

Proses Pengiriman Paket IP Menggunakan *All Optical Label Swapping* (AOLS)

Herlinawati¹, Umi Murdhika¹, Eka Riyadi²

1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung

2. Alumni Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. S. Brodjonegoro No. 1 Bandar Lampung

herlinawati@unila.ac.id

Abstrak— Pengiriman paket IP ke dalam jaringan WDM akan mengalami proses enkapsulasi pada *Data Link Layer* dengan menambahkan *overhead* pada paket. Paket IP melalui *Gigabit Ethernet* mempunyai *overhead* yang lebih sedikit dibandingkan dengan ATM. Penggunaan teknologi *All Optical Label Swapping* (AOLS) untuk mengirimkan paket IP ke dalam jaringan WDM dengan menggunakan *label swapping* akan menambahkan label optik pada paket. Pada AOLS proses penentuan *routing* dilakukan dengan memproses label optik saja, sedangkan *payload* data di-*delay* guna memberikan waktu untuk memproses label optik. Selama proses itu *payload* data tetap berada pada domain optik.

Kata kunci: ATM, *Gigabit Ethernet*, AOLS, label optik.

Abstract -- Transmission IP packet into WDM network will experience of encapsulation process at *Data Link Layer* with adding overhead to packet. IP packet through *Gigabit Ethernet* have more less overhead than ATM. The usage of *All Optical Label Swapping* (AOLS) technology for transmitting IP packet into WDM network with using *label swapping* will add optical label to packet. At AOLS, process routing decision is to be done with only processing the optic label. During that process data payload constantly within optic domain.

Key word : ATM, *Gigabit Ethernet*, AOLS, optic label.

A. Pendahuluan

Pertumbuhan trafik data berbasis paket IP yang semakin pesat, membutuhkan teknologi yang mampu mengakomodasi peningkatan permintaan akan *bandwidth* yang besar untuk mentransmisikan paket IP dalam jaringan. Teknologi yang

menjanjikan untuk memenuhi permintaan *bandwidth* yang tinggi adalah jaringan optik dengan *wavelength division multiplexing* (WDM). Teknologi yang digunakan dalam *routing* paket di dalam *node* jaringan optik adalah proses optik-elektronik-optik (O-E-O) dimana paket optik akan diproses secara elektronik untuk menentukan proses *routing* dan selanjutnya akan dikonversi kembali menjadi paket optik. Hal ini akan menimbulkan *bottleneck* di dalam jaringan dimana terdapat perbedaan yang besar antara kapasitas pengiriman paket pada jaringan optik dengan kapasitas pemrosesan paket pada *node* jaringan untuk keperluan *routing* yang dilakukan secara elektronik.

All Optical Label Swapping (AOLS) digunakan untuk mengatasi masalah perbedaan antara kapasitas transmisi serat optik dengan kapasitas *forwarding router*. AOLS menerapkan proses optik-optik-optik (O-O-O) dalam pengiriman paket dalam jaringan yang akan mengurangi proses elektronik dalam *routing* paket.

B. Teori Dasar

Internet Protocol (IP)

Protokol IP merupakan inti dari protokol TCP/IP. Seluruh data yang berasal dari protokol pada *layer* di atas IP harus dilewatkan dan diolah oleh protokol IP serta dipancarkan sebagai paket IP agar sampai ke tujuan. Dalam melakukan pengiriman data, IP memiliki sifat sebagai berikut :

a. Unreliable atau ketidakandalan; dimana protokol IP tidak menjamin

Naskah ini diterima pada tanggal 20 Juni 2008, direvisi pada tanggal 20 Juli 2008 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2008

datagram yang dikirimkan pasti sampai ke tempat tujuan tetapi hanya melakukan usaha sebaik-baiknya (*best effort delivery service*), agar paket yang dikirim tersebut sampai ke tujuan.

b. Connectionless; dimana dalam pengiriman paket dari tempat asal ke tujuan, pihak pengirim dan penerima paket IP sama sekali tidak mengadakan perjanjian terlebih dahulu.

c. Datagram delivery service; dimana setiap paket data yang dikirim berdiri sendiri terhadap paket data yang lain. Akibatnya jalur yang ditempuh oleh masing-masing paket data IP ke tujuannya bisa jadi berbeda satu dengan lainnya sehingga kedatangan paket tidak berurutan.

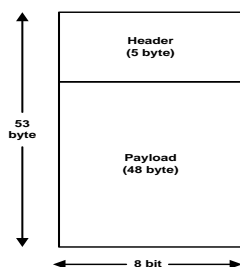
Asynchronous Transfer mode (ATM)

ATM adalah standar ITU-T untuk *cell relay* dimana informasi seperti *voice*, *video*, serta data dikirimkan dalam sel kecil yang berukuran tetap

Karakteristik Umum ATM sebagai berikut:

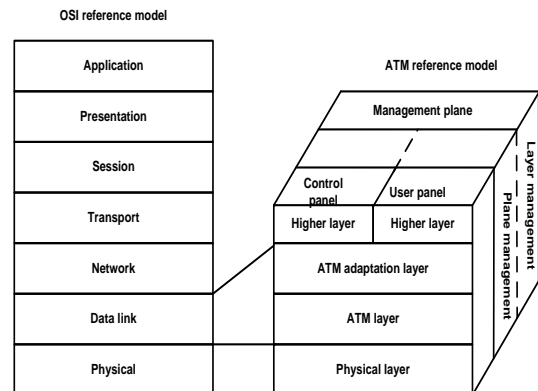
- beroperasi pada mode *connection-oriented*.
- panjang *filed* informasi dalam satu sel relatif kecil

Pada ATM, seluruh informasi yang akan ditransfer akan dibagi menjadi slot-slot dengan ukuran tetap yang disebut sel. Ukuran sel ATM adalah 53 byte (1 byte = 8 Bit) yang terdiri dari 48 byte untuk field informasi dan 5 byte untuk header, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Format Dasar Sel ATM

Model Referensi ATM dengan dua *layer* terbawah dari model OSI ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Model referensi ATM dengan dua *layer* terbawah dari model OSI.

