

***Equal Cost Multipath Routing Pada
Programmable Data Plane***

**Tugas Akhir
diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana
pada Program Studi S1 Informatika
Fakultas Informatika
Universitas Telkom**

1301204327

Irsyadi Habib



**Program Studi Sarjana S1 Informatika
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Bandung
2023**

Lembar Pengesahan

ECMP Pada Programmable Data Plane

ECMP On Programmable Data Plane

NIM :1301204327

Irsyadi Habib

tugas akhir ini telah diterima diajukan sebagai usulan pembuatan tugas akhir pada
Program Studi Sarjana S1 Informatika
Fakultas Informatika Universitas Telkom

Bandung, 23 Januari 2024

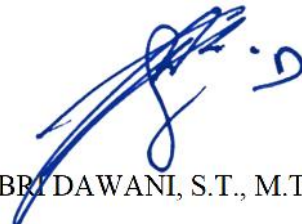
Menyetujui

Pembimbing 1



MUHAMMAD ARIEF
NUGROHO, S.T., M.T.
NIP :15850039

Pembimbing 2


< FEBRI DAWANI, S.T., M.T.,>
NIP: 20850005

Ketua Program Studi
Sarjana S1 Informatika,



Dr. Erwin Budi Setiawan, S.Si.,
M.T.
NIP: 00760045

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya, Irsyadi Habib, menyatakan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul *ECMP* pada *Programmable Data Plane* beserta dengan seluruh isinya adalah merupakan hasil karya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Saya siap menanggung resiko/sanksi yang diberikan jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam Laporan TA atau jika ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya

Bandung, 23 Januari 2024

Yang Menyatakan



Irsyadi Habib

Equal Cost Multipath Routing Pada Programmable Data Plane

Irsyadi Habib¹, Muhammad Arief Nugroho², Febri Dawani³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

⁴Divisi Digital Service PT Telekomunikasi Indonesia
irsyadihabib@students.telkomuniversity.ac.id,

²arif.nugroho@telkomuniversity.ac.id, ³febridawani@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak

Dalam meningkatkan kepadatan beban jaringan, performansi menjadi krusial bagi sistem yang memerlukan throughput tinggi dan sensitif terhadap delay. Penggunaan *Redundant Link* dalam topologi Spine-Leaf dapat mengatasi kegagalan jaringan, tetapi *Redundant Link* sebagai backup dianggap kurang efektif. Equal-cost multipath routing (*ECMP*) merupakan skema routing yang efektif untuk memanfaatkan potensi *Link*. Penerapan *ECMP* dengan *Programmable Data Plane (PDP)* mempermudah pembangunan skema routing, menyelesaikan masalah pada teknologi SDN, dan meningkatkan efisiensi pengiriman data. *PDP* memungkinkan pemrograman langsung pada Data Plane, menghilangkan pemisahan antara Controller dan Data Plane pada SDN, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi overhead penggunaan sumber daya jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jaringan dengan *ECMP* pada *PDP* memberikan selisih throughput 40.22 Mbps dibandingkan dengan static routing pada skenario 20 Mbps dan 11.21 Mbps dibandingkan dengan OSPF routing. Selain itu, jaringan *ECMP* juga memberikan packet loss, jitter, dan delay dalam kategori bagus.

Kata kunci: *Equal Cost Multipath Routing, Programmable Data Plane, Multipath routing programming*

Abstract

In improving network traffic density, performance is crucial for systems requiring high throughput and sensitivity to delay. The use of *Redundant Links* in a Spine-Leaf topology can address network failures, but considering them solely as backups is deemed less effective. Equal-cost multipath routing (*ECMP*) is an effective routing scheme for maximizing *Link* potential. Implementing *ECMP* with *Programmable Data Plane (PDP)* facilitates the development of routing schemes, resolves issues in SDN technology, and enhances data delivery efficiency. *PDP* allows direct programming on the Data Plane, eliminating the separation between Controller and Data Plane in SDN, improving efficiency, and reducing network resource usage overhead. Research results indicate that a network with *ECMP* on *PDP* provides a throughput difference of 40.22 Mbps compared to static routing in a 20 Mbps scenario and 11.21 Mbps compared to OSPF routing. Furthermore, the *ECMP* network also exhibits good performance in terms of packet loss, jitter, and delay.

Keywords: *Equal Cost Multipath Routing, Programmable Data Plane, Multipath routing programming*
lower-case, except abbreviation. Keyword should be no more than 6 words

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Peningkatan efisiensi jaringan menjadi fokus utama dalam era teknologi jaringan modern, di mana pertumbuhan perangkat yang terhubung ke internet memunculkan kebutuhan akan akses jaringan yang cepat dan handal[1]. Kendati demikian, peningkatan lalu lintas dan kompleksitas jaringan dapat menyebabkan kemacetan, menghambat pengiriman data. Oleh karena itu, diperlukan solusi baru untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya jaringan dan meningkatkan kecepatan pengiriman data.

Multipath routing telah diakui sebagai metode yang dapat meningkatkan efisiensi jaringan dengan mengirimkan data melalui beberapa jalur yang tersedia, mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya[1]. Meskipun efektif, masih terdapat tantangan yang perlu diatasi. *Programmable Data Plane* merupakan paradigma jaringan komputer yang memiliki kemampuan untuk mengubah atau memprogram suatu perangkat jaringan sehingga bisa disesuaikan dengan jaringan yang ada.

Dalam konteks ini, penelitian ini mengusulkan penerapan teknologi *Programmable Data Plane (PDP)* pada Multipath routing berbasis Equal Cost Multipath (*ECMP*). *PDP* memberikan fleksibilitas dan kecepatan tinggi dalam pengaturan jalur-jalur jaringan, berpotensi untuk meningkatkan efisiensi secara signifikan[9]. Dengan mengintegrasikan *ECMP* pada *PDP*, pemilihan jalur dapat dilakukan langsung pada perangkat keras jaringan,

mengurangi kemungkinan kongesti pada jaringan, dan meningkatkan efisiensi pengiriman data.

Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk mendukung performansi yang dibutuhkan jaringan kompleks adalah dengan menerapkan topologi Spine-Leaf. Topologi ini menawarkan *Redundant Link* sebagai fail-over mechanism, yang dapat secara signifikan mendukung penerapan metode *ECMP*.

Melalui penerapan teknologi ini, diharapkan efisiensi pengiriman data secara keseluruhan dapat meningkat tanpa menambah dampak negatif pada jaringan seperti loss data. Diharapkan bahwa pemilihan jalur jaringan dapat menjadi lebih cepat dan efisien, mengurangi risiko kemacetan pada jalur tunggal, serta meningkatkan efisiensi pengiriman data secara keseluruhan.

1.2. Topik dan Batasannya

Penelitian ini akan berfokus pada 3 hal. Pertama, bagaimana mengimplementasikan *Equal Cost Multipath Routing* pada *Programmable Data Plane* secara virtual, kedua, bagaimana performa *Equal Cost Multipath Routing* pada *Programmable Data Plane*, dan yang ketiga apakah performa jaringan yang diterapkan *Equal Cost Multipath Routing* dapat melebihi beberapa contoh jaringan konvensional ?

