

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Table 1. Penelitian Terkait

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
1	Sidik Indratno (2023)[8]	Judul : Implementasi Load Balancing Pada Mikrotik Menggunakan Metode ECMP Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Dari hasil pembahasan tentang teknik <i>load balancing</i> menggunakan metode ECMP dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut : 1. Teknik <i>load balancing</i> dapat menggabungkan lebih dari 1 (satu) koneksi internet dalam satu <i>router</i> 2. Dengan metode ECMP dapat mem-<i>backup</i> koneksi internet yang bermasalah sehingga koneksi internet dalam jaringan tetap jalan 3. <i>Bandwidth management</i> menggunakan metode HTB maka pengaturan <i>bandwidth</i> untuk <i>user</i> dapat rata dan sesuai

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
2	Bagus Hidayat dan Ari Wibowo (2022) [9]	Judul : Implementasi Manajemen Bandwidth Load Balancing Equal Cost Multi Path Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Setelah melakukan <i>implementasi management Bandwidth Load Balancing</i> berhasil diterapkan dan menghasilkan pemakaian internet lebih merata dengan kecepatan rata-rata antara 30 mbps sampai 40 mbps. <i>Load Balancing</i> menggunakan metode ECMP berhasil diterapkan pada jaringan dan menghasilkan traffic dari ISP 1 dan ISP 2 dapat berjalan bersamaan

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
3	Angga Pratama (2021)[2]	Judul : Penerapan Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut : 1. Penerapan <i>Load Balancing</i> menggunakan metode ECMP pada jaringan internet dapat berjalan dengan baik dengan perbandingan <i>Gateway</i> 5:1 yaitu 100 Mbps <i>link</i> pertama dan 20 Mbps <i>link</i> kedua yang mana <i>link</i> pertama yang memiliki kapasitas <i>bandwidth</i> yang lebih besar mendapatkan beban traffic yang lebih besar 2. Efek <i>Failover</i> berjalan dengan baik ketika koneksi salah satu <i>link</i> terputus secara otomatis koneksi akan di pindahkan ke <i>link</i> yang aktif

4	Muhammad Khoirul Anwar & Ida Nurhaida (2019) [10]	Judul : Implementasi Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (ECMP) Pada Interkoneksi Jaringan Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut : 1. <i>Load Balancing</i> dengan metode ECMP yang diterapkan dapat membagi beban traffic pada dua <i>link</i> koneksi secara seimbang. 2. Berdasarkan pengamatan saat terjadi <i>Load balancing</i> diperoleh bahwa divisi CSE memiliki <i>throughput</i> 99,96%(sangat bagus), <i>delay</i> 1.70 ms(sangat bagus), dan <i>jitter</i> 0.02 ms (sangat bagus) sedangkan divisi CAE memiliki <i>throughput</i> 99.92% (sangat bagus), <i>delay</i> 1.69 ms (sangat bagus) dan <i>jitter</i> 0.01 ms (sangat bagus). 3. Efek <i>failover</i> yang dihasilkan dari penerapan <i>load balancing</i> metode ECMP berjalan dengan baik 4. Berdasarkan pengamatan saat terjadi <i>failover</i> diperoleh bahwa difisi CSE memiliki <i>throughput</i> 99.96% (sangat bagus) sedangkan divisi CAE memiliki <i>throughput</i> 99.95% (sangat bagus), <i>delay</i> 1.61 ms (sangat bagus), dan <i>jitter</i> 0.01 ms (sangat bagus).
---	---	--

