



JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v6i2.8313

Received: 03 November 2022

Accepted: 21 December 2022

Published: 25 January 2023

Implementation of Link Failover on Metronet Network PT. Telkom Indonesia (Persero) Based on Ipv4 and OSPF

Yosy Rahmawati1)*, Nabila Mutiara Anjani2)

1,2) Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

*Corresponding Email: yosy.rahmawati@mercubuana.ac.id

Abstrak

Metro ethernet merupakan jaringan komunikasi data yang dimiliki oleh PT. Telkom Indonesia (Persero) melalui jalur pendistribusian, salah satunya yaitu *Open Shortest Path First* (OSPF). Seiring perkembangan teknologi, IPv4 digunakan sebagai protokol inti pengalamatan pada setiap perangkat jaringan yang berkomunikasi dan memiliki tanggung jawab mencari *route* yang ditempuh paket untuk mencapai tujuan. Permasalahan yang terjadi pada jaringan komunikasi data tersebut, tidak adanya kestabilan konektivitas ketika terdapat *link* antar kota mengalami *down*, sehingga mengakibatkan beberapa *link congestion* pada jalur paket data. Untuk mengatasi permasalahan di atas, pada penelitian ini dilakukan analisis jaringan *metro ethernet* berbasis IPv4 melalui *routing protocol* OSPF menggunakan *Graphical Network Simulator-3* (GNS-3). Penelitian ini mengimplementasikan sistem *failover* sebagai *backup link* apabila terjadi *down link* Jakarta-Bogor. Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian, *link failover* menunjukkan status *success* dan berfungsi meminimalisir terputusnya koneksi jaringan. Hal ini karena penggunaan *routing* OSPF mampu mencari jalur alternatif ketika *main link* mengalami *down*, sehingga jalur akan dialihkan via *backup link*. Pengukuran QoS menggunakan *single link* didapat rata-rata *throughput* 195 Kbps, sedangkan *dual link* didapat rata-rata *throughput* 258 Kbps. Hal ini dikarenakan jarak *router source* ke *destination* yang dilalui *single link* lebih banyak dibandingkan *dual link*. Secara keseluruhan pengukuran menunjukkan dengan adanya *backup link* mampu meningkatkan stabilitas koneksi jaringan komunikasi data ketika mengalami *down* dan teruji sesuai standarisasi ETSI.

Kata Kunci: ETSI, Failover, IPv4, OSPF, QoS

Abstract

Metro ethernet is a data communication network owned by PT. Telkom Indonesia (Persero) through distribution channels, one of which is *Open Shortest Path First* (OSPF). As technology develops, IPv4 is used as the core addressing protocol for every communicating network device and has the responsibility of finding the route taken by packets to reach their destination. The problem that occurs in the data communication network is the absence of stable connectivity when there are links between cities experiencing downtime, resulting in several link congestion on the data packet path. To overcome the above problems, this study analyzed IPv4-based metro ethernet networks through the OSPF routing protocol using *Graphical Network Simulator-3* (GNS-3). This study implements a failover system as a backup link in the event of a Jakarta-Bogor downlink. Based on the simulation and test results, the failover link shows a success status and functions to minimize network connection breakdowns. This is because the use of OSPF routing is OSPF routing canen the main link is down, so the path will be diverted via the backup link. QoS measurements using a single link obtained an average throughput of 195 Kbps, while dual links obtained an average throughput of 258 Kbps. This is because the distance from the source to the destination router is passed by more single links than dual links. Overall, the measurement shows that having a backup link can increase the stability of the data communication network connection when it is down and tested according to ETSI standards.

Keywords: ETSI, Failover, IPv4, OSPF, QoS

How to Cite: Rahmawati, Y., & Anjani, N. M. (2023). Implementation of Link Failover on Metronet Network PT. Telkom Indonesia (Persero) Based on Ipv4 and OSPF. *JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)*, 6(2), 458-472.

I. PENDAHULUAN

PT. Telkom Indonesia merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang jasa layanan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dan jaringan telekomunikasi di Indonesia yang memiliki jaringan komunikasi *metro ethernet* yang mampu menghubungkan wilayah yang terpisah dan juga menghubungkan LAN dengan WAN atau *backbone network* yang umumnya dimiliki oleh *service provider*. Dalam proses pengiriman paket data PT. Telkom Indonesia menggunakan IPv4 sebagai pengalamatan IP Address pada setiap perangkat untuk mengantarkan paket data ke tujuan. Salah satu jenis *routing protocol* yang dipakai di PT. Telkom Indonesia yaitu *Open Shortest Path First* (OSPF). Permasalahan yang terjadi pada jaringan komunikasi data tersebut yaitu tidak adanya kestabilan konektivitas ketika terdapat *link* antar kota tersebut mengalami *down*, sehingga dapat mengakibatkan beberapa *link congestion* atau perlambatan yang terjadi pada jalur paket-paket data. Kondisi ini diakibatkan ketika sebuah jaringan berukuran besar mempunyai beban yang banyak akan mengakibatkan performansi menurun/lambat dengan kata lain jumlah pengiriman data melebihi kapasitas *router* yang tersedia.

Beberapa penelitian terkait, Irwansyah (2018) menerapkan *dynamic routing* OSPF pada jaringan *frame-relay* menghubungkan tiga lokasi jaringan berbeda. Hasil pengujian menunjukkan adanya jaringan *frame-relay* mempermudah pengiriman data antar cabang dengan lebih ekonomis, karena menggunakan satu saluran fisik untuk terhubung ke berbagai tujuan. Namun, menghasilkan delay yang besar dan koneksi akan lambat bila terjadi *link congestion*(Irwansyah, 2018). Selanjutnya, Danur Ilham Khoiruman dkk (2019), melakukan pemodelan jaringan *metro ethernet* kota Semarang dengan *routing protocol* OSPF dan RIP. Hasil perbandingan *protocol routing*, menunjukkan OSPF memiliki waktu konvergensi lebih cepat 2 kali lipat dari protokol RIP, karena OSPF secara cepat melakukan pesan *multicast* pada setiap perubahan yang terjadi dalam jaringan ke semua *host* lainnya(Danur Ilham Khoiruman, 2018). Kemudian, Arisman Putra Munggaran dkk (2018), melakukan perbandingan *routing protocol* MPLS OSPF dan IS-IS pada jaringan IPv6 menggunakan metode *xconnect*. Hasil pengujian menunjukkan *routing protocol* IS-IS memiliki waktu konvergensi lebih cepat dibandingkan *routing protocol* OSPF, karena OSPF memiliki kompleksitas lebih tinggi dalam pengenalan *neighbour* OSPF yang lebih rumit dibandingkan IS-IS(Arisman Putra Munggaran, Rendy Munadi, 2018).

Dengan adanya permasalahan di atas, pada penelitian ini dilakukan analisis jaringan *metro ethernet* di PT. Telkom Indonesia berbasis IPv4 melalui *routing protocol* OSPF menggunakan *Graphical Network Simulator-3* (GNS-3). Alamat pada jaringan yang dirancang menggunakan IPv4 yang disesuaikan dengan kebutuhan jaringan itu sendiri. Pada *client-1* Jakarta dan Bogor menggunakan *subnet mask* 255.255.255.0 yang memungkinkan terdapat 254 *host*. Penelitian ini juga mengimplementasikan sistem *failover* sebagai *backup link* apabila terjadi *down link* Jakarta-Bogor, sehingga dapat menjaga stabilitas koneksi dan secara otomatis paket akan mengirimkan data melalui *path* atau jalur yang lain sampai ke tujuan. Dalam skenario pengujian jaringan, akan dijalankan layanan data berukuran 64 s/d 18000 Bytes. Analisis dari performansi jaringan/*Quality of Service (QoS)* melalui parameter *throughput*, *delay*, *jitter*, dan *packet loss* yang ideal pada saat kondisi *link failover* dengan atau tanpa *backup link* menggunakan *routing protocol* OSPF. Dengan harapan, pada penelitian ini dapat membuktikan kinerja jaringan dengan menambahkan *backup link* untuk mencegah terjadinya *link congestion* atau perlambatan saat *traffic* dalam kondisi padat berdasarkan standarisasi ETSI (*European Telecommunication Standars Institute*).

