

Analisa Performa VLAN Dengan Link Aggregation Control Protocol (LACP) Layer 3 Pada Kasus Penentuan Topologi

Tommi Alfian Armawan Sandi¹, Firmansyah^{2*}, Mugi Raharjo³, Sri Watmah⁴, Jordy Lasmana Putra⁵

^{1,2,4,5} Universitas Bina Sarana Informatika

³ Universitas Nusa Mandiri

e-mail: Tommi.taf@bsi.ac.id, Firmansyah.fmy@bsi.ac.id^(*), Mugi.mou@nusamandiri.ac.id,
sriwatmah.wtm@bsi.ac.id, Jordy.jlp@bsi.ac.id

Abstrak - Dalam era digital saat ini, kebutuhan akan jaringan komputer yang cepat, handal, dan efisien menjadi sangat penting bagi organisasi dan perusahaan. Jaringan komputer yang baik harus mampu menangani beban lalu lintas data yang tinggi, mendukung berbagai aplikasi kritis, dan memastikan ketersediaan serta keandalan yang tinggi. Untuk mengimbangi kebutuhan bandwidth yang besar diperlukan jalur serta topologi jaringan yang mumpuni supaya layanan data bisa optimal. Oleh karena itu dalam metode untuk meningkatkan performa dan keandalan jaringan adalah dengan menerapkan Virtual Local Area Network (VLAN) dan Link Aggregation Control Protocol (LACP), pengujian yang dilakukan dengan menguji performa topologi A dan B serta konfigurasi LACP yang terinstall. sebagai perbandingan VLAN dengan menggunakan Bonding, pengiriman file dengan besar 1 GB dapat menghemat 1 Menit 13 Detik, file 8 GB dapat menghemat 2 Menit 37 Detik, serta file 16 GB dapat menghemat 3 Menit 9 Detik. Bedanya pada topologi B Router dapat menghemat port yang digunakan serta beban yang terdapat di router tidak terlalu besar. Pada prinsip sederhana bonding bisa bekerja dengan menggunakan VLAN untuk meningkatkan performa jaringan.

Kata Kunci: LACP, Bonding, VLAN

Abstract - In today's digital era, the need for fast, reliable, and efficient computer networks is very important for organizations and companies. A good computer network must be able to handle high data traffic loads, support various critical applications, and ensure high availability and reliability. To balance the need for large bandwidth, a qualified network path and topology are needed so that data services can be optimal. Therefore, the method to improve network performance and reliability is to implement a Virtual Local Area Network (VLAN) and Link Aggregation Control Protocol (LACP), testing is done by testing the performance of topologies A and B and the installed LACP configuration. as a comparison of VLAN using Bonding, sending a file with a size of 1 GB can save 1 Minute 13 Seconds, an 8 GB file can save 2 Minutes 37 Seconds, and a 16 GB file can save 3 Minutes 9 Seconds. The difference is that in topology B Router can save the ports used and the load on the router is not too large. In simple principles, bonding can work by using VLAN to improve network performance

Keywords: LACP, Bonding, VLAN

PENDAHULUAN

Dalam era digital saat ini, kebutuhan akan jaringan komputer yang cepat, handal, dan efisien menjadi sangat penting bagi organisasi dan perusahaan. Jaringan komputer yang baik harus mampu menangani beban lalu lintas data yang tinggi, mendukung berbagai aplikasi kritis, dan memastikan ketersediaan serta keandalan yang tinggi (Munawar et al., 2020) untuk menunjang bandwidth yang besar pada jaringan diperlukan mekanisme yang tepat, supaya tidak tercipta latency yang besar serta throughput yang kecil (Pinem, 2024) dalam jaringan komputer yang tidak optimal dapat menjadi hambatan dalam operasional perusahaan. Kondisi yang sering tercipta dari masalah ini terletak mulai dari keterbatasan perangkat yang tidak optimal hingga konfigurasi jaringan yang buruk dan tidak efisien (Benyamin et al., 2023).

