



**RANCANGAN DAN ANALISIS LOAD BALANCING  
MENGUNAKAN LINK AGGREGATION CONTROL  
PROTOCOL (LACP) DENGAN MULTIPATH BGP  
PADA TOPOLOGI *CLOS* JARINGAN DATA *CENTER***

TESIS

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

MHD INDRA ISKANDAR

55420120021

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**JAKARTA**

**2023**



**RANCANGAN DAN ANALISIS LOAD BALANCING  
MENGUNAKAN LINK AGGREGATION CONTROL  
PROTOCOL (LACP) DENGAN MULTIPATH BGP  
PADA TOPOLOGI *CLOS* JARINGAN DATA *CENTER***

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Magister Teknik

**MHD INDRA ISKANDAR**

55420120021

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**JAKARTA**

**2023**

## ABSTRAK

Perkembangan kebutuhan pengolahan, penyimpanan, pertukaran data semakin meningkat dari tahun ke tahun dipenuhi oleh data center menyediakan jasa *cloud computing* dengan mengarahkan ke *network function virtualisation* (NFV). Namun penyebaran virtualisasi yang tidak merata pada setiap lemari server mengakibatkan tidak meratanya pembebanan pada setiap lintasan *egress router Leaf* pada topologi *Clos*. BGP yang secara *de-facto* memilih lintasan terbaik memiliki fitur *multipath* sehingga sanggup membagi trafik pada setiap lintasan yang tersedia yang memiliki cost yang sama menurut perhitungan *equal cost multipath* (ECMP). Namun ECMP gagal menyeimbangkan pembagian trafik pada setiap lintasan. Perbandingan yang diperoleh pada empat lintasan yang diamati adalah 57:29:14:0 jelas tidak seimbang dan bahkan ada lintasan yang tidak terpakai sama sekali. Penggantian lintasan hanya memperoleh pengurangan penggunaan *router Spine* namun *multipath* BGP belum mampu membagi beban secara seimbang. Penggunaan *link aggregation* (LAG) *control Protocol* (LACP) pada lintasan yang paralel membentuk sebuah lintasan logik yang memiliki kapasitas multiplikasi dari setiap lintasan fisik.

Penelitian ini menerapkan LACP pada *multipath* BGP. Setiap *router Leaf* memiliki dua lintasan ke setiap *router Spine*. Kedua lintasan itu diintegrasikan menggunakan LACP. Penyeimbangan beban (*load balancing*) menggunakan metode *per-flow load balancing* dimana pembagian trafik berdasarkan alamat IP sumber, alamat IP tujuan, *port* TCP sumber, dan *port* TCP tujuan. Metode ini diperbandingkan dengan *multipath* BGP yang membagi beban berdasarkan BGP *speaker*. Trafik generator mengirimkan paket data ke *router Leaf* dari dua sumber

alamat IP dan beberapa *port* TCP selama pengiriman. Paket data tersebut ditujukan ke empat belas alamat IP tujuan dengan enam *port* TCP setiap tujuan. Trafik yang diterima oleh router *Leaf* yang menjalankan *multipath* BGP membagi beban pada setiap LAG. Penyesuaian trafik pada setiap lintasan *egress router Leaf* menggunakan *protocol analyzer* disaring hanya berdasarkan sumber alamat IP untuk memudahkan deklarasi saring. Pengiriman ini dilakukan selama seratus dua puluh detik. Paket data disimpan dalam bentuk *comma separated value* (CSV) yang selanjutnya dipivotkan sehingga menghasilkan ringkasan berupa trafik, tabel, dan perhitungan perbandingan rasio setiap lintasan. Perbandingan rasio diperoleh dari beban yang diberikan pada setiap lintasan terhadap total beban pada seluruh lintasan dikali seratus persen.