II. STUDI PUSTAKA

A. *Metro Ethernet (Metronet)*

Teknologi *metro ethernet* merupakan salah satu perkembangan dari teknologi *ethernet* yang dapat menempuh jarak yang luas berskala perkotaan dengan dilengkapi berbagai fitur yang seperti terdapat pada jaringan *ethernet* umumnya(Satya Yoga Pratama, Sukiswo, 2017). *Metro ethernet* juga didefinisikan sebagai jaringan yang menjembatani LAN (*Local Area Network*) perusahaan yang terpisah secara geografis, dan menghubungkan jaringan WAN (*Wide Area Network*) atau *backbone* yang umumnya dimiliki oleh penyedia layanan (*provider*). Teknologi ini termasuk dalam jenis *Broadband Wired* karena memiliki *speed bandwidth* yang besar hingga 10/100 Mbps(Vito Putra Heryanto, Tengku Ahmad Riza, 2019).

B. Failover

Failover merupakan perpindahan jalur ketika komunikasi utama ke jalur kedua secara otomatis (Agus Darajat, 2019). Ketika komunikasi antara perangkat yang dihubungkan Virtual Private Network (VPN) mendeteksi kegagalan maka perangkat tersebut akan melakukan routing ulang untuk menentukan rute jalur baru. Cara kerja failover yaitu saat jalur yang digunakan mengalami gangguan atau statusnya down, maka secara otomatis main link atau jalur utama berpindah ke backup link atau jalur kedua. Ketika *main link* berubah status menjadi *up* maka jalur berpindah seperti semula (Darmawan, 2017).

C. Routing Protocol – OSPF

Dalam jaringan komputer, perangkat elektronik yang digunakan untuk berkomunikasi maupun saling berbagi informasi disebut router. OSPF (Open Shortest Path First) merupakan protokol dynamic routing yang mampu menjaga, mengatur, dan mendistribusikan informasi routing antar network mengikuti setiap perubahan jaringan secara dinamis (Irwansyah, 2018). Setiap router yang berada dalam satu domain, memiliki database yang identik satu sama lain. Jaringan yang berukuran besar akan dipecah menjadi area-area yang lebih kecil, dan jalur yang digunakan untuk mencapai tujuannya umumnya lebih dari 1 jalur.

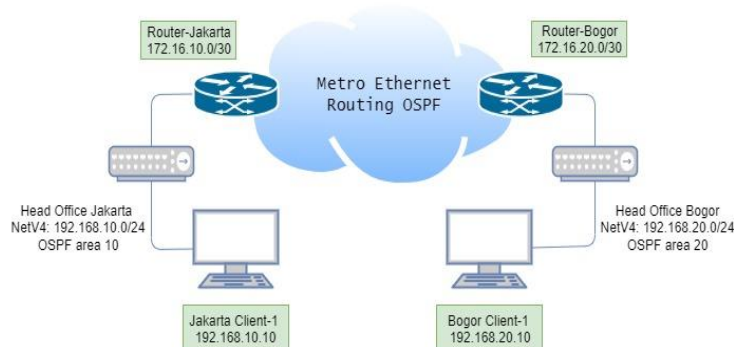
D. IPv4

Alamat IP (IPv4) awalnya merupakan urutan angka biner 32-bit yang digunakan untuk mengidentifikasi host dalam jaringan. Alamat IP ini secara unik digunakan ke setiap komputer/host yang terhubung ke internet. Prinsip kerjanya adalah packet yang membawa data dimuat alamat IP dari komputer pengirim data kepada alamat IP pada komputer yang akan dituju, kemudian dikirim ke jaringan. Packet data tersebut kemudian dikirim dari router ke router berdasarkan alamat IP ke komputer tujuan. Semua komputer/host yang terhubung ke Internet hanya dibedakan oleh alamat IP tersebut, sehingga tidak boleh ada duplikasi IP (Maria Ulfa, 2017). IPv4 (*Internet Protocol volume 4*) memiliki fungsi sebagai pergantian berbagai jenis jaringan seperti Ethernet, atau dikenal lebih populer dengan sebutan *Link Layer Network*. IPv4 memiliki ukuran alamat yaitu 32 bit, format alamat decimal : 192.168.252.1, dan notasi prefix 192.149.0.0/24. IPv4 mendukung protokol tanpa koneksi dan tidak banyak memerlukan memori, serta alamatnya mudah diingat (Ronald Watrionthos, 2018). Protokol ini juga sudah didukung oleh jutaan perangkat dan dapat menyimpan alamat IP sebanyak $2^{32} = 4.294.967.296$ (lebih dari 4 miliar) (Maryanto Firman Fauzi, Kukuh Nugroho, 2018).

III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem

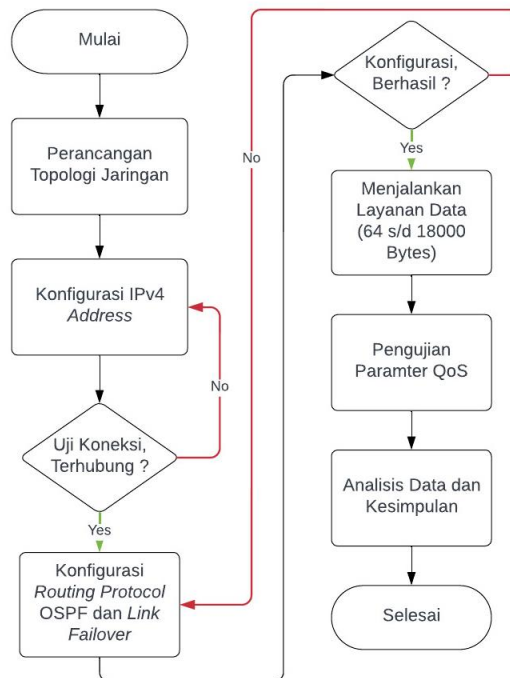
Perancangan penelitian menjelaskan tahapan penelitian yang telah dirancang dalam bentuk blok diagram. Tahapan pertama, dilakukan pengalokasian IP Address pada setiap device yang mana berupa PC dan router. Kedua, melakukan konfigurasi routing protocol OSPF pada router. Ketiga, melakukan simulasi pada beberapa kondisi dengan tujuan untuk membandingkan hasil kinerja QoS saat kondisi link normal atau link gangguan. Untuk lebih jelasnya, blok diagram dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

B. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang terlihat pada Gambar 2 merupakan alur dari perancangan hingga pengujian. Perancangan topologi jaringan dimulai dengan melakukan instalasi pada beberapa perangkat lunak seperti GNS-3 dan wireshark. Lalu, melakukan pengalokasian IP Address pada setiap device dan memastikan seluruh device telah terhubung.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Selanjutnya, melakukan konfigurasi *routing protocol* OSPF menggunakan IPv4. Kemudian, melakukan pengujian link *failover* dengan mematikan *main link* sehingga *traffic* berpindah ke *backup link*. Setelah itu, dilakukan pengujian dengan variasi beban *traffic* pada jaringan yang digunakan dan menganalisa *Quality of Service* (QoS) berdasarkan standar ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