1.3. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini terbagi 4, yaitu pertama, menerapkan *Equal Cost Multipath (ECMP)* pada teknologi *Programmable Data Plane (PDP)* untuk meningkatkan efisiensi pemilihan jalur jaringan dan mempercepat pengiriman data. kedua, mengoptimalkan penggunaan sumber daya jaringan dengan mengimplementasikan *ECMP* pada *PDP*, sehingga menghindari kemacetan jaringan dan meminimalkan terjadinya Kongesti dan bottleneck pada jaringan. ketiga, meningkatkan kecepatan pengiriman data dengan melakukan pemrosesan dan pengaturan paket data secara terdistribusi pada perangkat keras jaringan melalui *PDP*, sehingga memaksimalkan efisiensi penggunaan sumber daya jaringan secara keseluruhan. keempat, Mengatasi kendala dan kekurangan yang terkait dengan metode *Multipath routing* di SDN, seperti ketergantungan pada controller sentral dan protokol terdefinisi, untuk mencapai pengiriman data yang lebih efisien dan cepat

1.4. Organisasi Tulisan

Penelitian ini terbagi menjadi lima bagian utama, yakni pendahuluan, studi terkait, sistem yang dibangun, evaluasi dan kesimpulan. pendahuluan mencakup latar belakang, topik dan batasannya, serta tujuan penelitian. lalu bagian studi terkait, terdapat analisis terhadap penelitian terkait dan landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini. lalu Bagian sistem yang dibangun menjelaskan implementasi metode yang diterapkan dalam penelitian, lalu bagian evaluasi merupakan hasil implementasi dari *Equal Cost Multipath Routing* pada *Programmable Data Plane*. dan terakhir pada bagian kesimpulan berisikan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya

2. Studi Terkait

2.1. Penelitian terkait

Telah dilakukan beberapa penelitian terkait *Equal Cost Multipath Routing*. Pada paper dengan judul "Research on *Programmable Data Plane* Load Balancing based on Multipath Selection" dimana Paper ini membahas keterbatasan peralatan switching pada jaringan tradisional, yang seringkali melibatkan kerangka waktu yang panjang dan biaya pengembangan yang tinggi untuk melakukan upgrade. Paper ini memperkenalkan skema berbasis pemilihan multipath pada load balancing dari data plane yang dapat diprogram menggunakan bahasa P4. Pendekatan ini memungkinkan penulisan langsung dari program multipath kontrol aliran data plane, mencapai alokasi jalur yang efisien dan penjadwalan balancing beban lalu lintas. Skema yang diusulkan bertujuan untuk mengatasi pembatasan fungsi tetap dari mode tradisional, menyediakan data plane yang dapat diprogram untuk meningkatkan kinerja jaringan secara keseluruhan. Dengan menggunakan bahasa pemrograman P4, proses pemrosesan aliran data dirancang agar dapat ditingkatkan, memungkinkan alokasi lalu lintas dan balancing beban yang efektif. Paper ini menekankan fleksibilitas dan skalabilitas pendekatan ini, memungkinkan operator jaringan untuk memodifikasi program sesuai kebutuhan tanpa terikat pada format protokol tertentu, membuat penyaluran data plane menjadi lebih fleksibel dan dapat ditingkatkan. Hasil simulasi NS2 menunjukkan kemampuan skema pemilihan multipath yang ditingkatkan untuk mengurangi end-to-end delay, mengurangi tingkat kehilangan paket, dan meningkatkan throughput dibandingkan dengan pendekatan tradisional menggunakan multipath setara. Motivasi di balik penelitian ini adalah meningkatnya permintaan untuk jaringan komputer yang lebih besar, aman, dan handal, yang didorong oleh peningkatan layanan dan transmisi data dalam jaringan akibat berkembangnya teknologi seperti cloud computing, "Internet +," dan Internet of Things yang mobile. Paper ini menyoroti tantangan yang dihadapi oleh Software Defined Network (SDN) dalam menangani peningkatan jumlah node jaringan dan aliran lalu lintas baru, yang membatasi kemampuan pemrosesan dan efektivitas

balancing beban. Data plane yang dapat diprogram dengan pemilihan multipath yang diusulkan bertujuan untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan kinerja jaringan[3]

Pada paper dengan judul “A Weighted *ECMP* Load Balancing Scheme for Data Centers Using P4 Switches” dimana Paper ini mengusulkan skema Weighted Equal-cost multipath (*W-ECMP*) dalam pusat data menggunakan *Programmable Data Plane* untuk mengatasi tantangan kinerja dan efisiensi pada jaringan pusat data. Dibandingkan dengan Equal-cost multi-path (*ECMP*) yang biasa digunakan, *W-ECMP* memilih jalur dengan probabilitas tertimbang untuk menghindari kemacetan jalur dengan cepat. Dengan memanfaatkan P4 untuk memprogram dataplane, *W-ECMP* menyematkan informasi kemacetan jalur ke dalam lalu lintas normal, meningkatkan kecepatan pembaruan status seiring peningkatan beban jaringan. Dalam eksperimen, *W-ECMP* menunjukkan performa yang lebih baik dalam waktu rata-rata penyelesaian aliran (FCT) dibandingkan dengan HULA[8].

2.2. Multipath Routing

Multipath routing merupakan metode yang lebih efisien daripada routing dengan satu jalur. Pada Multipath routing, akan digunakan beberapa jalur yang dikonfigurasi antara dua titik dalam jaringan, dan kemudian paket-paket data dibagi ke jalur-jalur tersebut menggunakan teknik seperti label switching atau flow-based hashing[2][5]. Pada jaringan yang terhubung, Multipath dapat membantu dalam membagi beban secara merata, memaksimalkan penggunaan kapasitas jaringan, dan mengurangi kemacetan.

Multipath routing memiliki beberapa Keuntungan untuk suatu jaringan[3], seperti :

- J Keseimbangan Beban: Multipath routing memungkinkan pembagian lalu lintas ke jalur-jalur yang berbeda, sehingga dapat mencapai keseimbangan beban yang lebih baik di dalam jaringan. Hal ini membantu menghindari terjadinya overload pada jalur tunggal dan memaksimalkan penggunaan sumber daya jaringan.
- J Peningkatan Ketersediaan: Dengan menggunakan beberapa jalur, Multipath routing dapat meningkatkan ketersediaan jaringan. Jika terjadi gangguan pada satu jalur, lalu lintas dapat dialihkan ke jalur lain secara otomatis, menjaga kelancaran komunikasi.
- J Peningkatan Kecepatan Pengiriman: Dengan memanfaatkan jalur-jalur yang berbeda, Multipath routing dapat meningkatkan kecepatan pengiriman data. Dalam beberapa kasus, data dapat dikirim secara paralel melalui jalur-jalur yang tersedia, mempercepat waktu pengiriman

2.3. Programmable Data Plane

Programmable Data Plane ialah Suatu kemampuan untuk mengatur dan mengubah pemrosesan paket pada tingkat data plane didalam jaringan komputer, dimana Data plane disini ialah komponen jaringan yang bertanggung jawab untuk mengirimkan dan meneruskan paket data antara perangkat jaringan, seperti switch dan router[9].

Berdasarkan penelitian [9]. Menjelaskan keuntungan utama dari *Programmable Data Plane (PDP)* adalah kemampuan untuk melakukan tindakan yang memungkinkan suatu paket yang melewati jaringan menjadi lebih banyak dikarenakan kita sendiri yang mengkonfigurasinya sehingga memaksimalkan kerja suatu perangkat keras jaringan. *PDP* juga memungkinkan konfigurasi jaringan secara dinamis dan menghilangkan ketergantungan pada vendor perangkat keras jaringan tertentu. Kelemahan *PDP* meliputi kebutuhan untuk pengembangan perangkat lunak khusus dan peningkatan biaya yang cukup besar untuk pembuatan, pengembangan dan juga perawatan jaringan.

2.4. Perbandingan Programmable Data Plane dan Jaringan Konvensional

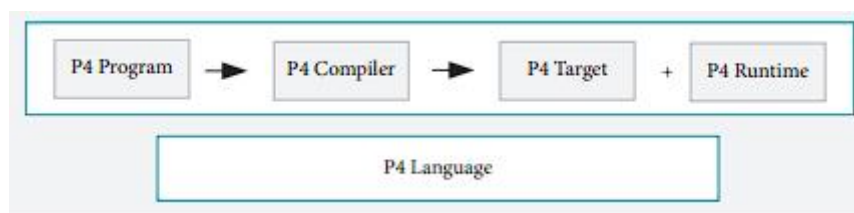
Jaringan konvensional dan *Programmable Data Plane* menunjukkan perbedaan mendasar dalam struktur dan pengaturan jaringan. Pada jaringan konvensional, terdapat keterbatasan dalam desain yang kaku dan penggunaan perangkat keras yang ditujukan untuk tujuan tertentu, menyebabkan kurangnya fleksibilitas. Perubahan fungsi umumnya memerlukan penggantian perangkat keras, yang dapat menimbulkan kerumitan dan biaya ekstra. Sebaliknya, konsep *Programmable Data Plane* memungkinkan tingkat fleksibilitas yang lebih tinggi dengan adanya perangkat keras yang bisa diprogram menggunakan bahasa seperti P4. Tingkat fleksibilitas ini memungkinkan konfigurasi yang dinamis, responsif terhadap perubahan, serta kemampuan untuk menyesuaikan perilaku jaringan tanpa perlu mengganti perangkat keras fisik. Dengan paradigma ini, inovasi dalam jaringan dapat dicapai melalui perubahan perangkat lunak, memungkinkan adaptasi yang lebih cepat dan tanggap terhadap perubahan kebutuhan dan perkembangan teknologi. Kelebihan ini memberikan tingkat kemampuan yang tinggi dalam pengelolaan dan optimalisasi penggunaan sumber daya jaringan.

