

ANALISIS PERBANDINGAN QOS LAYANAN ETHERNET, FRAME RELAY, DAN ATM OVER MPLS PADA JARINGAN BACKBONE

Wi'i Setiyadi¹, R. Rumani, M², Sholekan.³

^{1,2,3} Gedung N-203, Fakultas Elektro & Komunikasi, Institut Teknologi Telkom
Jl. Telekomunikasi No. 1, Bandung 40257

wsetyadi@gmail.com¹, r_rumani_m@yahoo.com²,
rumanimangkudjaja@gmail.com², sho@ittelkom.ac.id³

Abstrak

Kebutuhan perusahaan dalam membangun jaringan internal antara kantor pusat dengan kantor cabangnya dan antara kantor cabang lainnya membutuhkan infrastruktur yang sangat mahal, VPN memberikan solusi untuk permasalahan infrastruktur tersebut dengan melewati jaringan publik. VPN adalah layanan yang memungkinkan untuk mengakses jaringan internal kantor melalui jaringan yang bisa diakses dengan mudah seperti internet.

Teknologi AToM saat ini sudah mulai digunakan oleh para penyedia layanan yang memiliki jaringan yang luas. Penelitian ini, mengimplementasikan teknologi AToM dalam jaringan yang kecil dengan menggunakan *software* GNS3. Hasil dari implementasi ini memberikan gambaran perbandingan QoS antara MPLS-Frame relay, MPLS-ATM, dan MPLS-Ethernet.

Dalam penelitian ini disimulasikan jaringan Ethernet *over* MPLS *Frame Rely over* MPLS dan ATM *over* MPLS dengan menggunakan simulator GNS 3. Parameter yang diukur meliputi QoS, *delay*, *jitter* dan *packet loss*. Hasil simulasi menunjukkan ATM *over* MPLS secara keseluruhan memiliki QoS lebih baik dari teknologi lainnya. Dalam simulasi terlihat nilai dari *throughput*, *delay*, dan *jitter* turun sejalan dengan *background traffic* yang lebih besar.

Kata kunci: AToM, QoS, delay, jitter, throughput, packet lost

1. Pendahuluan

Besarnya tingkat pengiriman data makin hari makin tinggi, terutama pada pengiriman data dari kantor cabang ke kantor pusat suatu perusahaan, hal ini mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan jalur untuk melewati data tersebut. Oleh karena itu para penyedia layanan saling berlomba menyediakan layanan pengiriman data yang dapat mengantarkan paket tersebut secara cepat. Dengan latar belakang itulah teknologi pengiriman data dikembangkan mulai dari Ethernet, Frame Relay, ATM, dan yang terkenal sekarang yaitu MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) yang memang terbukti dapat melewati data secara cepat.

Tetapi dengan adanya MPLS bukan berarti teknologi terdahulunya ditinggalkan. Salah satu teknologi yang masih ditawarkan oleh para penyedia layanan adalah *Frame Relay*, ATM dan Ethernet ini dikarenakan masih banyaknya permintaan akan penggunaan teknologi tersebut oleh para pelanggan. Ini menyebabkan para penyedia layanan harus menyediakan jaringan yang berbeda yang membutuhkan modal yang besar pula.

Berangkat dari masalah itu, MPLS yang ada saat ini dikembangkan hingga muncul suatu teknologi terbaru dari MPLS, yaitu AToM (*Any Transport over MPLS*). Teknologi ini mampu melewati paket *frame relay*, ATM, dan ethernet yang bekerja di *layer 2*, melewati MPLS,

yang bekerja di antara *layer 2* dan *layer 3*. Dengan adanya teknologi tersebut maka akan menguntungkan semua pihak, jika di lihat dari sisi penyedia layanan maka teknologi ini dapat menekan biaya pengadaan jaringan, dari sisi pelanggan, teknologi ini dapat menekan biaya penyewaan jaringan karena mereka tidak harus menyewa dua jaringan yang berbeda.

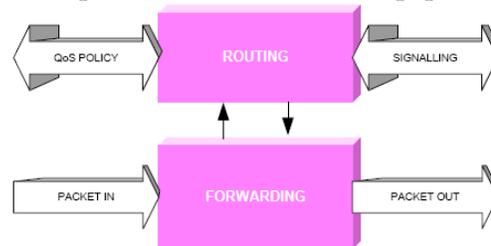
2. TEORI DASAR

2.1 MPLS (*Multi Protocol Label Switching*)

2.1.1 Arsitektur MPLS

Teknologi ATM dan *frame relay* bersifat *connection-oriented*: setiap *virtual circuit* harus diset dengan protokol pensinyalan sebelum ditransmisikan. 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 [5].