C. Alat dan Bahan

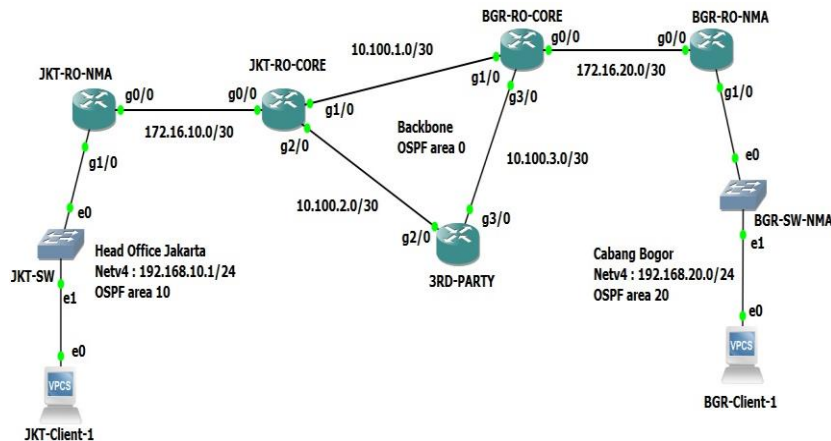
Dalam perancangan penelitian ini dibutuhkan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), salah satu *software* yang digunakan yaitu *Graphical Network Simulator-3* (GNS-3) dan *wireshark*. GNS-3 sebagai aplikasi simulasi grafis memungkinkan untuk menjalankan Cisco IOS (*Internetworking Operating System*). *Wireshark* merupakan *network packet analyzer* yang berfungsi untuk menangkap (*capture*) paket-paket data yang nantinya akan dianalisis nilai dari QoS (*Quality of Service*). Berikut ini merupakan spesifikasi *hardware* pada laptop dapat dilihat pada Tabel 1 (Computer, 2018).

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras - Laptop

Spesifikasi	Keterangan
Operating System (Os)	Windows 10 Pro 64-Bit
Type	Lenovo Thinkpad T.450
Processor	Intel(R) Core(TM) I5-5200u Cpu @ 2.20ghz
Memory Ram	8 Gb
Memory Rom	1 Tb
Vga	Intel (R) Hd Graphics 5500

D. Perancangan Topologi Jaringan

Dalam perancangan topologi jaringan, peneliti menggunakan jenis *router* 7200 dengan slot *fast ethernet*. *Software* GNS-3 yang digunakan adalah versi 2.2.22. Seperti yang terlihat pada Gambar 3 bahwa jaringan *Metro Ethernet* dijadikan berstatus *failover*, terdapat dua jalur yaitu sisi Jakarta dan sisi Bogor dan masing-masing terdiri dari satu *client*. Selanjutnya *client* tersebut dihubungkan ke *switch*, di mana *switch* berfungsi apabila ditambahkan lebih dari satu *client*. Dari *switch* (JKT-SW-NMA) bertemu *router border* di Jakarta (JKT-RO-NMA), kemudian terhubung ke *backbone* via *router core* (JKT-RO-CORE). Pada perancangan ini *backbone* memiliki dua jalur yaitu *main link* dan *backup link*, dengan adanya dua *link* tersebut ketika salah satu *link* mengalami gangguan (*link down*), koneksi masih dapat berjalan dengan *link* yang lainnya.



Gambar 3. Topologi Jaringan Metro Ethernet OSPF

E. Pengalokasian IP Address

Pengalokasian IP Address pada jaringan harus direncanakan dengan baik agar dapat menghubungkan perangkat yang terdapat dalam jaringan antar kota. Inisialisasi diperlukan untuk memberikan alamat di setiap *interface* pada jaringan. Alamat pada jaringan yang dirancang menggunakan IPv4 yang disesuaikan dengan kebutuhan jaringan itu sendiri. Pada *client-1* jakarta dan bogor menggunakan *subnet mask* 255.255.255.0 yang memungkinkan terdapat 254 *host*. Pada Tabel 2 menampilkan pengalokasian IP Address masing-masing perangkat sesuai dengan topologi jaringan yang digunakan.

Tabel 2. Pengalokasian IP Address

No	Device	Interface	IP Address	Netmask	Keterangan
1	JKT-Client-1	e0	192.168.10.10	255.255.255.0	PC Client di Jakarta
2	BGR-Client-1	e0	192.168.20.10	255.255.255.0	PC Client di Bogor
3	JKT-RO-NMA	Gi1/0	192.168.10.1	255.255.255.0	Gateway Client Jakarta
		Gi0/0	172.16.10.2	255.255.255.252	p2p ke JKT-RO-CORE
		lo0	10.10.10.10	255.255.255.255	IP Loopback
4	JKT-RO-CORE	Gi0/0	172.16.10.1	255.255.255.252	p2p ke JKT-RO-NMA
		Gi1/0	10.100.1.1	255.255.255.252	p2p ke BGR-RO-CORE
		Gi2/0	10.100.2.1	255.255.255.252	p2p ke 3RD-PARTY
		lo0	1.1.1.1	255.255.255.255	IP Loopback
5	3RD-PARTY	Gi2/0	10.100.2.2	255.255.255.252	p2p ke JKT-RO-CORE
		Gi3/0	10.100.3.2	255.255.255.252	p2p ke BGR-RO-CORE
		lo0	2.2.2.2	255.255.255.255	IP Loopback
6	BGR-RO-CORE	Gi1/0	10.100.1.2	255.255.255.252	p2p ke JKT-RO-CORE
		Gi3/0	10.100.3.1	255.255.255.252	p2p ke 3RD-PARTY
		Gi0/0	172.16.20.1	255.255.255.252	p2p ke BGR-RO-NMA
		lo0	3.3.3.3	255.255.255.255	IP Loopback
7	BGR-RO-NMA	Gi0/0	172.16.20.2	255.255.255.252	p2p ke BGR-RO-CORE
		Gi1/0	192.168.20.1	255.255.255.0	Gateway Client Bogor
		lo0	20.20.20.20	255.255.255.255	IP Loopback

F. Konfigurasi Device dan Routing Protocol OSPF

Dalam konfigurasi *device* baik *router* di sisi CPE maupun PE agar dapat saling berkomunikasi perlu dilakukan pengkodean atau konfigurasi IP Address dan IP *Loopback* menggunakan simulator GNS-3. IP *Loopback* merupakan IP yang digunakan sebagai *router-id* dalam *interface loopback*. Hal ini dimaksudkan agar pertukaran *routing table* di dalamnya tidak menjadi kacau ketika terdapat salah satu *interface* yang *down*. Berikut tahapan konfigurasi dasar yang digunakan di penelitian ini.

1. Konfigurasi IP Address pada Masing-Masing Device

a) Konfigurasi PC JKT-Client-1

Pada tahap ini, melakukan konfigurasi PC JKT-Client-1 dengan cara mengetikkan : ip (spasi) ip address (spasi) netmask (spasi) gateway, kemudian tekan enter, seperti JKT-Client-1 ip 192.168.10.10 255.255.255.0 192.168.10.1. Selanjutnya, melakukan penyimpanan konfigurasi dengan mengetikkan perintah save. Pada Gambar 4 di bawah ini terlihat hasil dari konfigurasi pengalamatan ip address yang telah dilakukan pada PC JKT-Client-1.

```
JKT-Client-1> ip 192.168.10.10 255.255.255.0 192.168.10.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 192.168.10.10 255.255.255.0 gateway 192.168.10.1

JKT-Client-1> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done
```

Gambar 4. Konfigurasi PC JKT-Client-1

b) Konfigurasi PC BGR-Client-1

Pada tahap ini, melakukan konfigurasi PC BGR-Client-1 dengan mengulangi langkah yang sama pada konfigurasi PC JKT-Client-1 dengan IP 192.168.20.10 *netmask* 255.255.255.0 dan gateway 192.168.20.1. Pada Gambar 5 menunjukkan hasil dari konfigurasi pengalamatan ip *address* yang telah dilakukan pada PC BGR-Client-1.

```
BGR-Client-1> ip 192.168.20.10 255.255.255.0 192.168.20.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 192.168.20.10 255.255.255.0 gateway 192.168.20.1

BGR-Client-1> save
Saving startup configuration to startup.vpc
. done
```

