

Oleh :

Agustini Rodiah Machdi

Abstrak

Multiprotocol Label Switching (disingkat menjadi MPLS) adalah teknologi penyampaian paket pada jaringan backbone berkecepatan tinggi. Asas kerjanya menggabungkan beberapa kelebihan dari sistem komunikasi circuit-switched dan packet-switched yang melahirkan teknologi yang lebih baik dari keduanya. Sebelumnya, paket-paket diteruskan dengan protokol routing seperti OSPF, IS-IS, BGP, atau EGP. Protokol routing berada pada lapisan network (ketiga) dalam sistem OSI, sedangkan MPLS berada di antara lapisan kedua dan ketiga.

Prinsip kerja MPLS ialah menggabungkan kecepatan switching pada layer 2 dengan kemampuan routing dan skalabilitas pada layer 3. Cara kerjanya adalah dengan menyelipkan label di antara header layer 2 dan layer 3 pada paket yang diteruskan. Label dihasilkan oleh Label-Switching Router yang bertindak sebagai penghubung jaringan MPLS dengan jaringan luar. Label berisi informasi tujuan node selanjutnya kemana paket harus dikirim. Kemudian paket diteruskan ke node berikutnya, di node ini label paket akan dilepas dan diberi label yang baru yang berisi tujuan berikutnya. Paket-paket diteruskan dalam path yang disebut LSP (Label Switching Path).

Kata Kunci : *Multiprotocol Label Switching, backbone, protokol routing, switching, Label Switching Path*

1. PENDAHULUAN

MPLS pada awalnya diusulkan oleh sekelompok insinyur dari Ipsilon Networks, yang dinamakan teknologi "IP Switching", yang didefinisikan hanya untuk bekerja melalui ATM, tetapi tidak mencapai dominasi pasar. Cisco Systems, Inc, memperkenalkan sebuah proposal yang terkait, tidak terbatas pada transmisi ATM, yang disebut dengan teknologi "Tag Switching". Ini merupakan proposal proprietary Cisco, dan telah berganti nama menjadi "Label Switching". Proposal itu diserahkan kepada IETF untuk distandardisasi secara terbuka. Pekerjaan IETF melibatkan proposal dari vendor lainnya, dan konsensus pengembangan protokol yang mempunyai fitur gabungan dari beberapa vendor.

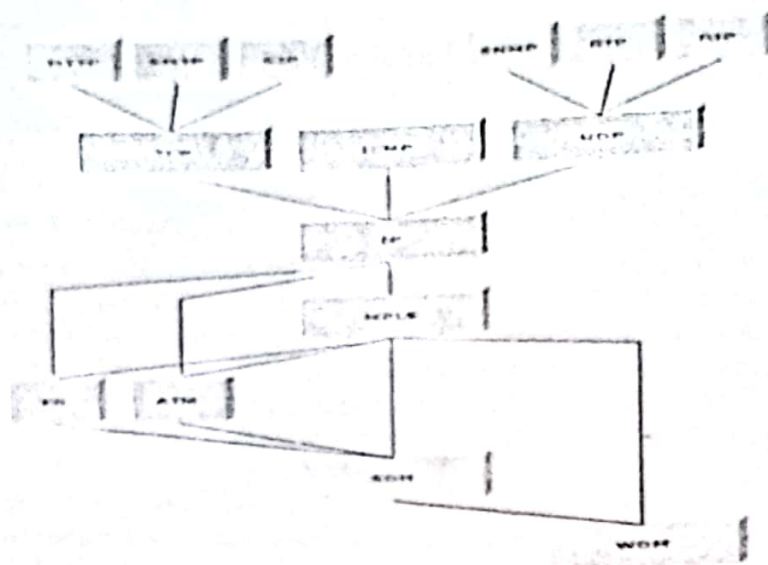
Salah satu motivasi awal adalah untuk memungkinkan penciptaan switch sederhana

berkecepatan tinggi, karena untuk jangka waktu yang signifikan mustahil meneruskan paket IP sepenuhnya dalam perangkat keras. Namun, kemajuan dalam VLSI telah membuat perangkat tersebut memungkinkan. Oleh karena itu keuntungan dari MPLS terutama berkisar pada kemampuan untuk mendukung beberapa model layanan dan melakukan manajemen lalu lintas. MPLS juga mempunyai framework recovery yang kuat yang lebih baik daripada ring protection dari jaringan optik sinkronis (SONET / SDH).

MPLS merupakan salah satu bentuk konvergensi vertikal dalam topologi jaringan. MPLS menjanjikan banyak harapan untuk peningkatan performansi jaringan paket tanpa harus menjadi rumit seperti ATM. Metode MPLS membangkitkan gagasan untuk mengubah paradigma routing di layer-layer jaringan yang ada selama ini, dan

mengkongruensikannya ke dalam sebuah metode, yang dinamai GMPLS. GMPLS melakukan forwarding data menggunakan VC tingkat rendah dan tingkat tinggi di SDH, dan panjang-gelombang di WDM, dan serat-

serat dalam FO; terpadu dengan routing di layer IP.