Gambar 1. Arsitektur MPLS [5]

Network MPLS terdiri atas sirkuit 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*.

2.2 AToM (*Any Transport over MPLS*)

2.2.1 Sejarah AToM

Teknologi AToM dikembangkan setelah melihat sukses besar yang pada teknologi MPLS-VPN yang memberikan solusi pengiriman data yang aman dan cepat. Aman karena jaringan yang digunakan adalah jaringan pribadi (VPN), dan cepat karena menggunakan jaringan MPLS sebagai *backbone*. Walaupun begitu, teknologi layer-2 seperti *leased line*, ATM, dan *frame relay* masih merupakan penyumbang pendapatan terbesar untuk para penyedia layanan. Teknologi ini tetap dipilih oleh para pelanggan karena mereka menginginkan kontrol menyeluruh atas jaringan yang mereka pakai, dan kebanyakan perusahaan memakai produk yang menggunakan protokol yang tidak dapat dibawa oleh IP (contoh: IBM FEP).

Saat ini para penyedia layanan memiliki jaringan tersendiri yang khusus digunakan untuk membawa trafik layer-2 kepada pelanggan. Sehingga dengan telah dibangunnya teknologi

MPLS-VPN yang menggunakan layer-3 untuk transportnya maka para penyedia layanan memiliki dua jaringan yang berbeda untuk keperluan yang sama, jelas hal ini merupakan suatu pemborosan. Jika dilihat dari sisi penyedia layanan maka biaya investasi yang dibutuhkan menjadi besar, sedangkan jika dilihat dari sisi pelanggan maka biaya sewa jaringan menjadi dua kali lipat.

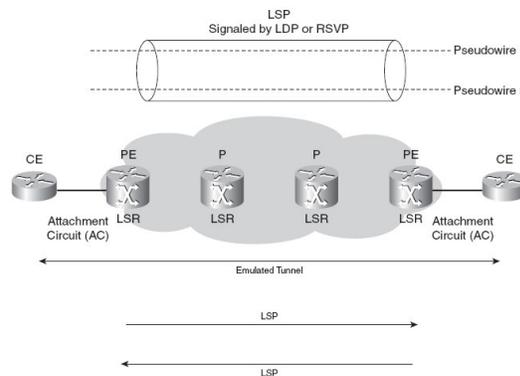
Atas dasar inilah kemudian teknologi AToM dikembangkan. Dengan AToM maka para penyedia jaringan dapat melewati trafik layer-2 seperti ATM, *Frame Relay*, dsb. melalui jaringan MPLS. Sehingga hanya dengan memiliki satu jaringan tetapi dapat menawarkan dua layanan besar, yaitu MPLS-VPN dan AToM maka besarnya investasi yang harus dikeluarkan dapat ditekan [7].

Walaupun sama-sama menggunakan *backbone* MPLS, tetapi MPLS-VPN memiliki perbedaan dengan AToM dalam hal pembentukan layanan VPN. Pada MPLS-VPN proses pembentukan layanan VPN dilakukan pada layer-3, sedangkan pada AToM dilakukan pada layer-2, sehingga sering juga disebut sebagai teknologi L2VPN.

2.2.2 Arsitektur AToM

Pada dasarnya, arsitektur AToM menggunakan metode *pseudowire* untuk membawa trafik layer-2 melalui jaringan paket, dalam hal ini MPLS. *Pseudowire* merupakan hubungan antar router PE (*Provider Edge*) dan mengemulasikan suatu penghubung untuk membawa trafik layer-2. *pseudowire* menggunakan proses *tunneling* serta mengenkapsulasikan frame-frame layer-2 menjadi paket yang akan diberi label [8].