Kriteria	ECMP	Routing Dinamis(OSPF)	Routing Statis
Penggunaan	Biasanya digunakan dalam jaringan besar untuk membagi beban lalu lintas secara merata.	Digunakan di jaringan besar dan kompleks.	Cocok untuk jaringan kecil atau pengaturan sederhana.
Keputusan Routing	Menggunakan multiple paths dengan cost yang sama.	Memilih jalur terpendek berdasarkan metric OSPF (biasanya biaya <i>Link</i>).	Jalur ditentukan dan dikonfigurasi manual oleh administrator.
Penyesuaian terhadap jaringan	Dinamis, dapat menyesuaikan dengan perubahan kondisi jaringan.	Dinamis, OSPF akan menyesuaikan topologi secara otomatis.	Statis, tidak berubah kecuali diubah oleh administrator.
Konvergensi	Cepat dalam menanggapi perubahan karena memiliki beberapa jalur.	Biasanya cepat, tetapi tergantung pada topologi dan ukuran jaringan.	Bergantung pada keputusan administrator, bisa cepat atau lambat tergantung pada pembaruan manual.
Skalabilitas	Skalabilitas baik karena memungkinkan penggunaan banyak jalur.	Baik untuk jaringan besar dan kompleks.	Tergantung pada jumlah rute statis yang dikonfigurasi; kurang skalabel untuk jaringan besar.
Redundansi	Meningkatkan redundansi dengan menggunakan jalur alternatif.	Menyediakan redundansi dan pemulihan otomatis dengan konvergensi cepat.	Bergantung pada konfigurasi manual untuk menciptakan redundansi.
Keamanan	Memerlukan perhatian khusus terhadap keamanan karena menggunakan banyak jalur.	Menyediakan beberapa mekanisme keamanan, tetapi memerlukan konfigurasi yang tepat.	Tergantung pada implementasi keamanan jaringan secara keseluruhan.

Table 1 Perbandingan *Programmable Data Plane* dan Jaringan Konvensional

2.5. P4

P4 (Programming Protocol-Independent Packet Processors) adalah bahasa pemrograman dan kerangka kerja yang digunakan untuk mendefinisikan perilaku lapisan data dalam perangkat jaringan. Program ini memungkinkan pengguna untuk menentukan bagaimana paket diproses dan diteruskan berdasarkan arsitektur yang spesifik[6],[9].



Gambar 1 Konsep Programmable Data Plane

Pada Gambar 1 terdapat P4 program dimana, P4 program terdiri dari beberapa komponen dasar, seperti :

- ⌋ Header: Mendefinisikan format header paket.
- ⌋ Parser: Menentukan bagaimana header paket diparsing menggunakan mesin keadaan terbatas.
- ⌋ Tabel: Menentukan bidang pencocokan dan tindakan yang sesuai untuk pemrosesan paket.
- ⌋ Tindakan: Menentukan kumpulan instruksi untuk operasi seperti pencarian tabel dan eksekusi.
- ⌋ Flow control : Menentukan alur pemrosesan paket data.

P4 Compiler berfungsi untuk mengubah program P4 menjadi berkas konfigurasi. Compiler ini melibatkan dua langkah utama: mengubah program menjadi representasi intermediate (IR) yang independen dari target, dan memetakan IR ke target yang spesifik. Compiler juga menghasilkan metadata pemetaan waktu proses untuk komunikasi antara lapisan pengendali dan lapisan data, serta berkas eksekusi untuk lapisan data target.

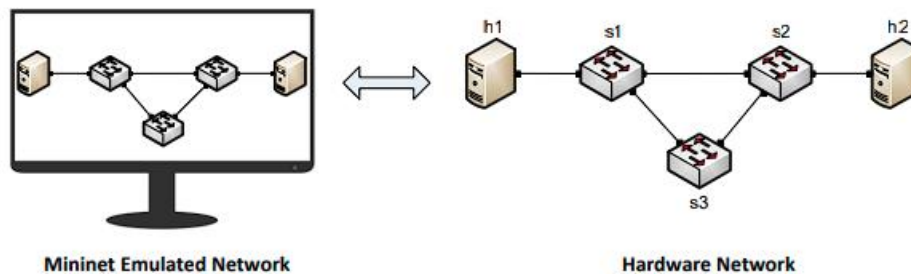
P4 Target adalah simpul yang dapat diprogram yang bisa berupa perangkat berbasis perangkat lunak (berjalan di CPU) atau perangkat keras (FPGA, ASIC). Mereka memiliki pipa pemrosesan paket yang spesifik untuk arsitektur target tersebut. Produsen target P4 menyediakan berbagai arsitektur yang disesuaikan dengan perangkat mereka.

P4 Runtime adalah antarmuka pemrograman aplikasi (API) yang menghubungkan lapisan pengendali dan lapisan data. API ini melindungi detail perangkat keras lapisan data dan memungkinkan aplikasi lapisan pengendali berinteraksi dengan perangkat berbasis target P4 yang berbeda menggunakan API yang sama.

2.6. Mininet

Mininet adalah sebuah emulator pada jaringan yang memungkinkan untuk mensimulasikan suatu perangkat jaringan seperti switch, router, dll dalam suatu kernel Linux[7]. Mininet tergolong ringan sehingga bisa dijalankan pada laptop dan juga bersifat open source sehingga mininet bisa dikembangkan oleh siapapun. Adapun karakteristik dari mininet[4], ialah :

1. Flexible
2. Deployable
3. Interactive
4. Scalable
5. Realistic
6. Share-able



Gambar 2 Mininet

Pada gambar 2 diatas dapat dilihat dengan menggunakan mininet, pembuatan jaringan bisa dilakukan secara virtualisasi yang hanya memerlukan 1 perangkat untuk menjalankan simulasi jaringan, sehingga dapat meringankan biaya untuk tugas akhir.

2.7. Algoritma Hashing

Pada algoritma hashing, umumnya digunakan beberapa atribut paket (biasanya dikenal sebagai 5-tuple) sebagai input untuk fungsi hash. Atribut-atribut tersebut dapat mencakup alamat sumber, alamat tujuan, port sumber, port tujuan, dan protocol[5]. Hasil dari fungsi hash akan digunakan untuk memilih jalur dari kelompok *ECMP* yang akan digunakan untuk mengirimkan paket.

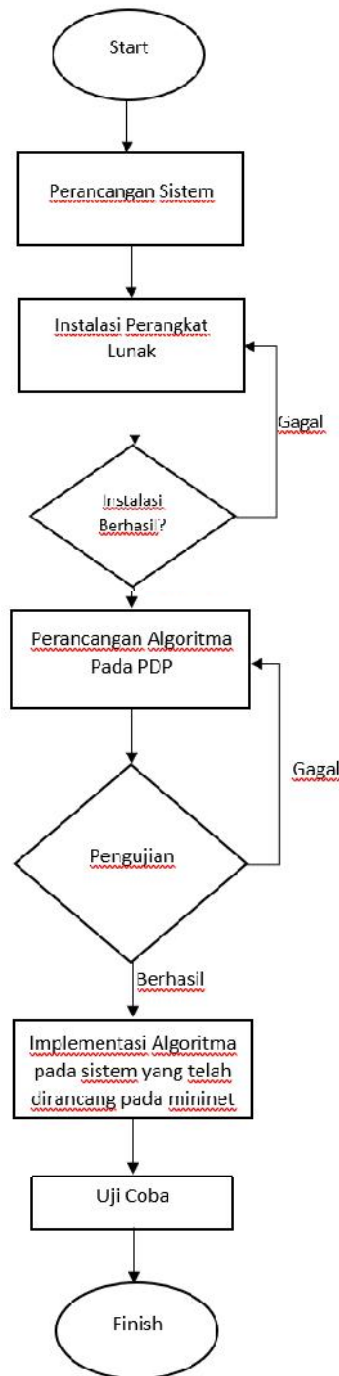
3. Sistem yang Dibangun

3.1. Perancangan Sistem

Dalam rangka melengkapi tugas akhir, Perancangan sistem *ECMP* on P4 dengan langkah-langkah yang terinci. Pertama-tama, akan dilakukan analisis menyeluruh terhadap persyaratan sistem *ECMP* yang harus dipenuhi. Analisis ini melibatkan penentuan kebutuhan kinerja, throughput, latency, dan skala jaringan yang akan dihadapi oleh sistem yang dirancang. Berdasarkan analisis ini, akan dikembangkan rancangan arsitektur yang komprehensif untuk sistem. Rancangan tersebut mencakup elemen-elemen utama seperti switch P4,

protokol routing, dan interkoneksi dengan host dan jaringan lainnya.

