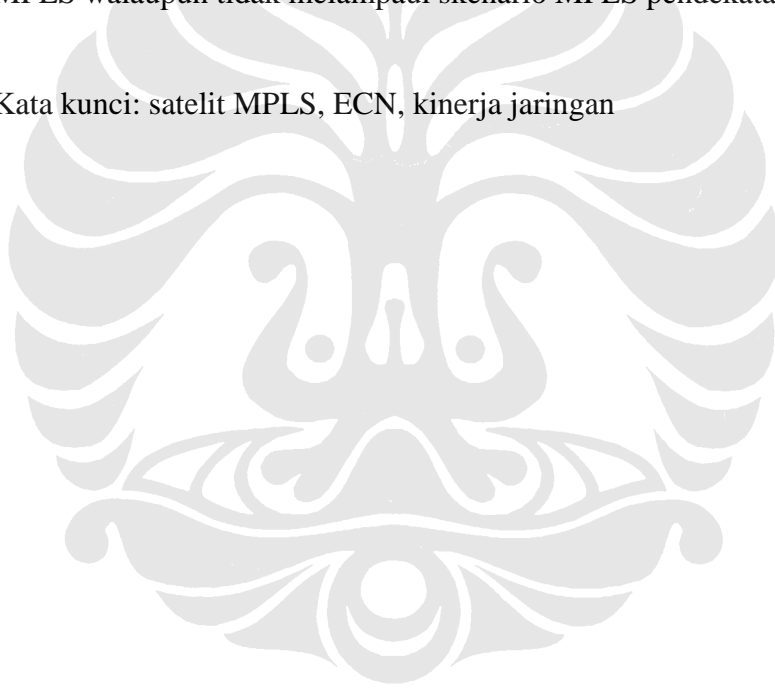
(Shelly)

ABSTRAK

Nama : Shelly
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Penambahan Fungsi *Explicit Congestion Notification* (ECN) Pada Satelit MPLS

Skripsi ini membahas tentang peningkatan kinerja konstelasi satelit LEO dalam mentransmisikan paket data IP dengan menerapkan sistem jaringan MPLS dengan tambahan fungsi ECN. Simulasi jaringan dilakukan dengan 3 skenario: skenario MPLS, skenario Satelit MPLS, dan skenario Satelit MPLS Dengan Tambahan Fungsi ECN. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan kinerja dalam hal peningkatan *throughput* dan utilisasi, serta penurunan *delay* pada skenario Satelit MPLS Dengan Tambahan Fungsi ECN dibandingkan dengan skenario Satelit MPLS walaupun tidak melampaui skenario MPLS pendekatan terestrial.

Kata kunci: satelit MPLS, ECN, kinerja jaringan



ABSTRACT

Name : Shelly
Study Program: Electrical Engineering
Title : The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) Function on Satellite MPLS

This thesis focused on the improvement of LEO satellite constellation performance in transmitting IP packet data which implement MPLS networking system with the addition of ECN function. Network simulations conducted within 3 scenarios: MPLS scenario, Satellite MPLS scenario, and Satellite MPLS with Addition of ECN Function scenario. The simulation results demonstrate a performance enhancement in term of throughput and utilization improvement, also delay reduction on Satellite MPLS with Addition of ECN Function scenario compared to Satellite MPLS scenario even though but did not surpass MPLS scenario with terrestrial point of view.

Key words: satellite MPLS, ECN, network performance

DAFTAR ISI

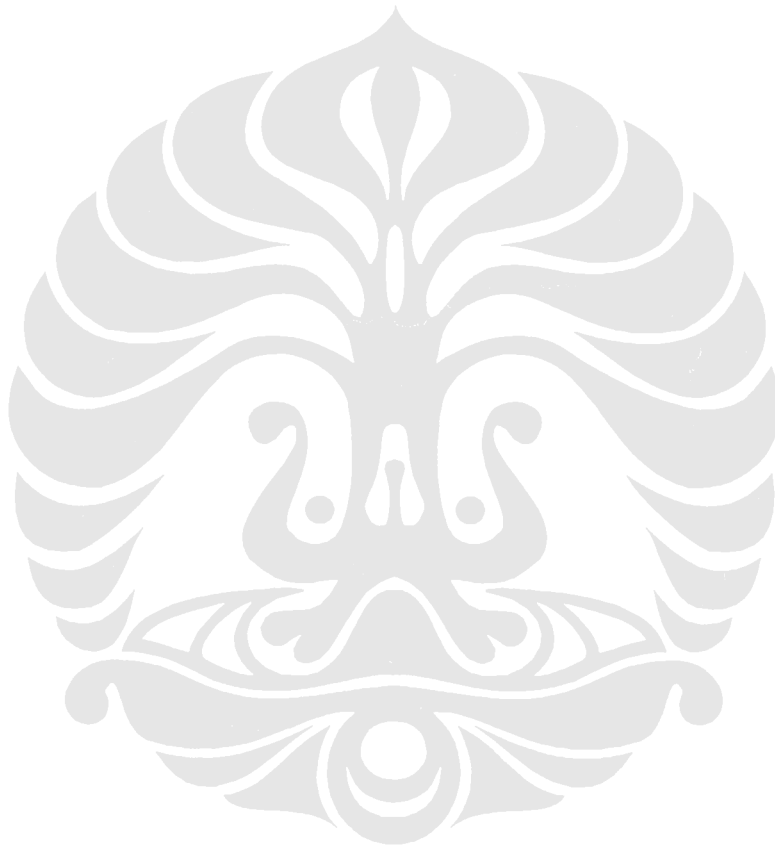
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.1.1 Perumusan Masalah.....	1
1.1.2 Faedah yang Diharapkan.....	3
1.1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.2 Batasan Masalah.....	4
1.3 Sistematika Penulisan.....	4
2. SATELIT MPLS.....	5
2.1 <i>Multiprotocol Label Switching</i> (MPLS).....	5
2.1.1 Bidang Penerusan dan Bidang Pengendalian.....	5
2.1.2 Label pada MPLS.....	6
2.1.3 <i>Label Edge Router</i> (LER) dan <i>Label Switched Router</i> (LSR)....	7
2.1.4 <i>Label Switched Path</i> (LSP).....	9
2.1.5 <i>Label Distribution Protocol</i> (LDP).....	10
2.1.6 Kelebihan MPLS.....	11
2.2 Jaringan Satelit.....	12
2.2.1 Sejarah dan Perkembangan.....	12
2.2.2 Kekurangan dan Kelebihan.....	14
2.2.3 Layanan Pada Jaringan Satelit.....	15
2.2.4 Segmen Angkasa dan Segmen Darat Satelit.....	16
2.2.5 Orbit Satelit.....	17
2.2.6 Dinamika Konstelasi Satelit NGSO dengan ISL.....	18
2.3 Satelit MPLS.....	19
2.3.1 <i>Routing</i> dalam Topologi Dinamis.....	20
2.3.2 Sistem Jaringan MPLS untuk Konstelasi Satelit NGSO.....	20
2.3.2.1 Satelit LER.....	21
2.3.2.2 Ground LER.....	22
2.3.3 Konsep Keseluruhan dan Dekomposisi Fungsionalitas.....	23
2.3.3.1 Skenario Terdistribusi Total.....	25
2.3.3.2 Skenario Tersentralisasi Sebagian.....	27

2.3.3.3 Skenario Tersentralisasi Total.....	29
2.4 <i>Explicit Congestion Notification</i> (ECN) pada Satelit MPLS.....	33
2.4.1 <i>Cross Layer Design</i> (CLD).....	33
2.4.2 Bit ECN pada Jaringan Nirkabel.....	34
2.4.3 Bit ECN pada Satelit MPLS.....	35
3. SIMULASI JARINGAN SATELIT MPLS.....	37
3.1 Bagan Alir Penelitian.....	37
3.2 Perangkat Lunak Simulasi OPNET.....	38
3.3 Simulasi Jaringan Satelit MPLS dengan Perangkat Lunak OPNET.....	39
3.3.1 Tahap Pertama: Skenario MPLS.....	40
3.3.2 Tahap Kedua: Skenario Satelit MPLS.....	44
3.3.3 Tahap Ketiga: Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.....	44
3.4 Analisis Hasil Simulasi Jaringan Satelit MPLS.....	45
3.4.1 Analisis Hasil Simulasi Skenario MPLS.....	45
3.4.2 Analisis Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS.....	51
3.4.3 Analisis Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.....	56
3.4.4 Analisis Perbandingan Ketiga Hasil Simulasi.....	61
4. KESIMPULAN	76
DAFTAR REFERENSI.....	77
LAMPIRAN 1. SLIDE PRESENTASI	78

DAFTAR GAMBAR

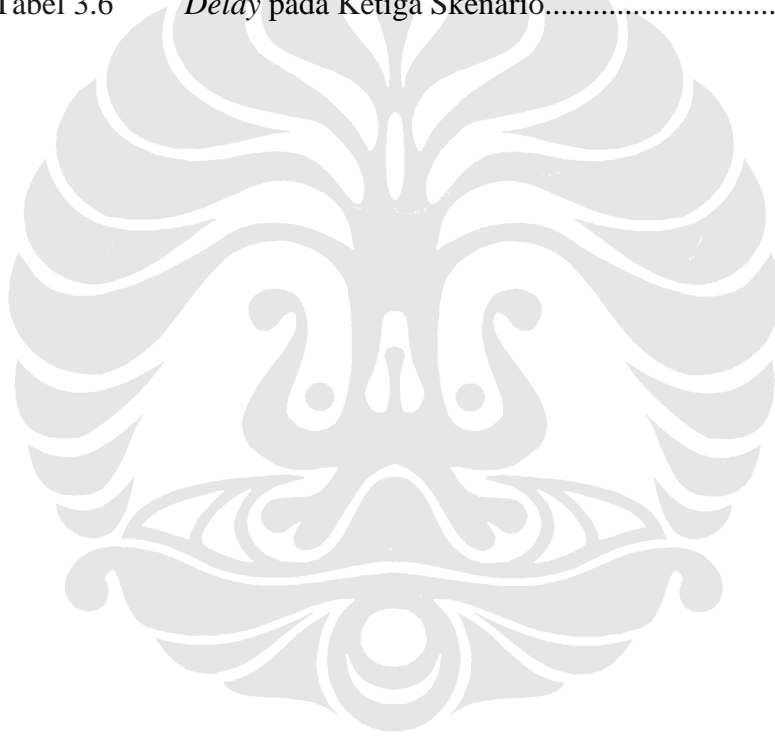
Gambar 1.1	Evolusi Sistem Telekomunikasi.....	2
Gambar 1.2	Bagan Alir Perumusan Masalah.....	3
Gambar 2.1	Bidang Penerusan dan Bidang Pengendalian pada MPLS.....	5
Gambar 2.2	Format Label MPLS.....	6
Gambar 2.3	Operasi LSR Berbasis Paket dengan <i>Single Level Stack</i>	8
Gambar 2.4	Operasi LSR Berbasis Paket dengan <i>Multi Level Stack</i>	8
Gambar 2.5	<i>Label Switched Path</i> di Antara <i>Router-Router</i> MPLS.....	9
Gambar 2.6	MPLS di Antara Layer <i>Data Link</i> dan Layer <i>Network</i>	12
Gambar 2.7	Satelit dalam Infrastruktur Global.....	14
Gambar 2.8	Layanan-layanan yang Disediakan oleh Sistem Jaringan Satelit.....	15
Gambar 2.9	Segmen Angkasa dan Segmen Darat.....	16
Gambar 2.10	Orbit Satelit.....	17
Gambar 2.11	Konstelasi Celestri.....	19
Gambar 2.12	Blok-blok Fungsionalitas pada Sistem Jaringan MPLS dalam Konstelasi Satelit.....	24
Gambar 2.13	Skenario Terdistribusi Total.....	27
Gambar 2.14	Skenario Tersentralisasi Sebagian.....	29
Gambar 2.15	Skenario Tersentralisasi Total.....	30
Gambar 2.16	CLD dan Ketiga Arsitektur Jaringan Lainnya.....	33
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Tampilan OPNET.....	39
Gambar 3.3	(a) Topologi Jaringan yang Dibangun untuk Simulasi..... (b) Topologi Jaringan di dalam subnet.....	40 41
Gambar 3.4	Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik <i>Throughput</i>	46
Gambar 3.5	Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik Utilisasi.....	48
Gambar 3.6	Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik <i>Delay</i>	50
Gambar 3.7	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik <i>Throughput</i>	52
Gambar 3.8	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik Utilisasi.....	54
Gambar 3.9	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik <i>Delay</i>	55
Gambar 3.10	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan Statistik <i>Throughput</i>	57
Gambar 3.11	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan Statistik Utilisasi.....	59
Gambar 3.12	Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan Statistik <i>Delay</i>	60
Gambar 3.13	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik <i>Throughput</i>	62

Gambar 3.14	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik <i>Throughput</i>	63
Gambar 3.15	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik Utilisasi.....	67
Gambar 3.16	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik Utilisasi.....	68
Gambar 3.17	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik <i>Delay</i>	73
Gambar 3.18	Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik <i>Delay</i>	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sejarah dan Perkembangan Jaringan Satelit.....	13
Tabel 2.2	Perbandingan Skenario Satelit LER dan Ground LER.....	22
Tabel 2.3	Perbandingan skenario terdistribusi total, tersentralisasi sebagian, dan tersentralisasi total.....	31
Tabel 3.1	Kesimpulan hasil simulasi skenario MPLS.....	51
Tabel 3.2	Kesimpulan hasil simulasi skenario Satelit MPLS.....	56
Tabel 3.3	Kesimpulan hasil simulasi skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.....	61
Tabel 3.4	<i>Throughput</i> pada Ketiga Skenario.....	65
Tabel 3.5	Utilisasi pada Ketiga Skenario.....	70
Tabel 3.6	<i>Delay</i> pada Ketiga Skenario.....	74



DAFTAR SINGKATAN

ATM	Asynchronous Transfer Mode
CE	Congestion Experienced
CLD	Cross Layer Design
CM	congestion-marked
CoS	Class of Service
CR-LDP	Constraint-based Routing LDP
CSPF	Constrained Shortest Path First
DiffServ	Differentiated Services
DLCI	Data Link Connection Identifier
DSCP	Differentiated Services Codepoint
ECN	Explicit Congestion Notification
ER	Explicit Route
E-LSP	Exp-Inferred-PSC LSP
FEC	Forwarding Equivalence Class
GSO	Geostationary Orbit
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
IPoS	Internet Protocol over Satellite
ISL	Intersatellite Link
ISIS	Intermediate System – Intermediate System
LDP	Label Distribution Protocol
LEO	Low Earth Orbit
LER	Label Edge Router
LSA	Link State Advertisement
LSDB	Link State Database
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switched Router
L-LSP	Label-Only-Inferred-PSC LSP
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPSL-TE	Multiprotocol Label Switching-Traffic Engineering
NGN	Next Generation Network
NGSO	Nongeostationar Orbit
Not-CM	not-congestion-marked
Not-ECT	not-ECN-capable transport
OSPF	Open Shortest Path First
PHB	Per Hop Behavior
QoS	Quality of Service
RSVP	Resource Reservation Protocol
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TE	Traffic Engineering
UDP	User Datagram Protocol

BAB 1

PENDAHULUAN

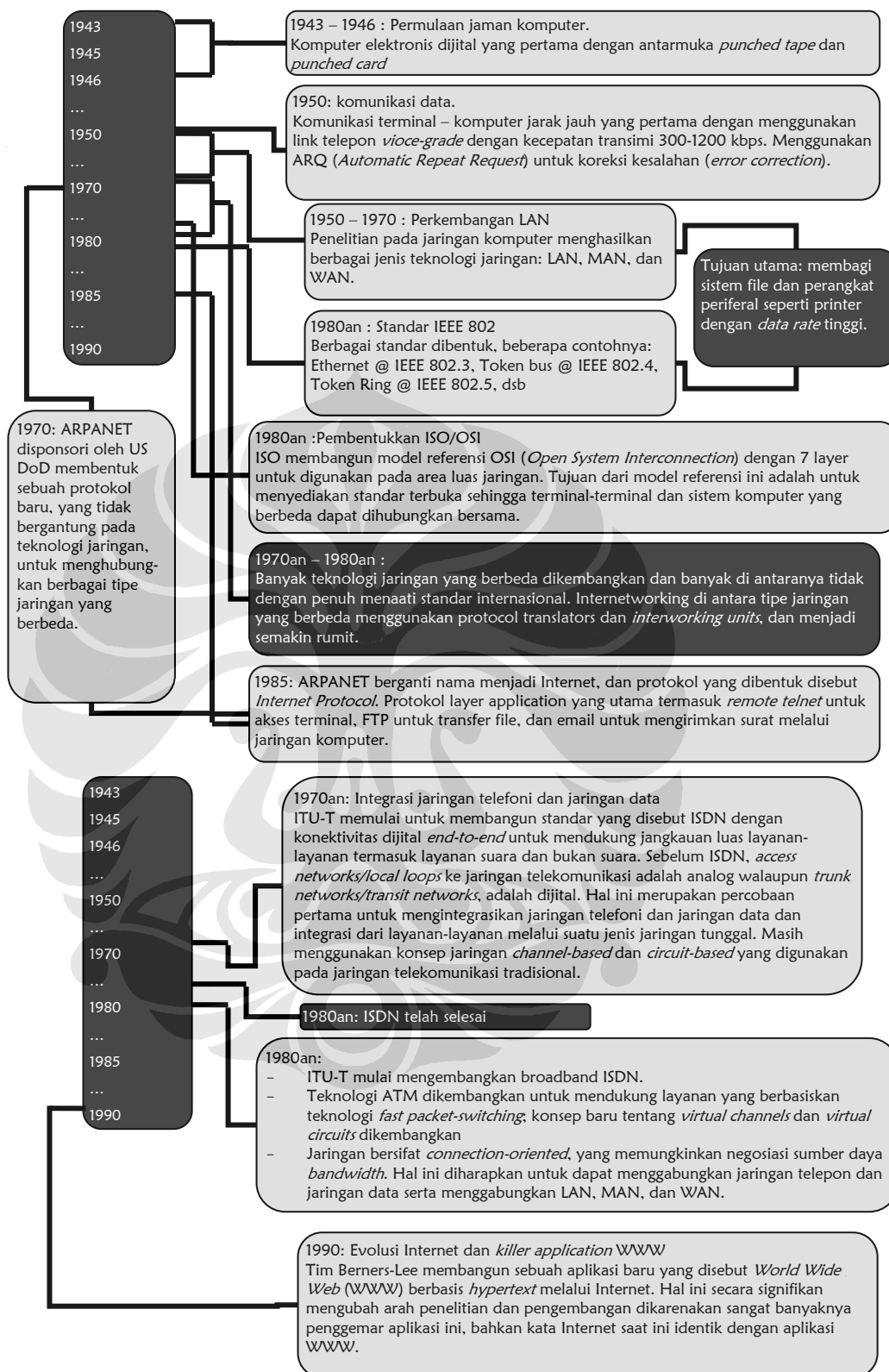
1.1 Latar Belakang Penelitian

Sistem telekomunikasi telah berkembang dengan pesat, ditandai dengan berkembangnya prinsip-prinsip dasar dan komponen-komponen pendukung jaringan serta dan layanan-layanan yang disediakan. Salah satu faktor yang paling mendorong perkembangan sistem telekomunikasi tersebut adalah komputer dan Internet, yang telah mendominasi sejak awal kemunculannya 20 tahun yang lalu, dan memberikan dampak yang besar terhadap berbagai aspek teknologi telekomunikasi. Berbagai kejadian penting yang mempengaruhi evolusi sistem telekomunikasi ditunjukkan pada Gambar 1.1. Perkembangan setelah tahun 1990 didominasi oleh penelitian yang berhubungan dengan *Internet Protocol (IP)*.

1.1.1 Perumusan Masalah

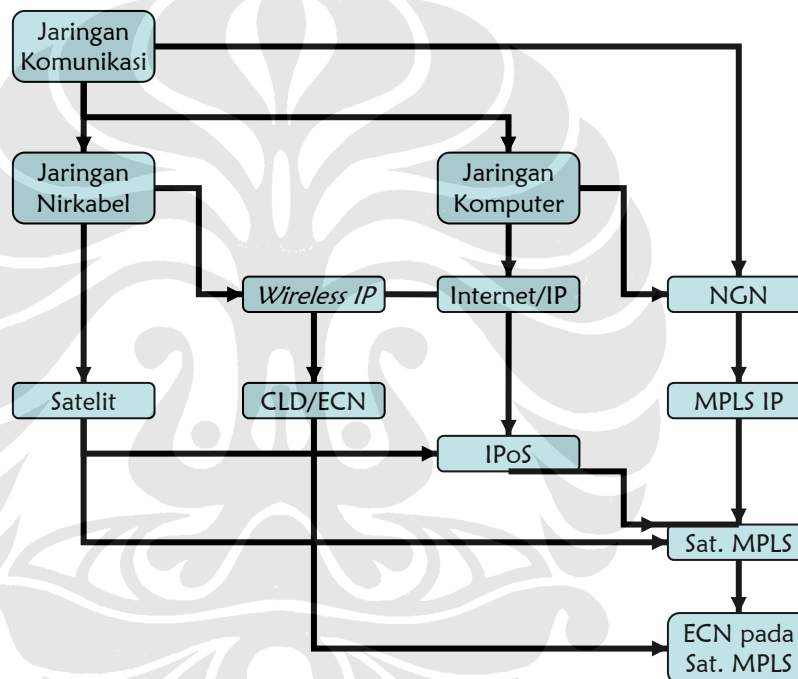
Perkembangan jaringan telekomunikasi telah membawa pada penemuan jaringan nirkabel di samping jaringan kabel, dan juga dengan bantuan penemuan komputer, telah melahirkan konsep jaringan komputer. Pada jaringan komputer, aplikasi berbasiskan susunan protokol TCP/IP, atau lebih dikenal dengan nama Internet, telah banyak diminati dan perkembangannya paling mendominasi dibandingkan konsep jaringan komputer lainnya. Bersamaan dengan berkembangnya jaringan nirkabel, trafik IP juga dilewatkan pada media ini, sehingga lahirlah konsep *wireless IP* atau lebih spesifik trafik IP dilewatkan pada jaringan satelit, yang merupakan salah satu dari perkembangan jaringan nirkabel disamping jaringan seluler, melahirkan konsep *IP over Satellite (IPoS)*.

Berbagai jenis jaringan yang telah berkembang membawa pada suatu konsep jaringan yang menyeluruh, *Next Generation Network (NGN)*, yang diharapkan mampu menjembatani semua perbedaan-perbedaan pada sistem jaringan; dan disebabkan oleh pesatnya perkembangan protokol IP, protokol ini dijadikan basis NGN. Untuk dapat menginterkoneksi berbagai protokol jaringan, digunakan konsep *Multiprotocol Label Switching (MPLS)*. Dengan ketertarikan khusus pada kemampuan jaringan satelit, dan kelemahan-kelemahan sebelumnya pada IPoS,



Gambar 1.1. Evolusi Sistem Telekomunikasi.

maka dikembangkan konsep MPLS pada jaringan satelit, Satelit MPLS untuk membawa trafik IP pada jaringan satelit dengan lebih baik lagi. Namun, terdapat satu permasalahan lagi menyangkut kinerja protokol IP pada jaringan nirkabel, termasuk jaringan satelit, dikarenakan pada awalnya protokol IP dirancang untuk bekerja pada media kabel, sehingga penggunaannya pada media nirkabel membawa berbagai penurunan kinerja. Hal ini membawa pada konsep *Cross Layer Design* (CLD), khususnya *Explicit Congestion Notification* (ECN). Sehingga, pada akhirnya, fungsionalitas ECN akan diikutsertakan dalam satelit MPLS. Bagan alir dalam perumusan masalah ini dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Bagan Alir Perumusan Masalah

1.1.2 Faedah yang Diharapkan

Faedah yang diharapkan antara lain:

- Mengerti cara kerja MPLS dan kelebihan-kelebihannya dalam mendukung jaringan satelit dan mentransmisikan paket data IP.
- Mengerti cara kerja jaringan satelit, khususnya konstelasi satelit LEO dengan ISL, beserta kelebihan-kelebihannya dibandingkan jaringan terestrial.
- Mengerti cara kerja satelit MPLS, yaitu aplikasi MPLS pada jaringan satelit.
- Mengerti konsep CLD, khususnya ECN, dan aplikasinya pada satelit MPLS

1.1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja jaringan satelit MPLS dengan menambahkan fungsi ECN dalam mendukung trafik berbasis IP. Peningkatan kinerja dilihat dari sisi peningkatan *throughput* dan utilisasi, serta penurunan *delay*.

1.2 Batasan Masalah

Dalam menyusun penelitian, berbagai batasan ditetapkan agar perhatian dapat lebih diarahkan pada hal yang ingin dipelajari. Batasan yang ditetapkan tersebut antara lain:

- Pada pembahasan MPLS, perhatian difokuskan pada cara kerja dan fitur-fitur MPLS yang berhubungan dengan jaringan satelit.
- Pada pembahasan jaringan satelit, perhatian difokuskan pada sistem konstelasi satelit LEO dengan ISL.
- Pada pembahasan Satelit MPLS, perhatian difokuskan pada penggunaan konsep MPLS pada jaringan konstelasi satelit LEO dengan ISL
- Pada peningkatan kinerja jaringan, perhatian difokuskan pada sisi *throughput*, utilisasi, dan *delay*

1.3 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini dibagi sbb:

- Bab 1 memuat Pendahuluan, yaitu Latar Belakang Penelitian, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan. Latar Belakang mencakup Perumusan Masalah, Faedah yang Diharapkan, dan Tujuan Penelitian.
- Bab 2 memuat Satelit MPLS, yang terdiri dari pembahasan *Multiprotocol Label Switching* (MPLS), Jaringan Satelit, Satelit MPLS, dan *Explicit Congestion Notification* (ECN) pada Satelit MPLS.
- Bab 3 memuat Simulasi Jaringan Satelit MPLS, yaitu Bagan Alir Penelitian, Perangkat Lunak Simulasi OPNET, Simulasi Jaringan Satelit MPLS dengan Perangkat Lunak OPNET, Analisis Hasil Simulasi Jaringan Satelit MPLS.
- Bab 4 memuat Kesimpulan.

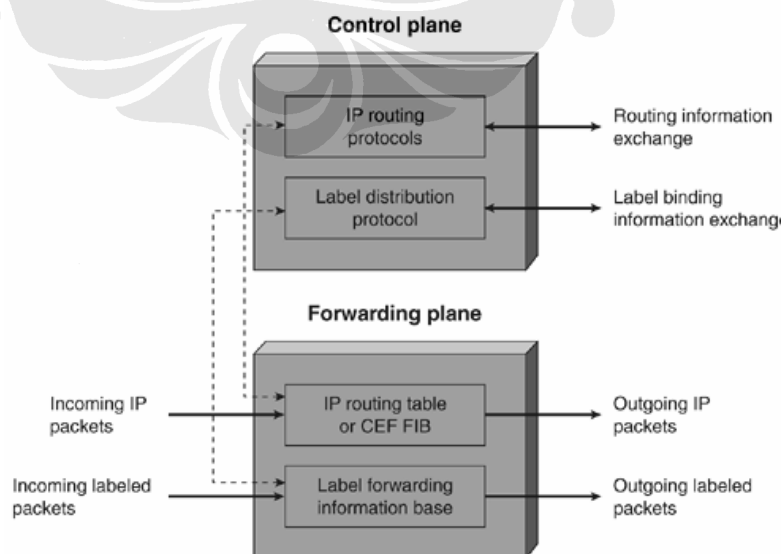
BAB 2

SATELIT MPLS

2.1 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

2.1.1 Bidang Penerusan dan Bidang Pengendalian

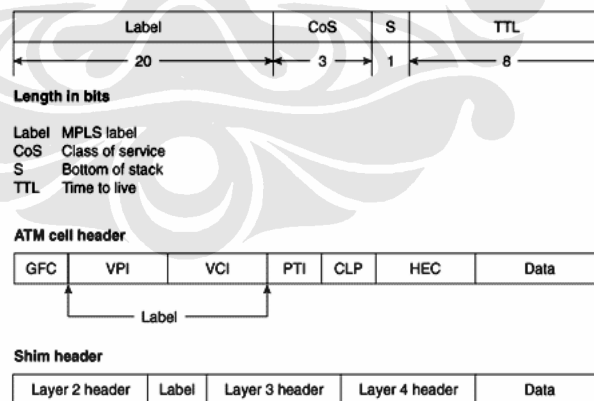
Node-node pada MPLS memiliki dua bidang arsitektur: Bidang penerusan MPLS dan bidang pengendalian MPLS (gambar 2.1). Bidang penerusan bertanggung jawab untuk meneruskan paket berdasarkan nilai-nilai yang terdapat dimiliki label dengan menggunakan tabel LIB (*Label Information Base*) dan tabel LFIB (*Label Forwarding Information Base*). LIB mengandung semua label-label yang diberikan oleh *node* MPLS lokal dan pemetaan dari label-label ini ke label-label yang diterima dari MPLS yang bersebelahan. LFIB menggunakan suatu subset dari label-label pada LIB untuk penerusan paket yang sesungguhnya. Algoritma yang digunakan oleh komponen label *switching* dan label *forwarding* menggunakan informasi yang ada pada LFIB dan juga informasi pada nilai label. Bidang pengendalian bertanggung jawab untuk mengatur dan menjaga LFIB. Biasanya digunakan protokol *routing link state*, seperti OSPF dan IS-IS, karena protokol ini menyediakan pandangan terhadap keseluruhan jaringan kepada setiap *node* MPLS.