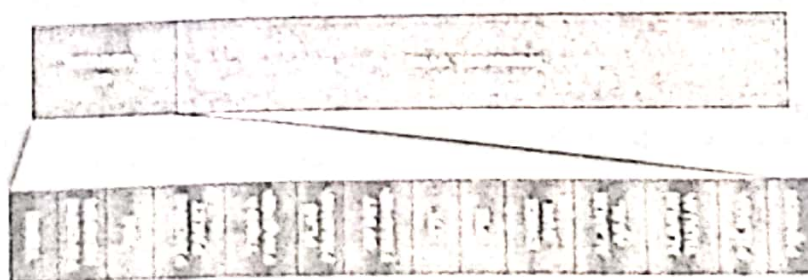


Gambar 1. MPLS, konvergensi vertikal dalam topologi jaringan

2. JARINGAN PROTOKOL IP

IP adalah standar de facto dalam komunikasi komputer bersistem unix, yang kemudian menjadi standar komunikasi global. Buku [Hall 2000] banyak mendalami network IP dan protokol-protokol utama di dalamnya. Paket adalah blok data yang dilengkapi dengan informasi alamat yang diperlukan

untuk penghantaran data itu. Setiap paket dihantarkan secara terpisah tanpa saling berhubungan. Datagram adalah format paket data yang didefinisikan dalam IP, terdiri atas header dan data. Header mengandung informasi alamat dan fungsi kontrol lainnya.



Gambar 2. Frame Paket IP

2.1. Routing IP

IP menghantarkan paket dengan memeriksa alamat tujuan di header. Jika alamat tujuan masih merupakan bagian dalam sebuah network, paket dihantarkan langsung ke

host tujuan. Jika alamat tujuan bukan merupakan bagian internal network, paket dikirimkan ke network lain dengan mekanisme yang disebut routing. Perangkat untuk memilih, mengirim, dan menerima paket IP antar network disebut router.

IP melakukan pemilihan routing untuk setiap paket. Tidak ada pertukaran informasi kontrol (handshake) untuk membentuk hubungan dari ujung ke ujung sebelum transmisi data. Karenanya, IP disebut protokol tanpa koneksi (connectionless). IP mengandalkan protokol di layer lain untuk keperluan itu, dan juga keperluan seperti pemeriksaan dan perbaikan kesalahan. Dalam proses routing IP, tidak terdapat mekanisme pemeliharaan QoS.

2.2. Protokol di Atas IP

Saat sebuah datagram diterima di sebuah host, data dialihkan ke protokol di atas IP. Pemilihan protokol ini berdasar field identifikasi paket (PIDD) di header paket. Setiap protokol memiliki angka yang unik dan baku. Misalnya PIDD 6 menunjukkan TCP, 17 untuk UDP, dan 1 untuk ICMP.

3. QoS PADA JARINGAN PROTOKOL IP

QoS adalah hasil kolektif dari berbagai kriteria performansi yang menentukan tingkat kepuasan penggunaan suatu layanan. Umumnya QoS dikaji dalam kerangka pengoptimalan kapasitas network untuk berbagai jenis layanan, tanpa terus menerus menambah dimensi network. Berbagai aplikasi memiliki jenis kebutuhan yang berbeda. Misalnya transaksi data bersifat sensitif terhadap distorsi tetapi kurang sensitif terhadap delay. Sebaliknya, komunikasi suara bersifat sensitif terhadap tundaan dan kurang sensitif terhadap kesalahan. Tabel berikut [Dutta-Roy 2000] memaparkan tingkat kepekaan performansi yang berbeda untuk jenis layanan network yang berlainan.

Tabel 1. Tingkat Kepekaan Performansi Layanan IP

LAYANAN	KEPEKAAN PERFORMANSI			
	BAND WIDTH	LOSS	DELAY	JITTER
Voice	Rendah	Medium	Tinggi	Tinggi
Transaksi Data	Rendah	Tinggi	Tinggi	Rendah
Email	Rendah	Tinggi	Rendah	Rendah
Browsing Biasa	Rendah	Medium	Medium	Rendah
Browsing Serious	Medium	Tinggi	Tinggi	Rendah
Transfer File	Tinggi	Medium	Rendah	Rendah
Video Conference	Rendah	Medium	Tinggi	Tinggi
Multicasting	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

IP tidak memiliki mekanisme pemeliharaan QoS. Protokol seperti TCP memang memungkinkan jaminan validitas data, sehingga suite TCP/IP selama ini dianggap cukup ideal bagi transfer data. Tetapi verifikasi data mengakibatkan tundaan hantaran paket. Lagipula mekanisme ini tidak dapat digunakan untuk paket dengan protocol UDP, seperti suara dan video.