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
5	La Suriami, Subardin, & Nurmiati (2022) [5]	Judul : Analisis Kinerja <i>Load Balancing</i> Terhadap Jaringan Internet Menggunakan Metode <i>Ecual Cost Multi Path</i> (ECMP) Metode : Hasil : Penerapan load balancing pada jaringan internet menggunakan metode ECMP memiliki kinerja yang sangat bagus dibuktikan dengan penyebaran jumlah beban koneksi yang seimbang pada setiap pembagian gateway, dan jika ada salah satu sumber koneksi internet mati atau terjadi failover, maka secara otomatis backup akan berjalan dengan sendirinya dengan mengambil koneksi dari sumber internet yang masih aktif pemilihan sumber isp yang tepat memberikan optimalisasi ketika gangguan jaringan terjadi pada sumber propider lain. nilai QOS yang di ukur dengan panduan standar TIPHON juga menghasilkan nilai yang bagus pada masing masing parameter yaitu throughput, delay, jitter dan packet loss.

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
6	Ali Husni, Edy Budiman, Medi Taruk, & Hario Jati Setyadi (2018) [6]	Judul : Teknik Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (ECMP) Untuk Mengukur Beban Traffic Di Diskominfo Tenggaraong Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa, ISP 1 dengan kecepatan internet untuk <i>download</i> 7.36 megabit/s dan untuk <i>upload</i> 1.62 megabit/s. ISP 2 dengan kecepatan <i>download</i> 6.85 megabit/s dan untuk <i>upload</i> 2.24 megabit/s. Hasil pengujian <i>quality of service</i>, variabel <i>jitter</i> dengan nilai rata-rata 1,24ms “ Katagori Bagus”. Variabel <i>packet loss</i> dengan nilai rata-rata 1,33% “Katagori Sangat Bagus”. Berdasarkan standar TIPHON. Dengan nilairata-rata pengujian <i>quality of service</i> adalah 40,8567 standar TIPHON “Sangat Memuaskan”. Dalam pengujian <i>round trip time</i>, mempunyai nilai rata-rata 41,77777778 dan jumlah <i>request time out</i> (RTO) adalah 2. Hasil pengujian <i>failover</i> dihari senin, selasa dan rabu berhasil.

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
7	Rifki Alkatiri, Erwin Gunawan, Santosa (2021) [11]	Judul : Analisis Perbandingan Metode Load Balancing PCC dan ECMP Menggunakan Mikrotik Hap Late Rb941 Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang memuat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing perbandingan metode load balancing PCC dan ECMP kesimpulan tersebut adalah metode PCC dapat membagi beban trafik secara seimbang dan menghasilkan nilai Rx sebesar 24.4 Mbps dan 25.2 Mbps sehingga menghasilkan nilai yang lebih baik dari metode ECMP. Metode PCC memiliki memiliki nilai Tx dan Rx yang sama secara seimbang yaitu 592 bps. Dan metode ECMP tidak membagi beban trafik secara merata, tiap jalur membuat performa jaringan secara keseluruhan dapat turun, namun masih dapat ditoleransi jika menggunakan layanan dari provider-provider yang baik

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
8	Muhammad Iqbal Firdaus (2017) [12]	Judul : Analisis Perbandingan Kinerja Load Balancing Metode ECMP (Equal Cost Multi-Path) Dengan Metode PCC (Per Connection Classifier) Pada Mikrotik Routers Hasil : Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yang memuat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode load balancing. Kesimpulan tersebut adalah sebagai berikut : 1. Metode PCC menghasilkan throughput lebih baik daripada metode ECMP. 2. Metode PCC memiliki ketahanan atau reliabilitas yang lebih baik ketika terjadi gangguan pada jaringan. 3. Metode ECMP menghasilkan RTT yang lebih baik daripada metode PCC 4. Perbandingan nilai jitter dan packet loss pada kedua metode load balancing tidak signifikan perbedaannya. Selain itu tingkat degradasi pada keduanya masih dapat ditoleransi dan termasuk dalam kategori sangat bagus

