

# **SIMULASI JARINGAN UNIVERSITAS DIPONEGORO DENGAN MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS) MENGGUNAKAN GRAPHICAL NETWORK SIMULATOR (GNS3)**

Novi KristantiHandayani<sup>\*)</sup>, AdianFatchurRochim, and R. Rizal Isnanto

JurusanTeknikElektro, UniversitasDiponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*novikristanti20@yahoo.com*

## **Abstrak**

Universitas Diponegoro merupakan salah satu lembaga pendidikan besar di Indonesia yang memiliki beberapa kampus yang tersebar. Untuk memudahkan komunikasi dan pertukaran data, maka pada Tugas Akhir ini dianalisis dan dirancang pengembangan dari jaringan yang telah berjalan dengan menggunakan teknologi *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) dan simulasi menggunakan *Graphical Network Simulator* (GNS3) yang menghubungkan beberapa lokasi kampus untuk meningkatkan kinerja jaringan dengan harapan lembaga universitas ini mempunyai sistem komunikasi dan pertukaran data yang lebih aman, cepat dan terjamin.

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. Langkah-langkah pada penelitian ini adalah analisis kebutuhan sistem, perancangan, pembuatan simulasi dan pengujian.

Hasil penelitian adalah suatu permodelan MPLS dengan menggunakan GNS3. Analisis hasil penelitian dilakukan dengan cara membandingkan data waktu tunda antara simulasi jaringan eksisting dengan rancangan jaringan MPLS yang baru yang memberikan bukti bahwa kinerja jaringan meningkat dilihat dari waktu tunda yang menurun. Pengujian pada hasil penelitian menggunakan tiga metode yaitu ping, *traceroute* dan menggunakan perangkat lunak *Wireshark*. Ping bertujuan membuktikan koneksi antar perangkat dalam jaringan. *Traceroute* bertujuan menunjukkan rute paket dalam jaringan. *Wireshark* digunakan untuk membuktikan keberadaan paket MPLS yang melewati suatu kabel pada jaringan. Kesimpulan yang diperoleh adalah *label switching* dengan MPLS dapat meningkatkan kinerja jaringan. Selain itu penggunaan VTP dan VLAN pada topologi jaringan cabang dapat membantu proses manajemen jaringan.

Kata kunci : Jaringan, MPLS, *Label Switching*, GNS3.

## **Abstract**

Diponegoro University is one of the major educational institutions in Indonesia, which has several campuses spread. To make communication and the exchange of data easier, then in this research is analyzed and designed the development of the existing networks by using Multiprotocol Label Switching (MPLS) technology and simulation using the Graphical Network Simulator (GNS3) which connects multiple campus locations to increase network performance.

MPLS is a packet forwarding technology on high-speed backbone network. The principle work is combining some advantages of circuit-switched communication systems and packet-switched technology that give the better of the two. The steps in this research are the system requirements analysis, design, manufacturing simulation and testing.

The results is an MPLS modeling using GNS3. Analysis of the results of research conducted by comparing the delay time between the existing network simulation with the new MPLS network design that provides evidence that the performance of the network increases seen from the decreased delay time. Tests on the results of the study using three methods: ping, traceroute, and using Wireshark. Ping aims to prove connections between devices in the network. Traceroute aims shows the route of packets in the network. Wireshark is used to prove the existence of MPLS packets that pass through a cable to the network. Conclusion is the MPLS label switching can improve network performance. In addition, the use of VTP and VLANs on the network topology branches can help the process of network management.

Keywords: Network, MPLS, Label Switching, GNS3.

## 1. Pendahuluan

Dewasa ini, perkembangan teknologi informasi sudah berkembang dengan pesat khususnya pada teknologi komunikasi. Kebutuhan pada teknologi komunikasi tidak terbatas pada masing-masing individu saja, melainkan digunakan oleh berbagai perusahaan dengan tujuan memperlancar arus informasi perusahaan tersebut. Jaringan komputer memudahkan penyebaran informasi antara jaringan satu ke jaringan lainnya walaupun letaknya berjauhan.

