

**ANALISIS KINERJA *EQUAL COST MULTI PATH*(ECMP)
TERHADAP *QUALITY OF SERVICE* PADA INTERKONEKSI
DUAL-ISP FIBER OPTIC DAN LTE
(Studi Kasus DI PP DARUL KAMAL Kesugihan Kidul,
Kesugihan, Cilacap)**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mendapatkan gelar Strata
Satu Program Studi Informatika**



**MOKHAMAD HIDAYATUR ROKHMAN
19552011047**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI
CILACAP
2026**

**ANALISIS KINERJA EQUAL COST MULTI PATH(ECMP)
TERHADAP QUALITY OF SERVICE PADA INTERKONEKSI
DUAL-ISP FIBER OPTIC DAN LTE
(Studi Kasus DI PP DARUL KAMAL Kesugihan Kidul,
Kesugihan, Cilacap)**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mendapatkan gelar Strata
Satu Program Studi Informatika**



**MOKHAMAD HIDAYATUR ROKHMAN
19552011047**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI
CILACAP
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa penulisan skripsi dengan judul Analisis Kinerja *Equal Cost Multipath* (ECMP) Terhadap *Quality Of Service* pada Interkoneksi *Dual-ISP Fiber Optic* dan LTE (Studi Kasus di PP DARUL KAMAL Desa Kesugihan Kidul, Kesugihan, Cilacap) adalah hasil karya saya dengan arahan dari pembimbing dan belum diajukan kepada pihak manapun. Sumber informasi yang dikutip dalam skripsi ini telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila di kemudian hari terdapat ketidaksesuaian dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Cilacap, 12 Agustus 2026



Mokhammad Hidayatur Rokhman
19552011047

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Saudara

Nama : Mokhammad Hidayatur Rokhman
NIM : 19552011047
Fakultas/Prodi : Fakultas MIKOM / Informatika
Judul : Analisis Kinerja *Equal Cost Multipath* (ECMP) Terhadap *Quality Of Service* pada Interkoneksi *Dual-ISP Fiber Optic* dan LTE (Studi Kasus di PP DARUL KAMAL Desa Kesugihan Kidul, Kesugihan, Cilacap)

Telah disidangkan oleh Dewan Penguji Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap pada hari / tanggal :

Rabu, 12 Agustus 2026

Dan dapat diterima sebagai pemenuhan tugas akhir mahasiswa Program Strata Satu (S.1) Program Studi Informatika (S.Kom) Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer (FMIKOM) pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap.

Cilacap, 15 Agustus 2026

Dewan Sidang

Ketua


Dr. M. Khaniif, M.Pd.B.I
NIDN 0617058703

Penguji 1


M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN 2125098601

Pembimbing I


Abdul Haq, M.Cs.
NIDN 0606067701

Sekretaris


M. T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN 2125098601

Penguji 2


Tri Anggoro, M.Kom.
NIDN 0601128103

Pembimbing II


Dr. M. Khaniif, M.Pd.B.I
NIDN 0617058703

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer




Mokhammad T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN. 2125098601

Mochamad T. A Aziz Zein, S.Si., M.Kom.

Dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer
Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap

NOTA KONSULTAN

Hal : Mokhamad Hidayatur Rokhman
Lampiran : -

Yth.
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer
Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap
di
Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

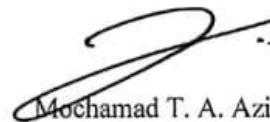
Setelah membaca, memeriksa dan melakukan perbaikan seperlunya maka skripsi saudara:

Nama : Mokhamad Hidayatur Rokhman
NIM : 19552011047
Prodi : Informatika
Judul : Analisis Kinerja *Equal Cost Multipath* (ECMP) Terhadap *Quality Of Service* pada Interkoneksi *Dual-ISP Fiber Optic* dan LTE (Studi Kasus di PP DARUL KAMAL Desa Kesugihan Kidul, Kesugihan, Cilacap)

Dapat diajukan ke Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Strata Satu (S1).

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilacap, 12 Agustus 2026
Konsultan



Mochamad T. A. Aziz Zein, S.Si., M.Kom.
NIDN 2125098601

NOTA PEMBIMBING

Cilacap, 12 Agustus 2026

Yth.
Fakultas Matematika dan Komputer (FMIKOM)
UNUGHA Cilacap
di
Cilacap

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Setelah melakukan bimbingan, telaah, arahan dan koreksi tahap penulisan skripsi saudara:

Nama : Mokhamad Hidayatur Rokhman
NIM : 19552011047
Fakultas : Matematika dan Ilmu Komputer
Prodi : Informatika
Judul : Analisis Kinerja *Equal Cost Multipath* (ECMP) Terhadap *Quality Of Service* pada Interkoneksi *Dual-ISP Fiber Optic* dan LTE (Studi Kasus di PP DARUL KAMAL Desa Kesugihan Kidul, Kesugihan, Cilacap)

Kami berpendapat bahwa skripsi tersebut sudah dapat diajukan ke sidang skripsi. Bersamaan ini kami kirimkan skripsi tersebut, semoga dapat segera disidangkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Mengetahui,

Pembimbing I



Abdul Haq. M.Cs.
NIDN. 0606067701

Pembimbing II



Dr. M.Khanif. M.Pd.B.I
NIDN. 0617058703

HALAMAN MOTO

Yarfa ‘illāhul-ladzīna āmanū minkum walladzīna ūtul-‘ilma darajāt. (QS. Al-Mujādilah: 11)

“Niscaya Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.”

“Barang siapa menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”
(HR. Tirmidzi No. 2646)

“Ilmu merupakan sesuatu yang harus dicari secara sungguh-sungguh, karena melalui ilmu manusia dapat menyempurnakan akal dan memahami kehidupan.”
(Ibnu Sina)

“Pendidikan tidak hanya bertujuan untuk mentransfer pengetahuan, tetapi juga membentuk manusia yang mampu berpikir kritis dan memahami realitas kehidupannya.”
(Paulo Freire)

Logika dan ilmu adalah peta untuk memahami dunia, namun kesabaranlah yang menjadi kendaraan kita untuk sampai pada tujuan (Bang_Rooy54)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT, Rabb semesta alam yang senantiasa memberikan karunia sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini. Karya ini saya persembahkan kepada :

1. Bapak Muhammad Khayun dan Ibu Siti Hadiqoh tercinta, yang dengan penuh kasih sayang senantiasa mendidik, membimbing, mendoakan, memberikan nasihat, serta memberikan dukungan dan semangat yang tiada henti. Segala pengorbanan, ketulusan, dan doa Bapak dan Ibu menjadi kekuatan terbesar bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Adik-adikku tercinta, M. Syamsul Hidayat, Uswatun Khasanah, dan M. Khafid Al Banani, serta seluruh keluarga besar Bani H. Safuan yang senantiasa memberikan doa, perhatian, dukungan, dan semangat di setiap langkah perjuangan penulis..
3. Dosen pembimbing dan seluruh dosen yang telah memberikan ilmu, arahan, bimbingan, serta motivasi selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah hadir dalam suka dan duka, memberikan bantuan, dukungan, semangat, serta kebersamaan selama menjalani proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.
5. Keluarga besar Program Studi Informatika, Sistem Informasi, dan Matematika, serta seluruh keluarga besar UNUGHA yang telah memberikan dukungan, doa, pengalaman, dan semangat selama saya menempuh pendidikan.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, dan kebaikan selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT.
7. Diri sendiri, yang telah berusaha, bertahan, dan terus melangkah dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses perkuliahan hingga skripsi ini dapat diselesaikan. Semoga karya ini menjadi langkah awal untuk terus belajar, berkembang, dan memberikan manfaat bagi orang lain.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari banyak pihak, karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak M.T Abdul Aziz Zein, S.Si., M.Kom, Dekan FMIKOM UNUGHA
2. Bapak Abdul Haq, M.Cs , pembimbing I yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. M. Hanif, M.Pd.B.I pembimbing II yang telah dengan sabar memberikan bimbingan dan petunjuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Tri Anggoro, M.Kom, sebagai Pembimbing Akademis
5. Bapak-Ibu dosen Program Studi Informatika FMIKOM UNUGHA
6. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Amiin. Penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat bagi pembaca.

Cilacap, 12 Agustus 2026



Penulis.

Mokhammad Hidayatur Rokhman

ABSTRAK

MOKHAMAD HIDAYATUR ROKHMAN. Analisis Kinerja Equal Cost Multipath (ECMP) Terhadap *Quality Of Service* Pada Interkoneksi Dual-ISP Fiber Optic Dan LTE (study kasus Di PP DARUL KAMAL Desa Kesugihan Kidul, Kesugihan, Cilacap). Dibimbing oleh Bapak ABDUL HAQ, M.Cs dan Bapak Dr. M. KHANIF, M.Pd.B.I.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan akses internet yang berdampak pada tingginya trafik jaringan, khususnya pada lingkungan Pondok Pesantren Darul Kamal. Berdasarkan hasil observasi, penggunaan single ISP berbasis Fiber Optic dengan kapasitas 100 Mbps menunjukkan kondisi saturasi bandwidth pada jam sibuk, yang ditandai dengan meningkatnya delay, munculnya packet loss, serta penurunan kualitas layanan jaringan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas jaringan tunggal tidak lagi mampu mengakomodasi kebutuhan pengguna secara optimal, sehingga diperlukan solusi berupa interkoneksi dual-ISP dengan mekanisme load balancing.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja metode Equal Cost Multi Path (ECMP) terhadap parameter *Quality of Service* (QoS) pada jaringan dual-ISP yang menggabungkan koneksi Fiber Optic dan LTE. Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimental kuantitatif dengan desain comparative experimental analisis, yaitu membandingkan performa jaringan pada kondisi single ISP dan dual-ISP menggunakan ECMP. Parameter QoS yang diukur meliputi throughput, delay, jitter, dan packet loss berdasarkan standar ITU-T Y.1541.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi *Dual-ISP ECMP* berhasil dibentuk menggunakan dua *default route* dengan *distance* yang sama pada jalur *Fiber Optic* dan *LTE*. Monitoring menunjukkan trafik bersifat dinamis dan *bursty*, dengan rata-rata *Tx* sebesar 5,77 Mbps dan *Rx* sebesar 120,07 kbps pada salah satu periode pengamatan, serta lonjakan *Tx* hingga sekitar 84,2 Mbps. Pada *snapshot* monitoring tidak ditemukan *drops* maupun *errors* pada *interface*. Hasil pengukuran *Wireshark* menunjukkan *RTT* rata-rata sebesar 43,684–78,286 ms, *jitter* sebesar 4,986–46,074 ms, dan *packet loss* pada beberapa tujuan *Internet* sebesar 0,069–0,613%. Namun, terdapat *spike latency* hingga 1.099,470 ms pada salah satu *capture*. Dengan demikian, implementasi *ECMP* dapat digunakan sebagai mekanisme redundansi dan pemanfaatan dua jalur *Internet*, tetapi bukti yang tersedia belum memadai untuk menyimpulkan secara kausal bahwa *ECMP* lebih unggul daripada *Single ISP* pada seluruh parameter QoS.

Kata kunci : Equal Cost Multi Path, interkoneksi dual-ISP, kualitas layanan jaringan, load balancing jaringan, parameter Quality of Service

ABSTRACT

MOKHAMAD HIDAYATUR ROKHMAN. *Analysis of Equal-Cost Multi-Path (ECMP) Performance on Quality of Service in a Dual-ISP Fiber Optic and LTE Interconnection (Case Study at PP Darul Kamal, Kesugihan Kidul Village, Kesugihan District, Cilacap Regency)*. Supervised by Mr. Abdul Haq, M.Cs., and Dr. M. Khanif, M.Pd.B.I.

This research is motivated by the growing need for internet access, which has resulted in high network traffic, particularly within the Darul Kamal Islamic Boarding School environment. Observations revealed that the use of a single Fiber Optic-based ISP with a 100 Mbps capacity led to bandwidth saturation during peak hours, characterized by increased latency, packet loss, and a decline in network service quality. This situation indicates that a single network connection can no longer optimally accommodate user needs, necessitating a solution involving a dual-ISP interconnection with a load-balancing mechanism.

This study aims to analyze the performance of the Equal-Cost Multi-Path (ECMP) method regarding Quality of Service (QoS) parameters in a dual-ISP network that combines Fiber Optic and LTE connections. A quantitative experimental approach was employed, utilizing a comparative experimental analysis design to contrast network performance under single-ISP and dual-ISP (ECMP) conditions. The QoS parameters measured included throughput, latency, jitter, and packet loss, in accordance with ITU-T Y.1541 standards.

The results showed that the Dual-ISP ECMP configuration was successfully established using two default routes with equal distance values on the Fiber Optic and LTE paths. Network monitoring indicated dynamic and bursty traffic, with an average Tx rate of 5.77 Mbps and Rx rate of 120.07 kbps during one observation period, and a Tx peak of approximately 84.2 Mbps. No interface drops or errors were observed in the analyzed monitoring snapshots. Wireshark measurements showed average RTT values ranging from 43.684 to 78.286 ms, jitter values ranging from 4.986 to 46.074 ms, and packet loss of 0.069–0.613% on several Internet destinations. However, a latency spike of up to 1,099.470 ms was observed in one capture. Therefore, ECMP implementation can be utilized as a redundancy mechanism and for the utilization of two Internet paths; however, the available evidence is insufficient to causally conclude that ECMP is superior to Single ISP across all QoS parameters.

Keywords: Equal-Cost Multi-Path, dual-ISP interconnection, network service quality, network load balancing, Quality of Service parameters.

DAFTAR ISI

<u>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>LEMBAR PENGESAHAN</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>NOTA PEMBIMBING</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>HALAMAN MOTO</u>	v
<u>HALAMAN PERSEMBAHAN</u>	vi
<u>KATA PENGANTAR</u>	Error! Bookmark not defined.
<u>ABSTRAK</u>	viii
<u>ABSTRACT</u>	ix
<u>DAFTAR ISI</u>	x
<u>DAFTAR GAMBAR</u>	xii
<u>DAFTAR TABEL</u>	xiii
<u>BAB I PENDAHULUAN</u>	1
<u>A. Latar Belakang</u>	1
<u>B. Rumusan Masalah</u>	4
<u>C. Batasan Masalah</u>	4
<u>D. Tujuan Penelitian</u>	4
<u>E. Manfaat Penelitian</u>	4
<u>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</u>	6
<u>A. Penelitian Terkait</u>	6
<u>B. Research gap</u>	21
<u>C. Landasan Teori</u>	22
<u>BAB III METODOLOGI</u>	28
<u>A. Waktu dan Tempat</u>	28
<u>B. Prosedur Penelitian</u>	28
<u>C. Jadwal Penelitian</u>	33
<u>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</u>	34
<u>A. Gambaran Umum Implementasi</u>	34
<u>B. Hasil Perancangan dan Implementasi Konfigurasi ECMP pada Router MikroTik</u>	36
<u>C. Hasil Pengukuran Parameter Quality of Service (QoS)</u>	46
<u>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</u>	54

<u>A.</u>	<u>Kesimpulan</u>	54
<u>B.</u>	<u>Saran</u>	55
	<u>DAFTAR PUSTAKA</u>	56
	<u>LAMPIRAN</u>	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 mindmap Penelitian terkait	22
Gambar 2. Diagram alir.....	28
Gambar 3. Topologi Dual Homeg.....	30
Gambar 4. Jadwal Penelitian.....	33
Gambar 5. Tampilan Interface Router melalui Akses Manajemen.....	36
<i>Gambar 6. Konfigurasi Bridge bridgeLAN.....</i>	<i>37</i>
Gambar 7. Konfigurasi Port Bridge (ether3, ether4, ether5).....	37
Gambar 8. Konfigurasi Antarmuka Ethernet	38
Gambar 9. Alamat IP pada Router	38
Gambar 10. Konfigurasi DHCP Server (dhcp1).	39
Gambar 11. Konfigurasi DHCP Network	39
Gambar 12. Konfigurasi DNS Server Router	40
Gambar 13. Status DHCP Client pada Jalur WAN (ISP1 dan ISP2).....	40
Gambar 14. Tabel Routing pada Kondisi Dual-ISP ECMP (distance sama pada kedua gateway).....	41
Gambar 15. Tabel Routing pada Kondisi Single ISP (baseline pembandingan)	42
Gambar 16. Konfigurasi NAT (Masquerade) per Jalur WAN	43
Gambar 17. Konfigurasi Firewall Filter Rules.....	44
Gambar 18. Konfigurasi Firewall Mangle untuk Klasifikasi Trafik.....	45
Gambar 19. Konfigurasi Queue Tree Manajemen Bandwidth.....	46

DAFTAR TABEL

Table 1. Penelitian Terkait	6
Table 2. Perangkat keras	29
Table 3. Perangkat lunak.....	30
Table 4. Desain eksperimen	31
Table 5. Evaluasi QoS.....	32
Table 7. Alamat IP Hasil Implementas	35
Table 8. Konfigurasi DHCP Network pada bridgeLAN.....	39
Table 9. Aturan NAT (Masquerade) per Jalur WAN.....	43
Table 10. Aturan Mangle untuk Klasifikasi Trafik.....	44
Table 11. Struktur Queue Tree Manajemen Bandwidth	45
Table 12. Hasil Monitoring Trafik pada Interface bridgeLAN.....	47
Table 13. Ringkasan Hasil Monitoring MikroTik.....	48
Table 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Delay, Jitter, dan Packet Loss (Ping).....	48
Table 15. Rekapitulasi Hasil Pengujian Throughput	50
Table 16. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Wireshark	51
Table 17. Rekapitulasi Hasil Pengukuran pada Tujuan Internet Utama	51
Table 18. Ringkasan Temuan Implementasi dan Pengukuran	52

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 Tenggarong 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.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
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 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

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
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 speedtest 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 yang signifikan. Selain itu, nilai indeks pada
----	--	---

No	Peneliti	Keterangan penelitian
(1)	(2)	(3)
		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.