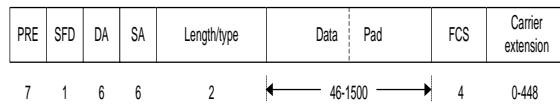
Model referensi ATM terdiri dari 3 *plane* yaitu :

- a. *Control plane*, yang bertanggung jawab melakukan fungsi manajemen untuk permintaan *signalling*.
- b. *User plane*, yang bertanggung jawab untuk manajemen dari pengiriman data.
- c. *Management plane*, terdiri dari dua komponen yaitu:
 - *Layer management* yang mengatur fungsi-fungsi *layer* yang spesifik seperti pendeteksian kesalahan.
 - *Plane management* yang mengatur dan mengkoordinasikan antara seluruh *plane* yang ada.

Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet adalah standar IEEE 802.3z yang merupakan pengembangan dari 10 dan 100 Mbps *Ethernet*, dengan *frame* dari 64 sampai 1500 byte.

Gigabit Ethernet merepresentasikan peningkatan *data rate* dan pengurangan waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan *frame* dengan faktor 10. Hal ini dicapai dengan pengurangan dari diameter jaringan. Gambar 3 menunjukkan format *frame Gigabit Ethernet* dengan *carrier extension*.



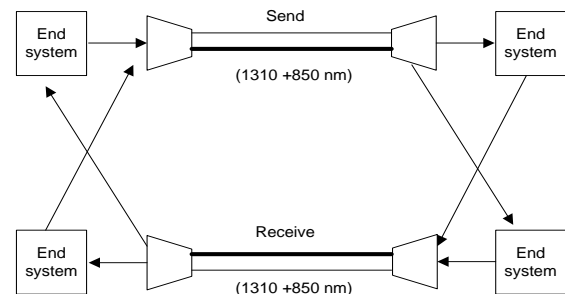
Gambar 3. Format *frame Gigabit Ethernet* dengan *carrier extension* (dalam byte).

Gigabit Ethernet memiliki kelebihan “*frame bursting*”, yang membolehkan *Gigabit Ethernet* untuk mentransmisikan beberapa *frame* pendek. Saat *station* telah diperbolehkan mengirimkan *frame*, yang mungkin memerlukan atau tidak memerlukan *carrier extension*, maka “*burst timer*” dimulai. Jika *frame* pertama sukses ditransmisikan, kemudian *station* pengirim mempunyai pilihan untuk mentransmisikan *frame* tambahan dimana dalam kondisi ada *frame* lain yang sudah antri dan *burst timer* belum berakhir. Awal dari *frame* terakhir dalam *burst* harus datang sebelum *burst timer* berakhir, tetapi pentransmisian tersebut bisa diperpanjang melebihi batas dari *burst timer*. Lama maksimum dari satu kali pentransmisian dapat berupa penjumlahan dari panjang *burst* dan ukuran maksimum *frame*, yang bisa mencapai 6 panjang ukuran maksimum *frame*. 96 bit *interframe gap* ditransmisikan berturut-turut pada setiap *frame* dalam *burst*.

Wavelength Division Multiplexing (WDM)

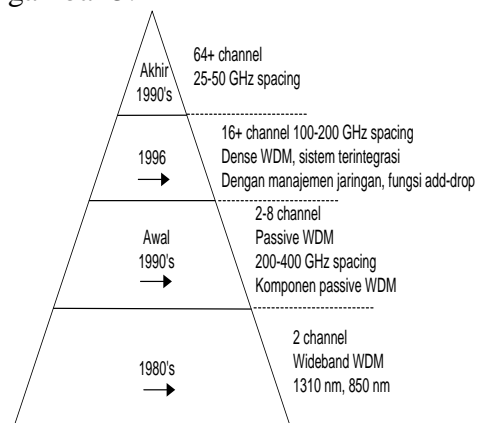
Wavelength division multiplexing (WDM) merupakan teknologi yang memultipleks beberapa sinyal pembawa optik pada sebuah serat optik tunggal dengan menggunakan panjang gelombang berbeda dari cahaya laser untuk membawa sinyal yang berbeda

Teknologi WDM menggunakan dua *widely space wavelength* di dalam wilayah 1310 nm dan 850 nm, diperlihatkan pada gambar 4

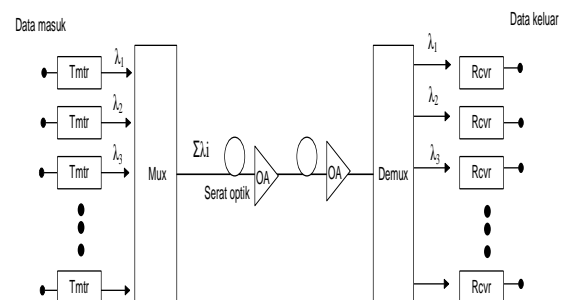


Gambar 4. WDM dengan dua kanal.

Kemajuan dari teknologi WDM dapat dilihat sebagai suatu peningkatan pada jumlah panjang gelombang yang diikuti oleh suatu penurunan pengaturan jarak antar panjang gelombang, ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Evolusi dari teknologi WDM.



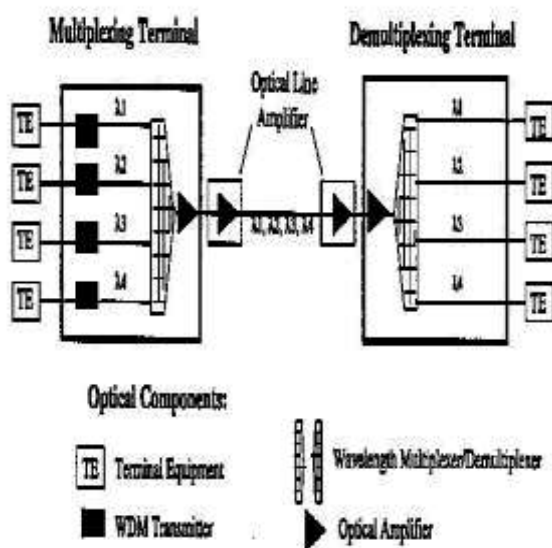
Gambar 6. Dasar konfigurasi sistem WDM.

Gambar 6 menjelaskan sistem dasar WDM untuk aplikasi pada transmisi dari titik ke titik berkapasitas besar. Sinyal untuk panjang gelombang yang berbeda telah dimultipleks secara optik sehingga N panjang gelombang ditransmisikan secara simultan pada jaringan serat optik. *Optical amplifier* digunakan untuk memperbaiki

kerugian yang terjadi dalam pentransmisian melalui serat optik seperti *attenuation* dan *loss* komponen. Pada *receiver* sinyal didemultipleks dan dideteksi oleh *opto-electronic receivers*.