Gambar 2.1. Bidang Penerusan dan Bidang Pengendalian pada MPLS[1]

2.1.2 Label pada MPLS

Label adalah pengidentifikasi FEC (*Forwarding Equivalence Class*) yang bersifat panjang tetap dan singkat, dan signifikan secara lokal. Ketika paket diteruskan ke *next hop*, label juga dikirimkan secara bersama-sama, sehingga, paket dilabelkan sebelum diteruskan. Pada *hop* selanjutnya, tidak diperlukan analisis lebih jauh tentang *header layer network* dari paket. Sebagai gantinya, label digunakan sebagai indeks terhadap tabel yang menspesifikasikan *next hop* dan label yang baru. Label yang lama digantikan dengan label yang baru, dan paket diteruskan ke *next hop*. Sebuah label tunggal memiliki panjang 32 bit. Pada kasus ATM, label ditempatkan pada bagian VCI (*Virtual Channel Identifier*) atau VPI (*Virtual Path Identifier*) dari *header ATM* dan pada kasus Frame Relay, label akan menempati bagian DLCI dari *header Frame Relay*. Sedangkan pada teknologi layer *data link* lainnya, seperti Ethernet, Token Ring, FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*), dsb, tidak dapat menggunakan bagian dalam alamat layer ini untuk membawa label. Teknologi ini membawa label dalam *header shim*. *Header shim* label diselipkan di antara layer *data link* dan layer *network*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Format Label MPLS [1]

MPLS memiliki konsep label *binding* dan label *stack*. Label *binding* adalah mekanisme pengikatan suatu label tertentu dengan suatu FEC tertentu untuk mencegah duplikasi label (dikarenakan label bersifat signifikan secara lokal,

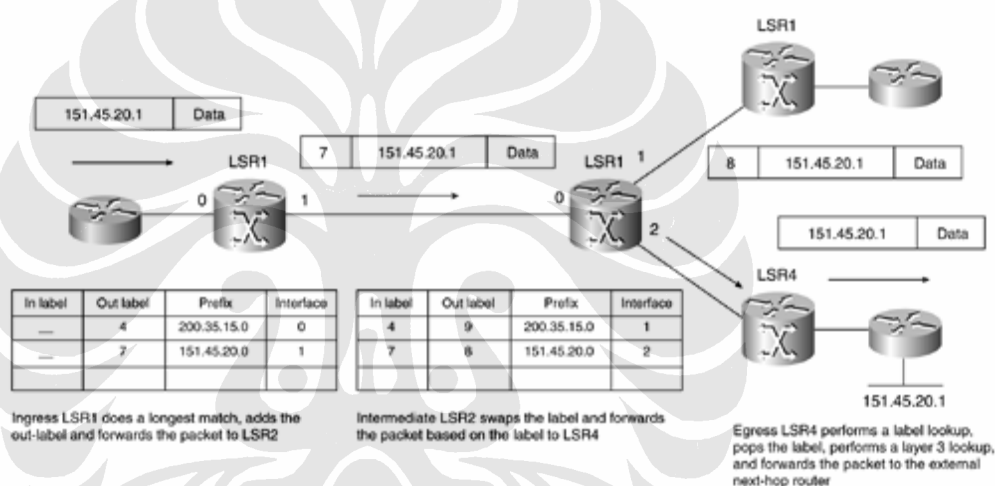
bukan keseluruhan). Masing-masing LSR (*Label Switching Router*) bertanggung jawab untuk menginterpretasikan *incoming* label dengan unik. Lebih dari satu *header* label dapat ditempelkan pada sebuah paket, dan membentuk label *stack*. Pada MPLS berbasis-paket, tumpukan paling awal muncul tepat setelah *header* layer *data link* dan tumpukan paling bawah muncul tepat sebelum *header* layer *network*. Penerusan paket dilakukan menggunakan nilai label dari label yang berada pada tumpukan paling atas. MPLS VPN (*Virtual Private Network*) dan utilisasi rekayasa biasanya memanfaatkan tumpukan label untuk operasinya [1].

2.1.3 *Label Edge Router (LER)* dan *Label Switched Router (LSR)*

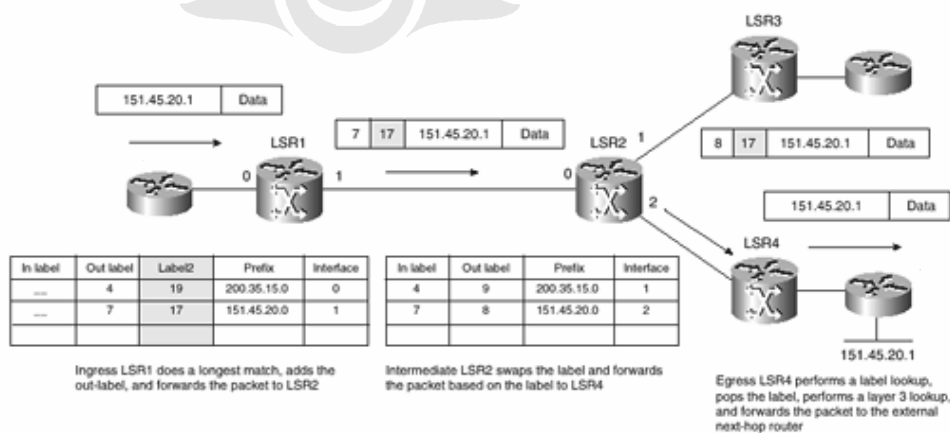
LSR adalah perangkat yang mengimplementasikan komponen kendali dan penerusan MPLS. LSR meneruskan sebuah paket berdasarkan nilai suatu label yang terenkapsulasi pada paket. LSR dapat juga meneruskan paket layer *network* yang asli. Langkah dasar dalam label *switching* adalah bahwa LSR-LSR sepakat dalam label-label yang digunakan untuk meneruskan trafik. Mereka dapat mengerti tentang hal ini dengan menggunakan protokol pendistribusi label LDP (*Label Distribution Protocol*) atau ekstensi dari BGP (*Border Gateway Protocol*), RSVP, atau CR-LDP [1]. LSR ujung atau disebut juga LER (*Label Edge Router*) ditempatkan di batasan *point of presence* (POP) dari sebuah jaringan MPLS dan memberikan label atau tumpukan label kepada paket. Berbagai tindakan yang dapat dilakukan oleh LSR antara lain:

- *Aggregate*: Membuang label teratas dari tumpukan dan melakukan layer *network lookup*.
- *Pop*: Membuang label teratas dari tumpukan dan mentransmisikan *payload* yang ada sebagai suatu paket terlabel atau paket IP tidak terlabel.
- *Push*: Mengganti label teratas dari tumpukan label dengan suatu susunan label.
- *Swap*: Mengganti label teratas dari tumpukan dengan nilai yang lain.
- *Untag*: Membuang label teratas dari tumpukan meneruskan paket IP ke *next hop* IP yang telah dispesifikasikan.

Operasi LSR berbasis paket, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 untuk *single level stack* dan gambar 2.4 untuk *multi level stack*, diawali dengan LSR1 (melakukan fungsi *ingress LER*) memberikan label setelah menentukan FEC untuk paket yang masuk. Kemudian, setelah paket dilabelkan, LSR selanjutnya (LSR2) meneruskan paket hanya dengan menggunakan label tersebut. LSR mengganti label pada paket yang masuk dengan label yang baru bersamaan dengan penerusan. Pada titik keluar, LSR4 (juga melakukan fungsi *egress LER*) melakukan *label lookup*, tindakan *pop*, melakukan *lookup layer network*, dan meneruskan paket ke *next hop* eksternal *router*. Selain operasi LSR berbasis paket, juga terdapat operasi LSR berbasis sel atau operasi LSR ATM.



Gambar 2.3. Operasi LSR Berbasis Paket dengan *Single Level Stack*[1]

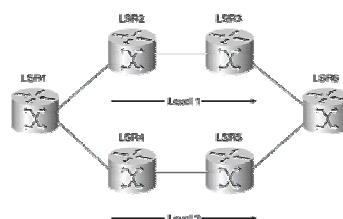


Gambar 2.4. Operasi LSR Berbasis Paket dengan *Multi Level Stack*[1]

2.1.4 Label Switched Path (LSP)

LSP diartikan sebagai jalur di antara susunan LSR-LSR di mana paket yang termasuk dalam FEC tertentu berjalan dari sumber ke tujuan. LSP dibentuk dengan menggunakan LDP atau TDP (*Tag Distribution Protocol*, standar Cisco sebelumnya), RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering*), CR-LDP (*Constraint-based Routing LDP*) atau ekstensi dari protokol *routing*, seperti *Multiprotocol BGP* [1]. RSVP-TE berjalan di atas UDP dan CR-LDP berjalan di atas TCP. Walaupun tidak ada perbedaan yang signifikan di antara kedua protokol ini dalam sisi skalabilitas, reliabilitas, dan efek operasional, RSVP-TE memiliki sebuah kelebihan dibandingkan CR-LDP: yaitu ia lebih cocok untuk interoperabilitas dengan jaringan IP, mendukung pensinyalan *end-to-end* terintegrasi, QoS dan interoperabilitas dengan *multivendor*[1]. Namun, belakangan CR-LDP lebih banyak digunakan karena sistem penyediaan QoS dengan *Integrated Services* (IntServ) mulai digantikan oleh *Differentiated Services* (DiffServ).

Dikarenakan MPLS memungkinkan tumpukan label, maka dimungkinkan juga untuk memiliki LSP-LSP yang berbeda pada tingkatan label yang berbeda untuk sebuah paket [1]. LSP bersifat *unidirectional*, yang berarti sebuah paket dapat menggunakan jalur yang berbeda pada perjalanannya kembali. Dalam rangka membangun sebuah LSP, LSR-LSR menggunakan protokol *routing* dan rute-rute LSP dibentuk berdasarkan protokol ini. Pada gambar 2.5, LSR1 & LSR6 adalah *ingress* LER dan *egress* LER. LSR2, LSR3, LSR4, dan LSR5 adalah *core* LSR. Untuk tujuan penerusan label, LSR1 dan LSR6 merupakan *peer* pada tingkat *border gateway* dan LSR lainnya merupakan *peer* pada tingkat *interior gateway*. Pada gambar 2.5 ditunjukkan dua LSP: sebuah *end-to-end* LSP Level 1 dari LSR1 ke LSR6 dan sebuah LSP Level 2 melalui LSR4 dan LSR5.



Gambar 2.5. Label Switched Path di Antara Router-Router MPLS [1]

Pembangunan LSP dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara kendali bebas (*independent control*) dan cara kendali tersusun (*ordered control*). Pada penggunaan cara kendali bebas, akan dicapai konvergensi dan pembangunan LSP yang lebih cepat, karena LSR dapat membangun dan mengumumkan label *binding* setiap saat, tanpa *delay* yang dikarenakan menunggu pesan-pesan yang berpropagasi dengan berurutan dari satu sisi jaringan ke sisi lainnya. Pembangunan LSP dengan segera mengikuti konvergensi dari protokol *routing*. Pada penggunaan cara kendali tersusun (*ordered control*), label *binding* dipropagasikan sepanjang jaringan sebelum LSP dibangun sehingga menyediakan kemampuan pencegahan *loop* yang lebih baik. Kedua cara ini dapat muncul dalam jaringan yang sama tanpa isu arsitektur atau interoperabilitas [1].

2.1.5 Label Distribution Protocol (LDP)

LDP digunakan untuk mendistribusikan informasi label *binding* di antara LSR-LSR. Ketika LER menentukan suatu label ke sebuah FEC, ia harus memberitahukan *peer* yang berhubungan tentang label tersebut dengan menggunakan LDP. Distribusi label dengan LDP dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu *downstream-on-demand*, *unsolicited downstream*, *liberal label retention*, dan *conservative label retention*[4]. LDP membantu dalam membangun LSP dengan menggunakan suatu susunan prosedur untuk mendistribusikan label-label di antara LSR *peer*. LDP menyediakan mekanisme LSR *discovery* untuk memungkinkan LSR *peer* melokasikan dirinya masing-masing dan membangun komunikasi [4]. LSP memiliki empat kelas pesan, yaitu Pesan *discovery*, pesan *adjacency*, pesan *label advertisement*, dan pesan *notification*. Pesan *discovery* berjalan di atas UDP dan menggunakan pesan *hello* yang di-*multicast* untuk mempelajari tentang LSR-LSR lainnya. Kemudian koneksi TCP dan sesi LDP dengan *peer*-nya dibangun. Pesan *adjacency* berjalan di atas TCP dan menyediakan sesi inisiasi dengan menggunakan pesan *initialization* pada permulaan negosiasi sesi LDP. Pesan *keepalive* digunakan untuk menjaga hidup LDP dan sesi LDP akan diputuskan jika pesan ini tidak lagi diterima dalam suatu interval waktu tertentu. Pesan *label advertisement* menyediakan pengumuman label *binding* dengan menggunakan pesan *label*

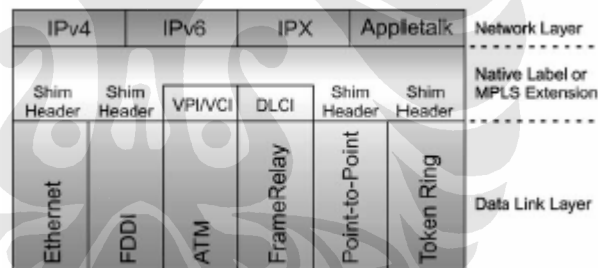
mapping yang mengumumkan pengikatan antara FEC dan label. LSR menggunakan pesan *label withdrawal* untuk mengulang proses pengikatan dan pesan *label release* untuk melepaskan label yang sudah tidak digunakan lagi. Pesan *notification* menyediakan informasi *advisory* dan *signal error* di antara *peer* LSR yang memiliki sesi LDP.

2.1.6 Kelebihan MPLS

Beberapa kelebihan MPLS yang tidak dimiliki sistem jaringan lain yaitu:

- Penggunaan komponen yang lebih sederhana
Forwarding MPLS dapat dilakukan oleh *switch* yang mampu melakukan label *lookup* dan label *replacement*, tanpa harus mampu menganalisis *header layer network*.
- Penentuan FEC yang lebih mendalam
 Dikarenakan paket didaftarkan ke suatu FEC ketika paket tersebut memasuki jaringan, *router ingress*, dalam menentukan pendaftaran, dapat menggunakan informasi apa saja yang berhubungan dengan paket, bahkan yang tidak disediakan oleh *header layer network*. Sebagai contoh, paket yang tiba pada *port* yang berbeda dapat didaftarkan pada FEC yang berbeda, sedangkan *forwarding* konvensional hanya dapat mempertimbangkan informasi yang berjalan bersama dengan paket dalam *header* paket.
- Menyediakan mekanisme ER (*explicit route*)
 Terkadang lebih disukai untuk memaksa suatu paket untuk mengikuti sebuah rute tertentu yang secara eksplisit dipilih sebelum atau saat paket memasuki jaringan, daripada mengikuti rute yang dipilih oleh algoritma *routing* dinamis biasa (*dynamic routing algorithm*) selama paket berjalan dalam jaringan. Hal ini dapat dilakukan dikarenakan masalah kebijakan atau untuk mendukung rekayasa trafik. Pada *forwarding* konvensional, hal ini mengharuskan paket membawa sebuah *encoding* dari rutenya bersamaan dengan paket tersebut (*source routing*). Pada MPLS, sebuah label dapat digunakan untuk merepresentasikan rute yang bersangkutan sehingga identitas dari ER tidak perlu dibawa bersamaan di dalam paket.

- Dukungan terhadap prioritas dan CoS (*Class of Service*)
Beberapa *router* menganalisis sebuah *header layer network* paket tidak hanya untuk memilih *next hop* paket, tetapi juga untuk menentukan prioritas paket atau CoS. *Router* tersebut kemudian dapat mengaplikasikan *discard threshold* atau *scheduling discipline* yang berbeda pada paket yang berbeda. MPLS memungkinkan (namun tidak mengharuskan) prioritas atau CoS untuk didapatkan secara penuh atau parsial dari label [4]. Pada kasus ini, dapat dikatakan bahwa label merepresentasikan kombinasi FEC dan prioritas atau CoS.
- Dapat diaplikasikan pada protokol layer *network* apa pun
Selain penempatan label secara langsung pada *header* yang ATM atau Frame Relay, untuk teknologi layer *data link* lainnya, penggunaan *header label shim* memungkinkan MPLS dalam mendukung kebanyakan teknologi layer *data link* (gambar 2.6).



Gambar 2.6. MPLS di Antara Layer *Data link* dan Layer *Network*[4]

2.2 Jaringan Satelit

2.2.1 Sejarah dan Perkembangan

Jaringan satelit pada awal mula penemuan dan perkembangannya dimaksudkan untuk membantu penyiaran televisi dan komunikasi, khususnya komunikasi internasional, namun saat ini satelit telah digunakan mulai dari siaran program televisi secara langsung dari satelit ke rumah-rumah, sampai menjelajahi Internet [6]. Beberapa kejadian yang penting dalam sejarah dan perkembangan satelit ditampilkan pada Tabel 2.1.

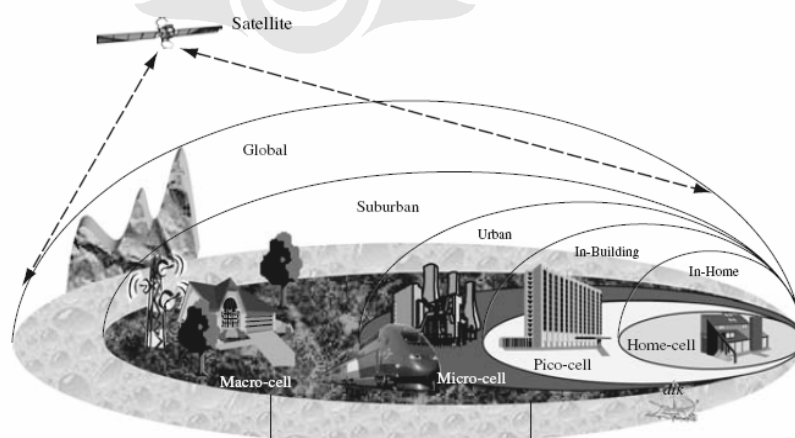
Tabel 2.1. Sejarah dan Perkembangan Jaringan Satelit

Tahun	Kejadian
4 Okt 1957	Permulaan era satelit, ditandai dengan peluncuran satelit buatan pertama, Sputnik oleh USSR (Union of Soviet Socialist Republics)
Agustus 1960	Percobaan pertama satelit komunikasi, Courier-1B oleh United States of America
Agustus 1964	Permulaan komunikasi satelit dengan dibentuknya organisasi Intelsat beranggotakan 19 negara
April 1965	Peluncuran EARLY BIRD (Intelsat-1) sebagai satelit komunikasi komersil pertama pada orbit geostasioner yang menyediakan 240 sirkuit telepon dan satu kanal TV di antara USA, Prancis, Jerman, dan UK (United Kingdom)
1981	Perkembangan transmisi digital satelit. Satelit pertama Intelsat-V mencapai kapasitas 12000 sirkuit dengan operasi FDMA dan TDMA, transponder <i>wideband</i> 6/4GHz dan 14/11GHz dan <i>frequency reuse</i> dengan <i>beam separation</i> dan <i>dual polarisation</i> .
1989	Satelit Intelsat-VI menyediakan <i>onboard satellite switched</i> TDMA untuk lebih dari 120000 sirkuit.
1990an	Perkembangan signifikan pada jaringan <i>broadband</i> termasuk teknologi <i>onboard switching</i> satelit. Berbagai satelit non-geostasioner telah dikembangkan utk MSS & <i>broadband</i> FSS
Akhir 1990an	Internet melalui jaringan satelit. Disebabkan oleh peningkatan yang dramatis dari trafik Internet pada jaringan komunikasi, jaringan satelit telah digunakan untuk mentransportasikan trafik Internet sebagai tambahan dari trafik telefoni dan televisi untuk jaringan akses dan jaringan transmit.
1999	Perkembangan broadcast DTH (<i>Direct-to-home</i>). Satelit K-TV pertama menyediakan 30 14/11-12 GHz transponder untuk 210 program TV.

2.2.2 Kekurangan dan Kelebihan

Kekurangan sistem jaringan satelit yang paling utama adalah *delay* propagasi dan *loss* propagasi yang lebih besar dibandingkan dengan jaringan terestrial, khususnya pada satelit geostasioner. Hal ini sangat tidak diinginkan terutama untuk aplikasi waktu nyata dengan *bandwidth* tinggi. Kekurangan lainnya adalah keterbatasan daya pada *earth-satellite link* dan keterbatasan ruang orbit dan frekuensi. Keterbatasan daya dikarenakan jarak link bumi ke satelit yang sangat jauh, sedangkan keterbatasan ruang orbit dan frekuensi dikarenakan ruang orbit dan frekuensi merupakan sumber daya terbatas. Satu lagi kekurangan yang khusus terjadi pada jaringan satelit LEO adalah kompleksitas operasinya.

Namun, disamping kekurangan-kekurangan tersebut, jaringan satelit memiliki kelebihan yang unik yang tidak ditemukan pada jaringan lainnya. Kelebihan yang utama adalah cakupan global yang sebenarnya (khususnya pada jaringan satelit LEO) bahkan menjangkau daerah terpencil yang tidak memiliki infrastruktur jaringan lain (gambar 2.7). Jaringan satelit dapat membentuk *instant network*, karena dapat dengan mudah dan cepat dalam membangun jaringan baru, sehingga dapat menjadi salah satu solusi pemulihan jaringan setelah bencana atau jaringan darurat. Jaringan satelit juga dapat mengatasi masalah *Line of Sight* (LOS) pada komunikasi radio nirkabel, sehingga stasiun bumi dapat diletakkan berjauhan. Satu lagi kelebihan satelit yang muncul seiring dengan perkembangan teknologi pada jaringan satelit adalah daerah cakupan satelit yang dapat diatur.

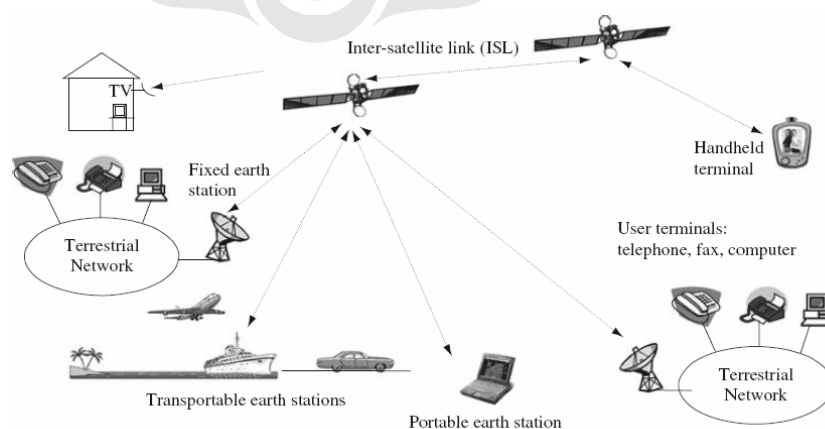


Gambar 2.7. Satelit dalam Infrastruktur Global [6]

2.2.3 Layanan Pada Jaringan Satelit

Definisi ITU-R tentang layanan-layanan satelit dikategorikan menjadi tiga, yaitu FSS (*Fixed Satellite Service*), MSS (*Mobile Satellite Service*), dan BSS (*Broadcasting Satellite Service*). FSS merupakan layanan komunikasi radio di antara posisi tertentu pada permukaan bumi dengan satu atau lebih satelit digunakan. FSS mendukung semua jenis layanan pada jaringan telekomunikasi dan data seperti telefoni, fax, data, video, TV, Internet, dan radio. MSS merupakan layanan komunikasi radio di antara stasiun bumi bergerak dan satu atau lebih satelit. Hal ini termasuk MSS kelautan, penerbangan, dan darat. Dikarenakan persyaratan mobilitas, terminal bumi bergerak biasanya berukuran kecil dan terkadang bahkan terminal genggam (*handheld terminal*). Dan BSS merupakan layanan komunikasi radio di mana sinyal yang ditransmisikan atau ditransmisikan kembali (*retransmitted*) oleh satelit ditujukan untuk penerimaan langsung oleh masyarakat umum menggunakan antena TVRO (*TV Receiving Only*). Satelit yang digunakan untuk BSS biasanya disebut DBS (*Direct Broadcast Satellite*).

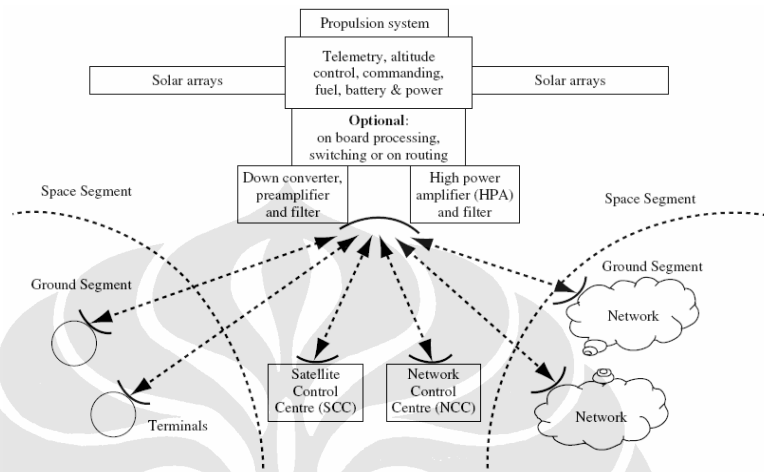
Gambar 2.8 menampilkan konfigurasi satelit dalam memberikan layanan-layanannya yang terdiri dari koneksi antar satelit dengan ISL (*Inter Satellite Link*), stasiun bumi tetap, stasiun bumi bergerak (*transportable earth station*), terminal *portable* dan terminal genggam, dan terminal pengguna yang berhubungan dengan *link* satelit secara langsung atau melalui jaringan terestrial.



Gambar 2.8. Layanan-layanan yang Disediakan oleh Sistem Jaringan Satelit[6]

2.2.4 Segmen Angkasa dan Segmen Darat Satelit

Sebuah jaringan satelit dapat dibagi menjadi dua bagian: segmen angkasa (*space segment*) dan segmen darat (*ground segment*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



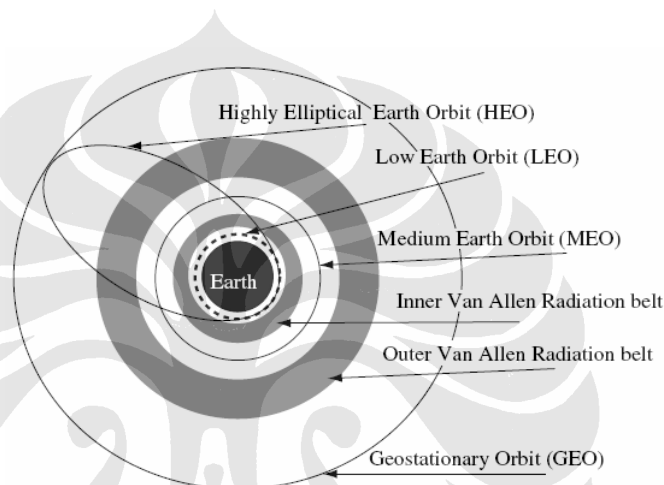
Gambar 2.9. Segmen Angkasa dan Segmen Darat[6]

Segmen angkasa terdiri dari satelit dan *Satellite Control Centre* (SCC) & *Network Control Centre* (NCC). Satelit adalah pusat (*core*) dari jaringan satelit, terdiri dari subsistem telekomunikasi dan platform/bus. Subsistem telekomunikasi terdiri dari transponder-transponder dan antena yang dirancang untuk menyediakan cakupan dari jaringan satelit. Platform / bus menyediakan dukungan struktur, dan penyediaan daya untuk subsistem telekomunikasi, kendali ketinggian (*altitude control*), kendali orbit, kendali suhu (*thermal control*), *tracking, telemetry and telecommand* (TT&T)

Segmen darat terdiri dari antena pemancar dan penerima, merupakan komponen yang paling terlihat dan biasanya berukuran antara 0.5 meter sampai lebih dari 16 meter, LNA (*Low Noise Amplifier*) pada sistem penerima, HPA (*High Performance Amplifiers*) pada sistem pengirim, perangkat modulasi, demodulasi, dan translasi frekuensi, perangkat pemrosesan sinyal, dan antarmuka ke jaringan terestrial atau terminal pengguna secara langsung.

2.2.5 Orbit Satelit

Satelit harus berada pada orbit yang tepat untuk menyediakan cakupan yang diinginkan ke area layanan[6]. Berbagai orbit satelit ditunjukkan pada gambar 2.10. Pada penentuan orbit satelit, Van Allen *radiation belts* harus dihindari, karena daerah ini merupakan daerah dengan partikel-partikel berenergi, seperti proton dan elektron, yang ditutupi oleh bidang magnetis bumi yang dapat merusak komponen elektronik dan listrik dari satelit.



Gambar 2.10 Orbit Satelit [6]

Berdasarkan ketinggiannya, orbit satelit dapat diklasifikasikan menjadi LEO (*Low Earth Orbit*) dengan ketinggian kurang dari 5000 km dan periode 2 jam sampai 4 jam, MEO (*Medium Earth Orbit*) dengan ketinggian 5000 km sampai 20000 km dan periode 4 jam sampai 12 jam, HEO (*Highly Elliptical Earth Orbit*) dengan ketinggian lebih dari 20000km dan periode lebih dari 12 jam, dan GEO (*Geostationary Orbit*) dengan ketinggian 35786 km dan periode 24 jam.