Dari pengiriman selama seratus dua puluh detik adalah sebesar 1,539 GB masing-masing lintasan mendapatkan beban swp1 386,34 MB, swp2 440,35 MB, swp3 343,19 MB, dan swp4 368,88 MB, sehingga secara prosentase perbandingannya adalah 25,4:23,5:26,2:24,9. Perbedaan antar lintasan terbesar terjadi antara swp2 dan swp3 hanya 2,7 %. Hasil ini jauh lebih berimbang dibandingkan dengan *multipath* BGP dimana perbedaan maksimum dengan minimum sebesar 57%. Rancangan ini diusulkan diterapkan pada jaringan data *center*.

Kata kunci: *border gateway protocol, clos, load balance, link aggregation*

## ABSTRACT

*The development of the need for processing, storage, data exchange is increasing from year to year fulfilled by data centers providing cloud computing services by directing them to network function virtualization (NFV). However, the uneven distribution of virtualization in each server cabinet results in an uneven loading on each Leaf egress router path in the Clos topology. BGP which de-facto chooses the best path has a multipath feature so that it can divide traffic on each available path which has the same cost according to the calculation of equal cost multipath (ECMP). However, ECMP failed to balance the distribution of traffic on each path. The comparison obtained on the four observed paths is 57:29:14:0 which is clearly unbalanced and there are even tracks that are not used at all. Doubling the path only reduces the use of Spine routers, but multipath BGP has not been able to share the load in a balanced way. The use of link aggregation (LAG) control protocol (LACP) on parallel paths forms a logical path that has multiplication capacity of each physical path.*

*This study applies LACP to multipath BGP. Each Leaf router has two passes to each Spine router. The two paths were aggregated using LACP. Load balancing uses the per-flow load balancing method in which traffic distribution is based on source IP address, destination IP address, source TCP port, and destination TCP port. This method is compared to multipath BGP which divides the load based on the BGP speakers. The traffic generator sends data packets to the Leaf router from two source IP addresses and multiple TCP ports during transmission. The data packets are addressed to fourteen destination IP addresses with six TCP ports for each destination. The traffic received by the Leaf router running multipath BGP*

*shares the load on each LAG. Traffic intercepts for each Leaf egress router path using a protocol analyzer are filtered only based on the source IP address to facilitate filter declaration. This transmission is carried out for one hundred and twenty seconds. Data packets are stored in the form of comma separated value (CSV) which are then pivoted to produce a summary in the form of traffic, tables and ratio calculations for each path. The ratio ratio is obtained from the load given to each path to the total load on all paths multiplied by one hundred percent.*

*From sending for one hundred and twenty seconds, it is 1.539 GB, each track gets a load of swp1 386.34 MB, swp2 440.35 MB, swp3 343.19 MB, and swp4 368.88 MB, so the percentage comparison is 25,4:23,5:26,2:24,9. The biggest difference between trajectories occurs between swp2 and swp3, only 2,7%. This result is much more balanced than the multipath BGP where the difference between the maximum and minimum is 57%. This design is proposed to be applied to the data center network.*

*Keywords: border gateway protocol, clos, load balance, link aggregation*

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## HALAMAN PENGESAHAN TESIS

Judul : Rancangan Dan Analisis *Load Balancing Menggunakan Link Aggregation Control Protocol (LACP) Dengan Multipath BGP Pada Topologi Clos Jaringan Data Center*

Nama : Mhd Indra Iskandar

NIM : 55420120021

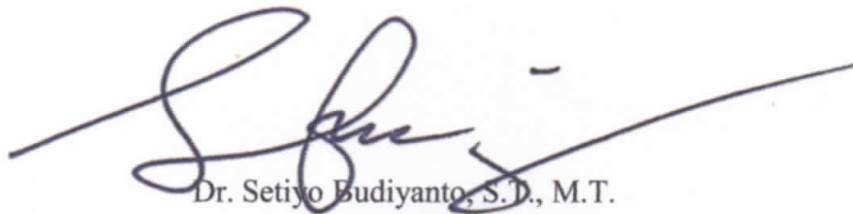
Program : Magister Teknik Elektro

Konsentrasi : Keamanan Jaringan

Tanggal : 28 Januari 2023

Mengesahkan

Pembimbing

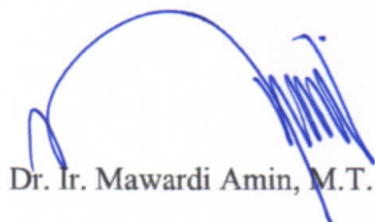


Dr. Setiyo Budiyanto, S.D., M.T.