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
9	Muhammad Fauzi Zulkarnaen, M. Iqbal Isnaini (2018) [13]	Judul : Implementasi Load Balancing Dengan Metode Equal Cost Multi-Path Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Berdasarkan pemaparan di atas, peneliti dapat menyimpulkan penelitian mengenai load balancing dengan metode ECMP ini sebagai berikut : 1. Load balancing dengan metode ECMP tidak mengakumulasi bandwidth tapi membagi beban jaringan menjadi sama rata berdasarkan perbandingan kecepatan tiap ISP. 2. Dengan dibaginya beban secara merata tiap jalur membuat performa jaringan secara keseluruhan dapat turun, namun masih dapat ditoleransi jika menggunakan layanan dari provider-provider yang baik. 3. Load balancing ECMP merupakan persistent per-connection, dengan begitu jika salah satu jalur milik ISP down, check-gateway akan memutuskan jalur tersebut dan menggunakan jalur ISP lain yang masih aktif. 4. ECMP memiliki tingkat keandalan jaringan yang tinggi jika melihat dari tingkat kehilangan data saat melakukan efek Failover. Tapi tidak pada kondisi yang ekstrim

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
10	I Nyoman Bernadus, Prastyadi Wibawa Rahayu, dan I Made Dwi Ardiada (2022) [14]	Judul : Perancangan Load Balance Menggunakan Metode Equal Cost Multi-path (ECMP) Pada Mikrotik Routerboard ARD 750GR3 Metode : NDLC (Network Development Life Cycle) Hasil : Kesimpulan yang dapat diperoleh dari berbagai tahapan yang dilakukan penelitian dengan menerapkan <i>load balance</i> pada metode ECMP beban lalu lintas dapat dibagi secara seimbang, sehingga meningkatkan kecepatan <i>bandwitdh</i> pada koneksi internet, dan konfigurasi <i>load balance</i> menggunakan ECMP dengan <i>tag connection</i> pada <i>Mangle</i> secara otomatis menentukan koneksi paket baik yang masuk maupun keluar

11	M.Ardhi Permana, Hendra Supendar, Sulistianto SW (2020) [15]	Judul : Analisis Kinerja Load Balancing Terhadap Jaringan Local Area Network Berbasis Cisco Router Metode : Eksperimen Hasil: Berdasarkan permasalahan dan pengujian jaringan pada PT Mata Milenial Indonesian selama penulis melakukan reset, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut : 1. Jaringan pada PT Mata Milenial Indonesia mengusung konsep single link yaitu penggunaan <i>switch</i> yang tidak langsung terhubung pada ruang <i>server</i> melainkan saling terhubung pada tiap ruangan. Hal ini dapat menyebabkan putusnya koneksi di beberapa ruangan yang disebabkan karena sebuah jalur link jaringan putus pada satu ruangan. Hal ini dapat kita atasi dengan membuat link cadangan dan memperbesar jalur bandwidth dengan menggunakan metode <i>etherchannel</i>. 2. Penggunaan acces point dapat membuat pemborosan terhadap ip address maka digunakanlah router wireless agar menggunakan satu address dapat digunakan bersama sama dalam satu lantai. 3. Konsep single link pada jaringan internet membuat permasalahan koneksi internet menjadi terganggu karena putusnya koneksi dari ISP. Maka diusulkan agar menambah satu ISP lagi dan menerapkan load balancing
----	---	---

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
12	Asrul Abdullah (2020) [16]	Judul : Implementasi Teknik Load Balancing Dan Failover Dengan Metode ECMP Dalam Peningkatan Kualitas Layanan Jaringan Metode : Hasil : Dari hasil pengukuran terhadap kinerja dari <i>load balancing</i> saat menjalani serangkaian percobaan maka didapatkan hasil lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan <i>load balancing</i> atau dengan kata lain <i>load balancing</i> lebih baik ditinjau dari sisi kecepatan <i>download</i> dibandingkan <i>failover</i>. Kinerja <i>load balancing</i> akan baik jika <i>client</i> yang berada di dalam jaringan lebih dari 1 orang. Sehingga tampak beban paket akan dibagi sama rata oleh <i>router</i>. Kinerja <i>failover</i> akan baik jika sebuah instansi mendapati ISP yang dilanggan sering bermasalah. Tentunya semakin sering ISP bermasalah maka pelayanan institusi tersebut juga akan terhambat