Pertumbuhan jumlah pengguna dan perangkat yang tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas jaringan, serta manajemen jaringan yang kurang baik, semakin memperparah situasi ini. Oleh karena itu, untuk memastikan kinerja jaringan yang optimal, diperlukan pendekatan menyeluruh yang mencakup perbaikan pada perangkat keras, optimasi konfigurasi, pembaruan perangkat lunak, serta manajemen dan pemantauan jaringan yang efektif (Yang et al., 2023) (So et al., 2021).



Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan performa dan keandalan jaringan adalah dengan menerapkan Virtual Local Area Network (VLAN) dan Link Aggregation Control Protocol (LACP). Penentuan topologi jaringan merupakan langkah krusial dalam desain dan implementasi jaringan. Topologi jaringan menentukan bagaimana perangkat jaringan saling terhubung dan bagaimana data mengalir di dalam jaringan. Dalam konteks ini, analisis performa VLAN dengan LACP pada layer 3 sangat penting untuk memastikan bahwa topologi yang dipilih dapat mendukung kebutuhan lalu lintas data yang tinggi, redundansi, dan skalabilitas.

METODE PENELITIAN

1. Penelitian Terkait

Pada Penelitian yang dilakukukan dengan LACP Penerapan Link Aggregation mampu meningkatkan suatu layanan jaringan khususnya dalam proses transfer paket data berkali-kali lipat dibandingkan sebelumnya. Link agregasi mampu mengatasi kelebihan beban pada suatu antarmuka yang dapat menyebabkan kegagalan link. Dan ketika proses failover terjadi maka tidak terjadi packet loss pada jaringan. Penyeimbangan beban pada agregasi tautan dapat membagi beban jaringan secara merata berdasarkan jumlah antarmuka yang digunakan (Firmansyah et al., 2020) selanjutnya, penelitian dengan Link Agregasi serta Auto Failover menemukan bahwa dengan menggunakan Link Aggregation dapat menjaga kestabilan jaringan dan meminimalisir terjadinya downtime, serta jalur yang digunakan akan membuat link backup secara otomatis menggantikan primary link yang sedang bermasalah (Muwajihan & Jatikusumo, 2021), selanjutnya penelitian yang membahas LACP pada SDN Based Network menggunakan Ryu-Controller. LACP menyediakan kecepatan data yang kira-kira sama untuk setiap koneksi dan, untuk setiap tautan yang tersedia, akan digunakan secara eksklusif oleh satu koneksi. Hal ini tetap berlaku selama jumlah sambungan simultan lebih sedikit dibandingkan sambungan gabungan. (Nurhadi et al., 2020) selanjutnya pada penelitian yang berjudul Aggregation-Based Dynamic Channel Bonding to Maximise the Performance of Wireless Local Area Networks (WLAN) menyebutkan bahwa metode pengikatan dan link Aggregation diusulkan untuk meningkatkan kinerja Wireless LAN (WLAN). Ini menggabungkan banyak Channel (atau jalur) untuk meningkatkan kapasitas lalu lintas modem. Ikatan saluran adalah kombinasi dua saluran yang bertetangga dalam pita frekuensi tertentu untuk meningkatkan throughput perangkat nirkabel. Wi-Fi menggunakan ikatan saluran, juga dikenal sebagai ikatan Ethernet. Bandwidth saluran sama dengan rasio uplink/downlink dikalikan dengan kapasitas operasional. Satu saluran 20 MHz dibagi menjadi dua, empat, atau delapan saluran daya. Pada 80 MHz, terdapat saluran utama yang lebih banyak dan saluran yang lebih kecil. Kinerja WLAN jarak pendek ditentukan melalui pendekatan berbasis grafik. (Parashar et al., 2022) Penelitian selanjutnya membahas redundansi dari sisi jalur Dari hasil penelitian yang dilakukan adalah bahwa sistem Bonding Interface mampu melakukan mekanisme redundansi saat salah satu link putus/down ke link yang masih aktif/tersambung dan layanan- layanan yang dijalankan tidak mengalami gangguan. Bonding Interface juga mampu memberikan kestabilan jaringan dibandingkan dengan jaringan yang tidak menggunakan Bonding Interface hal ini ditandai dengan nilai jitter yang lebih kecil dibandingkan penggunaan jaringan dengan satu link (Raditya Muhammad et al., 2018).