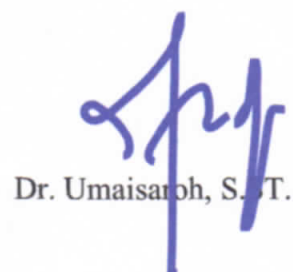
Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi

Magister Teknik Elektro



Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T.



Dr. Umairah, S.T.

## PERNYATAAN SIMILARITY CHECK

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh:

Nama : Mhd Indra Iskandar

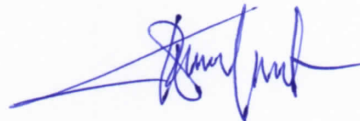
NIM : 55420120021

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Dengan Judul “Rancangan Dan Analisis Load Balancing Menggunakan Link Aggregation Control Protocol (LACP) Dengan Multipath BGP Pada Topologi Clos Jaringan Data Center” telah dilakukan pengecekan similiarity dengan sistem Turnitin pada tanggal 16/2 2023, dan didapatkan nilai presentase sebesar 5..%.

Jakarta, 16 Februari 2023

Administrator Turnitin



Miyono, S. Kom



## HALAMAN PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa semua pernyataan dalam tesis ini:

Judul : Rancangan Dan Analisis *Load Balancing Menggunakan Link Aggregation Control Protocol (LACP) Dengan Multipath BGP Pada Topologi Clos Jaringan Data Center*

Nama : Mhd Indra Iskandar

NIM : 55420120021

Program : Magister Teknik Elektro

Konsentrasi : Keamanan Jaringan

Tanggal : 28 Januari 2023

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian lapangan dan laboratorium, dan karya saya sendiri dengan bimbingan Dosen Pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.

Karya ilmiah ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, dan hasil pengolahannya yang digunakan, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

Jakarta, 14 Februari 2023



Mhd Indra Iskandar

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga penyusunan Tesis ini bisa diselesaikan sebagai syarat menyelesaikan pendidikan Magister Teknik Elektro pada Program Pascasarjana Universitas Mercu Buana. Dengan segala keterbatasan, penulis menyadari bahwa laporan tesis ini takkan terwujud tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak.

Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Mercu Buana, Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng.
2. atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan;
3. Bapak Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik memberikan kesempatan kepada penulis untuk menjadi mahasiswa Program Pasca Sarjana Universitas Mercu Buana;
4. Ibu Dr. Umairah, S.ST. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, yang memotivasi diselesaikannya penulisan tesis ini;
5. Bapak Dr. Setiyo Budiyan, S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing dengan kesabaran dan motivasinya membuat penyusunan tesis ini menjadi lebih baik diakhir studi penulis;
6. Ibu Ir. Yuslinda Nasution, Bapak Budi Setiawan, Bapak Manuel Paat Prodo sebagai Pembesar di PT Abhimata Citra Abadi yang telah memberi kesempatan penulis untuk menyelesaikan studi di saat waktu kerja;

7. Rekan-rekan engineer PT Abhimata Citra Abadi yang membantu penulis dalam melakukan pengukuran dan memberikan ide-ide pada penelitian ini;
8. Rekan-rekan mahasiswa MTE angkatan 28 yang selalu menghibur di saat kebuntuan penelitian.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak sekali kekurangan, dan penulis berharap ada yang bersedia menyanggahnya dengan penelitian lanjutan di kemudian hari.