Berdasarkan skala ukurannya, pada umumnya jaringan komputer terdiri dari *Local Area Network* (LAN) dan *Wide Area Network* (WAN). Jaringan LAN merupakan suatu jaringan yang berada di area atau lokasi yang letaknya berdekatan, misalkan pada suatu gedung perusahaan atau lembaga. Sedangkan untuk WAN yaitu suatu jaringan yang dibangun dengan letak terpisah-pisah namun masih terhubung pada satu jaringan sentral.

Salah satu teknologi yang banyak dipakai untuk mendukung WAN adalah *Multiprotocol Label Switching* (MPLS). *Multiprotocol Label Switching* (MPLS) yaitu arsitektur jaringan yang didefinisikan oleh IETF untuk memadukan mekanisme *label swapping* di layer dua dengan *routing* di layer tiga untuk mempercepat pengiriman paket. MPLS dapat menyederhanakan *routing* paket dan mengoptimalkan pemilihan jalur (*path*) sehingga data lebih aman dan terjamin.

Universitas Diponegoro merupakan salah satu lembaga pendidikan besar di Indonesia yang memiliki beberapa kampus yang tersebar. Oleh karena itu, untuk memudahkan komunikasi dan pertukaran yang terjadi antara kantor pusat dan berbagai kantor cabang tersebut, maka pada Tugas Akhir ini dianalisa dan dirancang pengembangan dari jaringan yang telah berjalan dengan menggunakan teknologi MPLS dengan harapan lembaga universitas ini mempunyai sistem komunikasi dan pertukaran data yang lebih aman, cepat dan terjamin.

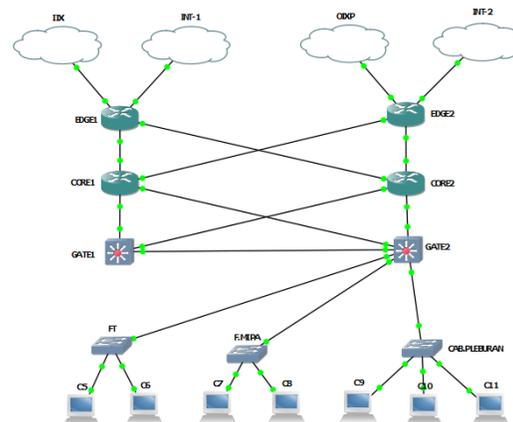
## 2. Metode

### 2.1 Pengertian *Multiprotocol Label Switching* (MPLS)

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. Teknologi MPLS mempersingkat proses-proses yang ada di *Routing IP* Tradisional dengan mengandalkan sistem *label switching*. Konsep utama MPLS adalah teknik penempatan label dalam setiap paket yang dikirim melalui jaringan ini.

### 2.2 Kondisi Eksisting Jaringan Universitas Diponegoro

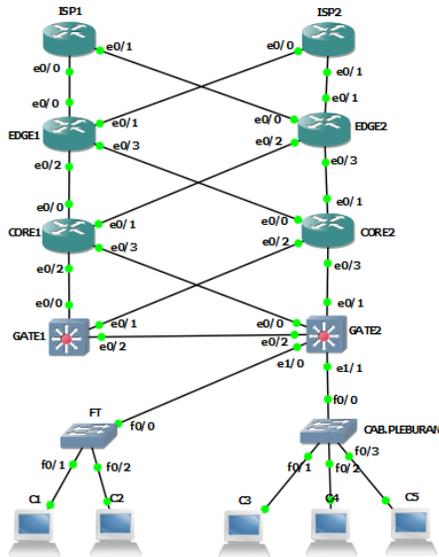
Gambar 2 menunjukkan topologi kondisi eksisting jaringan Universitas Diponegoro secara garis besar.



Gambar 2. Topologi Kondisi Eksisting

Jaringan lokal yang terhubung dengan jaringan ISP Telkom disebut *EDGERouter*. *RouterEDGE* ini menggunakan Cisco 2821. Jaringan Universitas

Diponegoro menggunakan Cisco 3845 sebagai *CORE 1* dan Cisco 7600 sebagai *CORE 2*. *Switch Layer 3 GATE 1* yang berada di gedung ICT menggunakan Cisco 4510R sedangkan *Switch Layer 3 GATE 2* yang berada di NOC menggunakan Cisco 4510. Jaringan LAN untuk tiap fakultas menggunakan Cisco 2960 sebagai *switch* yang meneruskan informasi dari *GATE* ke *end-user*.