Sistem operasi yang akan digunakan untuk mendukung proses perancangan sistem ialah Windows 10. Dimana akan diinstall Virtual box untuk menginstall simulasi jaringan yang akan dipakai yaitu mininet pada os ubuntu.



Gambar 3 Flowchart Sistem secara umum

Secara umum, gambaran sistem dimulai dengan perancangan sistem yang telah ditentukan sebelumnya, Lalu dilanjut dengan perancangan topologi yang telah ditentukan sebelumnya setelah berhasil dilanjut dengan perancangan algoritma *ECMP* pada P4 dan akan dilakukan uji coba apakah algoritma tersebut berjalan dengan baik atau tidak, setelah tidak ada error maka akan dilakukan pembuatan topologi dan pengujian pada mininet sesuai yang telah dibuat pada laporan sebelumnya.

3.2. Kebutuhan Perangkat Keras dan Lunak

Adapun Perangkat Keras yang digunakan untuk Implementasi penelitian pada tugas akhir ialah

Processor	AMD Ryzen 5 5600G
Graphic Card	AMD Radeon(TM)Graphics
RAM	16 GB(DDR 4)
Hard Drive	SSD : 240 GB
	HDD: 1TB

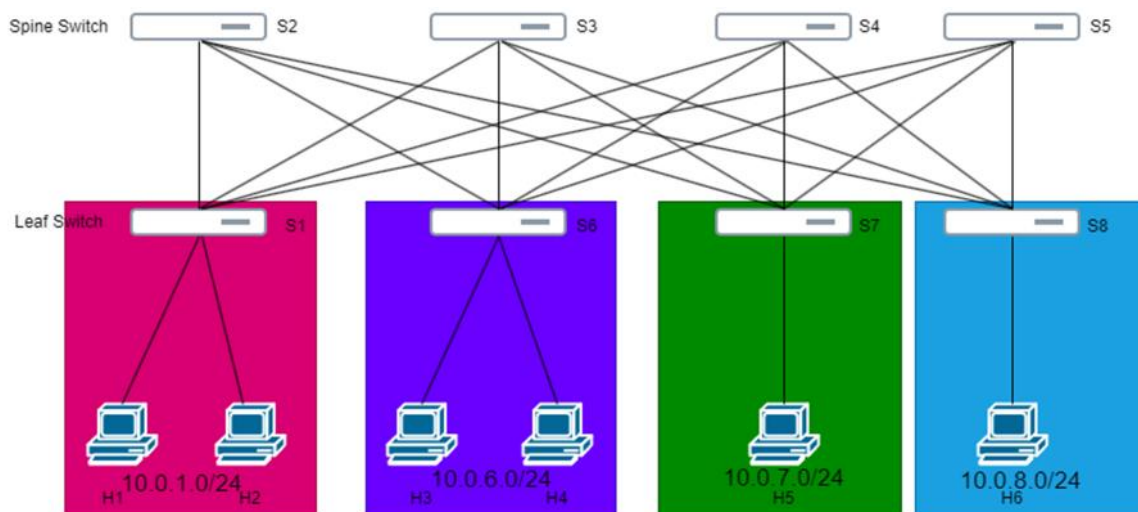
Table 2 Perangkat keras

Adapun kebutuhan Perangkat lunak yang akan digunakan pada penelitian ini[5],[6],[8],[9] ialah:

-) Windows 10
-) Mininet
-) Iperf
-) Virtual Box

3.3. Topologi Jaringan

Topologi Jaringan akan diimplementasikan pada *Linkungan* virtual menggunakan aplikasi Virtual Box. Berikut merupakan gambaran dari topologi yang digunakan pada penelitian tugas akhir.



Gambar 4 Topologi Jaringan

Gambar 5 menunjukkan implementasi nya akan di gunakan 8 switch yang terdiri atas spine dan leaf, switch spine ialah switch 2,3,4 dan 5. Sedangkan sisanya adalah leaf yang akan terhubung ke h1,h2,h3,h4, h5 dan h6. Berikut merupakan spesifikasi yang digunakan pada topologi :

-) 6 Host
-) 4 Leaf Switch
-) 4 Spine Switch
-) Parameter bandwidth 100MB untuk setiap *Link*

Topologi ini dibangun dengan Bahasa pemrograman python dan dijalankan menggunakan aplikasi mininet yang berada pada lingkungan virtual. IP dan MAC host pada jaringan sudah ditentukan untuk menghindari proses inisialisasi mapping ARP, table 3.2 berikut menjabarkan konfigurasi host yang akan digunakan pada tugas akhir :

Host	IP Address	MAC Adress
H1	10.0.1.1/24	00:00:0a:00:01:01
H2	10.0.1.2/24	00:00:0a:00:01:02
H3	10.0.6.3/24	00:00:0a:00:06:03
H4	10.0.6.4/24	00:00:0a:00:06:04
H5	10.0.7.5/24	00:00:0a:00:07:05
H6	10.0.8.6/24	00:00:0a:00:08:06

Table 3 Konfigurasi Host

3.4. L3 Switching

L3 forwarding switch atau juga dikenal sebagai multilayer switch, adalah perangkat jaringan yang beroperasi pada OSI layer 3 (network layer). Switch ini dapat membuat keputusan routing berdasarkan alamat IP tujuan

dari sebuah paket[12]. Berbeda dengan L2 switch tradisional yang hanya membuat keputusan switching berdasarkan alamat MAC tujuan.

Fitur	Layer 2	Layer 3
Layer operasi	Data Link	Network
Kemampuan routing	Tidak	Ya
Penerusan paket	Berdasarkan alamat MAC	Berdasarkan Alamat IP
Segmentasi Jaringan	1 subnet jaringan	1 atau lebih subnet Jaringan
Skala Jaringan	Sederhana	Lebih besar dibanding Layer 2
Kompleksitas Konfigurasi	Lebih sederhana	Lebih Kompleks

Table 4 L3 vs L2

Table 8 menunjukkan perbandingan dan perbedaan antara penggunaan L3 dan L2 pada perangkat switch jaringan. Pada implementasi Tugas akhir ini akan digunakan L3 forwarding switch, dimana paket akan dikirim oleh switch spine yang akan membuat keputusan routing berdasarkan alamat IP tujuan dari sebuah paket.

4. Evaluasi

Bagian ini berisi dua sub-bagian, yaitu Hasil Pengujian dan Analisis Hasil Pengujian. Pengujian dan analisis yang dilakukan selaras dengan tujuan TA sebagaimana dinyatakan dalam Pendahuluan.

4.1 Rancangan Pengujian

Tujuan dilakukannya pengujian pada penelitian ini adalah untuk mengetahui skema load balancing *Equal Cost Multipath Routing* yang dibuat pada topologi yang telah ditentukan berbasis P4. Pengujian mencakup pengukuran performansi terhadap sistem, pengukuran performansi pemilihan jalur, dan pengukuran performansi yang diberikan terhadap jaringan. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan hasil pengujian jaringan yang sama menggunakan Jaringan konvensional yaitu routing static pada beberapa skenario yang telah ditentukan.

4.1.1 Pengujian Konektivitas

Pengujian menggunakan P4 dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwasanya program p4 dapat berjalan dengan baik di mininet nya. Menggunakan skema *ECMP* yang merupakan metode pembagian jaringan dengan cara memilih rute jaringan yang terpendek dan bisa saling mengebackup rute lainnya jika terjadi failure pada rute lain.

