# ANALISIS LOAD BALANCE FAT LABEL LAG PADA JARINGAN METRO ETHERNET DENGAN SERVICE L2VPN (Studi Kasus Interoperability Test Fat-Label RFC6391 Metro Alcatel-Nokia dan Tera Router Cisco di DDS PT.TELKOM Divisi Broadband Core Network)

*FAT Label LAG Load Balance Analysis from Metro Ethernet Network with L2VPN Service*

**Aditya Ramadwiputra[1], Dr. Ir. Rendy Munadi[2], M.T., Fidar Adjie Laksono, S.T[3].**

**[1,2]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom**
**Telkom Indonesia**

[1]adityaramadwiputra@students.telkomuniversity.ac.id , [2]rendymunadi@telkomuniversity.ac.id , [3]fidar@telkom.co.id

**Abstrak**

**Jaringan komunikasi digital saat ini sudah menjadi prioritas di berbagai internet service provider, tidak terlepas dari hal tersebut komunikasi *voice* atau yang dulunya berbasis sirkit beralih menjadi teknologi berbasis paket karena masalah efisiensi. Perbedaan lokasi geografis juga menjadi faktor mengapa jaringan komunikasi berbasis paket yaitu internet adalah menjadi solusi untuk masa depan.**

**Dengan adanya Metro Ethernet Network yang telah menggunakan media akses optik, maka jaringan *backbone* internet *service provider* yang berbeda letak goegrafisnya dapat terhubung satu sama lain menggunakan Metro Ethernet. Efisiensi *link* dan *bandwidth* menjadi faktor penting pada jaringan Metro Ethernet, untuk menyediakan hal tersebut maka Metro Ethernet dapat menggunakan *link bundling* atau *LAG* untuk meningkatkan *bandwidth* serta redudansi dan *flow label* untuk meningkatkan efisiensi trafik pada *link bundling* atau *LAG*. *Flow label* tersebut akan masuk kedalam struktur *labeling* pada MPLS ip transport yang akan mengontrol jumlah trafik berdasarkan *flow* dari *egress node origin* ke *ingress destination*.**

**Sebagai hasil pengujian yang telah dilakukan, FAT label dapat berpengaruh positif terhadap load balance pada LAG dengan rata-rata dari mulai 3% hingga 45% dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Dari hasil yang diperoleh bahwa penggunaan servicr VPLS dapat meningkatkan load balance dari LAG ketika menggunakan FAT label sebesar 42% dan juga dengan banyaknya flow dapat meningkatkan load balance dari LAG pada metro Ethernet.**

**Kata Kunci : Metro Ethernet, LAG, MPLS, FAT label, L2VPN.**

***Abstract***

***Digital communication networks now a priority in various internet service providers, not apart from that voice communication or what was once based on circuits turned into packet-based technology because of efficiency problems. Geographical location differences also become a factor why packet-based communication networks, namely the internet, are a solution for the future.***

***With the Metro Ethernet Network that has used optical access media, different internet service provider backbone networks can be connected to each other using Metro Ethernet. Link efficiency and bandwidth are important factors in Metro Ethernet networks, to provide this, Metro Ethernet can use link bundling or Link Aggregation Group (LAG) to increase bandwidth and redundancies also flow labels to increase traffic efficiency on link bundling or LAG. The flow label will enter the labeling structure in the MPLS ip transport wich controls the amount of traffic based on the flow from the egress node origin to the ingress destination.***

***As a result of the tests that have been done, the FAT label can have a positive effect on load balance on the LAG with an average starting from 3% to 45% of the results of tests that have been carried out. From the results obtained, the use of VPLS service can increase load balance from LAG when using the FAT label by 42% and also with a lot of flow can increase load balance from LAG on metro Ethernet.***

***Keywords: Metro Ethernet, LAG, MPLS, FAT label, L2VPN.***

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Merujuk kepada standard RFC6391, *flow label* dapat digunakan pada *Link Aggregation Group* (*LAG*) dengan acuan sebagai berikut; "*In addition to providing an indication of the flow structure for use in ECMP forwarding decisions, the mechanism described in the document may also be used to select flows for distribution over an IEEE*