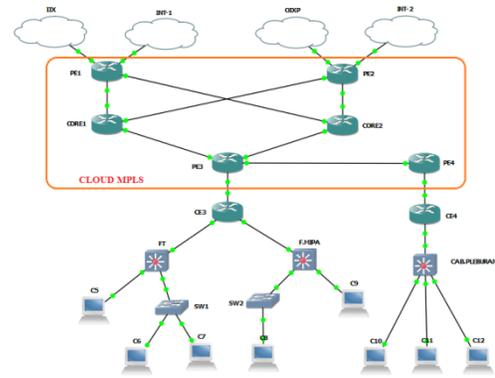


Gambar 3. Simulasi Eksisting Dengan GNS3

Simulasi pada Gambar 3 menggunakan 6 buah *router*, 2 buah *multilayer switch* atau biasa disebut *switch layer 3*, 2 buah *switch* dan 5 buah PC (*end-user*). *Router-router* dan *switch layer 3* pada simulasi Gambar 3 menggunakan OS *router 3640*.

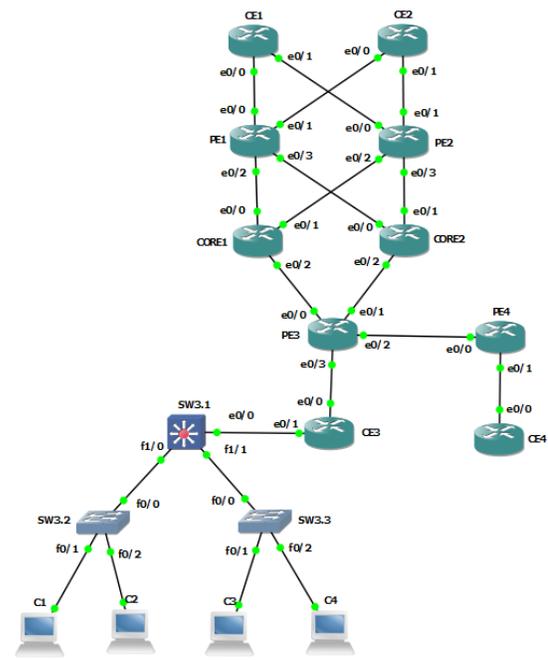
### 2.3 Desain MPLS Jaringan Universitas Diponegoro

Topologi desain MPLS di Gambar 4 terdapat penambahan dua buah *router* yaitu CE3 dan CE4. Hal ini dikarenakan dalam konsep MPLS dibutuhkan perangkat yang bertugas sebagai antarmuka secara langsung ke *customer* atau dalam hal ini adalah kantor cabang.



Gambar 4. Topologi Desain MPLS

MPLS aktif bekerja pada tingkat *CORE* dan *PE*. Gambar 4 di atas menunjukkan *cloud MPLS* dengan garis berwarna oranye. Hal itu berarti MPLS tidak aktif pada perangkat di luar garis oranye.



Gambar 5. Simulasi Desain MPLS Dengan GNS3

Terdapat empat *router* pada Gambar 5 yaitu CE1, CE2, CE3, CE4 dan enam *router* yang berada pada *cloud MPLS* yaitu PE1, PE2, PE3, PE4, *CORE1* dan *CORE2*.

Table 1. IP Subnetting Untuk Simulasi Desain MPLS

Router	Ethernet 0/0	Ethernet 0/1	Ethernet 0/2
PE1	172.16.123.1/30	172.16.123.9/30	192.168.1.2/30
PE2	172.16.123.5/30	172.16.123.13/30	192.168.1.10/30
PE3	192.168.1.18/30	192.168.1.22/30	192.168.1.25/30
PE4	192.168.1.26/30	172.16.123.21/30	-
CORE	192.168.1.1/30	192.168.1.9/30	192.168.1.17/30

1			0
CORE 2	192.168.1.5/30	192.168.1.13/30	192.168.1.21/30
CE1	172.16.123.2/30	172.16.123.6/30	-
CE2	172.16.123.10/30	172.16.123.14/30	-
CE3	172.16.123.18/30	182.255.0.5/30	-
CE4	172.16.123.22/30	-	-
SW3.1	182.255.0.6/30	-	-
	182.255.1.6/30		