Pengujian ini memiliki 2 sub pengujian, dimana pengujian pertama dilakukan dengan cara mengirimkan paket ICMP dari host 1 ke host lainnya menggunakan perintah ping. Pengujian pertama ini memiliki tujuan agar kita bisa membuktikan bahwasanya Program dapat mengirimkan paket dari 1 host ke host lainnya. Pengujian kedua bertujuan untuk melihat apakah multipath routing pada jalur dapat mengirimkan paket TCP dengan beberapa pengkondisian yang akan dilakukan nanti. Selama pengiriman paket akan dipantau dengan TCPdump. Proses pemantauan akan dilihat berdasarkan switch nya.

Host Pengirim	Host Penerima
H1	H2
H1	H3
H1	H4
H1	H5
H1	H6
H2	H3
H2	H4
H2	H5
H2	H6
H3	H4

H3	H5
H3	H6
H4	H5
H4	H6
H5	H6

Table 5 Table pengujian konektivitas

4.1.1 Pengujian *Link Failure*

Pengujian *Link failure* dilakukan untuk mengetahui kemampuan *ECMP* dalam menyesuaikan jika terjadi perubahan pada jaringan. perubahan yang dimaksud disini ialah ketika salah satu *Link* dari rute digunakan terputus, sehingga dibutuhkan rute lain untuk mencapai target pengiriman paket dalam jaringan.

Pengujian *Link failure* dilakukan sama seperti sebelumnya dengan cara melakukan ping 2 kali, yang pertama akan dilakukan dengan mehidupkan semua router, lalu akan dicoba memutuskan 3 rute, sehingga hanya akan ada 1 rute untuk mencapai host penerima dan akan dicoba untuk memutuskan 1 rute tersebut lalu menghidupkan salah satu rute lainnya. Berikut Host yang digunakan dalam pengujian *Link failure* menggunakan fitur Ping untuk mengirimkan paket ICMP

Host Pengirim	Host Penerima
H1	H3

Table 6 Table pengujian *Link failure*

4.1.1 Pengujian Jitter dan Loss

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari sistem untuk mengirimkan paket. Akan dilakukan tes dengan mengirimkan paket UDP menggunakan Iperf. pertama akan dilakukan dengan topologi awal untuk melihat seberapa besar throughput, jitter dan lossnya lalu membandingkannya dengan Jaringan konvensional yaitu routing static.

Untuk pengujian akan dilakukan dalam 3 kecepatan, yaitu :

- 1 Mb selama 5 detik
- 10 Mb selama 5 detik
- 50 Mb selama 5 detik

Berikut table Host yang akan digunakan sebagai traffic generator.

Host Pengirim	Host Penerima
H1	H3

Table 7 Table pengujian jitter dan loss

Pengujian akan dilakukan menggunakan skema *ECMP* pada P4 dan Routing static sebanyak 10 kali per skenario per host yang kemudian akan diambil nilai rata-rata dari pengujian tersebut sebagai hasil kesimpulannya.

4.1.1 Pengujian Throughput dan Pengiriman Data

Pengujian throughput dan pengiriman data akan dilakukan dengan cara mengirimkan paket TCP sebesar 100MB, 500MB dan 1000MB pada host yang telah ditentukan. Kemudian data yang akan diambil ialah total waktu pengiriman dan rata - rata throughput ketika pengiriman paket selesai. Pengujian ini akan dilakukan pada skema *ECMP* pada P4 dan Routing Static menggunakan 3 parameter traffic yang berbeda. Berikut merupakan parameter traffic yang digunakan.

1. Tanpa background traffic.
2. Dengan background traffic sebesar 20Mbps
3. Dengan background traffic sebesar 30Mbps

Host yang digunakan sebagai traffic generator dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

Host Pengirim	Host Penerima
H1	H3

Table 8 Table pengujian throughput

4.1.1 Pengujian Delay

Pengujian delay akan dilakukan sebanyak 10 kali dengan cara mengirimkan paket ICMP dari host 1 ke host 3 dan akan diambil seberapa besar delay yang dibutuhkan agar paket ICMP dari host 1 menuju host 3.

Host yang digunakan sebagai traffic generator dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

Host Pengirim	Host Penerima
H1	H3

Table 9 Table pengujian delay

4.2 Hasil Pengujian dan Analisa

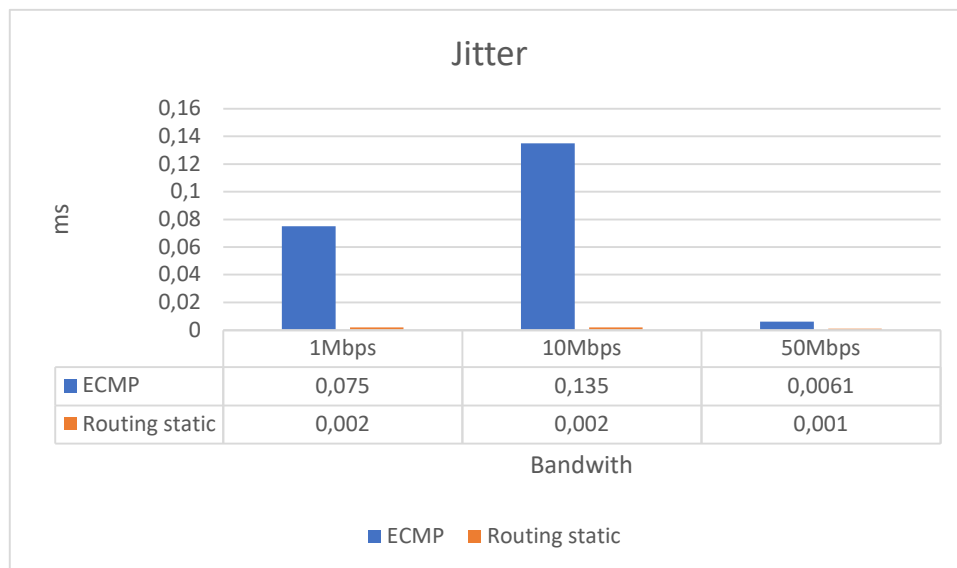
4.2.1 Hasil Pengujian Delay

Pengujian ke-n	Result (ms)
Pengujian ke – 1	2,10
Pengujian ke – 2	1,78
Pengujian ke – 3	1,76
Pengujian ke – 4	1,82
Pengujian ke – 5	2,12
Pengujian ke – 6	2,19
Pengujian ke – 7	1,82
Pengujian ke – 8	1,82
Pengujian ke – 9	1,92
Pengujian ke – 10	1,79

Table 10 Table hasil pengujian delay

Table 10 menunjukkan delay yang terjadi ketika melakukan pengujian dengan cara mengirimkan paket berupa ICMP dari host 1 ke host 3. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dan didapatkan data seperti table 4.6 yang memiliki rata rata sebesar 1,912 ms. Menurut aturan standard Delay suatu jaringan yang memiliki rata rata sebesar 1,912 ms atau lebih kecil dari 150ms maka jaringan tersebut dikatakan memiliki performa delay yang sangat bagus.