Menurut kedudukannya terhadap bumi, orbit satelit ini dapat dibagi menjadi dua jenis, GSO (*Geostationary Orbit*), satelit dengan orbit ini kedudukannya tetap terhadap bumi; dan NGSO (*Nongeostationar Orbit*), satelit dengan orbit ini kedudukannya selalu berubah. Orbit satelit GEO merupakan satu-satunya orbit yang termasuk GSO (sehingga terkadang penggunaan GSO sama artinya dengan GEO), sedangkan orbit yang lainnya, seperti LEO dan MEO, termasuk dalam NGSO.

Kebutuhan yang terus meningkat terhadap *bandwidth* untuk aplikasi *point-to-point* dan *(multi)point-to-multipoint* telah meningkatkan ketertarikan khusus pada konstelasi satelit NGSO *broadband* dikarenakan latensi yang lebih kecil, *free space loss* yang lebih kecil, cakupan global yang sebenarnya, dan penggunaan kembali frekuensi komunikasi *ground-space* yang lebih baik [4].

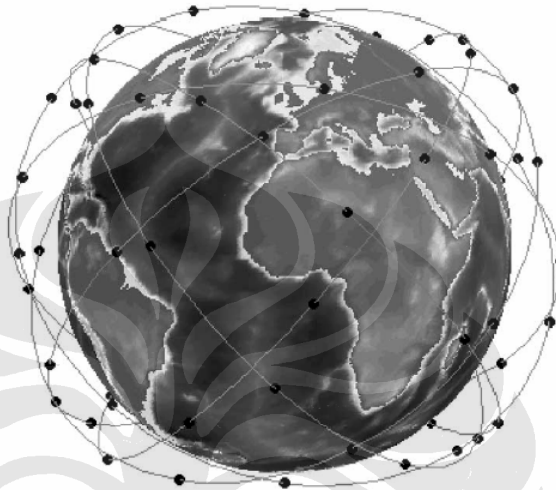
2.2.6 Dinamika Konstelasi Satelit NGSO dengan ISL

Konstelasi satelit non-geostasioner dengan ISL merupakan tantangan dalam sistem jaringan dikarenakan topologinya yang berubah secara kontinyu [4]. Sehingga, untuk dapat menggunakan kapasitas jaringan dengan maksimal, perlu diberikan perhatian khusus pada *routing* dan rekayasa trafik (*TE/Traffic Engineering*). MPLS, yang menawarkan banyak kemungkinan dalam mempengaruhi aliran trafik dan mendukung trafik IP dengan sangat baik merupakan salah satu kandidat yang menarik untuk diaplikasikan dalam konstelasi satelit dengan ISL ini.

Dinamika dalam jaringan konstelasi satelit dua kali lebih besar dibanding jaringan terestrial dikarenakan variasi dalam topologi ISL ditambah dengan dinamika dari keseluruhan jaringan ISL terhadap pengguna di *ground*[4]. Penelitian awal terhadap *routing* pada jaringan ISL menunjukkan bahwa pola konstelasi polar atau *near polar star*, seperti Iridium, memiliki dua kekurangan utama untuk operasi berorientasi koneksi, yaitu penggabungan (*seam*) di antara *counter-rotating* orbit dan *on/off switching* dari interorbit ISL [4]. Hal ini membawa penggunaan akan pola konstelasi *moderately inclined delta* yang menggunakan ISL. Pada dasarnya, pola konstelasi ini menyediakan kemungkinan untuk membangun sejumlah interorbit ISL yang dapat dijaga secara permanen dengan persyaratan PAT (*pointing, acquisition, and tracking*) yang memadai.

Sifat permanen dari *link*, pada umumnya, merupakan fitur yang sangat diinginkan [4], sebab pada layanan berorientasi koneksi waktu nyata, *path switching* dapat dikurangi secara total pada kasus yang tidak dapat dihindari dikarenakan *handover* satelit yang melayani *ground user* dalam koneksi *end-to-end*; dan pada khususnya penting untuk ISL optis sebab *acquisition* dari satelit tetangga yang baru atau *reacquisition* periodik untuk *switched-off link* yang

memakan waktu dapat dihindari secara total. Contoh jaringan satelit yang menggunakan pola konstelasi delta dan ISL optis adalah Celestri dengan 63 satelit yang terdistribusi merata pada 7 bidang orbit seperti yang ditunjukkan gambar 2.11.



Gambar 2.11. Konstelasi Celestri [4]

Dikarenakan Celestri memiliki sifat permanen dari *link*, topologi mesh yang ditunjukkan pada gambar 2.11 tidak berubah-ubah, hanya sudut *pointing* dan panjang dari interorbit ISL yang mengalami perubahan periodik selama periode orbit. Hal ini mengakibatkan panjang interorbit menjadi satu-satunya parameter yang tersisa dari faktor-faktor yang relevan dan potensial untuk pilihan *routing* dalam subjaringan ISL. Namun tantangan utama untuk jaringan berorientasi koneksi adalah pergerakan relatif yang tidak dapat dihindari di antara jaringan satelit dan pengguna di *ground* yang diperhitungkan sebagai *handover* satelit yang dilakukan terus menerus.

2.3 Satelit MPLS

Penerapan MPLS pada satelit GEO dengan *multiple spot beam* bertujuan untuk menyederhanakan kompleksitas dari *on-board switching*[4]. Namun permasalahan muncul dikarenakan volume trafik yang sangat besar harus di-

switch di antara berpuluh-puluh atau beratus-ratus *port input/output* yang melayani *spot beam*. Hal ini tidak akan terjadi untuk konstelasi LEO dengan ISL sebab beban trafik yang tinggi harus di-*switch* di antara sejumlah kecil *port-port* dikarenakan jumlah ISL per satelit yang sangat terbatas (biasanya hanya berkisar antara 4 sampai 6)

2.3.1 *Routing* dalam Topologi Dinamis

Konsep konstelasi satelit yang digabungkan dengan MPLS pada topologi yang berubah-ubah membawa pada isu *routing* terhadap *path* yang sudah ada [4]. Kemampuan untuk memberikan rute pada *path* dan membangun *recovery path* tidak bergantung pada protokol pensinyalan (*signalling protocol*) karena protokol pendistribusi label telah menyediakan dua mekanisme, yaitu *fast rerouting* dan *make before break*.

Mekanisme *fast rerouting* membentuk jalur *back-up* sebagai perlindungan terhadap kegagalan *link* bagian jaringan lainnya. *Fast rerouting* sangat mahal dari sisi *resource reservation* dan biasanya digunakan dalam kasus persyaratan reliabilitas yang sangat ketat. Sedangkan mekanisme *make before break* membangun LSP baru secara paralel dengan LSP lama yang masih ada apabila terjadi variasi topologi atau trafik. *Make before break* menghindari reservasi *bandwidth* dua kali yang tidak perlu pada *link* yang biasanya digunakan (biasanya dua *link* digunakan satu setelah yang lainnya dan tidak secara simultan). Dalam kasus LSP yang dibangun dengan cara ER, pembangunan LSP alternatif tergantung pada *ingress LER*.

Terlepas dari mekanisme tertentu, satu tantangan utama bagi *routing* ataupun *rerouting* dalam lingkungan berorientasi koneksi adalah penataan yang tepat dari aliran paket yang bersesuaian yang mengalir dari LSP lama dan LSP baru. Hal ini sangatlah penting untuk operasi yang tidak boleh terputus yang kebanyakan koneksi waktu nyata *end-user*.

2.3.2 Sistem Jaringan MPLS untuk Konstelasi Satelit NGSO

Sistem jaringan MPLS dan konstelasi satelit NGSO yang menggunakan ISL akan membentuk suatu jaringan pusat berbasis-angkasa dengan tantangan khusus

berupa dinamika yang alami dan tidak dapat dihindari [4]. Walaupun topologi permanen untuk menghindari *switched* ISL yang tersulit dapat dicapai dengan menggunakan pola konstelasi *moderately inclined delta*, masih ada *handover* alami, tidak dapat dihindari, dan sering terjadi di antara *ground user* atau *ground station* dan satelit-satelit.

Apabila *ground user/ground station* dan satelit-satelit diibaratkan sebagai *router* MPLS, maka *handover* antara *node-node* jaringan, dalam hal ini *router-router* MPLS, sangatlah berhubungan dengan batasan dari jaringan MPLS, yaitu komponen yang bertindak sebagai LER. Terdapat dua pilihan dalam menentukan batasan jaringan MPLS, yang pertama, skenario satelit LER, menempatkan satelit yang melayani *ground* sebagai LER; dan yang kedua, skenario *ground* LER menempatkan *ground user/ground station* sebagai LER [4]. Pada kedua pilihan, *rerouting* tetap tidak dapat dihindari, karena trafik *end-to-end* selalu mengalir dari *ground* ke *ground*, namun terdapat perbedaan konsep.

2.3.2.1 Satelit LER

Pada skenario ini, satelit yang melayani *ground* melakukan fungsi LER dan satelit-satelit lainnya bertindak sebagai LSR, sehingga membatasi jaringan *backbone* MPLS secara total ke dalam jaringan angkasa ISL yang memiliki topologi permanen, sehingga dapat beroperasi tanpa persyaratan *rerouting* LSP yang ketat. Namun, LER pada jaringan MPLS membentuk fungsi kecerdasan pada jaringan (mengatur distribusi label, menghitung rute, dsb), dan dengan menempatkan LER pada satelit, akan memerlukan *on-board processing*. Dalam melakukan *rerouting*, *ground station* dapat memicu sebuah *handover* sistematis dari satelit yang melayani (LER) yang lama ke yang baru dengan meminta untuk memutuskan LSP aktif dari satelit yang lama dan mengirimkan permintaan pembangunan LSP baru ke satelit yang baru, yang menyebabkan tahap baru dari aktivasi LSP yang dimulai dengan negosiasi QoS dan *admission control* yang bersangkutan.

2.3.2.2 Ground LER

Pada skenario ini, fungsi LER dilakukan oleh *ground station* atau *ground user* dan LSR oleh seluruh satelit. Pendekatan ini mengakibatkan *link* bumi-satelit (*earth-satellite link*) menjadi bagian dari jaringan MPLS. *Link* pertama ini menjadi sangat penting untuk operasi LSP yang menggunakannya, karena *link* ini dilibatkan dalam *handover*, menghasilkan keputusan dan penghitungan *rerouting* yang berkelanjutan untuk LSP. Konsep *rerouting* dilakukan dengan, dalam menghadapi *handover*, *ground station* (LER) dapat meminta penghitungan *rerouting* tanpa negosiasi QoS dan *admission control* karena LSP telah dalam keadaan aktif dan atribut-atributnya telah diketahui sehingga sedapat mungkin dipertahankan. Pada skenario ini, *on-board processing* yang rumit dan mahal dapat dihindari.

Pada kesimpulannya, konsep *ground LER* lebih diminati daripada satelit LER, dikarenakan tidak ada keuntungan yang memadai dengan mengaplikasikan *on-board processing* dibandingkan dengan keuntungan yang ditawarkan konsep *ground LER*. Ringkasan kedua fitur skenario satelit LER dan *ground LER* ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Perbandingan Skenario Satelit LER dan *Ground LER*

Satelit LER		<i>Ground LER</i>
Satelit yang melayani <i>ground</i>	Yang bertindak sebagai LER	<i>Ground station</i> atau <i>ground user</i>
Satelit-satelit lainnya	Yang bertindak sebagai LSR	Seluruh satelit
Jaringan angkasa, hanya satelit-satelit dengan ISL	Batasan jaringan <i>backbone</i> MPLS	Jaringan satelit, <i>ground station</i> yang mengakses, dan <i>link</i> bumi-satelit
Diperlukan, sebab LER dijalankan oleh satelit	<i>On-board processing</i> pada satelit	Tidak perlu, satelit hanya bertindak sebagai LSR
<i>Ground station</i> memutuskan LSP aktif dan pembangunan LSP baru.	<i>Rerouting</i> disebabkan <i>handover</i>	<i>Ground station</i> meminta penghitungan <i>rerouting</i>
Diperlukan pada setiap <i>rerouting</i>	Negosiasi QoS dan <i>admission control</i>	Tidak diperlukan, LSP telah aktif

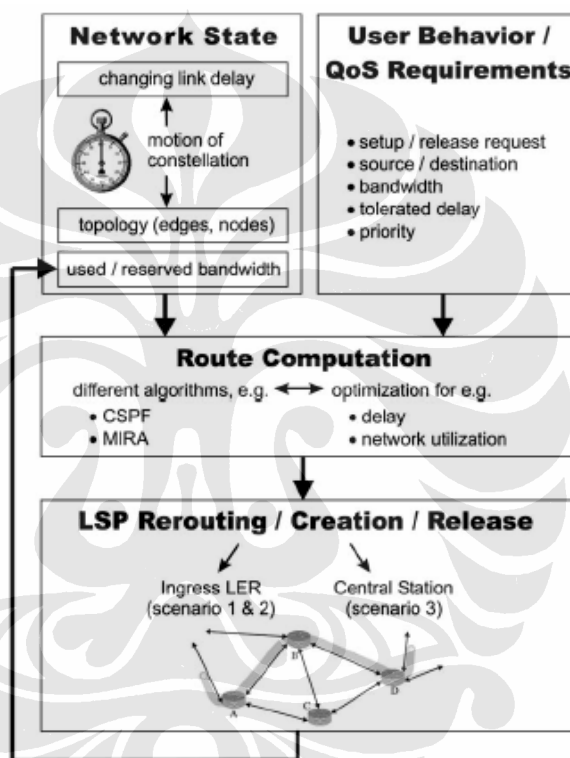
2.3.3 Konsep Keseluruhan dan Dekomposisi Fungsionalitas

Dalam membangun konsep sistem jaringan MPLS untuk konstelasi satelit, isu tentang berbagai protokol yang terlibat dalam MPLS tidak dapat dihindari, sehingga sangatlah berguna untuk memisahkan fungsionalitas MPLS. Semua fungsionalitas MPLS yang berhubungan dengan jaringan satelit dapat dibagi menjadi 4 blok fungsionalitas utama: keadaan jaringan (*network state*), sifat pengguna & persyaratan QoS, komputasi rute, dan *rerouting*-pembentukan-pembebasan LSP [4] (gambar 2.12).

Keadaan jaringan (*network state*) diikutsertakan dalam monitoring tertentu dan distribusi informasi *network state*. Distribusi dari informasi *network state* biasanya dilakukan dengan menggunakan protokol *link state*, yaitu OSPF (*Open Shortest Path First*) atau IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*), yang dapat menyebarkan berbagai atribut *link*. Pada jaringan ISL, informasi *network state* yang relevan, yaitu ketersediaan *link*, kapasitas, *bandwidth* yang tersedia setelah alokasi sumber daya, dan *delay*; harus disediakan ke semua *node-node* yang melakukan perhitungan rute. Informasi tentang keadaan LSP aktif yang akan melakukan *rerouting* yang memadai dalam menghadapi kegagalan *link* pada *link* yang dilalui atau *handover* yang harus dijalani dikarenakan pergerakan reguler konstelasi. Sifat pengguna & persyaratan QoS membuat permintaan yang diteruskan ke *node-node* lain.

Komputasi rute bertindak sebagai blok utama yang menjanjikan kepintaran dalam hal rekayasa trafik, *adaptiveness*, dan optimasi. Komputasi rute berhubungan dengan negosiasi QoS, *admission control*, dan rekayasa trafik dalam menghadapi permintaan LSP yang masuk dan membentuk suatu susunan prosedur yang agak kompleks. Modul ini mengevaluasi semua permintaan yang masuk, memeriksa apakah jaringan satelit mampu menampung LSP yang diminta, dan memberikan kuasa untuk membangun *path*. Sebuah permintaan LSP dibentuk dengan mengikutsertakan batasan (*constraint*) khusus yang harus diperhatikan oleh *path* yang dihitung, seperti *delay* maksimum yang ditoleransi, *bandwidth* minimum yang diperlukan dan informasi lainnya seperti LER sumber dan LER tujuan. Apabila sebuah permintaan LSP diterima, atribut QoSnya (yang sudah dinegosiasikan) biasanya dilewatkan ke modul *constraint-based routing* yang

akan menghitung *path* yang sesuai. *Constraint-based routing* biasanya melakukan optimasi terhadap suatu metrik skalar, dan dapat diimplementasikan dengan menggunakan salah satu dari beberapa algoritma yang telah terbukti di mana pilihan bergantung pada susunan metrik optimasi dan *constraint* tertentu. Apabila sebuah LSP dilepaskan, tidak diperlukan perhitungan apapun, informasi ini hanya disebar dan label yang bersangkutan dibebaskan. *Rerouting*-pembentukan-pembebasan LSP membangun hasil dari komputasi rute dalam jaringan.



Gambar 2.12. Blok-blok Fungsionalitas pada Sistem Jaringan MPLS dalam Konstelasi Satelit [4]

Pada skema trafik adaptif, rute biasanya dipilih dengan suatu cara sehingga beban trafik terdistribusi secara merata dalam jaringan satelit, LSP-LSP dirutekan di luar kegagalan *link* jaringan dan *bottleneck*, dan kemacetan (*congestion*) dihindari sejauh mungkin. Terdapat beberapa algoritma yang melakukan komputasi semacam itu, dengan memperhatikan aspek yang berbeda (yang tampak pada metrik yang bersangkutan). Beberapa algoritma mencoba untuk selalu mencari jalur terpendek untuk tiap LSP, seperti yang sering digunakan algoritma Dijkstra *shortest path*, dalam aspek banyaknya *hop* atau *link cost* yang

digeneralisasikan. Beberapa algoritma mencoba untuk memaksimalkan probabilitas dalam menerima permintaan *routing* yang akan datang, seperti MIRA (*Minimum Interference Routing Algorithm*), yang telah diujikan pada MPLS. Beberapa algoritma (penelitian awal pada jaringan konstelasi satelit berbasis ATM) mencoba untuk mengeksploitasi periodisitas topologi ISL dalam rangka meminimalkan jumlah *rerouting* jalur dalam subjaringan ISL. [4]

Hal yang sangat penting adalah derajat keseringan komputasi rute. Terdapat dua metode yang berkaitan dengan komputasi rute, yang pertama sebuah rute hanya dikalkulasikan sekali setelah sebuah permintaan pembangunan LSP dan tiap LSP akan seterusnya menggunakan rute ini sampai suatu *handover* menyebabkan komputasi ulang; dan yang kedua rute-rute dapat dikomputasikan secara periodik, yang terbukti berguna dalam topologi yang cenderung dinamis dengan *network state* yang berubah secara kontinyu. Dengan pendekatan rute-rute dikomputasikan secara periodik, rute-rute yang lebih baik dapat menjadi tersedia untuk *path* yang telah ada, sehingga akan meningkatkan *gain* kinerja jaringan. *Me-reroute* jalur bukan hanya disebabkan oleh *handover* atau kegagalan *link*, melainkan dapat juga untuk meningkatkan utilisasi atau beradaptasi terhadap prioritas. Namun QoS atau *performance gain* ini harus dipertukarkan dengan peningkatan pada usaha penghitungan dan beban pensinyalan yang berhubungan dengan distribusi label. Sehingga, harus dievaluasi apakah *update routing* yang periodik dan diperhitungkan dengan berat pantas dan apakah mengoptimasi LSP yang telah ada tidak menyebabkan terlalu banyak prosedur *rerouting*.

Untuk itu, fungsionalitas *routing* harus secara fisik diimplementasikan pada salah satu bagian jaringan, dan hal ini melahirkan 3 kemungkinan skenario dengan masing-masing skenario memiliki LSDB (*Link State Database*), *database* yang merepresentasikan keseluruhan *network state*, yaitu: skenario terdistribusi total, skenario tersentralisasi sebagian, dan skenario tersentralisasi total.

2.3.3.1 Skenario Terdistribusi Total

Pada skenario ini, LSDB, *routing*, dan manajemen LSP terdistribusi pada jaringan. Dengan mengadaptasi langsung dari situasi terestrial ke jaringan satelit, tiap LER pada *ground* dan LSR *on board* satelit menjaga LSDB yang identik.

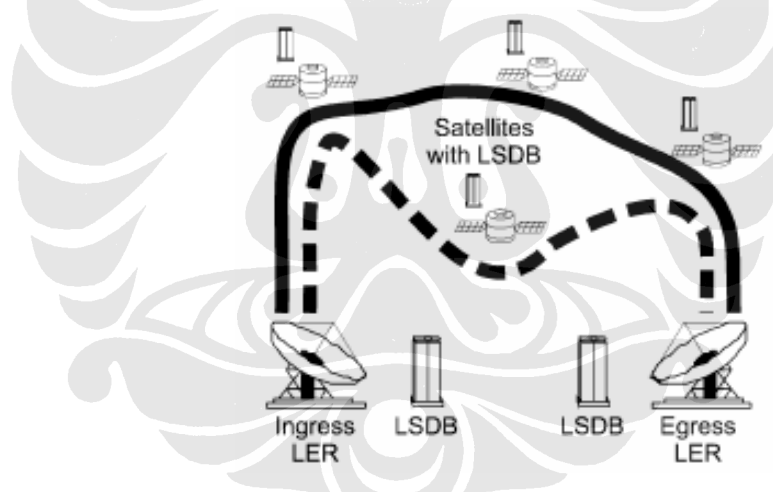
Rute dikomputasikan di *ingress* LER. Keputusan tergantung pada *ingress* LER untuk menginisiasi pembangunan LSP dan *men-switch* ke LSP alternatif berdasarkan informasi yang tersimpan di LSDB, sehingga sangatlah penting untuk menerima *update* dari LSDB. Dalam menghadapi *rerouting*, *ground station* hanya memerlukan informasi tentang ketampakan (*visibility*) dan jarak dari satelit dalam menentukan LSP alternatif dan waktu untuk *men-switch* ke jalur yang baru.

Pada jaringan IP dengan *node* tetap dan tidak ada persyaratan rekayasa trafik, OSPF versi 2 digunakan sebagai protokol untuk mendistribusikan *network information* dan untuk mengsinkronisasikan LSA (*Link State Advertisement*) di dalam LSDB pada *node-node*. OSPF versi 2 menentukan keadaan *link* di antara *node-node* berdasarkan sebuah metrik tidak berdimensi dan masing-masing *router* membangun sebuah pohon dari jalur terpendek (*tree of shortest path*) dengan dirinya sendiri sebagai akar berdasarkan metrik tersebut. LSDB di-*update* secara periodik karena perubahan dalam topologi jaringan dan diasumsikan bahwa *network information* yang baru didistribusikan dengan sangat cepat untuk mencegah kesalahan *routing* atau *loop*. Hal ini tidak cocok untuk MPLS TE.

OSPF-TE menggunakan *opaque* LSA dan mendistribusikan lebih banyak informasi dibandingkan OSPF. *Router-router* juga mengetahui tentang: metrik rekayasa trafik, *bandwidth* maksimum (dapat dipesan atau tidak dapat dipesan), dan dapat mengikutsertakan informasi-informasi ini dalam penghitungan jalurnya. Untuk mencegah *excessive flooding* terhadap jaringan dengan LSA-LSA, sebuah atribut *link* (contohnya *bandwidth*, yang dapat bervariasi dengan cepat) dapat harus melalui *threshold* tertentu sebelum sebuah *update* terkirim, namun semua atribut *link* yang lain juga terdistribusikan dengan baik. Untuk mencegah trafik tidak perlu ini, dapat didistribusikan hanya *incremental update* dari suatu atribut tanpa mengirimkan LSA yang lengkap, namun sekali lagi jaringan harus mengalami *flooding*.

Permasalahan pada skenario ini adalah adaptasi langsung dari situasi terestrial ke jaringan satelit sangatlah dipertanyakan, dikarenakan *node-node* yang tidak tetap dan terdapat *delay* yang berubah-ubah secara kontinyu dari ISL; yang harus dimonitor dan diumumkan ke semua LSDB. Dimungkinkan untuk menghindari trafik OSPF yang berhubungan dengan perubahan pada *delay link*

dengan prekalkulasi di tiap *node* selagi konstelasi bergerak dengan cara yang deterministik, namun untuk rekayasa trafik yang memadai, tetap diperlukan pendistribusian informasi *link state*. Ditambah lagi, sinkronisasi dari LSDB mengalami kesulitan dikarenakan jarak interorbit yang berubah-ubah dan *delay* propagasi sinyal yang tinggi yang disebabkan oleh bumi yang menutup ukuran topologi (satelit mendekati horizon). Skenario ini juga tidak mampu memodifikasi aliran trafik yang sudah ada dengan baik. Walaupun MPLS menawarkan kemungkinan bahwa trafik dengan prioritas tinggi dapat menekan trafik dengan prioritas rendah, hal ini tidak diinginkan karena *node ingress* dari trafik harus diberitahu tentang "*link unterruption*" ini melalui pesan kegagalan *link* atau *update* LSDB-nya; untuk kemudian ia harus membangun jalur baru yang lengkap sekali lagi melalui jaringan dengan *link* yang kurang diutilisasi. Skenario terdistribusi total digambarkan pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Skenario Terdistribusi Total [4]

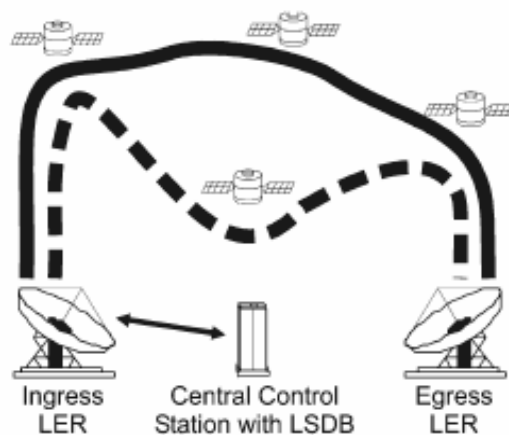
2.3.3.2 Skenario Tersentralisasi Sebagian

Pada skenario ini LSDB dan *routing* tersentralisasi namun manajemen LSP terdistribusi. Tiap *ingress* LER yang mencoba mengakses jaringan, mengirimkan parameter trafiknya (kategori trafik, *bandwidth*, etc) ke *database* sentral yang memiliki pengetahuan total terhadap *network state* dan menghitung rute optimum untuk permintaan-permintaan yang masuk. *Database* sentral menjawab dengan sebuah pesan yang mengandung ER untuk suatu LSP di mana *ingress* LER harus

membangunnya sendiri. LSDB sentral secara paralel juga dapat mengirimkan ER baru untuk LSP yang sudah ada kepada *ingress* LER yang lainnya dalam rangka memicu *handover* atau *re-route* aliran trafik untuk utilisasi jaringan yang lebih baik.

Skenario tersentralisasi sebagian ini menawarkan beberapa kelebihan, antara lain rekayasa trafik yang lebih efisien dikarenakan pandangan global terhadap jaringan yang disediakan oleh *database* sentral; satelit, dengan *constraint* khususnya dalam menghitung daya dan memori, tidak harus menjaga LSDB dan melakukan penghitungan rute; dan utilisasi jaringan meningkat secara drastis. Namun, skenario ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu, kebutuhan akan protokol baru untuk mempertukarkan informasi di antara *ingress* LER dan LSDB sentral; kurang lebih pengetahuan yang akurat mengenai koordinat *ground station*; dan permasalahan skalabilitas (skenario tersentralisasi) dengan memperhatikan jumlah LSP-LSP. Stasiun sentral dapat hanya mampu menangani jumlah terbatas dari LSP.

Terdapat dua kemungkinan yang berkaitan dengan waktu *rerouting*. Yang pertama, LSDB sentral menawarkan satu atau beberapa alternatif ER dan keputusan mengenai kapan untuk memulai *rerouting* sepenuhnya bergantung pada *ground station*. *Ground station* tentunya kemudian harus menginformasikan ke LSDB sentral secepatnya mengenai keputusan apapun. Sistem ini tidak memerlukan informasi posisi yang mendetail dan cocok untuk konstelasi satelit dengan beberapa satelit tampak (*visible satellite*) pada waktu yang bersamaan (*satellite diversity*), diluar satelit manapun yang terbaik yang terpilih. Yang kedua, *ground station* harus mengambil rute baru secara langsung setelah penerimaan ER dari LSDB sentral. Pada sistem ini, LSDB memerlukan informasi yang sangat akurat tentang lokasi *ground station* untuk mencegah kesalahn *routing* dan lebih cocok untuk jumlah kecil satelit tampak. Skenario tersentralisasi sebagian digambarkan pada gambar 2.14.