Device	Loopback 0	Ethernet 0/3
PE1	192.168.100.1/32	192.168.1.6/30
PE2	192.168.100.2/32	192.168.1.14/30
PE3	192.168.100.5/32	172.16.123.17/32
PE4	192.168.100.6/32	-
CORE1	192.168.100.3/32	-
CORE2	192.168.100.4/32	-
CE1	182.255.0.1/32	-
CE2	182.255.1.1/32	-
CE4	182.255.0.8/32	-
	182.255.1.8/32	-

Device	VLAN 1	VLAN 2	VLAN 3
SW3.1	192.168.1.1/24	10.1.2.1/24	10.1.3.1/24
SW3.2	192.168.1.2/24	-	-
SW3.3	192.168.1.3/24	-	-
C1	-	10.1.2.2/24	-
C2	-	-	10.1.3.2/24
C3	-	10.1.2.3/24	-
C4	-	-	10.1.3.3/24

Table 1 merupakan tabel pengalaman IP pada simulasi desain MPLS.

### 3. Analisis Dan Pengujian

#### 3.1 Analisis Simulasi Kondisi Eksisting Dengan Desain MPLS

Table 2 menunjukkan data waktu tunda yang diambil 10 kali pada simulasi kondisi eksisting.

Table 2. Data Waktu Tunda Kondisi Eksisting

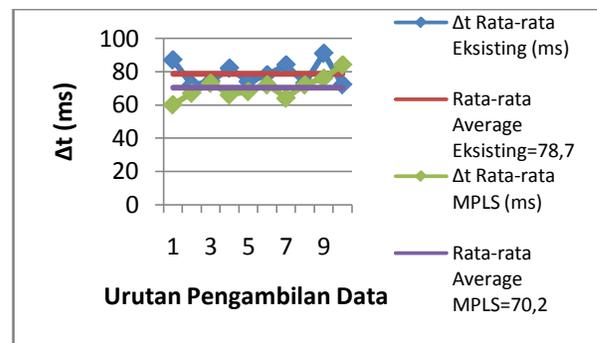
No.	$\Delta t1$ (ms)	$\Delta t2$ (ms)	$\Delta t3$ (ms)	$\Delta t4$ (ms)
1.	87	85	94	67
2.	72	72	77	81
3.	74	78	84	78
4.	82	71	88	74
5.	74	93	82	72
6.	78	79	89	70
7.	84	80	87	73
8.	73	79	75	82
9.	91	80	86	87
10.	72	82	80	88

Table 3 menunjukkan data waktu tunda yang diambil 10 kali pada simulasi desain MPLS.

Table 3. Data Waktu Tunda Simulasi Desain MPLS

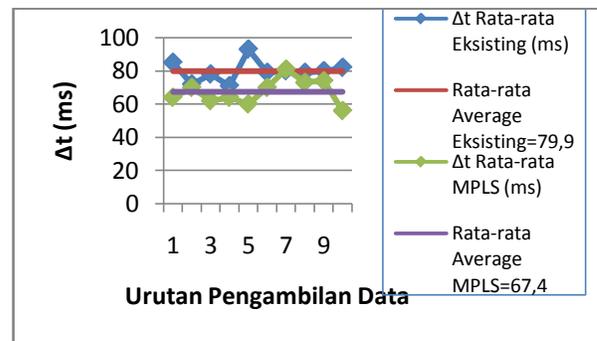
No.	$\Delta t1$ (ms)	$\Delta t2$ (ms)	$\Delta t3$ (ms)	$\Delta t4$ (ms)
1.	60	64	96	83
2.	67	70	66	76
3.	73	62	68	72
4.	66	64	88	69
5.	68	60	76	81
6.	72	70	78	78
7.	64	81	68	64
8.	72	73	76	71
9.	76	74	77	76
10.	84	56	82	61

Analisis dilakukan dengan membandingkan data waktu tunda ( $\Delta t$ ) yaitu waktu yang diperlukan oleh suatu paket yang dikirim dari suatu sumber ke tujuan dan dikembalikan lagi ke sumber.