4.2.1 Hasil Pengujian Jitter



Grafik 1 Hasil Jitter

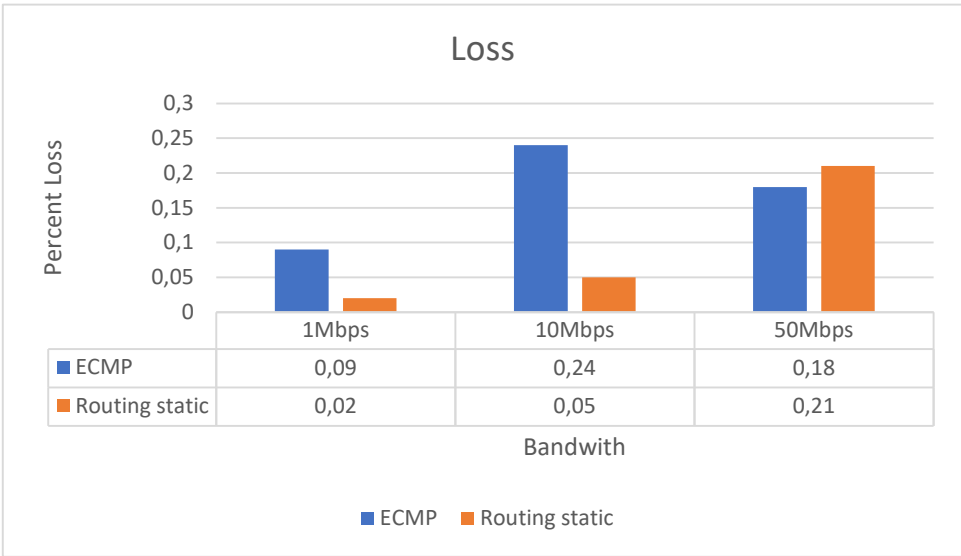
Grafik 1 menunjukkan bahwa jitter *ECMP* pada kecepatan transfer data 1, 10, dan 50 Mbps lebih tinggi dibandingkan dengan routing static. Meskipun demikian, jitter *ECMP* tetap berada di bawah 1 ms, menandakan bahwa paket tiba secara teratur dan tidak terputus.

Peningkatan jitter pada *ECMP* dapat disebabkan oleh penggunaan algoritma Hashing. Dalam metode hashing, pemilihan jalur pengiriman paket dilakukan dengan menggunakan fungsi hashing, sementara routing static menggunakan metode tabel routing. Penggunaan metode hashing dapat menghasilkan jitter yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode tabel routing. Hal ini terjadi karena metode hashing tidak selalu dapat memastikan pemilihan jalur dengan jarak yang sama setiap waktu.

Meskipun jitter *ECMP* sedikit lebih tinggi, perlu diingat bahwa nilai tersebut tetap berada di bawah 1 ms,

menunjukkan bahwa paket tetap dapat tiba secara teratur tanpa gangguan signifikan. Oleh karena itu, kendati terdapat perbedaan dalam tingkat jitter, hal ini tidak berdampak negatif pada ketersediaan layanan atau ketidakputusan paket

4.2.1 Hasil Pengujian Loss

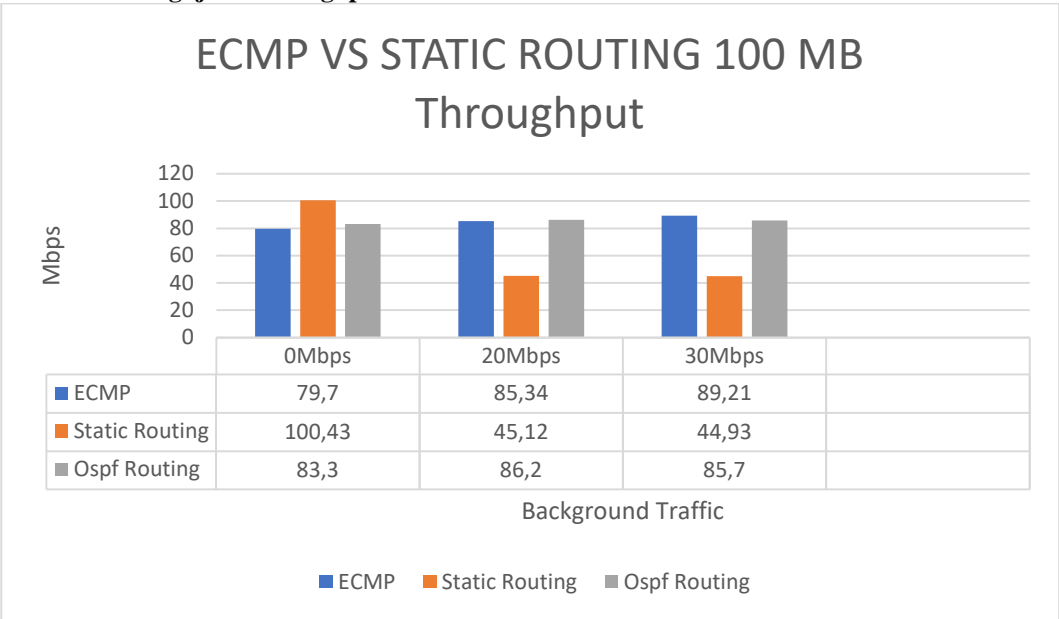


Grafik 2 Hasil Loss

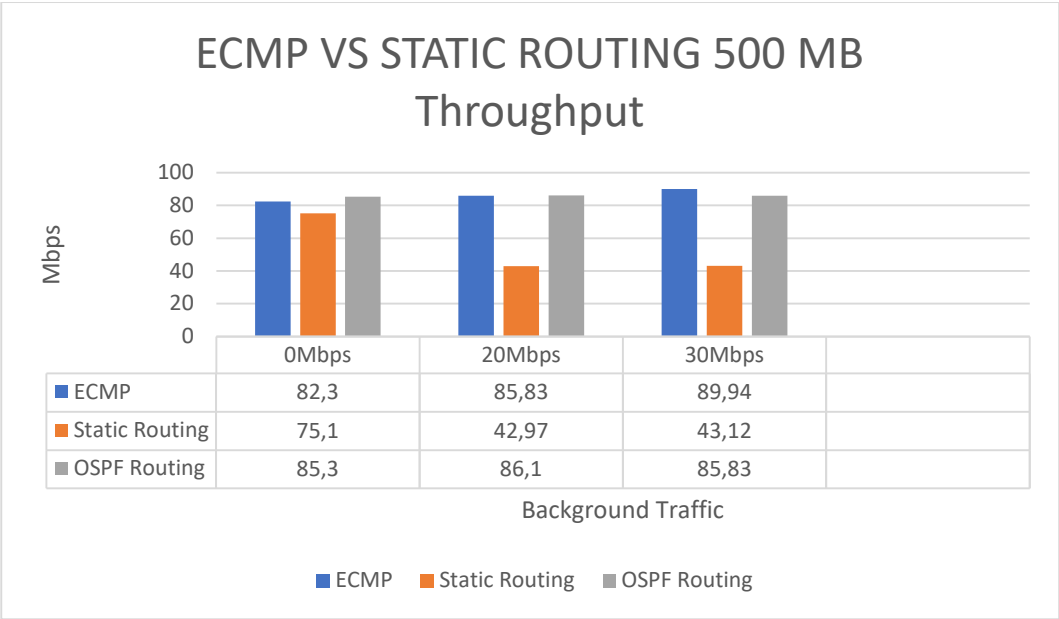
Grafik 2 menunjukkan bahwa loss data *ECMP* pada kecepatan transfer data 1, 10, dan 50 Mbps lebih rendah dibandingkan dengan routing static. Loss data *ECMP* berada di bawah 1%, menunjukkan bahwa paket yang dikirim melalui *ECMP* memiliki kemungkinan sangat kecil untuk hilang.

Perbedaan loss data antara *ECMP* dan routing static dapat disebabkan oleh metode pemulihan jalur. Pada *ECMP*, metode hashing digunakan, di mana paket dikirim melalui beberapa jalur, meningkatkan kemungkinan kehilangan paket dibandingkan dengan routing static yang hanya menggunakan satu jalur. Namun, penting untuk dicatat bahwa jika satu jalur pada routing static mengalami kerusakan, perlu dilakukan perutean ulang untuk menjaga konektivitas. Meskipun terdapat sedikit peningkatan kemungkinan kehilangan paket pada *ECMP*, tetapi persentase tersebut masih di bawah 1%, menandakan bahwa risiko kehilangan paket tetap rendah

