Analisis Perbandingan Teknik *Load Balancing Equal Cost Multi Path* Pada Perangkat Mikrotik dan *Smart Balancing* Pada Perangkat Ruijie Reyee

1st Sumanto Lesmana Putra
Faculty of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
sumantolesmana@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rd. Rohmat Saedudin
Faculty of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
rdrohmat@telkomuniversity.ac.id

3rd Adityas Widjajarto
Faculty of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
adtwjrt@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Pengguna internet Indonesia diperkirakan akan mencapai lebih dari 221 juta pada tahun 2024, meningkatkan kebutuhan akan koneksi internet yang cepat dan stabil. Teknologi load balancing, seperti Equal Cost Multi Path dan Smart Balancing, diadopsi secara luas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai dan membandingkan seberapa baik dua metode load balancing bekerja: Equal Cost Multi Path (ECMP) pada perangkat MikroTik dan penyeimbangan pintar pada perangkat Ruijie Reyee. Untuk mencapai tujuan ini, metode penelitian ini melibatkan model konseptual Hevner untuk menganalisis dan membandingkan kinerja load balancing ECMP pada perangkat MikroTik dan Smart Balancing pada perangkat Ruijie Reyee dalam konteks jaringan yang sama. Selanjutnya, siklus pengembangan jaringan (NDLC) diterapkan, yang meliputi identifikasi, desain, simulasi, implementasi, pemantauan, dan manajemen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Smart Balancing lebih efektif dalam memberikan kualitas layanan dengan semua aplikasi dalam status aktif-aktif (AA) memperoleh kategori "Sangat Baik" dengan nilai rata-rata 1,00-1,25, sama atau lebih baik dari ECMP, kecepatan perpindahan penyedia layanan internet Smart Balancing mencatat waktu perpindahan rata-rata sekitar 5,88 detik, lebih cepat dari ECMP yang mencapai 6,99 detik, dan kestabilan koneksi terutama saat bandwidth rendah. Hasil keseluruhan pengujian load balancing Smart Balancing menunjukkan kinerja yang lebih konsisten dan efisien dalam mengelola lalu lintas data, sehingga memberikan kualitas layanan yang lebih optimal dibandingkan dengan Equal Cost Multi Path. Penerapan teknik load balancing Smart Balancing tidak hanya meningkatkan kualitas layanan tetapi juga mudah dalam hal konfigurasi dan implementasi.**

***Kata kunci*— Load Balancing; Equal Cost Multi Path (ECMP); Smart Balancing; MikroTik; Ruijie Reyee; Quality of Service (QoS); Network Development Lifecycle (NDLC).**

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan koneksi internet yang cepat dan stabil semakin meningkat seiring dengan bertambahnya aktivitas daring seperti pendidikan, bisnis, dan komunikasi. Berdasarkan data APJII, jumlah pengguna internet di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 221 juta jiwa pada tahun 2024[1]. Untuk mengatasi tantangan dalam pengelolaan trafik jaringan, teknologi load balancing menjadi salah satu solusi yang banyak diadopsi oleh institusi dan organisasi, terutama dalam lingkungan yang menggunakan lebih dari satu jalur ISP.

Teknik yang sering digunakan adalah *equal cost multi path* (ECMP) pada perangkat MikroTik dan *smart balancing* pada perangkat Ruijie Reyee.[2][3][4][5][6][7] Meskipun keduanya bertujuan untuk mendistribusikan trafik secara efisien, terdapat perbedaan mendasar pada mekanisme kerja dan adaptabilitasnya terhadap kondisi jaringan yang dinamis. Namun, informasi mengenai perbandingan performa keduanya dalam skenario jaringan nyata masih terbatas, terutama pada kondisi gangguan jalur dan beban trafik tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan performa *equal cost multi path* (ECMP) dan *smart balancing* melalui simulasi jaringan nyata menggunakan pendekatan *network development lifecycle* (NDLC).[8] Pengujian meliputi simulasi sistem *failover* dengan uji ping dan *speedtest*, serta pengujian *quality of service* (QoS) menggunakan aplikasi video conference untuk mengukur *delay, jitter, packet loss,* dan *throughput*. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan gambaran yang bermanfaat bagi institusi dalam memilih strategi load balancing yang sesuai dengan kebutuhan.

I. KAJIAN TEORI

A. *Load Balancing*

Teknik *load balancing* adalah teknik di mana *bandwidth* dari kedua atau lebih koneksi ISP digabungkan untuk memenuhi kebutuhan *bandwidth*. Penyeimbangan beban diterapkan untuk mendistribusikan beban lalu lintas jaringan ke beberapa jalur yang tersedia, yang dapat meningkatkan kapasitas, mempercepat waktu respons, dan menghindari kemacetan lalu lintas yang berlebihan.[5][9]

B. *Quality of Service*

Quality of service (QoS) adalah konsep yang sangat penting dalam manajemen jaringan, Terutama untuk aplikasi yang membutuhkan performa jaringan maksimal. Evaluasi kualitas layanan dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti penundaan, variabilitas penundaan, kehilangan paket, dan kap *delay, jitter, packet loss*, dan *throughput*. Faktor-faktor ini memberikan pemahaman yang jelas tentang kinerja jaringan dan membantu pengguna mencapai akses Internet yang lebih baik[9]

Nilai-nilai *quality of service* (QoS) yang ditetapkan berdasarkan standar kualitas jaringan dari *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network* (TIPHON) [10] dapat dilihat pada TABEL 1

TABEL 1

(Standar jaringan berdasarkan TIPHON)

Indeks	Persentase	Kategori
1-1,99	95-100%	Sangat Baik
2-2,99	75-94,79%	Baik
3-3,79	50-74,75%	Sedang
3,8-4	25-49,75%	Buruk

Adapun beberapa parameter yang akan digunakan yaitu:

1. *Delay*

Delay atau bisa disebut juga sebagai *latency* adalah waktu yang dibutuhkan untuk sebuah paket data berpindah dari sumber ke tujuan.

$$\text{Rata - rata } delay = \frac{\text{Jumlah } latency}{\text{jumlah paket diterima}}$$

TABEL 2

(Standar jaringan berdasarkan nilai delay)

Indeks	*Delay* (ms)	Kategori
1	< 150 m/s	Sangat Baik
2	150 m/s - 300 m/s	Baik
3	300 m/s - 450 m/s	Sedang
4	> 450 m/s	Buruk

2. *Jitter*

Jitter adalah variasi dalam waktu pengiriman paket data. Dalam jaringan yang ideal, semua paket tiba dalam urutan dan waktu yang konsisten.

$$Jitter = \frac{\text{Total variasi } Latency}{\text{Total paket diterima}}$$

TABEL 3

(Standar jaringan berdasarkan nilai jitter)

Indeks	*Jitter* (ms)	Kategori
1	0 m/s	Sangat Baik
2	< 75 m/s	Baik
3	75 m/s - 125 m/s	Sedang
4	> 125 m/s	Buruk

3. *Packet Loss*

Packet loss terjadi ketika satu atau lebih paket data hilang selama transmisi. Kehilangan paket dapat mengakibatkan gangguan dalam komunikasi dan penurunan kualitas layanan.

$$Packet\ loss = \frac{(\text{Paket dikirim} - \text{Paket diterima})}{\text{Paket yang dikirim}}\ x\ 100\%$$

TABEL 4

(Standar jaringan berdasarkan nilai packet loss)

Indeks	*Packet Loss* %	Kategori
1	< 2%	Sangat Baik
2	3 - 14%	Baik
3	15 - 24%	Sedang
4	> 25%	Buruk

4. *Throughput*

Throughput adalah jumlah data yang berhasil ditransfer dari sumber ke tujuan dalam periode waktu tertentu. QoS berfokus pada peningkatan *throughput* dengan mengoptimalkan penggunaan *bandwidth* dan mengurangi kemacetan jaringan. Berikut merupakan rumus untuk mencari perhitungan *throughput* dan detil kategori *throughput* dapat dilihat pada Tabel II-6.

$$Throughput = \frac{\text{Jumlah data yang dikirim (Bytes)}}{\text{waktu pengiriman data (s)}}$$

TABEL 5

(Standar jaringan berdasarkan nilai throuhput)

Indeks	*Throughput* %	Kategori
1	100%	Sangat Baik
2	75%	Baik
3	50%	Sedang
4	25%	Buruk

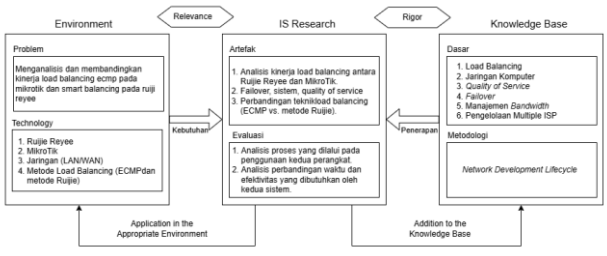
C. *Internet Service Provider*

Internet service provider (ISP) adalah penyedia jasa layanan internet, memainkan peran penting dalam menyediakan konektivitas yang memungkinkan individu dan bisnis untuk terhubung ke jaringan global. Internet yang tersedia untuk masyarakat, terutama di wilayah perkotaan, disediakan oleh perusahaan yang dikenal sebagai Penyedia Layanan Internet atau *internet service provider* (ISP). Jaringan yang mereka tawarkan mencakup koneksi regional maupun internasional, memungkinkan pelanggan untuk terhubung dengan mudah ke berbagai bagian dunia.[11][12][13]

II. METODE

A. Model Konseptual Hevner

Metodologi penelitian melibatkan berbagai elemen penting yang saling berhubungan untuk memastikan bahwa penelitian dilaksanakan dengan cara yang sistematis.



GAMBAR 1

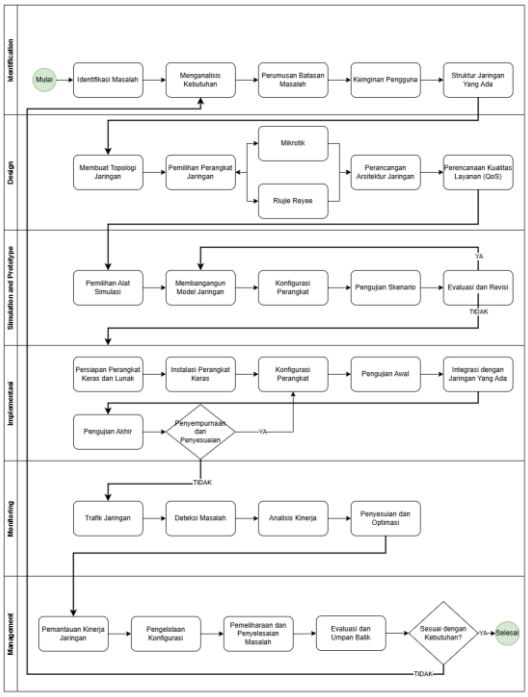
(Model konseptual hevner)

Model konseptual ini menggambarkan kerangka kerja untuk menganalisis dan membandingkan kinerja load ECMP pada perangkat MikroTik dan *smart balancing* pada perangkat Ruiji Reyee dalam konteks jaringan yang serupa. Fokus utama penelitian ini adalah untuk analisis kinerja *load balancing* pada kedua perangkat dalam lingkungan jaringan yang sama. Teknologi yang digunakan mencakup Ruijie Reyee,

MikroTik, jaringan, serta metode *load balancing* seperti ECMP dan metode Ruijie Reyee

B. Sistematika Penyelesaian Masalah

Sistematika penyelesaian masalah bertujuan untuk menjelaskan tahapan penelitian yang terkait dengan perancangan dan pemilihan perangkat jaringan. Metodologi yang dipilih dalam penelitian ini, yang juga dikenal sebagai sistematika penyelesaian masalah, adalah *network development lifecycle* (NDLC). Berikut ini adalah gambaran tahapan dari metode NDLC.



GAMBAR 2

(Sistematika penyelesaian masalah)

Sistematika penyelesaian masalah bertujuan untuk menjelaskan tahapan penelitian yang terkait dengan perancangan dan pemilihan perangkat jaringan. Metodologi yang dipilih dalam penelitian ini, yang juga dikenal sebagai sistematika penyelesaian masalah, adalah *network development lifecycle* (NDLC). Berikut ini adalah gambaran tahapan dari metode NDLC.

1. *Identification*

Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan untuk memahami kebutuhan dan masalah yang ada dalam jaringan. Peneliti menentukan masalah yang dihadapi, seperti kecepatan akses dan kestabilan koneksi, serta menganalisis kebutuhan pengguna dan spesifikasi teknis yang diperlukan. Selain itu, peneliti menetapkan batasan proyek dan menganalisis struktur jaringan yang ada untuk merencanakan integrasi dengan perangkat baru, termasuk penerapan teknik *load balancing* dan penggunaan perangkat MikroTik dan Ruijie Reyee

2. *Design*

Setelah identifikasi, peneliti merancang topologi jaringan yang sesuai dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Ini mencakup pemilihan perangkat yang digunakan, seperti prioritas dalam penggunaan *bandwidth* MikroTik dan Ruijie Reyee. Peneliti juga membuat diagram arsitektur jaringan dan merancang pengaturan *quality of service* (QoS) untuk memastikan aplikasi kritis mendapatkan

3. *Simulation*

Di tahap ini, peneliti memilih perangkat lunak simulasi untuk memodelkan jaringan yang dirancang. Peneliti membangun model jaringan virtual dan mengonfigurasi perangkat sesuai spesifikasi. Pengujian berbagai skenario trafik dilakukan untuk mengevaluasi kinerja jaringan, dan hasil simulasi dianalisis untuk melakukan revisi desain jika diperlukan

4. *Implementation*

Pada tahap implementasi, peneliti memastikan semua perangkat diperlukan tersedia dan siap digunakan. Peneliti melakukan pemasangan perangkat seperti MikroTik dan Ruijie Reyee, serta konfigurasi Teknik *load balancing* sesuai desain. Pengujian awal dilakukan untuk memastikan semua perangkat berfungsi dengan baik, dan integrasi dengan jaringan yang ada dilakukan jika diperlukan. Setelah itu dilakukan lagi pengujian akhir

5. *Monitor*

Setelah implementasi, peneliti menggunakan alat pemantauan untuk mengawasi kinerja jaringan secara *real-time*. Peneliti memantau trafik untuk mengidentifikasi pola penggunaan dan mendeteksi masalah, seperti *delay* tinggi. Analisis kinerja dilakukan secara berkala untuk memastikan jaringan berfungsi sesuai standar, dan penyesuaian dilakukan berdasarkan data yang dikumpulkan

6. *Management*

Tahap terakhir adalah manajemen, di mana peneliti mengawasi kinerja jaringan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. Peneliti mengelola dan mendokumentasikan konfigurasi perangkat, melakukan pemeliharaan rutin, dan menyelesaikan masalah yang muncul. Evaluasi berkala dilakukan untuk mengumpulkan umpan balik dari pengguna dan melakukan perbaikan berkelanjutan.

C. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian akan mencakup dua jenis data yang digunakan, yaitu primer maupun sekunder. Peneliti akan mengidentifikasi partisipan yang relevan, menjelaskan observasi yang diperlukan. Teknik pengumpulan data Primer dilakukakan secara langsung menggunakan aplikasi wireshark[14], pengukuran dilakukan pada dua perangkat MikroTik dan Ruiji Reyee dengan bandwidth masing-masing 10M, 5M, 2M, 1M, 512K dan 256K. Data sekunder mengacu pada informasi yang telah dikumpulkan dan diambil sebelumnya oleh peneliti dari berbagai sumber, yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan penelitian.

D. Alasan Pemilihan Metode

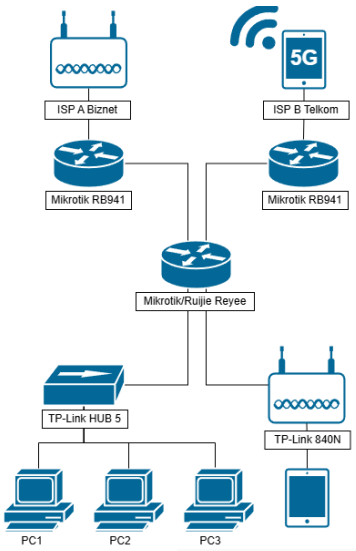
Dalam penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode kuantitatif akan penulis gunakan untuk mengukur kinerja *load balancing* dari perangkat Ruijie Reyee dan MikroTik secara objektif, sedangkan metode kualitatif digunakan untuk mendapatkan wawasan mendalam dari pengguna mengenai pengalaman dalam menggunakan kedua perangkat tersebut. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh data yang lengkap dan mendetail, sehingga dapat memberikan rekomendasi yang lebih tepat dan relevan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil pengujian dan pengukuran *quality of service* yang telah dilakukan dengan teknik *load balancing* ECMP dan *smart balancing.*

A. Topologi Jaringan yang Digunakan

Pada tahap ini, dilakukan perancangan dan persiapan lingkungan pengujian untuk mengimplementasikan serta menganalisis performa dua metode *load balancing*, yaitu *equal cost multi path* (ECMP) dan *smart balancing*, pada perangkat MikroTik. Tujuan utama dari tahap ini adalah membangun sebuah skenario jaringan yang realistis dan representatif untuk menguji efektivitas kedua metode dalam mengelola trafik internet dari dua jalur ISP secara optimal,



GAMBAR 3
(Topologi load balancing)

B. Pengujian Speedtest

Pengujian *Speedtest* dilakukan untuk mengukur kinerja masing-masing jalur ISP pada metode ECMP dan *smart balancing* dalam hal *bandwidth download* dan *upload* pada berbagai skenario. Hasil yang diperoleh menunjukkan variasi yang signifikan, baik pada kecepatan unduh maupun unggah, tergantung pada status koneksi ISP. Berikut adalah hasil data *speedtest* dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel V-1

TABEL 6
(Hasil analisis pengujian speedtest pada teknik ECMP)

ECMP							
ISP Status		*Bandwidth* (Mbps)					
		Max Download		Total	*Max Upload*		Total
Biznet	Telkom	Biznet	Telkom		Biznet	Telkom	
Active	*Active*	10.1	7.8	15.91	10.3	7.5	9.69
Active	*Loss*	9.3	0	9.73	11.9	0	9.69
Loss	*Active*	0	10.7	8.2	0	10.2	9.54

Pada pengujian ECMP terlihat bahwa pembagian beban sedikit tidak merata, hal ini dilihat pada saat download dengan active (Biznet) - active (Telkom) isp Telkom meberikan bandwidth 7,8 Mbps, sedangkan jika loss (Biznet) - active (Telkom) 10,7 Mbps. Begitu juga pada hasil speedtest upload. Tetapi distribusi tetap trafik dilakukan secara merata ke dua jalur ISP jika keduanya aktif. Hal ini terbukti efektif pada scenario active-active, di mana bandwidth total download tercatat 15.91 Mbps dan upload 10.3 Mbps. Hal ini menunjukkan bahwa ECMP berhasil memanfaatkan kedua jalur secara optimal walaupun tidak merata.

Berikut adalah hasil data speedtest dari pengujian load balancing smart balancing yang dapat dilihat pada Tabel V-2.

TABEL 7
(Hasil analisis pengujian speedtest pada teknik smart balancing)

Smart Balancing							
ISP Status		*Bandwidth* (Mbps)					
		Max Download		Total	*Max Upload*		Total
Biznet	Telkom	Biznet	Telkom		Biznet	Telkom	
Active	*Active*	8.59	8.72	17.13	6.36	7.24	16.27
Active	*Loss*	8.78	0	8.68	6.85	0	8.6
Loss	*Active*	0	7.91	8.58	0	7.45	7.79

Pada *smart balancing*, distribusi trafik dilakukan berdasarkan performa *real-time* kedua jalur ISP. Pada scenario *active-active*, *smart balancing* menghasilkan 17.13 Mbps untuk *download* dan 16.27 Mbps untuk *upload*, yang lebih tinggi dibandingkan dengan ECMP, menunjukkan bahwa *smart balancing* lebih optimal dalam memanfaatkan kedua jalur secara bersamaan.

C. Pengujian Ping

Pengujian ping ICMP dilakukan pada tiga situs utama yaitu Microsoft Teams, Zoom Meeting, dan Google Meet dengan berbagai skenario pengujian menggunakan ECMP dan *smart balancing*. Berikut adalah hasil data ping dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel V-3

TABEL 8
(Hasil analisis pengujian ping pada teknik ECMP)

ECMP					
Nama Aplikasi	*statuses*	Jalur Yang Digunakan		Hasil	
		Biznet	Telkom	*Receive*	*Avg* (ms)
Ms Teams	AA	0	1	193	54
	LA	1	0	200	22
	AL	0	1	200	46
Zoom	AA	1	0	200	6
	LA	1	0	200	6
	AL	0	1	200	37
Google Meet	AA	1	0	200	19
	LA	1	0	200	19
	AL	0	1	200	35

Pada pengujian ECMP, penulis melihat bahwa setiap perangkat memiliki prilaku yang sama Ketika dilakukan ping, Dimana akan memilih satu jalur isp. Hal ini dapat dilihat pada skenario *active-active*, di mana Microsoft Teams mengirimkan 200 paket dengan 193 paket diterima dan 7 paket hilang, serta waktu respons *avg* 54 ms. Meskipun ada sedikit kehilangan paket, lonjakan waktu respons yang tinggi menunjukkan ketidakseimbangan dalam distribusi lalu lintas data, yang mengarah pada performa yang kurang stabil.

TABEL 9

(Hasil analisis pengujian ping pada teknik smart balancing)

Smart Balancing					
Aplikasi	*statuses*	Jalur Yang Digunakan		Hasil	
		Biznet	Telkom	*Receive*	*Avg* (ms)
Ms Teams	AA	1	0	200	21
	LA	1	0	199	21
	AL	0	1	199	41
Zoom	AA	0	1	200	36
	LA	1	0	200	6
	AL	0	1	200	31
Google Meet	AA	0	1	200	19
	LA	1	0	200	19
	AL	0	1	198	41

Pada pengujian *smart balancing*, penelis melihat bahwa setiap perangkat memiliki prilaku yang sama Ketika dilakukan ping, Dimana akan memilih satu jalur isp. Hal ini dapat dilihat pada skenario *active-active*, di mana Microsoft Teams berhasil mengirim dan menerima 200 paket dengan *avg* 21 ms, menunjukkan kinerja jaringan yang stabil dengan *delay* rendah. *smart balancing* mampu memanfaatkan kapasitas kedua jalur secara efisien.

D. Waktu Perpindahan ISP

Berikut adalah hasil data lama waktu perpindahan isp dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel

TABEL 10

(Hasil analisis waktu perpindahan isp pada teknik ECMP)

ECMP							
Aplikasi	Status	Waktu perpindahan (detik)					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AL	4,86	4,48	4,38	3,24	4,19	4,19
	LA	8,12	7,88	6,84	7,13	7,45	7,18
Ms Teams	AL	7,68	14,33	12,17	14,53	8,20	11,28
	LA	6,83	8,43	8,87	7,96	8.57	8,87
Zoom	AL	4,28	4,65	4,43	4,32	3,85	4,57
	LA	5,97	6,43	6,31	6,41	6,75	6,29

Berikut adalah hasil data lama waktu perpindahan isp dari pengujian *load balancing smart balancing* yang dapat dilihat pada Tabel V-6.

TABEL 11

(Hasil analisis waktu perpindahan isp pada teknik smart balancing)

Smart Balancing							
Aplikasi	Status	Waktu perpindahan (detik)					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AL	7,40	2,85	3,72	4,54	4,77	3,39
	LA	2,38	4,15	3,24	8,59	7,64	6,46
Ms Teams	AL	5,89	7,64	5,48	3,05	6,55	8,84
	LA	8,25	7,32	8,61	9,24	8,47	8,81
Zoom	AL	3,31	5,56	4,41	5,23	3,63	4,28
	LA	5,87	6,22	5,80	6,64	6,66	6,64

Analisis hasil pengujian terhadap dua teknik load balancing, yakni Equal Cost Multi Path (ECMP) dan Smart Balancing, menunjukkan karakteristik berbeda dalam hal waktu perpindahan ISP. Smart Balancing menunjukkan waktu perpindahan yang lebih stabil dan konsisten pada aplikasi Google Meet (2,38-8,59 detik) dan Zoom (3,31-6,66 detik) dibandingkan ECMP yang mencatatkan waktu perpindahan Google Meet (3,24-8,12 detik) dan Zoom (4,28-6,75 detik), khususnya pada bandwidth rendah (256K hingga 1M). Namun, dalam aplikasi Ms Teams, ECMP lebih cepat terutama dalam skenario LA (6,83-8,87 detik) dibanding Smart Balancing (7,32-9,24 detik).

E. Pengujian Quality of Service Delay

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada aplikasi *video* Berikut adalah hasil data *delay* dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel V-8.

TABEL 12

(Hasil analisis pengujian delay pada teknik ECMP)

ECMP							
Aplikasi	Status	*Delay (ms)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	0,81	0,86	1,47	2,22	3,20	2,92
	AL	0,93	1,05	1,94	1,95	2,14	2,40
	LA	0,72	0,96	1,56	2,08	2,25	2,84
Ms Teams	AA	2,83	1,87	2,19	4,42	4,06	9,50
	AL	1,62	1,81	3,02	4,93	6,11	7,20
	LA	2,63	2,03	3,78	6,59	13,08	8,43
Zoom	AA	2,39	2,20	1,82	1,91	2,15	4,98
	AL	1,42	1,59	1,21	1,61	3,18	5,34
	LA	1,32	1,67	2,90	2,61	5,79	46,90

Berikut adalah hasil data *delay* dari pengujian *load balancing smart balancing* yang dapat dilihat pada Tabel V-8.

TABEL 13

(Hasil analisis pengujian delay pada teknik smart balancing)

Smart balancing							
Aplikasi	Status	*Delay (ms)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	0,64	0,94	1,41	1,80	2,46	2,12
	AL	0,75	0,84	1,42	1,78	1,81	2,49
	LA	0,95	1,15	1,91	2,51	3,66	3,34
Ms Teams	AA	1,68	1,75	3,11	3,92	4,17	7,83
	AL	2,55	1,75	2,39	3,69	6,21	10,01
	LA	2,67	1,87	2,64	3,34	5,97	8,56
Zoom	AA	1,78	1,69	1,97	2,47	3,23	3,87
	AL	1,22	1,25	1,75	2,55	3,89	8,39
	LA	1,98	1,70	1,72	2,42	5,34	5,06

Hasil pengujian delay menunjukkan bahwa kedua metode mengalami peningkatan signifikan seiring penurunan bandwidth. Secara umum, Smart Balancing mencatatkan hasil lebih baik dengan delay Google Meet (0,64-3,66 ms) dan Zoom (1,22-8,39 ms) dibandingkan ECMP dengan delay Google Meet (0,72-3,20 ms) dan Zoom (1,32-46,90 ms). Pada aplikasi Ms Teams, meskipun kedua metode mengalami kenaikan delay signifikan pada bandwidth rendah, Smart Balancing sedikit lebih unggul (1,68-10,01 ms) dibanding ECMP (1,62-13,08 ms).

F. Pengujian Quality of Service Jitter

Berikut adalah hasil data *jitter* dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada

TABEL 14

(Hasil analisis pengujian jitter pada teknik ECMP)

Aplikasi	Status	*Jitter (ms)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	0,24	0,26	0,44	0,67	0,96	0,88
	AL	0,28	0,31	0,58	0,59	0,64	0,72
	LA	0,22	0,29	0,47	0,62	0,68	0,85
Ms Teams	AA	0,85	0,56	0,66	1,32	1,22	2,85
	AL	0,48	0,54	0,90	1,48	1,83	2,16
	LA	0,79	0,61	1,13	1,98	3,92	2,53
Zoom	AA	0,72	0,66	0,55	0,57	0,64	1,49
	AL	0,43	0,48	0,36	0,48	0,95	1,60
	LA	0,39	0,50	0,87	0,78	1,74	14,07

Berikut adalah hasil data *jitter* dari pengujian *load balancing smart balancing* yang dapat dilihat pada Tabel V-11.

TABEL 15

(Hasil analisis pengujian jitter pada teknik smart balancing)

Smart Balancing							
Aplikasi	Status	*Jitter (ms)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	0,19	0,28	0,42	0,54	0,74	0,63
	AL	0,23	0,25	0,43	0,53	0,54	0,75
	LA	0,28	0,34	0,57	0,75	1,10	1,00
Ms Teams	AA	0,51	0,53	0,93	1,18	1,25	2,35
	AL	0,77	0,53	0,72	1,11	1,86	3,00
	LA	0,80	0,56	0,79	1,00	1,79	2,57
Zoom	AA	0,53	0,51	0,59	0,74	0,97	1,16
	AL	0,36	0,38	0,52	0,76	1,17	2,52
	LA	0,59	0,51	0,52	0,73	1,60	1,52

Hasil analisis jitter memperlihatkan bahwa Smart Balancing memberikan kestabilan lebih baik dibanding ECMP, terutama pada kondisi bandwidth rendah. Smart Balancing mencatat jitter Google Meet (0,19-1,10 ms) dan Zoom (0,36-2,52 ms) lebih rendah dibanding ECMP dengan jitter Google Meet (0,22-0,96 ms) dan Zoom (0,39-14,07 ms).

G. Pengujian Quality of Service Packet Loss

Berikut adalah hasil data *packet loss* dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel V-13.

TABEL 16

(Hasil analisis pengujian packet loss pada teknik ECMP)

ECMP							
Aplikasi	Status	*Packet Loss (%)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	5,24	4,68	7,57	10,58	14,34	11,75
	AL	6,25	5,06	9,24	7,89	8,71	11,62
	LA	5,73	6,69	9,44	11,21	9,00	11,56
Ms Teams	AA	2,83	5,46	6,04	16,80	10,35	13,22
	AL	6,90	5,69	8,63	13,05	16,77	21,26
	LA	10,67	5,98	11,55	21,26	40,93	25,04
Zoom	AA	16,27	16,51	28,81	24,84	15,66	24,57
	AL	47,72	50,14	17,54	8,20	25,15	20,19
	LA	58,85	49,98	41,29	27,72	37,56	78,72

Berikut adalah hasil data *packet loss* dari pengujian *load balancing smart balancing* yang dapat dilihat pada Tabel V-14.

TABEL 17

(Hasil analisis pengujian packet loss pada teknik smart balancing)

Smart Balancing							
Aplikasi	Status	*Packet Loss (%)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	2,75	3,85	5,02	5,68	6,29	5,89
	AL	3,17	2,82	4,23	4,36	5,05	4,78
	LA	4,50	4,52	6,90	7,76	7,96	7,29
Ms Teams	AA	6,15	5,78	10,78	16,25	9,35	17,58
	AL	8,98	5,80	7,03	11,80	13,35	22,04
	LA	13,07	7,69	8,17	9,40	16,28	20,27
Zoom	AA	34,78	12,00	8,52	9,50	13,47	16,58
	AL	5,55	11,23	6,71	7,92	11,31	30,29
	LA	9,23	8,46	7,83	7,72	22,65	18,27

Pengujian packet loss menunjukkan bahwa Smart Balancing secara keseluruhan mencatatkan packet loss lebih rendah dibanding ECMP. Khususnya pada aplikasi Zoom, ECMP mencatat packet loss yang tinggi (8,20-78,72%) sementara Smart Balancing lebih rendah signifikan (5,55-34,78%), terutama dalam kondisi bandwidth menengah hingga rendah.

H. Pengujian Quality of Service Throughput

Berikut adalah hasil data *throughput* dari pengujian *load balancing* ECMP yang dapat dilihat pada Tabel V-16.

TABEL 18

(Hasil analisis pengujian *throughput* pada teknik ECMP)

ECMP							
Aplikasi	Status	*Throughput (%)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	95,70	96,50	93,72	89,14	89,14	89,36
	AL	93,46	96,01	90,66	88,95	88,95	89,99
	LA	95,65	95,17	91,39	86,46	86,46	92,49
Ms Teams	AA	98,80	96,29	95,28	88,27	88,27	91,10
	AL	95,47	96,40	93,12	89,23	89,23	67,13
	LA	93,34	96,26	90,34	79,86	79,86	68,78
Zoom	AA	90,77	89,48	75,54	74,26	74,26	79,40
	AL	47,44	40,19	75,61	90,52	90,52	79,55
	LA	38,33	49,02	54,38	72,69	72,69	32,44

Berikut adalah hasil data *throughput* dari pengujian *load balancing smart balancing* yang dapat dilihat pada Tabel V-17.

TABEL 19

(Hasil analisis pengujian *throughput* pada teknik smart balancing)

Smart Balancing							
Aplikasi	Status	*Throughput (%)*					
		10M	5M	2M	1M	512K	256K
Google Meet	AA	98,10	97,40	96,55	95,00	95,14	95,14
	AL	97,30	98,07	95,94	95,50	97,50	97,50
	LA	97,38	97,49	94,55	92,67	95,65	95,65
Ms Teams	AA	96,70	97,10	91,78	89,60	77,83	77,83
	AL	92,98	96,64	94,93	88,60	74,93	74,93
	LA	89,53	95,58	95,10	93,97	76,45	76,45
Zoom	AA	63,44	91,95	96,97	96,81	90,56	90,56
	AL	98,28	91,91	97,99	95,59	75,93	75,93
	LA	97,00	97,65	97,67	95,63	88,53	88,53

Pada parameter throughput, Smart Balancing secara umum memperlihatkan performa lebih baik dibanding ECMP di hampir semua aplikasi dan kondisi bandwidth, kecuali pada aplikasi Zoom bandwidth tinggi (10M) yang menunjukkan anomali performa lebih rendah (63,44%). Namun, pada bandwidth terbatas (256K hingga 1M), Smart Balancing mencatat throughput yang lebih stabil (74,93-97,50%) dibandingkan ECMP (32,44-92,49%).

I. Kategori Quality of Service

Evaluasi *quality of service* (QoS) dilakukan dengan menggabungkan empat parameter utama, yaitu: *delay, jitter, packet loss,* dan *throughput*. Masing-masing parameter diberi indeks kualitas (1–4), di mana nilai 1 menunjukkan kualitas terbaik (Sangat Baik), dan nilai 4 menunjukkan kualitas terburuk (Buruk). Penilaian dilakukan untuk dua skenario *routing*: ECMP dan *smart balancing*. Setelah skor dari keempat parameter dijumlahkan, diperoleh rata-rata indeks untuk masing-masing skenario.

Indeks kategori:
1: Buruk
2: Sedang
3: Baik
4: Sangat Baik

Nilai rata-rata tersebut kemudian dipetakan ke dalam kategori QoS yang dapat dilihat pada Tabel V-19

TABEL 20

(Hasil indeks kategori pengujian *QoS*)

Aplikasi	Status	ECMP		*Smart Balancing*	
		Rata-rata	Kategori Indeks	Rata-rata	Kategori Indeks
Google Meet	AA	1,25	1	1	1
	AL	1,25	1	1	1
	LA	1,25	1	1	1
Ms Teams	AA	1,5	1	1,25	1
	AL	1,5	1	1,25	1
	LA	1,75	1	1,25	1
Zoom	AA	1,75	1	1,25	1
	AL	2,25	2	1,25	1
	LA	2,25	2	1,25	1

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel:

a. Sebagian besar nilai rata-rata indeks untuk ECMP dan *smart balancing* berada pada rentang 1 – 1,99, yang dikategorikan sebagai Sangat Baik.
b. Pada aplikasi Zoom AL dan LA, skema ECMP menunjukkan nilai rata-rata 2,25, yang dikategorikan sebagai Baik, sedangkan *smart balancing* tetap pada kategori Sangat Baik.
c. Hal ini menunjukkan bahwa *smart balancing* memiliki performa yang lebih konsisten dalam menjaga kualitas layanan di tingkat tertinggi.

Dapat dilihat bahwa *smart balancing* cenderung memberikan kualitas layanan yang lebih stabil dan unggul dibandingkan ECMP dalam skenario pengujian yang dilakukan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat kesimpulan sebagai berikut

1. Eksperimen dilakukan menggunakan dua jalur ISP Biznet dan Telkom dengan variasi *bandwidth* 10 Mbps, 5 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps, dan 256 Kbps, untuk mensimulasikan kondisi nyata mulai dari koneksi ideal hingga sangat terbatas.
2. Berdasarkan hasil pengukuran, smart balancing menunjukkan performa *throughput* yang lebih tinggi rata-rata total download 17,13 Mbps dan upload 16,27 Mbps dibanding ECMP 15,91 Mbps download; 10,3 Mbps upload. Rata-rata delay pada Microsoft Teams tercatat 21 ms untuk *smart balancing* hampir tiga kali lebih rendah dari ECMP (54 ms) dan jitter konsisten di bawah 1 ms pada semua skenario. Dari sisi keandalan, *packet loss smart balancing* rata-rata di bawah 7 % di seluruh kondisi, sementara ECMP bisa menembus 10 % saat *bandwidth* menurun. Proses *failover smart balancing* juga lebih cepat (4,2 detik vs. 6,3 detik), sehingga koneksi pulih lebih responsif tanpa *buffering*.
3. Hasil pengujian QoS menujukkan bahwa *smart balancing* secara konsisten lebih unggul dibanding ECMP dengan menjaga *delay* dan *jitter* lebih rendah, *packet loss* lebih sedikit, *throughput* lebih tinggi, serta koneksi lebih stabil di berbagai kondisi terutama saat *bandwidth* menurun karena mekanisme adaptifnya yang memantau performa jalur secara *real-time*.

REFERENSI

[1] A. T. Haryanto, “APJII Jumlah Pengguna Internet Indonesia Tembus 221 Juta Orang.” [Online]. Available: https://inet.detik.com/cyberlife/d-7169749/apjii-jumlah-pengguna-internet-indonesia-tembus-221-juta-orang

[2] R. Pakiding, C. Iswahyudi, and R. Yanwastika Ariyana, “Simulasi Perbandingan Load Balancing Dengan Metode PCC, ECMP, dan NTH Menggunakan GNS3,” 2021.

[3] A. Salim, G. Surono, E. B. Pabelan, and A. Raizaldi, “Penerapan Load Balancing Metode Per Connection Classifier Berbasis Router Mikrotik di PT.Asuransi Jiwa Nasional,” Feb. 2023. [Online]. Available: https://ejournal.kreatifcemerlang.id/index.php/jbpi

[4] A. Mikola, A. C. Nurcahyo, T. Informasi, and S. Bhuana, “Analisis Load Balancing Berbasis Mikrotik Dalam Meningkatkan Kemampuan Server di Institut Shanti Bhuana,” *JIFOTECH (JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY*, vol. 2, no. 2, Sep. 2022.

[5] S. Indratno, “Implementasi Load Balancing Pada Mikrotik Menggunakan Metode Ecmp (Study Kasus : Stie Gentiaras Bandar Lampung),” 2023.

[6] Henry Gao, “Reyee Router: Traffic Balanced, Connection Perfected.” Accessed: Jun. 19, 2025. [Online]. Available: https://reyee.ruijie.com/it-it/blog/reyee-router-traffic-balanced/

[7] Citraweb.com, “[REVIEW] RB450Gx4.” [Online]. Available: https://citraweb.com/artikel/301/

[8] Citraweb.com, “Load Balance Metode ECMP.” [Online]. Available: https://citraweb.com/artikel_lihat.php?id=76

[9] Valia Yoga Pudya Ardhana and M. D. Mulyodiputro, “Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Universitas Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB),” *Journal of Informatics Management and Information Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 70–76, Apr. 2023, doi: 10.47065/jimat.v3i2.257.

[10] ETSI, *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)*. 2000. [Online]. Available: https://www.etsi.org/

[11] Aprilyano Ekklesia Tangkowit, Olivia Eunike Selvie Liando, and Verry Ronny Palilingan, “Analisis Dan Perancangan Jaringan Komputer Di Sekolah Menengah Pertama,” Feb. 2021.

[12] I. Faiz Qathrunada and A. Hamidy, “Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer) Analisis Metro Ethernet Alcatel-Lucent 7750 SR-7 Pada Komunikasi Data Melalui Media Transmisi Fiber Optik,” Aug. 2023, [Online]. Available: https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jis/index

[13] MOH. FAKHRUDIN NASIR, *Analisis Kinerja Load Balancing Jaringan 4G Pada PC Router Mikrotik Menggunakan Metode PCC*. Semarang, 2020.

[14] Muhammad Agus Darmawan, Rahayu Ningsih, and Ahmad Jurnaidi Wahidin, “ANALISIS KEAMANAN JARINGAN TERHADAP SNIFFING MENGGUNAKAN WIRESHARK,” May 2024.