2. Landasan Teori

a. Link Aggregation Control Protocol (LACP)

LACP, sebagaimana ditentukan dalam IEEE 802.3ad, mengimplementasikan agregasi dan de-agregasi tautan dinamis, memungkinkan sakelar berkemampuan LACP di kedua ujungnya untuk bertukar Link Aggregation Control Protocol Data Units (LACPDU). LACP menyediakan mekanisme negosiasi standar yang dapat digunakan oleh switch Huawei untuk membuat dan mengaktifkan tautan agregat berdasarkan konfigurasi. Setelah tautan agregat terbentuk, LACP bertanggung jawab untuk memelihara tautan tersebut. LACP menyesuaikan tautan jika status tautan gabungan berubah (Kurniawan et al., 2021)

b. VLAN

Sebuah VLAN adalah jaringan area lokal virtual yang memungkinkan banyak jaringan berfungsi secara fungsional sebagai satu LAN. Tujuan utama dari Implementasi VLAN adalah untuk meningkatkan kinerja jaringan dengan mengurangi jumlah domain yang ditransmisikan. Domain transmisi adalah divisi fungsional dari jaringan jaringan komputer, di mana setiap node dapat diakses oleh penyiaran. Dalam konteks jaringan komputer, komunikasi adalah suatu cara untuk mengirimkan informasi secara bersamaan kepada semua penerima. Melalui pembuatan beberapa domain siaran, VLAN dapat membantu mengatur lalu lintas siaran. Membagi jaringan yang luas menjadi komponen-komponen yang lebih kecil dan terisolasi membatasi frekuensi transmisi radio di setiap unit jaringan dan bagian jaringan. Spesifikasi VLAN harus cukup aman dan andal. (Sowjanya, 2020)

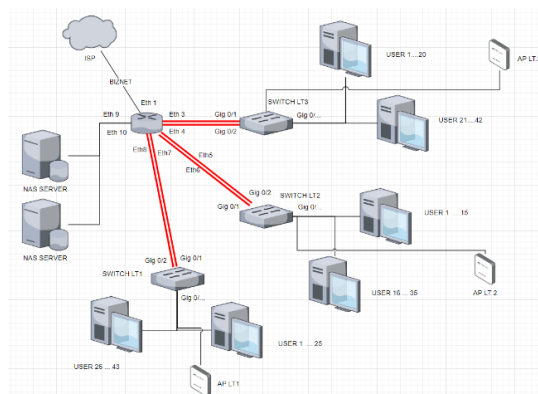
c. Topologi

Metode atau pola yang digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat dalam suatu jaringan, menentukan bagaimana perangkat-perangkat tersebut berinteraksi dan berkomunikasi satu sama lain. Topologi ini mempengaruhi desain jaringan, kinerja, dan skalabilitas dan mencakup berbagai bentuk seperti topologi bus, di