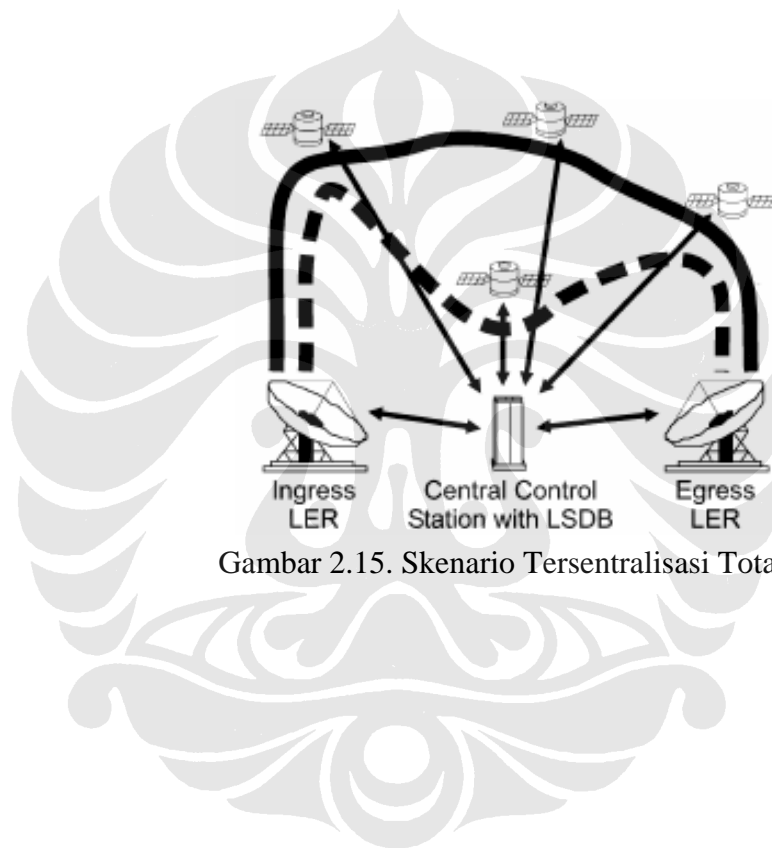
Gambar 2.14. Skenario Tersentralisasi Sebagian [4]

2.3.3.3 Skenario Tersentralisasi Total

Pada skenario ini, ketiga LSDB, *routing*, dan manajemen LSP tersentralisasi. LSDB memiliki koneksi logika terdedikasi ke satelit-satelit. Skenario ini merupakan perkembangan selanjutnya dari *rerouting* LSP yang dipicu secara terpusat, menghasilkan skenario pengendalian yang absolut. Titik *ingress* dari jaringan tidak lagi membangun LSP, semua *node* jaringan mendapatkan tabel untuk label *swapping* secara langsung dari *database* sentral melalui *logical link*. Keputusan apapun mengenai *rerouting* yang disebabkan rekayasa trafik atau *handover* bergantung pada LSDB. Sehingga pendekatan ini hanya memiliki sedikit kesamaan yang tersisa dengan penggunaan MPLS terestrial, termasuk sebagai contoh, mekanisme label *swapping*. Prosedur *rerouting* harus dipertimbangkan dengan seksama dengan memperhatikan persyaratan sinkronisasi. Semua tabel yang sudah di-*update* harus mulai digunakan pada waktu yang bersamaan. Penyelesaian yang dimungkinkan adalah untuk meng-*update* semua tabel sepanjang LSP yang baru dengan *ingress* LER menjadi *node* terakhir yang di-*update*.

Kelebihan skenario tersentralisasi total adalah pembangunan dan penggunaan LSP yang lebih cepat. LSDB sentral mendistribusikan tabel label *swapping* di antara satelit-satelit secara langsung setelah penerimaan dari sebuah permintaan pembangunan LSP dari salah satu LER dan dikarenakan *handover* atau *rerouting*. Kemudian LSDB sentral mengirimkan *acknowledgement* kembali

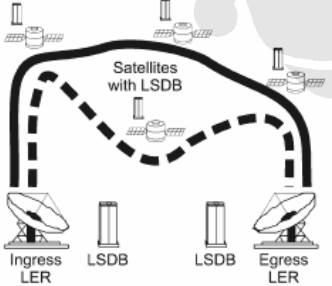
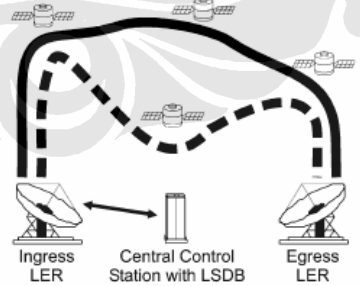
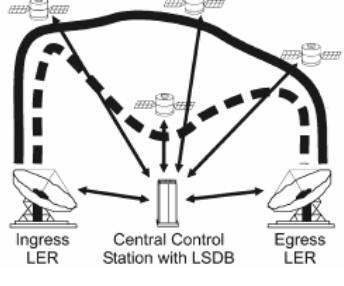
ke asal permintaan koneksi yang dapat dengan segera mulai menggunakan LSP yang sudah ada tanpa harus membangun satu oleh dirinya sendiri. Kekurangan skenario ini adalah kebutuhan akan perancangan protokol pensinyalan baru untuk mendistribusikan label-label di antara LSR-LSR dan permasalahan skalabilitas (skenario tersentralisasi) dengan memperhatikan jumlah LSP-LSP. Stasiun sentral dapat hanya mampu menangani jumlah terbatas dari LSP. Skenario tersentralisasi total digambarkan pada gambar 2.15 dan perbandingan ketiga skenario ini ditampilkan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.15. Skenario Tersentralisasi Total [4]

Tabel 2.3 Perbandingan skenario terdistribusi total, tersentralisasi sebagian, dan tersentralisasi total

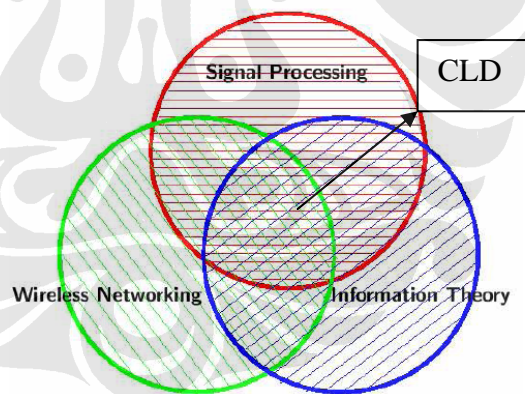
Skenario	Terdistribusi total	Tersentralisasi sebagian	Tersentralisasi total
LSDB	Terdistribusi, tiap LER & LSR menjaga LSDB yang identik	Tersentralisasi, baik untuk rekayasa trafik dan tidak menambah kerja satelit.	Tersentralisasi, dengan koneksi logika terdedikasi ke satelit-satelit.
<i>Routing</i>	Terdistribusi	Tersentralisasi	Tersentralisasi
Manajemen LSP	Terdistribusi	Terdistribusi	Tersentralisasi
Pembangunan LSP	Dilakukan <i>ingress</i> LER, berdasarkan informasi LSDB	Dilakukan <i>ingress</i> LER, setelah mengirimkan parameter trafik ke LSDB dan menerima ER	Semua <i>node</i> mendapatkan tabel label <i>swapping</i> dari LSDB, pembangunan dan penggunaan LSP menjadi lebih cepat.
Penggantian LSP alternatif	Dilakukan <i>ingress</i> LER, berdasarkan informasi LSDB	Dilakukan <i>ingress</i> LER, setelah mendapatkan ER dari LSDB, meningkatkan utilisasi jaringan	Bergantung pada LSDB
<i>Rerouting</i>	<i>Ground station</i> memerlukan informasi <i>visibility</i> dan jarak dari satelit	Terdapat dua kemungkinan, bergantung pada <i>ground station</i> dan tepat sesaat setelah menerima ER dari LSDB.	Ditentukan oleh LSDB

<p>Permasalahan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Node-node</i> yang tidak tetap dan <i>delay</i> yang berubah secara kontinyu dari ISL harus dimonitor dan diumumkan ke semua LSDB • Sikronisasi LSDB mendapat dampak negatif dari jarak interorbit yang berubah-ubah dan <i>delay</i> propagasi sinyal yang tinggi • Tidak mampu memodifikasi aliran trafik yang sudah ada dengan baik 	<ul style="list-style-type: none"> • Dibutuhkan protokol baru untuk mempertukarkan informasi di antara <i>ingress</i> LER dan LSDB sentral • Kurang lebih pengetahuan yang akurat mengenai koordinat <i>ground station</i> • Skalabilitas dengan memperhatikan jumlah LSP-LSP yang mampu ditangani stasiun sentral 	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya memiliki sedikit kesamaan dengan MPLS terestrial. • Dibutuhkan protokol pensinyalan baru untuk mendistribusikan label-label di antara LSR-LSR • Skalabilitas dengan memperhatikan jumlah LSP-LSP yang mampu ditangani stasiun sentral.
<p>Gambar</p>			

2.4 Explicit Congestion Notification (ECN) pada Satelit MPLS

2.4.1 Cross Layer Design (CLD)

Konsep CLD muncul diakibatkan semakin maraknya perkembangan dan penggunaan jaringan nirkabel, baik seluler maupun satelit, sehingga konsep layer pada arsitektur jaringan yang sebelumnya digunakan sebagai acuan, yaitu ISO OSI layer, dirasakan tidak lagi tepat [2]. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.16, pendekatan CLD pada arsitektur jaringan berada pada irisan dari jaringan nirkabel (*wireless networking*), pemrosesan sinyal (*signal processing*), dan teori informasi (*information theory*). Definisi CLD dapat dituliskan sebagai: suatu rancangan untuk mengoptimalkan sepenuhnya jaringan pita lebar nirkabel, dengan memperhitungkan tantangan dari media fisik dan permintaan QoS dari aplikasi [2]. *Rate*, daya, dan pengkodean pada layer *Physical* diadaptasikan untuk memenuhi persyaratan aplikasi pada kondisi kanal dan jaringan tertentu serta pengetahuan harus dibagi-bagikan di antara (semua) layer-layer untuk mendapatkan kemungkinan adaptivitas tertinggi.



Gambar 2.16. CLD dan Ketiga Arsitektur Jaringan Lainnya [2]

Pada umumnya, pendekatan CLD dapat dibagi menjadi dua, yaitu pendekatan evolusioner dan pendekatan revolusioner. CLD dengan pendekatan evolusioner sedapat mungkin memperluas struktur layering yang sudah ada, dalam rangka mempertahankan kompatibilitas. Lebih jauh, pendekatan evolusioner bervariasi dari evolusioner dasar yang berupa solusi sederhana, namun efektif, yang memperluas struktur layering yang ketat sampai evolusioner

keseluruhan sistem, di mana hubungan ketergantungan pada keseluruhan tumpukan layer dirancang dan diimplementasikan untuk mengoptimalkan kinerja jaringan keseluruhan. Berbeda dengan pendekatan evolusioner, pendekatan revolusioner pada CLD tidak dibatasi oleh implementasi yang sudah ada dan tidak menjanjikan kompatibilitas. Kebanyakan CLD saat ini menggunakan pendekatan evolusioner, karena kompatibilitas dengan sistem dan jaringan yang sudah ada, seperti jaringan IP, sangatlah penting untuk pengguna dengan koneksi *end-to-end*.

Berbagai contoh pendekatan evolusioner pada CLD adalah Layer Trigger, rancangan protokol EventHelix', MobileMan, dan Joint Source Channel Coding; sedangkan contoh pendekatan revolusioner adalah Wireless Sensor Networks dan JSCC Shannon Mappings. Konsep Layer Trigger dianggap paling menarik dari berbagai contoh CLD ini, karena konsep ini cenderung sederhana, namun tetap efektif dalam meningkatkan kinerja jaringan. Layer Trigger merupakan sinyal yang telah didefinisikan sebelumnya yang digunakan sebagai pemberitahuan akan kejadian-kejadian khusus di antara protokol-protokol dan merupakan salah satu implementasi CLD yang paling dasar. Layer Trigger cenderung murah dan cepat diimplementasikan, namun tetap memiliki peningkatan kinerja yang dapat diperhitungkan, dan dapat mempertahankan kompatibilitas dengan struktur jaringan lainnya. Dikarenakan fitur-fitur ini, Layer Trigger banyak digunakan baik pada jaringan kabel maupun nirkabel. Contoh Layer Trigger adalah bit ECN (*Explicit Congestion Notification*) dan L2 *trigger*. Bit ECN digunakan untuk memberitahukan penerima jikalau tabrakan paket terjadi pada jaringan. L2 *trigger* mendeteksi perubahan pada *link* nirkabel dengan efisien dan membagi informasi ini di antara layer *Logical Link* (LL) dan layer IP. Bit TOS (*Type of Service*) pada *header* IP juga dapat digolongkan sebagai Layer Trigger.

2.4.2 Bit ECN pada Jaringan Nirkabel

Bit ECN digunakan untuk memberitahukan penerima jikalau tabrakan paket terjadi pada jaringan. Implementasi TCP modern belakangan ini mengikutsertakan bit ECN dalam pembentukan *header* TCP. Pada *header* TCP, bit ECN selalu ditetapkan bernilai nol oleh aplikasi. Jika sebuah *router* mendeteksi tabrakan paket, ia akan merubah bit ECN menjadi 1. Ketika paket-paket yang ditandai, atau

yang bit ECN dirubah menjadi 1, mencapai tujuannya, penerima melihat bit ECN yang telah berubah dan dapat mengadaptasikan tingkatan trasmisinya agar sesuai untuk mencegah tabrakan lainnya. Semua kehilangan paket (*packet loss*) pada jaringan nirkabel dengan TCP yang tidak memiliki bit ECN akan selalu diinterpretasikan sebagai kehilangan yang berhubungan dengan tabrakan, walau hal ini tidak selalu benar. Sifat alami dalam *link* nirkabel dapat menghasilkan kehilangan paket walaupun tidak terjadi tabrakan paket. Hal ini mengakibatkan jumlah transmisi ulang yang besar dan berkurangnya *throughput*.

Pada lingkungan nirkabel pengguna tunggal, jika paket ditandai hanya berdasarkan informasi kejadian tabrakan, maka tidak terdapat pengurangan yang signifikan terhadap kinerja TCP pada kanal nirkabel yang bervariasi seiring waktu, dibandingkan dengan jaringan kabel; sehingga peningkatan kinerja *throughput* nirkabel juga dapat didapatkan dengan teknik yang sama. Dengan implementasi bit ECN pada TCP, sangat dimungkinkan untuk membedakan antara kehilangan paket yang berhubungan dengan tabrakan dan kehilangan paket yang berhubungan dengan sifat *link* nirkabel. Dengan menggunakan bit ECN, layer lebih bawah dari tumpukan layer dapat memberitahukan layer lebih atas tentang status jaringan, contohnya kejadian tabrakan, dan layer yang lebih atas tersebut dapat merespon dengan sesuai. Dan yang lebih penting, terdapat peningkatan *performance gain* yang dapat dicapai dengan menggunakan metode ini pada jaringan nirkabel.

2.4.3 Bit ECN pada Satelit MPLS

Dalam rangka mengaplikasikan ECN pada satelit MPLS, LSR harus menggunakan bagian Exp pada *header shim* MPLS. Namun, penggunaan kode pada bagian Exp telah didefinisikan untuk layanan terdistribusi. Walaupun tidak menutup kegunaan lainnya, hal ini membatasi aplikasi ECN pada bagian Exp 3 bit atau 8 *codepoint* tersebut. Aplikasi layanan terdistribusi pada LSR memiliki dua jenis pendekatan, yaitu, yang pertama pendekatan E-LSP (*Exp-Inferred-PSC LSP*) yang menggunakan *codepoint* yang berbeda pada bagian Exp untuk mengindikasikan PHB (*Per Hop Behavior*) dari paket; dan yang kedua, pendekatan L-LSP (*Label-Only-Inferred-PSC LSP*) yang menggunakan label

MPLS untuk tiap PSC (*PHB scheduling class*) sehingga LSR dapat menentukan penerusan maupun sifat penjadwalan (*scheduling behavior*) dari label. Apabila domain MPLS menggunakan pendekatan E-LSP, *codepoint* yang tersisa pada bagian Exp cenderung sedikit, sedangkan bila menggunakan pendekatan L-LSP, masih terdapat tempat di bagian Exp untuk *codepoint* ECN. ECN pada MPLS sebaiknya menggunakan *codepoint* daripada bit pada bagian Exp karena tidak semua PHB akan membutuhkan *codepoint* ECN yang berkaitan, sehingga akan sia-sia apabila menentukan bit yang didedikasikan untuk ECN [3]. Untuk tiap PHB yang menggunakan penandaan ECN, satu *codepoint* Exp akan didefinisikan sebagai *not-congestion-marked* (Not-CM), dan sedikitnya satu *codepoint* sebagai *congestion-marked* (CM). Sehingga, masing-masing PHB akan menggunakan sedikitnya dua *codepoint* Exp, sedangkan PHB yang tidak menggunakan penandaan ECN hanya akan memerlukan satu *codepoint* Exp.

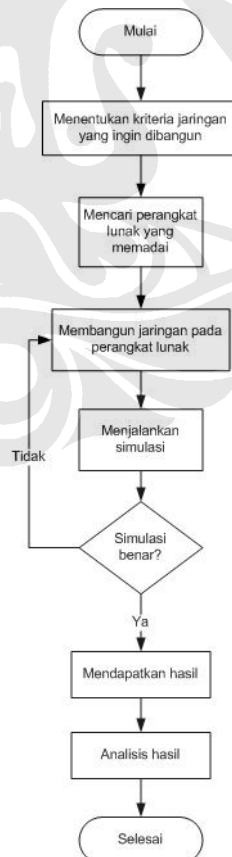
Terdapat beberapa operasi yang mempengaruhi penandaan ECN pada suatu paket yang dilewatkan pada LER dan LSR. Pada proses penambahan satu atau lebih label pada paket IP atau enkapsulasi paket IP dalam tumpukan label MPLS, bagian ECN harus diartikan ke bagian Exp MPLS dengan status yang bersesuaian (Not-CM bila ECN pada paket IP Not-ECT, dan CM bila ECN pada paket IP CE). Pada proses penambahan satu atau beberapa label pada paket terlabel MPLS, bagian Exp disalin secara langsung dari label yang paling atas sebelum penambahan ke label yang baru ditambahkan. Pada kedua kasus ini, jika lebih dari satu label diberikan pada waktu yang bersamaan, nilai yang sama harus ditempatkan pada bagian Exp pada semua masukan tumpukan label. Pada proses kemacetan yang dialami pada *node* MPLS interior, jika *codepoint* Exp pada paket menyatakan PHB dengan penandaan ECN, maka status CM dipasang [3]. Jika *buffer* penuh, paket akan dibuang. Juga terdapat proses pada saat paket MPLS melalui domain DiffServ, yang mengharuskan bagian Exp ditulis ulang.

BAB 3

SIMULASI JARINGAN SATELIT MPLS

3.1 Bagan Alir Penelitian

Dalam mengadakan suatu penelitian, dibutuhkan panduan agar dapat menjalankan penelitian dengan benar dan mendapatkan hasil yang akurat. Untuk itu, penelitian jaringan satelit MPLS ini mengikuti bagan alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Langkah pertama dalam memulai penelitian ini adalah menentukan kriteria jaringan yang ingin dibangun, yaitu suatu jaringan berbasis MPLS dengan melibatkan konstelasi jaringan satelit dan trafik berupa paket TCP/IP dengan fungsi ECN. Dari kriteria jaringan tersebut, tampak 3 parameter kunci skenario simulasi yang akan dibangun, yaitu MPLS, jaringan satelit, dan fungsi ECN. Ketiga parameter kunci ini akan sangat menentukan perangkat lunak yang digunakan.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Setelah menemukan perangkat lunak simulasi yang mendukung ketiga parameter kunci skenario simulasi yang ingin dibangun, maka tahap selanjutnya adalah membangun jaringan pada perangkat lunak tersebut dan menjalankan simulasi. Apabila simulasi berhasil dijalankan dan memiliki keluaran yang benar, maka hasil simulasi tersebut akan dianalisis. Namun apabila terdapat kesalahan dalam membangun jaringan sehingga simulasi tidak berhasil dijalankan ataupun memiliki keluaran yang tidak benar, maka pembangunan jaringan haruslah ditinjau ulang dan simulasi dijalankan lagi sampai mendapatkan keluaran yang tepat untuk dianalisis.

Direncanakan simulasi berdasarkan topik penelitian dengan menggunakan perangkat lunak simulasi jaringan OPNET. Simulasi akan dilakukan dalam tiga tahapan: tahap simulasi MPLS, satelit MPLS dan tahap simulasi ECN pada satelit MPLS. Topologi jaringan yang dibangun meliputi jaringan satelit dengan *routing* MPLS dan menggunakan skenario tersentralisasi sebagian (subbab 2.3.3.2). Jaringan satelit merupakan jaringan konstelasi LEO dengan ISL permanen dan trafik yang dilewatkan adalah trafik Internet dengan susunan protokol TCP/IP dengan berbagai aplikasi. Pada tahap pertama, simulasi satelit MPLS, hasilnya akan dibandingkan dengan simulasi jaringan MPLS terestrial. Tahap selanjutnya merupakan tahap lanjutan dari simulasi satelit MPLS, yaitu simulasi ECN pada satelit MPLS. Fitur ECN ditambahkan pada bagian Exp label MPLS. Hasil dari simulasi ini akan dibandingkan dengan simulasi satelit MPLS tanpa ECN.

Hasil simulasi yang diharapkan adalah adanya peningkatan kinerja jaringan satelit MPLS dengan ditambahkan fungsi penandaan ECN dibandingkan jaringan satelit biasa dalam mentransportasikan trafik IP. Peningkatan kinerja ditinjau dari faktor *throughput*.

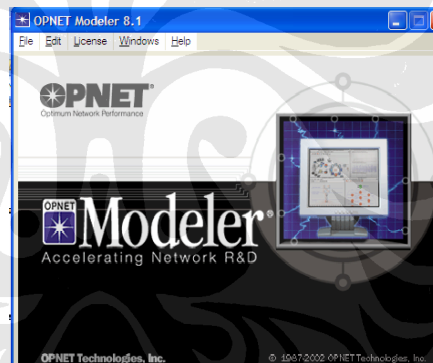
3.2 Perangkat Lunak Simulasi OPNET

Berdasarkan kriteria jaringan yang ingin dibangun, dipilih perangkat lunak simulasi OPNET versi 8.1 untuk menjalankan simulasi satelit MPLS ini, dengan pertimbangan sebagai berikut:

- OPNET mendukung sistem jaringan MPLS dan memiliki modul MPLS yang dapat digunakan sebagai referensi.

- OPNET memiliki berbagai *editor* yang dapat digunakan dengan mudah untuk mengubah atau membuat suatu perangkat baru, memungkinkan penambahan sifat jaringan satelit LEO pada *link point-to-point*.
- OPNET memiliki modul TCP yang sudah terintegrasi dengan fungsi ECN.
- OPNET memiliki berbagai pilihan aplikasi termasuk aplikasi berbasis IP.

Tampilan OPNET dapat dilihat pada gambar 3.2. OPNET memiliki sejumlah *editor*, antara lain *project editor*, *node model editor*, *process model*, *link model*, *analysis configuration*, *probe model*, dan lain sebagainya. *Project editor* merupakan *editor* utama dalam OPNET, yang digunakan untuk membangun jaringan secara keseluruhan, dan *editor-editor* lainnya merupakan *editor* khusus untuk memodifikasi elemen jaringan tertentu.



Gambar 3.2 Tampilan OPNET

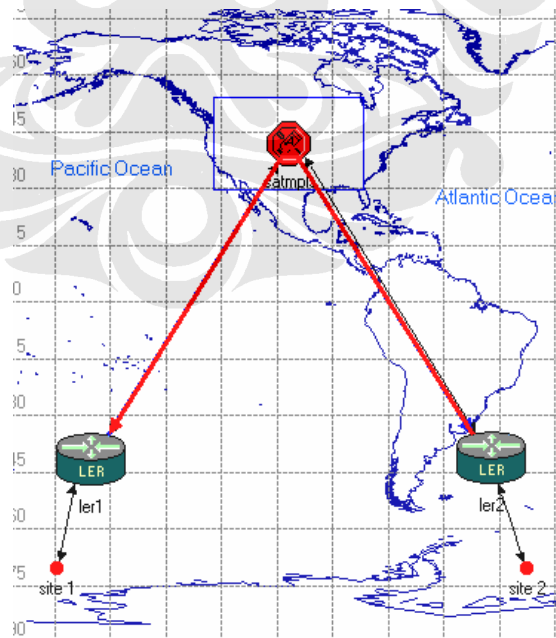
3.3 Simulasi Jaringan Satelit MPLS dengan Perangkat Lunak OPNET

Simulasi jaringan satelit MPLS dengan penambahan fungsi ECN dilakukan dengan 3 tahapan skenario. Tahap pertama adalah membangun suatu jaringan dengan mengikuti topologi satelit LEO dengan menerapkan sistem jaringan MPLS, namun pendekatannya menggunakan jaringan terestrial. Pada tahap kedua, jaringan yang sudah menerapkan MPLS ini dirubah menjadi pendekatan satelit, dengan memodifikasi sifat-sifat *link* penghubung *node-node*. Tahap ketiga, jaringan MPLS dengan pendekatan *link* satelit ditambahkan kemampuan ECN. Topologi jaringan yang dibangun meliputi jaringan satelit dengan routing MPLS dan menggunakan skenario tersentralisasi sebagian (subbab 2.3.3). Jaringan satelit

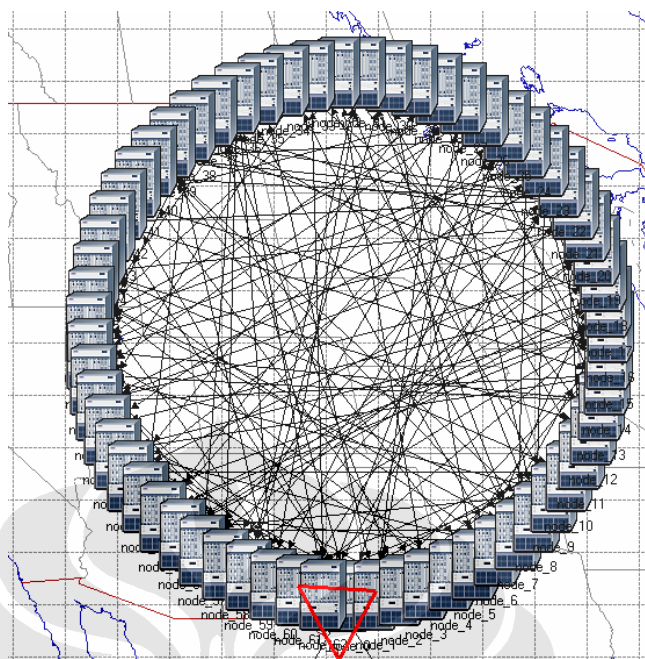
merupakan jaringan konstelasi LEO Celestri dengan ISL permanen dan trafik yang dilewatkan adalah trafik Internet dengan susunan protokol TCP/IP. Hasil simulasi yang diharapkan adalah adanya peningkatan *throughput* jaringan satelit MPLS dengan ditambahkan fungsi ECN dibandingkan jaringan satelit biasa dalam mentransportasikan trafik IP.

3.3.1 Tahap Pertama: Skenario MPLS

Skenario MPLS ini bertujuan untuk membangun suatu jaringan dengan mengikuti topologi satelit LEO dan menerapkan sistem jaringan MPLS. Topologi jaringan ini terdiri atas 2 *ground station*, yaitu LER1 dan LER2, serta satu subnet satelit yang memiliki 63 satelit yang terhubung dengan ISL (mengikuti topologi konstelasi satelit Celestri) seperti pada gambar 3.3. Lokasi komponen jaringan tidak dispesifikasikan, gambar latar peta dunia pada gambar 3.3 adalah latar default dari OPNET yang tidak dapat dihilangkan. Komponen yang digunakan antara lain adalah LER sebagai *ground station*, LSR sebagai satelit LEO. *link point-to-point* sebagai *link* bumi-satelit, dan *link* optik sebagai ISL antar satelit.



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Topologi Jaringan yang Dibangun untuk Simulasi. (b) Topologi Jaringan di dalam subnet.

Selain komponen-komponen jaringan yang telah disebutkan, terdapat 4 komponen lagi yang tidak memiliki bentuk fisik yang berfungsi sebagai pengatur jaringan. Keempat komponen tersebut adalah MPLS Attribute Definition untuk mengatur atribut MPLS, IP QoS Definition untuk mengatur atribut QoS IP, Application Definition dan Profile Definition untuk menentukan karakteristik aplikasi yang diinginkan.

Langkah selanjutnya setelah topologi jaringan selesai dibangun, perlu ditentukan trafik yang mengalir pada jaringan. Trafik pada jaringan ditetapkan berdasarkan aplikasinya, yaitu pada simulasi ini terdapat 6 jenis aplikasi yang semuanya berbasis IP. Keenam aplikasi tersebut adalah *video conference*, *voice IP telephony*, *web browsing*, *email*, *file transfer*, dan aplikasi IP lainnya (disimbolkan sebagai *other*). Aplikasi-aplikasi ini ditetapkan dengan merubah atribut *application definition* dan *profile definition*. Pada *application definition*, ditetapkan aplikasi yang diinginkan berupa nama aplikasi dan deskripsinya. Beberapa deskripsi aplikasi yang umum telah tersedia, seperti *database*, *email*,

FTP (*File Transfer Protocol*), HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), *print*, *remote login*, *video conferencing*, dan *voice*. Apabila ingin membuat suatu aplikasi baru, maka dapat memilih *custom* dan memodifikasi nilai-nilai atributnya atau *custom* biasanya digunakan untuk mewakili aplikasi selain aplikasi yang sudah ditentukan (*default*).

Setelah mengubah *application definition*, *profile definition* haruslah disesuaikan. Konfigurasi *profile definition* perlu ditambahkan sesuai dengan aplikasi yang telah ditetapkan. Apabila pada *application definition* hanya boleh memilih satu jenis deskripsi aplikasi untuk satu aplikasi, maka di *profile definition* dapat dibentuk suatu *profile* yang merupakan gabungan dari lebih dari 1 aplikasi, sebagai contoh, *profile http/email* yang merupakan gabungan dari aplikasi *http* dan aplikasi *email*.