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
13	Soiful Hadi, Basworo Ardi Pramono, Surono (2022) [17]	Judul : Analisis Komperasi Metode Pembagian Trafik Jaringan (Load Balancing) Antara Metode PCC dan Metode ECMP Studi Kasus Pada Jaringan USM Metode : Hasil : Router mikrotik dapat menjalankan fungsi Load Balancing sesuai dengan kebutuhan. Untuk pengukuran ping, speedtest dan aplikasi tool graphing dapat disimpulkan, pengetesan ping antara metode ECMP dan PCC di angka kurang dari 1ms, pengujian dengan spedtest metode PCC lebih baik daripada ECMP, pada pengujian dengan tool graphing mikrotik menunjukan trafik antara ECMP dan PCC tidak jauh berbeda, di pengujian download metode PCC lebih baik daripada ECMP sedangkan pada upload ECMP lebih baik daripada PCC.

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
14	Aisyah Cinta Putri W, Rizki Hikmawan, Dian Permata Sari (2023)[18]	Judul : Analisis QoS Untuk Mengoptimalisasikan Jaringan Internet Menggunakan Metode Load Balancing (Studi Kasus : Diskominfo Kabupaten Kuningan) Metode : NDLC Hasil : Optimalisasi jaringan internet di instansi Diskominfo Kabupaten menggunakan metode <i>load balancing</i> telah diimplementasikan. Analisis <i>Quality of Service</i> (QoS) menunjukkan bahwa <i>load balancing</i> metode PCC lebih unggul daripada <i>load balancing</i> metode ECMP. Berdasarkan standar TIPGON pada metode PCC parameter <i>throughput</i> dalam kategori “Terbagus”, parameter <i>packet loss</i> dalam kategori “Bagus”, parameter <i>deley</i> dalam kategori “Sangat Bagus” dan parameter <i>jitter</i> dalam kategori “Bagus”. Hasil pengujian QoS menunjukkan rata-rata pengujian dari metode PCC berada pada kategori index “Memuaskan”. Implementasi metode PCC berhasil meningkatkan kinerja jaringan internet secara keseluruhan. Diperkuat dengan hasil pengujian kecepatan jaringan pada metode PCC yang menghasilkan kecepatan <i>download</i> sebesar 92,80 Mbps dan kecepatan upload sebesar 94,78 Mbps serta pengujian <i>ping</i> sebesar 4 ms

15	M. Iqbal Rachmad Anwar, Diah Priyawati (2024) [19]	Judul : Analisis Perbandingan Metode PCC dan ECMP dalam Penyeimbangan Beban menggunakan Simulator GNS3 Metode : NDLC Hasil : Berdasarkan tujuan penelitian ini, yang melibatkan perancangan sistem penyeimbangan beban menggunakan metode PCC dan ECMP dengan GNS3 untuk mencapai kinerja optimal antara kedua metode tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan masing-masing metode penyeimbangan beban melalui pengujian QoS dan distribusi lalu lintas. Dalam pengujian QoS dengan parameter seperti throughput, packet loss, delay, dan jitter yang diulang 10 kali, metode PCC mencapai nilai throughput rata-rata 7900,9 Kbps, sedangkan metode ECMP mencapai 7747,8 Kbps. Untuk parameter packet loss, nilai rata-rata metode PCC adalah 6,24%, sedangkan metode ECMP adalah 6,08%. Untuk parameter delay, nilai rata-rata metode PCC adalah 0,839 ms dan metode ECMP adalah 0,847 ms. Sementara itu, untuk parameter jitter, nilai rata-rata metode PCC adalah 0,897 ms dan metode ECMP adalah 0,995 ms. Metode PCC menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal throughput, penundaan, dan jitter dibandingkan dengan metode ECMP, sementara perbandingan nilai kehilangan paket, penundaan, dan jitter pada kedua metode tidak menunjukkan perbedaan
----	--	--