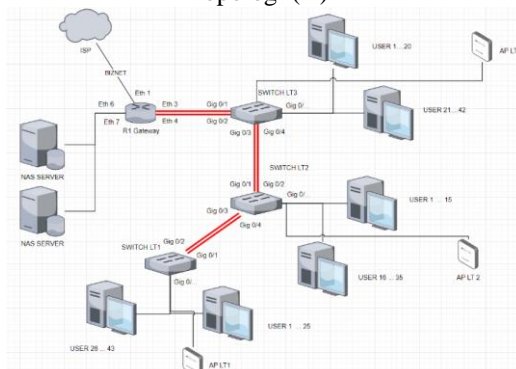
mana semua perangkat terhubung melalui satu kabel utama; topologi ring, di mana perangkat dihubungkan dalam cincin melingkar; topologi star, dimana semua perangkat terhubung ke satu titik pusat seperti hub atau switch; topologi mesh, di mana setiap perangkat terhubung langsung ke setiap perangkat lainnya, memberikan redundansi yang tinggi; dan topologi hybrid, yang menggabungkan beberapa bentuk topologi dasar. Pemilihan topologi yang tepat sangat penting untuk menjamin efisiensi, keandalan dan kelangsungan operasional suatu jaringan komputer.(Octaviana & Soewito, 2023)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan eksperimental dengan simulasi jaringan untuk menguji berbagai skenario topologi jaringan yang menggunakan VLAN dan LACP pada layer 3. Performa jaringan akan dievaluasi berdasarkan berbagai metrik seperti throughput dan failover time. Data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan konfigurasi terbaik yang dapat diterapkan dalam berbagai situasi. Pada gambar 1 terlihat stuktur topologi yang akan digunakan dalam penilaian performa jaringan.



Topologi (A)



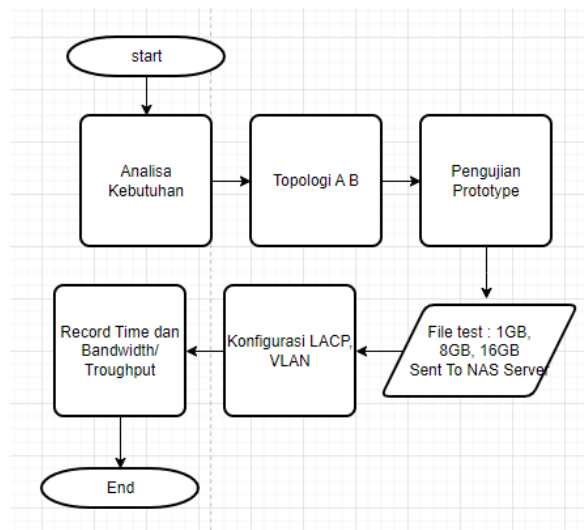
Topologi (B)

Sumber : Penelitian (2025)

Gambar 1. Topologi Jaringan

Tahapan pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada gambar 2. Dalam pengujian mengedepankan performa terhadap LACP pada kedua topologi. Detail flowchart dimulai dengan Analisa kebutuhan baik itu perangkat maupun media transmisi yang akan digunakan pada implementasi kemudian dibuat topologi A dan B setelah melakukan implementasi pengujian akan mengirimkan data dengan detail data : 1 GB = Dokumen file, 8 GB : ISO Operating System, 16 GB : ISO Aplikasi, data yang dikirimkan akan di uji coba dengan konfigurasi LACP

dan tanpa LACP serta VLAN yang sudah tertanam di masing-masing konfigurasi, hasil akan berupa durasi pengiriman data sampai NAS Server serta total throughput yang dapat dihasilkan dengan konfigurasi yang diambil.



Sumber : Penelitian (2025)

Gambar 2. Diagram Alur Pengujian

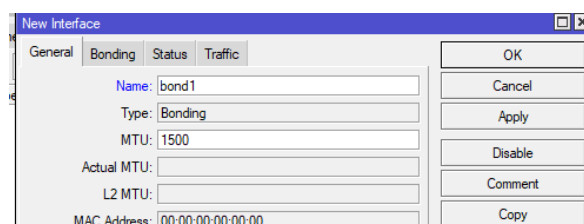
Metode penelitian yang akan digunakan dikenal sebagai metode The Security Development Life Cycle (SPDLC) yang memiliki tahapan dimana terdapat tahapan analisis, design, simulasi, implementasi, monitoring dan manajemen (Yunanri. W & Yasinta Bella Fitriana, 2021) dengan detail sebagai berikut :

- 1) Analisis yang ditetapkan dengan mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan pengguna yang dialami sebelum melakukan tahapan berikutnya
- 2) Desain dengan melakukan perencanaan ulang terkait topologi lapangan yang disesuaikan dengan pengguna.
- 3) Simulasi yang akan dilakukan pada penelitian ini dengan melakukan konfigurasi pada GNS3 dan digambarkan sesuai dengan topologi yang ada.
- 4) Implementasi merupakan tahapan untuk melakukan penerapan pada perangkat yang disesuaikan pada kebutuhan pengguna.
- 5) Monitoring, pada tahapan ini penulis melihat log activity dari interface bonding dan VLAN serta dhcp leases.
- 6) Manajemen dengan melakukan evaluasi terhadap layanan pengguna yang telah diterapkan sesuai dengan tujuan awal penelitian.