Sampai tahap ini, topologi sudah dibangun dan trafik sudah ditentukan, tinggal selanjutnya menambahkan sistem jaringan MPLS. Terdapat 4 hal yang harus dilakukan, yaitu membangun LSP, menetapkan *MPLS attribute definition* dan *IP QoS definition*, memodifikasi LER dan LSR, serta memodifikasi *signalling protocol* pada tahap simulasi. Pembangunan LSP dilakukan dengan menggunakan LSP tipe MPLS E-LSP Dynamic dengan jalur dari LER1-satmpls1-satmpls62-LER2 dan LER2-satmpls62-satmpls1-LER1 dan diaktifkan dengan memilih pilihan *Update LSP Details* pada menu protokol MPLS.

Pada *MPLS attribute definition*, dua hal perlu dimodifikasi, yaitu *FEC Specifications* dan *Traffic Trunk Profiles*. Pada *FEC Specifications*, ditambahkan 6 jenis FEC dengan detail yang bersesuaian dengan aplikasi yang sudah ditentukan pada trafik. Detail FEC dapat ditentukan berdasarkan beberapa parameter, antara lain ToS (*Type of Service*), protokol (TCP, UDP, dsb), jangkauan alamat sumber, jangkauan alamat tujuan, *port* sumber dan *port* tujuan. Pada simulasi ini digunakan parameter *port* tujuan (*destination port*) dan parameter lain dibiarkan kosong (*unassigned*).

Traffic Trunk Profiles pada *MPLS attribute definition* ditambahkan *trunk* sesuai dengan FEC yang telah ditetapkan dengan detail masing-masing *trunk* menggambarkan kelas trafik berdasarkan DSCP. Masing-masing 5 *trunk* memiliki DSCP sebagai berikut:

- *trunk*: vicon, DSCP: EF
- *trunk*: voice, DSCP: AF11
- *trunk*: http/email, DSCP: AF21
- *trunk*: ftp, DSCP: AF31
- *trunk*: other, DSCP: AF41

Dalam memodifikasi LER dan LSR untuk mendukung sistem jaringan MPLS, lebih banyak hal lagi yang harus disesuaikan dibandingkan modifikasi pada *MPLS attribute definition* dan *IP QoS definition*. Pada LER dan LSR, atribut-atribut yang harus diubah adalah *IP Background Traffic Characteristics* (kecuali LSR), *IP Routing Parameters*, dan *MPLS Parameters*. Atribut *IP Background Traffic Characteristics* pada LER diberikan nilai yang sesuai dengan DSCP yang telah ditentukan sebelumnya.

Bagian *Interface Information* pada atribut *IP Routing Parameters* pada LER, *Routing Protocol* diubah menjadi MPLS dengan cara mengubah status MPLS menjadi *enabled* dan yang lainnya dibiarkan *disable*, serta *QoS Information* diubah pada bagian *Queuing Scheme* menjadi WFQ (Weighted Fair Queuing) dan bagian *Queuing Profile* menjadi *DSCP Based*. Sedangkan pada bagian *Loopback Interface* pada atribut *IP Routing Parameters* pada LER, *Routing Protocol* diubah menjadi OSPF dengan cara mengubah status OSPF menjadi *enabled* dan yang lainnya dibiarkan *disable*. Masih pada atribut *IP Routing Parameters*, pilih nilai *Packet-Based* untuk *Load Balancing Option*.

Atribut LER selanjutnya yang perlu diubah adalah *MPLS Parameters*. Pada *Traffic Engineering Configuration*, semua antarmuka diaktifkan untuk tiap-tiap FEC yang ada dan diberikan *traffic trunk* yang bersesuaian, dan berikan LSP dengan cara menentukan *Primary LSPs* sesuai dengan LSP LER yang bersangkutan, yaitu LSP ler1-ler2 pada LER1 dan LSP ler2-ler1 pada LER2.

Hal yang sama juga dilakukan pada LSR dalam subnet. Bagian *Interface Information* pada atribut *IP Routing Parameters* pada LSR, *Routing Protocol* diubah menjadi MPLS, *QoS Information* diubah pada bagian *Queuing Scheme* menjadi WFQ dan bagian *Queuing Profile* menjadi *DSCP Based*, serta pada *Loopback Interface* pada atribut *IP Routing Parameters*, *Routing Protocol* diubah

menjadi OSPF. Masih pada atribut *IP Routing Parameters*, pilih nilai *Packet-Based* untuk *Load Balancing Option*.

Atribut LSR selanjutnya yang perlu diubah adalah *MPLS Parameters*. Pada *Traffic Engineering Configuration*, semua antarmuka diaktifkan untuk tiap-tiap FEC yang ada dan diberikan *traffic trunk* yang bersesuaian, dan nilai LSP dibiarkan *not used* karena tidak ada LSP yang bermula dari LSR.

Sekarang simulasi skenario MPLS telah selesai dibangun dan siap dijalankan. Pada jendela simulasi, pilih OSPF sebagai protokol *routing* IP, CSPF sebagai protokol *routing* LSP, dan CR-LDP sebagai protokol pensinyalan LSP. Hasil simulasi dibahas pada subbab 3.4.

3.3.2 Tahap Kedua: Skenario Satelit MPLS

Skenario satelit MPLS dibangun berdasarkan skenario MPLS, dengan penambahan karakteristik *link* satelit atau *link* nirkabel pada *link-link* yang menghubungkan LER dengan LSR dan antar LSR dengan LSR lainnya pada subnet satelit. *Link* satelit ini tidak tersedia pada OPNET, sehingga harus dibuat sendiri dengan memodifikasi *link* yang ada menggunakan *editor link model*. *Link* satelit ini diberi nama *sel_wireless_link* dan merupakan modifikasi dari *link point-to-point DS3* yang diubah nilai *delay* menjadi 25ms (disimpan dalam string 'leo') dan *datarate* diturunkan menjadi DS0 (64kbps).

Link satelit ini kemudian menggantikan *link* LER-satelit dan *link* antar satelit dengan cara mengubah atribut model *link* dari *sel_ppp_ds3* menjadi *sel_wireless_link* pada *link* LER-satelit dan mengubah atribut model *link* dari *sel_ppp_ds3* menjadi *sel_wireless2_link* pada *link* antar satelit. Karakteristik *link* *sel_wireless_link* dan *sel_wireless2_link* adalah identik, tujuan penamaan yang berbeda hanyalah untuk membedakan posisi *link* tersebut.

Penggantian *link* ini telah merepresentasikan skenario MPLS dengan media satelit, sehingga simulasi siap dijalankan. Pada jendela simulasi, pilih nilai yang sama seperti simulasi untuk skenario pertama (konfigurasi simulasi tidak perlu diubah lagi). Hasil simulasi dibahas pada subbab 3.4.

3.3.3 Tahap Ketiga: Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

Skenario satelit MPLS dengan tambahan fungsi ECN adalah lanjutan dari skenario kedua, skenario Satelit MPLS. Modifikasi yang diperlukan hanyalah pada sisi *site* yang terhubung ke LER. Pada atribut *site* yang terhubung ke LER, ubah nilai *ECN Capability* pada *TCP Parameters* menjadi *enabled*, menandakan fungsi ECN telah diaktifkan. Sekarang skenario ketiga ini juga telah siap dijalankan dengan konfigurasi simulasi yang sama. Hasil simulasi dibahas pada subbab 3.4.

Apabila dibandingkan dengan *Forward ECN* (FECN) dan *Backward ECN* (BECN) yang terdapat pada Frame Relay, maka sistem kerja ECN yang disimulasikan mengikuti cara kerja BECN, yaitu penerima paket akan menandai bit ECN agar pengirim paket dapat menurunkan *transmission rate*. Penggunaan bit ECN yang terlalu sering akan mempengaruhi keadaan trafik dan menurunkan kualitas transmisi. Namun pada simulasi ini, karena keterbatasan fitur perangkat lunak yang digunakan, tidak dapat diketahui jumlah bit ECN yang diaktifkan.

3.4 Analisis Hasil Simulasi Jaringan Satelit MPLS

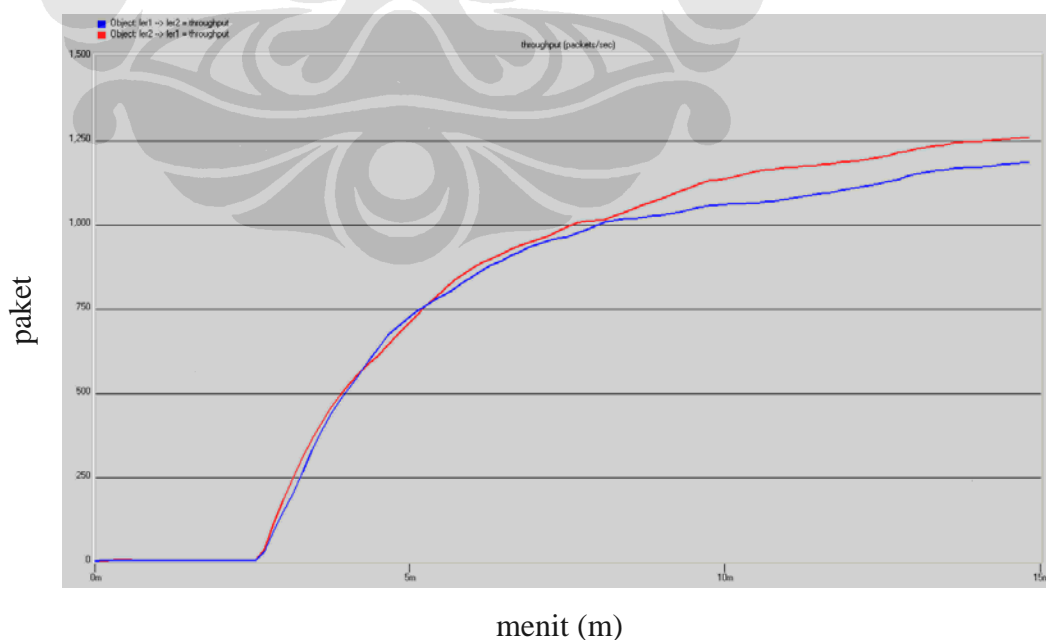
Ketiga simulasi telah selesai dibangun dan siap dijalankan. Pada saat menjalankan simulasi, waktu yang dibutuhkan cukup bervariasi. Yang paling lama waktu simulasinya adalah skenario Satelit MPLS, yaitu sekitar 20 menit, sedangkan skenario yang lain hanya memakan waktu sekitar 4 menit. Setelah ketiga skenario simulasi selesai dijalankan, hasil simulasi akan otomatis tersimpan terus walaupun program ditutup selama simulasi tidak dilakukan lagi. Hasil simulasi dapat dilihat dengan mudah pada *Analysis Configuration*.

3.4.1 Analisis Hasil Simulasi Skenario MPLS

Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik *throughput* dapat dilihat pada gambar 3.4. Garis biru menunjukkan *throughput* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *throughput* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi paket/detik. Pada *throughput* dari LER1, nilai tertinggi mencapai 1182 paket/detik dan pada *throughput* dari LER2, nilai tertinggi mencapai 1259 paket/detik. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada akhir simulasi. Rata-rata *throughput* dari LER1

adalah 748 paket/detik dan rata-rata *throughput* dari LER2 adalah 786 paket/detik. Perbedaan nilai *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2 merupakan akibat dari keadaan trafik pada *link* yang dinamis yang disebabkan oleh berbagai aplikasi berbeda yang dijalankan secara acak. Atau disebabkan oleh LER2 memiliki jalur yang lebih baik daripada LER1. Namun perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 6,31% dihitung dari perbedaan *throughput* maksimum, dan sekitar 4,95% dihitung dari perbedaan *throughput* rata-rata

Pada grafik *throughput*, beberapa saat pada awal simulasi, *throughput* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Nilai awal nol ini disebabkan oleh jaringan membutuhkan waktu inisiasi atau waktu persiapan sebelum mengirimkan paket. Khususnya pada sistem jaringan MPLS, jaringan perlu melakukan penentuan label dan LSP untuk trafik yang berjalan. Perbedaan lamanya nilai *throughput* nol ini antara *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2 disebabkan oleh sistem routing jaringan MPLS yang dipilih, yaitu CSPF untuk routing LSP dan CR-LDP untuk pensinyalan LSP, sehingga suatu jalur yang telah dipilih untuk mengirimkan suatu trafik tertentu dapat saja tidak dipilih lagi untuk mengirimkan trafik yang lain apabila constraint-nya tidak memenuhi.



Gambar 3.4 Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik *Throughput*

Dari hasil simulasi, LER1 telah terlebih dahulu menentukan jalur LSP-nya sehingga LER2 memiliki waktu inisiasi yang lebih lama, mencapai dua kali lebih lama daripada waktu inisiasi LER1. Perbedaan waktu yang mencapai dua kali ini disebabkan oleh pada awalnya LER1 dan LER2 memilih jalur yang sama, namun karena OPNET bersifat diskrit, sehingga dengan suatu proses, LER1 lebih dulu mendapatkan jalur tersebut (mungkin dikarenakan pada saat membangun topologi, LER1 lebih dulu diletakkan daripada LER2), yang mengakibatkan LER2 harus mengulang prosedur pembangunan LSP dari awal. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan untuk simulasi ini, waktu pembentukan LSP adalah sekitar 7 detik. Namun hal ini ternyata berdampak pada kualitas jalur LER2 yang lebih baik, yang dapat dilihat dari *throughput* maksimum dan *throughput* rata-rata LER2 yang lebih baik dari LER1 (padahal waktu mulai transmisi LER1 lebih dulu daripada LER2). Dan pada pembahasan *delay* selanjutnya juga menunjukkan jalur LER2 lebih unggul.

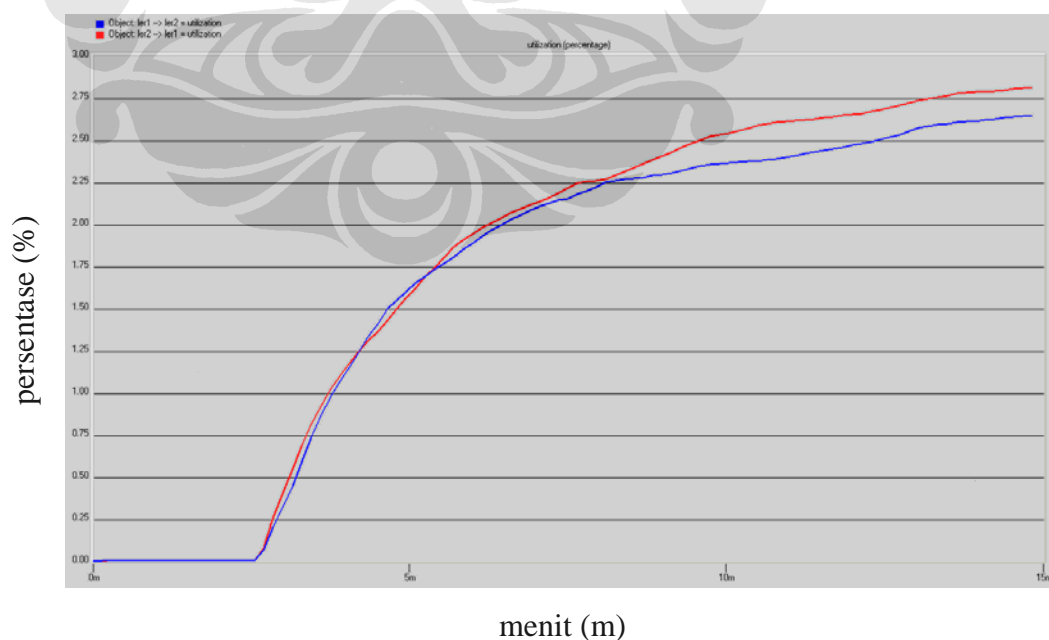
Apabila diperhatikan, grafik *throughput* ini meningkat seiring dengan waktu dan diperkirakan belum mencapai nilai puncak pada saat simulasi berakhir. Hal ini menunjukkan kapasitas trafik simulasi MPLS ini belum digunakan secara maksimal. Grafik juga tidak menunjukkan ketidakstabilan (*swing*) yang drastis, bahkan dapat dikatakan stabil secara keseluruhan. Hal ini disebabkan jaringan masih dalam kondisi terkoneksi kabel (*wired*).

Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik utilisasi dapat dilihat pada gambar 3.5. Garis biru menunjukkan utilisasi *link* dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan utilisasi *link* dari LER2 ke LER1 dalam dimensi persentase. Pada utilisasi dari LER1, nilai tertinggi mencapai 2,64% dan pada utilisasi dari LER2, nilai tertinggi mencapai 2,81%. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada akhir simulasi. Rata-rata utilisasi dari LER1 adalah 1,67% dan rata-rata utilisasi dari LER2 adalah 1,76%. Penyebab perbedaan nilai utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2 disebabkan oleh keadaan *throughput* yang berbeda (penyebab perbedaan *throughput* telah dibahas sebelumnya). Perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 6,24% dihitung dari perbedaan utilisasi maksimum, dan sekitar 5,25% dihitung dari perbedaan utilisasi rata-rata.

Nilai utilisasi yang sangat rendah ini (utilisasi maksimum adalah 100%) menunjukkan kapasitas jaringan yang sangat besar dibandingkan dengan *throughput* yang telah dijalankan sepanjang simulasi. Diperkirakan apabila waktu simulasi diperpanjang, maka utilisasi akan meningkat.

Pada grafik utilisasi, beberapa saat pada awal simulasi, utilisasi bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk utilisasi dari LER1 dan 17 detik untuk utilisasi dari LER2. Hal ini disebabkan karena nilai utilisasi sangat bergantung dengan nilai *throughput*. *Throughput* yang bernilai nol akan mengakibatkan utilisasi yang bernilai nol juga, karena tidak ada paket yang dikirimkan sama dengan *link* tidak terpakai sama sekali. Sehingga lama waktu *throughput* bernilai nol sama dengan lama waktu utilisasi bernilai nol.

Sama dengan keadaan grafik pada simulasi dengan statistik *throughput*, grafik utilisasi meningkat seiring dengan waktu dan diperkirakan belum mencapai nilai puncak pada saat simulasi berakhir. Hal ini menunjukkan kapasitas trafik simulasi MPLS ini belum digunakan secara maksimal. Grafik juga tidak menunjukkan ketidakstabilan yang drastis, bahkan dapat dikatakan stabil secara keseluruhan. Hal ini disebabkan jaringan masih dalam kondisi terkoneksi kabel (*wired*).



Gambar 3.5 Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik Utilisasi

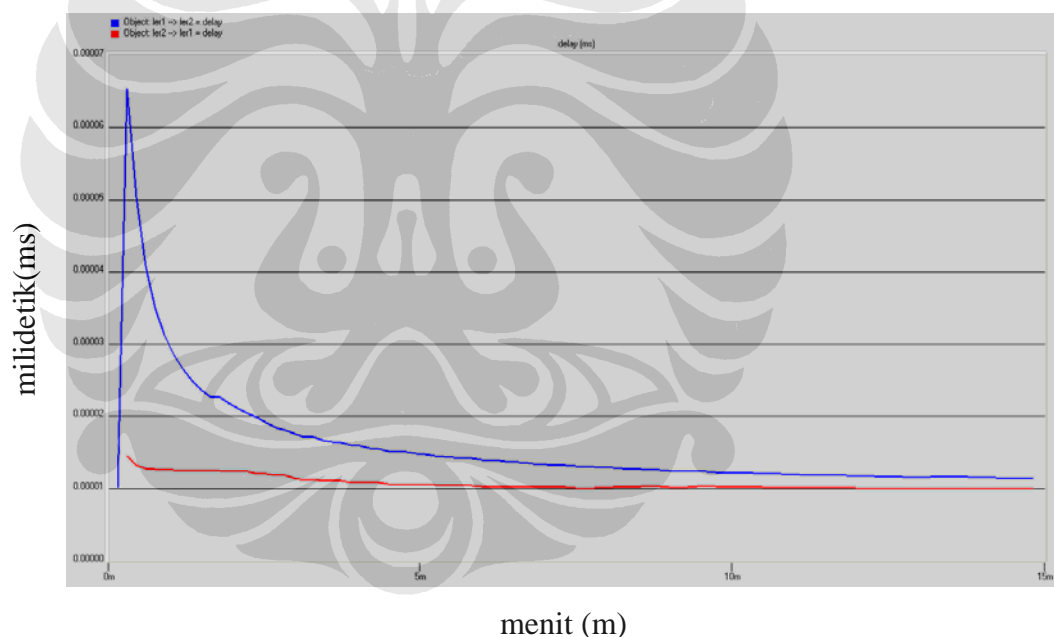
Grafik utilisasi menunjukkan utilisasi dari LER2 lebih baik daripada utilisasi dari LER1. Hal ini berhubungan dengan *throughput* LER2 yang lebih baik dari LER1. Namun secara keseluruhan bentuk grafik utilisasi sama dengan bentuk grafik *throughput* (waktu saat *throughput* maksimal sama dengan waktu saat utilisasi maksimal), sehingga tujuan utama pengukuran statistik utilisasi adalah untuk memberikan gambaran kapasitas jaringan yang telah digunakan dibandingkan kapasitas jaringan yang sebenarnya (kapasitas maksimal).

Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik *delay* dapat dilihat pada gambar 3.6. Garis biru menunjukkan *delay* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *delay* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi milidetik. Pada *delay* dari LER1, nilai tertinggi mencapai $6,54E-005$ milidetik atau 65,4 ns dan pada *delay* dari LER2, nilai tertinggi mencapai $1,45E-005$ milidetik atau 14,5ns. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada awal simulasi. Rata-rata *delay* dari LER1 adalah $1,57E-005$ milidetik atau 15,7 ns dan rata-rata *delay* dari LER2 adalah $1,06E-005$ milidetik atau 10,6 ns. Perbedaan nilai *delay* dari LER1 dan *delay* dari LER2 merupakan akibat dari keadaan trafik yang dinamis, aplikasi yang dijalankan berbeda dan acak, dan juga pemilihan jalur yang berbeda (LER1 yang terlebih dahulu menentukan jalur sehingga memberikan kemungkinan LER2 memilih jalur lain yang lebih baik). Berbeda dengan kedua statistik sebelumnya, perbedaan nilai *delay* ini sangat signifikan, yaitu sekitar 127% dihitung dari perbedaan *delay* maksimum, dan sekitar 38,78% dihitung dari perbedaan *delay* rata-rata.

Pada grafik *delay*, beberapa saat pada awal simulasi, *delay* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Penyebab nilai awal nol ini sama dengan penyebab nilai awal nol pada statistik utilisasi, yaitu belum adanya *throughput*.

Apabila diperhatikan, grafik *delay* antara LER1 dan LER2 berbeda jauh. Grafik *delay* dari LER1 menunjukkan ketidakstabilan yang sangat drastis pada awal simulasi (sebelum mencapai menit pertama) yang tidak terjadi pada grafik *delay* dari LER2. Ketidakstabilan dari *delay* LER1 ini mengakibatkan perbedaan *delay* maksimum dan *delay* rata-rata yang sangat signifikan. Ketidakstabilan *delay* pada LER 1 disebabkan oleh jalur yang dipilih oleh LER1 ternyata bukanlah jalur

terbaik yang sesuai dengan aplikasi yang dijalankan (waktu inisiasi LER1 lebih singkat, menunjukkan LER1 terlebih dahulu menentukan jalur dibandingkan LER2). Penentuan jalur yang lebih awal ini merupakan salah satu penyebab pilihan jalur yang buruk, karena saat penghitungan LSP, jalur masih kosong, namun saat trafik mulai dijalankan pada LSP, ternyata diketahui bahwa trafik tersebut tidaklah sesuai atau terlalu banyak trafik yang digenerasikan dibandingkan kemampuan *link* sehingga mengakibatkan *delay* yang tinggi. Penentuan jalur yang tidak awal, seperti yang dilakukan LER2 akan menghasilkan jalur yang lebih baik, karena saat penghitungan LSP, jalur mungkin tidak kosong (sudah dipilih oleh LER1) sehingga LSP dapat memilih jalur lain untuk mengantisipasi kejadian trafik macet pada *link* sehingga mengakibatkan *delay* yang lebih rendah.



Gambar 3.6 Hasil Simulasi Skenario MPLS dengan Statistik *Delay*

Walaupun *delay* LER1 memiliki karakteristik yang berbeda dan lebih tinggi dari *delay* LER2, nilai *delay* ini masih dapat ditolerir karena masih dalam satuan puluhan nanodetik sehingga tidak mengganggu aplikasi yang sedang berjalan. Grafik *delay* LER1 hanya menunjukkan ketidakstabilan hanya di awal aplikasi yang terjadi satu kali dan langsung menurun mendekati *delay* LER2 seiring lamanya simulasi. Perbedaan *delay* LER1 yang sangat tinggi juga hanya terjadi

pada perbandingan *delay* maksimum, pada perbandingan *delay* rata-rata perbedaannya tidaklah terlalu tinggi (selisih 5,1ns), yang berarti *delay* dengan cepat menurun dan mendekati *delay* dari LER2. Hal ini menunjukkan LSP MPLS telah mengatasi keadaan trafik pada *link* yang buruk dengan sesuai, yaitu dengan membentuk LSP yang lebih baik pada transmisi paket selanjutnya. Nilai ketiga statistik pada skenario MPLS dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Kesimpulan hasil simulasi skenario MPLS

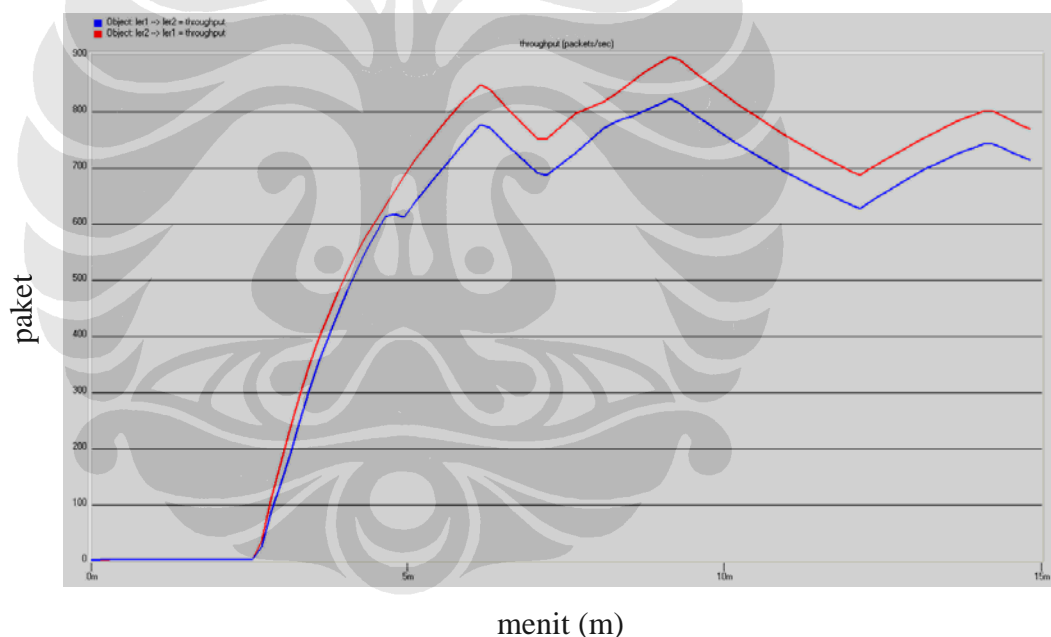
Statistik	LER1	LER2	Keterangan
<i>Throughput</i> maksimal	1182 paket/detik	1259 paket/detik	Perbedaan disebabkan oleh trafik dinamis dan acak pada <i>link</i> serta pilihan jalur yang berbeda.
<i>Throughput</i> rata-rata	748 paket/detik	786 paket/detik	
<i>Throughput</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	LER1 lebih dulu menentukan jalur daripada LER2.
Utilisasi maksimal	2,64%	2,81%	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
Utilisasi rata-rata	1,67%	1,76%	
Utilisasi nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
<i>Delay</i> maksimal	65,4 nanodetik	14,5 nanodetik	Perbedaan disebabkan oleh pilihan jalur yang berbeda
<i>Delay</i> rata-rata	15,7 nanodetik	10,6 nanodetik	
<i>Delay</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .

3.4.2 Analisis Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS

Hasil simulasi skenario Satelit MPLS dengan statistik *throughput* dapat dilihat pada gambar 3.7. Garis biru menunjukkan *throughput* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *throughput* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi paket/detik. Pada *throughput* dari LER1, nilai tertinggi mencapai 820 paket/detik dan pada *throughput* dari LER2, nilai tertinggi mencapai 896 paket/detik. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada sekitar menit kesembilan. Rata-rata *throughput* dari LER1 adalah 537 paket/detik dan rata-rata *throughput* dari

LER2 adalah 585 paket/detik. Penyebab perbedaan nilai *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2 sama dengan penyebab perbedaan nilai *throughput* pada simulasi MPLS. Namun perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 8,86% dihitung dari perbedaan *throughput* maksimum, dan sekitar 8,56% dihitung dari perbedaan *throughput* rata-rata.

Pada grafik *throughput*, beberapa saat pada awal simulasi, *throughput* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Nilai awal nol ini disebabkan oleh jaringan membutuhkan waktu inisiasi sebelum mengirimkan paket dan khususnya pada sistem jaringan MPLS, jaringan perlu melakukan penentuan label dan LSP untuk trafik yang berjalan, dengan menggunakan protokol routing LSP CSPF dan protokol pensinyalan LSP CR-LDP.