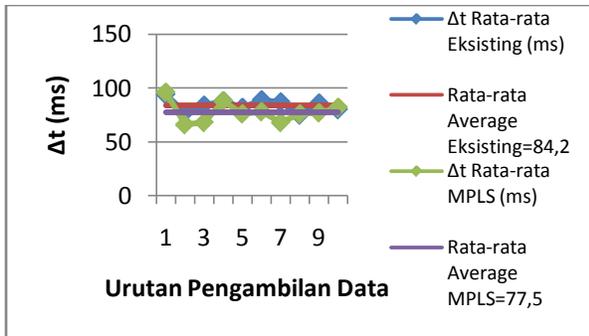
Gambar 6. Perbandingan  $\Delta t$  1

Gambar 6 merupakan perbandingan waktu tunda kondisi eksisting yaitu ISP1 ke 182.255.0.14 milik GATE1 dengan kondisi MPLS yaitu CE1 ke 192.168.1.18 milik PE3.



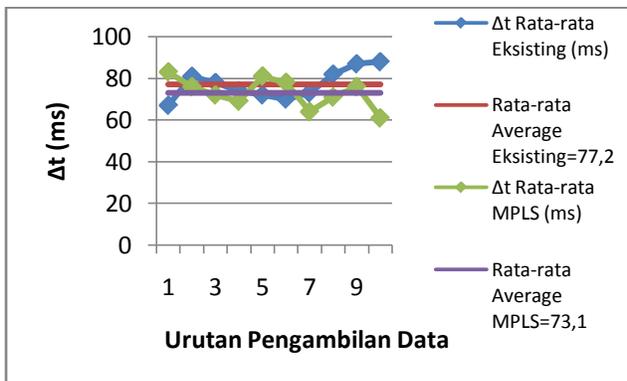
Gambar 7. Perbandingan  $\Delta t$  2

Gambar 7 merupakan perbandingan waktu tunda kondisi eksisting yaitu ISP1 ke 182.255.0.18 milik GATE2 dengan kondisi MPLS yaitu CE1 ke 192.168.1.22 milik PE3.



Gambar 8. Perbandingan  $\Delta t$  3

Gambar 8 merupakan perbandingan waktu tunda kondisi eksisting yaitu ISP2 ke 182.255.0.14 milik GATE1 dengan kondisi MPLS yaitu CE2 ke 192.168.1.18 milik PE3.



Gambar 9. Perbandingan  $\Delta t$  4

Gambar 9 merupakan perbandingan waktu tunda kondisi eksisting yaitu ISP2 ke 182.255.0.18 milik GATE2 dengan kondisi MPLS yaitu CE2 ke 192.168.1.22 milik PE3.

Garis merah pada grafik-grafik menunjukkan waktu tunda rata-rata pada kondisi eksisting dan garis ungu menunjukkan waktu tunda rata-rata pada desain MPLS. Apabila garis merah dan ungu dibandingkan, waktu tunda mengalami penurunan dari keempat kondisi eksisting ke kondisi desain MPLS. Hal ini membuktikan bahwa MPLS dengan konsep *Label Switching* yang dimilikinya dapat menurunkan trafik jaringan dan secara tidak langsung meningkatkan kinerja jaringan.

### 3.2 Pengujian Menggunakan Ping

Gambar 10 menunjukkan bahwa koneksi antara PC dengan ISP berjalan dengan baik. Hal ini terlihat dari gambar yang memperlihatkan PC1 melakukan ping ke ISP1 dan ISP2 dengan baik.

```

VPCS
VPCS[1] ping 10.1.3.2
10.1.3.2 icmp_seq=1 ttl=63 time=78.000 ms
10.1.3.2 icmp_seq=2 ttl=63 time=47.000 ms
10.1.3.2 icmp_seq=3 ttl=63 time=78.000 ms
10.1.3.2 icmp_seq=4 ttl=63 time=63.000 ms
10.1.3.2 icmp_seq=5 ttl=63 time=63.000 ms

VPCS[1] ping 10.1.2.3
10.1.2.3 icmp_seq=1 ttl=64 time=47.000 ms
10.1.2.3 icmp_seq=2 ttl=64 time=31.000 ms
10.1.2.3 icmp_seq=3 ttl=64 time=32.000 ms
10.1.2.3 icmp_seq=4 ttl=64 time=31.000 ms
10.1.2.3 icmp_seq=5 ttl=64 time=31.000 ms

VPCS[1] ping 10.1.3.3
10.1.3.3 icmp_seq=1 ttl=63 time=125.000 ms
10.1.3.3 icmp_seq=2 ttl=63 time=78.000 ms
10.1.3.3 icmp_seq=3 ttl=63 time=78.000 ms
10.1.3.3 icmp_seq=4 ttl=63 time=78.000 ms
10.1.3.3 icmp_seq=5 ttl=63 time=78.000 ms

VPCS[1] _
  