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
		yang signifikan. Selain itu, nilai indeks pada kedua metode masih dalam kategori baik dan dapat ditoleransi. Dari segi distribusi lalu lintas, metode PCC mampu mendistribusikan lalu lintas secara merata di kedua jalur ISP-nya selama aktivitas unduh dan unggah. Di sisi lain, metode ECMP hanya dapat melakukan aktivitas unduh dan unggah pada satu jalur lalu lintas. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengujian QoS dan distribusi lalu lintas, dapat disimpulkan bahwa metode PCC berkinerja lebih baik daripada metode ECMP.

B. Research gap

Berdasarkan tabel di atas, berikut adalah 4 poin utama yang membedakan dengan penelitian yang akan Saya kerjakan :

1. Karakteristik Link Fisik (Fiber vs LTE):

Penelitian Terdahulu: Sebagian besar (No 1, 2, 4, 5, 6, 10, 12) tidak menyebutkan jenis fisik ISP secara spesifik, atau menganggap kedua ISP memiliki karakteristik stabil (Fiber vs Fiber). Penelitian yang menyebutkan heterogenitas (No 3) hanya berfokus pada perbedaan kapasitas *bandwidth* (100Mbps vs 20Mbps), bukan karakteristik fisik (*Latency & Stabilitas*).

Pernelitian ini : Secara spesifik menggabungkan *Fiber Optic (Wired, Stable)* dan *LTE (Wireless, Fluktuatif)*. Ini adalah tantangan teknis tersendiri karena ECMP sensitif terhadap perbedaan latency yang dapat menyebabkan packet reordering. Ini adalah gap teknis yang belum banyak dibahas secara mendalam pada skala jaringan Pesantren.

2. Konteks Pola Trafik (Pesantren vs Kantor/Umum):

Penelitian Terdahulu: Mayoritas dilakukan pada lingkungan kantor pemerintahan (Diskominfo), universitas, atau laboratorium simulator (GNS3). Pola trafik cenderung stabil pada jam kerja.

Pernelitian ini : Dilakukan di PP Darul Kamal. Dengan pola trafik pesantren yang padat pada waktu tertentu. Beban trafik yang bursty ini akan menguji ketahanan metode ECMP pada link LTE yang tidak stabil secara lebih nyata dibandingkan lingkungan kantor.

3. Standar QoS (ITU-T Y.1541 vs TIPHON):

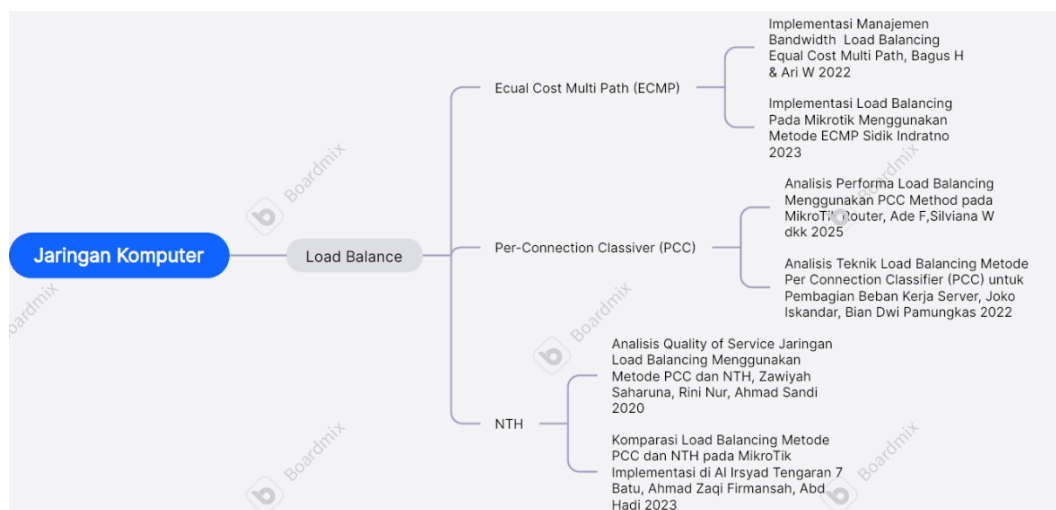
Penelitian Terdahulu: Beberapa menggunakan standar TIPHON (No 5, 6, 14) atau tidak menyebutkan standar baku secara eksplisit.