*802.1AX-2008 (originally specified as IEEE802.3ad-2000) Link Agreggation Group (LAG) that has been used in an MPLS network"*[1][4]. Sebagai studi kasus pada penelitian ini, peneliti akan melakukan optimasi trafik *flow* pada *LAG* Metro Ethernet dengan cara menambahkan *Flow* Label pada MPLS. Optimasi tersebut dilakukan setelah terdapat temuan dari tim operasional PT. Telkom bahwa pada *LAG* Metro Ethernet terdapat 1 *link* dari beberapa bagian *link LAG* dengan utilisasi yang tinggi. Jika kembali kepada tujuan *LAG* yang salah satunya adalah menambah redudansi dari *link failure*, ketika hanya 1 *link LAG* yang dipenuhi oleh trafik tersebut putus, maka akan banyak paket yang hilang ketika proses pengalihan *link* dari *LAG* tersebut. Optimasi ini bertujuan jika semua trafik terbagi secara merata pada tiap *link LAG* maka ketika terjadi *link failure* tidak akan banyak paket yang gagal dikirimkan dari *source to destination* dikarenakan distribusi trafik pada *link LAG* terbagi secara rata.

Dari standard yang telah di buat oleh IETF tersebut maka dalam penelitian ini, peneliti dan tim yang tergabung akan menguji perangkat *backbone* Metro Ethernet yang terdapat pada laboratorium Telkom DDS Bandung unit Broadband Core Network dan akan mensimulasikan topologi yang mendekati kemiripan pada *real network* agar hasil yang didapatkan dapat dijadikan acuan atau pertimbangan tim Broadband Core Network untuk menerapkan standar tersebut pada perangkat Metro Ethernet yang existing. Agar optimasi ini mewakili dari beberapa aspek kebutuhan operasional PT. Telkom, maka peneliti juga membuat skenario penelitian agar mendekati kesamaan trafik pada real network.

### 1.2 Tujuan

Tujuan Penelitian yang peneliti susun adalah dapat membangun jaringan *core network* menggunakan FAT label MPLS pada *LAG* di Metro Ethernet untuk melakukan analisis perilaku dari *Load Balance* antar *link aggregation* dari *Origin* Metro Ethernet ke *Destination* Metro Ethernet.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada batasan masalah peneliti hanya membatasi tentang:

a. Penggunaan Methro Ethernet Alcatel-Nokia sebagai *node* untuk *Link Aggregation Group*.
b. Penggunaan *Flow Aware Transport label* MPLS pada Metro Ethernet Alcatel-Nokia.
c. Penggunaan Spirent Test Center sebagai *Traffic Generator* untuk mendukung uji coba trafik *flow* pada Metro Ethernet.

### 1.4 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah yang mengacu kepada latar belakang peneliti adalah

a. Apakah Metro Ethernet dapat menjadi solusi *Core Network*.
b. Berapa besar *bandwidth* yang dapat dialirkan pada *link* Metro Ethernet.
c. Apakah Metro Ethernet dapat memberikan tingkat *reliability* yang tinggi pada *Core Netwrok*.
d. Apakah Metro Ethernet memiliki teknologi untuk memberikan tingkat redudansi yang tinggi pada *Core Network*.
e. Apakah *Link Aggregation Group* pada Metro Ethernet dapat memberikan benefit terhadap *Core Network*.
f. Apakah Metro Ethernet mendukung QoS.
g. Bagaimana performansi Metro Ethernet menggunakan *Link Aggregation Group*.
h. Bagaimana perilaku Metro Ethernet yang menggunakan *Link Aggregation Group* ketika diberikan *Flow Label* MPLS.
i. Bagaimana performansi Metro Ethernet *Link Aggregation Group* ketika diberikan *Flow Label* MPLS.
j. Bagaimana perilaku Metro Ethernet menggunakan *Link Aggregation Group* yang sudah diberikan *Flow* Label MPLS ketika melintas disebuah Node Network berbeda vendor perangkat.
k. Bagaimana performansi Metro Ethernet menggunakan *Link Aggregation Group* yang sudah diberikan *Flow Label* MPLS ketika melintas disebuah *Node Network* berbeda vendor perangkat.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodelogi yang peneliti gunakan adalah:

**a. Studi Literatur**

Melakukan pencarian dan pengumpulan literatur dan bahasan tentang apa yang mendukung peneliti berupa artikel, jurnal, buku, internet, dan lain-lain yang dapat mendukung pembelajaran tentang proses menjalani Proposal dan Seminar Tugas Akhir ini.