```

Gambar 10. Ping PC1 ke PC Lain pada Permodelan MPLS

Gambar 11 menunjukkan koneksi dari PC ke kantor cabang berjalan dengan baik. PC1 melakukan ping ke alamat *loopback* 1 dan *loopback* 2 pada *router* CE4. *Router* CE4 merupakan *gateway* menuju kantor cabang Undip.

```

VPCS
VPCS[1] ping 182.255.0.8
182.255.0.8 icmp_seq=1 ttl=251 time=265.000 ms
182.255.0.8 icmp_seq=2 ttl=251 time=219.000 ms
182.255.0.8 icmp_seq=3 ttl=251 time=203.000 ms
182.255.0.8 icmp_seq=4 ttl=251 time=234.000 ms
182.255.0.8 icmp_seq=5 ttl=251 time=219.000 ms

VPCS[1] ping 182.255.1.8
182.255.1.8 icmp_seq=1 ttl=251 time=249.000 ms
182.255.1.8 icmp_seq=2 ttl=251 time=281.000 ms
182.255.1.8 icmp_seq=3 ttl=251 time=202.000 ms
182.255.1.8 icmp_seq=4 ttl=251 time=219.000 ms
182.255.1.8 icmp_seq=5 ttl=251 time=234.000 ms

VPCS[1] _
  
```

Gambar 11. Ping PC1 ke Kantor Cabang pada Permodelan MPLS

### 3.3 Pengujian Menggunakan Traceroute

Gambar 12 menampilkan rute paket data dari ISP ke *gateway* fakultas. Keterangan MPLS pada alamat kedua pada rute paket membuktikan aktifnya MPLS memberikan label pada data tersebut. Hal ini terjadi saat paket memasuki alamat pada CORE.

```

Dynamips(8): CE1, Console port
CE1#traceroute 182.255.0.5

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 182.255.0.5

 0 172.16.123.5 124 msec
 1 172.16.123.1 76 msec
 2 172.16.123.5 96 msec
 3 192.168.1.5 [MPLS: Label 23 Exp 0] 184 msec
 4 192.168.1.9 [MPLS: Label 23 Exp 0] 92 msec
 5 192.168.1.5 [MPLS: Label 23 Exp 0] 172 msec
 6 192.168.1.18 112 msec
 7 192.168.1.22 132 msec
 8 192.168.1.18 88 msec
 9 172.16.123.18 [AS 111] 164 msec * 144 msec
CE1#traceroute 182.255.1.5

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 182.255.1.5

 0 172.16.123.5 80 msec
 1 172.16.123.1 148 msec
 2 172.16.123.5 80 msec
 3 192.168.1.1 [MPLS: Label 23 Exp 0] 140 msec
 4 192.168.1.9 [MPLS: Label 23 Exp 0] 112 msec
 5 192.168.1.1 [MPLS: Label 23 Exp 0] 76 msec
 6 192.168.1.18 148 msec 108 msec 152 msec
 7 172.16.123.18 [AS 111] 160 msec * 176 msec
CE1#
  
```

Gambar 12. Traceroute CE1 ke CE3 pada Permodelan MPLS

Gambar 13 menunjukkan rute paket data dari ISP ke gateway kantor cabang Undip. Sama dengan penjelasan sebelumnya bahwa keterangan MPLS pada alamat kedua dan ketiga pada rute paket membuktikan aktifnya MPLS memberikan label pada data tersebut.

```

Dynamips(8): CE1, Console port
Tracing the route to 182.255.0.8

 1 172.16.123.5 120 msec
   172.16.123.1 76 msec
   172.16.123.5 96 msec
 2 192.168.1.5 [MPLS: Label 24 Exp 0] 172 msec
   192.168.1.13 [MPLS: Label 24 Exp 0] 176 msec
   192.168.1.5 [MPLS: Label 24 Exp 0] 96 msec
 3 192.168.1.22 [MPLS: Label 24 Exp 0] 244 msec 200 msec
   192.168.1.26 68 msec 300 msec 144 msec
   192.168.1.22 [MPLS: Label 24 Exp 0] 148 msec
 4 192.168.1.26 68 msec 300 msec 144 msec
 5 172.16.123.22 [AS 111] 288 msec * 188 msec
CE1#traceroute 182.255.1.8

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 182.255.1.8

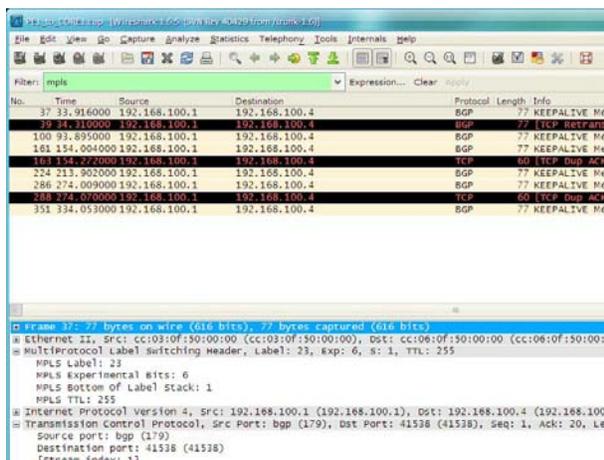
 1 172.16.123.5 192 msec
   172.16.123.1 84 msec
   172.16.123.5 112 msec
 2 192.168.1.1 [MPLS: Label 24 Exp 0] 180 msec
   192.168.1.13 [MPLS: Label 24 Exp 0] 228 msec
   192.168.1.1 [MPLS: Label 24 Exp 0] 124 msec
 3 192.168.1.22 [MPLS: Label 24 Exp 0] 128 msec
   192.168.1.18 [MPLS: Label 24 Exp 0] 132 msec
   192.168.1.22 [MPLS: Label 24 Exp 0] 144 msec
 4 192.168.1.26 160 msec 144 msec 128 msec
 5 172.16.123.22 [AS 111] 272 msec * 156 msec
CE1#

```

Gambar 13. Traceroute CE1 ke CE4 pada Permodelan MPLS

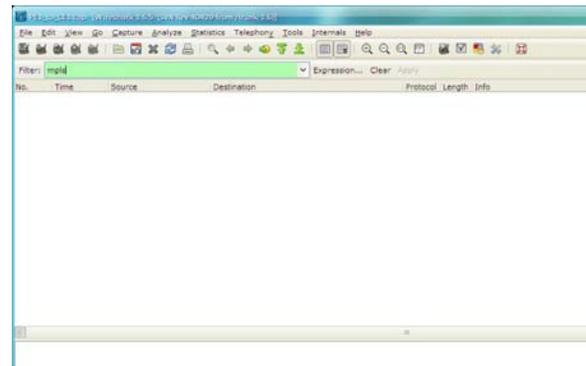
### 3.4 Pengujian Menggunakan Wireshark

Gambar 14 dan Gambar 15 menunjukkan hasil capture paket difilter menggunakan kata kunci "mpls".



Gambar 14. Hasil Capture Paket MPLS PE1 ke CORE1

Gambar 14 menunjukkan hasil capture paket MPLS yang lewat antara router PE1 dan CORE1. Hal ini membuktikan bahwa paket yang dikirim telah diubah dari paket IP dan diberikan label MPLS dan jaringan MPLS hanya bekerja pada router PE dan CORE. Hal ini dapat meningkatkan kinerja jaringan karena MPLS memberi label pada paket data dan hanya melewati paket yang sesuai dengan labelnya.



Gambar 15. Hasil Capture Paket MPLS CE1 ke PE1

Paket yang berada pada Gambar 15 yang mengarah ke customer yang tidak ada pemberian label. Gambar 15 ini membuktikan bahwa paket MPLS yang melewati router PE ke arah CE sudah diubah dari paket MPLS ke paket IP. Setelah diubah ke paket IP maka data tersebut dapat diterima di destination dan diproses seperti data yang dikirim dari source.

### 4. Penutup

Setelah mengadakan analisis dan perancangan MPLS pada Universitas Diponegoro menggunakan GNS3, maka didapatkan kesimpulan bahwa GNS3 merupakan simulator jaringan grafis yang dapat digunakan untuk mensimulasikan jaringan MPLS yang kompleks dengan baik. Simulator ini sangat berguna bagi para teknisi jaringan untuk memeriksa konfigurasi yang perlu digunakan sebelum diimplementasikan ke router nyata. GNS3 bekerja menggunakan IOS Cisco sehingga teknisi dapat mengkreasikan jaringan yang disimulasikan persis seperti pada jaringan nyata.

Pertukaran data melalui MPLS dapat meningkatkan kinerja jaringan. MPLS bekerja dengan melakukan enkapsulasi paket-paket IP menjadi paket MPLS. Hal ini sangat berguna apabila MPLS digunakan antara kantor pusat dan kantor cabang.

Topologi dengan MPLS akan meningkatkan kinerja jaringan Universitas Diponegoro berdasarkan hasil perbandingan waktu tunda antara simulasi desain MPLS dengan simulasi topologi eksisting yang menunjukkan penurunan. Salah satu dari beberapa pengambilan data waktu tunda menghasilkan

perbandingan rata-rata waktu tunda minimal kondisi eksisting : kondisi MPLS sebesar 54,4 : 35,2. Perbandingan rata-rata waktu tunda *average* kondisi eksisting : kondisi MPLS sebesar 78,7 : 70,2. Perbandingan rata-rata waktu tunda maksimal kondisi eksisting : kondisi MPLS sebesar 110,4 : 123,2. Menurunnya waktu tunda membuktikan bahwa kinerja jaringan meningkat.

Saran yang dapat dijadikan referensi pengembangan penelitian berikutnya yaitu antara lain perancangan jaringan MPLS dapat dikembangkan dengan menggunakan metode IPv6 sehingga fitur yang ada untuk jaringan akan lebih banyak, perancangan MPLS dapat dikembangkan menjadi sebuah jaringan yang lebih kompleks dan dengan kemudahan yang dimiliki oleh MPLS, maka Universitas Diponegoro dapat dengan mudah mengembangkan jaringan dengan membuka kantor cabang baru di wilayah lain karena MPLS dapat diatur untuk jumlah jaringan yang besar.

## Referensi

[1] Downes, Kevin., Ford, M., Lew, H. K., Spanier, S., dan Stevenson, T., *Internetworking Technologies*

*Handbook*, Second Edition, Macmillan Technical Publishing, Indianapolis, 1998.

- [2] Mustamu, Y. K. and Stephen D., *Analisis Dan Perancangan Jaringan Komputer Menggunakan Vlan Dengan Multi Layer Switch Cisco Pada PT. Kirin Miwon Foods*, Skripsi S-1, Universitas Bina Nusantara, Jakarta, 2012.
- [3] Odom, W., *Cisco CCNA Exam #640-507 Certification Guide*, Cisco Press, Indianapolis, 2000.
- [4] Saputro Joko, *Praktikum CCNA Di Komputer Sendiri Menggunakan GNS3*, Mediakita, Jakarta, 2010.
- [5] Sofana Iwan, *Cisco CCNA dan Jaringan Komputer*, Informatika, Bandung, 2009.
- [6] Sofana Iwan, *Teori & Modul Praktikum Jaringan Komputer*, Modula, Bandung, 2011.
- [7] Stallings, William., *Komunikasi Data dan Komputer: Dasar-Dasar Komunikasi Data*, Edisi Ke-6, Terjemahan Thamir Abdul Hafedh Al-Hamdany, B.Sc., M.Sc., Salemba Teknika, Jakarta, 2001.
- [8] Susanto, D. and Paramita H., *Analisis Dan Perancangan Jaringan WAN Berbasis MPLS Pada PT.Indomobil Sukses Internasional Tbk*, Skripsi S-1, Universitas Bina Nusantara, Jakarta, 2010.
- [9] Tanenbaum, A.S., *Computer Networks*, Fourth Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2003.
- [10] Wastuwibowo, Kuncoro, *Jaringan MPLS*, Versi 1.2, November 2003.