Pernelitian ini : Menggunakan standar ITU-T Y.1541 yang lebih spesifik untuk kinerja jaringan IP berbasis paket. Ini memberikan landasan metrik yang lebih relevan untuk analisis packet loss dan jitter pada jaringan data modern.

4. Metodologi Pengujian (*Live* vs *Simulator*):

Penelitian Terdahulu: Beberapa masih menggunakan *simulator* (No 15) atau pengujian dalam skala kecil.

Pernelitian ini : Menggunakan *Live Traffic* pada jaringan produksi yang aktif. Data yang dihasilkan adalah refleksi nyata kondisi jaringan, termasuk interferensi sinyal LTE yang tidak bisa disimulasikan dengan akurat di GNS3.



Gambar 1 mindmap Penelitian terkait

C. Landasan Teori

1. Jaringan Internet

Internet adalah sebuah jaringan komunikasi komputer global yang menghubungkan perangkat komputer dengan jaringan komputer yang tersebar di seluruh dunia[20].

Kata internet juga dapat berupa singkatan dari kata *interconnected network* yang membuat kita bisa saling berkomunikasi dan berbagi informasi dengan siapa saja, dari siapa saja, dan dimana saja. Hal ini berarti semua jenis dan tipe komputer yang ada

diseluruh dunia dapat terhubung dengan menggunakan tipe jaringan komunikasi seperti satelit, sambangan telepon, dan lain sebagainya[21].

Menurut *Barnest-Lee* internet adalah suatu jaringan yang terdiri dari beberapa jaringan yang saling terhubung satu sama lain. Hal ini jelas merujuk pada konsep dimana suatu jaringan computer tertentu atau jaringan local juga bisa terhubung kedalam suatu jaringan lainnya[21].

Menurut *O'Brien* definisi internet adalah sebuah jaringan computer yang berkembang pesat dan bermanfaat bagi berbagai macam kepentingan, mulai dari kepentingan bisnis, pendidikan, hingga kedalam jaringan pemerintahan yang dapat saling terhubung satu sama lain.

Menurut *Lani Sidharta* Pengertian internet adalah suatu bentuk komunikasi dari sebuah jaringan computer, dimana dapat memberikan bentuk layanan informasi secara lengkap[21]. Lebih lanjutnya lani mengatakan bahwa internet juga merupakan rekan maya atau Virtual yang ampuh yang bisa digunakan dalam media bisnis, politik, bahkan untuk hiburan sementara.

2. Internet dan Kinerja Jaringan

Internet merupakan jaringan global yang menghubungkan berbagai jaringan computer di seluruh dunia. Kualitas layanan internet sangat dipengaruhi oleh kinerja jaringan[22], yang dapat diukur menggunakan beberapa parameter *Quality of Service* (QoS), antara lain :

- a. **Throughput**, yaitu kecepatan transfer data yang berhasil dikirimkan dalam satuan waktu tertentu.
- b. **Delay (latency)**, yaitu waktu tunda yang dibutuhkan paket data untuk sampai ketujuan.
- c. **Jitter**, yaitu variasi delay antar paket data.
- d. **Paket loss**, yaitu persentase paket data yang hilang selama proses transmisi.