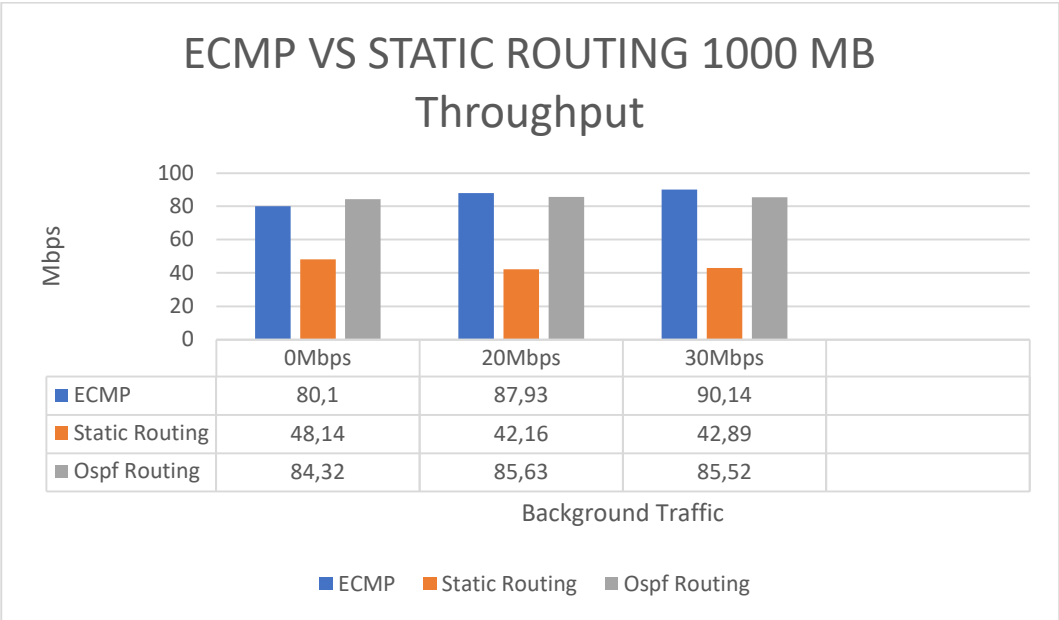
4.2.1 Hasil Pengujian Throughput



Grafik 1 Perbandingan Throughput *ECMP* dan Routing static 100MB

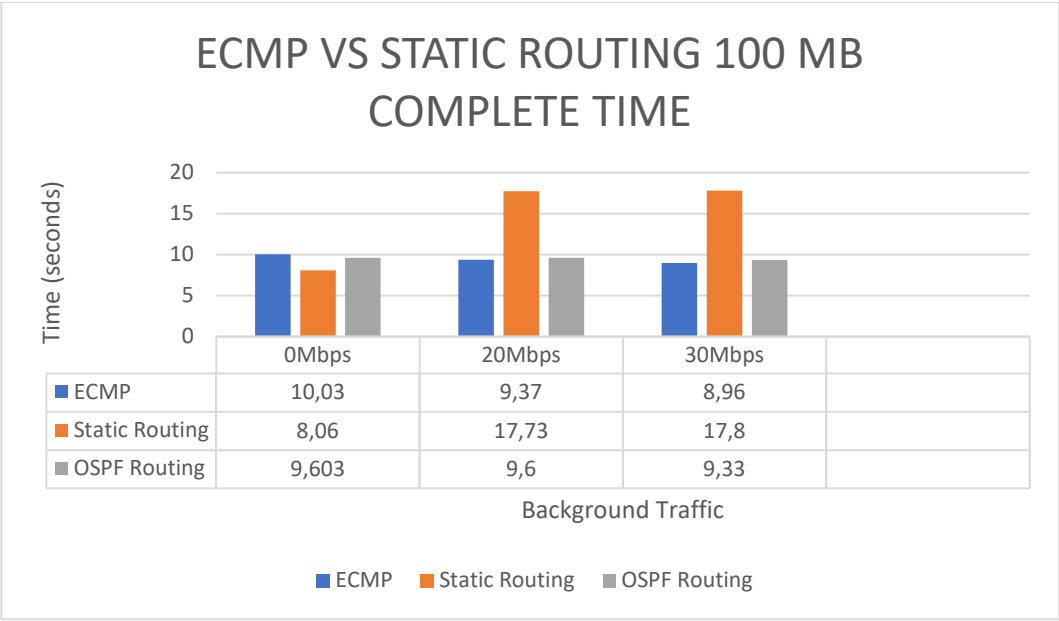


Grafik 4 Perbandingan Throughput *ECMP* dan Routing static 500MB

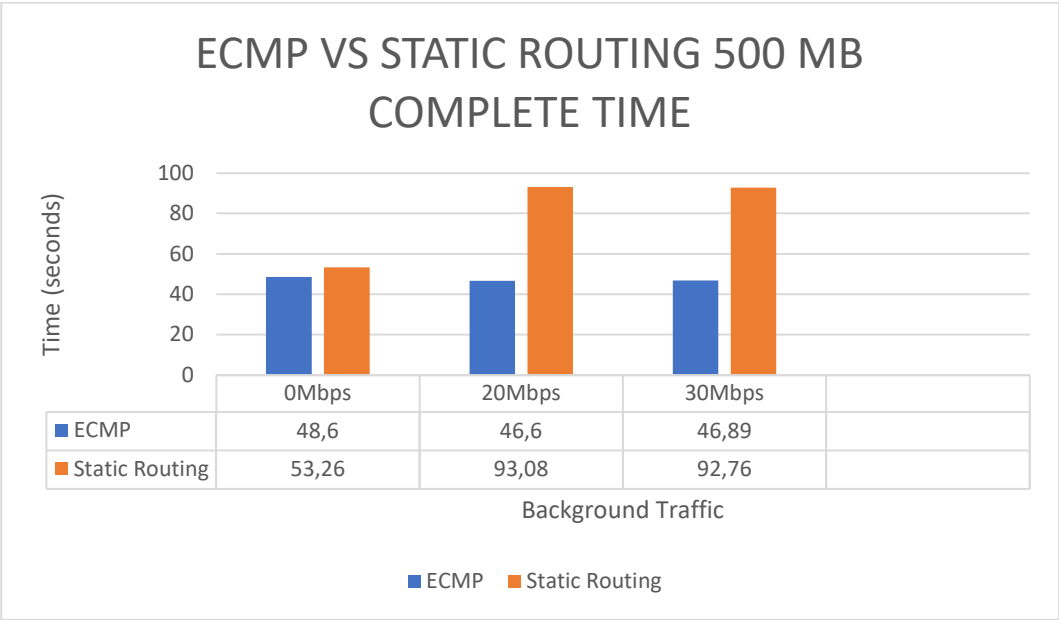


Grafik 5 Perbandingan Throughput *ECMP* dan Routing static 1000MB

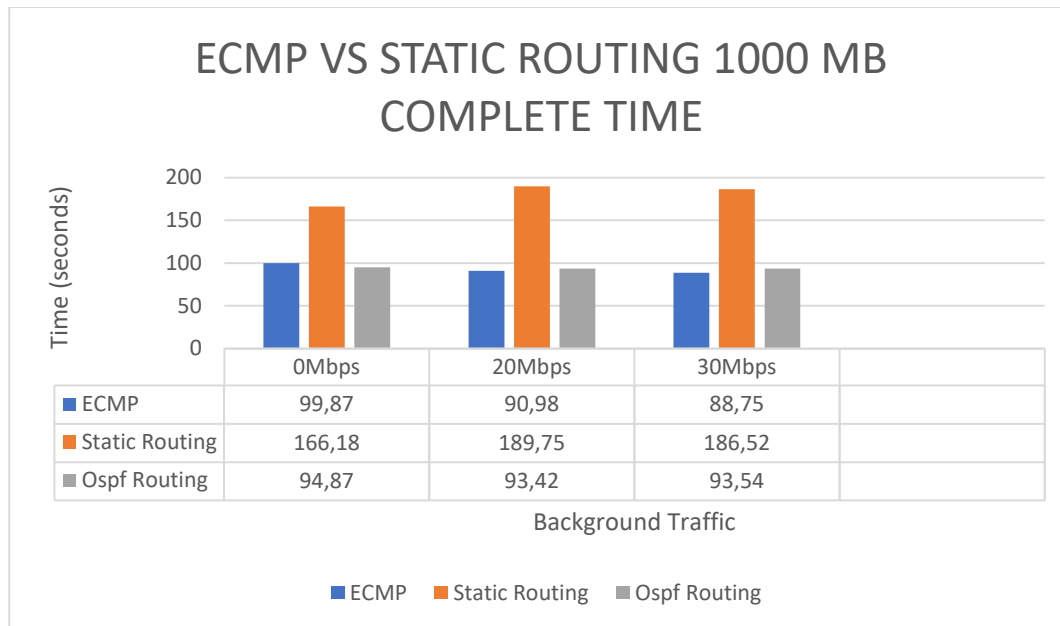
Grafik dibawah menunjukkan rata-rata waktu penyelesaian dari pengujian tersebut.