Sistem *point-to-point* WDM

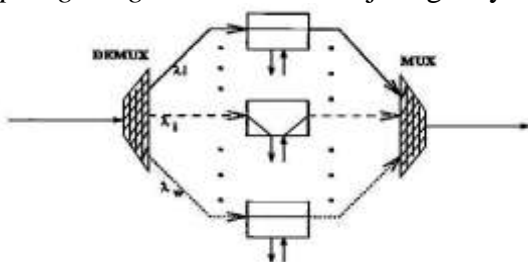
Gambar 7 menunjukkan sistem transmisi WDM *point-to-point* empat kanal dengan amplifier.



Gambar 7. Sistem transmisi WDM *point-to-point* empat kanal dengan amplifier.

Wavelength Add/Drop Multiplexer (WADM)

Pada gambar 8. WADM menggunakan *topologi ring* dalam arsitektur jaringannya.



Gambar 8. Wavelength add/drop multiplexer (WADM).

WADM terdiri dari *demux*, diikuti oleh 2 x 2 *switch* (satu *switch* untuk setiap panjang gelombang atau *wavelength*) dan terakhir *mux*. Jika seluruh dari 2 x 2 *switch* dalam kondisi *bar* maka semua panjang

gelombang mengalir melewati WADM. Jika salah satu dari 2 x 2 *switch* dikonfigurasi dalam keadaan *cross* menggunakan kontrol elektronik, sinyal pada panjang gelombang tersebut akan di *dropped* secara lokal, dan data stream baru dapat di *added* pada panjang gelombang yang sama dalam lokasi WADM ini. Fungsi dari *add/drop multiplexing* dapat diganti untuk implementasi dari *optical add/drop multiplexer* (OADM)

Optical Cross-connect (OXC)

Infrastruktur dari jaringan optik yang ada sekarang menggunakan *topologi mesh* dengan *optical cross-connect* (OXC).

Arsitektur jaringan optik menggunakan OXC dapat berupa *opaque* atau *transparent*. Gambar 9 menunjukkan 3 arsitektur node yang berbeda dari jaringan optik menggunakan OXC



9(a) Jaringan *opaque -opaque switch*.



9(b) Jaringan *opaque -transparent switch*.



9(c) Jaringan *transparent -transparent switch*.

Gambar 9. Arsitektur *node* untuk jaringan *mesh* optik menggunakan OXC.

Arsitektur 9(a) menunjukkan arsitektur jaringan *opaque*, dimana sinyal optik mengalami konversi optik-elektronik-optik (O-E-O) dengan *opaque* (O-E-O) *switch*. Arsitektur 9(b) menunjukkan *transparent* optik-optik-optik (O-O-O) *switch* antara sistem WDM dengan *transponder* yang

berupa O-E-O *switch* untuk *drop* trafik. Arsitektur ini juga berupa jaringan *opaque*, dimana sinyal optik mengalami konversi O-E-O pada WDM *transponder*.

Arsitektur 9(c) menunjukkan topologi jaringan *transparent* secara menyeluruh meliputi *transparent optical switch* dan sistem WDM yang tidak mengandung *transponder*.

All Optical Label Swapping (AOLS)

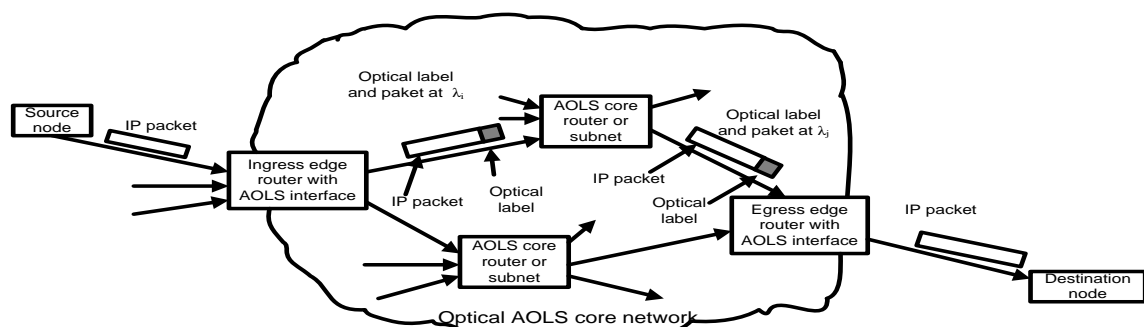
AOLS mengimplementasikan fungsi *routing* dan *forwarding* paket per paket secara langsung dalam *layer* optik. AOLS mengarah pada konsep penggunaan label optik untuk mengenkapsulasi paket IP dalam *layer* optik. Format label optik dipilih untuk pasangan terbaik dari teknologi *routing* dan *forwarding* optik

AOLS mempunyai kemampuan untuk mengirimkan langsung paket melalui jaringan optik tanpa harus melewati paket kedalam proses elektronik pada saat penentuan *routing* dibutuhkan. Jaringan inti paket optik dari AOLS digambarkan pada gambar 10. Paket IP masuk ke dalam jaringan inti pada suatu *ingress router* dan melakukan perjalanan ke berbagai titik cabang melalui inti, keluar pada suatu *egress router*. Paket ditangani di dalam jaringan oleh *router* inti AOLS atau *subnet* AOLS. Pada saat paket IP masuk ke dalam jaringan melalui *ingress*, paket IP dibungkus dengan label optik kemudian

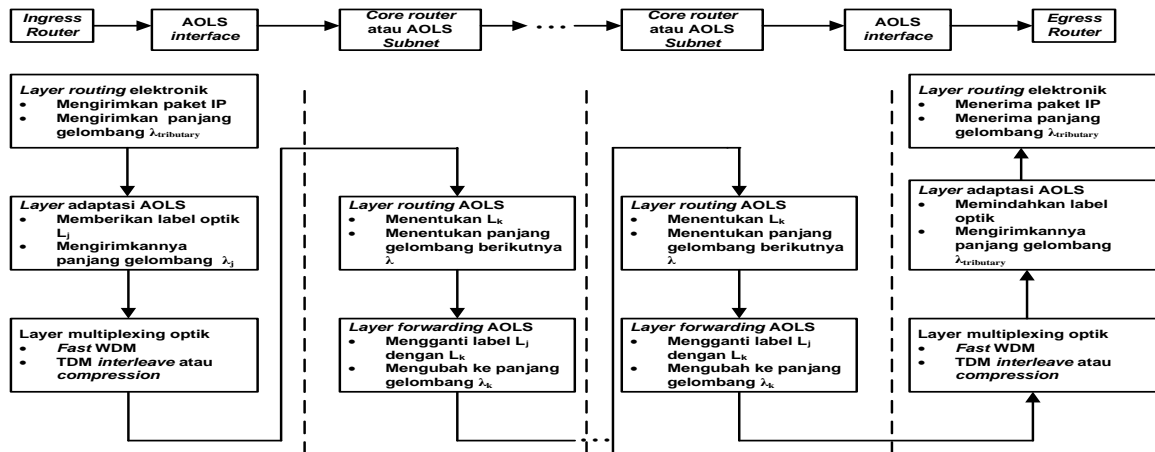
ditransmisikan kembali pada suatu panjang gelombang yang baru.

Label optik dan panjang gelombang yang baru ditentukan dengan membaca *header* paket IP dan menggunakan informasi yang disimpan di dalam *local table*. Setelah berada di jaringan, hanya label optik yang digunakan untuk membuat keputusan *routing* dan panjang gelombang digunakan untuk *forwarding* paket. Pada saat sampai di AOLS *core router* label dibaca dan secara optik dihapus, kemudian label baru ditambahkan pada paket dan paket yang sudah diberi label optik baru dikonversikan kedalam panjang gelombang yang baru menggunakan *wavelength converter*. Selama proses ini, isi paket tidak dikirimkan ke proses elektronik.

Gambar 11 melukiskan elemen fisik jaringan yang dihubungkan dengan hubungan serat optik dan hirarki dari *routing* dan *forwarding* paket. Paket IP dihasilkan pada *layer routing* elektronik dan diproses pada *layer adaptasi* yang membungkus paket IP dengan label optik tanpa memodifikasi struktur asli dari paket. *Layer adaptasi* juga mengubah paket dan label ke suatu panjang gelombang baru yang ditentukan oleh tabel *routing*. *Layer multiplexing* optik memultipleks paket-paket yang sudah diberi label ke suatu medium serat optik bersama.



Gambar 10. Optical label swapping dengan konversi di dalam jaringan inti optik menggunakan *edge* dan inti WDM IP *router*.

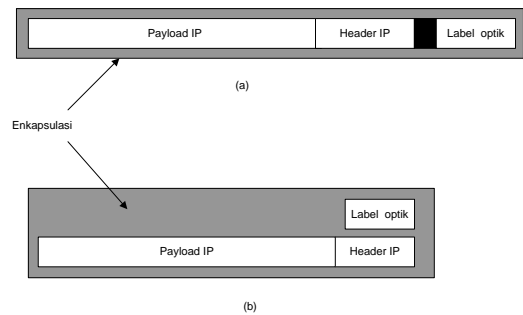


Gambar 11. Hirarki dari *routing* dan *forwarding* dan diagram hubungan antar elemen untuk jaringan AOLS.

Saat berada di dalam jaringan inti, *router* inti atau *subnet* melaksanakan fungsi *routing* dan *forwarding*. Fungsi *routing* menentukan label dan panjang gelombang baru dari tabel *routing*. Tabel *routing* (pada *egress* dan *router* inti) dihasilkan dengan mengkonversi alamat IP ke dalam pasangan label dan panjang gelombang dan mendistribusikannya ke dalam jaringan. Fungsi *forwarding* meliputi penukaran label asli dengan label baru dan secara fisik mengkonversi paket yang telah diberi label ke dalam panjang gelombang yang baru. Proses sebaliknya dari *demultiplexing* optik, adaptasi, dan *routing* elektronik dilaksanakan pada *egress*.

Teknik Pengkodean Label Optik

Metode dari pengkodean label ke dalam paket berhubungan dengan efisiensi *bandwidth* kanal, kualitas transmisi dari paket dan label, dan metode terbaik untuk mengkonversi panjang gelombang paket dan penukaran label secara optik. Dua pendekatan untuk pengkodean label secara optik yaitu label *serial* dan label *subscriber multiplex* optik yang digambarkan pada gambar 12



Gambar 12. Teknik pengkodean label optik
(a) label *serial* dan (b) label *subscriber multiplex*.

Dengan pengkodean label *serial bit rate* yang tetap dimultipleks pada bagian *header* paket IP yang keduanya dipisahkan oleh *optical guard band* (OGB) seperti yang digambarkan pada gambar 12(a). OGB digunakan untuk memfasilitasi pemindahan dan pengisian kembali label tanpa *buffering* paket yang statik dan untuk mengakomodasi waktu *switching* yang terbatas dari *switching* optik dan pengkonversian panjang gelombang. *Bit serial* label di-encode-kan pada panjang gelombang yang sama seperti paket IP dan di-encode-kan sebagai sinyal *baseband*. Untuk label *subcarrier multiplex* optik suatu label *baseband* dimodulasikan kedalam RF *subcarrier* dan kemudian dimultipleks dengan paket IP pada panjang gelombang yang sama seperti yang terlihat pada gambar 12(b). OGB tidak diperlukan

didalam kasus *subcarrier* dimana label ditransmisikan secara paralel bersama paket. Tranparansi paket direalisasikan dengan mengeset *bit rate* label yang tetap dan format modulasi yang berdiri sendiri dari *bit rate* paket. Pemilihan *bit rate* label dilakukan oleh kombinasi dari beberapa faktor, termasuk kecepatan dari pemulihan mode *burst* elektronik dan durasi dari label yang berhubungan dengan paket terpendek pada *bit rate* dari paket yang tercepat.

Label *subcarrier* dapat dipindahkan dan ditempatkan kembali secara lebih *asynchronous* dengan kemungkinan paket mengalami *dispersi* termasuk *fading*.

Fungsi Dan Bangunan Blok AOLS

Perbaikan label, *label swapping* dan *forwarding* paket adalah fungsi dasar yang ditangani oleh AOLS, seperti yang digambarkan pada gambar 13.

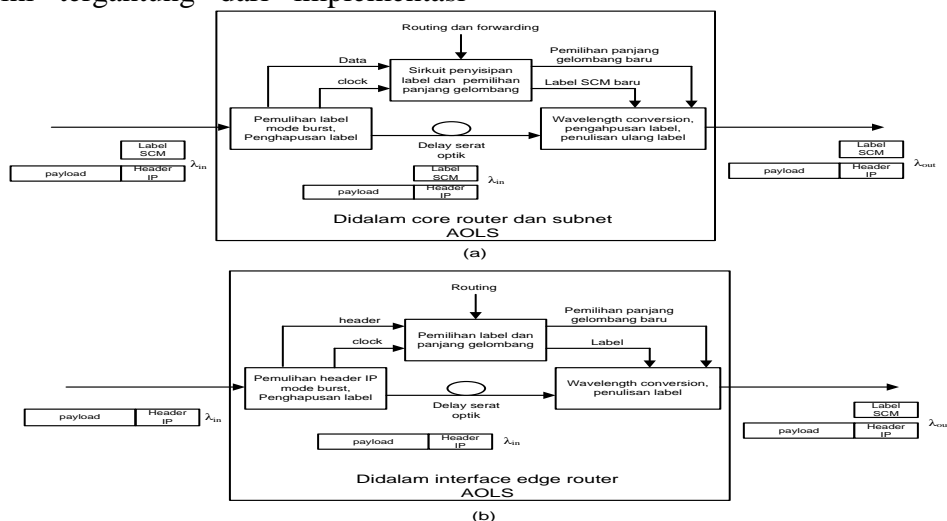
Didalam *core router* atau *subnet* AOLS modul perbaikan label mode *burst* digunakan untuk memperbaiki *clock* label dan data untuk pemrosesan dalam *routing* sirkuit elektronik tanpa secara signifikan mengganggu keluar masuknya paket data optik. Sirkuit *routing* memetakan label dan panjang gelombang yang masuk kedalam label dan panjang gelombang yang baru berdasarkan dari tabel *routing*. Proses penghapusan label dibangun di dalam *stage* ini tergantung dari implementasi

teknologinya. *Stage* kedua melaksanakan penghapusan label (jika tidak dilaksanakan pada *stage* pertama), pengkonversian panjang gelombang dan label *rewriting* menggunakan *wavelength converter* atau kombinasi dari *wavelength converter* dan *filter* optik. Fiber optik *delay* mengikuti *stage* perbaikan label untuk mencocokkan *delay* proses *routing* dengan kedatangan paket pada *stage* optik kedua. Suatu *edge router* menggunakan sedikit modifikasi dari *stage* pertama untuk mendeteksi *header* paket IP dengan gangguan yang minimum pada paket. *Stage* kedua melaksanakan proses yang sama dari *wavelength converter* dan *label rewriting* seperti pada *core router*.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara sistematis, sebagai berikut :

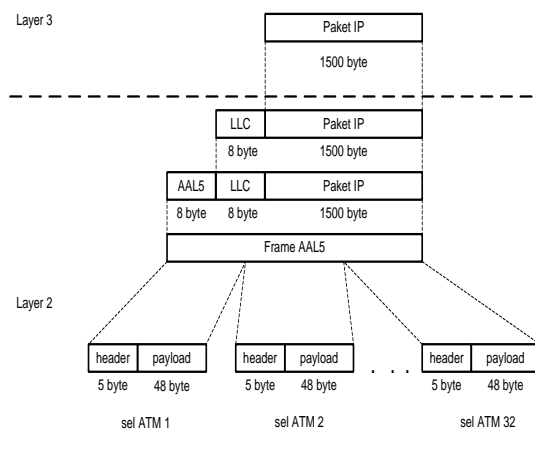
1. Melakukan proses enkapsulasi paket IP melalui ATM.
2. Melakukan tentang proses enkapsulasi paket IP melalui *Gigabit Ethernet*.
3. Menghitung jumlah *overhead* yang dialami paket IP pada proses enkapsulasi paket IP melalui ATM.
4. Menghitung jumlah *overhead* yang dialami paket IP pada proses enkapsulasi paket IP melalui *Gigabit Ethernet*.



Gambar 13. Bangunan blok untuk AOLS (a) *core router* atau subnet dan (b) *edge router*.

5. Membandingkan jumlah *overhead* yang dialami paket IP antara melalui ATM dan *Gigabit Ethernet*.
6. Melakukan proses *routing* yang dialami paket IP melalui jaringan *opaque*.
7. Melakukan proses *routing* yang dialami paket IP melalui jaringan AOLS.
8. Membandingkan proses *routing* yang dialami paket IP antara jaringan *opaque* dengan AOLS.

D. Hasil dan Pembahasan Paket IP melewati ATM



Gambar 14. Enkapsulasi paket IP kedalam sel ATM.

Pada saat paket IP melewati ATM, paket akan mendapat tambahan 8 *byte header Logical Link Layer (LLC)* yang berisikan ID protokol yang lebih tinggi dan juga LLC menyediakan *interface* ke dalam *network layer*. Paket diteruskan ke *ATM Adaptation Layer 5 (AAL5)*, dan ditambahkan *overhead 8 byte* untuk membentuk *frame AAL5*. *Layer AAL5* kemudian memecah *frame* tersebut menjadi sel-sel ATM dengan masing-masing sel berukuran 48 *byte* ditambah 5 *byte header*. Kemudian paket dikirimkan ke *ATM layer* yang berfungsi untuk sel *multiplexing* dan *demultiplexing* serta mengirimkan sel ke dalam *ATM network*. *ATM layer* menggunakan informasi *Virtual Path Identifier (VPI)* dan *Virtual Channel Identifier (VCI)* dalam *header* dari setiap

sel ATM. *ATM Network* merupakan *Connection-Oriented*, dimana *Virtual Channel (VC)* harus dibangun melintasi *ATM Network* sebelum terjadi pengiriman data.

Pada ATM, paket IP sebesar 1500 *byte*, akan ditambahkan 8 *byte header LLC*. Kemudian ditambahkan lagi 8 *byte header ATM AAL5* serta 20 *byte pad* untuk membuat panjang paket menjadi kelipatan 48 *byte*. Jumlah total *frame AAL5* menjadi 1536 *byte*. Setelah itu *frame AAL5* itu dipecah menjadi segmen-segmen yang berukuran 48 *byte* sehingga terdiri atas 32 sel ATM. Setiap sel ATM terdiri dari 5 *byte header* dan 48 *byte payload*. Total jumlah *byte* adalah 1696 *byte*.

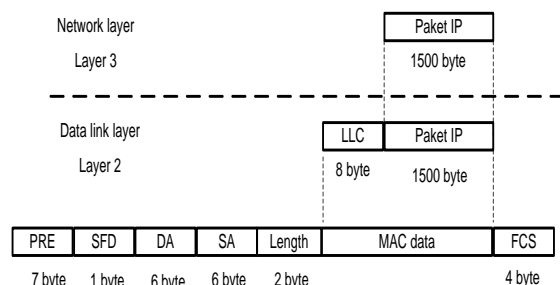
Dengan total tambahan *overhead* sebesar 196 *byte* pada paket 1500 *byte* maka :

Besar *overhead* yang dialami paket IP (%)

$$= \frac{196}{1500} \times 100\% = 13,07\%$$

Paket IP Melewati *Gigabit Ethernet*.

Pada saat paket IP melewati *Gigabit Ethernet*, paket IP tersebut akan dikirimkan ke dalam LLC dan paket tersebut akan ditambahkan *header LLC*. *Byte LLC* akan dimasukkan dalam bidang data. Kemudian paket dan *byte LLC* akan dibungkus ke dalam *payload* untuk membentuk *frame MAC Gigabit Ethernet*. Enkapsulasi paket IP ke dalam *Frame Gigabit Ethernet* dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Enkapsulasi paket IP ke dalam *frame Gigabit Ethernet*.

Setelah itu dengan menggunakan versi 1000Base-X, *frame Gigabit Ethernet* tersebut di-*encode* ke dalam sinyal pembawa optik menggunakan 8B/10B *encoding*. Dalam 8B/10B *encoding* setiap *byte* atau 8 bit data dipetakan dalam 10 bit *group code* untuk transmisi *serial bit*. Dengan 1000Base-X keluarannya sebesar 1Gbps dan *line rate*-nya sebesar 1,25 Gbps. Jadi keluaran dari *Gigabit Ethernet* ini adalah berupa paket IP yang sudah di dalam *frame Gigabit Ethernet* dan telah di-*encode* menjadi sinyal optik.

Pada *Gigabit Ethernet*, paket IP sebesar 1500 *byte* akan ditambahkan 8 *byte header* LLC. Kemudian ditambahkan 26 *byte frame Gigabit Ethernet* sehingga totalnya menjadi 1534 *byte*

Dengan total tambahan *overhead* sebesar 34 *byte* pada paket 1500 *byte* maka :

Besar *overhead* yang dialami paket IP (%)

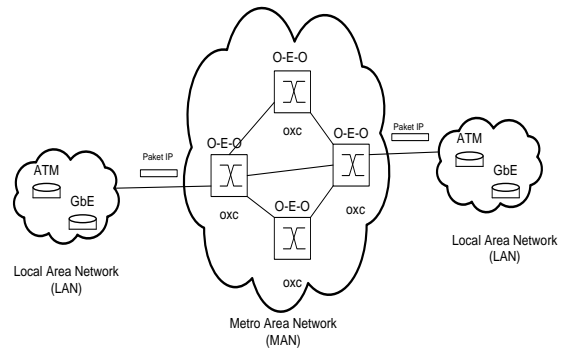
$$= \frac{34}{1500} \times 100\% = 2,27\%$$

Tabel Perbandingan ATM dan *Gigabit Ethernet*

ATM	<i>Gigabit Ethernet</i>
<i>Connection-oriented</i>	<i>Connectionless</i>
Data rate dari 155 Mbps sampai 2 Gbps	Data rate 1,25 Gbps
Jumlah <i>overhead</i> lebih besar untuk ukuran paket 1500 <i>byte</i>	Jumlah <i>overhead</i> lebih sedikit untuk ukuran paket 1500 <i>byte</i>
Pengiriman pakatnya berbasis sel berukuran tetap	Pengiriman paket berbasis <i>frame</i>
Digunakan untuk SDH atau SONET	Digunakan umum untuk LAN

Paket IP Melewati Jaringan *Opaque*

Infrastruktur jaringan optik yang ada sekarang ini sebagian besar menggunakan OXC yang berupa jaringan *opaque* dengan *opaque switch*. Gambar 16 mengilustrasikan bagaimana bentuk jaringan *metro opaque*.



Gambar 16. Arsitektur jaringan *metro opaque*.

Jaringan *opaque* menggunakan *opaque switch* berarti bahwa paket IP dalam pentransmisiannya akan mengalami konversi O-E-O. Proses yang terjadi pada *opaque switch* terlihat pada gambar 17.

Sinyal optik dilewatkan pada O-E-O *transponder*, yang biasanya mengubah sinyal optik pada *region* 1310 nm. Sinyal Optik tersebut kemudian diubah ke dalam bentuk elektrik dan didemultipleks ke dalam sinyal STS-1. Sinyal optik dihubungkan silang menggunakan sebuah $n \times n$ STS-1 matrik dan dimultipleks ke rate SONET yang lebih tinggi. Kemudian sinyal ditransformasi ke optik, dalam *region* 1310 nm dan akhirnya dikonversi ke panjang gelombang keluaran yang sesuai dengan menggunakan O-E-O *transponder* yang melakukan konversi panjang gelombang statis.

Dari proses tersebut terlihat bahwa untuk proses *routing* di dalam jaringan *opaque*, sinyal optik yang membawa paket IP akan dikonversi menjadi elektrik untuk menentukan jalur berikutnya. Setelah ditentukan jalur mana yang akan dilalui maka paket yang sebelumnya sudah dikonversi menjadi elektrik, akan diubah lagi menjadi optik untuk proses *forwarding* selanjutnya.

Paket IP Melewati Jaringan All Optical Label Swapping (AOLS)

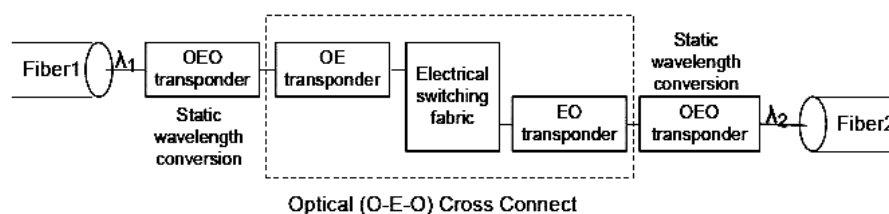
AOLS mengimplementasikan fungsi *routing* dan *forwarding* paket per paket secara langsung dalam *layer* optik. AOLS mengarah pada konsep penggunaan label optik untuk mengenkapsulasi paket IP dalam *layer* optik. AOLS memberikan kemampuan fungsional untuk mengirimkan langsung paket melalui jaringan optik tanpa harus melewati paket ke dalam proses elektronik pada saat penentuan *routing* dibutuhkan. Suatu jaringan inti paket optik dari AOLS digambarkan pada gambar 17. Paket IP masuk ke dalam jaringan inti pada suatu *ingress router* dan melakukan perjalanan ke berbagai titik cabang melalui inti, keluar pada suatu *egress router*. Paket ditangani di dalam jaringan oleh *router* inti AOLS atau *subnet* AOLS. Pada saat paket IP masuk ke dalam jaringan melalui *ingress*, paket IP tersebut dibungkus dengan label optik dan kemudian ditransmisikan kembali pada suatu panjang gelombang yang baru. Label optik dan panjang gelombang yang baru ditentukan dengan membaca *header* paket IP dan menggunakan informasi yang disimpan di dalam *local table*. Setelah berada di jaringan, hanya label optik yang digunakan untuk membuat keputusan *routing* dan

panjang gelombang digunakan untuk *forwarding* paket.

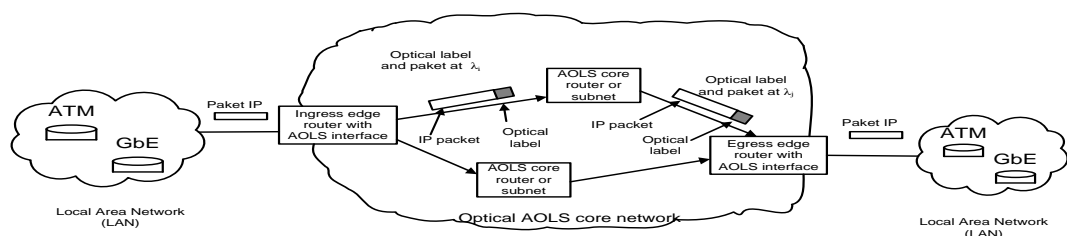
Pada saat sampai di AOLS *core router* label dibaca dan secara optik dihapus, kemudian label baru ditambahkan pada paket dan paket yang sudah diberi label optik baru tersebut dikonversikan ke dalam panjang gelombang yang baru menggunakan *wavelength converter*. Selama proses ini, isi paket (seperti *header* paket IP dan *payload*) tidak dikirimkan ke proses elektronik.

Konsep Jaringan Lasagne OALS

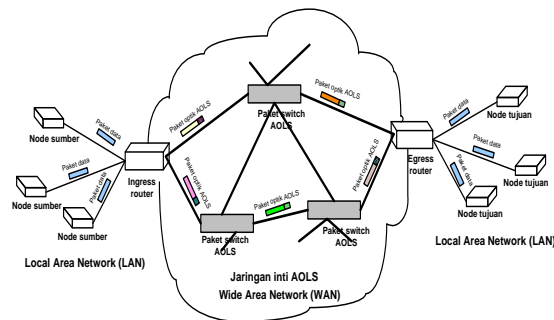
Suatu contoh dari jaringan AOLS digambarkan pada gambar 19. Paket IP masuk ke dalam jaringan AOLS melalui *ingress node*. Paket dengan *bit rate* rendah (~10 Gb/s) dimultipleks dalam daerah optik menjadi bentuk paket dengan *bit rate* tinggi (~40-80 Gb/s), dibungkus dengan label optik, ditransmisikan kembali pada panjang gelombang baru jika dibutuhkan. Pada saat berada pada *metropolitan area network* (MAN) atau *wide area network* (WAN), hanya label optik yang digunakan untuk menentukan keputusan *routing*, dimana panjang gelombang digunakan untuk mem-*forward* paket dengan *bit rate* yang tinggi.



Gambar 17. Proses Elektronik Switching pada *opaque switch*.



Gambar 18. Arsitektur jaringan All optical label swapping (AOLS).



Gambar 19. Skenario jaringan LASAGNE AOLS.

Setiap AOLS *router* menggunakan isi dari label yang telah diekstrak untuk melaksanakan keputusan *forwarding* dan mem-forward paket ke arah *egress edge router*. *Optical core router* melaksanakan operasi *routing* dan *forwarding* bersamaan dengan konversi panjang gelombang dan label *swapping*. Dalam keseluruhan proses ini, paket dengan *bit rate* yang tinggi tetap dijaga di dalam daerah optik.

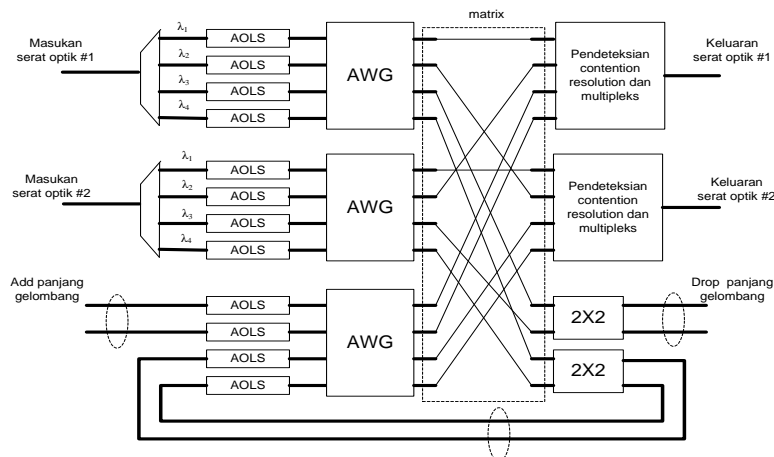
Desain Node

Kemampuan utama yang dibutuhkan oleh AOLS (pembacaan label, penyisipan label baru, dan *routing* paket) didasarkan pada penggunaan *all-optical logic gates* dan *flip-flop*. Pada gambar 20, panjang gelombang yang memasuki *node* didemultipleks terlebih dahulu dan untuk setiap panjang gelombang blok AOLS diimplementasikan. Pada gambar 21 saat paket memasuki modul AOLS, label optik (10 Gbps)

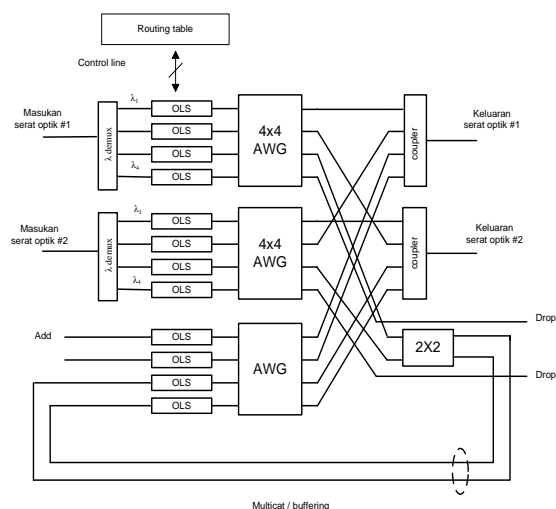
dipisahkan dari paket *payload* (40 Gbps) oleh sirkuit pemisah label dan *payload*. Setelah dipisahkan *payload* paket secara optik diperlambat oleh *optical delay line* (ODL) guna memberikan waktu untuk pemrosesan dari label. ODL berfungsi sebagai *buffer* optik untuk *payload* paket. Hasil ekstraksi label dimasukkan ke dalam bank dari *optic correlators* yang didasarkan pada *all-optical logic XOR gates* (AOLXGs), dimana perbandingan antara label dan set dari alamat lokal dilakukan.

Alamat lokal ini dihasilkan menggunakan *optical delay line* (ODL). Suatu ODL terdiri atas satu set dari *fiber delay line* yang terinkoneksi, *couplers*, dan *splitter* yang menghasilkan urutan bit keluaran dari satu pulsa. Setelah membandingkan, pulsa dengan intensitas yang tinggi akan muncul pada keluaran dari XOR dengan alamat yang cocok. Pulsa ini memberi masukan pada blok kontrol yang mengarahkan *wavelength converter*. Blok kontrol ini disusun dari *all-optical flip-flop* (AOFF).

Bergantung pada kecocokan alamat (keluaran pulsa *correlator*), *flip-flop* yang sesuai akan memancarkan sinyal *continous wave* (cw) pada panjang gelombang tertentu. Sementara itu, label baru dihasilkan di dalam ODL yang sesuai. Label baru disisipkan di depan *payload* dan keduanya (*payload* dan label baru) kemudian dikonversi menjadi panjang gelombang yang dihasilkan oleh *flip-flop*.



Gambar 20. Arsitektur yang diusulkan untuk *routing photonic*.



Gambar 26. Arsitektur node dasar STOLAS.

Tabel perbandingan antara AOLS dengan opaque

Opaque	AOLS
Tidak menambahkan label optik	Menambahkan label optik
Untuk proses <i>routing</i> , opaque akan memproses seluruh paket	Untuk proses <i>routing</i> , AOLS hanya memproses label optik
Pada proses <i>routing</i> , paket berada dalam domain elektrik	Pada proses <i>routing</i> , label dan <i>payload</i> berada dalam domain optik

Tabel perbandingan antara LASAGNE dengan STOLAS

LASAGNE	STOLAS
Bit Serial label	Orthogonal label
Payload rate 40 Gbps dan label rate 10 Gbps	Payload rate 10 Gbps dan label rate 155 Mbps
Label swapping menggunakan All optical logic XOR gate dan Optical Flip-Flop	Label Swapping oleh Mach Zehnder Interferometer (MZI) menggunakan Semiconductor Optical Amplifier (SOA)

E. Kesimpulan dan Saran

1. Paket IP melalui *Gigabit Ethernet* mempunyai *overhead* yang lebih sedikit dibandingkan melalui ATM pada paket IP sebesar 1500 byte.
2. *Gigabit Ethernet* lebih baik untuk pengembangan infrastruktur jaringan berbasis IP dibanding ATM.
3. Perbedaan terbesar dari jaringan opaque dan AOLS adalah pada penentuan proses *routing*. Pada jaringan opaque terjadi konversi O-E-O, sedangkan pada AOLS terjadi konversi O-O-O.
4. Jaringan AOLS hanya memproses label optik untuk menentukan *routing* selanjutnya dari paket.
5. Pada LASAGNE pemrosesan label optiknya dilakukan pada domain optik sedangkan pada STOLAS dalam domain elektrik.
6. Dengan infrastruktur yang ada di Indonesia, teknologi AOLS bisa diterapkan, tanpa harus mengganti seluruh infrastruktur yang telah ada.

Daftar Pustaka

- [1]. Blumenthal, D.J. 2000. *All-Optical Label Swapping Networks and Technologies*. Journal of Lighthouse Technology. Vol. 18. No. 12 December Tanggal 5 Desember 2005.
- [2]. Blumenthal, D.J. 2002. *All-Optical Label Swapping for the Future Internet*, Optics & Photonics News, America. Tanggal 18 Mei 2007.
- [3]. Bakes, Catherine Murphy., Chan M. Kim, Calvin T. Ramos. 2000. *An Assessment of Gigabit Ethernet Technology and Its Applications at the NASA Glenn Research Center*. NASA.
- [4]. C. D., Cantrell. 2003. *Transparent Optical Metropolitan-Area Networks*. Photonic Technology and Engineering Center University of Texas at Dallas.
- [5]. Ramos, F., E. Kehayas, J. M. Martinez, R. Clavero, J. Marti, L. Stampoulidis,

- D. Tsiokos, H. Avramopoulos, J. Zhang, P. V. Holm-Nielsen, N. Chi, P. Jeppesen, N. Yan, I. Tafur Monroy., A. M. J. Koonen, M. T. Hill, Y. Liu, H. J. S. Dorren, R. Van Caenegem, D. Colle, M. Pickavet, B. Risopati. 2005. *IST-LASAGNE: Towards All-Optical Label Swapping Employing Optical Logic Gates and Optical Flip-Flops*. Journal Of Lightwave Technology. Vol 23. No 10.
- [6]. Garcia, Leon., Widjaja. 2000. *Communication Network*. McGraw-Hill Companies. United States.
- [7]. Gibson, D., Jerry. 2002. *Communication Handbook Second Edition*. CRC Press LLC. United States of America.
- [8]. Koonen, Ton., Idelfonso, Tafur Monroy, J.J Vegas Olmos, Christophe Peucheret, Jean Jennen, Evi Zouganeli, Erik Van Breusegem, Geert Morthier, Jos van der Tol, Tommy Mullane, Kristian Blidegn, Peter Raaby. 2004. *Optical Label Switched Networks-the FP5-IST STOLAS project*. BroadBand Europe. Brugge. Belgium.