**b. Desain**

Melakukan pembuatan desain jaringan yang akan di gunakan dalam Proposal dan Seminar Tugas Akhir ini untuk memberikan informasi bagaimana cara kerja sistem yang akan digunakan dan prinsip kerja dari sistem tersebut.

**c. Simulasi Lab**

Pada tahap ini peneliti akan melakukan simulasi yang akan dilakukan di laboratorium untuk menguji desain yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan literature yang telah dipelajari, agar dapat mengetahui apakah yang terjadi pada desain yang telah peneliti rancang ketika dilakukan pengetesan.

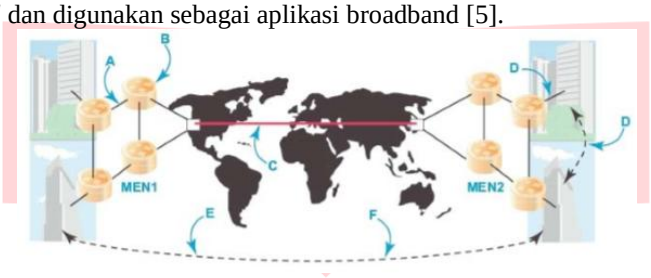
**d. Analisis dan Penarikan kesimpulan serta pemberian saran**

Melakukan analisis terhadap jaringan yang telah dibuat sehingga dapat mengambil kesimpulan apa yang terjadi jika FAT label MPLS diterapkan pada *Link Aggregation Group* Metro Ethernet, serta memberikan saran untuk penelitian berikutnya.

## 2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

### 2.1 Metro Ethernet Network

Jaringan Metro Ethernet secara umum didefinisikan sebagai jaringan yang menghubungkan LAN *enterprise* yang terpisah secara geografis dan juga menghubungkan antar WAN atau jaringan *backbone* yang pada umumnya dimiliki oleh *service provider*. Jaringan Metro Ethernet menyediakan layanan konektivitas di wilayah geografi metro sebagai *core protocol* dan digunakan sebagai aplikasi broadband [5].




**Gambar 2.1 Contoh Topologi Metro Ethernet [5]**

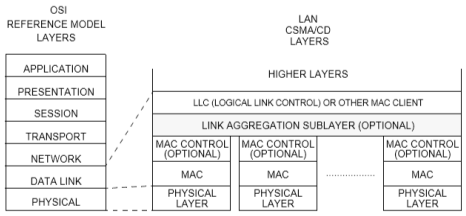
Ethernet adalah teknologi efektif dan terkenal yang banyak digunakan, dan *interface* ethernet tersedia pada kebanyakan perangkat komunikasi data / telekomunikasi. Sesuai standar *interface* yang tersedia untuk 10/100/1000 Mbps dan standar untuk 10Gbps ethernet diratifikasi pada IEEE pada tahun 2002.

Dalam Metro Area Networks (MANs), ethernet memiliki potensi untuk meningkatkan kapasitas jaringan secara efektif dan menawarkan berbagai penawaran layanan secara skalabel, sederhana dan fleksibel. MAN berbasis ethernet umumnya disebut Metro Ethernet Network. Beberapa penyedia layanan telah memperluas teknologi Metro Ethernet Network untuk Wide Area Network.

Saat ini perangkat Metro Ethernet sudah menggunakan teknologi akses serat optik. *Ethernet over optical fiber* adalah pilihan tepat karena dapat memberikan *bandwidth* yang besar, imun terhadap *noise* elektrik dan dapat digunakan untuk transmisi jarak yang cukup jauh.

### 2.2 Link Aggregation Group (LAG)

*Link Aggregation* memungkin satu atau lebih dari satu *link* untuk digabungkan bersama untuk membentuk *Link Aggregation Group* (*LAG*), sehingga MAC Client dapat memperlakukan *LAG* sebagai sebuah satu *link*. Pada akhirnya, *Link aggregation* menentukan pembuatan *logical link DTE to DTE*, yang terdiri dari N paralel *link* dari *point to point link* yang berjalan full duplex pada data rate yang sama [4].