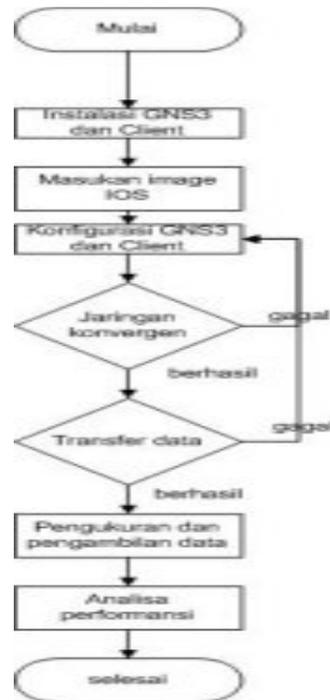
Dalam jaringan yang mengaplikasikan AToM, semua router pada jaringan *backbone* harus mampu melewati protokol MPLS, dan router PE (*Provider Edge*) memiliki AC (*Attachment Circuit*) yang terhubung dengan router CE (*Customer Edge*). Sedangkan *tunneling* yang dimaksudkan tak lain dan tak bukan adalah LSP antara PE. Label yang digunakan ada 2 jenis, yang pertama disebut label VC (*Virtual Circuit*) atau PW (*PseudoWire*), dan yang kedua adalah *tunnel label* untuk digunakan meneruskan paket yang diterima.



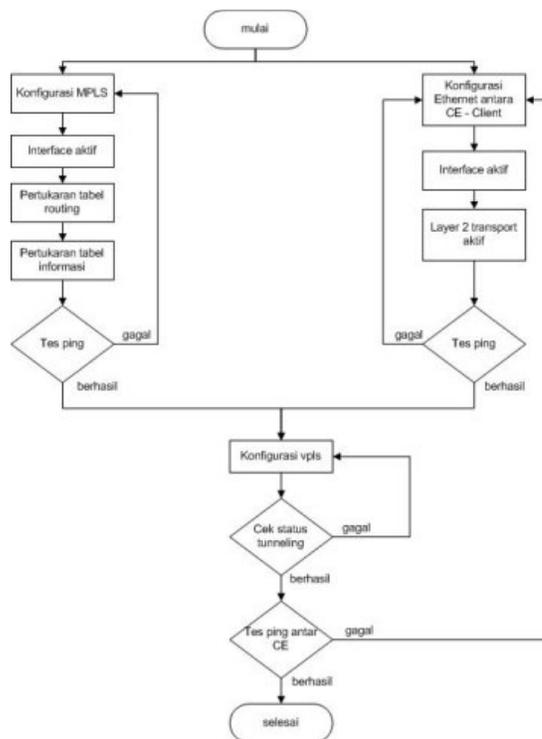
Gambar 2. Arsitektur AtoM [8]

3. Perancangan dan Implementasi

Dalam tulisan ini dibahas tentang proses perancangan jaringan yang meliputi pembangunan jaringan Ethernet over MPLS yang melewati servis VPLS. *Flowchart* yang dibuat terbagi menjadi 2 bagian, bagian utama yang menjelaskan secara garis besar proses yang dilakukan pada saat melakukan penelitian.



Gambar 3. Flowchart Perancangan Sistem

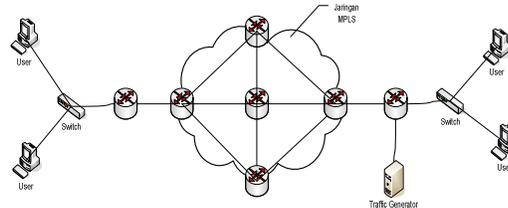


Gambar 4. Flowchart Cara Kerja Sistem

3.1 Implementasi Sistem

3.1.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini bertujuan untuk mengetahui performansi pengiriman data melewati jaringan ,*ATM over MPLS*, *Frame Relay over MPLS*, *Ethernet over MPLS*.



Gambar 5. Simulasi Jaringan secara umum

Perangkat yang digunakan untuk membangun jaringan tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Backbone core network* menggunakan GNS3 dengan IOS seri IOS c7200-k91p-mz.122-25.S12.bin
2. Jaringan akses yang digunakan merupakan jaringan LAN dengan standar IEEE 802.3 yang berinteraksi dengan *backbone network* melalui CE(*Costumer Edge*) router
3. *Client* yang dipasang di CE, merupakan komputer akses yg membangun koneksi VLAN

3.2.1 Komponen Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk membangun jaringan EoMPLS adalah :

1. Sistem Operasi *Windows XP* yang digunakan sebagai OS baik PC klien maupun PC simulator.
2. GNS3 digunakan untuk membangun simulasi jaringan EoMPLS
3. Cisco IOS, digunakan untuk OS *router*
4. tfggen, digunakan sebagai *traffic generator*
5. *Wireshark*, digunakan sebagai *Network Analyzer*