Jakarta, 16 Februari 2023



Mhd Indra Iskandar



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

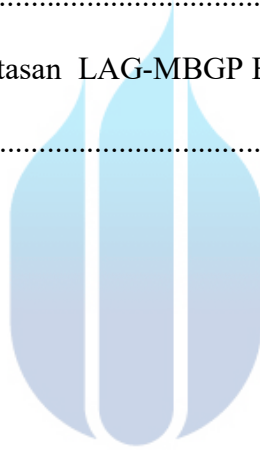
## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS .....	vii
PERNYATAAN SIMILARITY CHECK .....	viii
HALAMAN PERNYATAAN ORIGINALITAS .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR SINGKATAN .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	9
C. Batasan Masalah .....	9
D. Tujuan Penelitian .....	9
E. Manfaat Penelitian .....	10
F. Metode Penelitian .....	10
G. Sistematika Penulisan .....	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	13
A. Studi Literatur .....	13
1. Jurnal Referensi .....	13
2. Standar Internasional .....	20
B. TEORI DASAR .....	21
1. Network Function Virtualization Pada Data Center .....	21

1.1. Virtualisasi Menggunakan Emulasi .....	25
1.2. Perbedaan <i>Emulator</i> , <i>Hypervisor</i> , dan <i>Container</i> .....	26
2. Topologi Data Center .....	27
2.1. Tipikal Topologi Data Center .....	28
2.2. Aliran Lalu Lintas Data .....	29
2.3. <i>Oversubscription</i> Pada Topologi <i>Clos</i> .....	32
2.4. <i>Equal Cost Multi-Path</i> .....	34
3. <i>Link Aggregation (LAG)</i> .....	36
4. <i>Load Balance</i> .....	38
5. <i>Border Gateway Protocol</i> .....	43
5.1. <i>Autonomous System Number</i> .....	45
5.2. <i>Router ID</i> .....	46
5.3. <i>BGP Neighbor</i> .....	46
5.4. <i>BGP Peering</i> .....	47
5.5. <i>Address Family</i> .....	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	49
A. Metode Penelitian .....	49
1. Kerangka Berfikir .....	49
2. Diagram Alur Penelitian .....	50
3. Pemilihan Alat Penelitian .....	53
3.1. Pemilihan <i>Server Bare Metal</i> .....	53
3.2. Pemilihan <i>User Interface</i> .....	53
3.3. Pemilihan <i>Emulator</i> .....	54
3.4. Pemilihan Sistem Operasi Virtualisasi <i>Network</i> .....	54
3.5. Pemilihan Operating System Virtual Mesin .....	55

3.6. Pemilihan Teknologi <i>Load Balance</i> .....	55
B. Metode Aktifasi.....	56
1. Aktifasi Sistem Operasi Pada <i>Qemu</i> Menggunakan <i>Eve-ng</i> .....	56
2. Topologi Penelitian.....	58
2.1. Topologi Pengetesan Lintasan.....	58
2.3. Topologi Pengetesan <i>Routing Protocol</i> BGP.....	59
2.4. Topologi Pengetesan Layanan.....	61
C. Metode Pengukuran.....	63
BAB IV HASIL PENGUKURAN, DAN ANALISIS DATA.....	67
A. HASIL PERANCANGAN.....	67
1. Perancangan Topologi.....	67
2. Perancangan Identifikasi.....	70
B. Pengukuran.....	73
1. Pembebanan Berdasarkan Kapasitas Sama.....	73
2. Pembebanan Berdasarkan Kapasitas Berbeda.....	77
C. Analisis Data.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN 1.....	95
A. Pivot Tabel 5 <i>Tuple Multipath</i> BGP.....	95
1. Pivot Tabel 5 <i>Tuple Multipath</i> BGP Lintasan 1.....	95
2. Pivot Tabel 5 <i>Tuple Multipath</i> BGP Lintasan 2.....	100
3. Pivot Tabel 5 <i>Tuple Multipath</i> BGP Lintasan 3.....	103