Beberapa skema telah diajukan untuk mengelola QoS dalam network IP. Dua skema utama adalah Integrated Services (IntServ) dan Differentiated Services (DiffServ).

IntServ bertujuan menyediakan sumberdaya seperti bandwidth untuk trafik dari ujung ke ujung. Sementara DiffServ bertujuan membagi trafik atas kelas-kelas yang kemudian diberi perlakuan yang berbeda.

3.1. Integrated Service (IntServ)

IntServ (RFC-1633) terutama ditujukan untuk aplikasi yang peka terhadap tundaan dan keterbatasan bandwidth, seperti videoconference dan VoIP. Arsitekturnya berdasar sistem pencadangan sumberdaya per aliran trafik. Setiap aplikasi harus mengajukan

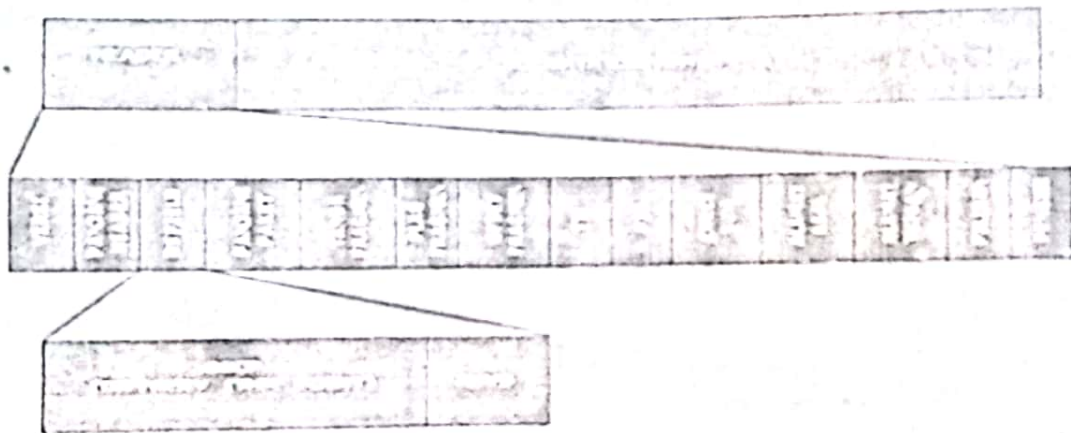
permintaan bandwidth, baru kemudian melakukan transmisi data.

Masalah dalam IntServ adalah skalabilitas (RFC-2998). Setiap node di network harus mengenali dan mengakui mekanisme ini. Juga protokol RSVP berlipat untuk setiap aliran trafik. Maka IntServ menjadi baik hanya untuk voice dan video, tetapi sangat tidak tepat untuk aplikasi semacam web yang aliran trafiknya banyak tapi datanya kecil.

3.2. Differentiated Service (DiffServ)

DiffServ (RFC-2475) menyediakan diferensiasi layanan, dengan membagi trafik

atas kelas-kelas, dan memperlakukan setiap kelas secara berbeda. Identifikasi kelas dilakukan dengan memasang semacam kode DiffServ, disebut DiffServ code point (DSCP), ke dalam paket IP. Ini dilakukan tidak dengan header baru, tetapi dengan menggantikan field TOS (type of service) di header IP dengan DS field, seperti yang dispesifikasikan di RFC-2474. Dengan cara ini, klasifikasi paket melekat pada paket, dan bisa diakses tanpa perlu protokol persinyalan tambahan.



Gambar 3. Penyisipan Field Kode DiffServ pada Frame Paket IP

3.3. Perbandingan IntServ dan DiffServ

Perbandingan IntServ dan DiffServ dipaparkan dalam table berikut (Dovrolis & Ramanathan 1999).

Tabel 2. Perbandingan IntServ dan DiffServ

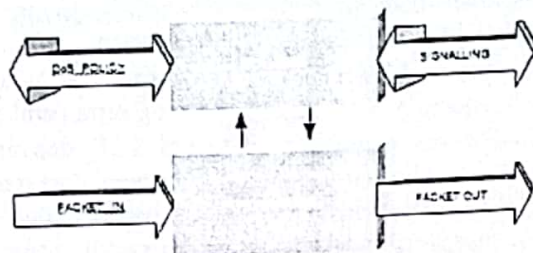
	INTSERV	DIFFSERV
Granularity of service differentiation	Individual flow	Aggregate flows
Traffic classification basis	Deterministic or statistical guarantees	Absolute or relative assurances
Admission control	Required	Required for absolute differentiation only
Signalling protocol	Required (RSVP)	Not required for relative schemes
Coordination for service differentiation	End-to-end	Local (per-hop)
Scalability	Limited by the number of flows	Limited by the number of classes of service
Network management	Similar to circuit-switched networks	Similar to existing IP networks
Interdomain deployment	Multilateral agreements	Bilateral agreements

4. MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)

Teknologi ATM dan frame relay bersifat connection-oriented: setiap virtual circuit harus disetup dengan protokol persinyalan sebelum transmisi. IP bersifat connectionless: protokol routing menentukan arah pengiriman paket dengan bertukar info routing.