3.2.2 Komponen Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan untuk membangun jaringan EoMPLS adalah :

1. 1 unit PC yang digunakan untuk simulator *router* dengan spesifikasi :
 - Pentium Core 2
 - 2 GB DDR2 RAM
 - 30GB HDD
 - 2 unit 10/100 Mbps Ethernet Card
2. 1 unit PC yang digunakan untuk klien dengan spesifikasi :
 - PENTIUM 4
 - 512 MB DDR RAM
 - 80 GB HDD
 - 1 unit 10/100 Mbps Ethernet Card
3. 1 unit *laptop* yang digunakan untuk klien dengan spesifikasi :
 - PENTIUM 4
 - 512 GB DDR RAM
 - 80 GB HDD
 - 1 Mbps Ethernet

3.3 PROSES INSTALASI DAN KONFIGURASI SISTEM

Dalam membangun simulasi EoMPLS dengan menggunakan GNS3, maka diperlukan instalasi dan konfigurasi pada tiap-tiap *router* hingga membentuk jaringan yang konvergen. Selain itu disisi *client* juga memerlukan instalasi dan konfigurasi agar dapat berfungsi sebagai klien servis VPLS.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam proses instalasi dan konfigurasi sebagai berikut:

3.3.1 Instalasi dan Konfigurasi PC untuk Simulator

PC ini memiliki tugas sebagai simulator *router* CISCO sesungguhnya yang akan diisi konfigurasi untuk membangun jaringan Ethernet *over* MPLS atau lebih dikenal dengan nama Metro Ethernet. Dalam penelitian ini, PC berjalan diatas system operasi *Windows* XP serta program yang digunakan untuk simulator adalah GNS3, perintah konfigurasi pada tiap-tiap *router* sama dengan perintah pada *router* CISCO sesungguhnya karena membutuhkan IOS (system operasi *router* CISCO) yang sama.

Berikut langkah-langkah instalasi yang dilakukan :

1. Eksekusi *file installer* GNS3 dengan nama GNS3-0.6-win32-all-in-one.exe pastikan WinPCAP 4.0.2 , Dynamips 0.2.8 RC2 , Pemuwrapper 0.2.3 dan GNS3 masuk dalam komponen yang diinstal.
2. Lakukan tes pada dynamips untuk mengecek apakah Dynamips dapat bekerja dengan baik.
3. Masukkan IOS yang ingin digunakan, dalam hal ini digunakan c7200 advipservicesk9-mz.122-33.SRC2.bin
4. Masukkan *router* seri 7200 ke dalam blok topologi sesuai dengan topologi jaringan yang diinginkan.
5. Interkoneksi tiap-tiap *interface* dengan meng-klik *toolbar add link*, pemilihan *interface* yang diinginkan tergantung dengan spesifikasi seri *router*, dimana *router* CISCO c7200VXR memiliki variasi *interface* cukup lengkap dan dapat dikembangkan (*expandable*).
6. Nyalakan tiap *router* dengan perintah **start xx** (xx nama *router* pada blok topologi) pada blok *command text*, alternatif lain gunakan bar **star/resume all IOS** atau dengan meng-klik kanan tiap *router* pilih start.
7. Lakukan **idle PC** pada tiap *router* untuk mengurangi beban pada PC, dengan meng-klik kanan tiap *router*, lalu pilih **ilde PC**
8. Untuk mengkonfigurai *router* jalankan perintah **telnet xx**, atau dengan meng-klik kanan *router* lalu pilih perintah **Console**.

3.3.2 Instalasi dan Konfigurasi PC untuk klien servis VPLS

PC yang digunakan untuk klien servis VPLS cukup dikonfigurasi sebagaimana PC terhubung dengan internal *network*. Adapun langkah-langkahnya adalah :

1. Instal *Windows* NetMeeting untuk uji performansi VoIP
2. Instal FTP Server untuk uji performansi *packet lost*.

3.3.3 Instalasi Network Analyzer

Aplikasi yang digunakan sebagai *Network Analyzer* adalah *wireshark* yang berfungsi menangkap data-data yang melalui *Network Interface Card* (NIC). Data yang ada yaitu parameter QoS. Berikut adalah langkah-langkah instalasi :

1. Instal paket *Wireshark* yaitu *wireshark-setup-0.99.5.exe*

2. Jalankan aplikasi *wireshark*

3.4 Skenario Pengujian Performansi Jaringan

Skenario pengujian performansi jaringan dengan melakukan pengiriman data dari salah satu klien menuju klien lain. Uji pengiriman data melalui jaringan dengan penambahan *background traffic* bervariasi mulai dari 0kbps, 10 Mbps, 20 Mbps, 40Mbps, 60Mbps dan 80Mbps, 100 Mbps. Besarnya trafik yang digunakan antara 0-80% dari *bandwidth* yang ada, karena jenis *interface* yang digunakan menggunakan Ethernet dengan *bandwidth* 100Mbps.

4. Analisis Hasil Implementasi

Pada bagian ini dibahas analisis dari hasil implementasi yang telah dilakukan. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui performansi dari teknologi VPLS (skenario 1) dibandingkan dengan MPLS-VPN (Skenario 2). Adapun parameter-parameter QoS yang diukur adalah *Throughput*, *Packet Loss*, *Delay*, dan *Jitter*. Sedangkan untuk mendapatkan nilai-nilai parameter QoS itu sendiri digunakan *Wireshark* sebagai *network protocol analyzer*.

4.1 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan suatu paket bergerak dari pengirim hingga ke penerima. Satuan yang dipakai adalah milidetik (ms).

4.1.1 Tujuan Pengukuran

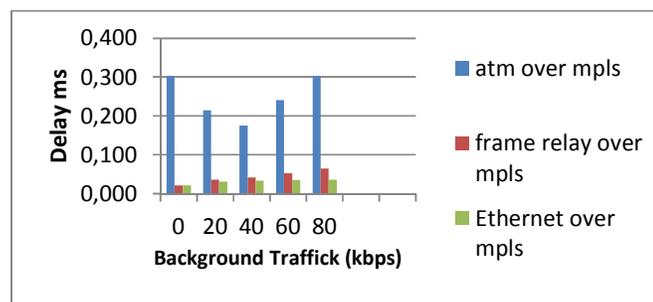
Untuk mengetahui seberapa cepat jaringan yang dipakai dalam meneruskan paket dari pengirim ke penerima, selain juga untuk mengetahui besarnya pengaruh dari *background traffic* terhadap penurunan kualitasnya.

4.1.2 Sistematika Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan melakukan komunikasi VoIP melalui jaringan yang telah diskenariokan. Selama proses tersebut proses penangkapan paket dilakukan di sisi kedua *Client*, dengan lama waktu pengamatan 30 detik. Kemudian dilihat dari waktu berangkat suatu paket di *client1* dengan waktu tiba paket di *Client2* untuk kemudian dicari selisihnya. Proses tersebut dilakukan dengan melibatkan *background traffic* sebesar 0Mbps, 10Mbps, 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps, dan 80Mbps, dengan pengambilan data sebanyak 10 kali di tiap bagiannya.

4.1.3 Hasil Pengukuran

Pada Gambar 6 dapat dilihat perbandingan nilai *Delay* dari skenario 1 dan skenario 2. *Delay* pada Gambar 6 merupakan rata-rata dari 10 kali percobaan untuk setiap *background traffic*.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Delay

4.1.4 Analisis Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa *Delay* Paling kecil didapat dari ATM over MPLS, hal ini dikarenakan kecepatan transfer data pada atm lebih konstan dan lebih besar dibandingkan dengan teknologi lainnya, sehingga delay yang dihasilkan lebih kecil.

4.2 Throughput

Throughput adalah perbandingan antar paket yang dikirim dengan waktu pengamatan. Satuan yang dipakai adalah kbps (kilo bit per second).

4.2.1 Tujuan Pengukuran

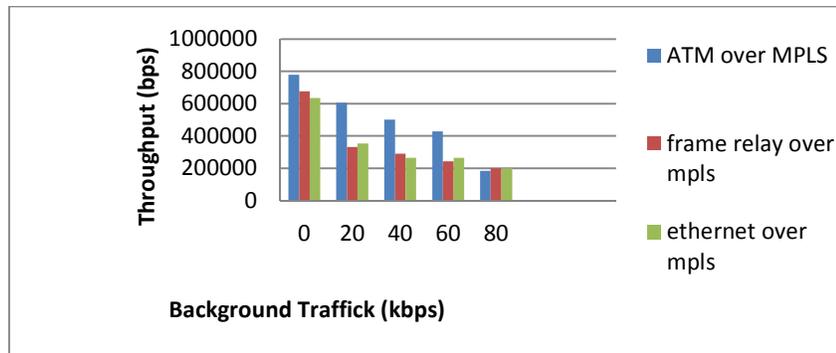
Tujuan pengukuran *Throughput* adalah untuk mengetahui kehandalan jaringan dalam meneruskan paket yang datang hingga sampai di tujuan.