**Gambar 2.2 Architectural positioning of Link Aggregation sublayer [7]**

### 2.3 Layer-2 Virtual Private Network (L2VPN)

L2VPN menggunakan layanan L2 melalui MPLS untuk membangun topologi koneksi point-to-point yang menghubungkan customer menggunakan VPN. MPLS L2VPN dibagi menjadi dua model yaitu yang bersifat Point-to-Point Layer 2 VPN (VPWS) dan Multipoint-to-Multipoint Layer 2 VPN (VPLS) [14].

#### 2.3.1 Virtual Private Wire Service

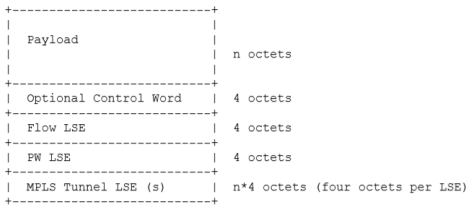
Virtual Private Wire Service (VPWS) adalah layer 2 service yang menyediakan konektivitas point-to-point untuk berbagi link layers, termasuk Frame Relay, ATM, Ethernet, PPP dan lain-lain diseluruh Packet Switched Network. Karena VPWS adalah layanan point-to-point maka ada kekurangan pada sisi scaling dengan model layanan seperti ini. Masalah scaling mungkin akan muncul dari jumlah end-point yang dapat didukung pada PE tertentu [13].

### 2.3.2 Virtual Private LAN Service

Virtual Private LAN Service (VPLS) adalah layanan Layer-2 yang mengemulasikan LAN Ethernet Virtual untuk melewati Packet Switch Network. VPLS juga dapat dikatakan sebagai LAN Virtual yang dapat menghubungkan beberapa node PE sehingga membentuk sebuah Local Network. Sehubungan dengan jumlah informasi yang harus disimpan pada setiap edge agar tetap mendukung fungsi forwarding maka VPLS memiliki karakter scaling seperti LAN. Perlu diperhatikan jika menggunakan service VPLS bahwa service tersebut tidak memiliki kapabilitas native multicast untuk meniru layanan yang memiliki kapabilitas native multicast. Akibatnya akan ada masalah skalabilitas yang berkaitan dengan multicast traffic pada VPLS [13].

## 2.4 Flow Aware Transport Label

Flow Aware Transport Label (FAT-label) adalah sebuah standar yang dikeluarkan oleh Internet Engineering Task Force (IETF) yang dituangkan pada RFC6391 dengan judul "*Flow-Aware Trasnport of Pseudowires over an MPLS Packet Switched Network*". FAT-label juga memiliki sebutan lain yaitu *Hash-label* atau *Hashing*. Pada Label Stack Encoding (LSE) posisi Flow Label (Flow LSE) berada diantara bit control word dan bit PW LSE atau berada diantara Payload dan PW LSE jika bit control word tidak ada. Bit Flow Label (flow LSE) dapat dilihat pada gambar dibawah.

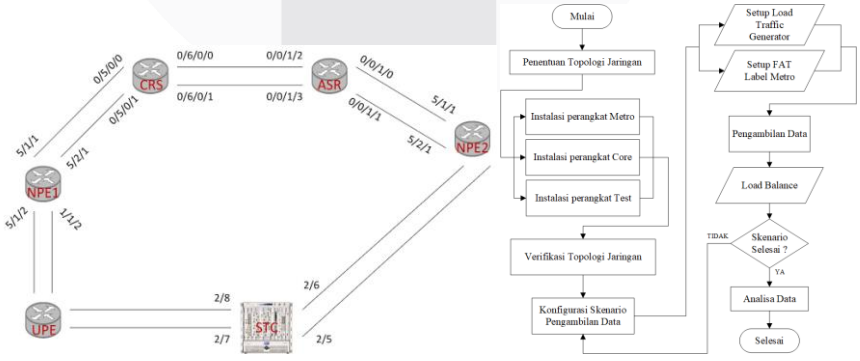



**Gambar 2.3 Enkapsulasi PW dengan Flow LSE**

Sesuai dengan penjelasan RFC6391, pada beberapa pseudowire digunakan untuk volume trafik yang besar pada ip trafik antara router. Sebagai salah satu contoh Ethernet pseudowire untuk membuat *virtual direct link* antara pasangan router, yang dimana ada kemungkinan akan membawa ratusan Mbps ke Gbps trafik. FAT label akan memberikan tambahan label ip payload pada ingress node dan ditempatkan pada bagian bawah label stack [1].