MPLS mewakili konvergensi kedua pendekatan ini.

MPLS, multi-protocol label switching, adalah arsitektur network yang didefinisikan oleh IETF untuk memadukan mekanisme label swapping di layer 2 dengan routing di layer 3 untuk mempercepat pengiriman paket. Arsitektur MPLS dipaparkan dalam RFC-3031 [Rosen 2001].



Gambar 4. . Arsitektur MPLS

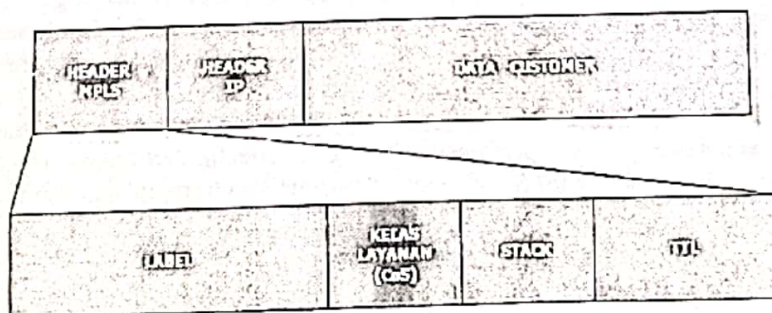
Network MPLS terdiri atas sirkit yang disebut label-switched path (LSP), yang menghubungkan titik-titik yang disebut label-switched router (LSR). LSR pertama dan terakhir disebut ingress dan egress. Setiap LSP dikaitkan dengan sebuah forwarding equivalence class (FEC), yang merupakan kumpulan paket yang menerima perlakuan forwarding yang sama di sebuah LSR. FEC diidentifikasi dengan pemasangan label.

Untuk membentuk LSP, diperlukan suatu protokol persinyalan. Protokol ini menentukan forwarding berdasarkan label pada paket. Label yang pendek dan berukuran tetap mempercepat proses forwarding dan mempertinggi fleksibilitas pemilihan path. Hasilnya adalah network

datagram yang bersifat lebih connection-oriented.

4.1. Enkapsulasi Paket

Tidak seperti ATM yang memecah paket-paket IP, MPLS hanya melakukan enkapsulasi paket IP, dengan memasang header MPLS. Header MPLS terdiri atas 32 bit data, termasuk 20 bit label, 2 bit eksperimen, dan 1 bit identifikasi stack, serta 8 bit TTL. Label adalah bagian dari header, memiliki panjang yang bersifat tetap, dan merupakan satu-satunya tanda identifikasi paket. Label digunakan untuk proses forwarding, termasuk proses traffic engineering.



Gambar 5. Enkapsulasi Paket MPLS

Setiap LSR memiliki tabel yang disebut label-switching table. Tabel itu berisi pemetaan label masuk, label keluar, dan link ke LSR berikutnya. Saat LSR menerima paket, label paket akan dibaca, kemudian diganti dengan label keluar, lalu paket dikirimkan ke LSR berikutnya.

Selain paket IP, paket MPLS juga bisa dikapsulasikan kembali dalam paket MPLS. Maka sebuah paket bisa memiliki beberapa header. Dan bit stack pada header menunjukkan apakah suatu header sudah terletak di 'dasar' tumpukan header MPLS itu.

4.2. Distribusi Label

Untuk menyusun LSP, label-switching table di setiap LSR harus dilengkapi dengan pemetaan dari setiap label masukan ke setiap label keluaran. Proses melengkapi tabel ini dilakukan dengan protokol distribusi label. Ini mirip dengan protokol persinyalan di ATM, sehingga sering juga disebut protokol persinyalan MPLS. Salah satu protokol ini adalah LDP (Label Distribution Protocol).

LDP hanya memiliki feature dasar dalam melakukan forwarding.

Untuk meningkatkan kemampuan mengelola QoS dan rekayasa trafik, beberapa protokol distribusi label lain telah dirancang dan dikembangkan juga. Yang paling banyak disarankan adalah CR-LDP (constraint-based routing LDP) dan RSVP-TE (RSVP dengan ekstensi Traffic Engineering).