B. Pivot Tabel Paket Lintasan <i>Multipath</i> BGP .....	105
LAMPIRAN 2.....	109
A. Pivot Tabel 5 <i>Tuple</i> LAG-MBGP Beban Kapasitas Sama 4 Mbps.....	109
1. Pivot Tabel 5 <i>Tuple</i> LAG-MBGP Lintasan 1 .....	109
2. Pivot Tabel 5 <i>Tuple</i> LAG-MBGP Lintasan 2 .....	112
3. Pivot Tabel 5 <i>Tuple</i> LAG-MBGP Lintasan 3 .....	114
4. Pivot Tabel 5 <i>Tuple</i> LAG-MBGP Lintasan 4 .....	116
B. Pivot Tabel Paket Lintasan LAG-MBGP Beban Kapasitas Sama 4 Mbps	118
LAMPIRAN 3.....	122
A. Pivot Tabel Paket Lintasan LAG-MBGP Beban Kapasitas Berbeda (6 Mbps, 4 Mbps, 2 Mbps) .....	122



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Permintaan penambahan kapasitas ingress L1 akan memaksa untuk menambah router Spine S3. ....	4
Gambar 1.2. Pembagian area teknologi virtualisasi yang disediakan untuk layanan VPN (Santana, 2019) .....	5
Gambar 1.3. Pembebanan yang tidak merata pada setiap Leaf disebabkan oleh proses automasi pembuatan virtualisasi.....	6
Gambar 1.4. Utilisasi lintasan multipath BGP menghasilkan ada lintasan yang beban tinggi dan lintasan yang tidak terpakai.....	7
Gambar 1.5. Penambahan lintasan antara Leaf dan Spine menjadi 4x40 Gbps menjadi lintasan paralel tanpa agregasi.....	8
Gambar 2.1. Transformasi dari fisik hardware menjadi virtual hardware menghasilkan efisiensi hardware mengingkat. ....	23
Gambar 2.2. Arsitektur virtualisasi dari fisik hardware sampai virtualisasi. ....	25
Gambar 2.3. Posisi Router pada Lemari Server. Router di atas lemari disebut ToR (Top of Rack) dan pada ujung ruangan disebut EoR (End of Rack). ....	28
Gambar 2.4. Topologi 3Tier menggunakan router Access, Aggregation, Core. ...	30
Gambar 2.5. Topologi Clos yang menghubungkan antar router Leaf dan Spine. Setiap Leaf terhubung dengan Spine. Semua akses dari pengguna harus melewati Leaf. ....	32
Gambar 2.6. Topologi link aggregation (LAG) menggabungkan beberapa lintasan fisik menjadi satu lintasan logik.....	36
Gambar 2.7. Pendistribusian aliran trafik masuk oleh load balancer ke beberapa lintasan yang tersedia. ....	40



Gambar 2.8. Topologi BGP yang membagi jaringan berdasarkan autonomous system number yang membawahi alamat IP pada setiap domain. ....	45
Gambar 3.1. Diagram alur penelitian. ....	51
Gambar 3.2. Topologi pengetesan lintasan dilakukan menggunakan ping IPV6 pada setiap lintasan. ....	58
Gambar 3.3. Topologi Pengetesan BGP untuk memastikan setiap router BGP yang bertetangga sudah terbentuk (established).....	60
Gambar 3. 4. Topologi Pengetesan Layanan. Virtual mesin pada masing-masing router Leaf bisa saling ping.....	62
Gambar 3.5. Topologi pengukuran menggunakan trafik genentor sebagai pengirim trafik dan protokol <i>analyzer</i> menangkap setiap stream yang melewati lintasan...	63
Gambar 4.1. Topolog penelitian hasil perancangan. Setiap lintasan paralel antara Leaf dan Spine menjalankan LACP. Setiap Leaf memiliki beban berupa virtual mesin dan jumlah yang berbeda-beda. ....	68
Gambar 4.2. Utilisasi lintasan egress L1 berdasarkan kapasitas dan durasi pengiriman trafik. ....	75
Gambar 4.3. Grafik Pembebanan Tiap Lintasan Egress L1 berdasarkan utilisasi. ....	79
Gambar 4.4. Tampilan Wireshark Untuk Multipath BGP yang menggunakan alamat IP router BGP sebagai sumber dan tujuan dan port TCP VxLAN sebagai port TCP tujuan. ....	79
Gambar 4.5. Aliran enkapsulasi paket yang diterima oleh L1 diubah menggunakan alamat IP router BGP dan port VxLAN.....	80
Gambar 4.6. Aliran paket menggunakan LACP. Router L1 membagi trafik berdasarkan alamat IP sumber dan tujuan dan port TCP sumber dan tujuan.....	83

