

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah menyebabkan peningkatan signifikan terhadap kebutuhan akses internet di berbagai sektor, baik pendidikan, industri, maupun layanan publik. Berbagai aplikasi berbasis *cloud*, *video streaming*, sistem informasi berbasis web, serta layanan komunikasi *real-time* menyebabkan trafik jaringan meningkat secara eksponensial[1]. Kondisi ini menuntut infrastruktur jaringan yang mampu menyediakan ketersediaan *bandwidth* tinggi, latensi rendah, serta stabilitas koneksi yang baik. Apabila kapasitas jaringan tidak mampu mengimbangi pertumbuhan trafik, maka performa jaringan akan menurun yang ditandai dengan meningkatnya *delay*, *packet loss*, serta penurunan *throughput* layanan jaringan.

Dalam praktik operasional jaringan, penggunaan satu jalur koneksi internet (*Single ISP*) sering kali menimbulkan berbagai permasalahan performa jaringan, terutama ketika terjadi lonjakan trafik. Kondisi ini menyebabkan terjadinya *overload* pada jalur utama, sehingga paket data mengalami antrian panjang yang berdampak pada meningkatnya *latency* dan *packet loss*. Selain itu, ketergantungan pada satu jalur koneksi juga menimbulkan risiko kegagalan jaringan (*single point of failure*) yang dapat mengganggu kontinuitas layanan internet. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme manajemen trafik yang mampu memanfaatkan lebih dari satu jalur koneksi internet secara optimal.

Permasalahan tersebut teridentifikasi secara nyata pada jaringan Pondok Pesantren (PP) Darul Kamal. Berdasarkan observasi dan monitoring trafik pada ISP Fiber Optic 100 Mbps selama 10 interval pengamatan pada hari operasional, ditemukan fenomena saturasi *bandwidth*. Data monitoring menunjukkan bahwa pada pukul 12.00 WIB, utilisasi *download* mencapai 46 Mbps (92% dari kapasitas total) dengan *latency* meningkat dari 9 ms menjadi 21 ms. Selain itu, *packet loss* mulai muncul sebesar 0.5% ketika utilisasi melebihi 80%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas tunggal tidak lagi memadai untuk menampung beban trafik pada *peak hours*, sehingga diperlukan penambahan kapasitas melalui interkoneksi Dual-ISP.

Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah *load balancing* jaringan. *Load balancing* merupakan teknik distribusi trafik jaringan ke beberapa jalur koneksi secara bersamaan dengan tujuan meningkatkan pemanfaatan *bandwidth*, menjaga stabilitas koneksi, serta meningkatkan ketersediaan layanan jaringan[2]. Dengan menerapkan *load balancing*, beban trafik tidak hanya bergantung pada satu jalur koneksi, tetapi dapat dibagi secara merata ke beberapa jalur jaringan yang tersedia. Pendekatan ini

terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan *bandwidth* serta meningkatkan performa jaringan secara keseluruhan.

Salah satu metode *load balancing* yang banyak digunakan pada jaringan berbasis routing adalah *Equal Cost Multi Path* (ECMP). ECMP merupakan teknik routing multipath yang memungkinkan sebuah router menggunakan beberapa jalur dengan nilai cost yang sama menuju tujuan yang sama. Dengan mekanisme ini, paket data dapat didistribusikan ke beberapa jalur secara paralel sehingga meningkatkan kapasitas *bandwidth* efektif serta meningkatkan redundansi jaringan. ECMP dapat diimplementasikan pada berbagai protokol *routing* seperti OSPF, IS-IS, maupun BGP dan bekerja dengan membagi trafik ke beberapa jalur yang memiliki metrik routing yang identic [3]

Meskipun demikian, implementasi ECMP pada jaringan dengan link heterogen (misalnya kombinasi Fiber Optic dan LTE) menghadapi tantangan tersendiri. Perbedaan karakteristik jaringan seperti kapasitas *bandwidth*, *delay propagasi*, serta stabilitas koneksi dapat menyebabkan distribusi trafik yang tidak seimbang apabila konfigurasi routing tidak dilakukan secara tepat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa performa multipath routing pada jaringan dengan jalur heterogen sangat dipengaruhi oleh perbedaan kapasitas *bandwidth* dan *delay* antar jalur, yang pada akhirnya dapat berdampak pada kualitas layanan jaringan (*Quality of Service/QoS*) [4]. Oleh karena itu, implementasi ECMP pada penelitian ini tidak hanya sekedar mengaktifkan fitur multipath, tetapi juga melibatkan penyesuaian parameter routing (seperti distance metric dan routing marks) untuk meminimalisir dampak *asimetri latency*.

Penelitian yang dilakukan oleh Nurmaiti[5] menunjukkan bahwa penerapan metode ECMP pada jaringan internet dapat menghasilkan distribusi beban yang seimbang pada setiap *gateway*. Selain itu, dalam kondisi *failover*, ECMP mampu secara otomatis mengalihkan koneksi ke sumber internet yang masih aktif, sehingga menjaga komunitas layanan. Pengukuran *Quality of Service (QoS)* dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai throughput rata-rata lebih dari 2Mbps, delay kurang dari 150 ms, packet loss kurang dari 3%, dan jitter kurang dari 125 ms, yang sesuai dengan standar THIPON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks*) Delay <150ms, Jitter <50ms, Paket Loss <0,01%.