Gambar 3.7 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik *Throughput*

Apabila diperhatikan, grafik *throughput* ini mengalami ketidakstabilan (*swing*) yang ditandai oleh grafik yang naik turun dimulai pada sekitar menit keenam. Ketidakstabilan (*swing*) ini disebabkan oleh sifat *link* yang telah berubah dari kabel (*wired*) pada skenario MPLS menjadi bersifat nirkabel pada skenario Satelit MPLS ini. Pada umumnya *link* nirkabel seperti *link* satelit memiliki tingkat kehilangan paket yang lebih besar dibandingkan *link* kabel (*wired*), baik

disebabkan oleh tabrakan paket maupun sifat dasar dari *link* nirkabel. Kejadian kehilangan paket ini diatasi oleh protokol transportasi trafik internet, TCP, dengan cara menurunkan transmission rate, yang menyebabkan penurunan *throughput*.

Dilihat dari nilai *throughput* maksimum dan *throughput* rata-ratanya, *throughput* dari LER1 lebih besar daripada *throughput* dari LER2. Hal ini menunjukkan jalur yang dipilih oleh LER2 lebih baik daripada jalur yang dipilih oleh LER1 (sama seperti analisis *throughput* skenario MPLS). Nilai *throughput* pada skenario ini juga tidak terus naik seiring dengan waktu. Menunjukkan *throughput* yang terjadi pada durasi simulasi sudah maksimal. Mulai dari menit keenam, ketidakstabilan (*swing*) terjadi sampai akhir simulasi.

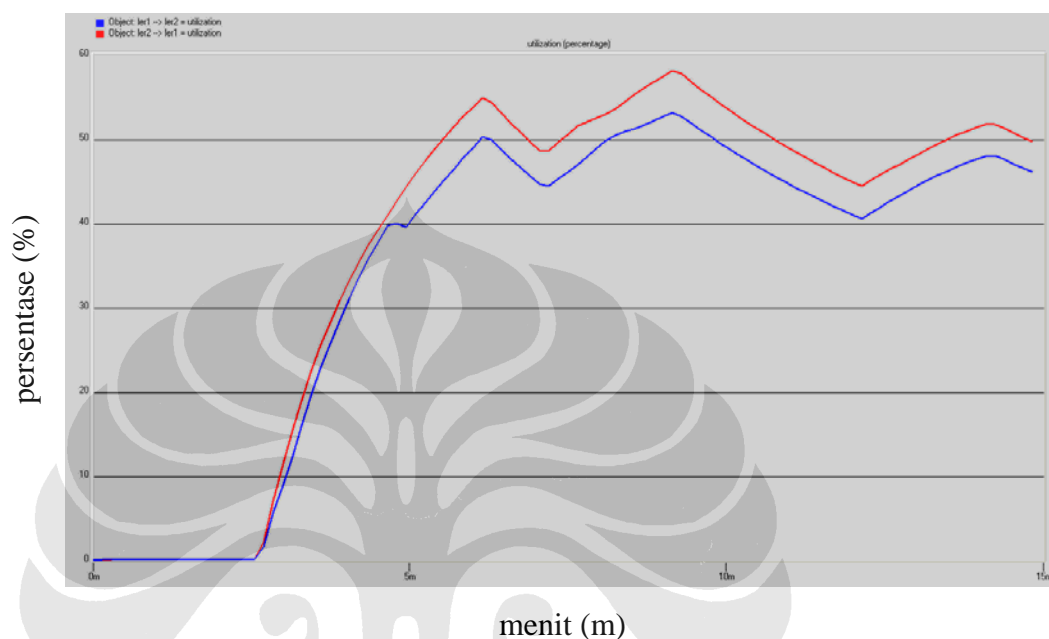
Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik utilisasi dapat dilihat pada gambar 3.8. Garis biru menunjukkan utilisasi *link* dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan utilisasi *link* dari LER2 ke LER1 dalam dimensi persentase. Pada utilisasi dari LER1, nilai tertinggi mencapai 53,15% dan pada utilisasi dari LER2, nilai tertinggi mencapai 58,09%. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada sekitar menit kesembilan. Rata-rata utilisasi dari LER1 adalah 34,79% dan rata-rata utilisasi dari LER2 adalah 37,93%. Penyebab perbedaan nilai utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2 sama dengan penyebab perbedaan nilai utilisasi pada hasil simulasi MPLS, yaitu berhubungan dengan keadaan *throughput*. Perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 8,88% dihitung dari perbedaan utilisasi maksimum, dan sekitar 8,75% dihitung dari perbedaan utilisasi rata-rata.

Pada grafik utilisasi, beberapa saat pada awal simulasi, utilisasi bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk utilisasi dari LER1 dan 17 detik untuk utilisasi dari LER2. Hal ini sama dengan keadaan utilisasi pada skenario MPLS, yaitu bernilai nol ketika *throughput* bernilai nol.

Sama dengan keadaan grafik pada simulasi dengan statistik *throughput*, grafik utilisasi menunjukkan ketidakstabilan yang ditandai oleh grafik yang naik turun dimulai sekitar menit keenam. Penyebab ketidakstabilan ini adalah ketidakstabilan (*swing*) yang terjadi pada *throughput*.

Grafik utilisasi menunjukkan utilisasi dari LER2 lebih baik daripada utilisasi dari LER1. Hal ini berhubungan dengan *throughput* LER2 yang lebih baik dari LER1. Namun secara keseluruhan bentuk grafik utilisasi sama dengan bentuk

grafik *throughput* (waktu saat *throughput* maksimal sama dengan waktu saat utilisasi maksimal), sehingga tujuan utama pengukuran statistik utilisasi adalah untuk memberikan gambaran kapasitas jaringan yang telah digunakan dibandingkan kapasitas jaringan yang sebenarnya (kapasitas maksimal).

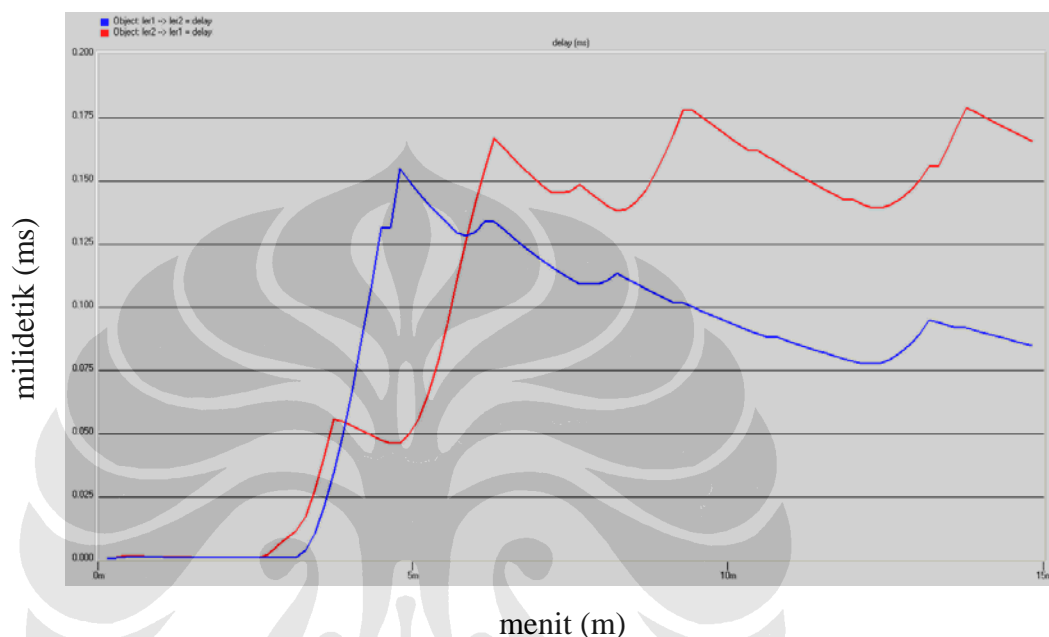


Gambar 3.8 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik Utilisasi

Sama halnya dengan statistik *throughput*, nilai utilisasi pada skenario ini juga tidak terus naik seiring dengan waktu. Menunjukkan utilisasi yang terjadi pada durasi simulasi sudah maksimal. Mulai dari menit keenam, ketidakstabilan terjadi sampai akhir simulasi.

Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik *delay* dapat dilihat pada gambar 3.9. Garis biru menunjukkan *delay* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *delay* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi milidetik. Pada *delay* dari LER1, nilai tertinggi mencapai 0,15 milidetik dan pada *delay* dari LER2, nilai tertinggi mencapai 0,18 milidetik. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada sekitar menit kelima (LER1) dan sekitar menit keempatbelas (LER2). Rata-rata *delay* dari LER1 adalah 0,08 milidetik dan rata-rata *delay* dari LER2 adalah 0,11 milidetik. Penyebab perbedaan nilai *delay* dari LER1 dan *delay* dari LER2 sama dengan penyebab perbedaan nilai *delay* dari simulasi MPLS, yaitu trafik yang dinamis, aplikasi yang beragam, dan pilihan jalur yang berbeda. Perbedaan

ini cukup signifikan, yaitu sekitar 18,18% dihitung dari perbedaan *delay* maksimum, dan sekitar 31,58% dihitung dari perbedaan *delay* rata-rata. Nilai persentase perbedaan ini cukup besar dikarenakan nilai jangkauan *delay* yang kecil (dari nol sampai 0,18 milidetik) sehingga perbedaan yang sedikit saja mengakibatkan persentase perbedaan yang cukup besar.



Gambar 3.9 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Statistik *Delay*

Pada grafik *delay*, beberapa saat pada awal simulasi, *delay* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Penyebab nilai awal nol ini sama dengan penyebab nilai awal nol pada statistik utilisasi, yaitu *throughput* yang bernilai nol.

Apabila diperhatikan, grafik *delay* antara LER1 dan LER2 agak berbeda. Secara garis besar, grafik *delay* dari LER 1 meningkat drastis dan mencapai puncak pada menit kelima kemudian menurun pada menit selanjutnya tanpa ketidakstabilan yang drastis. Sedangkan grafik *delay* LER2 meningkat dengan kecepatan lebih lambat dari LER 1 dan mulai tidak stabil (grafik naik turun) pada menit keenam dengan jangkauan antara puncaknya 0,18 milidetik dan 0,14 milidetik. Hal ini mengakibatkan rata-rata *delay* dari LER1 lebih tinggi dari rata-rata *delay* dari LER2 (berbeda dengan statistik *delay* pada simulasi MPLS, di mana *delay* LER2 lebih rendah dari LER1).

Pada grafik *delay* simulasi MPLS, *delay* dari LER1 mengalami perbaikan seiring waktu simulasi yang disebabkan oleh pembentukan LSP yang lebih baik. Pada grafik *delay* simulasi Satelit MPLS ini, hal demikian tidak terjadi, karena tidak terdapat perubahan tiba-tiba seperti yang terjadi pada simulasi MPLS. Pada skenario Satelit MPLS, pembentukan LSP selanjutnya tidak membawa perbaikan yang signifikan pada *delay*. Nilai ketiga statistik pada skenario MPLS dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Kesimpulan hasil simulasi skenario Satelit MPLS

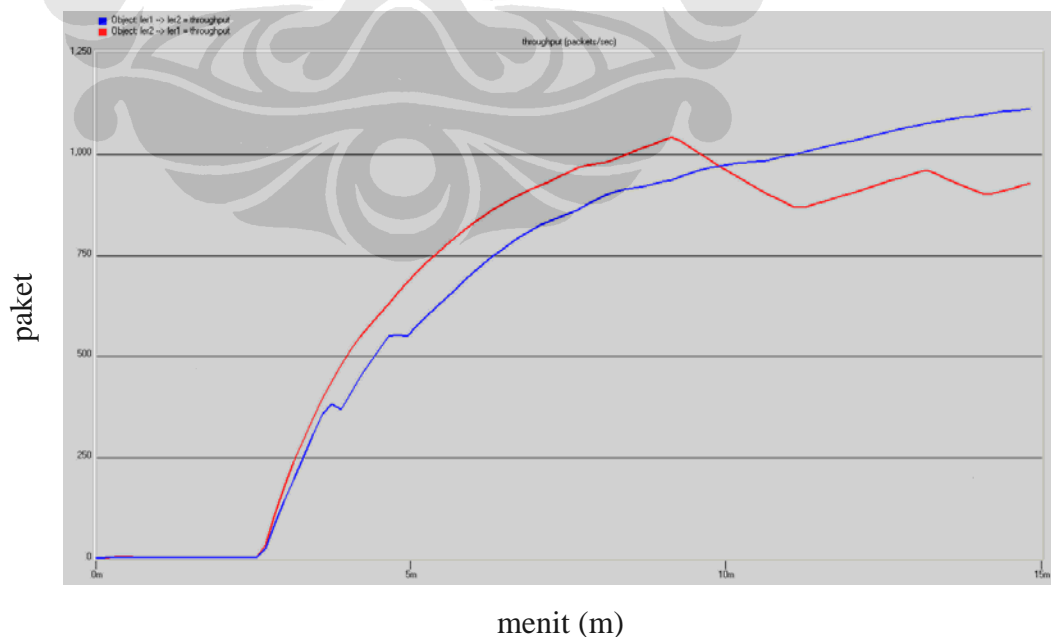
Statistik	LER1	LER2	Keterangan
<i>Throughput</i> maksimal	820 paket/detik	896 paket/detik	Perbedaan disebabkan oleh trafik dinamis dan acak pada <i>link</i> serta pilihan jalur yang berbeda.
<i>Throughput</i> rata-rata	537 paket/detik	585 paket/detik	
<i>Throughput</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	LER1 lebih dulu menentukan jalur daripada LER2.
Utilisasi maksimal	53,15%	58,09%	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
Utilisasi rata-rata	34,79%	37,93%	
Utilisasi nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
<i>Delay</i> maksimal	0,15 milidetik	0,18 milidetik	Perbedaan disebabkan <i>delay</i> tidak dapat diprediksi pada sifat <i>link</i> nirkabel pada <i>link</i> satelit
<i>Delay</i> rata-rata	0,08 milidetik	0,11 milidetik	
<i>Delay</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .

3.4.3 Analisis Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

Hasil simulasi skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan statistik *throughput* dapat dilihat pada gambar 3.10. Garis biru menunjukkan *throughput* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *throughput* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi paket/detik.

Pada *throughput* dari LER1, nilai tertinggi mencapai 1111 paket/detik dan pada *throughput* dari LER2, nilai tertinggi mencapai 1040 paket/detik. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada akhir simulasi (LER1) dan sekitar menit kesembilan (LER2). Rata-rata *throughput* dari LER1 sama dengan rata-rata *throughput* dari LER2, yaitu 673 paket/detik. Penyebab perbedaan nilai *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2 sama dengan penyebab perbedaan nilai *throughput* pada simulasi MPLS, yaitu trafik dinamis dan aplikasi beragam. Namun perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 6,60% dihitung dari perbedaan *throughput* maksimum, dan tidak ada perbedaan dihitung dari perbedaan *throughput* rata-rata.

Pada grafik *throughput*, beberapa saat pada awal simulasi, *throughput* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Nilai awal nol ini disebabkan oleh jaringan membutuhkan waktu inisiasi atau waktu persiapan sebelum mengirimkan paket dan khususnya pada sistem jaringan MPLS, jaringan perlu melakukan penentuan label dan LSP untuk trafik yang berjalan, dengan menggunakan protokol routing LSP CSPF dan protokol pensinyalan LSP CR-LDP (sama dengan pada analisis *throughput* skenario MPLS). Hal ini menunjukkan LER1 lebih dulu menentukan jalur daripada LER2.



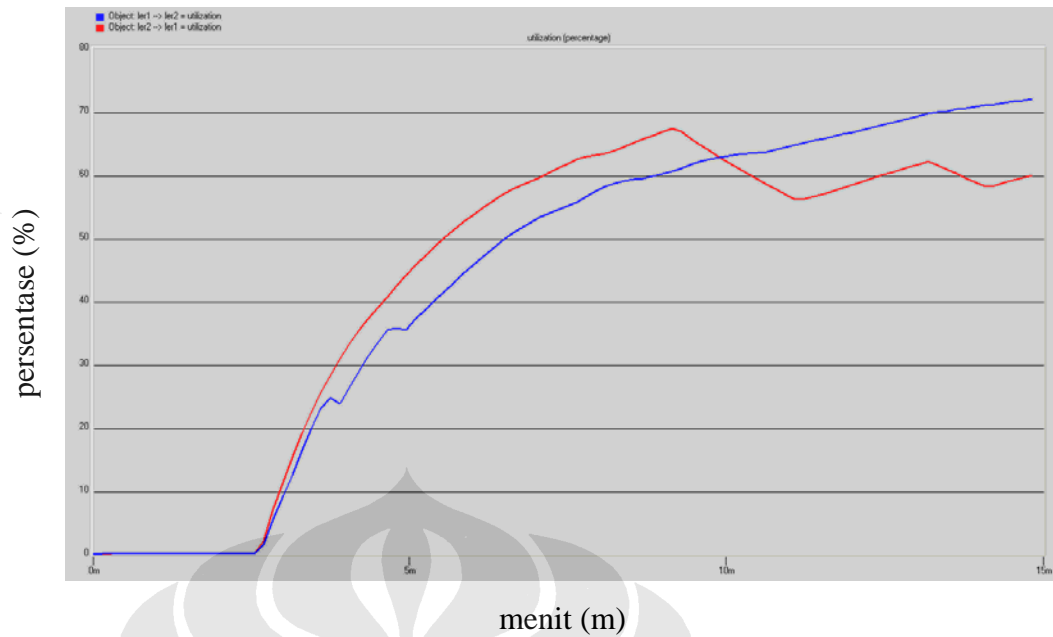
Gambar 3.10 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan Statistik *Throughput*

Apabila diperhatikan, grafik *throughput* dari LER1 berbeda dengan grafik *throughput* dari LER2. Secara garis besar, *throughput* dari LER1 mengalami sedikit ketidakstabilan pada awal simulasi (sekitar menit keempat sampai menit kelima) dan kemudian meningkat terus seiring dengan waktu simulasi dan mencapai puncak pada akhir simulasi. Sedangkan *throughput* dari LER2 mengalami ketidakstabilan pada akhir simulasi, yaitu dimulai pada saat mencapai puncak, menit kesembilan, sampai akhir simulasi. *Throughput* dari LER1 menyerupai *throughput* dari LER1 untuk skenario MPLS dan *throughput* dari LER2 menyerupai *throughput* dari LER2 untuk skenario satelit MPLS.

Hasil simulasi skenario MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan statistik utilisasi dapat dilihat pada gambar 3.11. Garis biru menunjukkan utilisasi *link* dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan utilisasi *link* dari LER2 ke LER1 dalam dimensi persentase. Pada utilisasi dari LER1, nilai tertinggi mencapai 71,98% dan pada utilisasi dari LER2, nilai tertinggi mencapai 67,38%. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada akhir simulasi (LER1) dan sekitar menit kesembilan (LER2). Rata-rata utilisasi dari LER1 sama dengan rata-rata utilisasi dari LER2, yaitu 43,60%. Penyebab perbedaan nilai utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2 sama dengan penyebab perbedaan nilai utilisasi pada hasil simulasi MPLS, yaitu keadaan *throughput*. Perbedaan ini tidaklah signifikan, yaitu sekitar 6,60% dihitung dari perbedaan utilisasi maksimum, dan tidak ada perbedaan utilisasi dihitung dari utilisasi rata-rata.

Pada grafik utilisasi, beberapa saat pada awal simulasi, utilisasi bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk utilisasi dari LER1 dan 17 detik untuk utilisasi dari LER2. Penyebab nilai utilisasi nol ini sama dengan penyebab nilai utilisasi nol pada skenario sebelumnya, yaitu *throughput* yang bernilai nol.

Sama dengan keadaan grafik pada simulasi dengan statistik *throughput*, grafik utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2 berbeda. Secara garis besar keadaan utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2 sama dengan deskripsi pada grafik *throughput*, yaitu utilisasi dari LER1 mengikuti utilisasi dari LER1 pada skenario MPLS dan utilisasi dari LER2 mengikuti utilisasi dari LER2 pada skenario Satelit MPLS.



Gambar 3.11 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahkan Fungsi ECN dengan Statistik Utilisasi

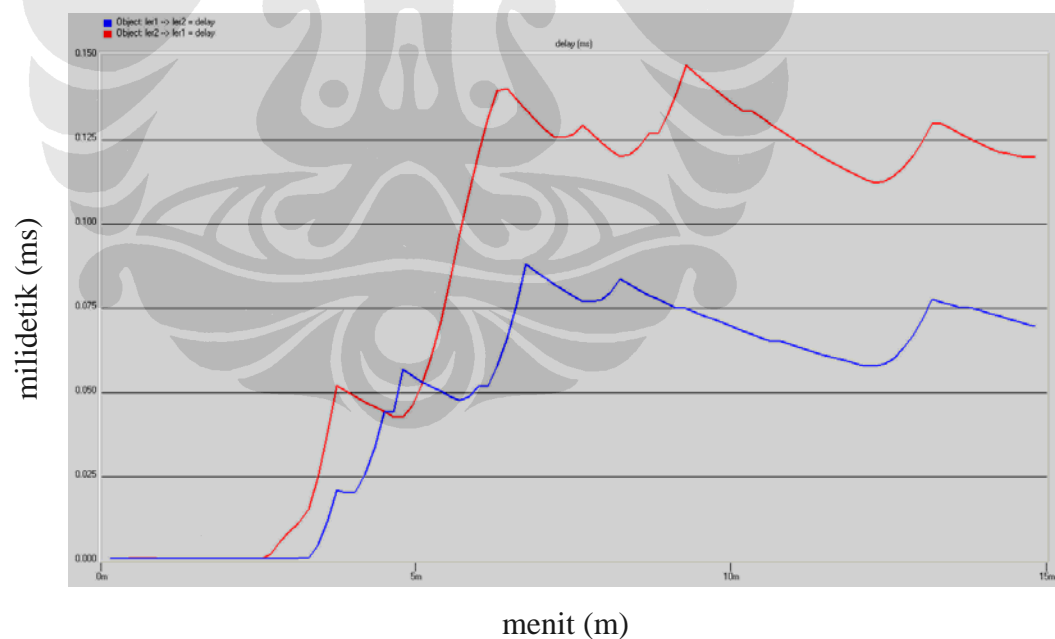
Secara keseluruhan bentuk grafik utilisasi sama dengan bentuk grafik *throughput* (waktu saat *throughput* maksimal sama dengan waktu saat utilisasi maksimal), sehingga tujuan utama pengukuran statistik utilisasi adalah untuk memberikan gambaran kapasitas jaringan yang telah digunakan dibandingkan kapasitas jaringan yang sebenarnya (kapasitas maksimal).

Hasil simulasi skenario MPLS dengan statistik *delay* dapat dilihat pada gambar 3.12. Garis biru menunjukkan *delay* trafik dari LER1 ke LER2 dan garis merah menunjukkan *delay* trafik dari LER2 ke LER1 dalam dimensi milidetik. Pada *delay* dari LER1, nilai tertinggi mencapai 0,09 milidetik dan pada *delay* dari LER2, nilai tertinggi mencapai 0,15 milidetik. Kedua nilai tertinggi ini dicapai pada sekitar menit ketujuh (LER1) dan sekitar menit kesembilan (LER2). Rata-rata *delay* dari LER1 adalah 0,05 milidetik dan rata-rata *delay* dari LER2 adalah 0,09 milidetik. Penyebab perbedaan nilai *delay* dari LER1 dan *delay* dari LER2 tidak sama dengan penyebab perbedaan nilai *delay* dari simulasi MPLS, yaitu trafik dinamis, aplikasi beragam, dan jalur yang berbeda. Perbedaan ini cukup signifikan, yaitu sekitar 50% dihitung dari perbedaan *delay* maksimum, dan sekitar 57,14% dihitung dari perbedaan *delay* rata-rata. Nilai persentase perbedaan ini cukup besar dikarenakan nilai jangkauan *delay* yang kecil (dari nol sampai

0,15 milidetik) sehingga perbedaan yang sedikit saja mengakibatkan persentase perbedaan yang cukup besar.

Pada grafik *delay*, beberapa saat pada awal simulasi, *delay* bernilai nol. Hal ini berlangsung sekitar 8 detik untuk *throughput* dari LER1 dan 17 detik untuk *throughput* dari LER2. Penyebab nilai awal nol ini sama dengan penyebab nilai awal nol pada statistik utilisasi.

Apabila diperhatikan, grafik *delay* antara LER1 dan LER2 agak berbeda. Secara garis besar, grafik *delay* dari LER 1 meningkat perlahan dan mencapai puncak pada menit ketujuh, dengan ketidakstabilan terjadi sebelum maupun sesudah mencapai puncak. Sedangkan grafik *delay* LER2 meningkat dengan kecepatan lebih cepat dari LER 1 dan mulai tidak stabil pada menit ketujuh sebelum mencapai puncak pada menit kesembilan. Pada grafik *delay* ini juga tidak terjadi perbaikan *delay* yang signifikan yang dikarenakan pembentukan LSP selanjutnya. Nilai ketiga statistik pada skenario MPLS dapat dilihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.12 Hasil Simulasi Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dengan Statistik *Delay*

Tabel 3.3 Kesimpulan hasil simulasi skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

Statistik	LER1	LER2	Keterangan
<i>Throughput</i> maksimal	1111 paket/detik	1040 paket/detik	ECN memperbaiki perbedaan tersebut, dilihat dari
<i>Throughput</i> rata-rata	673 paket/detik	673 paket/detik	<i>throughput</i> rata-rata yang sama.
<i>Throughput</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	LER1 lebih dulu menentukan jalur daripada LER2.
Utilisasi maksimal	71,98%	67,38%	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
Utilisasi rata-rata	43,60%	43,60%	
Utilisasi nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .
<i>Delay</i> maksimal	0,09 milidetik	0,15 milidetik	Perbedaan disebabkan <i>delay</i> tidak dapat diprediksi pada sifat <i>link</i> nirkabel pada <i>link</i> satelit
<i>Delay</i> rata-rata	0,05 milidetik	0,09 milidetik	
<i>Delay</i> nol	8 detik awal	17 detik awal	Berhubungan dengan <i>throughput</i> .

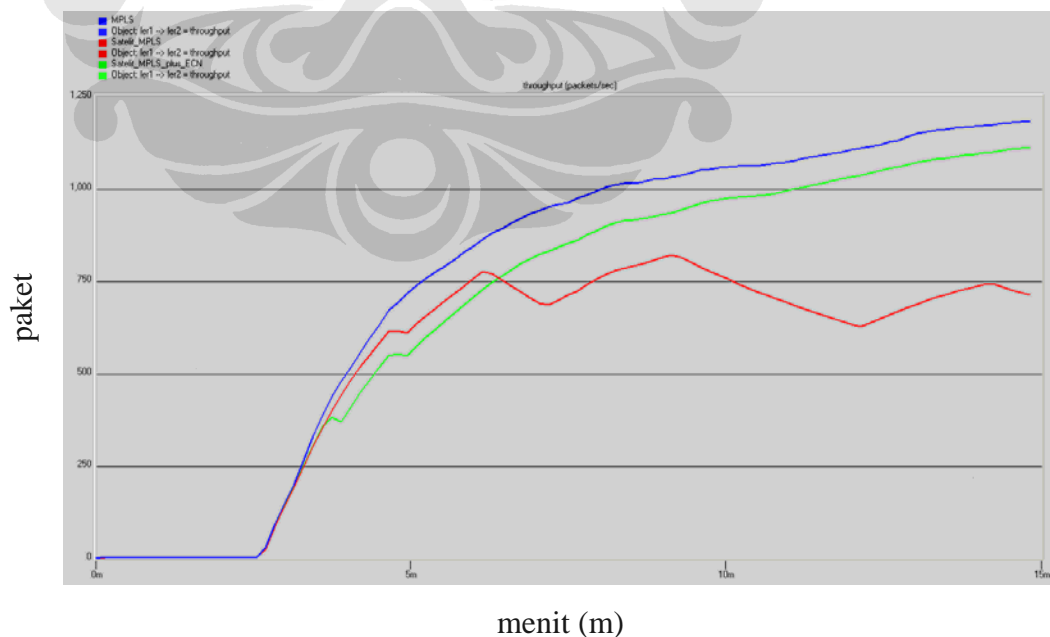
3.4.4 Analisis Perbandingan Ketiga Hasil Simulasi

Untuk mengetahui pengaruh *link* satelit pada skenario Satelit MPLS terhadap skenario MPLS dan pengaruh penambahan fungsi ECN terhadap skenario Satelit MPLS, ketiga hasil simulasi direpresentasikan dalam satu grafik. Untuk satu jenis statistik, terdapat dua buah grafik yaitu dari LER1 dan dari LER2.