## 2.5 Diagram alir dan Perangcangan

Pada gambar dibawah merupakan diagram alir dan topologi yang digunakan untuk pengujian penelitian FAT label LAG pada Metro Ethernet. Topologi dibawa sudah disesuaikan dengan kesamaan pada kondisi asli, dengan tiga buah metro Ethernet dan dua router backbone serta untuk pengetesan dan pengukuran menggunakan spirenttestcenter.




**Gambar 2.4 Topologi dan Sistem Penelitian**

## 3. Pembahasan

**Tabel 3.1 Hasil pengujian Load Balance Link Aggregation Group (LAG)**

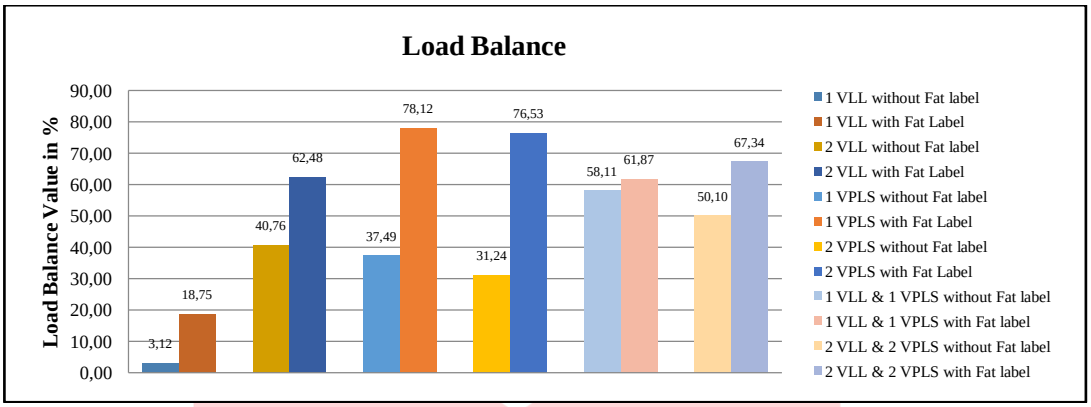



Diagram diatas adalah hasil dari pengolahan load antara Link Aggregation yang menciptakan nilai Load Balance untuk dijadikan pemahasan. Nilai Load Balance yang mendekati 100% memiliki arti mempunyai tinkat keseimbangan antar Link Aggregation yang seimbang.

### 3.1 Load balance LAG dengan 1 service VLL

jika membuat rata-rata pada link 2 dengan link 5 maka peneliti dapat menyimpulkan bahwa tingkat keseimbangan pada skenario LAG dengan 1 service VLL yang tidak menggunakan FAT label adalah 3,12% dan jika menggunakan FAT label adalah 18,75%. Terjadi perubahan yang positif jika menggunakan FAT label dengan besaran 15,62%, hasil akhir skenario LAG dengan 1 service VLL bahwa FAT label dapat memberikan pengaruh positif tetapi tidak melebihi tingkat keseimbangan 50%. Hasil tersebut dapat terjadi dikarenakan flow label yang digunakan untuk membagi trafik menggunakan per stream atau per flow, sehingga bila masing-masing stream mempunyai nilai berbeda maka hasil dari load antara link satu dengan lainnya akan berbeda tetapi akan lebih seimbang pembagian loadnya.

### 3.2 Load balance LAG dengan 2 service VLL

Sebagai analisis skenario LAG dengan 2 service VLL, jika membuat rata-rata pada pada link 2 dan link 5 pada skenario maka akan mendapatkan tingkat keseimbangan 40,76% jika tidak menggunakan FAT label dan 62,48% jika menggunakan FAT label, hasil akhir terlihat perubahan positif pada skenario LAG dengan 2 service VLL dengan peningkatan keseimbangan sebesar 21,72%. Hasil tersebut bisa dicapai dikarenakan banyaknya stream yang ada akan mempengaruhi pembagian trafik load pada setiap link, sehingga ketika flow label ditambahkan pada service L2VPN maka setiap stream akan dikalkulasi untuk selanjutnya di distribusikan sesuai dengan besaran trafik load yang sama untuk kedua link.