Gambar 5 Konfigurasi PC BGR-Client-1

c) Konfigurasi Router JKT-RO-NMA

Pada tahap berikutnya yaitu melakukan konfigurasi terminal pada router JKT-RO-NMA. Interface Gi0/0 merupakan interface ke arah JKT-RO-CORE yang akan diproses dan diteruskan ke *destination* dengan ip address 172.16.10.2, sedangkan interface Gi1/0 merupakan interface ke arah JKT-SW-NMA atau ke arah PC client. Konfigurasi dilakukan pada setiap router dengan cara sebagai berikut :

```
Konfigurasi Router JKT-RO-NMA
JKT-RO-NMA#configure terminal
JKT-RO-NMA(config)#interface GigabitEthernet0/0
JKT-RO-NMA(config-if)#description to JKT-RO-CORE Gi0/0
JKT-RO-NMA(config-if)#ip address 172.16.10.2 255.255.255.252
JKT-RO-NMA(config-if)#no shutdown
JKT-RO-NMA(config-if)#interface GigabitEthernet1/0
JKT-RO-NMA(config-if)#description to JKT-SW-NMA e0 - Client Jakarta
JKT-RO-NMA(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
JKT-RO-NMA(config-if)#no shutdown
JKT-RO-NMA(config-if)#interface loopback0
JKT-RO-NMA(config-if)#description Loopback 0
JKT-RO-NMA(config-if)#ip address 10.10.10.10 255.255.255.255
```

d) Konfigurasi Router JKT-RO-CORE

Pada tahap berikutnya yaitu melakukan konfigurasi terminal pada router JKT-RO-CORE. Terdapat tiga interface yang terhubung yaitu interface Gi0/0 (JKT-RO-NMA), interface Gi1/0 (BGR-RO-CORE) dan Gi2/0(3RD-PARTY). Konfigurasi dilakukan pada setiap router dengan cara sebagai berikut :

```
Konfigurasi Router JKT-RO-CORE  
JKT-RO-CORE#configure terminal  
JKT-RO-CORE(config)#interface GigabitEthernet0/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#description to JKT-RO-NMA Gi0/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#ip address 172.16.10.1 255.255.255.252  
JKT-RO-CORE(config-if)#no shutdown  
JKT-RO-CORE(config-if)#interface GigabitEthernet1/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#description to BGR-RO-CORE Gi1/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#ip address 10.100.1.1 255.255.255.252  
JKT-RO-CORE(config-if)#no shutdown  
JKT-RO-CORE(config-if)#interface GigabitEthernet2/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#description to 3RD-PARTY Gi2/0  
JKT-RO-CORE(config-if)#ip address 10.100.2.1 255.255.255.252  
JKT-RO-CORE(config-if)#no shutdown  
JKT-RO-CORE(config-if)#interface loopback0  
JKT-RO-CORE(config-if)#description Loopback 0  
JKT-RO-CORE(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.255  
JKT-RO-CORE(config-if)#end  
JKT-RO-CORE(config-if)#interface loopback0  
JKT-RO-CORE(config-if)#description Loopback 0  
JKT-RO-CORE(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.255  
JKT-RO-CORE(config-if)#end  
JKT-RO-CORE#copy running-config startup-config
```

e) Konfigurasi Router 3RD-PARTY

Pada tahap berikutnya yaitu melakukan konfigurasi terminal pada 3RD-PARTY. Pada topologi jaringan yang direncanakan terdapat tiga interface yang terhubung yaitu interface Gi0/0 (JKT-RO-NMA), interface Gi1/0 (BGR-RO-CORE) dan Gi2/0(3RD-PARTY). Konfigurasi dilakukan pada setiap router dengan cara sebagai berikut :

```
Konfigurasi Router 3RD-PARTY  
3RD-PARTY#conf t  
3RD-PARTY(config)#interface GigabitEthernet2/0  
3RD-PARTY(config-if)#description to JKT-RO-CORE Gi2/0  
3RD-PARTY(config-if)#ip address 10.100.2.2 255.255.255.252  
3RD-PARTY(config-if)#no shutdown  
3RD-PARTY(config-if)#interface lo0  
3RD-PARTY(config-if)#desc Loopback 0  
3RD-PARTY(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.252  
3RD-PARTY(config-if)#end
```

f) Konfigurasi Router BGR-RO-CORE

Pada tahap berikutnya yaitu melakukan konfigurasi terminal pada router BGR-RO-CORE. Terdapat tiga interface yang terhubung yaitu interface Gi0/0 (BGR-RO-NMA), interface Gi1/0 (JKT-RO-CORE) dan Gi3/0(3RD-PARTY). Konfigurasi dilakukan pada setiap router dengan cara sebagai berikut :

```
Konfigurasi Router BGR-RO-CORE  
BGR-RO-CORE#configure terminal  
BGR-RO-CORE(config)#interface GigabitEthernet0/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#description to BGR-RO-NMA Gi0/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#ip address 172.16.20.1 255.255.255.252  
BGR-RO-CORE(config-if)#no shutdown  
BGR-RO-CORE(config-if)#interface GigabitEthernet1/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#description to JKT-RO-CORE Gi1/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#ip address 10.100.1.2 255.255.255.252  
BGR-RO-CORE(config-if)#no shutdown  
BGR-RO-CORE(config-if)#interface GigabitEthernet3/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#description to 3RD-PARTY Gi3/0  
BGR-RO-CORE(config-if)#ip address 10.100.3.1 255.255.255.252
```

```
BGR-RO-CORE(config-if)#no shutdown
BGR-RO-CORE(config-if)#interface lo0
BGR-RO-CORE(config-if)#description Loopback 0
BGR-RO-CORE(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
BGR-RO-CORE(config-if)#end
```

g) Konfigurasi Router BGR-RO-NMA

Pada tahap berikutnya yaitu melakukan konfigurasi terminal pada router BGR-RO-NMA. Pada topologi jaringan yang direncanakan terdapat dua interface yang terhubung yaitu interface Gi0/0 (BGR-RO-CORE), dan Gi1/0(BGR-SW-NMA). Konfigurasi dilakukan pada setiap router dengan cara sebagai berikut :

```
Konfigurasi Router BGR-RO-NMA
BGR-RO-NMA#configure terminal
BGR-RO-NMA(config)#interface GigabitEthernet0/0
BGR-RO-NMA(config-if)#desc to BGR-RO-CORE Gi0/0
BGR-RO-NMA(config-if)#ip address 172.16.20.2 255.255.255.252
BGR-RO-NMA(config-if)#no shutdown
BGR-RO-NMA(config-if)#interface GigabitEthernet1/0
BGR-RO-NMA(config-if)#desc to BGR-SW-NMA e0 - Client Bogor
BGR-RO-NMA(config-if)#ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
BGR-RO-NMA(config-if)#no shutdown
BGR-RO-NMA(config-if)#interface lo0
BGR-RO-NMA(config-if)#desc Loopback 0
BGR-RO-NMA(config-if)#ip address 20.20.20.20 255.255.255.255
BGR-RO-NMA(config-if)#end
BGR-RO-NMA#copy running-config startup-config
```

2. Konfigurasi Routing OSPF Pada Masing-Masing Device

Setelah melakukan konfigurasi pengalokasian ip address pada setiap device, selanjutnya melakukan konfigurasi *routing* OSPF pada masing-masing device. Area pada OSPF dibagi menjadi 3 area, yaitu OSPF area 10 sebagai area *Head Office* Jakarta, OSPF area 0 sebagai *backbone*, dan OSPF area 20 sebagai area cabang Bogor. OSPF harus memiliki area khusus yang disebut area 0 atau *backbone* area, di mana area lain harus terhubung dengan area ini maka diperlukan *bandwidth* yang cukup besar untuk melayani traffic dari area yang lain. Berikut ini konfigurasi OSPF pada masing-masing router :