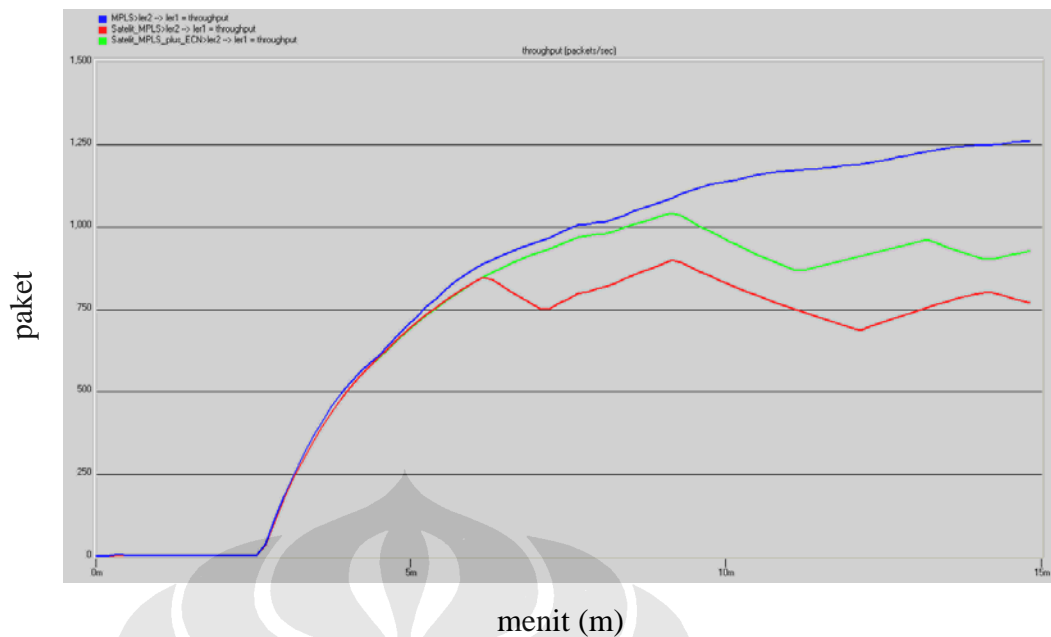
Perbandingan hasil simulasi ketiga skenario dengan statistik *throughput* dapat dilihat pada gambar 3.13 untuk trafik dari LER1 dan pada gambar 3.14 untuk trafik dari LER2. Pada kedua grafik, garis biru menunjukkan *throughput* dari skenario MPLS, garis merah menunjukkan *throughput* dari skenario Satelit MPLS, dan garis hijau menunjukkan *throughput* dari skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.

Pada gambar 3.13 dan gambar 3.14, dari grafik terlihat jelas bahwa *throughput* tertinggi dicapai pada skenario MPLS, disusul *throughput* pada

skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, dan yang paling rendah dan tidak stabil pada skenario Satelit MPLS. Pada skenario yang pertama, MPLS, *throughput* paling tinggi dikarenakan *link* masih bersifat kabel (*wired*). Ketika *link* diubah menjadi bersifat nirkabel pada *link* satelit, *throughput* menurun mencapai 262 paket/detik atau 22,17% pada *throughput* dari LER1 dan mencapai 363 paket/detik atau 28,83% pada *throughput* dari LER2 dihitung dari *throughput* maksimum; sedangkan dihitung dari *throughput* rata-rata mencapai 211 paket/detik atau 28,21% pada *throughput* dari LER1 dan 201 paket/detik atau 25,57% pada *throughput* dari LER2. Pada skenario terakhir, Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, sesuai dengan namanya, ditambahkan fungsi ECN yang meningkatkan *throughput* baik dari sisi *throughput* maksimum maupun *throughput* rata-rata. Peningkatan ini mencapai 291 paket/detik atau 35,49% pada *throughput* dari LER1 dan mencapai 144 paket/detik atau 16,07% pada *throughput* dari LER2 dihitung dari *throughput* maksimum; sedangkan dihitung dari *throughput* rata-rata mencapai 136 paket/detik atau 25,33% pada *throughput* dari LER1 dan mencapai 88 paket/detik atau 15,04% pada *throughput* dari LER2. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ECN pada jaringan satelit MPLS akan meningkatkan *throughput* jaringan, baik nilai maksimum maupun rata-rata.



Gambar 3.13 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik *Throughput*



Gambar 3.14 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik *Throughput*

Dilihat dari persentase perbedaan *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2, skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN juga memperbaiki kinerja jaringan satelit MPLS dengan persentase perbedaan yang lebih rendah, yang menandakan keadaan *link* yang lebih simetrik dengan kualitas *link* yang lebih seragam (karena trafik mengalir dari LER1 ke LER2 dan sebaliknya seharusnya memiliki sifat yang simetrik). Persentase perbedaan meningkat dari skenario MPLS dari nilai 6,31% menjadi 8,86% pada skenario Satelit MPLS dan menurun menjadi 6,60% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari persentase perbedaan *throughput* maksimum dari LER1 dan *throughput* maksimum dari LER2. Apabila dihitung dari persentase perbedaan *throughput* rata-rata dari LER1 dan *throughput* rata-rata dari LER2, maka nilai ini meningkat dari 4,95% pada skenario MPLS menjadi 8,86% pada skenario Satelit MPLS dan menurun hingga tidak ada perbedaan (0%) pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN. Hal ini menunjukkan bahwa, tambahan fungsi ECN pada jaringan satelit MPLS selain meningkatkan nilai *throughput* maksimum dan *throughput* rata-rata juga menyebabkan *link* jaringan bersifat simetrik yang ditandai dengan *throughput* rata-rata yang sama baik untuk *throughput* dari LER1 maupun *throughput* dari LER2 (walaupun saat *throughput*

mencapai maksimum tidak sama untuk *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2).

Nilai *throughput* maksimum maupun rata-rata pada skenario MPLS dan skenario Satelit MPLS menunjukkan nilai *throughput* dari LER2 lebih besar dari *throughput* dari LER1. Hal ini menunjukkan bahwa pada perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) menjadi *link* nirkabel, pemilihan jalur LER2 yang lebih baik daripada pilihan jalur LER1 tetap mengakibatkan nilai *throughput* yang lebih baik. Hal ini berubah pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, pada skenario ini, *throughput* maksimum dari LER1 lebih besar dari *throughput* maksimum dari LER2 (walaupun *throughput* rata-rata bernilai sama). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fungsi ECN mempengaruhi *throughput* yaitu menyebabkan pemilihan jalur yang lebih baik belum tentu mengakibatkan nilai *throughput* yang lebih baik.

Pada gambar 3.13, lamanya waktu inisiasi (*throughput* bernilai nol) antara ketiga skenario adalah sama, yaitu 8 detik. Hal ini menunjukkan inisiasi jaringan, yang melibatkan kegiatan pembangunan LSP dan pensiyalan LSP atau pendistribusian label, tidak terpengaruh oleh perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) ke nirkabel dan juga tidak terpengaruh oleh penambahan fungsi ECN. Durasi inisiasi ini tidak terpengaruh karena merupakan mekanisme tersendiri yang berbeda dengan mekanisme pengiriman data. Durasi yang sama juga terjadi pada gambar 3.14, yaitu 17 detik pada ketiga skenario.

Pada gambar 3.13, bentuk grafik *throughput* pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN menyerupai bentuk *throughput* pada skenario MPLS, yaitu relatif stabil, meningkat seiring dengan waktu simulasi dan mencapai nilai *throughput* tertinggi pada akhir simulasi. Namun pada gambar 3.14, bentuk grafik *throughput* pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN menyerupai bentuk *throughput* pada skenario Satelit MPLS, yaitu meningkat sampai suatu waktu tertentu dan kemudian mengalami ketidakstabilan (*swing*) sampai akhir simulasi. Hal ini menunjukkan penambahan ECN memberikan pengaruh yang tidak pasti, apakah *throughput* akan terus meningkat atau mengalami ketidakstabilan (*swing*). Tetapi yang pasti, penambahan ECN akan meningkatkan *throughput* (baik dari *throughput* maksimum maupun *throughput*

rata-rata) dan meningkatkan sifat simetrik jaringan (*throughput* rata-rata bernilai sama). Nilai statistik *throughput* pada ketiga skenario dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 *Throughput* pada Ketiga Skenario

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
<i>Throughput</i> maksimum (paket/detik)	1182	1259	820	896	1111	1040	ECN mempengaruhi <i>throughput</i> pada jalur
Peningkatan (%)	(referensi)	(referensi)	-22,17	-28,83	35,49	16,07	ECN meningkatkan <i>throughput</i>
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	6,31		8,86		6,60		ECN meningkatkan kesimetrian
<i>Throughput</i> rata-rata (paket/detik)	748	786	537	585	673	673	ECN meningkatkan <i>throughput</i>
Peningkatan (%)	(referensi)	(referensi)	-28,21	-25,57	25,33	15,04	
Persentase perbedaan (%)	4,95		8,56		0		ECN meningkatkan kesimetrian
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	<i>Link</i> nirkabel dan ECN tidak berpengaruh

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

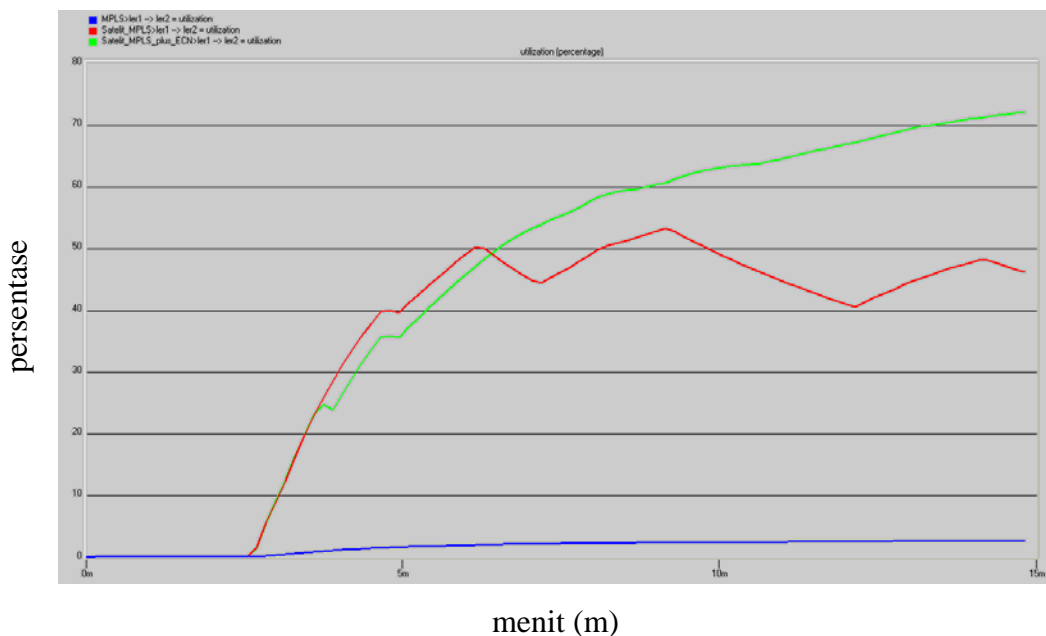
Perbandingan hasil simulasi ketiga skenario dengan statistik utilisasi dapat dilihat pada gambar 3.15 untuk trafik dari LER1 dan pada gambar 3.16 untuk trafik dari LER2. Pada kedua grafik, garis biru menunjukkan *throughput* dari skenario MPLS, garis merah menunjukkan *throughput* dari skenario Satelit MPLS, dan garis hijau menunjukkan *throughput* dari skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.

Pada gambar 3.15 dan gambar 3.16, dari grafik terlihat jelas bahwa utilisasi tertinggi dicapai pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, disusul utilisasi pada skenario Satelit MPLS (walaupun tidak stabil), dan yang paling rendah pada skenario MPLS. Pada skenario MPLS, utilitasnya paling rendah (padahal *throughput*nya paling tinggi) dikarenakan kapasitas *link* yang sangat besar dibandingkan trafik yang mengalir. Kapasitas penuh *link* pada skenario MPLS, dihitung dari *throughput* maksimum adalah bernilai 44.772 paket/detik dan dihitung dari *throughput* rata-rata adalah 44.790 paket/detik untuk *throughput* dari LER1; dihitung dari *throughput* maksimum bernilai 44.804 paket/detik dan dihitung dari *throughput* rata-rata adalah 44.659 paket/detik untuk *throughput* dari LER2. Kapasitas tinggi ini dikarenakan *link* bersifat kabel (*wired*).

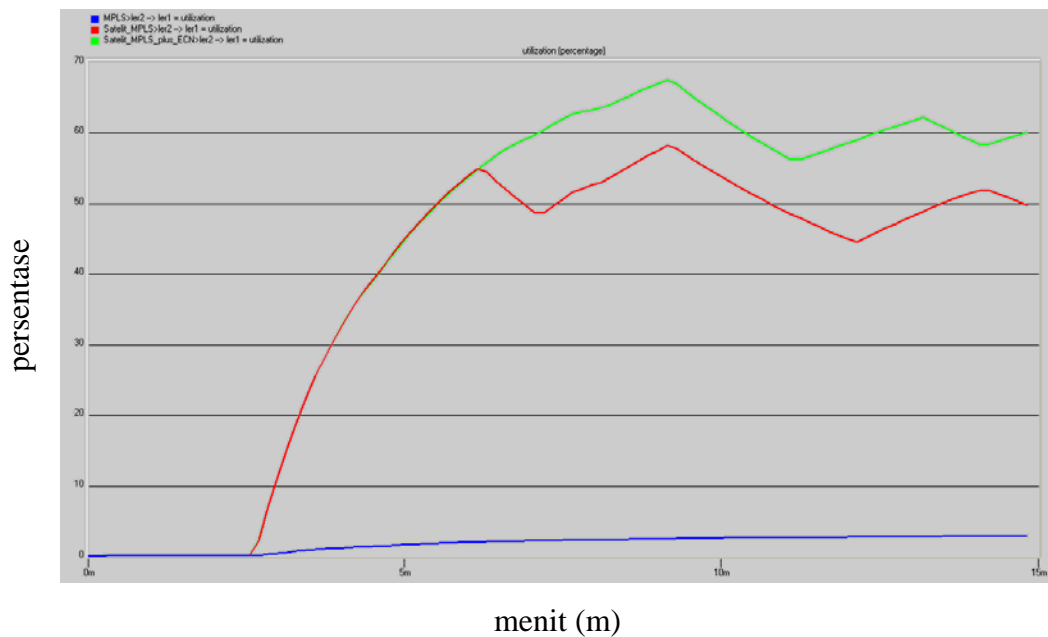
Kapasitas penuh *link* pada skenario Satelit MPLS adalah bernilai 1543 paket/detik dihitung dari *throughput* maksimum dan *throughput* rata-rata untuk *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2. Penurunan kapasitas dari skenario MPLS ke skenario Satelit MPLS yang disebabkan oleh perubahan sifat *link* dari sifat kabel (*wired*) ke sifat nirkabel pada *link* satelit mencapai 1/29 kali kapasitas *link* dihitung dari kapasitas maksimum dan kapasitas rata-rata pada *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2. Kapasitas penuh *link* pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN adalah bernilai 1543 paket/detik dihitung dari *throughput* maksimum dan *throughput* rata-rata untuk *throughput* dari LER1 dan *throughput* dari LER2. Nilai kapasitas penuh *link* ini sama dengan nilai kapasitas penuh *link* pada skenario Satelit MPLS, yang memang seharusnya terjadi karena tidak ada perubahan sifat *link*.

Dengan adanya perbedaan kapasitas penuh *link* antara skenario MPLS dengan kedua skenario lainnya, maka pada perbandingan selanjutnya skenario MPLS tidak diikutsertakan. Kapasitas penuh *link* pada skenario MPLS hanya digunakan sebagai perbandingan kapasitas *link* kabel (*wired*) dan kapasitas *link* nirkabel yang telah dihitung pada paragraf sebelumnya. Pada analisis selanjutnya, hanya akan dibandingkan utilisasi pada skenario yang memiliki kapasitas penuh *link* yang sama, yaitu skenario Satelit MPLS dan Skenario MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.

Pada gambar 3.15 dan gambar 3.16, terlihat bahwa utilisasi skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN lebih baik daripada utilisasi skenario Satelit MPLS. Pada LER1, utilisasi meningkat dari 53,15% pada skenario Satelit MPLS menjadi 71,98% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari utilisasi maksimum atau meningkat sebesar 18,83%; utilisasi meningkat dari 34,79% pada skenario Satelit MPLS menjadi 43,60% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari utilisasi rata-rata atau meningkat sebesar 8,81%. Pada LER2, utilisasi meningkat dari 58,09% pada skenario Satelit MPLS menjadi 67,38% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari utilisasi maksimum atau meningkat sebesar 9,29%; utilisasi meningkat dari 37,93% pada skenario Satelit MPLS menjadi 43,60% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari utilisasi rata-rata atau meningkat sebesar 5,67%. Hal ini menunjukkan tambahan ECN pada jaringan satelit MPLS akan meningkatkan utilisasi jaringan baik dihitung dari utilisasi maksimum maupun utilisasi rata-rata dikarenakan nilai *throughput* yang juga meningkat (*throughput* yang meningkat pada *link* dengan kapasitas yang sama akan meningkatkan utilisasi).



Gambar 3.15 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik Utilisasi



Gambar 3.16 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik Utilisasi

Dilihat dari persentase perbedaan utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2, skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN juga memperbaiki kinerja jaringan satelit MPLS dengan persentase perbedaan yang lebih rendah, yang menandakan keadaan *link* yang lebih simetrik dengan kualitas *link* yang lebih seragam (karena trafik mengalir dari LER1 ke LER2 dan sebaliknya seharusnya memiliki sifat yang simetrik). Persentase perbedaan meningkat dari skenario MPLS dari nilai 6,24% menjadi 8,88% pada skenario Satelit MPLS dan menurun menjadi 6,60% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari persentase perbedaan utilisasi maksimum dari LER1 dan utilisasi maksimum dari LER2. Apabila dihitung dari persentase perbedaan utilisasi rata-rata dari LER1 dan utilisasi rata-rata dari LER2, maka nilai ini meningkat dari 5,25% pada skenario MPLS menjadi 8,75% pada skenario Satelit MPLS dan menurun hingga tidak ada perbedaan (0%) pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN. Hal ini menunjukkan bahwa, tambahan fungsi ECN pada jaringan satelit MPLS selain meningkatkan nilai utilisasi maksimum dan utilisasi rata-rata juga menyebabkan *link* jaringan bersifat simetrik yang ditandai dengan utilisasi rata-rata yang sama baik untuk utilisasi dari LER1 maupun utilisasi dari LER2 (walaupun saat utilisasi mencapai maksimum tidak

sama untuk utilisasi dari LER1 dan utilisasi dari LER2). Sama seperti pengaruh ECN terhadap analisis *throughput*.

Nilai utilisasi maksimum maupun rata-rata pada skenario MPLS dan skenario Satelit MPLS menunjukkan nilai utilisasi dari LER2 lebih besar dari utilisasi dari LER1. Hal ini menunjukkan bahwa pada perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) menjadi *link* nirkabel, pemilihan jalur LER2 yang lebih baik daripada pilihan jalur LER1 tetap mengakibatkan nilai utilisasi yang lebih baik. Hal ini berubah pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, pada skenario ini, utilisasi maksimum dari LER1 lebih besar dari utilisasi maksimum dari LER2 (walaupun utilisasi rata-rata bernilai sama). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fungsi ECN mempengaruhi utilisasi yaitu menyebabkan pemilihan jalur yang lebih baik belum tentu mengakibatkan nilai utilisasi yang lebih baik. Hal ini juga sama seperti pengaruh ECN terhadap analisis *throughput*.

Pada gambar 3.15, pada awal simulasi ketiga skenario, utilisasi dari LER1 bernilai nol selama 8 detik. Hal ini berhubungan dengan *throughput* yang bernilai nol, sehingga utilisasi juga bernilai nol (tidak ada paket yang dikirimkan sama dengan *link* yang tidak terpakai sama sekali). Pada gambar 3.16, utilisasi dari LER2 bernilai nol selama 17 detik pada ketiga simulasi.

Pada gambar 3.15, bentuk grafik utilisasi pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN menyerupai bentuk utilisasi pada skenario MPLS, yaitu relatif stabil, meningkat seiring dengan waktu simulasi dan mencapai nilai utilisasi tertinggi pada akhir simulasi. Namun pada gambar 3.16, bentuk grafik utilisasi pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN menyerupai bentuk utilisasi pada skenario Satelit MPLS, yaitu meningkat sampai suatu waktu tertentu dan kemudian mengalami ketidakstabilan sampai akhir simulasi. Hal ini menunjukkan penambahan ECN memberikan pengaruh yang tidak pasti, apakah utilisasi akan terus meningkat atau mengalami ketidakstabilan. Tetapi yang pasti, penambahan ECN akan meningkatkan utilisasi (baik dari utilisasi maksimum maupun utilisasi rata-rata) dan meningkatkan sifat simetrik jaringan (utilisasi rata-rata bernilai sama). Hal ini juga sama seperti pengaruh ECN terhadap analisis *throughput*. Nilai statistik utilisasi pada ketiga skenario dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Utilisasi pada Ketiga Skenario

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
Kapasitas <i>link</i> penuh pada utilisasi maksimum	44772 paket/detik	44804 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	Perubahan sifat <i>link</i> dari sifat kabel (<i>wired</i>) menjadi sifat nirkabel pada <i>link</i> satelit
Kapasitas <i>link</i> penuh pada utilisasi rata-rata	44790 paket/detik	44659 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	1543 paket/detik	
Perbandingan	29	29	1	1	1	1	
Utilisasi maksimum (%)	2,64	2,81	53,15	58,09	71,98	67,38	ECN mempengaruhi utilisasi pada jalur
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	18,83	9,29	ECN meningkatkan utilisasi
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	6,24		8,88		6,60		ECN meningkatkan kesimetrian
Utilisasi rata-rata (%)	1,67	1,76	34,79	37,93	43,60	43,60	ECN meningkatkan utilisasi
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	8,81	5,67	
Persentase perbedaan (%)	5,25		8,75		0		ECN meningkatkan kesimetrian
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	<i>Link</i> nirkabel dan ECN tidak berpengaruh

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

Perbandingan hasil simulasi ketiga skenario dengan statistik *delay* dapat dilihat pada gambar 3.17 untuk trafik dari LER1 dan pada gambar 3.18 untuk trafik dari LER2. Pada kedua grafik, garis biru menunjukkan *delay* dari skenario

MPLS, garis merah menunjukkan *delay* dari skenario Satelit MPLS, dan garis hijau menunjukkan *delay* dari skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.

Pada gambar 3.17 dan gambar 3.18, dari grafik terlihat jelas bahwa *delay* tertinggi dicapai pada skenario Satelit MPLS, disusul *delay* pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, dan yang paling rendah terjadi pada skenario MPLS. Pada skenario MPLS, *delay*nya paling rendah dikarenakan *link* bersifat kabel (*wired*). *Delay* tertinggi pada skenario MPLS hanya mencapai 65,4 nanodetik, sehingga pada grafik terlihat sangat dekat dengan nilai nol. *Delay* menjadi sangat besar pada skenario Satelit MPLS dan skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dikarenakan perubahan sifat *link* dari *link* yang bersifat kabel (*wired*) menjadi *link* yang bersifat nirkabel pada *link* satelit.

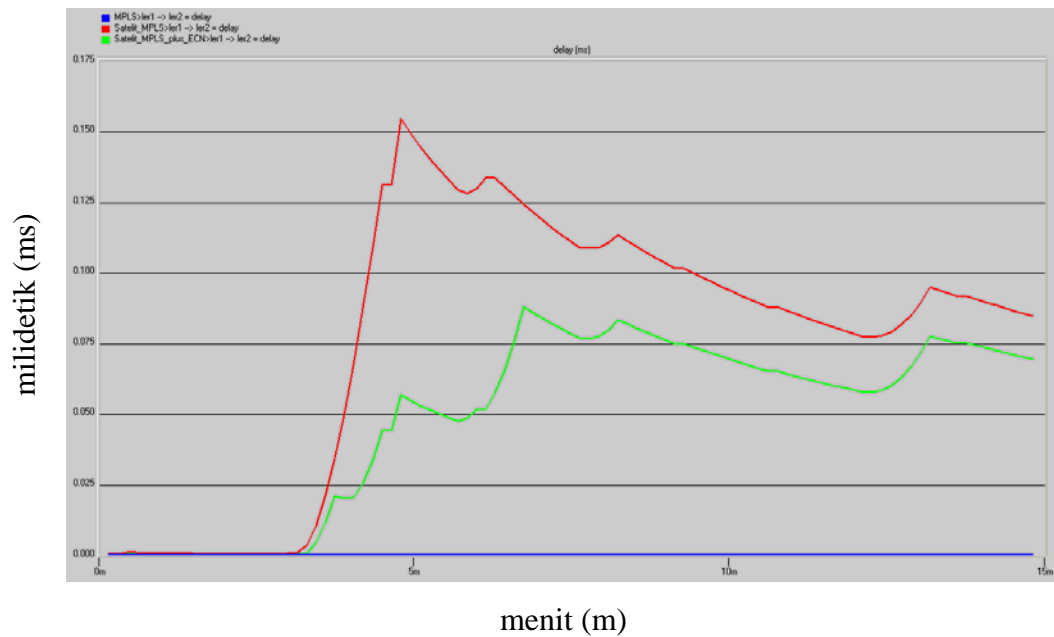
Pada skenario Satelit MPLS, *delay* tertinggi mencapai 2293 kali lebih besar dan *delay* rata-rata mencapai 5095 kali lebih besar daripada *delay* skenario MPLS terhadap trafik dari LER1; *delay* tertinggi mencapai 12413 kali lebih besar dan *delay* rata-rata mencapai 10377 kali lebih besar daripada *delay* skenario MPLS terhadap trafik dari LER2. Pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN, *delay* tertinggi mencapai 1376 kali lebih besar dan *delay* rata-rata mencapai 3184 kali lebih besar daripada *delay* skenario MPLS terhadap trafik dari LER1; *delay* tertinggi mencapai 10344 kali lebih besar dan *delay* rata-rata mencapai 8490 kali lebih besar daripada *delay* skenario MPLS terhadap trafik dari LER2. Dikarenakan perbedaan dimensi *delay* yang sangat besar ini, pada analisis *delay* selanjutnya yang akan dibandingkan hanyalah *delay* dari skenario Satelit MPLS dengan *delay* dari skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN.

Pada gambar 3.17 dan gambar 3.18, terlihat bahwa *delay* skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN lebih baik daripada *delay* skenario Satelit MPLS. Pada LER1, *delay* menurun dari 0,15 milidetik pada skenario Satelit MPLS menjadi 0,09 milidetik pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari *delay* maksimum atau menurun sebesar 40%; *delay* menurun dari 0,08 milidetik pada skenario Satelit MPLS menjadi 0,05 milidetik pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari *delay* rata-rata atau menurun sebesar 37,5%. Pada LER2, *delay* menurun dari 0,18

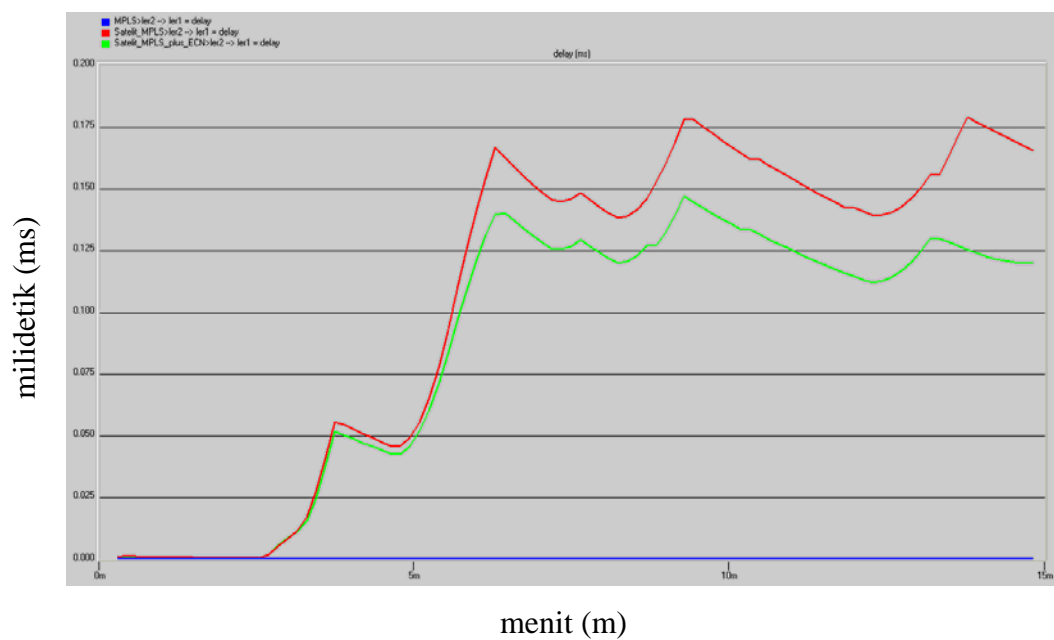
milidetik pada skenario Satelit MPLS menjadi 0,15 milidetik pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari *delay* maksimum atau menurun sebesar 16,67%; *delay* menurun dari 0,11 milidetik pada skenario Satelit MPLS menjadi 0,09 milidetik pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari *delay* rata-rata atau meningkat sebesar 18,18%. Hal ini menunjukkan tambahan ECN pada jaringan satelit MPLS akan menurunkan *delay* jaringan baik dihitung dari *delay* maksimum maupun *delay* rata-rata.

Dilihat dari persentase perbedaan *delay* dari LER1 dan *delay* dari LER2, skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN tidak memperbaiki kinerja jaringan satelit MPLS karena persentase perbedaan yang lebih tinggi. Persentase perbedaan menurun dari skenario MPLS dari nilai 127% menjadi 18,18% pada skenario Satelit MPLS dan meningkat lagi menjadi 50% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dihitung dari persentase perbedaan *delay* maksimum dari LER1 dan *delay* maksimum dari LER2. Apabila dihitung dari persentase perbedaan *delay* rata-rata dari LER1 dan *delay* rata-rata dari LER2, maka nilai ini menurun dari 38,78% pada skenario MPLS menjadi 31,58% pada skenario Satelit MPLS dan meningkat lagi menjadi 57,17% pada skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN. Hal ini menunjukkan bahwa, tambahan fungsi ECN pada jaringan satelit MPLS tidak memberikan pengaruh pada persentase perbedaan *delay*, yang berarti tidak memperbaiki kestabilan *delay*. Namun persentase perbedaan ini bukan merupakan perwakilan representatif terhadap pengaruh tambahan fungsi ECN, karena persentase perbedaan yang besar pada skenario Satelit MPLS dan skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN dikarenakan jangkauan *delay* yang singkat sehingga sedikit perbedaan akan menyebabkan persentase yang besar.