### 3.3 Load balance LAG dengan 1 service VPLS

Sebagai analisis skenario LAG dengan 1 service VPLS, jika membuat rata rata pada link 2 dan link 5 maka akan mendapatkan tingkat keseimbangan 37,49% jika tidak menggunakan FAT label dan 78,12% jika menggunakan FAT label. Hasil akhir skenario LAG dengan 1 service VPLS dapat memberikan hasil yang positif dengan perubahan tingkat keseimbangan mencapai 40,64%. Hasil tersebut didapatkan karena hasil rata-rata pada setiap link antar node menunjukan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan jika menggunakan service VLL. Hal ini membuktikan service VPLS akan mempengaruhi jumlah stream yang akan didistribusikan pada setiap link antar node.

### 3.4 Load balance LAG dengan 2 service VPLS

Sebagai analisis dari skenario LAG dengan 2 service VPLS, jika membuat rata-rata pada link 2 dan link 5 maka akan mendapatkan tingkat keseimbangan 31,24% ketika tidak menggunakan FAT label dan 76,53% ketika menggunakan FAT label. Sebagai hasil akhirnya terdapat peningkatan yang positif dari skenario LAG dengan 2 service VPLS dengan besaran 45,29%. Hasil yang didapatkan dapat meningkat dari skenario (c) dikarenakan pada skenario ini menggunakan lebih banyak stream, hal itu dikarenakan flow label yang digunakan akan membagi stream atau flow dari trafik load yang akan di distribusikan dan dibagi untuk setiap link yang tergabung dalam link aggregation, sehingga stream atau flow akan mengsisi antara kedua link dengan nilai trafik yang hampir sama.

### 3.5 Load balance LAG dengan 1 service VLL dan 1 service VPLS

Sebagai analisis dari hasil pengujian skenario LAG dengan 1 service VLL dan 1 service VPLS, jika membuat rata rata pada link 2 dan link 5 tingkat keseimbangan ketika tidak menggunakan FAT label mendapatkan besaran 58,11% dan ketika menggunakan FAT label mendapatkan besaran 61,87%. Jika dianalisis skenario LAG dengan 1 service VLL dan 1 service VPLS tidak mengalami peningkatan tingkat keseimbangan yang tinggi yaitu sebesar 3,76%, hal itu disebabkan ketika tidak menggunakan FAT label tingkat keseimbangan sudah lumayan tinggi. Hasil tersebut dapat terjadi dikarenakan stream yang digunakan cukup banyak dan sevice L2VPN yang digunakan terdiri dari VLL dan VPLS sehingga karakter service dari VPLS dapat membantu distribusi trafik load dari stream ketika tidak menggunakan FAT label.

### 3.6 Load balance LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS

Sebagai analisis dari skenario LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS, jika membuat rata-rata pada link 2 dan link 5 akan mendapatkan tingkat keseimbangan 50,10% untuk yang tidak menggunakan FAT label dan 67,34% untuk yang menggunakan FAT label. Hasil akhir dari skenario LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS terjadi peningkatan yang positif sebesar 17,25%, peningkatan tersebut juga dikarenakan tingkat keseimbangan jika tidak menggunakan FAT label sudah cukup tinggi diatas 50%. Skenario ini tidak memberikan distribusi trafik load yang cukup baik berdasarkan peningkatan keseimbangan pada kedua link dikarenakan trafik load pada besaran setiap stream atau flow cukup berbeda dan beragam, sehingga trafik load akan menyesuaikan jumlah stream per link agar terdistribusi lebih merata ketika menggunakan FAT label.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari seluruh skenario yang telah dilakukan penambahan Flow Aware Transport Label pada Link Aggregation Group Metro Ethernet dapat disimpulkan sebagai berikut:

a. Sesuai dengan hipotesa diawal penelitian bahwa FAT label dapat memberikan pengaruh positif terhadap load balance dari Link Aggregation Group pada Metro Ethernet pada service L2VPN. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pada setiap skenario dari skenario LAG dengan 1 service VLL hingga skenario LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS, dengan hasil peningkatan load balance pada skenario LAG dengan 1 service VLL sebesar 15,62%, skenario LAG dengan 2 service VLL 21,72%, skenario LAG dengan 1 service VPLS 40,64%, skenario LAG dengan 2 service VPLS 45,29%, skenario LAG dengan 1 service VLL dan 1 service VPLS 3,76%, dan skenario LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS 17,25%.
b. Dari hasil data yang diperoleh, jenis dari service L2VPN dapat mempengruhi hasil akhir dari keseimbangan link pada Link Aggregation Group Metro Ethernet, dapat dilihat pada perbandingan antara skenario LAG dengan 1 service VLL juga LAG dengan 2 service VLL dengan skenario LAG dengan 1 service VPLS juga LAG dengan 2 service VPLS. Nilai peningkatan keseimbangan rata-rata lebih besar pada service VPLS dengan kisaran 40%-45%, sedangkan pada service VLL hanya berada pada kisaran 15%-20%.
c. Hasil akhir menunjukan bahwa service VPLS dapat memberikan tingkat keseimbangan lebih baik dibandingkan dengan service VLL pada penggunaan FAT label.
d. Besaran trafik dari masing-masing flow dapat berpengaruh ketika melewati Link Aggregation Group yang menggunakan FAT label pada Metro Ethernet.
e. Banyaknya flow dapat mempengaruhi keseimbangan saat menggunakan FAT label pada Link Aggregation Group dengan service L2VPN, dibuktikan pada skenario LAG dengan 1 service VLL dan 1 service VPLS dan LAG dengan 2 service VLL dan 2 service VPLS pada saat tidak menggunakan FAT label trafik sudah menunjukan nilai tingkat keseimbangan yang cukup besar yaitu berada pada kisaran 50%-58%.

## Daftar Pustaka

[1] Bryant, Ed., S., Filsfils, C., Drafz, U., Kompella, V., Regan, J., Amante, S., "*Flow-Aware Transport of Pseudowires over an MPLS Packet Switched Network*", RFC 6391, November 2011.
[2] Rosen, E., Tappan, D., Fedorkow, G., Rekhter, Y., Farinacci, D., Li, T., Conta, A., "*MPLS Label Stack Encoding*", RFC 3032, Januari 2001.
[3] Bryant, Ed., S., Pate, Ed., P., "*Pseudo Wire Emulation Edge-toEdge (PWE3) Architecture*", RFC 3985, Maret 2005.
[4] IEEE, "*IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Link Aggregation*", IEEE Std 802.1AX-2008, November 2008.
[5] Whalley, Mark dan Mohan, Dinesh. "*Metro Ethernet Networks – A Technical Overview*". Metro Ethernet Forum (MEF). 2003.
[6] IEEE, "*IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Link Aggregation*", IEEE Std 802.1AX-2014, December 2014.

[7] IEEE, "*Amandment to Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Spesification – Aggregation of Multiple Link Segments*", IEEE Std 802.3ad-2000, Juni 2000.
[8] Alcatel-Lucent, "*7750 SR OS – Interface Configuration Guide*". 7750 SR documentation, Juli 2012.
[9] Spirent Communications, 2007, "Spirent TestCenter™:SPT-2000A, SPT500A AND SPT-9000A CHASSIS",[pdf],( http://www.livingstonproducts.com/products/pdf/142602_1_en.pdf, diakses tanggal 7 November 2018)
[10] Santitoro, Ralph. "Metro Ethernet Service – A Technical Overview". Metro Ethernet Forum (MEF). 2003.
[11] Mehraban, Samiullah., Vora, Prof. Komil.B., dan Upadhyay, Prof. Darshan,. 2018. "Deploy Multi Protocol Label Switching (MPLS) using Virtual Routing and Forwarding (FRF)". Jurnal International Conference on trends in Electronics and Informatics (ICOEI2018). IEEE 2018.
[12] Rosen, E., Viswanathan, A., dan Callon, R.., "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC 3031, Januari 2001.
[13] Anderson, Ed., L., dan Rosen, Ed., E., "Framework for Layer 2 Virtual Private Networks (L2VPNs)", RFC 4664, September 2006.
[14] Shekhar Sharma, Shashi. 2018. "MPLS L2VPN Pseudowire", [online], (https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/multiprotocol-label-switchingmpls/mpls/213238-mpls-l2vpn-pseudowire.html#anc1, diakses tanggal 17 Januari 2019).
[15] Bashir Sofi, Umar., Kaur Gurm, Er. Rupinder,.2015. "Comparative Analysis of MPLS Layer 3vpn and MPLS Layer 2 VPN". International Journal of Computer Science Trends and Technology. 3(3):1-3.