4.3. Rekayasa Trafik dengan MPLS

Rekayasa trafik (traffic engineering, TE) adalah proses pemilihan saluran data traffic untuk menyeimbangkan beban trafik pada berbagai jalur dan titik dalam network. Tujuan akhirnya adalah memungkinkan operasional network yang andal dan efisien, sekaligus mengoptimalkan penggunaan sumberdaya dan performansi trafik. Panduan TE untuk MPLS (disebut MPLS-TE) adalah RFC-2702 [Awduche 1999a]. RFC-2702 menyebutkan tiga masalah dasar berkaitan dengan MPLS-TE, yaitu:

- 1) Pemetaan paket ke dalam FEC
- 2) Pemetaan FEC ke dalam trunk trafik

- 3) Pemetaan trunk trafik ke topologi network fisik melalui LSP

Namun RFC hanya membahas soal ketiga. Soal lain dikaji sebagai soal-soal QoS. Awduche [1999b] menyusun sebuah model MPLS-TE, yang terdiri atas komponen-komponen: manajemen path, penempatan trafik, penyebaran keadaan network, dan manajemen network.

4.3.1 Manajemen Path

Manajemen path meliputi proses-proses pemilihan route eksplisit berdasar kriteria tertentu, serta pembentukan dan pemeliharaan tunnel LSP dengan aturan-aturan tertentu. Proses pemilihan route dapat dilakukan secara administratif, atau secara otomatis dengan proses routing yang bersifat constraint-based. Proses constraint-based dilakukan dengan kalkulasi berbagai alternatif routing untuk memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam kebijakan administratif. Tujuannya adalah untuk mengurangi pekerjaan manual dalam TE.

Setelah pemilihan, dilakukan penempatan path dengan menggunakan protokol persinyalan, yang juga merupakan protokol distribusi label. Ada dua protokol jenis ini yang sering dianjurkan untuk dipakai, yaitu RSVP-TE dan CR-LDP.

Manajemen path juga mengelola pemeliharaan path, yaitu menjaga path selama masa transmisi, dan mematikannya setelah transmisi selesai.

4.3.2 Penempatan Trafik

Setelah LSP dibentuk, trafik harus dikirimkan melalui LSP. Manajemen trafik berfungsi mengalokasikan trafik ke dalam LSP yang telah dibentuk. Ini meliputi fungsi pemisahan, yang membagi trafik atas kelas-kelas tertentu, dan fungsi pengiriman, yang memetakan trafik itu ke dalam LSP.

Hal yang harus diperhatikan dalam proses ini adalah distribusi beban melewati deretan LSP. Umumnya ini dilakukan dengan menyusun semacam pembobotan baik pada LSP-LSP maupun pada trafik-trafik. Ini dapat dilakukan secara implisit maupun eksplisit.

4.3.3. Penyebaran Informasi Keadaan Network

Penyebaran ini bertujuan membagi informasi topologi network ke seluruh LSR di dalam network. Ini dilakukan dengan protokol gateway seperti IGP yang telah diperluas. Perluasan informasi meliputi bandwidth link maksimal, alokasi trafik maksimal, pengukuran TE default, bandwidth yang dicadangkan untuk setiap kelas prioritas, dan atribut-atribut kelas resource. Informasi-informasi ini akan diperlukan oleh protokol persinyalan untuk memilih routing yang paling tepat dalam pembentukan LSP.

4.3.4. Manajemen Network

Performansi MPLS-TE tergantung pada kemudahan mengukur dan mengendalikan network. Manajemen network meliputi konfigurasi network, pengukuran network, dan penanganan kegagalan network.

Pengukuran terhadap LSP dapat dilakukan seperti pada paket data lainnya. Traffic flow dapat diukur dengan melakukan monitoring dan menampilkan statistika hasilnya. Path loss dapat diukur dengan melakukan monitoring pada ujung-ujung LSP, dan mencatat trafik yang hilang. Path delay dapat diukur dengan mengirimkan paket probe menyeberangi LSP, dan mengukur waktunya. Notifikasi dan alarm dapat dibangkitkan jika

parameter-parameter yang ditentukan itu telah melebihi ambang batas.

4.3.5. Protokol Persinyalan

Pemilihan path, sebagai bagian dari MPLS-TE, dapat dilakukan dengan dua cara: secara manual oleh administrator, atau secara otomatis oleh suatu protokol persinyalan. Dua protokol persinyalan yang umum digunakan untuk MPLS-TE adalah CR-LDP dan RSVP-TE. RSVP-TE memperluas protokol RSVP yang sebelumnya telah digunakan untuk IP, untuk mendukung distribusi label dan routing eksplisit. Sementara itu CR-LDP memperluas LDP yang sengaja dibuat untuk distribusi label, agar dapat mendukung persinyalan berdasar QoS dan routing eksplisit.