Pada dasarnya konfigurasi MikroTik Sebagai Gateway sudah di implementasikan sehingga setiap user telah mendapatkan akses internet. Sebelum mendapatkan data-data sebagai pertimbangan topologi, penulis melakukan tahapan implementasi *link aggregation control protocol (lACP)* dan VLAN serta merancang 2 skenario pengujian yang akan dilakukan dengan mencatat resource router yang terpakai serta optimalisasi throughput data untuk merepresentasikan seberapa banyak kapasitas bandwidth yang sebenarnya terpakai. Pengujian 1 dengan topologi A dan pengujian 2 dengan topologi B.

1. Implementasi LACP pada Router MikroTik

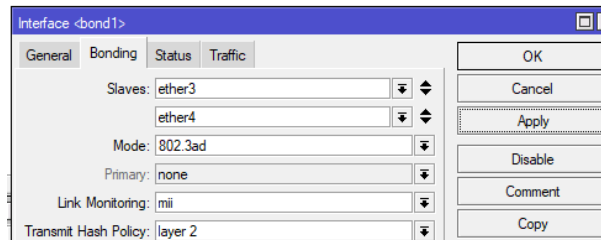
Pada tahapan ini penulis mengaktifkan fitur bonding yang terdapat pada menu interface, Pada Tab General Name = Bond1, Terlihat pada Gambar 3.



Sumber : Penelitian (2025)

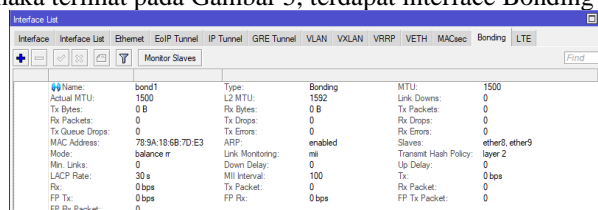
Gambar 3. Bonding Tab General

Selanjutnya melakukan penentuan interface yang akan di jadikan Link Aggregation, pada hal ini ada di Tab bonding lalu memilih Ether 3 dan 4 sebagai slaves dimana konsep ini menjadi syarat dasar untuk melakukan bonding, serta memilih mode = 802.3ad pada konfigurasi mode setiap perangkat baik itu Routerboard maupun CRS harus menggunakan mode yang sama, beda hal jika menggunakan CSS. Tampilan Konfigurasi Bonding pada



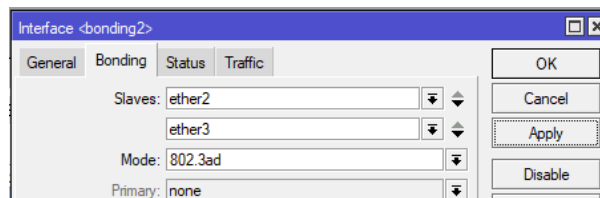
Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 4. Konfigurasi Tab Bonding

Jika sudah Apply dan OK maka terlihat pada Gambar 5, terdapat interface Bonding yang telah di terapkan.



Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 5. Bonding Interface List

Kemudian Penulis melakukan konfigurasi pada CRS lain sebagai sample untuk melakukan konfigurasi bonding, terlihat pada gambar 6.