4.2.2 Sistemetika Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan melalui jaringan yang telah diskenariokan. Selama proses tersebut proses penangkapan paket dilakukan di sisi *client*, dengan lama waktu pengamatan 30 detik. Proses tersebut dilakukan dengan melibatkan Background Traffic sebesar 0Mbps, 10Mbps, 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps, dan 80Mbps dengan pengambilan data sebanyak 10 kali di tiap bagiannya.

4.2.3 Hasil Pengukuran

Pada gambar 7 dapat dilihat perbandingan nilai *throughput* dari skenario 1 dan skenario 2. *Throughput* pada gambar 7 merupakan rata-rata dari 10 kali percobaan untuk tiap jenis *background traffic*.



Gambar 7. Grafik perbandingan *throughput*

4.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa *throughput* yang menggunakan ATM over MPLS memiliki rata-rata *throughput* lebih besar, relatif terhadap *frame relay over MPLS* dan *ethernet over MPLS*. Hal ini membuktikan bahwa dalam penelitian ini teknologi ATM over MPLS memang efektif untuk mempercepat proses penerusan paket dibandingkan dengan Ethernet over MPLS dan *frame relay over MPLS*.

4.3 Packet Loss

Packet Loss adalah banyaknya paket yang hilang (tidak sampai ditujuan) pada saat proses pengiriman berlangsung dibandingkan dengan banyaknya paket yang dikirimkan. Dalam percobaan ini digunakan protokol TCP, dimana paket yang hilang diperhitungkan dengan banyaknya paket yang di retransmisikan lagi. Satuan yang dipakai adalah persen (%).

4.3.1 Tujuan Pengukuran

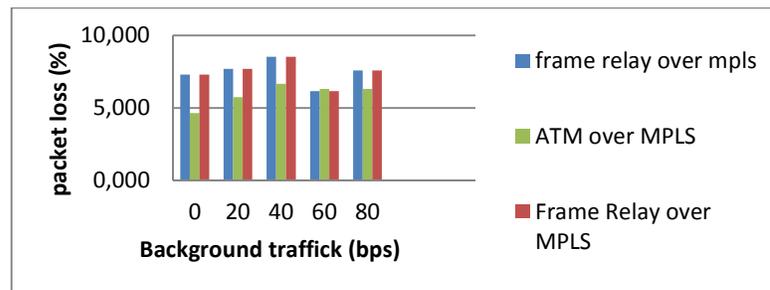
Tujuan pengukuran *Packet Loss* adalah untuk mengetahui seberapa handal teknologi yang dipakai dalam menjaga sebuah paket untuk diteruskan. Selain itu juga untuk mengetahui besarnya pengaruh dari *background traffic* terhadap penurunan kualitas pengiriman paket.

4.3.2 Sistematika Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan melakukan akses *download* data dari *FTP Server* melalui jaringan yang telah diskenariokan. Selama proses tersebut, pengambilan paket dilakukan di sisi *Client*, dengan lama waktu pengamatan 30 detik. Proses tersebut dilakukan dengan melibatkan *background traffic* sebesar 0Mbps, 10Mbps, 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps, dan 80Mbps, dengan pengambilan data sebanyak 10 kali di tiap bagiannya.

4.3.3 Hasil Pengukuran

Pada Gambar 8 dapat dilihat perbandingan nilai *Packet Loss* dari skenario 1 dan skenario 2. *Packet Loss* pada Gambar 8 merupakan rata-rata dari 30 kali percobaan untuk tiap jenis *background traffic*.



Gambar 8. Grafik Perbandingan *Packet Loss*

4.4 Jitter

Jitter adalah variasi *delay* yang terjadi karena ketidakstabilan kondisi jaringan sehingga waktu penerimaan paket di penerima berbeda-beda.