Nilai QoS yang baik menjadi indikator utama bahwa jaringan bekerja secara optimal dan mampu melayani kebutuhan pengguna.

3. Mikrotik

Mikrotik merupakan perangkat lunak, sekaligus sistem oprasi yang dapat digunakan untuk menjadikan komputer dapat berfungsi sebagai jaringan, pengendali, atau pengatur lalulintas antar jaringan komputer[23].

Fungsi Mikrotik :

- a. Konfigurasi Jaringan local
- b. Autentikasi Sistem
- c. Sebagai Hotspot

- d. Mengelola Jaringan
- e. Pembuatan PPPoE Server
- f. Memaksimalkan Bandwidth Traffic Internasional dengan lokal

4. Load balancing

Load balance digunakan untuk mendistribusikan beban trafik koneksi pada dua atau lebih jalur koneksi secara seimbang agar trafik berjalan optimal, sehingga dapat memaksimalkan *throughput bandwidth* yang didapat dari provider. Selain itu *load balance* dapat digunakan untuk memperkecil waktu tanggap dan menghindari *overload* pada salah satu jalur koneksi. Salah satu fungsi *load balancing* adalah agar website tidak mengalami *down* atau gangguan meskipun trafik jaringan melonjak drastis[24].

Hal ini dikarenakan beban trafik tersebut tidak hanya ditanggung oleh salah satu server saja, melainkan terbagi secara merata. Adapun tujuan utama *load balancing* adalah untuk mengoptimalkan kinerja sekaligus mengatasi berbagai gangguan pada database, aplikasi, maupun situs web.

Ada beberapa metode *load balance* yang bisa kita gunakan, diantaranya :

a. ECMP (Equal-Cost Multiple Path) Equal Cost Multi Path (ECMP)

Load balancing ECMP (*Equal Cost Multi-Path*) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendistribusikan lalu lintas jaringan secara merata melalui beberapa jalur yang memiliki biaya (*cost*) yang sama[25].

Definisi Teknis:

- 1) ECMP mensyaratkan bahwa jalur-jalur tersebut harus memiliki "biaya" (*cost*) yang setara berdasarkan metrik protokol routing (misalnya *hop count* pada OSPF atau *distance* pada *static routing*)[3].
- 2) Implementasi pada Mikrotik
- 3) Pada Mikrotik RouterOS, ECMP diimplementasikan melalui *Static Routing* dengan menambahkan beberapa entri gateway pada satu aturan routing, atau menggunakan Routing Marks dengan nilai *Distance* yang sama[26].
- 4) *Distance*: Menentukan prioritas rute. Nilai sama = ECMP.
- 5) *Check Gateway*: Mekanisme untuk mendeteksi ketersediaan jalur (ping/arp).

Keterbatasan ECMP pada Link Heterogen:

Secara teoritis, ECMP mengasumsikan jalur memiliki kualitas setara. Jika satu jalur memiliki *latency* jauh lebih tinggi (misal LTE vs Fiber), router tetap akan mendistribusikan *flow* ke jalur tersebut selama status *gateway* "aktif". Hal ini dapat menyebabkan *flow* tertentu mengalami *latency* tinggi meskipun jalur lain kosong[25].

Adapun alasan menggunakan metode ECMP pada penelitian :

- 1) ECMP Sesuai untuk Implementasi Multi-ISP
- 2) ECMP Memiliki *Overhead* Routing Rendah
- 3) ECMP Mendukung *Failover* Otomatis
- 4) ECMP Efektif untuk Distribusi Trafik Dasar
- 5) ECMP Memiliki Implementasi Lebih Sederhana