Ada banyak kesamaan antara CR-LDP dan RSVP-TE dalam kalkulasi routing yang bersifat constraint-based. Keduanya menggunakan informasi QoS yang sama untuk menyusun routing eksplisit yang sama dengan alokasi resource yang sama. Perbedaan utamanya adalah dalam meletakkan layer tempat protokol persinyalan bekerja. CR-LDP adalah protokol yang bekerja di atas TCP atau UDP, sedangkan RSVP-TE bekerja langsung di atas IP. Perbandingan kedua protokol ini dipaparkan dalam tabel berikut [Wang 2001]

Tabel 3. Perbandingan protocol CR-LDP dan RSVP-TE

Feature	CR-LDP	RSVP-TE
Transport	TCP	RawIP
Security	andUDPIP- Sec	RSVPAAuthentication
Multipoint-to-point	Yes	Yes
LSP merging	Yes	Yes
LSPstate	Hard	Soft
LSPrefresh	Notneeded	Periodic
Redundancy	Hard	Easy
Rerouting	Yes	Yes
Explicitrouting	Strictandloose	Strict andloose
Route pinning	Yes	Byrecordingpath
LSPpre-emption	Prioritybased	Prioritybased
LSPprotection	Yes	Yes
Sharedreservations	No	Reversepath
Trafficcontrol	Forwardpath	Explicit
Policycontrol	Implicit	Yes
Layer3protocolID	No	

5. IMPLEMENTASI QoS PADA MPLS

Untuk membangun jaringan lengkap dengan implementasi QoS dari ujung ke ujung, diperlukan penggabungan dua teknologi, yaitu implementasi QoS di access network dan QoS di core network. Seperti telah dipaparkan, QoS di core network akan tercapai secara optimal dengan menggunakan teknologi MPLS. Ada beberapa alternatif untuk implementasi QoS di access network, yang sangat tergantung pada jenis aplikasi yang digunakan customer.

5.1. MPLS dengan IntServ

Baik RSVP-TE maupun CR-LDP mendukung IntServ [Gray 2001]. RSVP-TE lebih alami untuk soal ini, karena RSVP sendiri dirancang untuk model IntServ. Namun CR-LDP tidak memiliki kelemahan untuk mendukung IntServ.

Permintaan reservasi dilakukan dengan pesan PATH di RSVP-TE atau Label Request di CR-LDP. Di ujung penerima, egress akan membalas dengan pesan RESV untuk RSVP-TE atau Label Mapping untuk CR-LDP, dan kemudian resource LSR langsung tersedia bagi aliran trafik dari ingress. Tidak ada beda yang menyolok antara kedua cara ini dalam mendukung model IntServ.

5.2. MPLS dengan DiffServ

Dukungan untuk DiffServ dilakukan dengan membentuk LSP khusus, dinamai L-LSP,

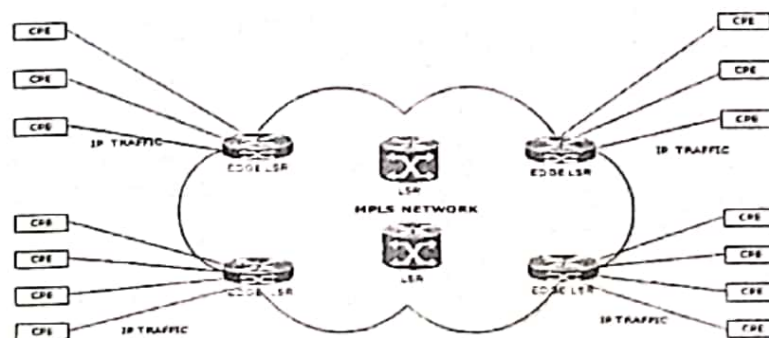
yang secara administratif akan dikaitkan dengan perlakuan khusus pada tiap kelompok PHB. Alternatif lain adalah dengan mengirim satu LSP bernama E-LSP untuk setiap kelompok PHB.

Beda L-LSP dan E-LSP adalah bahwa E-LSP menggunakan bit-bit EXT dalam header MPLS untuk menunjukkan kelas layanan yang diinginkan; sementara L-LSP membedakan setiap kelas layanan dalam label itu sendiri. Baik RSVP-TE dan LDP dapat digunakan untuk mendukung LSP khusus untuk model DiffServ ini. RFC-3270 mengeksplorasi lebih jauh dukungan MPLS atas model DiffServ ini.

6. IMPLEMENTASI JARINGAN MPLS

Karena sebagian besar kelebihan ATM telah terlingkupi dalam teknologi ATM, sebenarnya jaringan IP over ATM dapat digantikan oleh sebuah jaringan MPLS. MPLS bersifat alami bagi dunia IP. Traffic engineering pada MPLS memperhitungkan sepenuhnya karakter trafik IP yang melewatinya.