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):

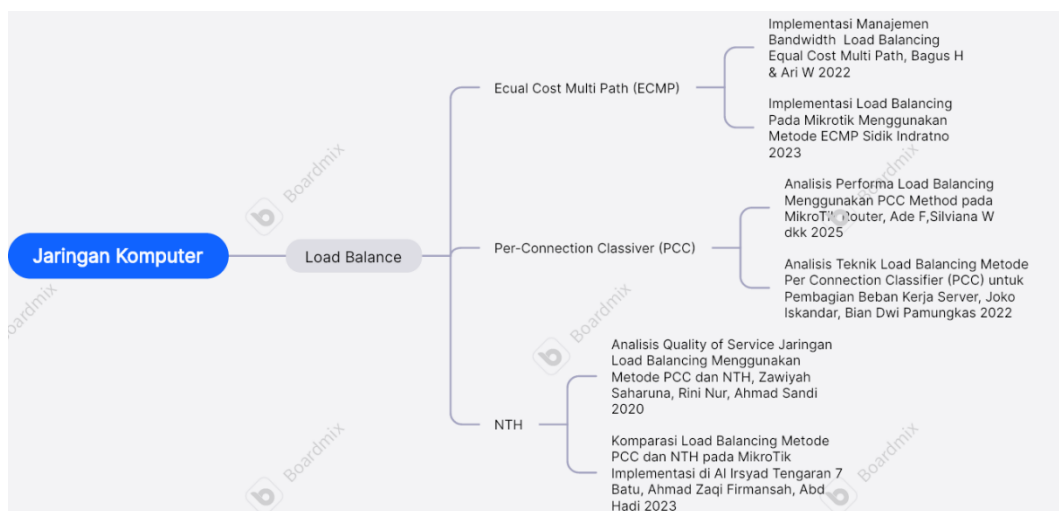
Penelitian Terdahulu: Beberapa menggunakan standar TIPHON (No 5, 6, 14) atau tidak menyebutkan standar baku secara eksplisit.

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

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, sambungan 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 operasi yang dapat digunakan untuk menjadikan komputer dapat berfungsi sebagai jaringan, pengendali, atau pengatur lalu lintas 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 balncing

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 laoad 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)* Ecual 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 $0 \leq 50$ ms.
- f. Packet Loss: Persentase paket yang hilang selama transmisi.
- g. Standar ITU-T Y.1541: Kelas $0 \leq 0.05\%$.

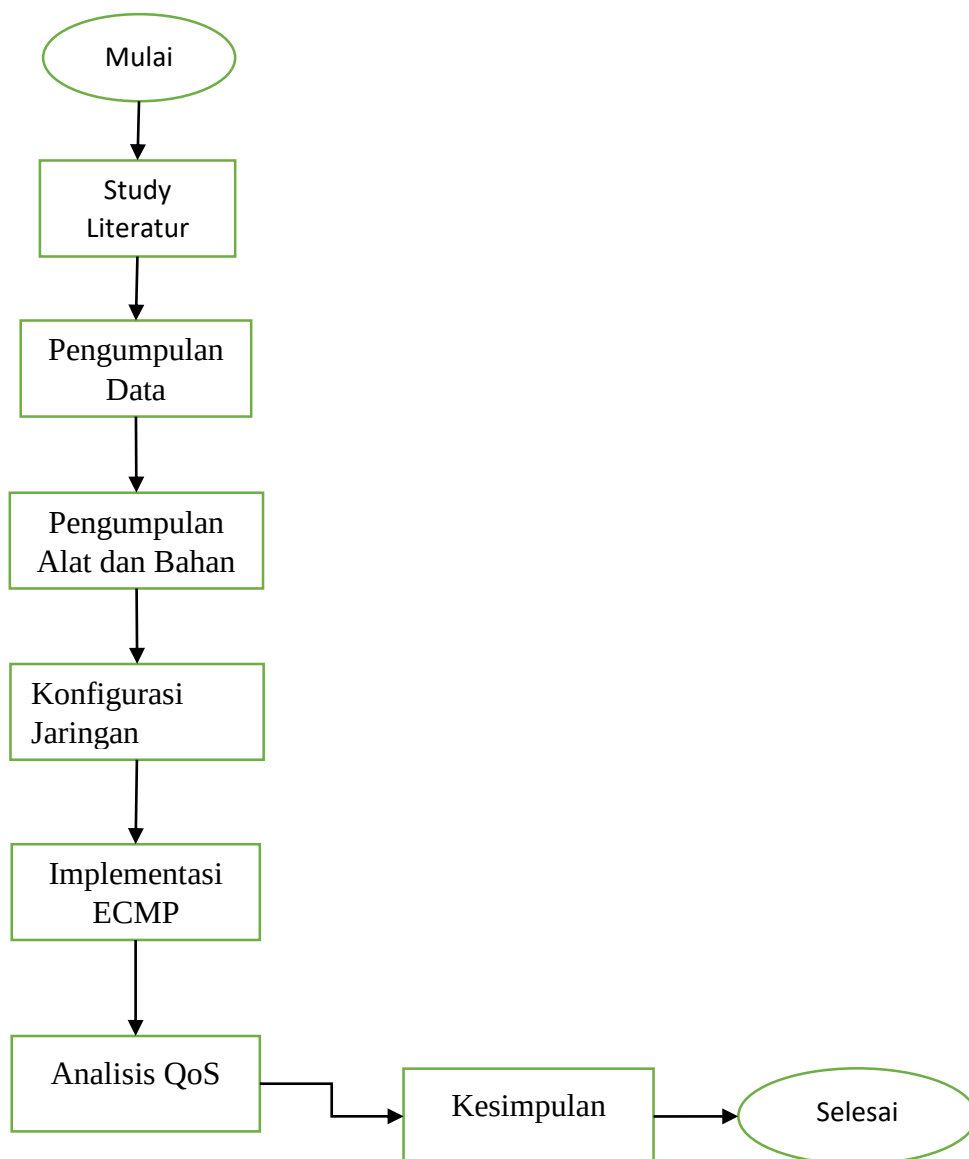
BAB III METODOLOGI

A. Waktu dan Tempat

Penelitian Waktu penelitian dimulai sejak 10 Maret 2026 yang bertempat di Pondok Pesanter Darul Kamal desa Kesugihan Kidul, Kecamatan Kesugihan

B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yaitu merupakan langkah-langkah yang dipakai untuk mengumpulkan data guna untuk menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan didalam penelitian. Adapun tahapan-tahapan prosedur penelitian sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram alir

1. Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini yang di lakukan adalah pengumpulan data melalui studi literatur. Studi literatur yaitu merupakan pengumpulan data dengan cara mencari data dari sumber tertulis yang meliputi jurnal, skripsi, buku, tesis, dll yang sesuai dengan permasalahan yang sedang dikaji. Sehingga data-data yang didapat dari studi literasi dapat dijadikan sebagai pedoman dalam penelitian ini.

2. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif dengan tujuan mengukur dan menganalisis kinerja jaringan berdasarkan parameter *Quality of Service* (QoS). Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengujian langsung terhadap sistem jaringan serta menghasilkan data numerik yang dapat dianalisis secara objektif.

Metode analisis yang digunakan adalah comparative experimental analysis, yaitu membandingkan performa jaringan pada dua kondisi:

- a. Single ISP (*baseline*)
- b. Dual ISP menggunakan metode ECMP

3. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada jaringan nyata di **PP Darul Kamal** dengan karakteristik trafik riil pengguna.

Objek penelitian :

- a. ISP 1: Fiber Optic (100 Mbps)
- b. ISP 2: Modem LTE (TP-Link TL-MR100)
- c. Router: MikroTik RB750Gr3
- d. Client: perangkat pengguna jaringan

4. Perangkat dan Tools Penelitian

Adapun perangkat yang akan digunakan pada penelitian yang akan dilakukan meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. berikut adalah perangkat yang akan digunakan.

Table 2. Perangkat keras

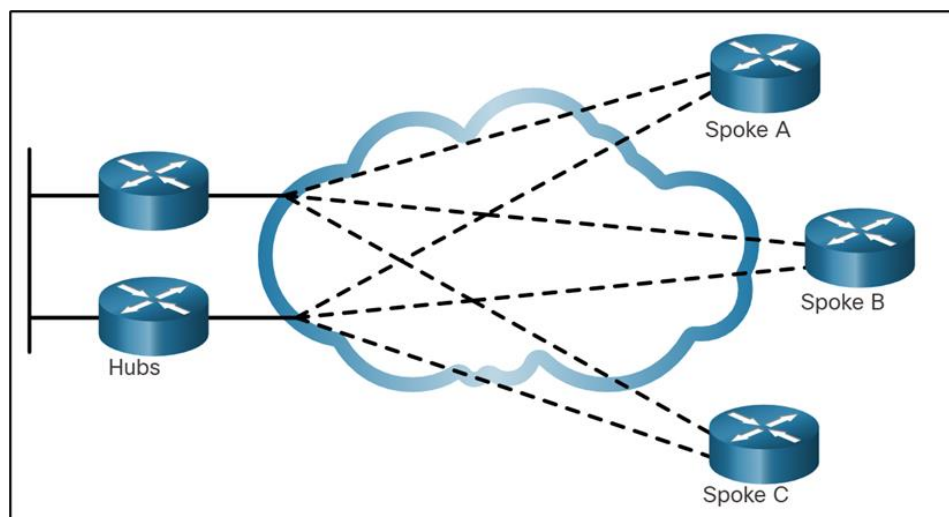
Perangkat Keras	
1	Laptop ThinkPad T470
2	Router MikroTik RB750Gr3
3	Modem Fiber Optik (ONT)
4	Modem LTE TP-Link TL-MR100
5	Sitch Hub TP Link

Table 3. Perangkat lunak

Perangkat Lunak		
1	Winbox	Konfigurasi Router
2	Wireshark	Analisis Paket, Throughput, dan Jitter
3	Ping	Delay dan Paket Loss
4	Speedtest	Validasi Bandwidth

5. Desain Topologi Jaringan

Topologi yang digunakan adalah dual-homed network:



Gambar 3. Topologi Dual Home

Pada kondisi ECMP, kedua jalur memiliki cost yang sama dan digunakan secara paralel.

6. Variabel Penelitian

Variabel Independen :

- a. Metode Routing (ECMP)

Variabel Dependensi :

- a. Throughput (Mbps)
- b. Delay (ms)
- c. Jitter (ms)
- d. Paket Loss (%)

Variabel Kontrol :

- a. Jumlah Client
- b. Waktu pengujian
- c. Jenis trafik

7. Skenario Trafik Pengujian

Untuk meningkatkan validitas, digunakan 3 jenis skenario trafik:

a. **Idle Test**

- 1) Kondisi jaringan tanpa beban berat
- 2) Tujuan: baseline performa

b. **Normal Traffic**

- 1) Aktivitas browsing, streaming ringan
- 2) Simulasi kondisi real pengguna

c. **Stress Test**

- 1) Menggunakan Wireshark/Ping (parallel stream)
- 2) Download file besar
- 3) Multi-client aktif

8. Desain Eksperimen

Table 4. Desain eksperimen

Parameter	Nilai
Durasi per pengujian	5-15 Menit
Pengulangan	10 kali
Tools	Ping, Wireshark
Client	5,10,15

9. Konfigurasi ECMP MikroTik

Routing ECMP

```
/ip route
add      dst-address=192.168.1.1      gateway=ISP1
distance=1
add      dst-address=192.168.1.100    gateway=ISP2
distance=1
```

Load Distribution (Mangle)

```
/ip firewall mangle
add chain=prerouting dst-address-type=!local
per-connection-classifier=both-addresses:2/0
action=mark-routing new-routing-mark=to_ISP1
```

```
add chain=prerouting dst-address-type=!local
per-connection-classifier=both-addresses:2/1
action=mark-routing new-routing-mark=to_ISP2
```

Routing Mark

```
/ip route
add gateway=ISP1 routing-mark=to_ISP1
add gateway=ISP2 routing-mark=to_ISP2
```

Konfigurasi ini digunakan untuk meningkatkan distribusi trafik pada jaringan heterogen.

10. Metode Pengukuran QoS

a. Throughput

- 1) Tools: MikroTik Grap
- 2) Satuan: Mbps

b. Delay

- 1) Tools: Ping/Wireshark
- 2) Satuan: ms

c. Jitter

- 1) Tools: Wireshark

d. Packet Loss

- 1) Tools: Ping / Wireshark

Kriteria Evaluasi QoS berdasarkan standart Tiphone menurut nurmiati

Table 5. Evaluasi QoS

Parameter	Standar
Delay	<150 ms
Jitter	<50 ms
Paket Loss	<0.1%

11. Validitas dan Reliabilitas Data

- a. Validitas dalam konteks ini merujuk pada ketepatan alat ukur dalam menangkap fenomena jaringan yang sesungguhnya.
- b. Reliabilitas merujuk pada konsistensi dan stabilitas hasil pengukuran. Dalam jaringan, ini diuji melalui:
 - 1) Test-Retest Reliability: Pengukuran berulang pada kondisi jaringan yang sama harus menghasilkan nilai yang stabil (variasi kecil).
 - 2) Inter-Instrument Reliability: Hasil pengukuran dari alat berbeda (ping vs Wireshark) untuk parameter yang sama harus konvergen.

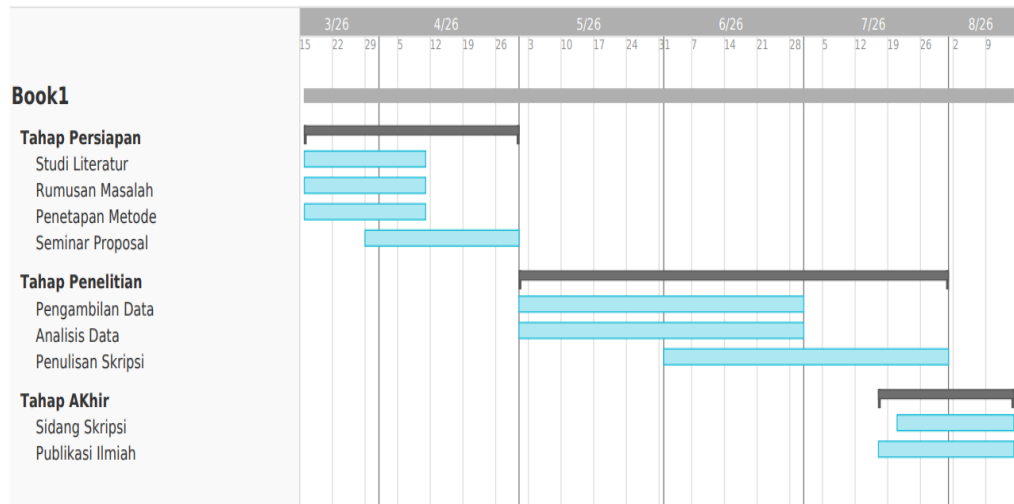
Untuk menjamin validitas:

- a) Pengujian diulang 10 kali

- b) Pengujian dilakukan pada jam berbeda
- c) Menggunakan lebih dari satu tools

C. Jadwal Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada semester ganjil tahun akademik 2026, tabel waktu penelitian sebagai berikut :



Gambar 4. Jadwal Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada temuan penelitian yang diperoleh melalui proses implementasi dan pengujian konfigurasi *Equal Cost Multi Path* (ECMP) pada router MikroTik dalam membangun interkoneksi Dual-ISP, yaitu Fiber Optic dan LTE, pada jaringan Pondok Pesantren (PP) Darul Kamal. Penyajian hasil disusun secara sistematis untuk menjawab dua rumusan masalah penelitian, meliputi: (1) perancangan dan penerapan konfigurasi ECMP pada router MikroTik; serta (2) pengukuran dan evaluasi parameter *Quality of Service* (QoS), yang mencakup throughput, delay/latency, jitter, dan packet loss, pada kondisi Single ISP dan Dual-ISP dengan mekanisme ECMP.

Data ini diperoleh dari tiga kelompok bukti utama. Pertama, dokumentasi konfigurasi router berupa tangkapan layar antarmuka WinBox yang merepresentasikan kondisi aktual perangkat MikroTik selama implementasi, sebagaimana dibahas pada dokumentasi hasil pengujian jaringan berupa Ping melalui *Command Prompt/PowerShell* dan terminal MikroTik, kedua menggunakan data pengetesan menggunakan Wireshark, dan ketiga pengukuran kecepatan menggunakan Speedtest dan Fast.com yang digunakan untuk memperoleh nilai delay, jitter, packet loss, dan throughput pada Nilai numerik yang disajikan dihitung berdasarkan data yang terlihat pada bukti pengujian sehingga setiap hasil dapat ditelusuri kembali kepada sumber pengukurannya.