Metode *Equal Cost Multi Path* (ECMP) dipilih karena mampu mendistribusikan trafik jaringan melalui beberapa jalur dengan *cost routing* yang sama secara simultan. Selain memiliki mekanisme implementasi yang relatif sederhana, ECMP juga mendukung *failover* otomatis dan memiliki *overhead routing* yang rendah sehingga sesuai diterapkan pada perangkat MikroTik skala kecil hingga menengah. Selain itu, penggunaan ECMP pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas distribusi trafik pada jaringan dual-ISP berbasis Fiber Optic dan LTE yang memiliki karakteristik heterogen, khususnya terhadap parameter *Quality of Service* (QoS) seperti throughput, delay, jitter, dan packet loss

b. *PCC (Per-Connection Classifier)*

Per Connection Classifier (PCC) adalah metode load balancing pada router (khususnya MikroTik) yang bekerja dengan cara mengklasifikasikan koneksi jaringan berdasarkan parameter tertentu, kemudian mendistribusikannya ke beberapa jalur (*gateway*) secara konsisten[27].

1) Parameter klasifikasi yang umum digunakan meliputi:

- a) *Source IP Address*
- b) *Destination IP Address*
- c) *Source Port*
- d) *Destination Port*

2) Mekanisme Kerja PCC

Secara teknis, PCC bekerja melalui proses berikut:

- a) Paket pertama dari koneksi dianalisis oleh router
- b) Router melakukan *hashing* terhadap parameter koneksi
- c) Koneksi diberi tanda (*connection mark*)
- d) Semua paket berikutnya dalam koneksi yang sama akan mengikuti jalur yang sama

3) Implikasi dari mekanisme ini:

- a) Menjaga *session persistence (stateful)*
- b) Menghindari *packet reordering*
- c) Meningkatkan stabilitas koneksi TCP

c. *NTH*

NTH sendiri adalah sebuah fitur pada firewall yang digunakan sebagai penghitung (*counter*) dari paket data atau koneksi (*packet new*). Ada dua parameter utama dari NTH ini, yaitu "Every" dan "Packet"[28].

Every merupakan parameter penghitung (*counter*) sedangkan *Packet* adalah penunjuk paket seberapa rule dari NTH ini akan dijalankan. Dengan demikian penggunaan NTH ini dilakukan dengan mengaktifkan *counter* pada *mangle*, kemudian ditandai dengan '*Route-Mark*'. Sehingga dengan route mark ini digunakan sebagai dasar untuk membuat policy route[28].

- 1) Mekanisme Kerja NTH, Langkah kerja NTH:
 - a) Router menghitung urutan koneksi masuk
 - b) Menggunakan parameter nth (misal 2,1 atau 3,1)
 - c) Menentukan *gateway* berdasarkan urutan tersebut
 - d) Trafik didistribusikan secara bergantian[29]
- 2) Karakteristik utama:
 - a) Tidak menggunakan hashing
 - b) Tidak mempertahankan koneksi pada jalur yang sama
 - c) Bersifat stateless[29]

5. *Quality of Service (QoS)*

QoS adalah kemampuan jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik untuk trafik tertentu. Penelitian ini mengacu pada standar ITU-T Recommendation Y.1541 yang mendefinisikan tujuan kinerja jaringan untuk layanan berbasis IP[30].

Parameter Pengukuran:

Throughput: Jumlah data yang berhasil ditransfer per satuan waktu.

- a. Standar: Harus mendekati kapasitas bandwidth yang disepakati.
- b. Latency (Delay): Waktu yang dibutuhkan paket untuk bergerak dari sumber ke tujuan.
- c. Standar ITU-T Y.1541: Kelas 0 (Real-time) ≤ 100 ms.
- d. Jitter: Variasi dari latency. Penting untuk layanan real-time (VoIP/Video).
- e. Standar ITU-T Y.1541: Kelas 0 ≤ 50 ms.
- f. Packet Loss: Persentase paket yang hilang selama transmisi.
- g. Standar ITU-T Y.1541: Kelas 0 $\leq 0.05\%$.