Grafik 2 Perbandingan Waktu Penyelesaian *ECMP* dan Routing static 100MB



Grafik 7 Perbandingan Waktu Penyelesaian *ECMP* dan Routing static 100MB



Grafik 8 Perbandingan Waktu Penyelesaian *ECMP* dan Routing static 100MB

Chart 6,7,8 menunjukkan untuk adanya kenaikan waktu yang diperlukan jika terdapat background traffic untuk proses routing static, semakin besar background traffic yang ada maka semakin lama waktu yang diperlukan untuk mengirimkan paket sebesar 100MB, 500MB dan 1000MB.

Sebagai contoh yang diambil dari data grafik chart 4.7, adanya background traffic sebesar 20mbps terjadi peningkatan sebesar 47,07 detik untuk pengiriman paket sebesar 500MB dan peningkatan sebesar 44,43 detik jika background traffic sebesar 30 mbps. Hal ini juga berlaku jika pengiriman paket semakin diperbesar. Ini dikarenakan pada routing static hanya terdapat 1 rute yang dimana ketika ada background traffic, maka rute tersebut akan dibagi 2 bandwidthnya.

Berbeda dengan routing static, jaringan *ECMP* mempertahankan performanya meskipun terdapat lalu lintas latar belakang. Hal ini dapat dilihat pada grafik 4.6, di mana waktu yang diperlukan untuk pengiriman paket sebesar 100 MB tanpa lalu lintas latar belakang adalah 10,3 detik. Lalu Waktu yang diperlukan 9,3 detik dan 9,6 detik jika terdapat lalu lintas latar belakang sebesar 20 Mbps atau 30 Mbps. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan *ECMP* mampu menyeimbangkan lalu lintas sehingga tidak mengalami penurunan throughput dan mempertahankan kecepatan pengiriman dengan throughput 80Mbps+.

Penurunan kecepatan dan peningkatan waktu yang terjadi pada routing static diakibatkan oleh penggunaan jalur yang ada pada jaringan tersebut. Jaringan routing static hanya menggunakan satu jalur pengiriman untuk mengirimkan semua data, hal ini berakibat terjadinya kongesti pada jaringan yang dapat menurunkan performa. Pada jaringan *ECMP*, bisa dilihat pada gambar 5 terdapat beberapa jalur yang bisa digunakan, sehingga jika suatu jalur memiliki traffic yang padat, maka jaringan dapat menggunakan jalur lainnya untuk mengirimkan data sehingga kongesti jaringan dapat dihindari.

Namun jika kita membandingkan dengan routing ospf, *ECMP* memiliki kecepatan throughput yang hampir sama dikarenakan keduanya menerapkan konsep load balancing, namun yang menjadi perbedaan ialah pada *ECMP* pembagian beban dilakukan secara merata, sedangkan pada routing ospf pembagian jalur berdasarkan beban biaya dari setiap *Link* jaringan

Hasil yang serupa juga terjadi pada throughputnya yang dapat dilihat pada chart 3,4,5

4.3 Ringkasan Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil data pengujian didapatkan hasil analisa bahwa penerapan *Equal Cost Multipath Routing* memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan routing static dan routing ospf. *ECMP* memberikan hasil yang memuaskan, sebagai contoh yang diambil dari data grafik chart 4.7, adanya background traffic sebesar 20mbps terjadi peningkatan sebesar 47,07 detik untuk pengiriman paket sebesar 500MB dan peningkatan sebesar 44,43 detik jika background traffic sebesar 30 mbps. Hal ini juga berlaku jika pengiriman paket semakin diperbesar. Ini dikarenakan pada routing static hanya terdapat 1 rute yang dimana ketika ada background traffic, maka rute tersebut akan dibagi 2 bandwidthnya.

Lalu untuk hasil pengujian delay,jitter dan loss, *ECMP* juga menghasilkan performa yang dapat dikategorikan kedalam kategori bagus dalam pengukuran performansi jaringan berdasarkan standar ITU-T.Y.1541

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat setelah dilakukan penelitian ialah

-) Dengan adanya data pengujian, maka bisa disimpulkan bahwasanya Implementasi *ECMP* pada topologi Spine-Leaf berhasil di lakukan dengan baik.
-) Jalur jalur yang dipilih dalam jaringan menggunakan skema *ECMP* adalah jalur yang bisa dilewatkan dengan baik. Jaringan dengan skema *ECMP* ini juga bisa mengatasi jika terjadinya *Link failure*, dimana jika salah satu *Link* terputus sehingga harus mencari rute lain yang tersedia.
-) Dengan skema *ECMP* pada jaringan dengan topologi Spine leaf dapat berjalan dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan pengujian pengiriman data sebesar 100, 500 dan 1000MB yang tidak mengalami penurunan throughput yang signifikan dibanding dengan routing static.
-) Pada skema *ECMP* dan Routing Static memiliki hampir sama jitter dan loss yang rendah, ini dikarenakan kecepatan di set dibawah throughput.

Lalu saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya ialah :

-) Membandingkan dengan skema load balancing lainnya seperti round robin, Weighted round robin, dll[4].
-) Menggunakan metric routing lainnya yang lebih optimal sebagai penentu pemilihan rute
-) Menggunakan perangkat yang lebih mendukung P4 secara langsung agar memperlihatkan performa p4 yang lebih baik

Daftar Pustaka

- [1] Yang, Lei.2016.Multi-path Routing Policy for Distributed Caching System, College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400044,China
- [2] Zhang, Junjie.2012.Optimizing Network Performance using Weighted Multipath routing. Polytechnic Institute of New York University, New York:Xi kang, Liren Zhang & Jonathan. H chao.
- [3] He, Li-Qiong.2017.Research on *Programmable Data Plane* Load Balancing based on Multipath Selection.College of Computer and Information Science, Southwest University, ChongQing , China:Ou Ling.
- [4] Rhamdani, Fiqih.2017.Implementasi dan Analisis Load Balancing Equal-cost multipath routing pada jaringan Data Center berbasis Software Defned Network. Telkom University, Bandung, Indonesia:Novian Anggis Suwastika & M. Arief.
- [5]] Zhang, Hailong.2012.SDN-Based *ECMP* Algorithm for Data Center Networks.School of Information Enginering Communication University of China Beijing, China
- [6] Crichigno, Jorge.2022.INTRODUCTION TO P4 *PROGRAMMABLE DATA PLANES*.University of South Carolina, United states of America.
- [7] Lee, G. 2014. Network Virtualization.Cloud Networking, 121–137. doi:10.1016/b978-0-12-800728-0.00007-2.
- [8] Ye, Jin-Li & Chen, Chien. 2018.A Weighted *ECMP* Load Balancing Scheme for Data Centers Using P4 Switches.Department of Computer Science and Information Technology Service Center National Chiao Tung University:HsinChu & Taiwan & Chu & Huang Yu.
- [9] Rizzi Carmine.2021.Load-Aware Load-Balancing in p4, 1st Joint International Workshop on Network Programmability and Automation:Yao Zhiyuan, Desmouceaux Yoann, Townsley Mark, Clausen Thomas.
- [10] Novianto, Dian.2021.COMPARATIVE ANALYSIS OF PERFORMANCE BETWEEN *ECMP* AND NTH METHODS IN IMPLEMENTATION OF MICROTIC-BASED DUAL *LINK* LOAD BALANCING TECHNIQUES. Department of Informatics Engineering, ISB Atma Luhur Pangkalpinang, Indonesia:Japriadi Y.S
- [11] M,Nasrullah.2015.ANALISIS KINERJA JARINGAN WIRELESS LAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE QUALITY OF SERVICE QOS.Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta: Imam Riadi & Soepomo & Janturan & Umbulharjo.
- [12] Bianco, Andrea.2010.OpenFlow Switching: Data Plane Performance.Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino, Italy: Robert Birke, Luca Giraudo,Manuel Palacin.
- [13] Azzahra, Sheilla.2021.Implementasi dan Analisis Algoritma Weighted Round Robin Pada Jaringan Software Defnied Network (SDN) dan Jaringan Konvensional.Telkom University, Bandung, Indonesia:Rohmat Tulloh & Dyah Irawati