<pre>Konfigurasi JKT-RO-NMA JKT-RO-NMA#conf t JKT-RO-NMA(config)#router ospf 1 JKT-RO-NMA(config-router)#router-id 10.10.10.10 JKT-RO-NMA(config-router)#network 192.168.10.0 0.0.0.255 area 10 JKT-RO-NMA(config-router)#network 172.16.10.0 0.0.0.3 area 10 JKT-RO-NMA(config-router)#network 10.10.10.10 0.0.0.0 area 10</pre>	<pre>Konfigurasi JKT-RO-CORE JKT-RO-CORE#conf t JKT-RO-CORE(config)#router ospf 1 JKT-RO-CORE(config-router)#router-id 1.1.1.1 JKT-RO-CORE(config-router)#network 172.16.10.0 0.0.0.3 area 10 JKT-RO-CORE(config-router)#network 10.100.1.0 0.0.0.3 area 0 JKT-RO-CORE(config-router)#network 10.100.2.0 0.0.0.3 area 0 JKT-RO-CORE(config-router)#network 1.1.1.1 0.0.0.0 area 0</pre>	<pre>Konfigurasi 3RD-PARTY 3RD-PARTY#conf t 3RD-PARTY(config)#router ospf 1 3RD-PARTY(config-router)#router-id 2.2.2.2 3RD-PARTY(config-router)#network 10.100.2.0 0.0.0.3 area 0 3RD-PARTY(config-router)#network 10.100.3.0 0.0.0.3 area 0 3RD-PARTY(config-router)#network 2.2.2.2 0.0.0.0 area 0 3RD-PARTY(config-router)#end</pre>
<pre>Konfigurasi BGR-RO-CORE BGR-RO-CORE#conf t BGR-RO-CORE(config)#router ospf 1 BGR-RO-CORE(config-router)#router-id 3.3.3.3 BGR-RO-CORE(config-router)#network 10.100.1.0 0.0.0.3 area 0 BGR-RO-CORE(config-router)#network 10.100.3.0 0.0.0.3 area 0 BGR-RO-CORE(config-router)#network 172.16.20.0 0.0.0.3 area 20 BGR-RO-CORE(config-router)#network 3.3.3.3 0.0.0.0 area 0 BGR-RO-CORE(config-router)#end</pre>	<pre>Konfigurasi BGR-RO-NMA BGR-RO-NMA#conf t BGR-RO-NMA(config)#router ospf 1 BGR-RO-NMA(config-router)#router-id 20.20.20.20 BGR-RO-NMA(config-router)#network 192.168.20.0 0.0.0.255 area 20 BGR-RO-NMA(config-router)#network 172.16.20.0 0.0.0.3 area 20 BGR-RO-NMA(config-router)#network 20.20.20.20 0.0.0.0 area 20 BGR-RO-NMA(config-router)#end</pre>	

3. Mengatur OSPF Priority

Pada tahap selanjutnya, setelah melakukan konfigurasi *routing* OSPF pada masing-masing device, melakukan konfigurasi OSPF *cost* pada router JKT-RO-CORE dan BGR-RO-CORE. Pada skenario penelitian ini yang bertugas sebagai *backup link* adalah *interface* dari 3RD-PARTY. Berikut ini merupakan konfigurasi OSPF *cost* pada router JKT-RO-CORE dan BGR-RO-CORE.

```

Sisi JKT-RO-CORE
JKT-RO-CORE(config)#interface GigabitEthernet2/0
JKT-RO-CORE(config-if)#ip ospf cost 250
JKT-RO-CORE(config-if)#end
Sisi BGR-RO-CORE
BGR-RO-CORE(config)#interface GigabitEthernet3/0
BGR-RO-CORE(config-if)#ip ospf cost 200
BGR-RO-CORE(config-if)#end
    
```

G. Skenario Pengujian

Skenario pengujian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini berupa uji coba konektivitas, uji coba *link failover* dan *Quality of Service*. Berikut ini merupakan *point of view skenario* pengujian yaitu (a) Melakukan pengujian konektivitas dari hasil konfigurasi antar device dilakukan dengan *test ping point to point* (P2P) dari kantor pusat ke kantor cabang ataupun sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa link yang akan di uji berjalan dengan baik; (b) Melakukan pengujian *link failover*, yaitu dengan cara menonaktifkan atau mematikan *main link* dengan cara *shutdown* salah satu interface router JKT-RO-CORE dan router BGR-RO-CORE. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perpindahan data dari jalur main link ke backup link secara otomatis dengan menggunakan *routing* OSPF; (c) Melakukan pengukuran parameter QoS (*jitter, delay, throughput, packet loss*) dengan menggunakan *software wireshark*.

H. Skenario Pengambilan Data

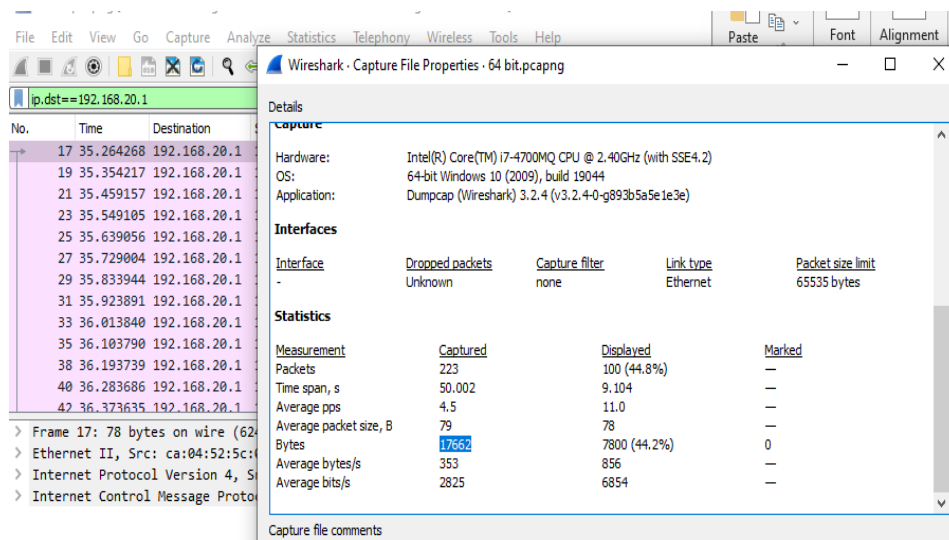
Pada penelitian ini skenario pengambilan data performansi yang diharapkan dapat memenuhi pengkategorian QoS berdasarkan standar ETSI, yaitu (1) *Throughput*, diharapkan nilai *throughput* > 2,1 Mbps; (2) *Delay*, diharapkan nilai parameter *delay* < 450 ms; (3) *Jitter*, diharapkan nilai parameter *jitter* di antara 0 ms sampai < 255 ms; (4) *Packet loss*, diharapkan nilai parameter *packet loss* < 25%. Berikut Tabel 3 menunjukkan kategori QoS berdasarkan standar ETSI.

Tabel 3. Kategori QoS – Standar ETSI(ETSI, 1999)

Standarisasi Nilai Delay		Standarisasi Nilai Jitter		Standarisasi Nilai Throughput		Standarisasi Nilai Packet Loss	
Besar Delay (ms)	Indeks Kategori	Jitter (ms)	Indeks Kategori	Throughput (Mbps)	Indeks Kategori	Packet loss %	Indeks Kategori
< 150	Sangat Bagus	0	Sangat Bagus	> 2,1 Mbps	Sangat Bagus	0	Sangat Bagus
< 250	Bagus	0-75	Bagus	1200 Kbps-2,1 Mbps	Bagus	3	Bagus
< 350	Sedang	75-125	Sedang	700-1200 Kbps	Sedang	15	Sedang
< 450	Buruk	125-255	Buruk	338-700 Kbps	Buruk	25	Buruk
(Sumber: ETSI, TR 101 329 V2.1.1 (1999-06))		(Sumber: ETSI, TR 101 329 V1.2.5)		0-338 Kbps (Sumber: ETSI, TR 101 329 V1.2.5)		(Sumber: ETSI, TR 101 329 V1.2.5 (1998-10))	