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tampilan status interface LAG.....	38
Tabel 3.1. Spesifikasi server bare metal.....	53
Tabel 3.2. Status ping6 untuk memastikan lintasan sudah terhubung. ....	59
Tabel 4.1. Status Interface Bond. ....	69
Tabel 4.2. Identifikasi Router Leaf dan Spine. ....	70
Tabel 4.3. Status Neighboring BGP.....	71
Tabel 4.4. Identifikasi VM.....	71
Tabel 4.5. Verifikasi alamat MAC dan asosiasi dengan alamat IP VM pada router L1 .....	72
Tabel 4.6. Pembebanan Jaringan Berdasarkan Kapasitas Sama .....	73
Tabel 4.7. Distribusi Tujuan VM Pada Setiap Lintasan Egress L1. ....	74
Tabel 4.8. Jumlah Paket Melewati Lintasan Egress L1 Bersumber dari E11 dan E12. ....	75
Tabel 4.9. Perhitungan Pembagian Utilisasi Lintasan Egress L1. ....	77
Tabel 4.10. Pembebanan Jaringan Berdasarkan Kapasitas Berbeda.....	77
Tabel 4.11. Distribusi Tujuan VM Pada Setiap Lintasan Egress L1 .....	77
Tabel 4.12. Perhitungan Pembagian Utilisasi Lintasan Egress L1. ....	78
Tabel 4.13. Data Alamat MAC Pada Setiap Leaf.....	80
Tabel 4.14. Tabel MAC Address Pada Bridge VLAN.....	82

## DAFTAR SINGKATAN

MAC	<i>Media access control</i>
IP	<i>Internet protocol</i>
LACP	<i>Link aggregation control protocol</i>
BGP	<i>Border gateway protocol</i>
MBGP	<i>Multipath border gateway protocol</i>
NFV	<i>Network function virtualization</i>
ECMP	<i>Equal cost mutipath</i>
LAG	<i>Link aggregation</i>
RFC	<i>Request for command</i>
IETF	<i>Internet engineering task force</i>
PBB	<i>Provider bridge backbone</i>
VLAN	<i>Virtual Private LAN service</i>
VXLAN	<i>Virtual etensible local area network</i>
VPLS	<i>Virtual private LAN service</i>
ID	<i>Identification</i>
MPLS	<i>Multiprotocol label switch</i>
PWE3	<i>Pseudo wire emlation edge to edge</i>
VNI	<i>VxLAN network identifier</i>

SWP	<i>Switch port</i>
Capex	<i>Capital expenditure</i>
Opex	<i>Operational expenditure</i>
STP	<i>spanning-tree protocol</i>
PoD	<i>Point of delivery</i>
ISIS	<i>Intermediate System to Intermediate System</i>
RIFT	<i>Routing in fat tree</i>
LB	<i>Load balance</i>
TCP	<i>Transmission control protocol</i>
DCN	<i>Data center network</i>
DC	<i>Data center</i>
PFLBS	<i>Port-based forwarding load balancing scheduling</i>
PA	<i>Port address</i>
SDN	<i>Software defined network</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
VM	<i>virtual machine</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
WAN	<i>Wide area network</i>
CPU	<i>Central processing unit</i>
ToR	<i>Top of rack</i>



EoR	<i>End of Rack</i>
OSPF	<i>Open shortest path first</i>
ASN	<i>Autonomous system number</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>
RIP	<i>Routing information protocol</i>
EVPN	<i>Ethernet virtual private network</i>
SV	<i>Server virtualization</i>
UI	<i>User interface</i>
LTS	<i>Long term support</i>
TG	<i>Traffic generator</i>



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA