

# Implementasi *Tunnel* GRE pada Jaringan *Ring* dan *Mesh* Perangkat Metro-E Nokia

## (Implementation of GRE Tunnel on Ring and Mesh Network Nokia Metro-E Devices)

R. Muhammad Arifin<sup>1</sup>, Eni Dwi Wardhani<sup>2</sup>, Samuel BETA<sup>3</sup>

**Abstract**—A Tunnel is a technique of establishing a local communication line between two routers or more using a public IP network. The problem faced in current tunneling systems is that there are no guidelines for choosing the right techniques according to the employed network topology. In the field practice, the selection is conducted based on the experience or by following the SOP. The brand of devices supporting tunneling is very diverse in Indonesia, one of which is Nokia. This research focuses on generating a guideline for tunnels owned by Nokia, i.e., the GRE tunnel. The analysis was done with various traffic engineering scenarios, including conditions without any loads and various other conditions when there was a network disruption. The obtained results showed that GRE ran normally when there was no load. In a state with a load from the beginning, the GRE obtained a throughput of 0.995 Mbps and an average delay of 11.484 ms. With a sudden load, it obtained a throughput of 1.059 Mbps and a delay of 11.484 ms. In addition, when a network disruption was implemented with a ping command, the obtained RTO was one. The GRE tunnel is suitable to be used in a new network implementation for its simplicity in its configuration sufficient to activate the OSPF metric to balance the traffic in each interface of certain routers.

**Intisari**—*Tunnel* merupakan teknik membangun jalur komunikasi lokal antara dua atau lebih *router* menggunakan jaringan IP publik. Permasalahan yang dihadapi pada sistem *tunneling* saat ini adalah belum adanya pedoman untuk memilih teknik yang tepat sesuai topologi jaringan yang digunakan. Pada praktik di lapangan, pemilihan dilakukan berdasarkan pengalaman atau mengikuti SOP. Merek perangkat yang mendukung untuk *tunneling* sangat beragam di Indonesia, salah satunya adalah Nokia. Makalah ini berfokus untuk menghasilkan pedoman pada *tunnel* yang dimiliki perangkat Nokia, yaitu *tunnel* GRE. Analisis dilakukan dengan berbagai skenario rekayasa trafik, meliputi kondisi saat tanpa beban dan berbagai kondisi lain bila terjadi gangguan jaringan. Hasil yang diperoleh menunjukkan GRE saat tanpa beban berjalan dengan normal. Pada keadaan dengan beban dari awal, GRE mendapatkan *throughput* 0,995 Mbps dan *delay* rata-rata 11,484 ms; dengan beban mendadak mendapatkan *throughput* 1,059 Mbps dan *delay* 11,386; dan saat gangguan jaringan dilakukan dengan perintah *ping* mendapatkan hasil satu RTO. *Tunnel* GRE cocok digunakan pada implementasi jaringan baru karena kesederhanaan dalam

konfigurasinya yang cukup mengaktifkan metrik OSPF untuk menyeimbangkan trafik pada tiap *interface router* tertentu.

**Kata Kunci**—*Internet Protocol, Tunneling, Nokia, GRE.*

### I. PENDAHULUAN

Teknologi jaringan *Internet Protocol* (IP) saat ini sudah menjadi suatu fenomena yang digunakan secara global, sehingga layanan-layanan yang berbasis IP pun sudah semakin berkembang dan beragam, yang salah satunya adalah *tunneling*. *Tunneling* merupakan solusi interkoneksi antar jaringan lokal yang terpisahkan oleh jarak yang jauh, dengan menggunakan jaringan publik untuk interkoneksinya [1]. Namun, pada *tunneling* belum ada pedoman di setiap kondisi topologi jaringan dalam menggunakan teknik-tekniknya, yang artinya *tunneling* hanya digunakan berdasarkan keyakinan dari pengalaman serta SOP. Merek perangkat yang mendukung untuk *tunneling* sangat beragam di Indonesia. Salah satu merek yang digunakan adalah Nokia. Makalah ini berfokus pada *tunnel* yang dimiliki perangkat Nokia, yaitu *Generic Routing Encapsulation* (GRE).

GRE merupakan sebuah metode standar yang dideskripsikan oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF) dan merupakan protokol *tunneling* yang memiliki kemampuan membawa lebih dari satu jenis protokol pengalamatan komunikasi. Selain paket beralamatkan IP, paket protokol lain juga dapat dibawa.

Beberapa penelitian tentang GRE yang sudah ada masih terbatas pada perbandingan unjuk kerja pada *tunneling* saja. Belum ditemukan penelitian yang memberikan pedoman waktu dan kondisi GRE dapat diterapkan secara tepat.

Beberapa penelitian membandingkan GRE dan GRE+IPsec pada *routing Enhanced Interior Gateway Routing Protocol* (EIGRP). Penelitian dilakukan dengan menganalisis hasil rekaman Wireshark yang terjadi pada jaringan *Wireless Local Area Network* (WLAN) menggunakan GRE dan GRE+IPsec. Hasil yang didapatkan adalah GRE sudah berjalan dengan normal, tetapi data akan lebih aman jika ditambahkan GRE+IP Security (IPSec) yang berjalan pada lapisan 3 pada jaringan [2]. Hasil yang sama diperoleh ketika digunakan GRE+IPSec pada jaringan *Internetwork Packet Exchange* (IPX) [3].

Penelitian tentang penggunaan *tunnel* GRE pada lapisan 3 dilakukan dengan memisahkan jalur berangkat dan kembali layanan pelanggan [4]. Pengujian dilakukan dengan mengatur konfigurasi perangkat sesuai *router* yang digunakan. *Router* yang digunakan yaitu Cisco, Alcatel atau Nokia, ZTE, Red Back, dan Juniper. Dari hasil penelitian ini, diperoleh gambaran besar topologi dan konfigurasi dari *router* tersebut [4].

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Magister Terapan Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang 50275 Indonesia (telp: 024-7473417; fax: 0247472396; e-mail:

<sup>1</sup>muhammad.arifin@polines.ac.id,

<sup>1</sup>rdnuhammad.arifin@gmail.com, <sup>2</sup>edwardihani@polines.ac.id,

<sup>3</sup>samsambetak2@polines.ac.id)

Sebuah penelitian menganalisis GRE serta VPN pada trafik *Voice Over IP* (VOIP) atau disebut juga layanan telepon publik. Parameternya adalah pemilihan protokol pensinyalan H.323 dan SIP, *codec* suara G.711 dan G.723, serta kualitas layanan GRE. Hasil yang didapatkan yaitu GRE tidak mengalami peningkatan kualitas yang signifikan seperti *delay end-to-end*, *call setup time*, atau penurunan nilai *call MOS* [5]. Sebuah analisis GRE menggunakan OpenvSwitch dilakukan dengan simulator Mininet dan topologi sederhana yang menghubungkan jaringan lokal dengan jaringan lokal lainnya dalam satu kelas *subnet* yang dipisahkan oleh jarak [6]. Pengujian dilakukan dengan perintah *ping* dari satu *host* lokal menuju jaringan lokal yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua *host* terhubung dengan baik menggunakan metode ini. Kekurangan pada penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengujian *throughput* karena jaringan yang digunakan merupakan simulasi pada Mininet yang unjuk kerjanya bergantung pada perangkat komputer yang digunakan [6].

Analisis unjuk kerja *Multi Protocol Label Switching–Virtual Private Network* (MPLS-VPN) dengan metode *tunneling* GRE yang menggunakan *File Transfer Protocol* (FTP) juga telah dilakukan [7]. Penelitian ini menggunakan berbagai topologi *ring* dan *mesh* dalam pengujiannya serta menggunakan perangkat Mikrotik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua topologi mengalami penurunan nilai *throughput*, *delay*, dan *packet loss*, yang disebabkan oleh penggunaan sumber daya pada pertukaran *interkey exchange* pada pembentukan *tunneling* GRE, yaitu beban trafik 0 Mbps menggunakan topologi *ring* mendapatkan *delay* 183 s, sedangkan pada topologi *mesh* memperoleh *delay* 176 s. Nilai *packet loss* ketika digunakan topologi *ring* adalah 0,010336368%, sedangkan jika digunakan topologi *mesh*, didapatkan *packet loss* 0,010355744%. *Tunneling* GRE menyebabkan kenaikan *packet loss*: pada topologi *ring*, *packet loss* naik sebesar 0,093101493%, dari 0,010262188% ke 0,010336368%, setelah *tunneling* GRE dilakukan, dan pada topologi *mesh* *packet loss* naik sebesar 0,00085672%, dari 0,010270072% ke 0,010355744%. Penurunan unjuk kerja dialami karena adanya penggunaan sumber daya pada jaringan dalam bentuk kode komunikasi pada saat pembentukan GRE [7].

Penelitian lainnya meneliti GRE pada perangkat mikrotik, yaitu melakukan perbandingan unjuk kerja *tunneling* GRE dengan *Point to Point Protocol Over Ethernet* (PPPoE) [8]. Pengujian lebih berfokus pada *delay* dan *throughput* dengan melakukan pengiriman berkas berukuran 100 Mb, 300 Mb, dan 500 Mb, dengan format *rar* dan *exe*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa PPPoE lebih unggul dibandingkan GRE pada parameter *delay* dan *throughput*. *Delay tunneling* PPPoE lebih kecil dibandingkan *delay tunneling* GRE, yaitu sebesar 0,001005 s pada *tunneling* PPPoE dan 0,001252 s pada *tunneling* GRE. *Throughput* pada PPPoE adalah 2,75 Mbps/s, sementara pada *tunneling* GRE sebesar 2,10 Mbps/s. Hal tersebut dipengaruhi oleh terjadinya penambahan *header* paket pada *tunneling* GRE sebesar 24 byte kepala (4-byte *header* GRE + 20-byte *header* IP). Kekurangan pada penelitian ini yaitu hanya digunakannya dua parameter kualitas layanan serta

topologi yang digunakan hanya *point-to-point*, perlu dilakukan percobaan *routing* dengan protokol lain [8].

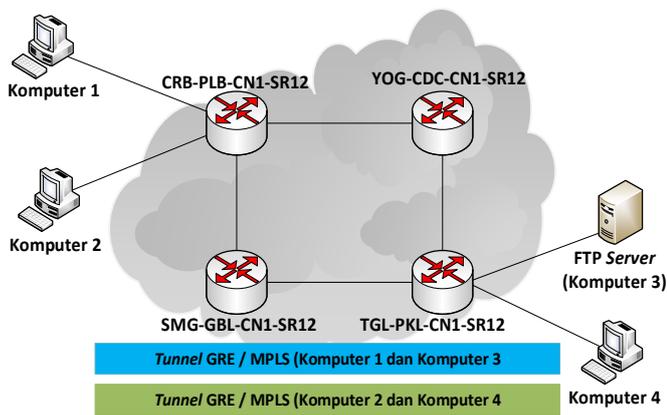
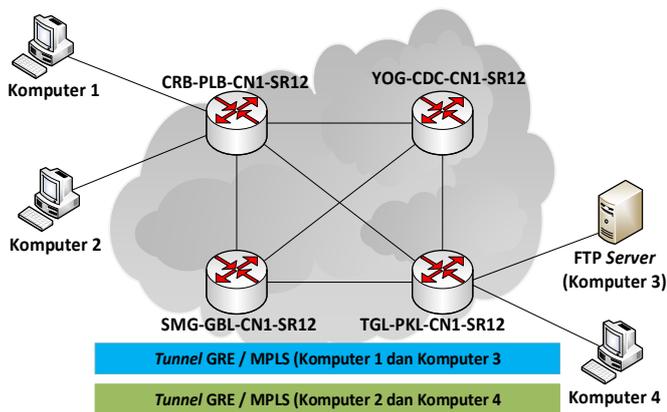
Penelitian lain menghubungkan lapisan 2 antar tujuan, yang dapat dipenuhi melalui VPN *tunneling* GRE [9]. Penelitian ini menggunakan simulator GNS3 dan Mikrotik OS sebagai analisis dan pengujiannya. Dilakukan perintah *ping* dan *tracert* antarkomputer dan pertukaran data sehingga dapat dilakukan pemetaan rute yang dilewati. Perangkat lunak yang digunakan pada Mikrotik adalah Packet Sniffer dan Torch, sehingga dapat melihat trafik yang melewati antarmuka virtual *tunneling* GRE. Penelitian ini mendapatkan hasil yang baik dengan terdapatnya bukti yaitu antarkomputer dapat saling berkomunikasi walaupun melalui *router* yang berbeda [9].

*Tunneling multiprotocol* GRE (mGRE) dengan menggunakan simulasi GNS pada lapisan 3, yang mengizinkan penggunaan *Label Switched Path* (LSP), *Carrier Supporting Carrier* (CSC), atau *Label Distribution Protocol* (LDP), serta menggunakan enkapsulasi VPNv4/v6 dalam pelabelan antar CE juga telah dilakukan [10]. Penelitian ini tidak mencantumkan hasil penggunaan mGRE dengan lengkap seperti adanya perbandingan *delay* dengan *tunneling* yang sudah ada. Penelitian ini menggunakan simulasi GNS3 dalam pembentukannya [10].

Oleh karena itu, makalah ini berupaya menghasilkan rekomendasi yang tepat dalam menentukan sistem *tunneling* sesuai topologi jaringan. Dalam makalah ini dilakukan analisis layanan data metode GRE dengan cara melakukan analisis kualitas layanan komunikasi data dan pengiriman FTP, sebagaimana dilakukan pada penelitian sebelumnya [7], [8]. Kemudian, dibuat jaringan topologi *ring* dan *mesh* serta diberikan beban trafik pada jalur jaringan. Selanjutnya, dilakukan juga analisis kualitas layanan komunikasi data saat jalur yang digunakan putus hingga pindah ke jalur lain yang terhubung ke tujuan. Pengujian dilakukan dengan perintah *ping* ke komputer dan *trace* dari *router* serta dilakukan analisis kualitas layanan berdasarkan *throughput*, *delay*, dan *downtime* dengan direkam menggunakan Wireshark.

## II. METODOLOGI

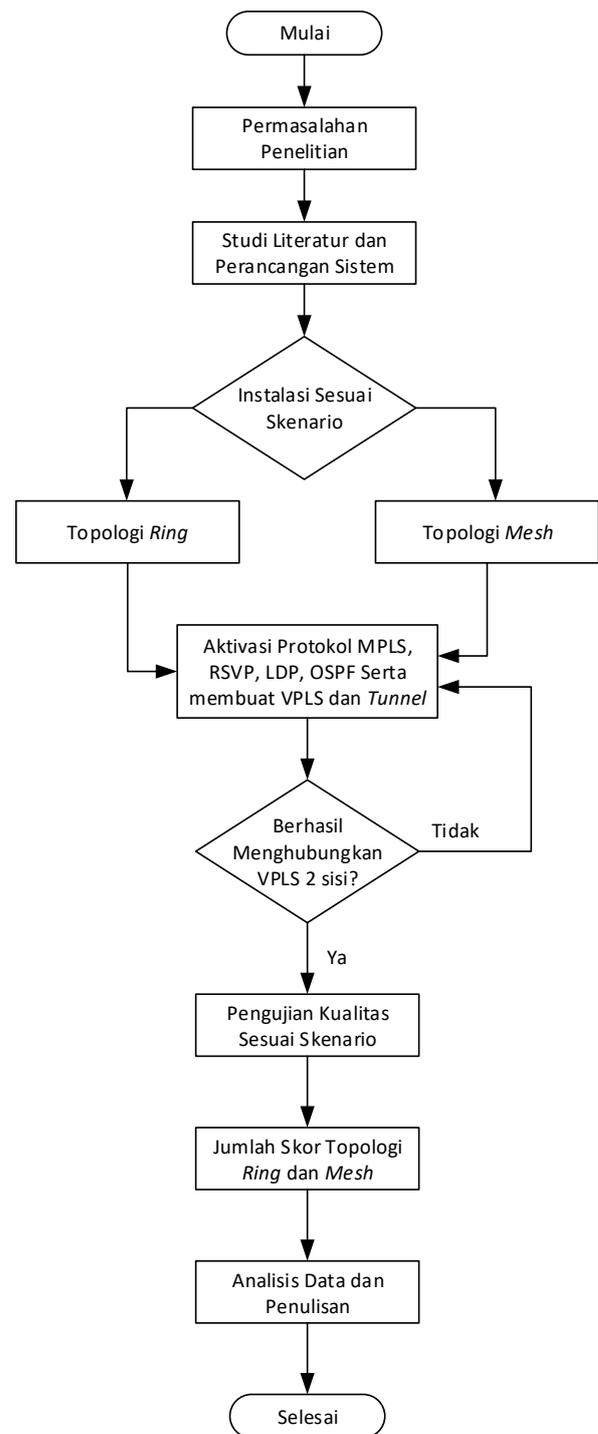
Perancangan metode penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Observasi dilakukan untuk memperoleh data, yang dicari dengan referensi dan studi literatur berupa buku, jurnal, penelitian, karya ilmiah, artikel tentang perangkat Nokia yang digunakan, seperti *Virtual Private LAN Service* (VPLS), serta mempelajari unjuk kerja protokol aktivasi MPLS, OSPF, LDP, RSVP sebagai pendukung penelitian. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem menggunakan aplikasi EVE-NG, yang dapat melakukan konfigurasi seperti aslinya. Hal-hal yang dibutuhkan dalam perancangan adalah *router* Nokia, server FTP, dan komputer klien. *Router* Nokia bertugas melakukan perutean antar-*interface* agar terhubung dengan cara mengatur konfigurasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Komputer 1 bertugas melakukan pengunggahan berkas pada server FTP. Di sisi lain, komputer 2 dan komputer 4 bertugas sebagai pengirim dan penerima dalam berbagai skenario rekayasa jaringan menggunakan perangkat lunak TFGen. Komputer 3 (server

Gbr. 1 Topologi implementasi *ring*.Gbr. 2 Topologi implementasi *mesh*.

FTP) bertugas melayani komputer 1. Dengan menggunakan perangkat lunak Wireshark, dapat dilakukan pengambilan data dan analisis trafik di server sesuai skenario rekayasa jaringan yang telah dibuat.

Untuk menguji kualitas layanan serta mendapatkan rekomendasi saat yang tepat menggunakan teknik GRE, dilakukan beberapa skenario rekayasa jaringan, yaitu menggunakan topologi *ring* dan topologi *mesh*. sebagai berikut.

1. Melakukan pembentukan topologi dan konfigurasi protokol sesuai perancangan seperti yang ditunjukkan pada Gbr. 1 dan Gbr. 2.
2. Mengatur *throughput* tiap komunikasi antar-router sebesar 1 Gbps.
3. Membuat layanan VPLS pada *router* CRB-PLB-CN1-SR12 dengan TGL-PKL-CN1-SR12 untuk menghubungkan komputer 1 dengan server FTP dan komputer 2 dengan komputer 4.
4. Melakukan pengaturan awal: komputer 1 mengunggah berkas sebesar 75 MB ke server FTP, komputer 2 dan komputer 4 menjalankan skenario rekayasa trafik menggunakan perangkat lunak TFGen, dan melakukan perekaman trafik data yang masuk dari komputer 1 ke server FTP menggunakan perangkat lunak Wireshark.
5. Melakukan pengujian di sisi *router*, yang telah terpasang layanan VPLS, dengan mengirimkan perintah *ping* dan *trace* koneksi pada saat terjadi proses pengunggahan berkas dan rekayasa trafik. Perintah *ping* digunakan untuk



Gbr. 3 Diagram alir penelitian.

melihat hasil waktu proses, sedangkan *trace* untuk melihat jalur yang dilewati komputer klien.

6. Melakukan pengujian berbagai macam skenario rekayasa jaringan serta topologi *ring* dan topologi *mesh*, masing-masing sebanyak sepuluh kali. Rekayasanya adalah: a) tanpa beban; b) dengan rekayasa beban dari awal pengunggahan berjalan; c) dengan rekayasa beban dilakukan pada FTP berjalan 50%, dan d) saat terjadi gangguan pada jalur utama.

TABEL I  
PERANGKAT KERAS

No	Perangkat	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
1	Laptop server	AMD A10, Memori 12 GB, Harddisk 1 TB, Ethernet, Win 10 x64	1	Digunakan sebagai server FTP
2	Laptop klien	Intel Core i5 Memori 12 GB Harddisk 500 GB, Ethernet, Win 10 x64	1	Digunakan sebagai klien FTP dan sebagai <i>router virtual</i>
3	Kabel UTP	Cat5e	1	

TABEL II  
PERANGKAT LUNAK

No	Perangkat	Jumlah	Keterangan
1	Wireshark	1	Digunakan untuk analisis trafik
2	WinSCP	1	Digunakan untuk berkas <i>sharing</i> komputer
3	EVE-NG	1	Perangkat yang digunakan untuk membuat <i>router virtual</i>
4	Tfgen	1	Untuk membangkitkan beban trafik
5	Vmware	1	Untuk instalasi komputer virtual pada EVE-NG

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gbr. 3, yaitu mempersiapkan perangkat keras dan lunak, kemudian menyediakan infrastruktur sesuai skenario. Setelah semua dapat berkomunikasi dengan konfigurasi protokol aktivasi MPLS, RSVP, LDP, dan OSPF pada *router*, serta membuat jalur VPN dan *tunneling* GRE, sistem diuji.

Tabel I dan Tabel II menyajikan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Selanjutnya adalah tahap konfigurasi perangkat telekomunikasi atau Nokia hingga terhubung dan dilakukan pengujian kualitas layanan data. Pengaturan EVE-NG pada perangkat lunak Vmware dibuat dengan spesifikasi memori 9 GB, penyimpanan 50 GB, dan adaptor jaringan ditambahkan menjadi tiga nirkabel. VMnet 2 digunakan untuk komunikasi lokal antara Vmware dengan EVE-NG, sedangkan VMnet 0 digunakan untuk penghubung komunikasi komputer 1 EVE-NG dengan komputer server FTP, dan VMnet 3 diarahkan ke *loopback* sebagai komunikasi komputer 1. Dengan spesifikasi perangkat yang digunakan, dapat dibangun *tunneling* GRE menggunakan EVE-NG dengan memasang sebanyak empat buah komputer yang saling berkomunikasi dengan alokasi alamat IP sesuai pada Tabel III dan Tabel IV.

Kemudian, dilakukan pengumpulan data penelitian yang telah terimplementasi dan diuji unjuk kerjanya dari skenario rekayasa jaringan. Setelah itu dilakukan pengolahan data. Data yang telah dikumpulkan diolah menggunakan tabel Excel, kemudian hasil pengujiannya dirata-rata untuk mendapatkan keakuratan nilai *throughput*, *delay*, dan *downtime*. Langkah terakhir adalah dokumentasi penelitian. Langkah ini merupakan pengumpulan data yang sudah final kemudian memasukkannya ke dalam laporan sebagai bukti dokumentasi hasil penelitian yang telah dilakukan.

TABEL III  
PENGATURAN ALAMAT IP KOMPUTER

No	Nama Perangkat	Tujuan	IP Port	Keterangan
1	Komputer 1	Komputer 2	192.168.2.2/24	-
2	Komputer 2	Komputer 1	192.168.2.1/24	Server FTP
3	Komputer 3	Komputer 4	192.168.3.1/24	Rekayasa beban trafik

TABEL IV  
PENGATURAN ALAMAT IP ROUTER

No	Nama Perangkat	Tujuan	Port	IP PTP
1	SMG-GBL-CN1-SR12	TGL-PKL-CN1-SR12	1/1/1	192.168.1.0/31
		CRB-PLB-CN1-SR12	1/1/4	192.168.1.3/31
		YOG-CDC-CN1-SR12	1/1/5	192.168.1.10/31
2	TGL-PKL-CN1-SR12	SMG-GBL-CN1-SR12	1/1/1	192.168.1.1/31
		CRB-PLB-CN1-SR12	1/1/5	192.168.1.9/31
		YOG-CDC-CN1-SR12	1/1/4	192.168.1.7/31
3	CRB-PLB-CN1-SR12	SMG-GBL-CN1-SR12	1/1/1	192.168.1.2/31
		TGL-PKL-CN1-SR12	1/1/3	192.168.1.8/31
		YOG-CDC-CN1-SR12	1/1/2	192.168.1.4/31
4	YOG-CDC-CN1-SR12	TGL-PKL-CN1-SR12	1/1/1	192.168.1.6/31
		CRB-PLB-CN1-SR12	1/1/2	192.168.1.5/31
		SMG-GBL-CN1-SR12	1/1/3	192.168.1.11/31

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil implementasi dan pengujian *tunneling* GRE yang menggunakan VPLS, yaitu perbandingan unjuk kerja saat pengiriman berkas ke server FTP dengan rekayasa trafik jaringan dari tanpa beban sampai terdapat aliran hingga penuh trafik.

A. Pengujian Komunikasi

Pengujian standar yang dilakukan yaitu melakukan perintah *ping* antarkomputer, untuk mengetahui paket data yang dikirimkan ke alamat IP tujuan hingga mendapatkan *reply* yang artinya VPLS yang telah dibuat sudah berhasil. Jika terjadi pesan *Request Time Out* (RTO) pada komputer, berarti terdapat kesalahan pada pembuatan *tunnel*. Solusinya adalah dengan memeriksa kembali kondisi *tunneling* yang sudah terkonfigurasi dalam keadaan aktif atau mati, seperti ditunjukkan pada Gbr. 4, dan melakukan perintah *ping* kepada tiap *tunneling* di *router* seperti Gbr. 5.

```
A:TGL-PKL-CN1-SR12# show service sdp
```

```
=====
```

```
Services: Service Destination Points
```

```
=====
```

SdpId	AdmMTU	OprMTU	Far End	Adm	Opr	Del	LSP	Sig
5	0	8914	10.10.10.3	Up	Up	MPLS	R	TLDP
7	0	8914	10.10.10.3	Up	Up	MPLS	R/L	TLDP
10	0	8894	10.10.10.3	Up	Up	GRE	n/a	TLDP
50	0	8894	10.10.10.3	Up	Up	GRE	n/a	TLDP

```
=====
```

```
Number of SDPs : 4
```

```
-----
```

```
Legend: R = RSVP, L = LDP, B = BGP, M = MPLS-TP, n/a = Not Applicable
```

```
=====
```

Gbr. 4 Service SDP.

```
A:CRB-PLB-CN1-SR12# oam sdp-ping 10 resp-sdp 10 count 10
```

Request	Response	RTT
1	Success	10.6ms
2	Success	4.31ms
3	Success	3.27ms
4	Success	3.37ms
5	Success	4.11ms
6	Success	3.68ms
7	Success	5.82ms
8	Success	5.84ms
9	Success	3.38ms
10	Success	5.18ms

```
-----
```

```
Sent: 10    Received: 10
```

```
Min: 3.27ms  Max: 10.6ms  Avg: 4.96ms
```

Gbr. 5 Ping antar-tunneling router.

```
C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2
```

```
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
```

Reply from 192.168.2.2: bytes=32	time=6ms	TL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32	time=5ms	TL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32	time=5ms	TL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32	time=5ms	TL=128

```
Ping statistics for 192.168.2.2:
```

```
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
```

```
  Approximate round trip times in milli-seconds:
```

```
    Minimum = 5ms, Maximum = 6ms, Average = 5ms
```

Gbr. 6 Ping ke komputer 2.

Gbr. 4 menunjukkan SDP ID pada CRB-PLB-CN1-SR12 dan TGL-PKL-CN1-SR12 dengan pembacaan `sdp-ping 10` berasal dari sumber, yaitu CRB-PLB-CN1-SR12. Setelah itu, `resp-sdp 10` adalah SDP ID tujuan yang didapatkan dari TGL-PKL-CN1-SR12. Gbr. 5 merupakan hasil perintah `ping` bolak-balik SDP pada *router* ketika menggunakan layanan GRE, tetapi belum diberikan layanan VPLS. Setelah dilakukan pemeriksaan kembali, dapat dilakukan pembuktian bahwa komputer 1 klien menguji jaringan dengan perintah `ping 192.168.2.2` dan telah direspons dari pemilik alamat IP tersebut, seperti pada Gbr. 6, sehingga terbukti VPN yang dibangun berhasil bekerja dengan baik.

### B. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan pada *tunneling* GRE ketika mengunggah berkas dari komputer 1 ke server FTP serta melakukan pemantauan kondisi *port* jaringan *router* dan

melihat jalur yang dilewati berkas hingga sampai tujuannya. Gbr. 7 membuktikan bahwa ketika digunakan GRE dengan topologi *ring*, trafik FTP tidak dapat menebak jalurnya, seperti pada port 1/1/1 CRB-PLB-CN1-SR12 hendak menuju ke TGL-PKL-CN1-SR12 melalui SMG-GBL-CN1-SR12, dengan hasil pemantauan pada perangkat Nokia adalah 0,11% dari pengiriman berkas 75 Mb. Sementara itu, hasil penggunaan topologi *mesh* dapat dilihat pada Gbr. 8, yaitu trafik memilih jalur menuju TGL-PKL-CN1-SR12 secara langsung dengan trafik 0,11% pada port 1/1/3. Namun, semua tergantung pada pengaturan metrik yang dikonfigurasi. Jika semakin kecil metrik OSPF yang diberikan, jalur tersebut pasti dipilih, sedangkan jika diinginkan seimbang, diberikan nilai sama. Secara *default*, metrik mengikuti lebar jalur *port*-nya, misalnya 1 Gbps memiliki nilai *default* 100, bila 10 Gbps bernilai 10. Pada makalah ini dibuat nilai metrik yang sama agar terjadi keseimbangan tiap *port interface router*.

Setelah dilakukan aliran berkas FTP pada topologi *ring* dan topologi *mesh*, dilakukan pengambilan data pada setiap pengujian dengan protokol ICMP, yang dilakukan pada komputer 1 menuju server FTP. Gbr. 9 menunjukkan bahwa kondisi masih terlihat aman karena nilai *delay* masih di bawah 150 ms menurut TIPHON. Jika diperoleh nilai lebih dari itu, maka akan terjadi perlambatan dalam pengiriman berkas.

### C. Pengujian dengan Beban dari Awal

Pengujian ini menggunakan FTP, dengan jalur yang dilewati juga masih sama. Perbedaan hanya terjadi karena terdapat TFGen sebagai dasar terbentuknya beban trafik jaringan dengan konfigurasi 5 Mbps, seperti dapat dilihat pada topologi *ring* dan *mesh* pada GRE. Gbr. 10 merupakan keadaan saat digunakan topologi *ring*, yaitu akhirnya port 1/1/2 to\_SMG-GBL-CN1-SR12 mengalami lonjakan trafik dengan hasil pemantauan 0,54% secara sesaat dan akhirnya *router* melakukan penyeimbangan secara otomatis. Terdapat *limit* pada simulasi perangkat lunak dari EVE-NG, yaitu trafik penuh per jalurnya hanya 1 Mbps. Pada kenyataannya terlihat pada *router* hanya dapat masuk 1% dari 1 Gbps, sehingga hasil pada Gbr. 10 yang menunjukkan 0,54% merupakan gambaran saat terjadi kepadatan trafik secara sesaat menggunakan GRE. Kemudian dilakukan `ping` pada komputer sesaat trafik penuh tersebut dan diperoleh hasil perintah `ping` yang tak beraturan seperti pada Gbr. 11.

```
A:CRB-PLB-CN1-SR12# monitor port 1/1/1 1/1/2 interval 3 rate repeat 1 | match .
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.11
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
A:CRB-PLB-CN1-SR12# show router interface
```

Interface Table (Router: Base)				
Interface-Name IP-Address	Adm	Opr (v4/v6)	Mode	Port/SapId PfxState
system 10.10.10.3/32	Up	Up/--	Network	system n/a
to_SMG-GBL-CN1-SR12 192.168.1.2/31	Up	Up/--	Network	1/1/1 n/a
to_TGL-PKL-CN1-SR12 192.168.1.8/31	Up	Down/--	Network	1/1/3 n/a
to_YOG-CDC-CN1-SR12 192.168.1.4/31	Up	Up/--	Network	1/1/2 n/a

Interfaces : 4

Gbr. 7 Tunneling GRE tanpa beban (ring).

```
A:CRB-PLB-CN1-SR12# monitor port 1/1/1 1/1/2 1/1/3 interval 3 rate repeat 1 | match .
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.11
A:CRB-PLB-CN1-SR12# show router interface
```

Interface Table (Router: Base)				
Interface-Name IP-Address	Adm	Opr (v4/v6)	Mode	Port/SapId PfxState
system 10.10.10.3/32	Up	Up/--	Network	system n/a
to_SMG-GBL-CN1-SR12 192.168.1.2/31	Up	Up/--	Network	1/1/1 n/a
to_TGL-PKL-CN1-SR12 192.168.1.8/31	Up	Up/--	Network	1/1/3 n/a
to_YOG-CDC-CN1-SR12 192.168.1.4/31	Up	Up/--	Network	1/1/2 n/a

Interfaces : 4

Gbr. 8 Tunneling GRE tanpa beban (mesh).

```
C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=12ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=7ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 7ms, Maximum = 12ms, Average = 8ms
```

Gbr. 9 Ping ke komputer (beban FTP).

**D. Pengujian dengan Beban Tiba-tiba**

Hasil pegujian protokol ICMP dengan perintah ping pada Gbr. 12 pengujian bermaksud saat kondisi FTP sedang lenggang trafik tiba-tiba mendapatkan limpahan trafik dari router lain yang membuat ping tak beraturan seperti sebelumnya dan bila menggunakan GRE dikarenakan mengikuti jalur LDP. Skenario dalam pengujian ini melakukan pengiriman berkas FTP di saat kondisinya 50% pengiriman berkas, kemudian dilakukan penambahan beban menggunakan perangkat lunak tfgn pada tunneling tersebut.

**E. Pengujian saat Link Utama Putus**

Skenario ini melakukan pengujian jalur komunikasi kepada jalur cadangan yang sama satu tujuan, seperti pada Gbr. 13. Standar pengujian skenario ini tetap menggunakan protokol ICMP ping dari komputer 1 ke komputer 2. Hasil pengujian pada Gbr. 14 membuktikan bahwa komunikasi data dibalas oleh pemilik IP 192.168.2.2, tetapi ketika jalur utama terputus, terjadi RTO, yaitu pemilik IP tersebut tidak membalas komunikasi karena terdapat jalur lain yang memiliki neighbor interface router yang sama dengan tujuan. Maka, secara otomatis, router melakukan pemindahan jalurnya sesuai dengan Gbr. 13. Dapat dilihat pada router Nokia bahwa pada penggunaan LDP, cukup dilakukan perintah traceroute.

**F. Analisis Throughput**

Pengujian throughput mendapatkan hasil paket data yang berubah-ubah sesuai kondisi: banyaknya data yang diakses dan kemampuan perangkat pendukung. Hasil skenario kondisi trafik jaringan dijelaskan sebagai berikut.

Pada Gbr. 15 tampak bahwa dengan menggunakan topologi ring dan topologi mesh, tunneling GRE mendapatkan nilai yang

```

A:CRB-PLB-CN1-SR12# monitor port 1/1/1 1/1/2 interval 3 rate repeat 3 | match .
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.53
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.56
Utilization (% of port capacity) ~0.00 ~0.00
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.55
A:CRB-PLB-CN1-SR12# show router interface

=====
Interface Table (Router: Base)
=====
Interface-Name      Adm      Opr(v4/v6)  Mode      Port/SapId
IP-Address          PfxState
-----
system              Up       Up/--       Network  system
10.10.10.3/32      n/a
to_SMG-GBL-CN1-SR12  Up       Up/--       Network  1/1/1
192.168.1.2/31    n/a
to_TGL-PKL-CN1-SR12  Up       Down/--     Network  1/1/3
192.168.1.8/31    n/a
to_YOG-CDC-CN1-SR12  Up       Up/--       Network  1/1/2
192.168.1.4/31    n/a
-----
Interfaces : 4
=====
A:CRB-PLB-CN1-SR12# monitor port 1/1/1 1/1/2 interval 3 rate repeat 3 | match .
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.18
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.20
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.13
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.16
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.17
Utilization (% of port capacity) ~0.00 0.21

```

Gbr. 10 Tunneling GRE.

```

C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2 -n 10

Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=5ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=16ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=16ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=10ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=16ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=19ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=17ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=10ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=6ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 10, Received = 10, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 5ms, Maximum = 19ms, Average = 12ms

```

Gbr. 11 Ping komputer pada keadaan dengan beban.

```

C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2 -n 10

Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=13ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=20ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=30ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=112ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=43ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=46ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=15ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=48ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=109ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=23ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 10, Received = 10, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 13ms, Maximum = 112ms, Average = 45ms

```

Gbr. 12 Ping komputer mendapatkan beban tiba-tiba.

lebih baik pada topologi *ring*, dengan selisih 0,002 Mbps. Namun, hasil tersebut tidak begitu signifikan. Angka tersebut masih dianggap normal karena trafik jaringan masih lengang.

```

A:CRB-PLB-CN1-SR12# traceroute 10.10.10.2
traceroute to 10.10.10.2, 30 hops max, 40 byte packets
 1 192.168.1.3 (192.168.1.3) 14.4 ms 5.27 ms 23.1 ms
 2 10.10.10.2 (10.10.10.2) 6.25 ms 4.43 ms 5.49 ms
A:CRB-PLB-CN1-SR12# traceroute 10.10.10.2
traceroute to 10.10.10.2, 30 hops max, 40 byte packets
 1 192.168.1.5 (192.168.1.5) 7.60 ms 2.51 ms 3.94 ms
 2 10.10.10.2 (10.10.10.2) 8.13 ms 8.82 ms 4.51 ms

```

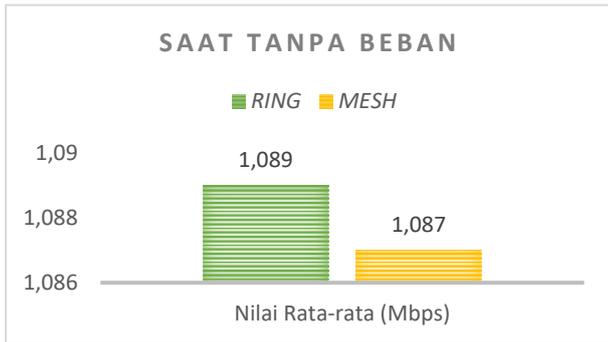
Gbr. 13 Trace untuk Tunneling GRE.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menambahkan perangkat lunak TFGen 5 Mbps sebagai pemberi beban trafik yang hasilnya dapat dilihat pada Gbr. 16. Hasil *tunneling* GRE memiliki perbedaan, yaitu *throughput* pada topologi *ring* lebih tinggi dengan selisih 0,038 Mbps, yang artinya *tunneling* GRE pada topologi *ring* masih kurang unggul daripada topologi *mesh* karena mendapatkan beban trafik yang akhirnya mengikut jalur protokol LDP atau mengikuti jalur pengiriman berkas, sehingga sempat mengalami *latency* trafik. Namun, hal

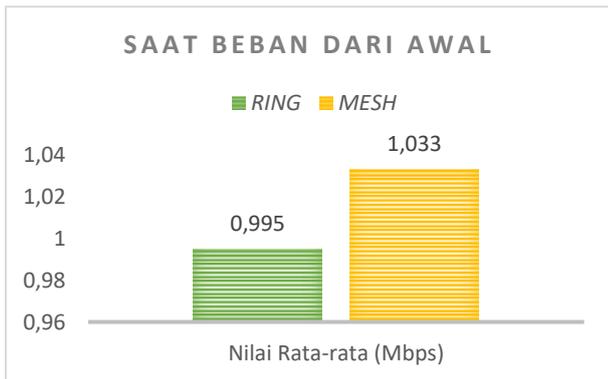
```
C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2 -n 10
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=23ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=26ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=33ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=44ms TTL=128
Request timed out.
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=10ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=22ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=26ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 10, Received = 9, Lost = 1 (10% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 8ms, Maximum = 44ms, Average = 22ms
```

Gbr. 14 Ping komputer dengan keadaan putus jalur utama.



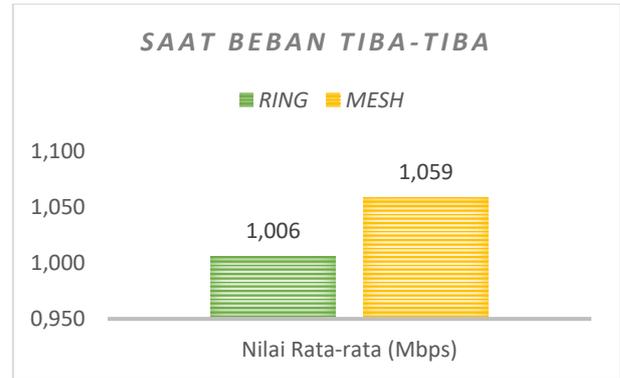
Gbr. 15 Nilai rata-rata throughput tanpa beban.



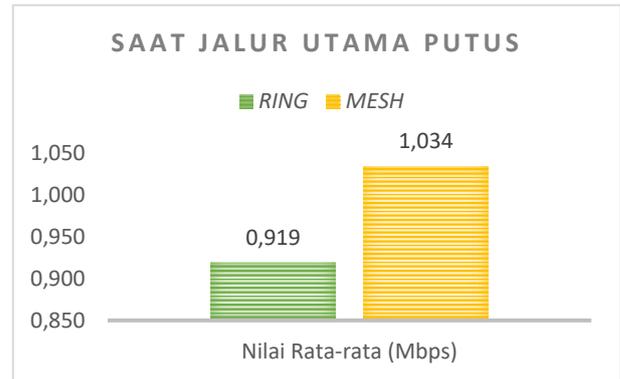
Gbr. 16 Nilai rata-rata throughput dengan beban awal.

ini masih dianggap aman dan dinyatakan normal sesuai standar TIPHON.

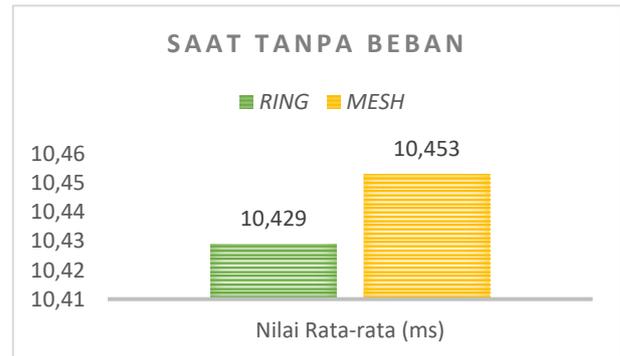
Pengujian selanjutnya dilakukan dengan skenario saat FTP 50%. Pada pengiriman berkas diberikan beban trafik dari perangkat lunak TFGen sebesar 5 Mbps. Hasilnya dapat dilihat pada Gbr. 17, yang masih dapat dianggap normal sesuai standar TIPHON. Hasil *throughput* saat terjadi putus jalur utama juga diamati, yaitu seperti pada Gbr. 18. Dapat diartikan bahwa karena hanya tersisa satu jalur, GRE dalam bentuk topologi *ring* mengalami trafik penuh pada jalur tersebut dan *ping* tinggi pada komputer klien. Hal ini berbeda dengan topologi *mesh*, yang pada CRB-PLB-CN1-SR12 memiliki tiga *interface neighbor* atau penghubung, yaitu menuju SMG-GBL-CN1-SR12, YOG-CDC-CN1-SR12, serta jalur langsung TGL-PKL-CN1-SR12. Pada topologi *mesh*, ketika terjadi putus jalur,



Gbr. 17 Nilai rata-rata throughput dengan beban tiba-tiba.



Gbr. 18 Nilai Rata-rata throughput saat jalur utama putus.



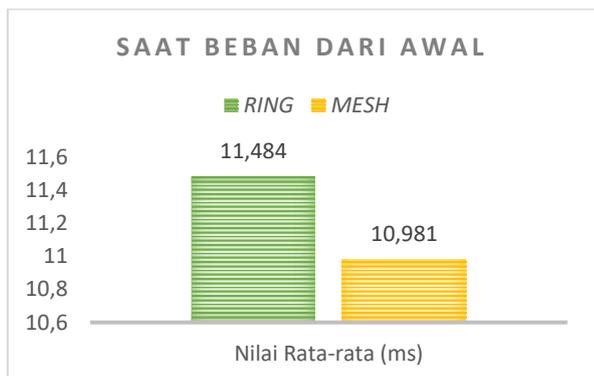
Gbr. 19 Nilai Rata-rata delay tanpa beban.

trafik masih dinyatakan aman dan tidak ada gangguan trafik lain.

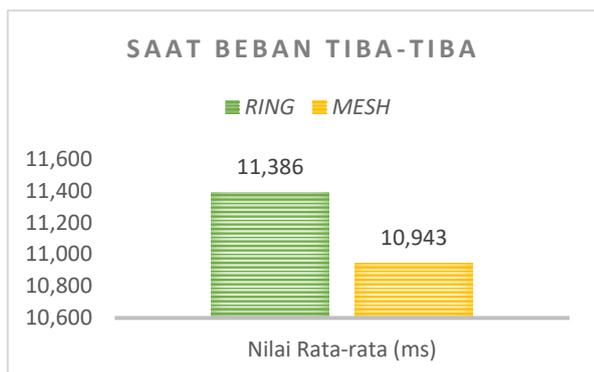
G. Analisis Delay

Pengujian *delay* juga dilakukan untuk menguji kemampuan *tunneling* GRE. Hasil paket data dapat berubah-ubah sesuai kondisi. Skenario dalam analisis masih seperti pengujian sebelumnya dan hal pertama yang diuji adalah kondisi saat tanpa beban. Hasil olahan data sebelumnya ditunjukkan pada Gbr. 19. Hasil dapat berubah-ubah karena kondisi komputer dan jalurnya, tetapi hasil tersebut masih dianggap sebagai *delay* yang normal sesuai standar TIPHON.

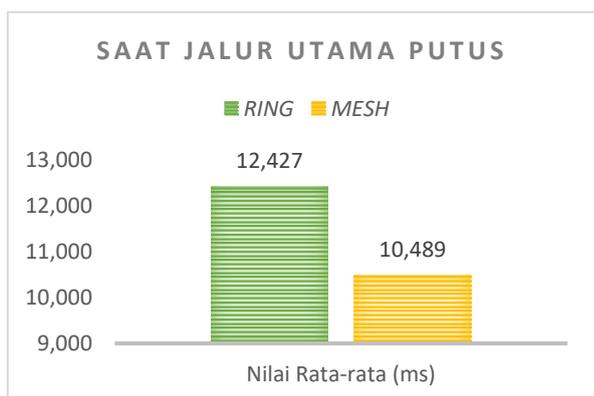
Kondisi tanpa beban memberikan hasil *delay* dengan rata-rata 10,4 ms, sedangkan pada kondisi dengan beban diperoleh hasil seperti pada Gbr. 20. Terlihat pada gambar tersebut bahwa pada GRE dengan topologi *ring*, *delay* sedikit lebih tinggi



Gbr. 20 Nilai rata-rata delay dengan beban awal.



Gbr. 21 Nilai rata-rata delay dengan beban tiba-tiba.



Gbr. 22 Nilai rata-rata delay saat jalur utama putus.

berkisar 11 ms, yang disebabkan adanya pepadatan trafik sesaat pada jalur. Sementara itu, pada topologi *mesh* yang memiliki tiga kaki hidup pada CRB-PLB-CN1-SR12, didapatkan *delay* berkisar 10 ms, yang dianggap masih normal, karena tidak melewati jalur yang padat trafiknya.

Gbr. 21 menunjukkan hasil pada skenario saat FTP 50%, yang mendapatkan hasil seperti ketika diberi trafik penuh. Pengujian terakhir saat jalur utama putus ditunjukkan hasilnya pada Gbr. 22, yaitu untuk *tunneling* GRE dengan topologi *ring* tinggi *delay* berkisar 12 ms. Hal ini disebabkan topologi ini hanya memiliki cadangan jalur satu *interface* pada *router* jika terjadi putus jalur utama. Untuk topologi *mesh* didapatkan *delay* yang normal, berkisar 10 ms. Hal ini disebabkan data pada topologi ini tidak melewati jalur trafik yang penuh, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

```
C:\Users\muhammad.arifin>ping 192.168.2.2 -n 10

Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=11ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=9ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=8ms TTL=128
Request timed out.
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=15ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=9ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=10ms TTL=128
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time=24ms TTL=128

Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 10, Received = 9, Lost = 1 (10% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 8ms, Maximum = 24ms, Average = 11ms
```

Gbr. 23 Hasil ping ketika downtime.

#### H. Analisis Downtime

Analisis ini digunakan untuk mengetahui kualitas komunikasi data saat terdapat lebih dari dua jalur, yaitu ketika jalur utama putus, layanan VPLS berpindah ke jalur lain yang masih satu *interface neighbor* dengan *router* tujuan. Untuk ini, dilakukan pengujian dari protokol yang menggunakan protokol ICMP dengan perintah *ping*.

Pengujian protokol ICMP dengan perintah *ping* ini dilakukan dengan perbandingan sesuai skenario yang telah dibuat. Komputer 1 melakukan *ping* ke komputer 2 dengan alamat IP 192.168.2.2, dengan selang waktu berjalan selama sepuluh kali balasan *ping*. Kemudian, dilakukan pemutusan jalur utama pada saat balasan *ping* ke-5 dan diperoleh RTO. RTO ini merupakan pesan yang tidak berhasil mendapatkan balasan dari komputer 2 karena ada gangguan komunikasi *tunneling*. Namun, setelah menemukan jalur lain, pengiriman dilakukan lagi sampai mendapatkan balasan. Saat pengujian, diperoleh jeda waktu satu RTO atau secara standar 4 s, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa ketika putus, GRE mendapatkan hasil *downtime* sebesar 4 s. Gbr. 23 menunjukkan hasil ketika *downtime* menggunakan *tunneling* GRE.

#### I. Analisis Skenario Jaringan

Dari pengujian yang telah dilakukan dengan empat skenario rekayasa trafik jaringan (tanpa beban, dengan beban dari awal, beban secara tiba-tiba, dan saat gangguan jalur) di dalam memilih *tunneling* GRE, diperoleh hasil yang disajikan dalam Tabel V. Tabel tersebut memperlihatkan kelebihan dan kekurangan sistem setelah dilakukan pengujian. Ketika diberikan beban trafik pada sisi *router*, *tunneling* GRE melakukan penyeimbangan terlebih dahulu dengan perintah metrik pada protokol OSPF. Saat penyeimbangan ini, sempat terjadi naik turun trafik pada tiap *interface* dan menyebabkan *delay* serta *throughput* menjadi tinggi sesaat, tetapi masih dianggap normal. Selain itu, *tunnel* GRE memiliki kemudahan dalam pembuatannya.

Tabel VI menunjukkan bahwa *tunneling* GRE adalah sistem yang dapat diandalkan dalam komunikasi data. Saat terjadi gangguan, GRE mampu memindahkan jalur data dengan sangat cepat, yaitu hanya dalam waktu 4 s komunikasi sudah dapat kembali terjadi. Saat terjadi gangguan di topologi *ring*, sistem kurang dapat diandalkan karena hanya memiliki cadangan satu

TABEL V  
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Kelebihan	Kekurangan
a) Kemudahan konfigurasi, hanya perlu membuat SDP dan VPN sudah dapat digunakan.  b) Penyeimbangan trafik hanya dengan menggunakan metrik, sehingga dapat menyeimbangkan secara otomatis.	a) Perlu waktu ketika melakukan penyeimbangan trafik pada tiap <i>router interface</i> .  b) Bila ada Filter LDP pada <i>router</i> tertentu, GRE tidak dapat melalui jalur tersebut jika IP sistem belum terdaftar pada Filter LDP dalam <i>router</i> .  c) Ketika ada perubahan lebar jalur, perlu dilakukan perubahan metrik kembali.

TABEL VI  
HASIL SKENARIO JARINGAN

Skenario Topologi Jaringan		Topologi	
		Ring	Mesh
1	Saat tanpa beban	√	√
2	Saat diberikan beban dari awal pengambilan data	√	√
3	Diberikan secara tiba-tiba saat pengiriman berkas FTP berjalan 50%	√	√
4	Saat terjadi gangguan jalur utama	-	√

jalur saja ketika jalur putus. Bahkan jalur cadangan tersebut sebelumnya sudah terisi trafik, sehingga dapat terjadi kepadatan trafik pada jalur cadangan.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil pengujian *tunnel* GRE pada perangkat Nokia adalah berupa rekomendasi tentang waktu dan cara GRE digunakan. Jaringan GRE mudah dikonfigurasi karena cukup dengan pengaturan metrik pada protokol OSPF untuk penyeimbangan trafiknya. Namun, bila terjadi kepadatan trafik,

kemampuan adaptasinya menurun, yaitu membutuhkan waktu untuk penyesuaian otomatis. *Tunnel* GRE cocok untuk implementasi jaringan baru karena kesederhanaannya dan kemudahan konfigurasinya. Dari hasil rata-rata *throughput*, GRE lebih unggul pada topologi *mesh*.

REFERENSI

- [1] F. Bensalah, N. El Kamoun, dan A. Bahnasse, "Scalability Evaluation of VOIP over Various MPLS Tunneling under OPNET Modeler," *Indian J. Sci. Technol.*, Vol. 10, No. 29, hal. 1–7, 2017.
- [2] K.A. Ogudo, "Analyzing Generic Routing Encapsulation (GRE) and IP Security (IPSec) Tunneling Protocols for Secured Communication over Public Networks," *2nd Int. Conf. Adv. in Big Data, Comput. and Data Commun. Syst. (icABCD 2019)*, 2019, hal. 1-9.
- [3] J.S. Nixon, A.F.S. Devaraj, dan M.A. Mohammed, "Configuring IPSec to Encrypt GRE Tunnels to Provide Network Layer Security for Non-IP Traffic such as IPX Using GNS3," *Int. J. Eng. Sci. Invent. Res. & Dev.*, Vol. 3, No. 2, hal. 112–119, 2016.
- [4] A. Dumka dan H.L. Mandoria, "Layer 3 Services Implementation in Different Routers," *Int. Conf. Comput. for Sust. Glob. Dev. (INDIACom 2014)*, 2014, hal. 716-718.
- [5] A.A. Eskandar, M.R. Syed, dan B. Zarei.M, "Performance Analysis of VOIP over GRE Tunnel," *Int. J. of Comput. Network and Inform. Security*, Vol. 7, No. 12, hal. 1–9, 2015.
- [6] M.R. Effendi, E.A.Z. Hamidi, dan A. Saepulloh, "Implementasi GRE Tunneling Menggunakan Open vSwitch pada Jaringan Kampus," *J. Telekom. Elektron. Komput. dan Kontrol (TELKA)*, Vol. 3, No. 2, hal. 103–111, 2017.
- [7] A. Septarindra, R. Munadi, dan R.M. Negara, "Implementasi dan Analisis Performa Multi Protocol Label Switching-Virtual Private Network (MPLS-VPN) dengan Metode Generic Routing Encapsulation pada Layanan Berbasis File Transfer Protocol (FTP)," *e-Proceeding of Engineering*, Vol. 3, No. 3, hal. 4504-4511, 2016.
- [8] I. Warman dan A. Hanafi, "Analisa Perbandingan Kinerja Generic Routing Encapsulation (GRE) Tunnel dengan Point to Point Protocol over Ethernet (PPPoE) Tunnel Mikrotik RouterOS," *J. TEKNOIF*, Vol. 7, No. 1, hal. 58-66, 2019.
- [9] T. Rahman, "Implementasi Virtual Private Network over GRE TUNNEL," *Indonesian J. Network. and Security (IJNS)*, Vol. 6, No. 3, hal. 40–49, 2017.
- [10] T. Tamanna dan T. Fatema, "MPLS VPN over mGRE Design and Implementation for a Service Provider's Network Using GNS3 Simulator," *Proc. 2017 Int. Conf. on Wireless Commun., Sign. Proc. Network. (WiSPNET 2017)*, 2018, hal. 2339–234.