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diimplementasikan pada jaringan *Metro Ethernet* PT. Telkom Indonesia (Persero) yang memiliki trafik layanan bersifat *best effort* dengan *Maximum Transfer Unit* (MTU) 1500, dan menggunakan standar backbone jaringan MPLS yang menghubungkan dua *client* di area Jakarta dan area Bogor. Pengujian parameter *Quality of Service* difokuskan pada empat parameter yaitu *throughput, delay, jitter* dan *packet loss*. Nilai dari parameter yang diuji akan merujuk pada standar ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Pengujian dan perhitungan ke empat parameter tersebut menggunakan *software wireshark*. *Wireshark* mampu melakukan proses penangkapan atau *capture packet data* yang melintasi jaringan. Berikut ini merupakan parameter QoS yang didapatkan dari pengujian, dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengujian Parameter QoS (*Wireshark*)

Pada Gambar 6 menampilkan proses pengujian performansi jaringan yang akan dilakukan sebanyak dua belas kali, dengan cara mengirimkan paket size yang berbeda-beda, yaitu 64 bytes, 128 bytes, 256 bytes, 512 bytes, 1024 bytes, 2048 bytes, 4096 bytes, 6000 bytes, 7000 bytes, 8000 bytes, 9000 bytes, 18000 bytes. Berikut ini merupakan hasil pengujian ke empat parameter saat kondisi normal (*dual link*) dan failover (*single link*).

A. Throughput

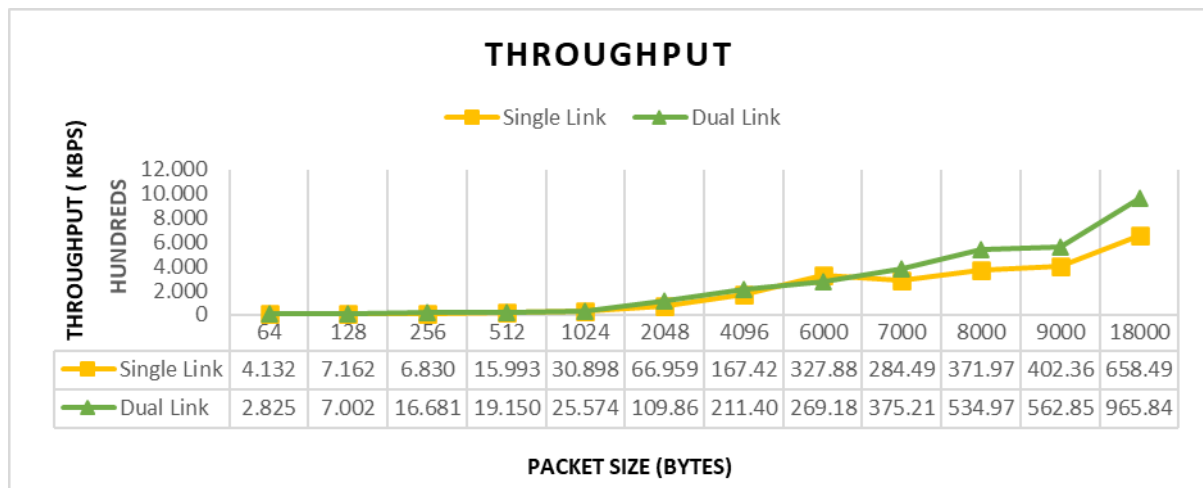
Throughput merupakan kecepatan transfer data efektif yang diukur dalam bps (Devi Kurniati, Catur Iswahyudi, 2020). Berdasarkan hasil pengukuran *throughput* pada *single link* dan *dual link* yang dilakukan sebanyak dua belas kali percobaan menggunakan aplikasi *wireshark*, didapat perbandingan nilai parameter *throughput* seperti yang terlihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Pengukuran *Throughput*

Percobaan Ke-	Packet Size (bytes)	<i>Throughput</i> (bps)	
		<i>Single Link</i>	<i>Dual Link</i>
1	64	4.132	2.825
2	128	7.162	7.002
3	256	6.830	16.681
4	512	15.993	19.150
5	1024	30.898	25.574
6	2048	66.959	109.867
7	4096	167.428	211.408
8	6000	327.887	269.187
9	7000	284.497	375.213
10	8000	371.970	534.974
11	9000	402.362	562.853
12	18000	658.491	965.844
Rata-rata <i>Throughput</i>		195.384	258.382

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat hasil pengukuran *throughput* menunjukkan perbandingan pada saat koneksi menggunakan *single link* dan *dual link*. Nilai *throughput* saat *single link* dengan nilai terendah diperoleh saat *packet size* 64 bytes yaitu 4.132 bps dan nilai tertinggi 658.491 bps saat *packet size* 18000 bytes. Dari hasil dua belas kali percobaan didapatkan kondisi *single link* nilai rata-rata *throughput* sebesar 195.384 bps atau 195 Kbps, sedangkan kondisi *dual link* nilai rata-rata *throughput* sebesar 258.382 bps atau 258 Kbps. Terdapat beberapa faktor nilai *throughput* yang berbeda antara *single link* dan *dual link*, salah satunya dikarenakan hop atau jarak dari *router source* ke *destination* yang dilalui *single link* saat

terjadinya *link failure* lebih banyak dibandingkan *dual link* saat keadaan link normal. Pada Gambar 7 menunjukkan grafik hasil parameter *throughput* yang didapatkan.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian *Throughput Single Link* dan *Dual Link*

Pada Gambar 7 menunjukkan adanya perubahan nilai *throughput* yang signifikan saat kondisi jaringan *single link* dan *dual link*. Nilai *throughput* saat *dual link* dengan *packet size* dikirimkan 18000 bytes lebih besar dibandingkan *single link*, yaitu sebesar 965.844 bps atau setara dengan 965 Kbps. Penggunaan *single link* dapat memanfaatkan besar *bandwidth* yang tersedia dan meningkatkan *throughput* pada saat mengakses data, walaupun *bandwidth* yang tersedia sebanding dengan menggunakan *dual link*, tetapi nilai pemanfaatan besar *bandwidth* pada *single link* tersebut tidak sebaik dengan menggunakan *dual link*. Namun, jika hasil pengukuran nilai rata-rata *throughput* dibandingkan dengan standar ETSI saat jaringan *single link* maupun *dual link*, tergolong kategori sangat buruk dengan nilai yang dihasilkan < 2,1 Mbps. Hal tersebut disebabkan oleh *packet size* yang melebihi kapasitas *bandwidth* sehingga menyebabkan adanya *flooding traffic* yang mempengaruhi nilai *throughput* dihasilkan. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini, dengan memperhatikan topologi jaringan yang digunakan, spesifikasi perangkat komputer *client/user*, dan tipe data yang akan ditransmisikan, serta faktor lingkungan seperti cuaca.

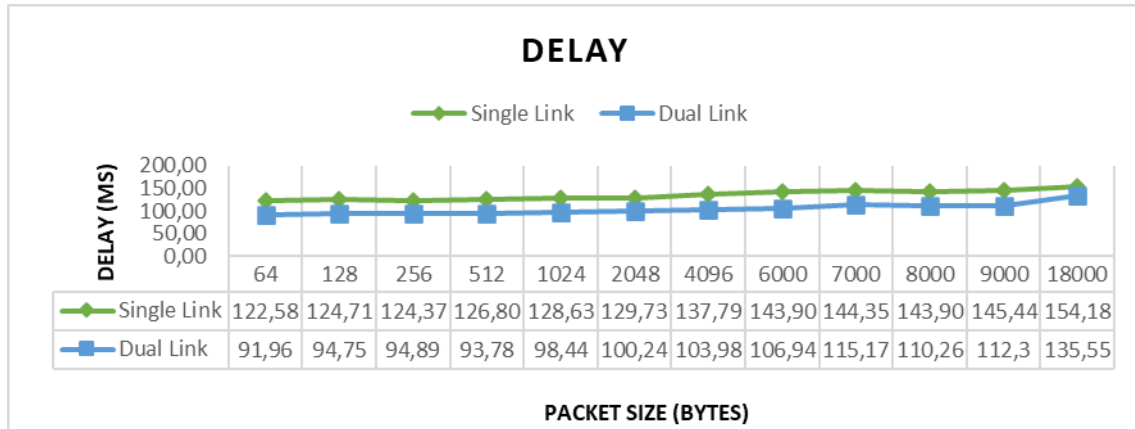
B. Delay

Delay merupakan waktu yang dibutuhkan oleh paket dari sisi pengirim hingga ke sisi penerima (Kukuh Nugroho, 2019). Perbandingan analisa hasil pengukuran *delay* yang dilakukan sebanyak dua belas kali percobaan melalui aplikasi Wireshark. Berdasarkan hasil pengukuran *delay*, perbandingan saat koneksi menggunakan *single link* maupun *dual link* dapat ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini :

Tabel 5. Hasil Pengukuran *Delay*

Percobaan Ke-	Packet Size (bytes)	Delay (ms)	
		Single Link	Dual Link
1	64	122,58	91,96
2	128	124,71	94,75
3	256	124,37	94,89
4	512	126,80	93,78
5	1024	128,63	98,44
6	2048	129,73	100,24
7	4096	137,79	103,98
8	6000	143,90	106,94
9	7000	144,35	115,17
10	8000	143,90	110,26
11	9000	145,44	112,3
12	18000	154,18	135,55
Rata-Rata Delay		135,53	104,86

Pada Tabel 5 dapat dilihat hasil perbandingan pengukuran antara *single link* dan *dual link*. Pada saat kondisi menggunakan *dual link*, nilai *delay* berkisar antara 91 ms sampai dengan 135 ms, sedangkan pada saat kondisi *single link* performansi nilai *delay* berkisar antara 122 ms sampai dengan 154 ms. Performansi nilai *delay single link* mempunyai rata-rata *delay* lebih tinggi dibandingkan *dual link*, dimana nilai rata-rata *delay* untuk *single link* adalah 135,53 ms. Sedangkan untuk nilai rata-rata saat link normal (*dual link*) 104,86 ms. Grafik hasil parameter *delay* yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian *Delay Single Link* dan *Dual Link*

Pada kondisi jaringan normal, performansi jaringan lebih meningkat dibandingkan link pada kondisi mengalami gangguan (*single link*). Dapat ditarik kesimpulan, semakin besar *packet size* yang dikirimkan maka akan semakin besar pula *delay* nya. Terdapat perbedaan hasil pengukuran *delay* saat kondisi jaringan *single link* dan *dual link*. Pada Gambar 8 menunjukkan setelah digunakan *dual link* didapatkan nilai *delay* yang relatif lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi *single link* nilai *delay* lebih besar dibandingkan dengan *dual link* yang di dapat dari proses pengiriman data. Sehingga waktu yang dibutuhkan data tersebut untuk sampai ditujuan lebih lama. Dapat ditarik kesimpulan dengan nilai *delay* yang < 150 ms menurut standar ETSI masuk dalam indeks kategori bagus.

C. Jitter

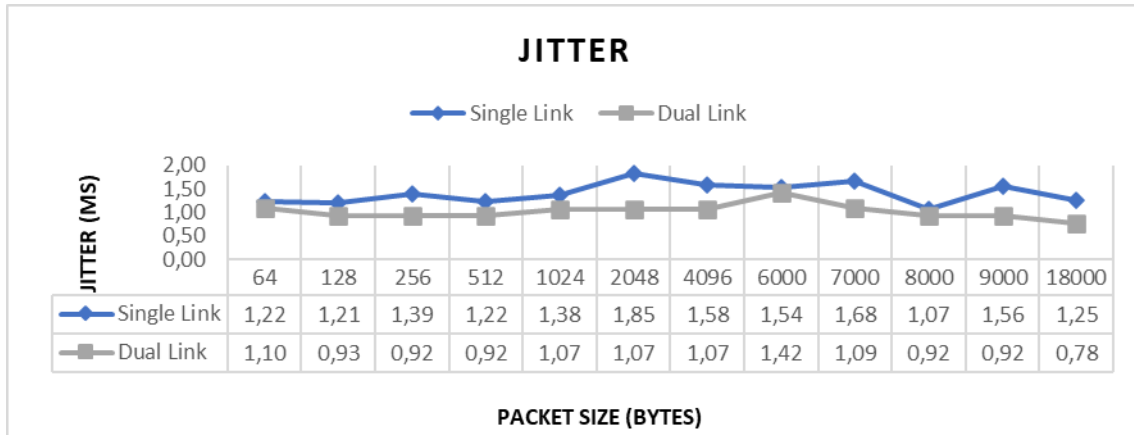
Jitter adalah variasi delay, yang disebabkan oleh variasi-variasi panjang antrian dalam waktu mengolah data (Hendrik Kusbandono, 2019). Perbandingan analisa hasil pengukuran *jitter* yang dilakukan melalui aplikasi wireshark. Berdasarkan hasil pengukuran *jitter*, perbandingan saat koneksi menggunakan *single link* maupun *dual link* dapat ditunjukkan pada Tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Hasil Pengukuran *Jitter*

Percobaan Ke-	Packet Size (bytes)	Jitter (ms)	
		Single Link	Dual Link
1	64	1,22	1,10
2	128	1,21	0,93
3	256	1,39	0,92
4	512	1,22	0,92
5	1024	1,38	1,07
6	2048	1,85	1,07
7	4096	1,58	1,07
8	6000	1,54	1,42
9	7000	1,68	1,09
10	8000	1,07	0,92
11	9000	1,56	0,92
12	18000	1,25	0,78
Rata-Rata Jitter		1,41	1,02

Pada Tabel 6 di atas dapat dilihat hasil pengukuran parameter jitter single link mempunyai rata-rata nilai jitter 1,41 ms, sedangkan nilai rata-rata jitter dual link yaitu 1,02 ms. Dimana nilai terendah untuk

jitter single link adalah 1,21 ms dan nilai tertinggi yaitu 1,85 ms saat kondisi packet size 2048. Hasil pengukuran single link lebih besar dibandingkan saat kondisi dual link. Hal ini dipengaruhi karena link utama (main link) diputus atau shutdown. Perbedaan hasil pengukuran *jitter* saat kondisi jaringan *single link* dan *dual link* dapat dilihat grafik hasil pengujian pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian *Jitter Single Link* dan *Dual Link*

Pada Gambar 9 menunjukkan setelah digunakan *dual link* didapatkan nilai *jitter* yang relatif lebih kecil dimana nilai terendah adalah 0,78ms saat pengiriman *packet size* sebesar 1800 bytes, dan nilai tertinggi adalah 1,42ms. Menurut standar ETSI dapat disimpulkan dalam keadaan link normal maupun *failover* dari pengujian parameter *jitter* dikarenakan indeks kategori parameter *jitter* antara 0 s/d 75 ms, maka masuk dalam kategori bagus.

D. Packet loss

Packet loss adalah informasi yang hilang akibat dari kongesti trafik (*traffic congestion*) seperti *buffer overflow* atau karena kesalahan dari transmisi (Adith Priyo Pratama, Dr. Erna Sri Sugesti, Ir., M.Sc, Ratna Mayasari, S.T., 2017). Perbandingan analisa hasil pengukuran *packet loss* yang dilakukan melalui aplikasi wireshark. Berdasarkan hasil pengukuran *packet loss*, perbandingan saat koneksi menggunakan *single link* maupun *dual link* dapat ditunjukkan pada Tabel 7 berikut ini :

Tabel 7. Hasil Pengukuran *Packet loss*

Percobaan Ke-	Packet Size (bytes)	Packet Loss (%)	
		Single Link	Dual Link
1	64	0%	0%
2	128	0%	0%
3	256	0%	0%
4	512	0%	0%
5	1024	0%	0%
6	2048	0%	0%
7	4096	0%	0%
8	6000	0%	0%
9	7000	0%	0%
10	8000	0%	0%
11	9000	0%	0%
12	18000	0%	0%
Rata-Rata <i>Packet Loss</i>		0%	0%

Pada Tabel 7 memperlihatkan data pengukuran diperoleh menggunakan aplikasi wireshark, pada saat koneksi single link dan dual link dengan nilai packet size yang berbeda-beda. Nilai packet loss menunjukkan tidak terdapat packet loss atau jika dihitung maka nilainya 0%, yang artinya tidak ada pengiriman paket yang hilang. Nilai tersebut dalam kategori indeks sangat bagus. Berdasarkan hasil pengujian Quality of Service (QoS) melalui pendistribusian data OSPF dan skenario link failover di atas, keseluruhan pengukuran menunjukkan dengan adanya backup link mampu meningkatkan stabilitas koneksi jaringan komunikasi data ketika mengalami down dan teruji sesuai standarisasi ETSI. Hal tersebut

tentunya sangat memberikan kontribusi yang bagus terhadap permasalahan jaringan komunikasi data di PT. Telkom Indonesia (Persero). Dengan harapan, solusi jaringan dengan kapasitas yang lebih tinggi dalam satu sirkuit dan dapat terhubung di mana saja dengan terjaganya stabilitas koneksi, menjadikan metro ethernet menjadi lebih fleksibel, mudah diakses, efektif terutama di lingkungan pebisnis telekomunikasi yang memiliki mitra di berbagai belahan dunia.

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka kesimpulan bahwa (1) Perancangan jaringan metro ethernet menggunakan routing protocol OSPF dengan 5 buah router yang terdiri dari : 2 buah router cabang (JKT-RO-NMA dan JKT-RO-BGR) yang terhubung ke PC Client cabang, 2 buah router core yang terhubung ke backbone (JKT-RO-CORE dan BGR-RO-CORE) untuk mengatur lalu lintas utama pada jaringan dengan sistem failover, dan 1 buah router third-party yang berfungsi sebagai router backup jika main link mengalami kegagalan; (2) Hasil pengujian link failover menunjukkan status success dan berfungsi meminimalisir terputusnya koneksi jaringan (downtime) ketika salah satu jalur pada jaringan mengalami masalah. Hal ini karena penggunaan routing OSPF mampu mencari jalur alternatif ketika salah satu jalur primary/main link mengalami fail atau down, sehingga jalur akan dialihkan via backup link/jalur secondary; (3) Hasil pengukuran QoS saat koneksi menggunakan single link didapat nilai rata-rata throughput sebesar 195 Kbps, sedangkan dual link didapat nilai rata-rata throughput sebesar 258 Kbps. Hal ini dikarenakan hop atau jarak dari router source ke destination yang dilalui single link lebih banyak dibandingkan dual link. Untuk parameter delay dan jitter menggunakan dual link menghasilkan nilai rata-rata yang lebih kecil dibandingkan dengan single link karena link utama (main link) diputus. Dan parameter packet loss menunjukkan hasil yang paling baik yaitu sebesar 0% artinya tidak terdapat paket yang hilang saat pengiriman.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian ini yang telah bekerja sama hingga penelitian berjalan dengan baik dan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada segenap akademisi yang telah mendukung kelancaran penelitian ini sebagai perwujudan tanggung jawab sosial Lembaga Pendidikan Tinggi - Tri Dharma Perguruan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adith Priyo Pratama, Dr. Erna Sri Sugesti, Ir., M.Sc, Ratna Mayasari, S.T., M. . (2017). Analisis Packet Loss Pada Wlan 802.11n Qos Mode Basic Service Set Berbasis Eksperimen. E-Proceeding of Engineering. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/viewFile/5055/5026>
- Agus Darajat, I. N. (2019). Analisa QoS Administrative Distance Static Route Pada Failover VPN IPSEC. Jurnal Ilmu Teknik Dan Komputer, 3(1). <https://pdfs.semanticscholar.org/061c/75255166227b0bfe9141fc584d42cca5c9ff.pdf>
- Arisman Putra Munggaran, Rendy Munadi, D. P. (2018). Analisis Dan Simulasi Perbandingan Qos Di Routing Protokol Mpls Ospf Dan Mpls Is-is Di Jaringan Ipv6 Menggunakan Gns3 Untuk Layanan Video Streaming. EProceedings of Engineering. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/7572>
- Computer, E. (2018). Laptop LENOVO THINKPAD T450. <https://eksekutifcomputer.com/product/laptop-lenovo-thinkpad-t450/>
- Danur Ilham Khoiruman. (2018). Pemodelan dan Simulasi Jaringan Backbone Metro Ethernet Kota Semarang Tahun 2028 Menggunakan Simulator Riverbed Modeler 17.5. TRANSIENT Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 7(4). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/21809>
- Darmawan, T. I. (2017). Analisa Link Balancing dan Failover 2 Provider Menggunakan Border Gateway Protocol (BGP) Pada Router Cisco 7606s. Jurnal Nasional Teknologi Dan Sistem Informasi, 03(03). <https://teknosi.fti.unand.ac.id/index.php/teknosi/article/download/369/132>
- Devi Kurniati, Catur Iswahyudi, S. R. (2020). Perancangan WiFi Multiple SSID dengan Virtual Access Point (VAP) Menggunakan Mikrotik. JARKOM, 8(1), 20–28.

- <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/jarkom/article/view/2759/2107>
- ETSI. (1999). Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS).
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101329/02.01.01_60/tr_101329v020101p.pdf
- Hendrik Kusbandono, E. M. S. (2019). Penerapan Quality Of Service (QoS) dengan Metode PCQ untuk Manajemen Bandwidth Internet pada WLAN Politeknik Negeri Madiun. RESEARCH, 2(1). <http://ejournal.unipma.ac.id/index.php/RESEARCH/article/view/3743>
- Irwansyah. (2018). Penerapan Dynamic Routing OSPF (Open Shortest Path Fisrt) Pada Jaringan Frame-Relay Map. Jurnal Ilmiah Matriks, 20(1).
<https://journal.binadarma.ac.id/index.php/jurnalmatrik/article/view/110>
- Kukuh Nugroho, D. P. S. (2019). Analisis Kinerja RouteFlow pada Jaringan SDN (Software Defined Network) menggunakan Topologi Full-Mesh. ELKOMIKA, 7(3), 585–599.
<https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/elkomika/article/view/2936>
- Maria Ulfa, F. (2017). Analisis Perbandingan Penerapan Static Routing Pada IPv4 dan IPv6. Jurnal Ilmiah Matrik, 19(2), 177–186. http://eprints.binadarma.ac.id/11587/1/Jurnal_Matriks.pdf
- Maryanto Firman Fauzi, Kukuh Nugroho, Ek. W. (2018). Analisis Performansi Routing Protocol Ospf Dengan Metode Translasi Nat-Pt Ipv4/Ipv6. CENTIVE, 351–353. <https://conferences.itelkom-pwt.ac.id/index.php/centive/article/view/62/62>
- Ronal Watrionthos, M. N. (2018). 1. Analisa Kemampuan Transver Data Vpn Berbasis Open Source Pada Kondisi Encripsi-Dekripsi Dan Kompresi-Dekompresi. Informatika: Jurnal Ilmiah AMIK Labuhan Batu, 6(1). <https://jurnal.ulb.ac.id/index.php/informatika/article/view/740>
- Satya Yoga Pratama, Sukiswo, A. A. Z. (2017). Analisis Perfomansi Link Pada Jaringan Metro Ethernet Regional Jawa Tengah Menggunakan Simulator OPNET 14.5. TRANSIENT Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 6(1). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/viewFile/17071/16356>
- Vito Putra Heryanto, Tengku Ahmad Riza, G. G. (2019). Simulasi Dan Analisa Qos Multiprotocol Label Switching Untuk Layanan Metronet Pada Jaringan Pt Indonesia Comnets Plus (icon+). EProceedings of Applied Science, 5(3).
<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/11326/11187>