Studi lain oleh Husni[6] di Dinas Komunikasi dan Informatika Tenggara juga membuktikan bahwa penerapan ECMP dapat memaksimalkan throughput, memperkecil waktu tanggap, dan menghindari *overload* pada satu jalur koneksi. Pengujian parameter QoS, *Round Trip Time*, dan *failover* menunjukkan bahwa ECMP mampu meningkatkan kualitas layanan jaringan secara signifikan.

Namun, meskipun ECMP memiliki berbagai keunggulan, implementasinya tidak selalu memberikan hasil yang optimal. Penelitian oleh Pakiding [7] membandingkan kinerja metode PCC, ECMP, dan NTH menggunakan GNS3.

Hasilnya menunjukkan bahwa metode PCC memiliki nilai QoS yang lebih baik dibandingkan ECMP dan NTH, terutama dalam hal delay, jitter, packet loss, dan throughput. Namun ECMP memiliki keunggulan dalam hal kemudahan konfigurasi dan efisiensi penggunaan CPU load pada router

Dalam konteks jaringan lokal yang menggunakan dua sumber koneksi internet berbeda, yaitu ISP berbasis Fiber Optic dan LTE, perbedaan karakteristik jaringan menjadi faktor penting yang perlu dianalisis. Fiber Optic umumnya memiliki bandwidth lebih besar dan stabilitas yang tinggi, sedangkan LTE memiliki fleksibilitas akses namun dengan latency dan kestabilan yang lebih fluktuatif. Kombinasi kedua jenis jaringan ini berpotensi meningkatkan ketersediaan jaringan apabila dikelola dengan mekanisme load balancing yang tepat. Namun demikian, diperlukan analisis kuantitatif untuk mengetahui sejauh mana metode ECMP mampu mendistribusikan trafik secara optimal pada lingkungan jaringan yang memiliki karakteristik link berbeda.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja metode *Equal Cost Multi Path* (ECMP) terhadap parameter Quality of Service (QoS) pada jaringan yang menggunakan interkoneksi dual-ISP berbasis Fiber Optic dan LTE di PP Darul Kamal. Analisis dilakukan melalui pengukuran beberapa parameter QoS seperti throughput, delay, jitter, dan packet loss untuk mengevaluasi efektivitas metode ECMP dalam meningkatkan performa jaringan. dengan menggunakan metode ECMP dianggap memenuhi kriteria .Sesuai untuk Implementasi Multi-ISP, Memiliki Overhead Routing Rendah, Mendukung Failover Otomatis, Efektif untuk Distribusi Trafik Dasar, Memiliki Implementasi Lebih Sederhana Dibanding Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran empiris mengenai efektivitas penerapan ECMP pada jaringan dengan link heterogen serta menjadi referensi implementasi load balancing pada jaringan skala kecil maupun menengah.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana melakukan perancangan konfigurasi metode Equal Cost Multi Path (ECMP) pada router Mikrotik untuk interkoneksi Dual-ISP (Fiber Optic dan LTE) ?
2. Bagaimana hasil pengukuran kinerja parameter Quality of Service (QoS) yang meliputi throughput, latency, jitter, dan packet loss pada kondisi Single ISP dibandingkan dengan Dual-ISP menggunakan metode ECMP?

C. Batasan Masalah

1. Perangkat Router: Penelitian menggunakan perangkat router MikroTik RB750Gr3 sebagai *gateway* utama. Konfigurasi dibatasi pada fitur-fitur yang tersedia pada RouterOS versi v6.49/v7.
2. Metode Routing: Fokus penelitian hanya pada implementasi metode *Equal Cost Multi-Path* (ECMP). Metode *load balancing* lain seperti *Per Connection Classifier* (PCC) atau *Failover* murni tidak dibandingkan secara mendalam, kecuali sebagai kondisi awal (*baseline*) *single* ISP.
3. Modem ISP: Menggunakan modem spesifik yaitu ONT Fiber Optic dan Modem LTE (TP-Link TL-MR100). Kinerja penelitian bergantung pada kapasitas fisik dan stabilitas sinyal dari perangkat tersebut pada lokasi penelitian.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan konfigurasi metode *Equal Cost Multi Path* (ECMP) pada router Mikrotik untuk interkoneksi Dual-ISP di PP Darul Kamal.
2. Mengukur dan membandingkan kinerja parameter QoS (throughput, latency, jitter, packet loss) antara kondisi *Single ISP* dan *Dual-ISP* dengan metode ECMP.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Menambah khazanah keilmuan di bidang jaringan komputer, khususnya mengenai kinerja algoritma load balancing ECMP pada lingkungan link heterogen.
 - b. Menjadi referensi akademik bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan optimasi *Quality of Service* pada jaringan multi-ISP.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi Institusi (PP Darul Kamal): Memberikan solusi teknis untuk mengatasi masalah saturasi bandwidth dan meningkatkan stabilitas jaringan internet bagi santri dan staf.
- b. Bagi Praktisi Jaringan: Memberikan gambaran empiris mengenai konfigurasi optimal ECMP pada perangkat Mikrotik untuk skenario jaringan campuran (*Wired & Wireless*).
- c. Bagi Peneliti: Sebagai sarana implementasi ilmu teori jaringan ke dalam studi kasus nyata di lapangan.