Keuntungan lain adalah tidak diperlukannya kerumitan teknis seperti enkapsulasi ke dalam AAL dan pembentukan sel-sel ATM, yang masing-masing menambah delay, menambah header, dan memperbesar kebutuhan bandwidth. MPLS tidak memerlukan hal-hal itu.



Gambar 6. Jaringan MPLS

Persoalan besar dengan MPLS adalah bahwa hingga saat ini belum terbentuk dukungan untuk trafik non IP. Skema-skema L2 over MPLS (termasuk Ethernet over MPLS, ATM over MPLS, dan FR over MPLS) sedang dalam riset yang progresif, tetapi belum masuk ke tahap pengembangan secara komersial.

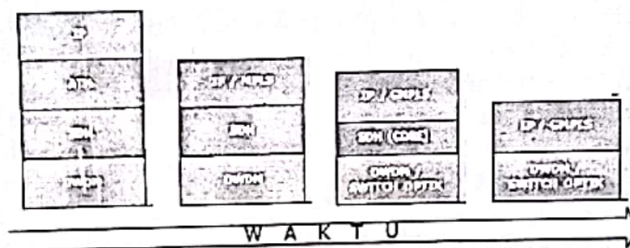
Yang cukup menjadikan harapan adalah banyaknya alternatif konversi berbagai jenis trafik ke dalam IP, sehingga trafik jenis itu dapat pula diangkut melalui jaringan MPLS. Juga proposal-proposal teknologi GMPLS sedang memasuki tahap standarisasi, sehingga ada harapan bahwa berbagai jenis teknologi dari layer 3 hingga layer 0 dapat dikonvergensi dalam skema GMPLS.

6.1. GMPLS (Generalised MPLS)

GMPLS (generalised MPLS) adalah konsep konvergensi vertikal dalam teknologi transport, yang tetap berbasis pada penggunaan label seperti MPLS. Setelah

MPLS dikembangkan untuk memperbaiki jaringan IP, konsep label digunakan untuk jaringan optik berbasis DWDM, dimana panjang gelombang (λ) digunakan sebagai label. Standar yang digunakan disebut MPLS. Namun, mempertimbangkan bahwa sebagian besar jaringan optik masih memakai SDH, bukan hanya DWDM, maka MPLS diperluas untuk meliputi juga TDM, ADM dari SDH, OXC. Konsep yang luas ini lah yang dinamai GMPLS.

GMPLS merupakan konvergensi vertikal, karena ia menggunakan metode label switching dalam layer 0 hingga 3 [Allen 2001]. Tujuannya adalah untuk menyediakan network yang secara keseluruhan mampu menangani bandwidth besar dengan QoS yang konsisten dan pengendalian penuh. Diharapkan GMPLS akan menggantikan teknologi SDH dan ATM klasik, yang hingga saat ini masih menjadi layer yang paling mahal dalam pembangunan network.



Gambar 7. Konvergensi Vertikal MPLS

7. KESIMPULAN

Dengan adanya penerapan teknologi MPLS ini didapat beberapa keuntungan diantaranya :

- 1) Penghematan biaya. Tergantung pada campuran implementasi dan konfigurasi jaringan, layanan MPLS dapat mengurangi biaya sebesar 10% sampai 25% dari layanan data dibanding frame relay dan ATM. Jika ditambah dengan layanan suara dan video, dapat melakukan penghematan biaya mencapai 40%.
- 2) . Pemberdayaan QOS, salah satu manfaat utama layanan MPLS adalah kemampuannya untuk mendukung QoS, khususnya bila akan dipergunakan untuk layanan suara dan video.
- 3) Peningkatan kinerja, karena apa pun untuk-semua sifat layanan MPLS, desainer jaringan dapat mengurangi jumlah "hop" antara titik jaringan, yang diterjemahkan langsung ke waktu respon tersingkat sehingga kinerja aplikasi dapat ditingkatkan.

- 4) Disaster recovery, dengan layanan MPLS dapat meningkatkan disaster recovery dalam berbagai cara. Pertama dan terutama, pusat data dan situs penting lainnya dapat dihubungkan dalam cara memperbanyak link redundant ke cloud atau situs lain pada jaringan. Kedua, situs remote dapat dengan cepat dan mudah kembali ke lokasi backup jika diperlukan (seperti dengan ATM dan jaringan frame relay, baik sebagai link aktif atau sebagai cadangan dengan menggunakan permanen-virtual-sirkuit. Itu sebabnya beberapa perusahaan vendor MPLS menyatakan bahwa fungsi teknologi MPLS mampu mendukung "fleksibilitas untuk pemulihan bisnis".
- 5) Futureproofing jaringan, sebagian besar perusahaan vendor MPLS telah sampai pada kesimpulan bahwa MPLS merupakan investasi masa depan dalam layanan WAN (ATM, frame relay), sebagai hasilnya, perusahaan vendor MPLS berencana untuk bermigrasi ke MPLS.