A. Gambaran Umum Implementasi

Implementasi penelitian menggunakan router MikroTik hEX dengan RouterOS versi 7.22.3/7.23.3 dan arsitektur mmips, yang secara fisik sesuai dengan perangkat yang direncanakan, yaitu MikroTik RB750Gr3. Pengelolaan perangkat dilakukan melalui WinBox, baik melalui akses lokal pada 192.168.2.101 maupun melalui akses manajemen jarak jauh menggunakan alamat IP publik 45.149.93.39 pada port 6176. Akses tersebut dimanfaatkan untuk melakukan konfigurasi, pemantauan, dan verifikasi kondisi router selama penelitian berlangsung.

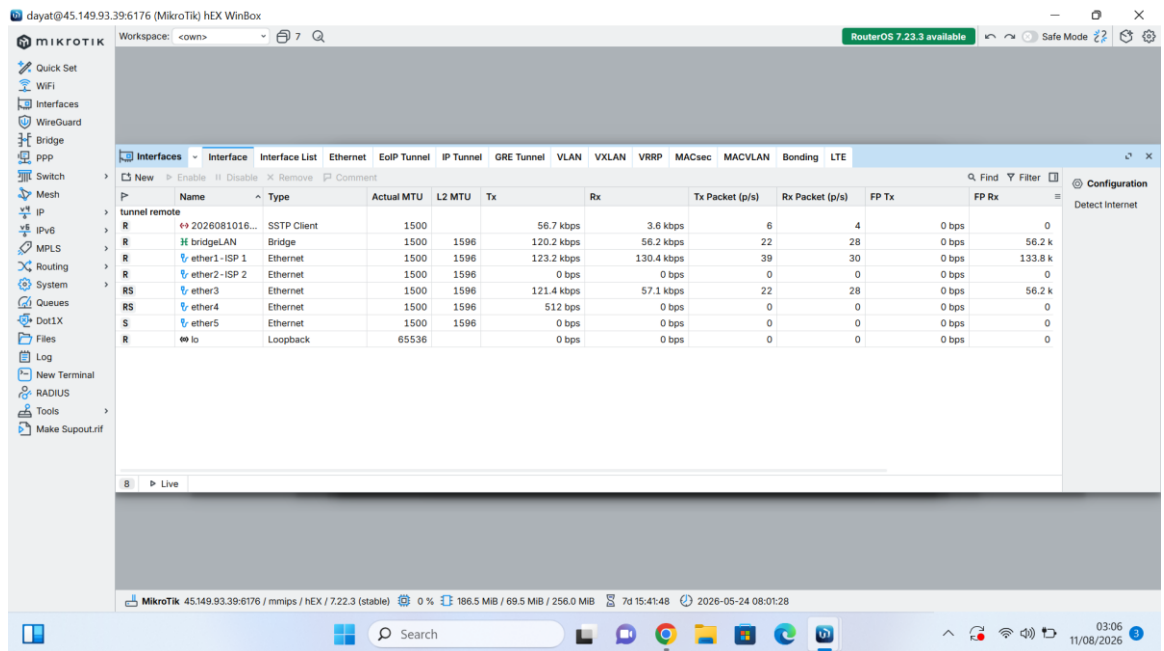
Arsitektur jaringan yang diterapkan menggunakan topologi *dual-homed*, yaitu satu router terhubung dengan dua sumber akses internet yang berdiri secara independen. Kedua koneksi tersebut terdiri atas:

1. ISP 1 (ether1-ISP1) merupakan koneksi Fiber Optic dengan kapasitas nominal 100 Mbps. Alamat IP pada antarmuka diperoleh secara dinamis melalui DHCP Client, yaitu 192.168.1.3/24 dengan *gateway* 192.168.1.1.
2. ISP 2 (ether2-ISP2) merupakan koneksi LTE melalui modem TP-Link TL-MR100. Parameter IP diperoleh secara dinamis melalui DHCP Client, yaitu 192.168.2.101/24 dengan *gateway* 192.168.2.1.

Pada kedua antarmuka WAN, opsi Add Default Route pada DHCP Client ditetapkan menjadi no. Dengan demikian, DHCP tidak secara otomatis memasukkan rute *default* ke routing table, melainkan rute ditentukan secara manual melalui menu IP Route. Konfigurasi tersebut memberikan kendali eksplisit terhadap pemilihan *gateway* sehingga mekanisme ECMP dapat diterapkan sesuai rancangan penelitian.

Table 6. Alamat IP Hasil Implementas

Antarmuka	Fungsi	Alamat IP	Keterangan
Ether1-ISP 1	WAN Fiber Optic (DHCP Client)	192.168.1.3/24	Gateway 192.168.1.1; dinamis
Ether2-ISP 2	WAN LTE- modem TP-Link TL MR100 (DHCPClient)	192.168.2.101/24	Gateway 192.168.2.1;dinamis
Ether3	Port LAN, Anggota bridge LAN	10.10.10.1/24	Static; jaringan DHCP 10.10.10.0/24
Ether4	Port LAN, Anggota bridge LAN	11.11.11.1/24	Static; jaringan 11.11.11.0/24
Ether5	Port LAN, Anggota bridge LAN	12.12.12.1/24	Static; jaringan 12.12.12.0/24
Bridge LAN	Bridge 1.2 penggabung ether3/ether4/ether5		Mode RSTP, prioritas 8000, VLAN filtering nonaktif
SSTP Client (tunnel Remote)	Terowongan manajemen jarak jauh	10.16.0.176 (dinamis)	Digunakan untuk mengakses WinBox jarak jauh



Gambar 5. Tampilan Interface Router melalui Akses Manajemen

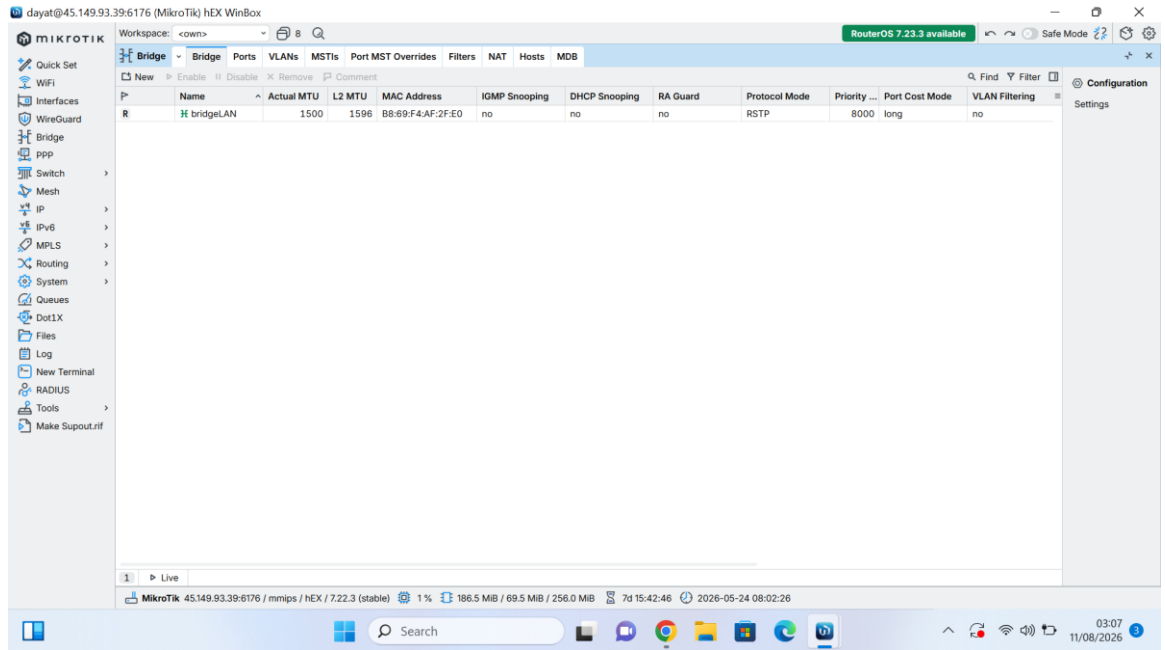
Di luar antarmuka yang digunakan dalam topologi Dual-ISP, router juga mencatat keberadaan layanan L2TP Server/Client bernama "Hidayat" pada l2tp-in1 dan l2tp-out1. Layanan tersebut tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian dan diperkirakan berkaitan dengan kebutuhan manajemen jaringan lainnya. Oleh sebab itu, layanan tersebut tidak dianalisis lebih lanjut, tetapi tetap dicatat sebagai bagian dari inventarisasi perangkat agar dokumentasi kondisi aktual router tetap lengkap.

B. Hasil Perancangan dan Implementasi Konfigurasi ECMP pada Router MikroTik

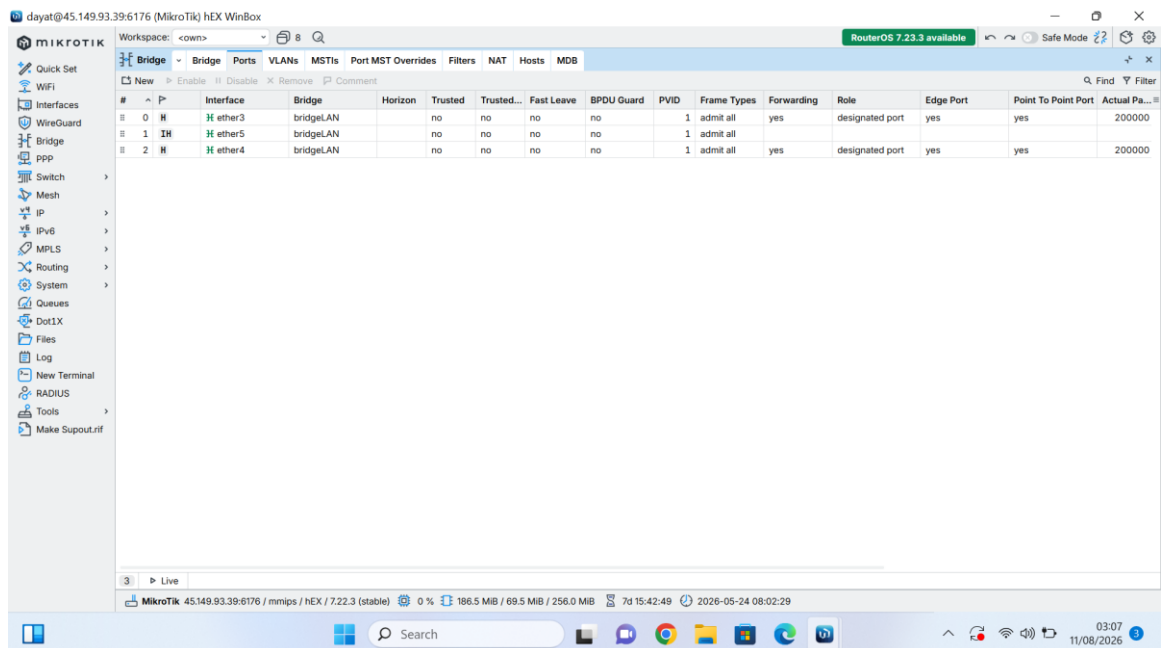
Hasil implementasi konfigurasi ECMP beserta komponen pendukungnya. Pembahasan meliputi konfigurasi bridge dan segmentasi LAN, DHCP Server, static routing dan ECMP, NAT, firewall, serta mekanisme manajemen trafik menggunakan *mangle* dan *queue tree* untuk mendukung distribusi dan pengendalian trafik pada interkoneksi Dual-ISP.

1. Konfigurasi Bridge dan Segmentasi Jaringan LAN

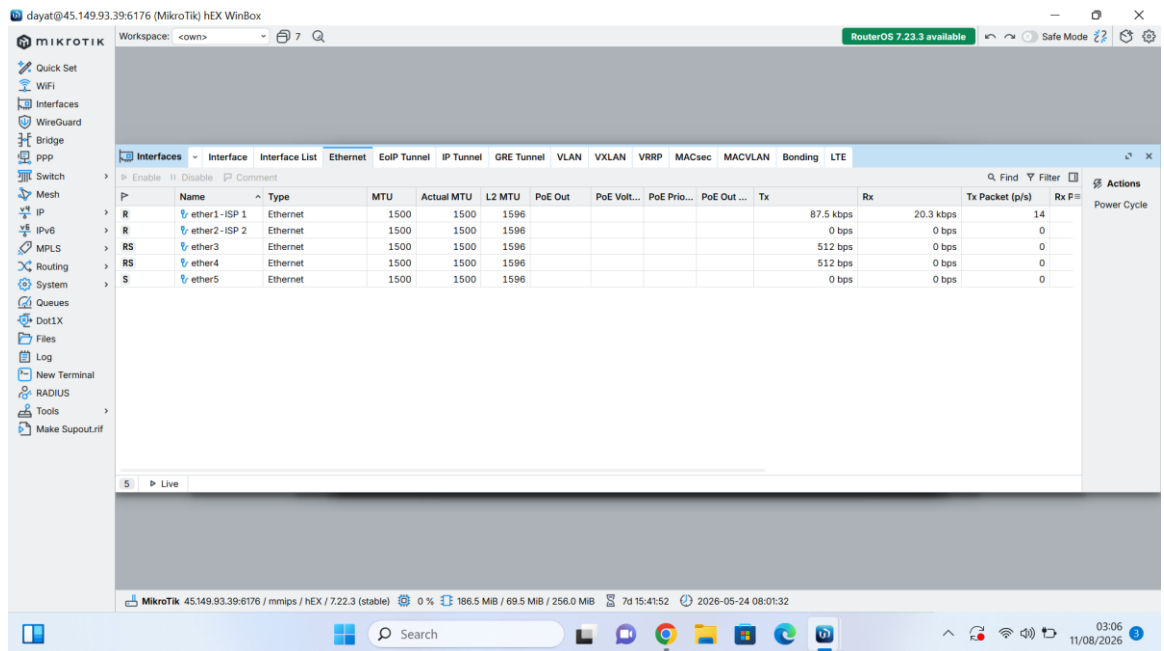
Antarmuka ether3, ether4, dan ether5 ditempatkan pada satu interface bridge bernama bridgeLAN dengan penerapan *Rapid Spanning Tree Protocol* (RSTP), sedangkan *VLAN Filtering* berada dalam kondisi nonaktif. Berdasarkan hasil konfigurasi, ketiga port tersebut juga memiliki penetapan alamat IP pada tiga jaringan /24, yaitu 10.10.10.0/24, 11.11.11.0/24, dan 12.12.12.0/24.



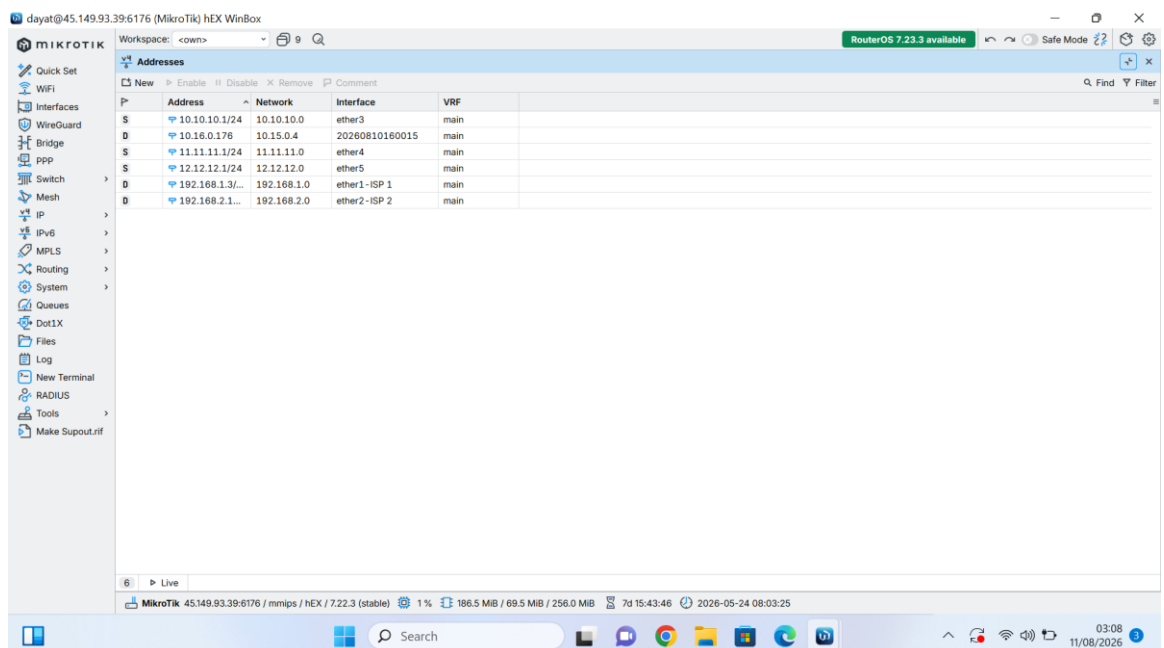
Gambar 6. Konfigurasi Bridge bridgeLAN



Gambar 7. Konfigurasi Port Bridge (ether3, ether4, ether5)



Gambar 8. Konfigurasi Antarmuka Ethernet



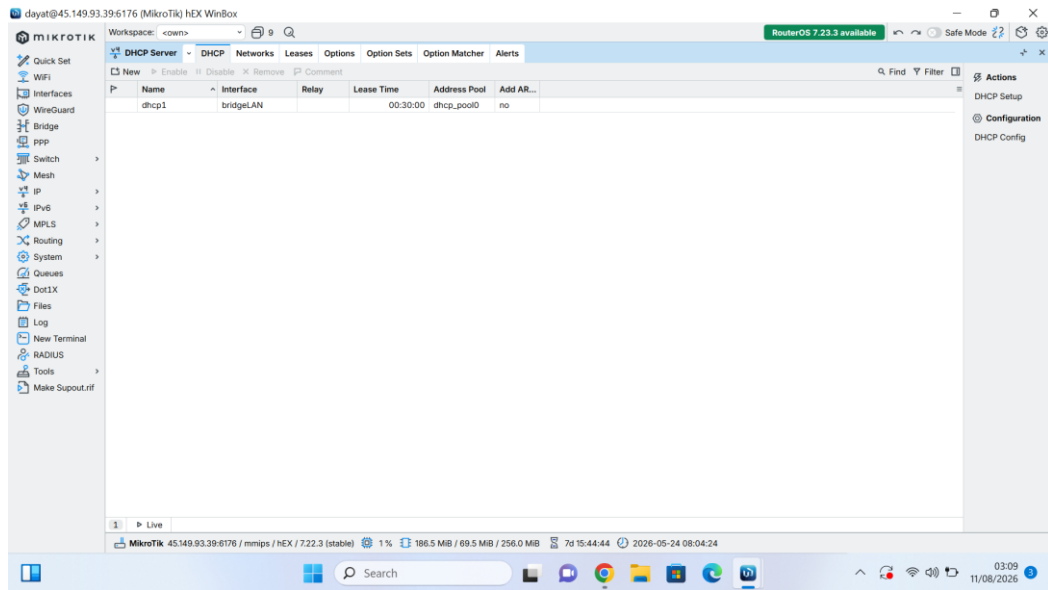
Gambar 9. Alamat IP pada Router

2. Konfigurasi DHCP Server dan DNS pada Jaringan LAN

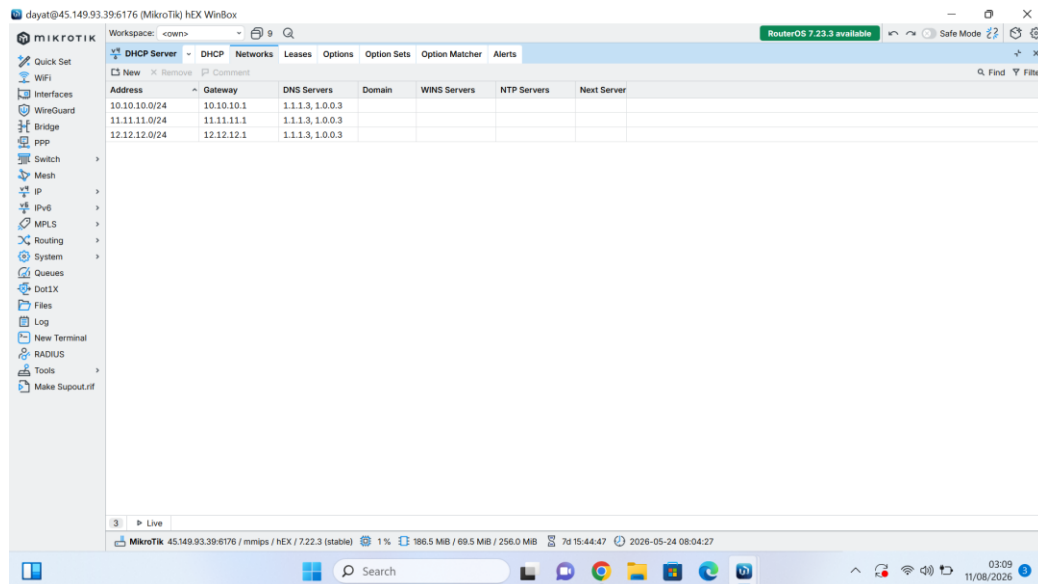
DHCP Server dengan nama dhcp1 diterapkan pada *interface* bridgeLAN dengan lease time 00:30:00 dan menggunakan *address pool* dhcp_pool0. Pada konfigurasi DHCP *Networks* terdapat tiga definisi jaringan yang masing-masing memiliki *gateway* sesuai segmennya, sedangkan DNS server yang digunakan sama, yaitu 1.1.1.3 dan 1.0.0.3

Table 7. Konfigurasi DHCP Network pada bridgeLAN

Alamat jaringan	Gateway	DNS Server
10.10.10.0/24	10.10.10.1	1.1.1.3, 1.0.0.3
11.11.11.0/24	11.11.11.1	1.1.1.3, 1.0.0.3
12.12.12.0/24	12.12.12.1	1.1.1.3, 1.0.0.3



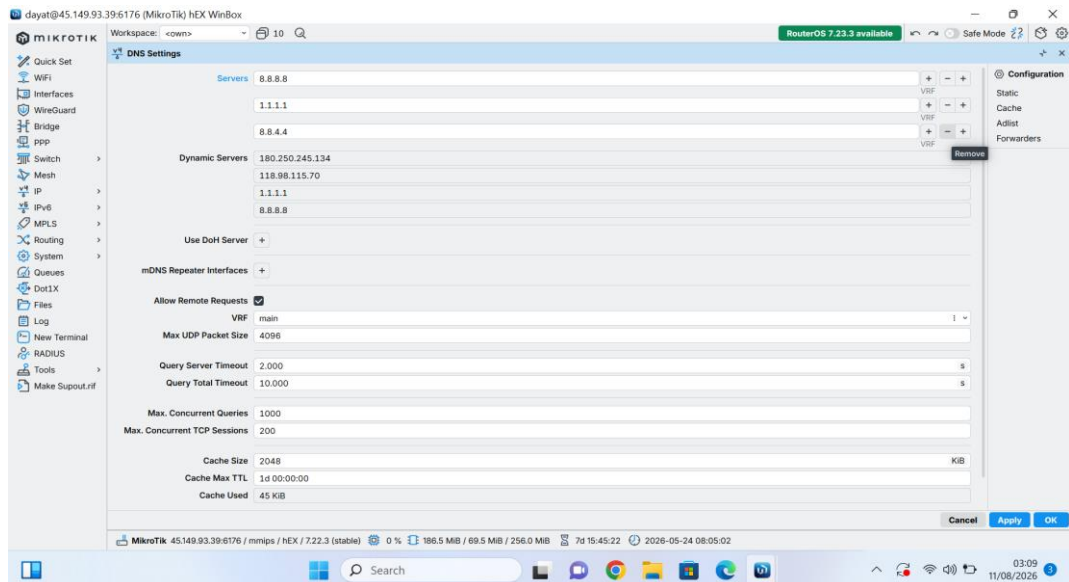
Gambar 10. Konfigurasi DHCP Server (dhcp1).



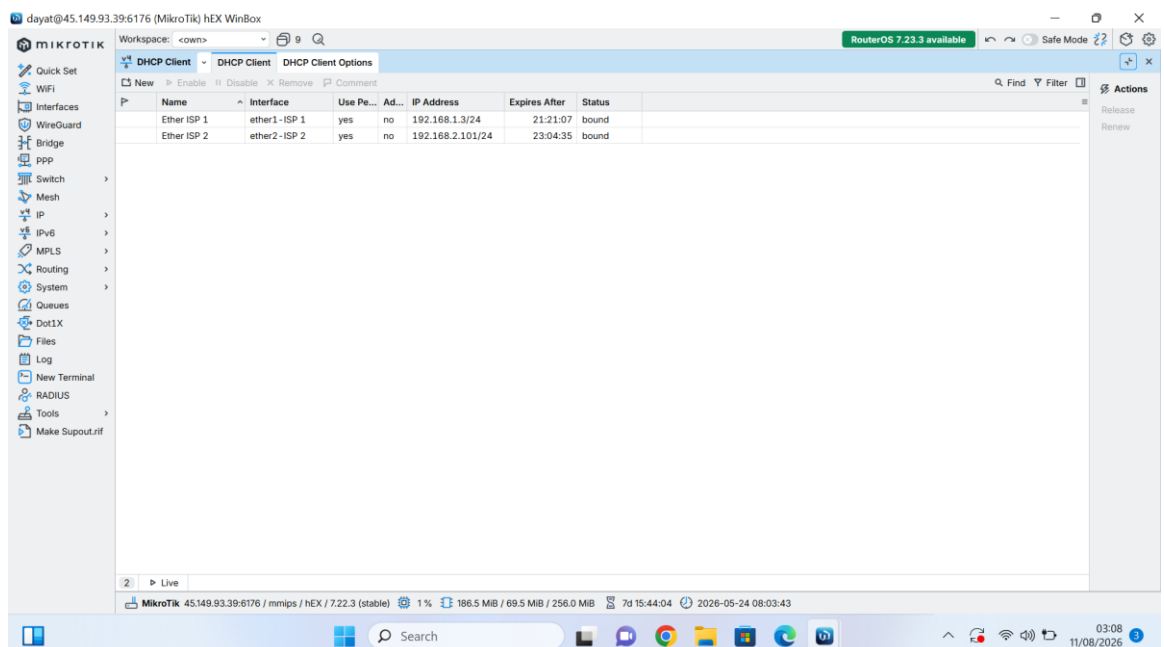
Gambar 11. Konfigurasi DHCP Network

Pada konfigurasi sistem, layanan DNS router melalui menu IP > DNS menggunakan beberapa *resolver* publik, yaitu 8.8.8.8, 1.1.1.1, dan 8.8.4.4, dengan

opsi *Allow Remote Requests* diaktifkan. Dengan pengaturan tersebut, router dapat berperan sebagai DNS *forwarder* bagi klien LAN. Selain itu, router memperoleh parameter DNS dinamis dari masing-masing ISP, yaitu 180.250.245.134 dan 118.98.115.70 melalui jalur Fiber Optic serta 1.1.1.1 dan 8.8.8.8 melalui jalur LTE. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua koneksi WAN memperoleh parameter jaringan melalui DHCP dari penyedia layanan.



Gambar 12. Konfigurasi DNS Server Router



Gambar 13. Status DHCP Client pada Jalur WAN (ISP1 dan ISP2)

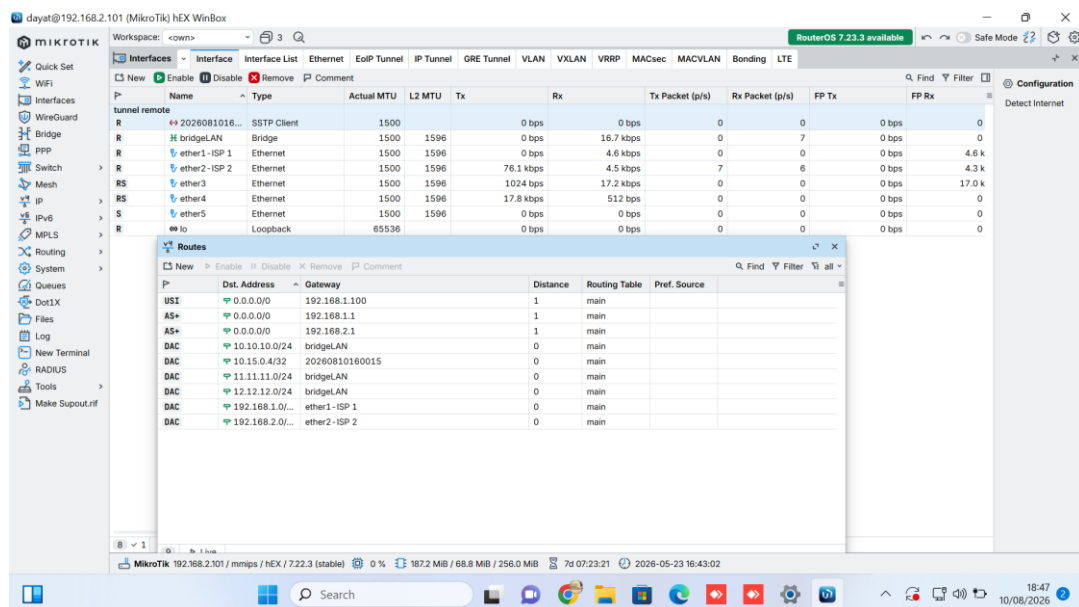
3. Konfigurasi *Static Routing* dan Mekanisme ECMP

Implementasi ECMP dilakukan dengan menambahkan dua rute default 0.0.0.0/0 menuju masing-masing *gateway* ISP dengan nilai *distance* yang sama. Prinsip tersebut memungkinkan router mempertimbangkan kedua jalur dengan *cost* yang setara untuk proses *forwarding trafik*. Dokumentasi routing table juga memperlihatkan dua konfigurasi yang digunakan dalam penelitian, yaitu kondisi Dual-ISP ECMP sebagai skenario utama dan kondisi Single ISP sebagai baseline pembandingan.

Kondisi pertama — Dual-ISP ECMP aktif:

```
/ip route  
  
add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.1.1  
distance=1 ; ISP1 - Fiber Optic  
  
add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.2.1  
distance=1 ; ISP2 - LTE
```

Pada konfigurasi Dual-ISP ECMP, kedua rute default berstatus aktif dengan *flag AS+* dan memiliki *distance* yang sama, yaitu 1. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kedua *gateway* tersedia pada routing table sebagai jalur dengan biaya yang setara, sehingga mekanisme ECMP dapat digunakan untuk mendistribusikan *flow* trafik melalui kedua jalur.



P	Dest. Address	Gateway	Distance	Routing Table	Pref. Source
USE	0.0.0.0/0	192.168.1.100	1	main	
AS+	0.0.0.0/0	192.168.1.1	1	main	
AS+	0.0.0.0/0	192.168.2.1	1	main	
DAC	10.10.10.0/24	bridgeLAN	0	main	
DAC	10.15.0.4/32	20260810160015	0	main	
DAC	11.11.11.0/24	bridgeLAN	0	main	
DAC	12.12.12.0/24	bridgeLAN	0	main	
DAC	192.168.1.0/...	ether1-ISP 1	0	main	
DAC	192.168.2.0/...	ether2-ISP 2	0	main	

Gambar 14. Tabel Routing pada Kondisi Dual-ISP ECMP (*distance* sama pada kedua *gateway*)

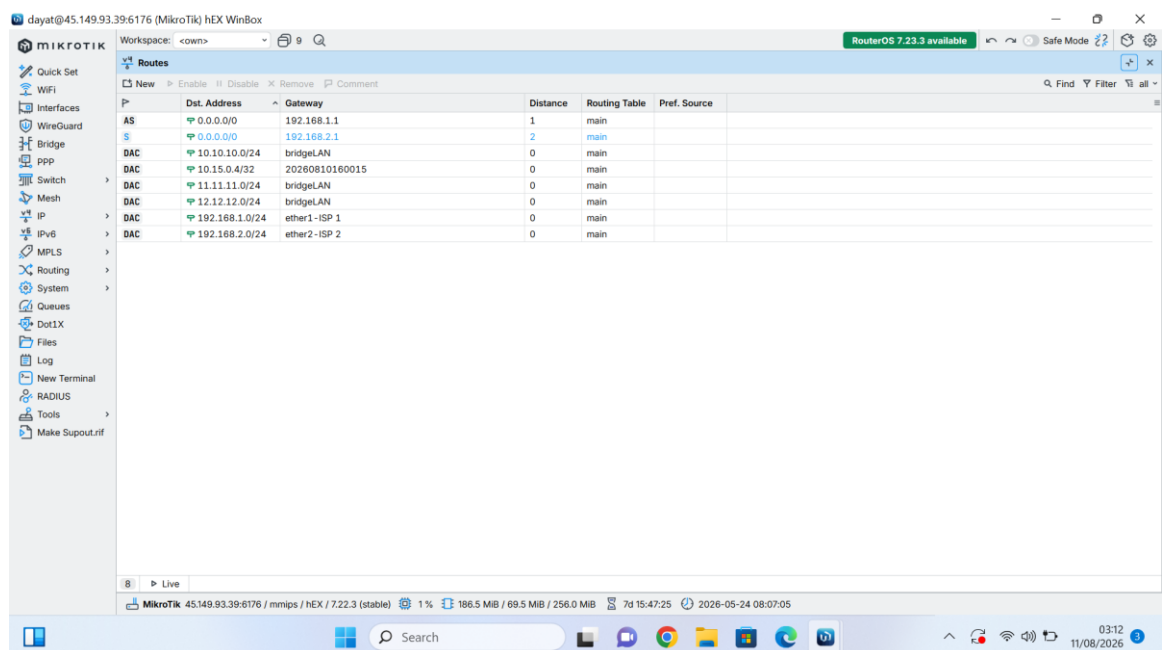
Kondisi kedua — Single ISP (baseline pembanding):

```
/ip route
```

```
add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.1.1  
distance=1 ; ISP1 - aktif
```

```
add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.2.1  
distance=2 ; ISP2 - cadangan (tidak terpakai)
```

Pada skenario Single ISP, rute menuju ISP1 melalui Fiber Optic ditetapkan dengan *distance* 1 sehingga menjadi jalur aktif, sedangkan rute menuju ISP2 diberi *distance* 2 dan berfungsi sebagai jalur cadangan. Konfigurasi ini digunakan sebagai baseline untuk membandingkan kinerja jaringan terhadap kondisi Dual-ISP ECMP pada tahap pengujian QoS.



The screenshot shows the Mikrotik WinBox interface with the 'Routes' tab selected. The table displays the following data:

	Dist. Address	Gateway	Distance	Routing Table	Pref. Source
AS	0.0.0.0/0	192.168.1.1	1	main	
\$	0.0.0.0/0	192.168.2.1	2	main	
DAC	10.10.10.0/24	bridge1AN	0	main	
DAC	10.15.0.4/32	20260810160015	0	main	
DAC	11.11.11.0/24	bridge1AN	0	main	
DAC	12.12.12.0/24	bridge1AN	0	main	
DAC	192.168.1.0/24	ether1-ISP 1	0	main	
DAC	192.168.2.0/24	ether2-ISP 2	0	main	

Gambar 15. Tabel Routing pada Kondisi Single ISP (baseline pembanding)

Rute connected (DAC) untuk jaringan LAN 10.10.10.0/24, 11.11.11.0/24, dan 12.12.12.0/24 serta jaringan WAN 192.168.1.0/24 dan 192.168.2.0/24 tetap tercatat pada kedua skenario. Dengan demikian, perubahan konfigurasi antara Single ISP dan Dual-ISP terutama berada pada nilai *distance rute default*, sedangkan topologi fisik dan antarmuka jaringan tidak mengalami perubahan. Keseragaman tersebut penting agar pengaruh mekanisme routing dapat dianalisis tanpa mencampurkannya dengan perubahan topologi atau antarmuka.

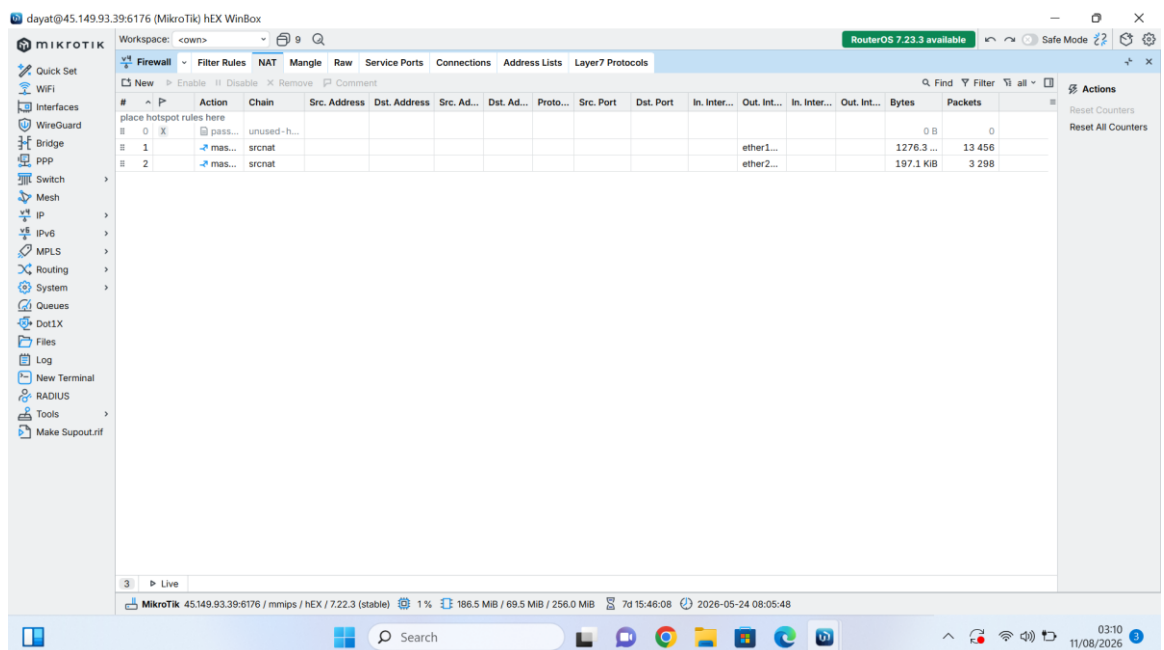
4. Konfigurasi NAT dan Firewall

Network Address Translation (NAT) diterapkan melalui dua aturan *masquerade* pada *chain srcnat*, masing-masing diarahkan ke ether1-ISP1 dan

ether2-ISP2. Konfigurasi ini memungkinkan alamat sumber dari klien LAN diterjemahkan sesuai *interface* WAN yang digunakan, sehingga trafik keluar tetap dapat diteruskan baik melalui jalur Fiber Optic maupun LTE.

Table 8. Aturan NAT (Masquerade) per Jalur WAN

Chain	Action	Out. Interface	Packets (kumulatif)	Bytes (kumulatif)
srcnat	masquerade	ether1-ISP1	13.456	1.276,3 KiB
srcnat	masquerade	ether2-ISP2	3.298	197,1 KiB

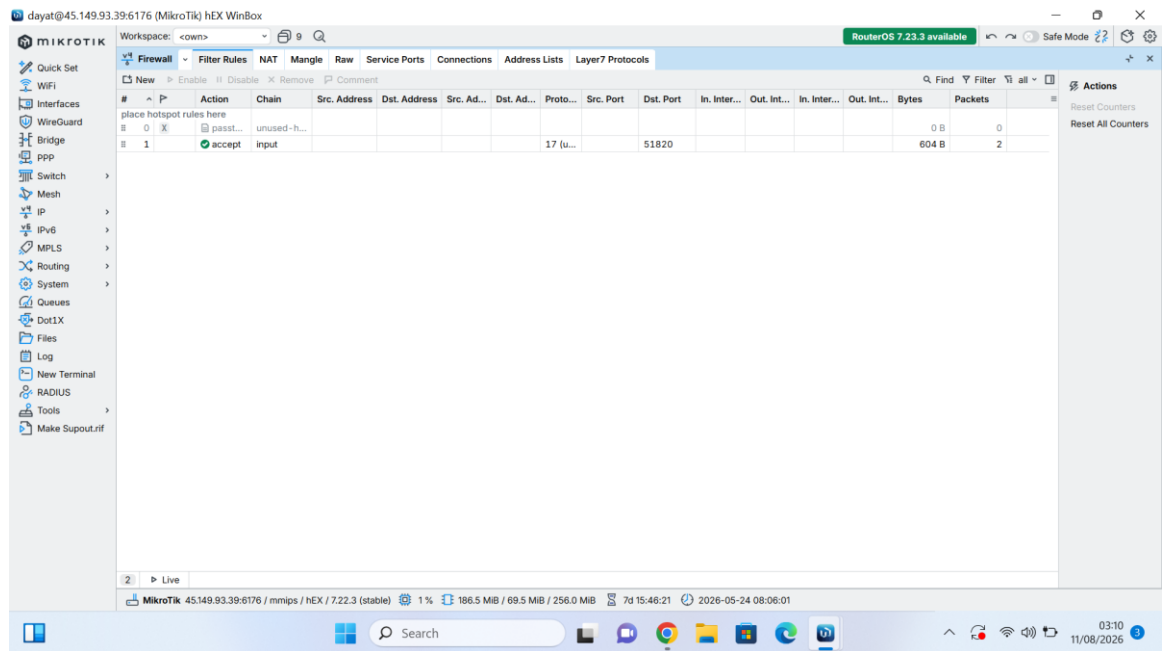


Gambar 16. Konfigurasi NAT (Masquerade) per Jalur WAN

Perbedaan jumlah paket dan *byte* yang tercatat pada kedua aturan NAT menunjukkan bahwa trafik yang melewati ether1-ISP1 lebih besar dibandingkan ether2-ISP2 pada saat dokumentasi dilakukan. Temuan tersebut memberikan indikasi awal bahwa distribusi trafik belum sepenuhnya proporsional. Secara konseptual, kondisi ini dapat terjadi karena ECMP melakukan pemilihan flow berdasarkan mekanisme *hashing* koneksi tanpa mempertimbangkan perbedaan kapasitas aktual antarlintas, sedangkan pada penelitian ini kapasitas Fiber Optic dan LTE tidak sama. Namun, data kumulatif tersebut belum dapat digunakan untuk menetapkan rasio pembagian trafik secara kuantitatif karena durasi akumulasi dan kondisi trafik saat pencatatan tidak terdokumentasi secara lengkap. Oleh karena itu,

temuan ini diposisikan sebagai indikasi awal yang perlu dikonfirmasi melalui pengujian terkontrol, khususnya pengukuran throughput.

Pada konfigurasi *firewall filter*, terdapat satu aturan eksplisit yang memberikan izin trafik masuk (accept pada *chain input*) untuk protokol UDP dengan tujuan port 51820 yang digunakan oleh WireGuard. Sementara itu, aturan lainnya masih berupa *placeholder* standar dan tidak dalam kondisi aktif.



Gambar 17. Konfigurasi Firewall Filter Rules

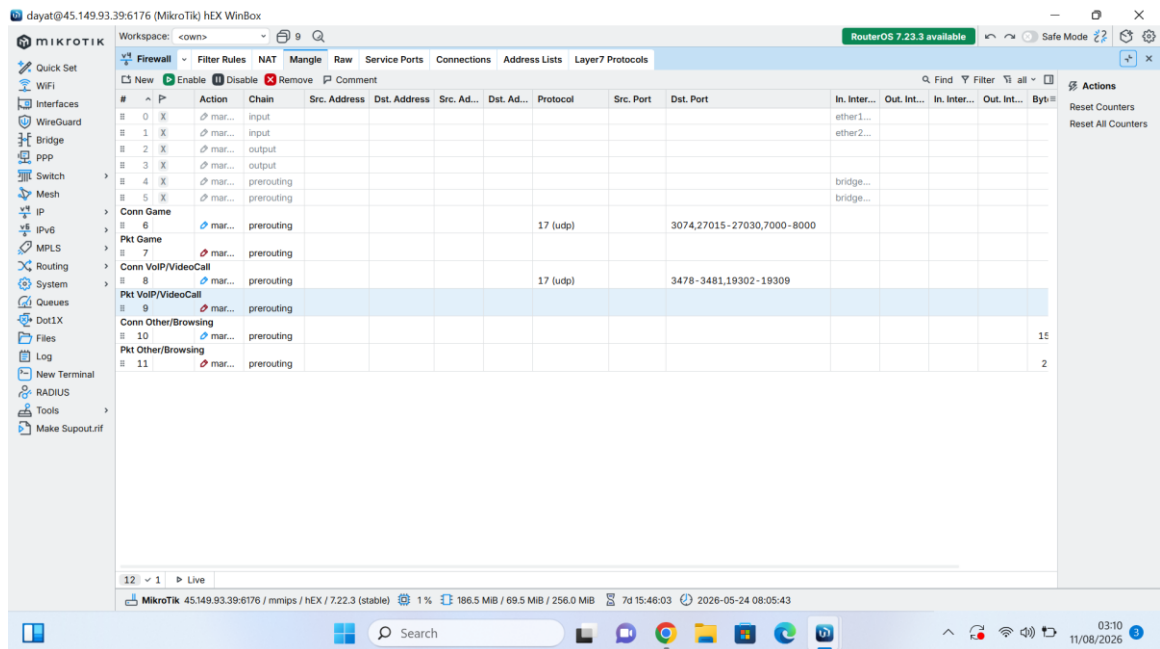
5. Konfigurasi Manajemen Trafik (Mangle) dan Queue Tree untuk Mendukung QoS

Untuk mendukung pengelompokan layanan, router menerapkan aturan mangle pada chain prerouting yang melakukan penandaan koneksi dan paket berdasarkan kategori aplikasi. Kategori yang digunakan meliputi Game, VoIP/Video Call, serta Other/Browsing. Identifikasi trafik dilakukan berdasarkan port tujuan UDP sebagaimana dirangkum pada Table 10.

Table 9. Aturan Mangle untuk Klasifikasi Trafik

Kategori	Protocol	Port Tujuan	Penanda (Mark)
Game	UDP (17)	3074, 27015-27030, 7000-8000	Conn/pkt-game
VoIP/Video Call	UDP (17)	3478-3481, 19302-19309	Conn/pkt-voip

Kategori	Protocol	Port Tujuan	Penanda (Mark)
Other/Browsing	----- (sisa trafik)	-----	Connt/pkt browser

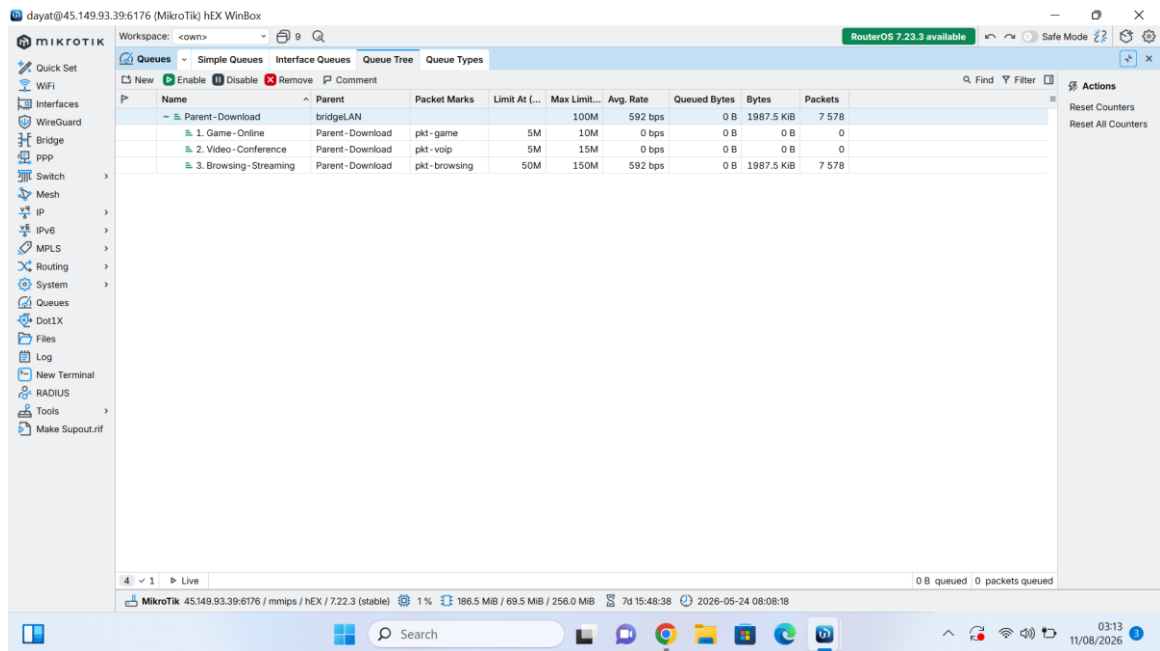


Gambar 18. Konfigurasi Firewall Mangle untuk Klasifikasi Trafik

Packet mark yang dihasilkan dari proses klasifikasi selanjutnya menjadi dasar penerapan *Queue Tree* berbasis *Hierarchical Token Bucket* (HTB). Struktur tersebut terdiri atas satu *queue* induk, yaitu *Parent-Download* pada *interface* bridgeLAN dengan kapasitas maksimum 100 Mbps, serta tiga *queue* turunan untuk kategori Game, Video-Conference, dan Browsing-Streaming.

Table 10. Struktur Queue Tree Manajemen Bandwidth

Queue	Paket Mark	Limit At	Max Limit
Parent-Download	-----	-----	100M
Game-online	Pkt-game	5M	10M
Video-Conference	Pkt-voip	5M	15M
Browsing-Streaming	Pkt-browsing	50M	150M



Gambar 19. Konfigurasi Queue Tree Manajemen Bandwidth

6. Rekapitulasi Jawaban Rumusan Masalah

Hasil implementasi menunjukkan bahwa konfigurasi ECMP pada router MikroTik untuk interkoneksi Dual-ISP di PP Darul Kamal telah berhasil diterapkan dan dapat beroperasi. Mekanisme utama dibentuk melalui dua *static default route* dengan *distance* yang sama pada kedua *gateway* ISP, kemudian didukung oleh bridge, DHCP Server, NAT pada masing-masing *interface* WAN, serta *mangle* dan *queue tree* untuk pengelolaan trafik prioritas. Berdasarkan struktur routing tersebut, implementasi telah memenuhi prinsip dasar ECMP. Adapun aspek konsistensi antara rancangan dan implementasi tetap perlu dijelaskan secara eksplisit agar kesinambungan metodologis tetap terjaga.

C. Hasil Pengukuran Parameter Quality of Service (QoS)

Pengujian ini memadukan hasil monitoring trafik MikroTik/WinBox, pengujian Ping, pengukuran throughput menggunakan Speedtest/Fast.com, dan pengolahan data *capture* Wireshark. Penyajian dilakukan dengan memisahkan hasil observasi *interface*, hasil uji *end-to-end*, serta hasil pengolahan paket agar setiap parameter dapat ditelusuri ke sumber data yang digunakan. Pada analisis Wireshark, istilah delay yang digunakan adalah Round-Trip Time (RTT) karena data diperoleh dari satu titik *capture*. Jitter operasional dihitung sebagai rata-rata selisih *absolut* RTT antar-paket berturut-turut.

1. Dasar dan Metode Pengukuran

Monitoring MikroTik digunakan untuk mengamati pola trafik pada *interface* bridgeLAN, sedangkan Ping digunakan untuk memperoleh

statistik *delay*, packet loss, dan sampel RTT. Wireshark digunakan untuk mengolah pasangan ICMP *Echo Request* dan *Echo Reply* sehingga dapat dihitung RTT, jitter berbasis variasi RTT, dan packet loss yang teramati. Pengujian throughput menggunakan Speedtest by Ookla dan Fast.com digunakan sebagai pengukuran kecepatan *end-to-end* pada koneksi yang aktif saat pengujian. Dokumentasi mentah berupa screenshot dan hasil capture ditempatkan pada lampiran pengujian.

2. Hasil Monitoring Trafik MikroTik pada Interface bridgeLAN

Hasil monitoring menunjukkan bahwa trafik pada bridgeLAN berubah sesuai aktivitas pengguna. Pada 25 Mei 2026, Tx berada pada rentang 5,0–6,4 Mbps, sedangkan Rx berada pada 103,8–136,9 kbps. Pada pengamatan lain, trafik turun hingga beberapa kbps. Sementara itu, *tooltip* grafik pada 15 Agustus 2026 menunjukkan lonjakan Tx sekitar 36,6 Mbps dan 84,2 Mbps. Nilai *tooltip* merupakan snapshot pada titik waktu tertentu dan bukan rata-rata keseluruhan periode.

Table 11. Hasil Monitoring Trafik pada Interface bridgeLAN

No	Tx Rate	Rx Rate	Keterangan
1	6,0 Mbps	121,4 kbps	Tx relatif tinggi, Rx rendah
2	5,7 Mbps	127,1 kbps	Pola relatif sama dengan pengamatan sebelumnya
3	5,0 Mbps	136,9 kbps	Tx menurun, Rx sedikit meningkat
4	6,4 Mbps	103,8 kbps	Tx tertinggi pada rangkaian pengamatan
5	5,3 Mbps	118,7 kbps	Tx kembali menurun
6	6,2 Mbps	112,5 kbps	Tx kembali meningkat
7	46,6 kbps	300,0 kbps	Trafik relatif rendah
8	5,0 kbps	976 bps	Trafik sangat rendah
9	2,7 kbps	3,8 kbps	Trafik sangat rendah
10	583,0 kbps	69,7 kbps	Terjadi peningkatan trafik
11	36,6 Mbps	836,4 kbps	Lonjakan Tx pada tooltip
12	84,2 Mbps	609,6 kbps	Lonjakan Tx tertinggi yang terlihat
13	3,8 Mbps	85,9 kbps	Trafik kembali pada tingkat menengah

Rata-rata enam snapshot pada 25 Mei 2026 adalah 5,77 Mbps untuk Tx dan 120,07 kbps untuk Rx. *Counter Tx/Rx Drops, Queue Drops*, dan *Tx/Rx Errors* pada *screenshot* yang dianalisis bernilai 0. Dengan demikian, pada level *interface* tidak terlihat indikasi drop atau *error* pada periode dokumentasi. Temuan ini tetap harus dipadukan dengan pengukuran *end-to-end* karena *zero drops/errors* pada *interface* tidak secara otomatis membuktikan kualitas QoS keseluruhan.

Table 12. Ringkasan Hasil Monitoring MikroTik

Parameter	Hasil	Keterangan
Rata-rata Rx	120,07 kbps	Rata-rata enam snapshot pengamatan
Rata-rata Tx	5,77 Mbps	Rata-rata enam snapshot pengamatan
Tx maksimum terpantau	84,2 Mbps	Snapshot tooltip pada titik waktu tertentu
Tx/Rx Drops	0	Tidak terlihat packet drop pada counter interface
Queue Drops	0	Tidak terlihat drop pada antrean yang ditampilkan
Tx/Rx Errors	0	Tidak terlihat error pada interface bridgeLAN
Pola trafik	<i>Bursty</i>	Periode trafik rendah diselingi lonjakan

Berdasarkan Tabel 12 dan Tabel 13, trafik pada bridgeLAN bersifat temporal dan *bursty*. Dominasi Tx pada fase beban tinggi menunjukkan bahwa dari sudut pandang router terdapat aktivitas pengiriman data ke klien yang lebih besar daripada penerimaan data dari klien. Pada fase idle, trafik turun secara drastis. Dokumentasi monitoring lengkap dirujuk pada lampiran hasil pengujian MikroTik.

3. Hasil Pengujian Delay, Jitter, dan Packet Loss (Ping)

Pengujian Ping dilakukan terhadap beberapa target, meliputi DNS publik, gateway LAN, gateway WAN/LTE, server Internet, dan localhost sebagai kontrol internal. Nilai delay minimum, maksimum, dan rata-rata diambil dari statistik yang ditampilkan tools pengujian. Jitter pada bagian ini dihitung dengan pendekatan *mean absolute successive difference* berdasarkan pasangan RTT yang tersedia. Hasil rekapitulasi disajikan pada Tabel 14, sedangkan screenshot pengujian secara lengkap ditempatkan pada lampiran.

Table 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian Delay, Jitter, dan Packet Loss (Ping)

No	Target Uji	Kirim/Terima	Loss %	Delay			Jitter (ms)
				Min (ms)	Maks (ms)	Rata-rata (ms)	
1	216.239.38.120	156/75	51,92	45	116	57	65,00

No	Target Uji	Kirim/Terima	Loss %	Delay			Jitter (ms)
				Min (ms)	Maks (ms)	Rata-rata (ms)	
2	10.10.10.1	680/679	0,15	0	114	1	18,10
3	8.8.8.8	100/97	3,00	72	134	84	7,23
4	8.8.4.4	100/99	1,00	69	114	82	7,23
5	1.1.1.1	100/95	5,00	38	1232	69	11,70
6	8.8.8.8	100/100	0,00	24	73	28	4,05
7	8.8.4.4	100/100	0,00	38	192	57	31,86
8	127.0.0.1	100/100	0,00	0	1	0	0,00
9	216.239.38.120	100/100	0,00	38	943	71	11,24
10	8.8.8.8	100/100	0,00	24	132	29	2,61
11	1.1.1.1	99/99	0,00	26	113	34	8,71
12	8.8.8.8	100/100	0,00	39	73	46	7,00
13	192.168.2.1	40/40	0,00	0,62	0,88	0,76	0,11
14	74.125.130.139	40/40	0,00	24,30	36,33	26,89	0,90

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa *delay* antar-target tidak seragam. Gateway LAN dan gateway lokal memberikan RTT yang rendah, sedangkan target Internet memberikan RTT yang lebih tinggi. Salah satu sesi menuju 216.239.38.120 menunjukkan packet loss 51,92% yang disertai *timeout* dan *destination unreachable*, sehingga temuan tersebut lebih tepat diperlakukan sebagai anomali *reachability/routing* pada saat pengujian daripada sebagai karakteristik permanen jaringan. Pada pengujian 8.8.4.4, jitter mencapai 31,86 ms dan berkaitan dengan beberapa lonjakan delay. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kondisi jaringan dapat berubah antar-sesi pengukuran. Secara keseluruhan, data Ping menunjukkan adanya variasi RTT dan jitter antar sesi. Nilai tersebut tidak boleh langsung dipetakan sebagai kondisi *Single ISP* atau *Dual-ISP ECMP* apabila metadata skenario tidak tersedia

pada bukti pengukuran. Oleh karena itu, hasil Ping pada bagian ini digunakan sebagai bukti empiris kondisi jaringan pada saat pengujian.

4. Hasil Pengujian Throughput (Speedtest dan Fast.com)

Pengukuran throughput dilakukan menggunakan Speedtest by Ookla dan Fast.com untuk memperoleh gambaran kecepatan download, upload, dan *latency* pada koneksi yang aktif. Hasilnya digunakan sebagai indikator kapasitas aktual masing-masing jalur, bukan sebagai bukti throughput agregat ECMP dua jalur secara simultan.

Table 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Throughput

No	Penyedia ISP	Fast.com			Speed Test		
		Download (Mbps)	Upload (Mbps)	Ping (ms)	Download (Mbps)	Upload (Mbps)	Ping (ms)
1	IM3 Oredoo (LTE)				47,58	28,61	32
2	Telkom	150,00	44,00	11(unloaded/31 loaded)			
3	Telkom				152,34	25,17	7
4	Telkom				103,00	20,62	5
5	IM3 Oredoo (LTE)	34,00	25,00	39(unloaded)/289 loaded)	43,74	11,25	21

Berdasarkan pengukuran yang terdokumentasi, throughput aktual menunjukkan karakteristik heterogen antara Fiber Optic dan LTE. Jalur LTE tercatat sekitar 47,58 Mbps pada salah satu sesi, sedangkan Fiber Optic mencapai sekitar 103–152,34 Mbps. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa kedua WAN memiliki kapasitas aktual yang tidak sama. Speedtest/Fast.com dilakukan pada satu koneksi *end-to-end* pada satu waktu sehingga hasilnya tidak boleh dinyatakan sebagai throughput agregat ECMP. Dokumentasi hasil pengukuran dirujuk pada lampiran pengujian throughput.

5. Hasil Pengolahan Data Wireshark

Data tambahan Wireshark berasal dari lima kelompok capture atau hasil konversi CSV. Untuk menjaga konsistensi analisis, KPI utama difokuskan pada tujuan Internet yang memiliki jumlah sampel memadai. Pada data yang mencampurkan tujuan lokal dan Internet, nilai agregat diberikan catatan khusus agar tidak ditafsirkan sebagai KPI Internet murni. *Delay* pada bagian ini merupakan RTT ICMP, sedangkan jitter dihitung sebagai rata-rata selisih absolut RTT berturut-turut.

Table 15. Tabel 16. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Wireshark

No.	Dataset	Tujuan/KPI	RTT rata-rata (ms)	Jitter rata-rata (ms)	Packet Loss (%)
1	2026(1).pcapng	8.8.8.8 + 8.8.4.4	56,152	4,986	0,613
2	data 2(1).csv	8.8.4.4	78,286	16,494	0,225
3	data 3(1).csv	3 tujuan Internet	43,684	9,559	0,069
4	data 4(1).csv	Gabungan seluruh aliran	5,527	7,442	11,655
5	5.pcapng	8.8.8.8 + 8.8.4.4	64,871	41,572	0,403

Pada data 4(1).csv, nilai 11,655% merupakan *unanswered Echo Request rate agregat* dan dipengaruhi oleh 396 pesan ICMP *Destination Unreachable*, nilai tersebut tidak digunakan sebagai bukti packet loss akibat congestion. Pada capture 5.pcapng, jitter 41,572 ms merupakan ringkasan gabungan; nilai per tujuan disajikan pada Tabel 17.

Table 16. Rekapitulasi Hasil Pengukuran pada Tujuan Internet Utama

Dataset	Tujuan	Request	Reply	Loss (%)	RTT rata-rata (ms)	Jitter rata-rata (ms)
2026(1).pcapng	8.8.8.8	227	226	0,441	56,751	4,894
2026(1).pcapng	8.8.4.4	99	98	1,010	54,771	4,363
data 2(1).csv	8.8.4.4	444	443	0,225	78,286	16,494
data 3(1).csv	8.8.8.8	469	468	0,213	76,625	23,635
data 3(1).csv	8.8.4.4	486	486	0,000	27,330	3,161
5.pcapng	8.8.8.8	382	380	0,524	67,011	46,074
5.pcapng	8.8.4.4	363	362	0,275	62,624	36,846

D. Pembahasan

1. Pembahasan Hasil Delay/RTT

Pada capture 2026(1).pcapng, RTT rata-rata gabungan DNS publik sebesar 56,152 ms dengan maksimum 81,499 ms. Selisih median 54,891 ms dan rata-rata 56,152 ms relatif kecil, sehingga distribusi pada capture ini tidak didominasi *outlier ekstrem*. Pada data 2(1).csv, tujuan 8.8.4.4 memiliki RTT rata-rata 78,286 ms dengan maksimum 370,262 ms. Data 3(1).csv menunjukkan RTT rata-rata gabungan 43,684 ms, dengan tujuan 8.8.8.8 memiliki RTT rata-rata 76,625 ms dan 8.8.4.4 sebesar 27,330 ms. Pada capture 5.pcapng, RTT rata-rata gabungan 64,871 ms, tetapi maksimum mencapai 1.099,470 ms. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa rata-rata delay yang moderat dapat berjalan bersamaan dengan spike *latency* yang tinggi, sehingga kestabilan tidak dapat dinilai hanya dari satu nilai rata-rata.

2. Pembahasan Hasil Jitter

Jitter operasional menunjukkan variasi antar dataset. Capture 2026(1).pcapng menghasilkan rata-rata 4,986 ms, data 2(1).csv sebesar 16,494 ms pada 8.8.4.4, data 3(1).csv sebesar 9,559 ms secara gabungan, sedangkan capture 5.pcapng

menghasilkan 46,074 ms pada 8.8.8.8 dan 36,846 ms pada 8.8.4.4. Nilai tinggi pada capture 5.pcapng berkaitan dengan spike RTT yang besar. Karena itu, interpretasi jitter harus dilihat bersama distribusi RTT dan nilai maksimum. Definisi jitter yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi *absolut* RTT berturut-turut dan bukan interarrival jitter RTP.

3. Pembahasan *Packet Loss* dan *Reachability*

Pada tujuan Internet utama, packet loss yang terobservasi berada pada kisaran 0–1,010% pada beberapa sesi, misalnya 0,613% pada capture 2026(1).pcapng, 0,225% pada data 2(1).csv, 0,069% pada data 3(1).csv, dan 0,403% pada capture 5.pcapng. Data 4(1).csv harus dibaca secara berbeda karena terdapat 207 *Echo Request* tanpa *reply* dari 1.776 *request* dan 396 pesan *Destination Unreachable*. Oleh karena itu, nilai 11,655% lebih tepat diperlakukan sebagai *unanswered rate* yang berkaitan dengan *reachability/routing* pada sebagian trafik, bukan langsung sebagai packet loss akibat *congestion*.

4. Validasi Hasil Monitoring MikroTik dan Wireshark

MikroTik dan Wireshark memberikan sudut pandang pengukuran yang berbeda. MikroTik merepresentasikan kondisi *interface* dan pola trafik pada snapshot tertentu, sedangkan Wireshark menilai keberhasilan pertukaran paket secara *end-to-end* pada sesi yang terekam. Oleh karena itu, *counter interface* yang menunjukkan *zero drops/errors* tidak bertentangan dengan temuan Wireshark berupa *unanswered Echo Request*. Kedua hasil tersebut harus ditempatkan sebagai indikator yang saling melengkapi.

5. Perbandingan Single ISP dan Dual-ISP ECMP

Konfigurasi penelitian menyediakan dua kondisi routing pada perangkat yang sama. Pada Dual-ISP, kedua rute *default* menggunakan *distance* 1, sedangkan pada Single ISP rute Fiber Optic menggunakan *distance* 1 dan LTE *distance* 2. Dengan demikian, kondisi baseline dan ECMP dapat dibentuk tanpa mengubah topologi fisik. Namun, data tambahan Wireshark yang tersedia belum seluruhnya mempunyai metadata yang menghubungkan setiap capture dengan kondisi Single ISP atau Dual-ISP ECMP, jumlah *client*, jenis trafik, dan interval pengujian yang sama. Oleh karena itu, data tambahan ini digunakan untuk memperkuat bukti performa jaringan dan variasi QoS, tetapi tidak digunakan untuk membuat klaim kausal bahwa ECMP pasti meningkatkan atau menurunkan setiap parameter QoS.

Table 17. Ringkasan Temuan Implementasi dan Pengukuran

Parameter	Hasil Utama	Kesimpulan
Implementasi ECMP	Dua default route 0.0.0.0/0 dengan <i>distance</i> 1 pada Fiber Optic dan LTE	ECMP berhasil dibentuk secara operasional

Parameter	Hasil Utama	Kesimpulan
Monitoring MikroTik	Tx 5,0–6,4 Mbps pada fase beban tinggi; tooltip mencapai 84,2 Mbps; drops/errors 0	Trafik dinamis dan bursty; tidak terlihat <i>drop/error interface</i> pada snapshot
Delay/RTT	RTT rata-rata dataset utama 43,684–78,286 ms; maksimum 1.099,470 ms pada 5.pcapng	Rata-rata moderat pada sebagian sesi, tetapi terdapat spike <i>latency</i>
Jitter	4,986–46,074 ms pada KPI utama	Fluktuasi meningkat pada capture dengan spike RTT
Packet loss observasional	0,069–0,613% pada beberapa KPI Internet; data 4 sebesar 11,655% <i>unanswered rate</i>	Loss terobservasi ada, tetapi penyebab tidak selalu dapat dipastikan sebagai <i>congestion</i>
Bukti komparatif ECMP	Metadata kondisi <i>Single/ECMP</i> belum lengkap pada seluruh capture	Belum cukup untuk klaim kausal/statistik

Berdasarkan hasil implementasi dan pengukuran, konfigurasi Dual-ISP ECMP pada MikroTik RB750Gr3 telah berhasil dibentuk menggunakan dua *default route* dengan *distance* yang sama pada jalur Fiber Optic dan LTE. Monitoring bridgeLAN menunjukkan bahwa trafik bersifat dinamis dan *bursty*, dengan rata-rata snapshot 25 Mei 2026 sebesar 5,77 Mbps Tx dan 120,07 kbps Rx serta lonjakan Tx sekitar 84,2 Mbps pada 15 Agustus 2026. Pada screenshot yang dianalisis, Tx/Rx Drops, Queue Drops, dan Tx/Rx Errors tercatat 0. Hasil Wireshark menunjukkan bahwa RTT dan jitter berubah antar capture. RTT rata-rata pada dataset utama berada pada kisaran puluhan milidetik, tetapi capture 5.pcapng memiliki spike hingga 1.099,470 ms. Packet loss yang terobservasi pada beberapa KPI Internet utama berada pada kisaran 0,069–0,613%, sedangkan data 4(1).csv menunjukkan *unanswered rate* yang lebih tinggi karena tercampur dengan kondisi *reachability/routing failure*. Oleh karena itu, data tambahan cukup kuat untuk menunjukkan kondisi empiris jaringan, tetapi belum cukup untuk menyatakan secara kausal dan statistik bahwa Dual-ISP ECMP lebih baik daripada *Single ISP* tanpa pelabelan skenario, durasi, beban, jumlah *client*, dan interval pengujian yang setara.

Dokumentasi konfigurasi MikroTik, screenshot monitoring, hasil Ping, hasil Speedtest/Fast.com, serta data capture Wireshark secara lengkap dirujuk pada lampiran penelitian. Detail perhitungan pasangan ICMP, contoh perhitungan RTT, jitter, dan packet loss tidak diulang seluruhnya pada BAB IV agar penyajian hasil tetap fokus pada temuan utama.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan analisis data pada BAB IV, simpulan penelitian dirumuskan dengan mempertimbangkan bukti empiris yang tersedia sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil implementasi dan pengukuran, konfigurasi Dual-ISP ECMP pada MikroTik RB750Gr3 telah berhasil dibentuk menggunakan dua *default route* dengan *distance* yang sama pada jalur Fiber Optic dan LTE. Monitoring bridgeLAN menunjukkan bahwa trafik bersifat dinamis dan *bursty*, dengan rata-rata snapshot 25 Mei 2026 sebesar 5,77 Mbps Tx dan 120,07 kbps Rx serta lonjakan Tx sekitar 84,2 Mbps pada 15 Agustus 2026. Pada screenshot yang dianalisis, Tx/Rx *Drops*, *Queue Drops*, dan Tx/Rx *Errors* tercatat 0. Hasil Wireshark menunjukkan bahwa RTT dan jitter berubah antar capture. RTT rata-rata pada dataset utama berada pada kisaran puluhan milidetik, tetapi capture 5.pcapng memiliki spike hingga 1.099,470 ms. Packet loss yang terobservasi pada beberapa KPI Internet utama berada pada kisaran 0,069–0,613%, sedangkan data 4(1).csv menunjukkan *unanswered rate* yang lebih tinggi karena tercampur dengan kondisi *reachability/routing failure*. Oleh karena itu, data tambahan cukup kuat untuk menunjukkan kondisi empiris jaringan, tetapi belum cukup untuk menyatakan secara kausal dan statistik bahwa Dual-ISP ECMP lebih baik daripada Single ISP tanpa pelabelan skenario, durasi, beban, jumlah client, dan interval pengujian yang setara.
2. Berdasarkan 14 sesi Ping dan empat sesi Speedtest/Fast.com yang terdokumentasi pada Tabel 12 dan Tabel 13, sebagian besar hasil pengujian menunjukkan kondisi QoS yang masih berada pada batas yang dapat diterima. Sebanyak 11 dari 14 sesi menunjukkan *delay* rata-rata dan jitter dalam ambang ITU-T Y.1541 Kelas 0. Di sisi lain, terdapat anomali berupa *packet loss* 51,92%, jitter 31,86 ms yang disertai lonjakan *delay*, dan lonjakan *delay* hingga 114 ms pada pengujian *gateway* LAN. Anomali tersebut belum dapat dikaitkan secara pasti dengan kondisi Single ISP atau Dual-ISP karena metadata skenario tidak tersedia pada bukti pengujian.
3. Secara umum, penelitian ini memberikan bukti bahwa interkoneksi Dual-ISP menggunakan ECMP pada router MikroTik dapat diterapkan sebagai mekanisme redundansi dan sebagai dasar pemanfaatan dua jalur internet pada lingkungan PP Darul Kamal. Pada saat yang sama, penelitian mengidentifikasi kebutuhan pengujian tambahan yang lebih terstruktur agar manfaat ECMP terhadap QoS dibandingkan Single ISP dapat dibuktikan secara kuantitatif dan statistik.

B. Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian, saran yang diajukan untuk penyempurnaan penelitian maupun implementasi jaringan adalah sebagai berikut:

1. Mempertimbangkan penggunaan ECMP berbobot (*weighted ECMP*) atau kebijakan routing berbasis kualitas jalur, misalnya melalui *Netwatch* atau *Script* pemantauan *Gateway* pada RouterOS.
2. menerapkan monitoring jaringan secara berkelanjutan, misalnya menggunakan MikroTik *Netwatch*, *the dude*, atau sistem eksternal berbasis SNMP seperti *Graffana/Zabbix*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Haryono, N. Kerenzia, and G. Indriyanta, "Tinjauan Performa Load Balancing Ecmp Dengan Nth Pada Implementasi Beberapa Jalur Internet," *Journal of Software Engineering and Multimedia (JASMED)*, vol. 1, no. 2, pp. 83–94, 2024.
- [2] A. Pratama, "Penerapan Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (Ecmp) Pada Jaringan Semesta Group," *Fakultas Komunikasi dan Informatika Universitas MuhammadiyahSurakarta*, 2021. [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/91988>.
- [3] J. Poor, "Analysis of an Equal-cost Multi-path Algorithm," *Ilmu pengetahuan*, vol. 1, no. 20, pp. 220–225, 2000.
- [4] J. Song, P. Dong, H. Zhou, T. Zheng, X. Du, and M. Guizani, "A performance analysis model for TCP over multiple heterogeneous paths in 5G networks," *Proceedings - IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM*, vol. 2, no. 2, pp. 1–17, 2017.
- [5] N. Nurmiati, L. Surimi, and S. Subardin, "Analisis Kinerja Load Balancing Terhadap Jaringan Internet Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (ECMP)," *Digital Transformation Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 52–62, 2022.
- [6] A. Husni, E. Budiman, M. Taruk, and H. J. Setyadi, "Teknik Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (ECMP) Untuk Mengukur Beban Traffic Di Diskominfo Tenggara," *Prosiding Seminar Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 1, pp. 103–109, 2018.
- [7] R. Pakiding, C. Iswahyudi, and R. Y. Ariyana, "Simulasi Perbandingan Load Balancing Dengan Metode PCC, ECMP, Dan NTH Menggunakan GNS3," *Jurnal Jarkom*, vol. 9, no. 1, pp. 30–39, 2021.
- [8] I. Sidik, "Implementasi Load Balancing pada Mikrotik menggunakan Metode ECMP (Studi Kasus: STIE Gentiaras Bandar Lampung)," *Teknologipintar.org*, vol. 3, no. 1, pp. 1–19, 2023.
- [9] B. Hidayat and A. Wibowo, "Implementasi Manajemen Bandwidth Load Balancing Equal Cost Multi-Path," *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, vol. 4, no. 1, pp. 177–184, 2022.
- [10] M. K. Anwar and I. Nurhaida, "Implementasi Load Balancing Menggunakan Metode Equal Cost Multi Path (ECMP) Pada Interkoneksi Jaringan," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 9, no. 1, p. 39, 2019.
- [11] R. Alkatiri, E. Gunawan, and S. M., "Analisis Perbandingan Metode Load Balancing PCC dan ECMP Menggunakan Mikrotik Hap Late Rb941," *Jurnal Teknik Informatika (J-Tifa)*, vol. 4, no. 1, pp. 18–22, 2021.
- [12] M. I. Firdaus, "Analisis Perbandingan Kinerja Load Balancing Metode Ecmp (Equal Cost Multi-Path) Dengan Metode Pcc (Per Connection Classifier) Pada Mikrotik Routeros," *Technologia: Jurnal Ilmiah*, vol. 8, no. 3, p. 165-170, 2017.

- [13] M. F. Zulkarnaen and M. I. Isnaini, "Implementasi Load Balancing Dengan Metode Equal Cost Multi-Path," *Jurnal Informatika dan Rekayasa Elektronik*, vol. 1, no. 1, p. 13-17, 2018.
- [14] I. N. Bernadus, P. W. Rahayu, and I. M. D. Ardiada, "Load Balance Design Using Ecmp (Equal Cost Multi Path) Method on Mikrotik Routerboard 750Gr3," *Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 137–142, 2022.
- [15] M. A. Permana, H. Supendar, and S. SW, "Analisa Kinerja Load Balancing Terhadap Jaringan Local Area Network Berbasis Cisco Router," *Jurnal Infortech*, vol. 2, no. 2, pp. 204–210, 2020.
- [16] A. Abdullah, "Implementasi Teknik Load Balancing dan Failover Dengan Metode Ecmp Dalam Peningkatan Kualitas Layanan Jaringan," *Jurnal Sains Komputer dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 1, pp. 111–115, 2020.
- [17] S. Hadi, B. Ardi, and Pramono, "Indonesian Journal of Computer Science," *Indonesian Journal of Computer Science*, vol. 12, no. 2, pp. 284–301, 2023.
- [18] A. C. P. Wibawa, R. Hikmawan, and D. P. Sari, "Analisis QoS untuk Mengoptimalkan Jaringan Internet Menggunakan Metode Load Balancing (Studi Kasus: Diskominfo Kabupaten Kuningan)," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 14, no. 1, pp. 1–16, 2024.
- [19] M. I. Rachmad Anwar and D. Priyawati, "Comparative Analysis of PCC and ECMP Methods in Load Balancing Using GNS3 Simulator," *Sistemasi*, vol. 13, no. 2, p. 458-474, 2024.
- [20] M. F. Asnawi, "Aplikasi Konfigurasi Mikrotik Sebagai Manajemen," *Ppkm I*, vol. 42–48, no. ISSN 2614-3763, pp. 42–48, 2018.
- [21] Raden Putri, "Jaringan Internet dan Interkoneksi Jaringan," *gramedia*, 2025. [Online]. Available: <https://www.gramedia.com/literasi/jaringan-internet/>.
- [22] W. Sugeng and F. D. Riandy, "Perbandingan QOS Dari Metode NTH ECMP dan PCC untuk Layanan Berbasis Konten," *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, vol. 9, no. 3, pp. 436–444, 2023.
- [23] Citraweb, "Mikrotik: Pengertian, sejarah, fungsi dan jenisnya," *citraweb*, 2024. [Online]. Available: <https://www.idn.id/sejarah-mikrotik-diciptakan/>. [Accessed: 13-Apr-2026].
- [24] Citraweb, "Load Balance dengan Menggunakan Metode PCC (Simple)," 2020. [Online]. Available: https://citraweb.com/artikel_lihat.php?id=417.
- [25] Mentor, "Konfigurasi Load Balancing ECMP di Mikrotik," *citraweb*, 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@mentorjaringan/konfigurasi-load-balancing-ecmp-di-mikrotik-belajar-m-c93b791a36a6>.
- [26] B. Maris, "Routing Mikrotik," *Maret*, 2026. [Online]. Available: <https://help.mikrotik.com/docs/spaces/ROS/pages/328084/IP+Routing>.
- [27] A. Frihadi, S. Windasari, B. Bagaskoro, M. Dama, and A. A. Rotib, "Analisis Performa Load Balancing Menggunakan PCC Method pada MikroTik

Router,” *Jurnal Ekselenta*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2025.

[28] Citraweb, “Load Balance Metode NTH,” *mikrotik.id*, 2023. [Online]. Available: https://citraweb.com/artikel_lihat.php?id=195.

[29] M. Sulaeman and A. B. Prasetio, “Load Balancing Analysis On Mikrotik Routers Using PCC AND NTH,” *Jurnal Ekselenta*, vol. 2, no. 1, pp 8-20, 2025.

[30] S. Geneva, “Network performance objectives for IP-based services”., *ITU-T Y Series*, vol. 6, no. 2, pp. 8–55, 2011.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tes Ping Pada BAB IV Poin C. pengujian QoS menggunakan *command prompt/windows powershell*

```
Command Prompt
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Reply from 10.10.10.1: Destination net unreachable.
Reply from 10.10.10.1: Destination net unreachable.
Reply from 10.10.10.1: Destination net unreachable.
Reply from 10.10.10.1: Destination net unreachable.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Ping statistics for 216.239.38.120:
    Packets: Sent = 156, Received = 75, Lost = 81 (51% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 45ms, Maximum = 116ms, Average = 57ms
Control-C
^C
C:\Users\Bang_Rooy>
C:\Users\Bang_Rooy>
```

The screenshot shows a Windows taskbar at the bottom with various application icons like File Explorer, Microsoft Edge, Google Chrome, and others. The system clock indicates it's 06:00 on 01/08/2026.

```

Windows PowerShell
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=32ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=50ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=45ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=48ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=43ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=51ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=49ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=43ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=52ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=42ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=49ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=116ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=42ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=47ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=46ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=54ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=48ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=54ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=51ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=54ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=44ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=54ms TTL=51
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=45ms TTL=52
Reply from 1.1.1.1: bytes=32 time=48ms TTL=51

Ping statistics for 1.1.1.1:
    Packets: Sent = 100, Received = 95, Lost = 5 (5% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 38ms, Maximum = 1232ms, Average = 69ms

PS C:\Users\Bang_Rooy>

```

11:37 10/08/2023


```
Windows PowerShell
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=52ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=50ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=41ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=54ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=70ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=47ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=52ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=45ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=51ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=53ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=39ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=50ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=41ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=50ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=49ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=53ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=47ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=60ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=64ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=66ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=67ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=47ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=101ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=46ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=38ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=45ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=62ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=51ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=41ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=49ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=50ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=40ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=46ms TTL=113
Reply from 216.239.38.120: bytes=32 time=53ms TTL=113

Ping statistics for 216.239.38.120:
    Packets: Sent = 100, Received = 100, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 38ms, Maximum = 943ms, Average = 71ms
PS C:\Users\Bang_Rooy>
```

```
Command Prompt
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=36ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=28ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=25ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=28ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=27ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=27ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=27ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=29ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=27ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=24ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=25ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=26ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=30ms TTL=115
Reply from 8.8.8.8: bytes=32 time=27ms TTL=115

Ping statistics for 8.8.8.8:
    Packets: Sent = 100, Received = 100, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 24ms, Maximum = 132ms, Average = 29ms
C:\Users\Bang_Rooy>
```

dayat@45.149.93.39:6176 (MikroTik) hX WinBox

Workspace: <own> 11

RouterOS 7.23.3 available

Safe Mode

Terminal

```
2 192.168.2.1 56 64 781us
3 192.168.2.1 56 64 799us
4 192.168.2.1 56 64 797us
5 192.168.2.1 56 64 882us
6 192.168.2.1 56 64 775us
7 192.168.2.1 56 64 732us
8 192.168.2.1 56 64 871us
9 192.168.2.1 56 64 721us
10 192.168.2.1 56 64 867us
11 192.168.2.1 56 64 866us
12 192.168.2.1 56 64 657us
13 192.168.2.1 56 64 849us
14 192.168.2.1 56 64 683us
15 192.168.2.1 56 64 882us
16 192.168.2.1 56 64 714us
17 192.168.2.1 56 64 797us
18 192.168.2.1 56 64 665us
19 192.168.2.1 56 64 814us

sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=657us avg-rtt=785us max-rtt=882us

SEQ HOST SIZE TTL TIME STATUS
20 192.168.2.1 56 64 618us
21 192.168.2.1 56 64 716us
22 192.168.2.1 56 64 690us
23 192.168.2.1 56 64 815us
24 192.168.2.1 56 64 659us
25 192.168.2.1 56 64 826us
26 192.168.2.1 56 64 620us
27 192.168.2.1 56 64 889us
28 192.168.2.1 56 64 690us
29 192.168.2.1 56 64 822us
30 192.168.2.1 56 64 673us
31 192.168.2.1 56 64 778us
32 192.168.2.1 56 64 664us
33 192.168.2.1 56 64 789us
34 192.168.2.1 56 64 690us
35 192.168.2.1 56 64 684us
36 192.168.2.1 56 64 862us
37 192.168.2.1 56 64 675us
38 192.168.2.1 56 64 785us
39 192.168.2.1 56 64 700us

sent=40 received=40 packet-loss=0% min-rtt=618us avg-rtt=756us max-rtt=882us

[dayat@MikroTik] >
```

MikroTik 45.149.93.39:6176 / mmpis / HEX / 7.22.3 (stable) 2 % 186.4 MB / 69.8 MB / 256.0 MB 7d 15:56:28 2026-05-24 08:16:07

03:21 11/08/2026

dayat@45.149.93.39:6176 (MikroTik) hX WinBox

Workspace: <own> 11

RouterOS 7.23.3 available

Safe Mode

Terminal

```
8 74.125.130.139 56 107 36ms331us
1 74.125.130.139 56 107 24ms763us
2 74.125.130.139 56 107 27ms567us
3 74.125.130.139 56 107 26ms830us
4 74.125.130.139 56 107 27ms190us
5 74.125.130.139 56 107 26ms485us
6 74.125.130.139 56 107 26ms304us
7 74.125.130.139 56 107 26ms392us
8 74.125.130.139 56 107 26ms350us
9 74.125.130.139 56 107 26ms738us
10 74.125.130.139 56 107 26ms951us
11 74.125.130.139 56 107 26ms575us
12 74.125.130.139 56 107 26ms528us
13 74.125.130.139 56 107 26ms931us
14 74.125.130.139 56 107 27ms198us
15 74.125.130.139 56 107 26ms651us
16 74.125.130.139 56 107 27ms35us
17 74.125.130.139 56 107 27ms185us
18 74.125.130.139 56 107 26ms465us
19 74.125.130.139 56 107 26ms812us

sent=20 received=20 packet-loss=0% min-rtt=26ms304us avg-rtt=26ms966us max-rtt=36ms331us

SEQ HOST SIZE TTL TIME STATUS
20 74.125.130.139 56 107 27ms3us
21 74.125.130.139 56 107 26ms606us
22 74.125.130.139 56 107 27ms20us
23 74.125.130.139 56 107 27ms119us
24 74.125.130.139 56 107 26ms406us
25 74.125.130.139 56 107 27ms201us
26 74.125.130.139 56 107 27ms167us
27 74.125.130.139 56 107 26ms485us
28 74.125.130.139 56 107 26ms632us
29 74.125.130.139 56 107 27ms134us
30 74.125.130.139 56 107 26ms731us
31 74.125.130.139 56 107 27ms273us
32 74.125.130.139 56 107 26ms581us
33 74.125.130.139 56 107 26ms370us
34 74.125.130.139 56 107 26ms360us
35 74.125.130.139 56 107 26ms482us
36 74.125.130.139 56 107 26ms770us
37 74.125.130.139 56 107 26ms783us
38 74.125.130.139 56 107 27ms75us
39 74.125.130.139 56 107 26ms928us

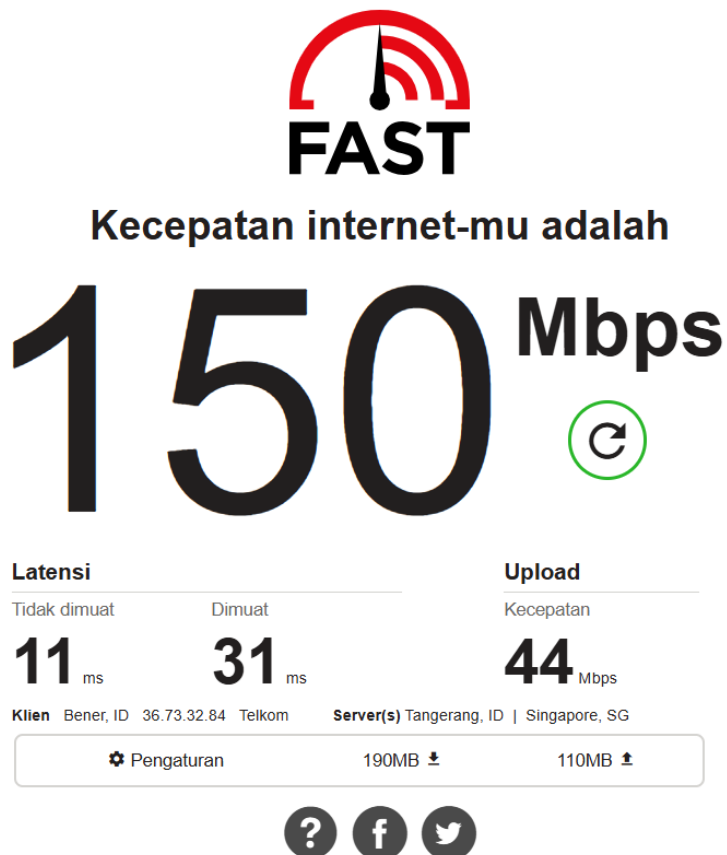
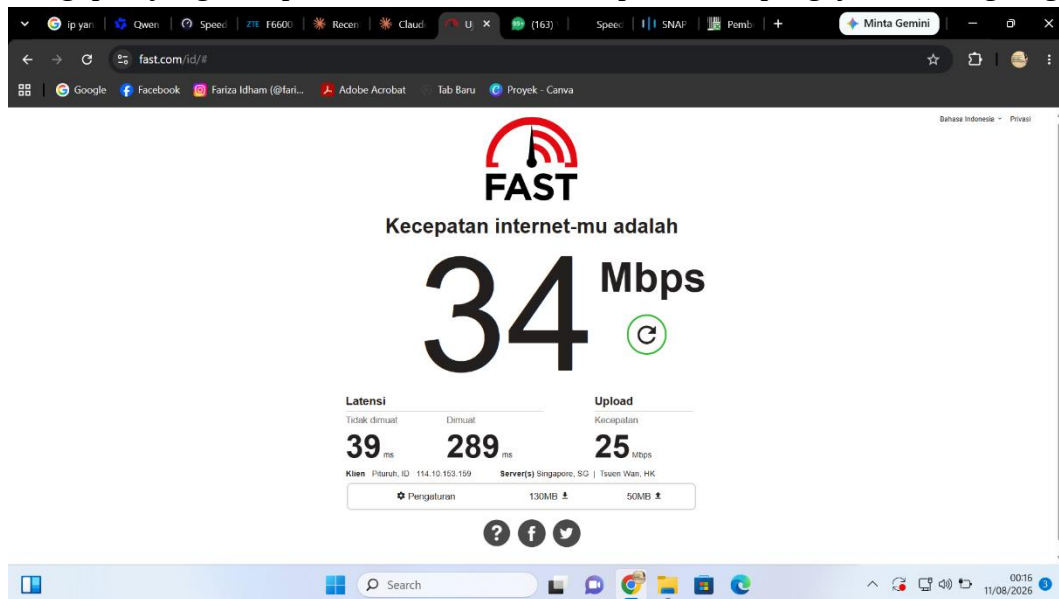
sent=40 received=40 packet-loss=0% min-rtt=26ms304us avg-rtt=26ms893us max-rtt=36ms331us

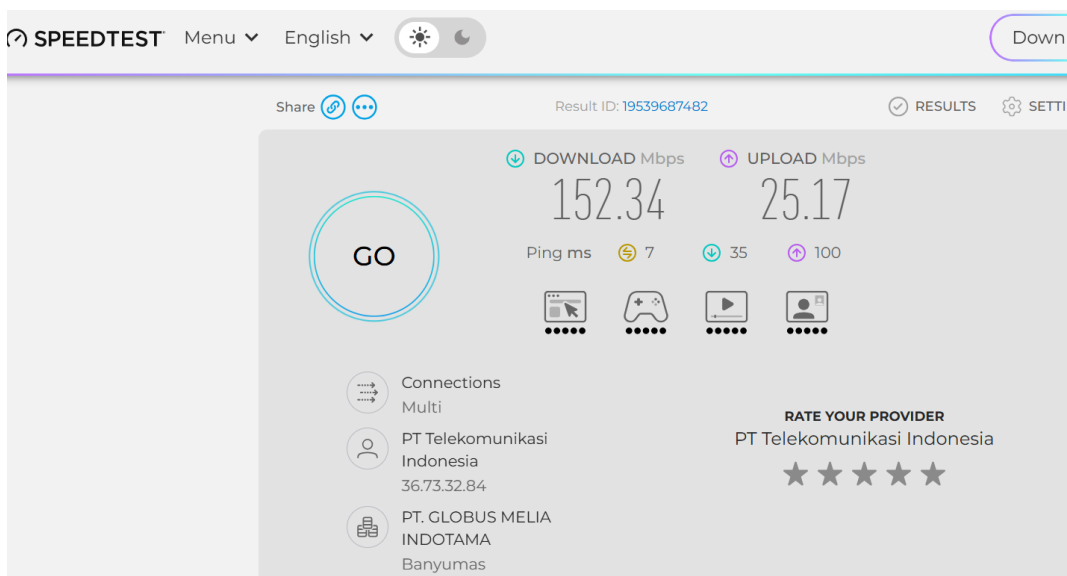
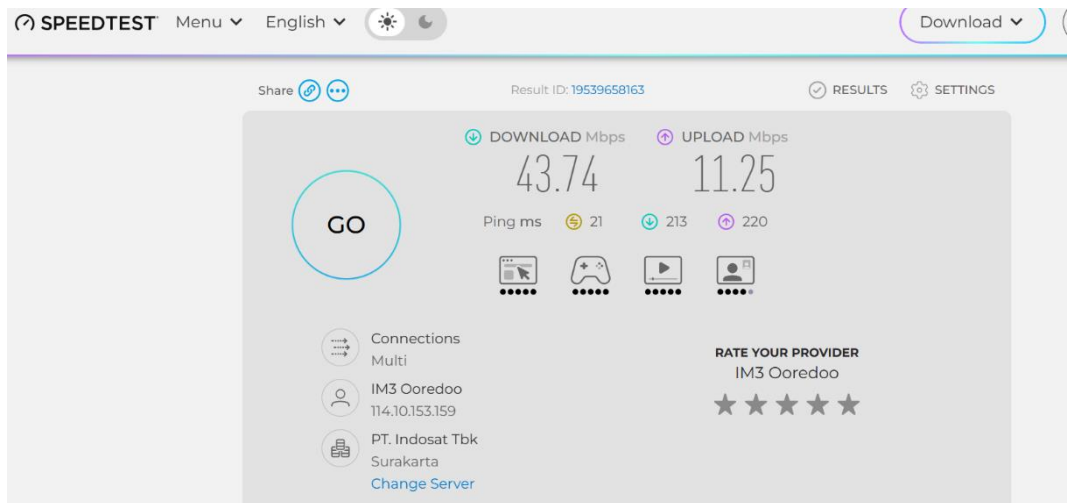
MikroTik 45.149.93.39:6176 / mmpis / HEX / 7.22.3 (stable) 2 % 186.4 MB / 69.8 MB / 256.0 MB 7d 15:57:25 2026-05-24 08:17:05

03:22 11/08/2026

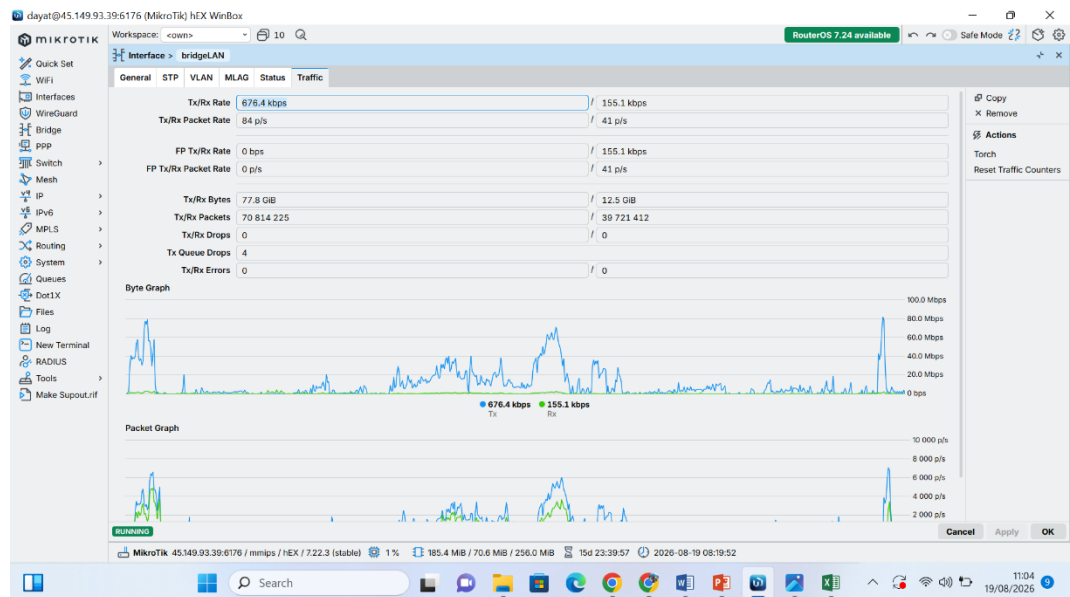
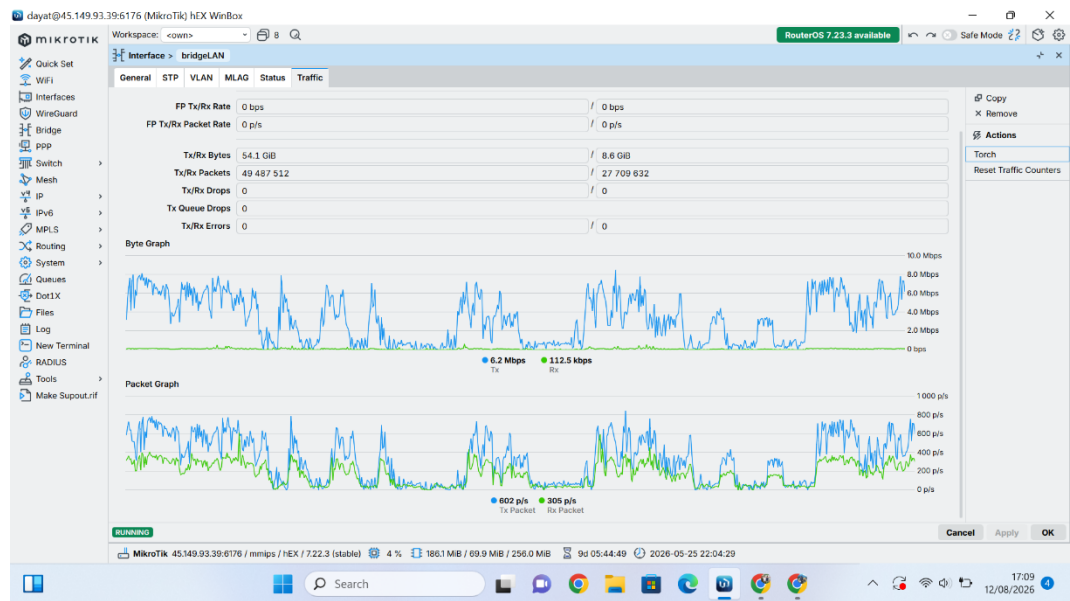

```

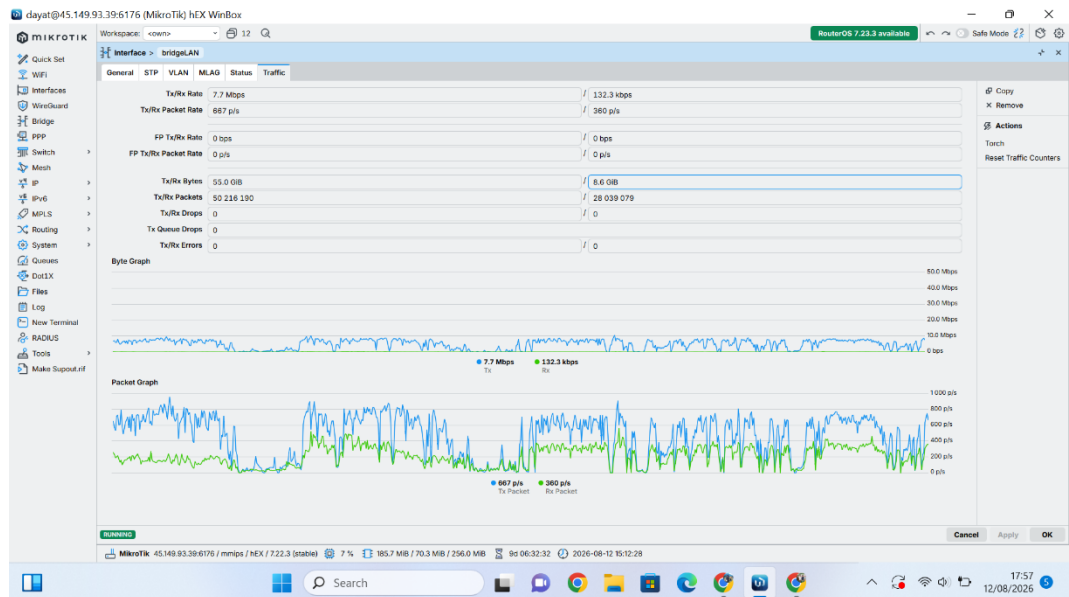
Lampiran 2. Hasil dari pengujian Speedtest dan fast.com untuk mengukur throughput yang didapatkan secara *real time* pada saat pengujian berlangsung.





Lampiran 3. hasil dari pemantauan traffic pada mikrotik





Untuk hasil dari pengolahan data tersebut bisa di akses menggunakan link berikut :

<https://github.com/BangRooy54/Wireshark/issues/2#issuecomment-5352134238>

Lampiran 4. Hasil pemantauan dan perhitungan menggunakan wireshark berdasarkan data yang ada pada saat pengujian. data bisa di lihat pada link berikut:
<https://github.com/BangRooy54/Wireshark/issues/2#issuecomment-5352134238>