Nilai *delay* maksimum maupun rata-rata pada skenario MPLS menunjukkan nilai *delay* dari LER1 lebih besar dari *delay* dari LER2, namun pada kedua skenario lainnya, nilai *delay* maksimum maupun rata-rata dari LER2 lebih besar dari *delay* dari LER1. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik *delay* dipengaruhi oleh perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) ke *link* nirkabel dalam hal nilai *delay* yang membesar, tapi tidak dapat diprediksi *delay* trafik mana yang lebih besar.



Gambar 3.17 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER1 dengan Statistik *Delay*



Gambar 3.18 Perbandingan Hasil Simulasi untuk Trafik dari LER2 dengan Statistik *Delay*

Pada gambar 3.17, pada awal simulasi ketiga skenario, *delay* dari LER1 bernilai nol selama 8 detik. Hal ini berhubungan dengan *throughput* yang bernilai

nol, sehingga *delay* juga bernilai nol. Pada gambar 3.18, *delay* dari LER2 bernilai nol selama 17 detik pada ketiga simulasi.

Pada skenario MPLS, nilai *delay* (khususnya pada *delay* dari LER1) mengalami perbaikan dikarenakan perbaikan LSP pada trafik selanjutnya. Hal ini tidak terjadi pada kedua skenario lainnya, ditandai dengan tidak adanya perbaikan yang berarti pada nilai *delay* dilihat dari grafik. Hal ini menunjukkan pada skenario dengan *link* satelit, perbaikan LSP tidak memberikan perbaikan pada nilai *delay*. Nilai statistik utilisasi pada ketiga skenario dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 *Delay* pada Ketiga Skenario

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
<i>Delay</i> maksimum	65,4 ns	14,5 ns	0,15 ms	0,18 ms	0,09 ms	0,15 ms	ECN memperbaiki <i>delay</i>
Perbandingan	1	1	2293	12413	1376	10344	<i>Delay</i> meningkat pada <i>link</i> satelit
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(refere nsi)	(refere nsi)	-40	-16,67	ECN memperbaiki <i>delay</i>
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	127		18,18		50		<i>Delay</i> tidak dapat diprediksi
<i>Delay</i> rata-rata (%)	15,7 ns	10,6 ns	0,08 ms	0,11 ms	0,05 ms	0,09 ms	ECN memperbaiki <i>delay</i>
Perbandingan	1	1	5095	10377	3184	8490	<i>Delay</i> meningkat pada <i>link</i> satelit
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(refere nsi)	(refere nsi)	-37,5	-18,18	ECN memperbaiki <i>delay</i>

Persentase perbedaan (%)	38,78		31,58		57,17		<i>Delay</i> tidak dapat diprediksi
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	<i>Link</i> nirkabel dan ECN tidak berpengaruh

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

BAB 4

KESIMPULAN

Setelah menjalankan simulasi dan menganalisis hasil simulasi, didapatkan kesimpulan bahwa penambahan fungsi ECN pada jaringan satelit MPLS akan:

- Meningkatkan *throughput* jaringan, baik nilai *throughput* maksimum maupun *throughput* rata-rata. Berdasarkan hasil simulasi, *throughput* maksimum meningkat sebesar 16% sampai 35% dari *throughput* maksimum jaringan satelit MPLS tanpa ECN, dan *throughput* rata-rata meningkat sebesar 15% sampai 25% dari *throughput* rata-rata jaringan satelit MPLS tanpa ECN.
- Meningkatkan utilisasi jaringan, baik nilai utilisasi maksimum maupun utilisasi rata-rata. Berdasarkan hasil simulasi, utilisasi maksimum meningkat sebesar 9% sampai 18% dari utilisasi maksimum jaringan satelit MPLS tanpa ECN, dan utilisasi rata-rata meningkat sebesar 5% sampai 8% dari utilisasi rata-rata jaringan satelit MPLS tanpa ECN.
- Menurunkan *delay* jaringan, baik *delay* maksimum maupun *delay* rata-rata. Berdasarkan hasil simulasi, *delay* maksimum menurun sebesar 16% sampai 40% dari *delay* maksimum jaringan satelit MPLS tanpa ECN, dan *delay* rata-rata menurun sebesar 18% sampai 37% dari *delay* rata-rata jaringan satelit MPLS tanpa ECN.
- Meningkatkan sifat simetrik jaringan. Berdasarkan hasil simulasi, *throughput* dan utilisasi rata-rata dari trafik LER1 dan trafik LER2 yang bernilai sama.

Link satelit memberikan pengaruh sebagai berikut:

- Karakteristik *delay* dipengaruhi oleh perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) ke *link* nirkabel dalam hal nilai *delay* yang membesar, tapi tidak dapat diprediksi *delay* trafik mana yang lebih besar.
- Pada skenario dengan *link* satelit, perbaikan LSP tidak memberikan perbaikan pada nilai *delay*.
- Lama waktu inisiasi jaringan MPLS, yang melibatkan kegiatan pembangunan LSP dan pensiyalan LSP, tidak terpengaruh oleh perubahan sifat *link* dari *link* kabel (*wired*) ke nirkabel dan tidak terpengaruh oleh penambahan fungsi ECN.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Alwayn, Vivek. *Advanced MPLS Design and Implementation* (Chapter 3). Cisco press, 2001.
- [2] Aune, Frank (26 November 2004). *Cross-Layer Design Tutorial*. December 12, 2007. http://mobiledevices.kom.aau.dk/uploads/media/ArneTutorial_02.pdf
- [3] Davie, B., B. Briscoe (January 2008). *RFC5129: Explicit Congestion Marking in MPLS*. April 6, 2008. <http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=5129>
- [4] Donner, Anton., Matteo Berioli, and Markus Werner (April 2004). "MPLS-based Satellite Constellation Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 438-448. March 4, 2008. <http://www.gr.ssr.upm.es/csat/trabajos/MPLS-Based%20Satellite%20Constellation%20Networks-Donner2004.pdf>
- [5] Rosen, E., A. Viswanathan, and R. Callon (January 2001). *RFC3031: Multiprotocol Label Switching Architecture*. March 4, 2008. <http://www.rfc-archive.org/getrfc.php?rfc=3130>
- [6] Sun, Zhili. *Satellite Networking: Principles and Protocols* (pp. 1-53). John Wiley & Sons, 2005.

Slide 1



**PENAMBAHAN FUNGSI
EXPLICIT CONGESTION NOTIFICATION (ECN)
PADA SATELIT MPLS**

Shelly
0404030768

1 Judul Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi

This slide features a background image of the Earth's horizon from space. The title is centered in a bold, black font. Below the title, the author's name 'Shelly' and ID '0404030768' are displayed. The footer contains the slide number '1', the word 'Judul', the date 'Tuesday, December 30, 2008', the author's name and ID, and the word 'Skripsi' next to a small circular logo.

Slide 2



OUTLINE

- PENDAHULUAN
- JARINGAN SATELIT MPLS
- SIMULASI JARINGAN SATELIT MPLS
- ANALISIS HASIL SIMULASI
- KESIMPULAN

2 Outline 1/1 Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi

This slide features a background image of the Earth's horizon from space. The word 'OUTLINE' is written in a large, bold, white font at the top. Below it, a bulleted list contains five items: 'PENDAHULUAN', 'JARINGAN SATELIT MPLS', 'SIMULASI JARINGAN SATELIT MPLS', 'ANALISIS HASIL SIMULASI', and 'KESIMPULAN'. The footer contains the slide number '2', 'Outline 1/1', the date 'Tuesday, December 30, 2008', the author's name and ID, and the word 'Skripsi' next to a small circular logo.

Slide 3

PENDAHULUAN

3 I. Pendahuluan 1/1 Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi

Slide 4

JARINGAN SATELIT MPLS

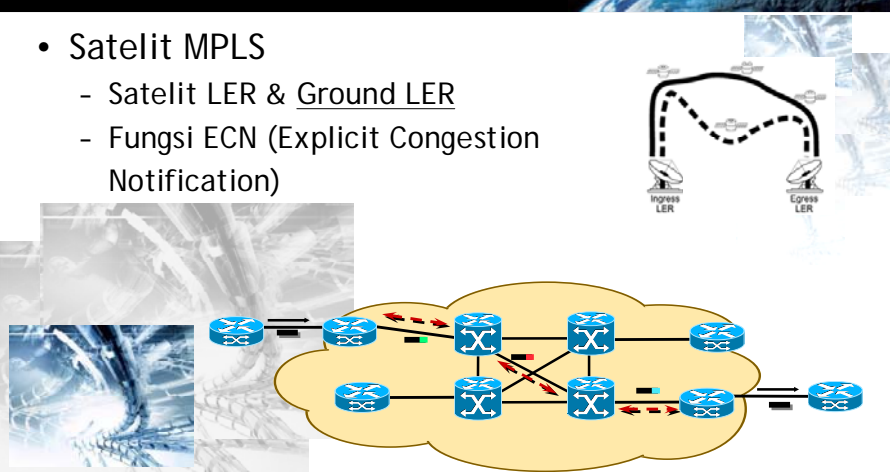
- Multiprotocol Label Switching (MPLS)
 - Label Switched Router (LSR) & Label Edge Router (LER)
 - Label, Label Switched Path (LSP), & Label Distribution Protocol (LDP)
 - Komponen sederhana, mekanisme ER - TE, mendukung CoS, dan dapat diaplikasikan pada berbagai protokol network & data link layer

4 II. Jaringan Satelit MPLS 1/2 Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi

Slide 5

JARINGAN SATELIT MPLS

- Satelit MPLS
 - Satelit LER & Ground LER
 - Fungsi ECN (Explicit Congestion Notification)

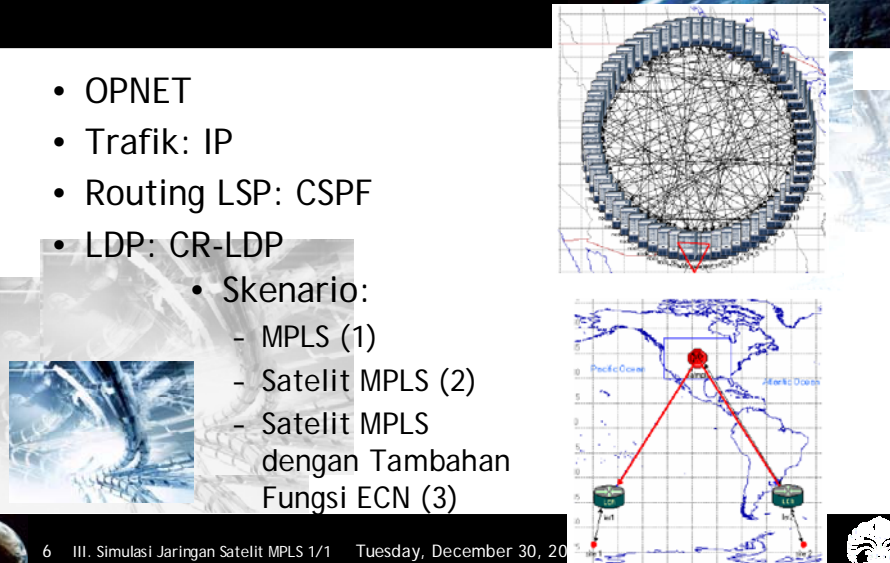


5 II. Jaringan Satelit MPLS 2/2 Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi

Slide 6

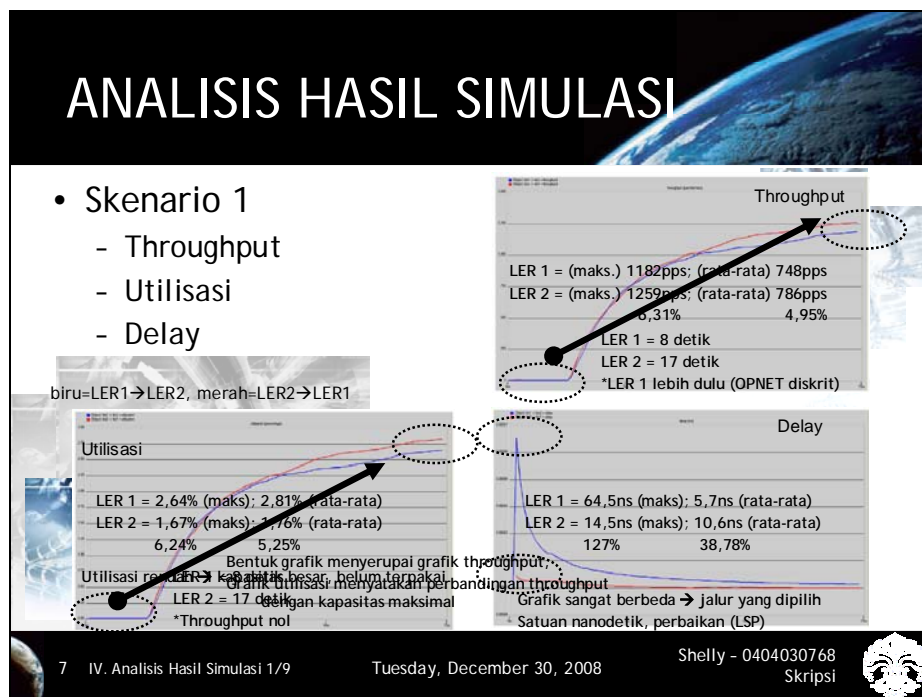
SIMULASI JARINGAN SATELIT MPLS

- OPNET
- Trafik: IP
- Routing LSP: CSPF
- LDP: CR-LDP
 - Skenario:
 - MPLS (1)
 - Satelit MPLS (2)
 - Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN (3)

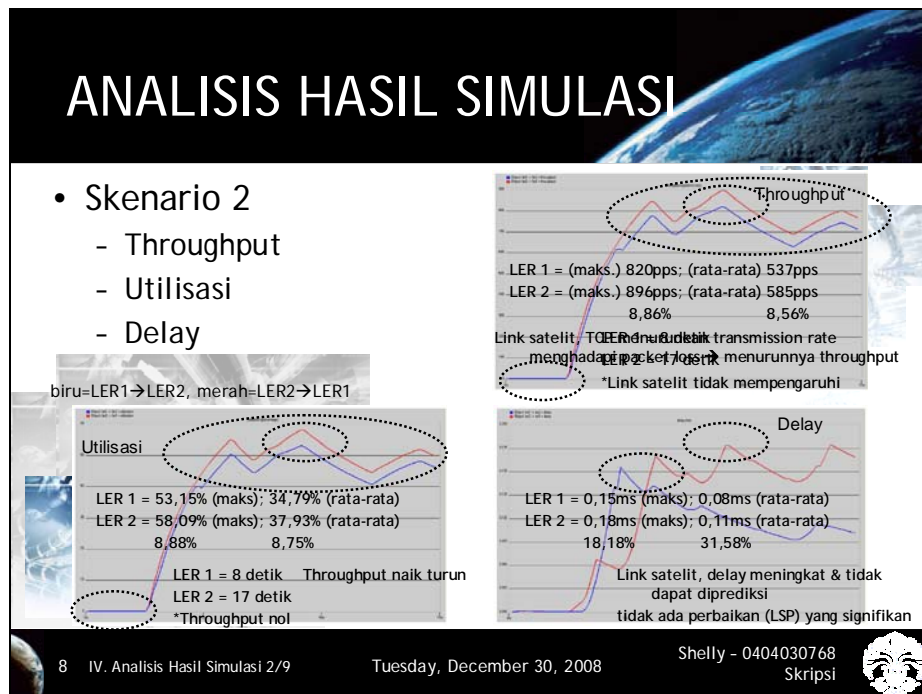


6 III. Simulasi Jaringan Satelit MPLS 1/1 Tuesday, December 30, 2008

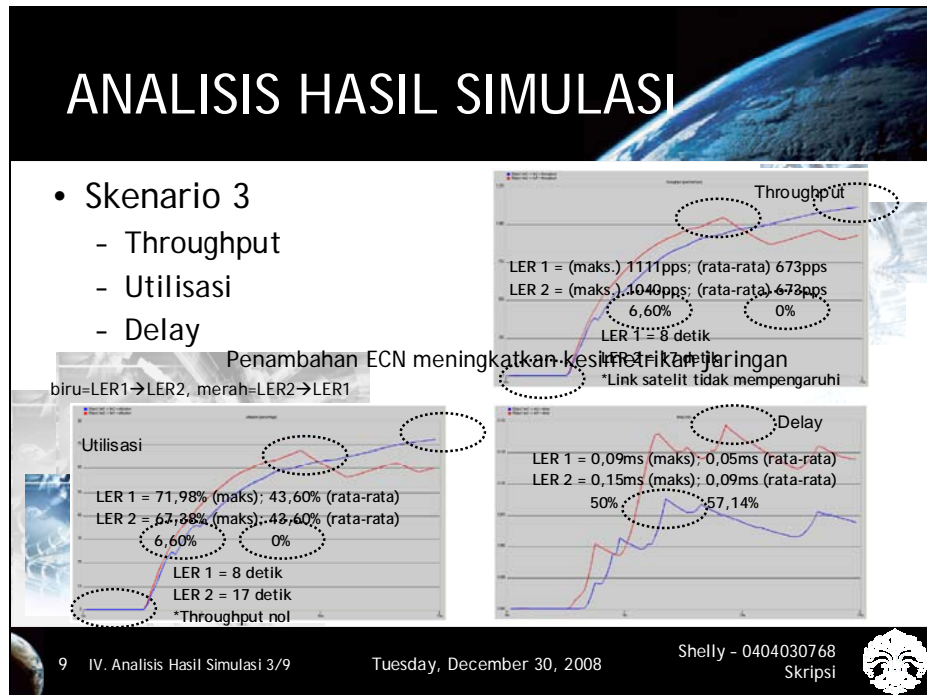
Slide 7



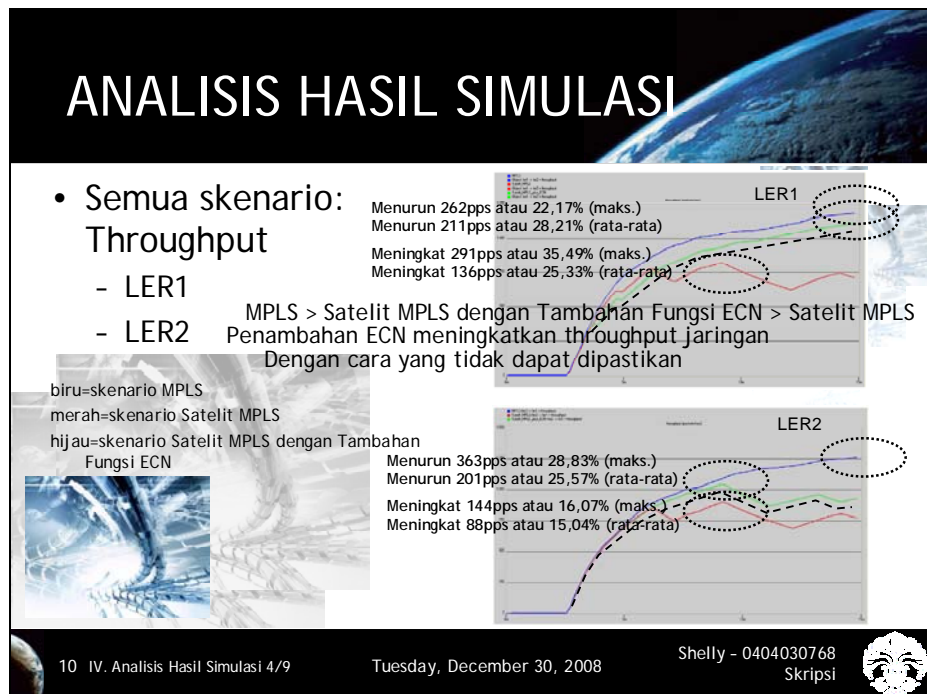
Slide 8



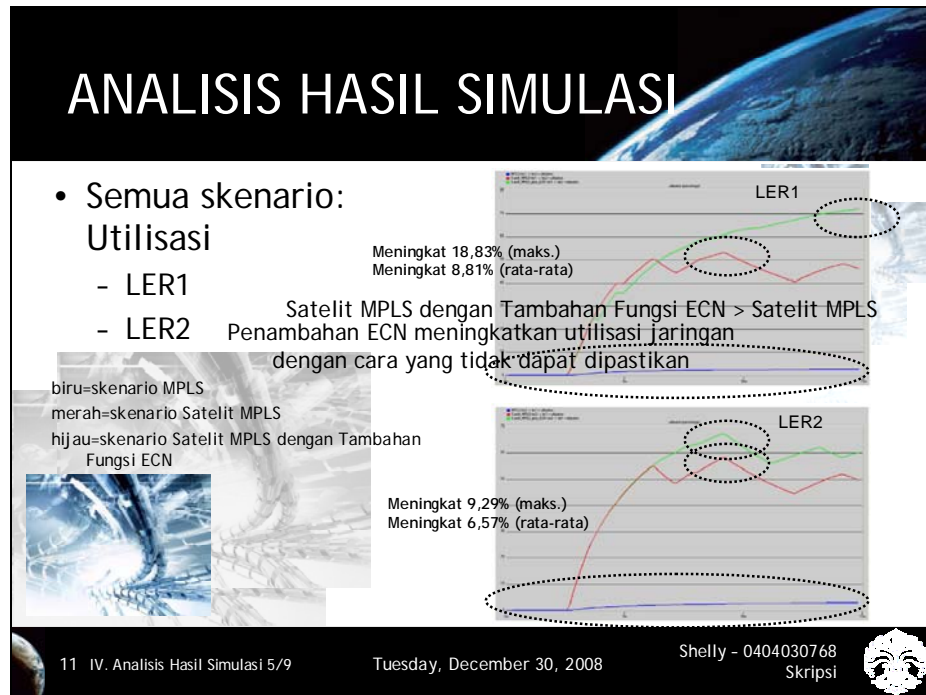
Slide 9



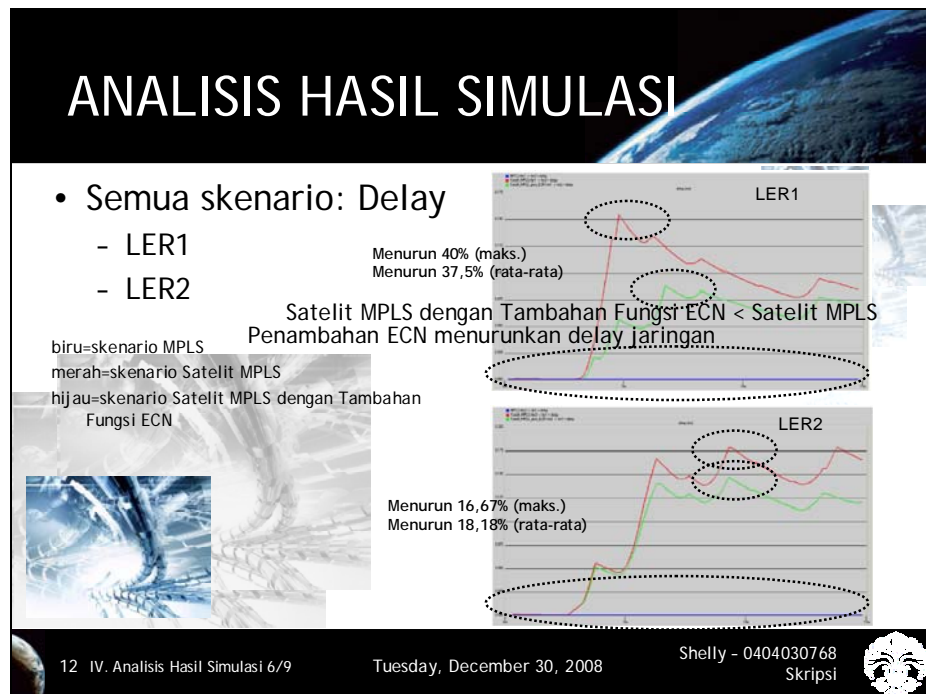
Slide 10



Slide 11



Slide 12



Slide 13

ANALISIS HASIL

- Throughput pada ketiga skenario

tabel 3.4 hal 65

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
Throughput maksimum (paket/detik)	1182	1259	820	896	1111	1040	ECN mempengaruhi throughput pada jalur
Peningkatan (%)	(referensi)	(referensi)	-22,17	-28,85	35,49	16,07	ECN meningkatkan throughput
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	6,31		8,86		6,60		ECN meningkatkan kesimetrian
Throughput rata-rata (paket/detik)	748	786	537	585	673	673	ECN meningkatkan throughput
Peningkatan (%)	(referensi)	(referensi)	-28,21	-25,57	25,33	15,04	ECN meningkatkan kesimetrian
Persentase perbedaan (%)	4,95		8,56		0		Link nirkabel dan ECN tidak berpengaruh
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

13 IV. Analisis Hasil Simulasi 7/9 Shelly - 0404030768 Skripsi

Slide 14

ANALISIS HASIL

- Utilisasi pada ketiga skenario

tabel 3.5 hal 70

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
Kapasitas link penuh pada utilisasi maksimum	44772	44804	1543	1543	1543	1543	Perubahan sifat link dari sifat kabel (wired) menjadi sifat nirkabel pada link satelit
Kapasitas link penuh pada utilisasi rata-rata	44790	44659	1543	1543	1543	1543	
Perbandingan	29	29	1	1	1	1	
Utilisasi maksimum (%)	2,64	2,81	53,15	58,09	71,98	67,38	ECN mempengaruhi utilisasi pada jalur
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	18,83	9,29	ECN meningkatkan utilisasi
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	6,24		8,88		6,60		ECN meningkatkan kesimetrian
Utilisasi rata-rata (%)	1,67	1,76	34,79	37,93	43,60	43,60	ECN meningkatkan utilisasi
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	8,81	5,67	ECN meningkatkan kesimetrian
Persentase perbedaan (%)	5,25		8,75		0		Link nirkabel dan ECN tidak berpengaruh
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

14 IV. Analisis Hasil Simulasi 8/9

Slide 15

ANALISIS HASIL

- Delay pada ketiga skenario

tabel 3.6 hal 74

	1*		2**		3***		Keterangan
	LER1	LER2	LER1	LER2	LER1	LER2	
Delay maksimum	65,4 ns	14,5 ns	0,15 ms	0,18 ms	0,09 ms	0,15 ms	ECN memperbaiki delay
Perbandingan	1	1	2293	12413	1376	10344	Delay meningkat pada link satelit
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	-40	-16,67	ECN memperbaiki delay
Persentase perbedaan LER1-LER2(%)	127		18,18		50		Delay tidak dapat diprediksi
Delay rata-rata (%)	15,7 ns	10,6 ns	0,08 ms	0,11 ms	0,05 ms	0,09 ms	ECN memperbaiki delay
Perbandingan	1	1	5095	10377	3184	8490	Delay meningkat pada link satelit
Peningkatan (%)	(beda)	(beda)	(referensi)	(referensi)	-37,5	-18,18	ECN memperbaiki delay
Persentase perbedaan (%)	38,78		31,58		57,17		Delay tidak dapat diprediksi
Waktu inisiasi (detik)	8	17	8	17	8	17	Link nukabel dan ECN tidak berpengaruh

*Skenario MPLS, **Skenario Satelit MPLS, ***Skenario Satelit MPLS dengan Tambahan Fungsi ECN

15 IV. Analisis Hasil Simulasi 9/9

Slide 16

KESIMPULAN

- Meningkatkan *throughput* jaringan.
 - throughput* maksimum meningkat sebesar 16% sampai 35%
 - throughput* rata-rata meningkat sebesar 15% sampai 25%
- Meningkatkan utilisasi jaringan.
 - utilisasi maksimum meningkat sebesar 9% sampai 18%
 - utilisasi rata-rata meningkat sebesar 5% sampai 8%
- Menurunkan *delay* jaringan.
 - delay* maksimum menurun sebesar 16% sampai 40%
 - delay* rata-rata menurun sebesar 18% sampai 37%
- Meningkatkan sifat simetrik jaringan.
 - throughput* dan utilisasi rata-rata dari trafik LER1 dan trafik LER2 yang bernilai sama.

16 V. Kesimpulan 1/1

Tuesday, December 30, 2008

Shelly - 0404030768
Skripsi

Slide 17



REFERENSI

- Alwayn, Vivek. *Advanced MPLS Design and Implementation*. Cisco press, 2001.
- Aune, Frank, "Cross-Layer Design Tutorial" Norway, 26 Nov 2004.
- Davie, B., B. Briscoe, "RFC5129: Explicit Congestion Marking in MPLS". Jan 2008.
- Donner, Anton., Matteo Berioli, and Markus Werner. "MPLS-based Satellite Constellation Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* Apr 2004.
- Rosen, E., A. Viswanathan, and R. Callon, "RFC3031: Multiprotocol Label Switching Architecture". Jan 2001.
- Sun, Zhili. *Satellite Networking: Principles and Protocols*. John Wiley & Sons, 2005.

SEKIAN & TERIMAKASIH

17 Referensi 1/1 Tuesday, December 30, 2008 Shelly - 0404030768 Skripsi