Daftar Singkatan

AAL ATM	= ATM Adaptation Layer
ATM	= Asynchronous Transfer Mode
BGP	= Border Gateway Protocol (IP/MPLS)
CE	= Customer Edge (VPN)
CR	= Constraint-Based Routing
DiffServ	= Differentiated Service (IP)
DSCP	= DiffServ Code Point
DWDM	= Dense Wavelength Division Multiplexing
FEC	= Forwarding-Equivalence Class (MPLS)
FR	= Frame Relay
GMPLS	= Generalized Multi Protocol Label Switching
HDLC	= High-Level Data-Link Control
IETF	= Internet Engineering Task Force
IntServ	= Integrated Service (IP)
IP	= Internet Protocol
LDP	= Label Distribution

LSP	= Label-Switched Path (MPLS)
LSR	= Label-Switched Router (MPLS)
MEGACO	= Media Gateway Controller
MPLS	= Multi Protocol Label Switching
MP λ S	= Multi Protocol Lambda (Wavelength) Switching
NGN	= Next Generation Network
OXC	= Optical Cross Connect
PE	= Provider Edge (VPN)
POS	= Packet over SONET, Packet over SDH
PPP	= Point to Point Protocol
PVC	= Permanent Virtual Circuit (ATM)
QoS	= Quality of Service
RFC	= Request for Comments (IETF)
RSVP	= Resource Reservation Protocol (IP/MPLS)
RTP	= Real-Time Transport Protocol (IP)
SDH	= Synchronous Digital Hierarchy
SIP	= Session Initiation Protocol
SONET	= Synchronous Optical Network
SPE	= Synchronous Payload Envelope
TCP	= Transmission Control Protocol (IP)
TDM	= Time Division Multiplexing
TE	= Traffic Engineering
TTL	= Time to Live (IP/MPLS)
UDP	= User Datagram Protocol (IP)
VC	= Virtual Circuit (ATM), Virtual Container (SDH)
VPN	= Virtual Private Network
VT	= Virtual Tributary (SDH)

Daftar Pustaka

- 1) Awduche E et.al. (1999a). Requirements for Traffic Engineering over MPLS. RFC-2702. Internet Society.

- 2) Gray EW (2001). *MPLS: Implementing The Technology*. Boston, Addison-Wesley.
- 3) Hall EA (2000). *Internet Core Protocols: The Definitive Guide*. Sebastopol, O'Reilly.
- 4) Rosen E and Rekhter Y (1999). *BGP/MPLS VPNs*. RFC-2547. Internet Society.
- 5) Rosen E et.al. (2001). *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC-3031. Internet Society.
- 6) Wang Z (2001). *Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service*. San Francisco, Morgan-Kaufmann.
- 7) Xiao X (2000). *Providing Quality of Service in the Internet*. PhD Dissertation. Michigan, Michigan State University.
- 8) Allen D (2001) *How Will Multiprotocol Lambda Switching Change Optical Networks*, *Network Magazine*, May 2001, pp 70-74.
- 9) Awduche D (1999b). *MPLS and Traffic Engineering in IP Networks*. *IEEE Communications Magazine*, December 1999, pp 42-47.
- 10) Bernet Y (2000). *The Complementary Roles of RSVP and Differentiated Services in the Full-Service QoS Network*. *IEEE Communications Magazine*, February 2000, pp 154-162.
- 11) Courtney R (2001). *IP QoS: Tracking the Different Level*. *Telecommunications Magazine*, January 2001, pp 58-60.
- 12) Dovrolis C and Ramanathan P (1999). *A Case for Relative Differentiated Services and the Proportional Differentiation Model*. *IEEE Network*, September/October 1999, pp 26-34.
- 13) Dutta-Roy A (2000). *The Cost of Quality in Internet-style Networks*. *IEEE Spectrum*, September 2000.
- 14) Hay R (2000). *Comparing POS and ATM Interfaces*. *IEEE Computer*, August 2000, pp 102-106.
- 15) Lawrence J (2001). *Designing Multiprotocol Label Switching Networks*. *IEEE Communications Magazine*, July 2001, pp 134-142.
- 16) Manchester J et.al. (1998). *IP over SONET*. *IEEE Communications Magazine*, May 1998, pp 136-142.
- 17) Mathy L et.al. (2000). *The Internet: A Global Telecommunications Solution*, *IEEE Network*, July/August 2000, pp 46-57
- 18) Viswanathan A et.al. (1998). *Evolution of Multiprotocol Label Switching*. *IEEE Communications Magazine*, May 1998, pp 165-172.
- 19) White P (1997). *RSVP and Integrated Service in the Internet: A Tutorial*. *IEEE Communications Magazine*, May 1997, pp 100-106.

PENULIS:

Agustini Rodiah Machdi, ST. Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Bogor.