4.4.1 Tujuan Pengukuran

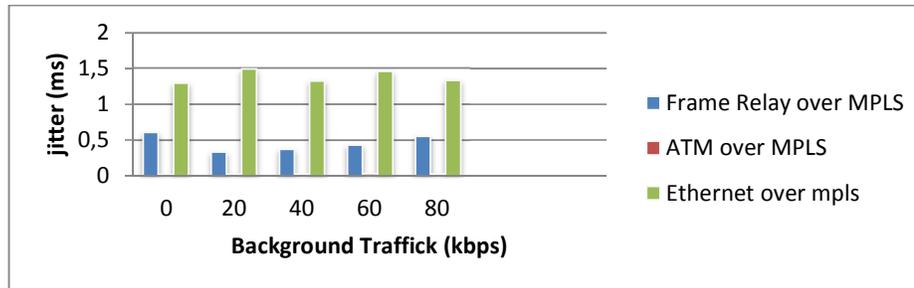
Untuk mengetahui besarnya *jitter* yang didapat dari tiap jaringan yang digunakan, selain juga untuk mengetahui besarnya pengaruh dari *background traffic* terhadap penurunan kualitasnya.

4.4.2 Sistematika Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan melakukan hubungan suara antar 2 *Client* melalui jaringan yang telah diskenariokan. Selama proses tersebut proses penangkapan paket dilakukan di sisi *Client*, dengan lama waktu pengamatan 30 detik. Proses tersebut dilakukan dengan melibatkan *background traffic* sebesar 0Mbps, 10Mbps, 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps, dan 80Mbps, dengan pengambilan data sebanyak 10 kali di tiap bagiannya.

4.4.3 Hasil Pengukuran

Pada Gambar 9 dapat dilihat perbandingan nilai *Jitter* dari skenario 1 dan skenario 2. *Jitter* pada Gambar 9 merupakan rata-rata dari 30 kali percobaan untuk tiap jenis *background traffic*.



Gambar 9. Grafik perbandingan *Jitter*

4.4.4 Analisis Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa nilai rata-rata *jitter* pada skenario ATM over MPLS paling kecil *relative* dibandingkan dengan *frame relay over MPLS* dan *Ethernet over MPLS*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. *Background traffic* yang digunakan, mengurangi kualitas dari semua parameter QoS yang diukur.
2. Teknologi *layer 2* seperti ATM, Ethernet, dan Frame Relay dapat ditingkatkan unjuk kerjanya dengan melewatkannya pada MPLS.
3. Pada dasarnya ATM memiliki kecepatan *transfer* data yang konstan sehingga nilai *delay* dan *jitter* pada hasil percobaan memiliki rata-rata nilai yang paling kecil, dibandingkan dengan teknologi Ethernet over MPLS dan *Frame Relay over MPLS*.
4. Untuk parameter *packet loss*, jaringan yang menerapkan ATM over MPLS memiliki nilai rata-rata yang paling kecil; hal ini dikarenakan ATM mempunyai kerugian yang kecil dalam menangani *error control*.

5.2 Saran

1. Saran untuk penelitian lebih lanjut, seyogianya dapat dicoba skenario percobaan yang sama pada beberapa teknologi pada *layer 2* lainnya, yang dapat dilewatkan pada jaringan MPLS seperti PPP, HLDC, AAL5, dan sebagainya.
2. Perlunya dilakukan pengujian terhadap layanan data HTTP, FTP dan Video.

Referensi

- [1] Lobo, Lancy, 2005, *MPLS Configuration on Cisco IOS Software*. Cisco Press
- [2] Lewis, Mark, 2006, *Comparing, Designing, and Deploying VPNs*. Cisco Press
- [3] Gray EW, 2001, *MPLS: Implementing The Technology*. Boston, Addison-Wesley.
- [4] Rosen E et.al, 2001, *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC-3031. Internet Society.
- [5] Hall EA, 2000, *Internet Core Protocols: The Definitive Guide*. Sebastopol, O'Reilly.
- [6] Viswanathan A et.al, 1998, *Evolution of Multiprotocol Label Switching*. IEEE Communications Magazine, May 1998, pp 165-172.
- [7] Lawrence, J, 2001, *Designing Multiprotocol Label Switching Networks*. IEEE Communications Magazine, July 2001, pp 134-142.
- [8] Awduche E et.al, 1999a, *Requirements for Traffic Engineering over MPLS*. RFC-2702. Internet Society.