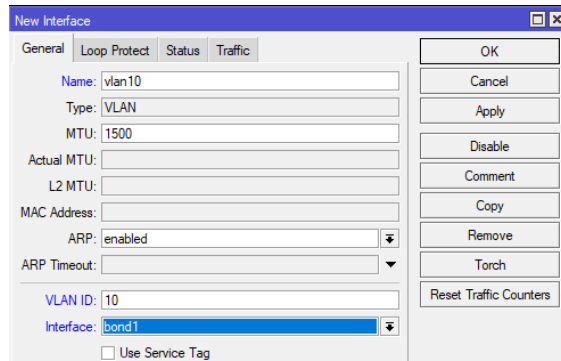


Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 6. Konfigurasi Bonding CRS lantai 3

Tahapan konfigurasi bonding dilakukan kepada setiap perangkat jaringan baik itu menggunakan CRS maupun Switch Manageable.

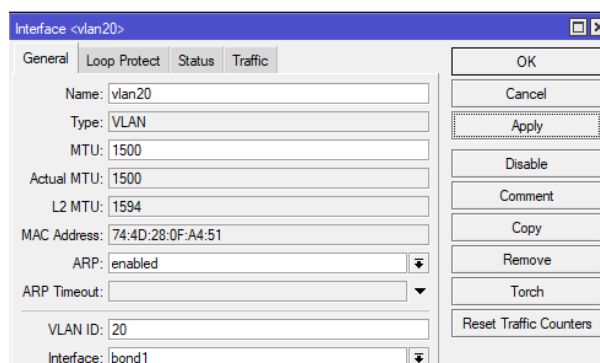
2. Implementasi VLAN

Pada tahapan ini konfigurasi VLAN terdapat di router utama. Pembuatan VLAN didasari oleh kebutuhan jumlah Vlan dan kebutuhan pengembangan oleh sebab itu penulis hanya membuat 2 VLAN yaitu Vlan 10 dengan VLAN ID 10 dan Vlan 20 dengan VLAN ID 20. Konfigurasi pertama VLAN 10 yang dilakukan pada menu Interface VLAN, konfigurasi dasar tab general terlihat pada gambar 7, Name = vlan10, VLAN ID = 10, yang membedakan adalah interface yang digunakan. Pada kasus lain mungkin interface yang bisa digunakan ada 1 yaitu ether, berbeda dengan konfigurasi pada umumnya saat ini penulis menggunakan interface bonding yang telah di konfigurasi sebelumnya.



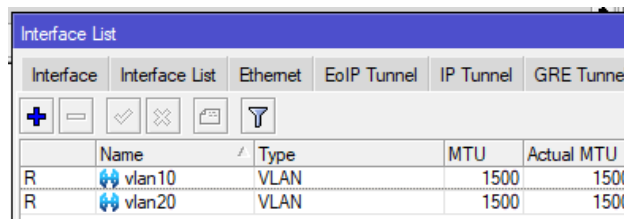
Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 7. Konfigurasi VLAN 10

Selanjutnya konfigurasi pada VLAN 20 dengan tahapan yang serupa, dapat dilihat pada gambar 8.



Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 8. Konfigurasi Vlan 20

Hasil konfigurasi vlan yang telah dilakukan dapat terlihat pada Tab VLAN, pada gambar 9. Terdapat 2 vlan ID yang sudah di konfigurasi.



Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 9. VLAN Interface List

3. Konfigurasi Pengalamatan IP

Pada tahapan konfigurasi terakhir adalah memberikan IP dan DHCP di setiap vlan supaya user yang terkoneksi pada vlan akan langsung dapat IP secara otomatis. Terlihat pada gambar 10.

```
[admin@MikroTik] > ip add add address=10.10.10.245/24 interface=vlan10
[admin@MikroTik] > ip add add address=192.30.10.1/24 interface=vlan20
[admin@MikroTik] > ip add pr
Flags: D - DYNAMIC
Columns: ADDRESS, NETWORK, INTERFACE
# ADDRESS NETWORK INTERFACE
0 192.168.1.1/24 192.168.1.0 ether2
1 D 172.19.60.127/24 172.19.60.0 wlan1
2 10.10.10.245/24 10.10.10.0 vlan10
3 192.30.10.1/24 192.30.10.0 vlan20
[admin@MikroTik] >
```

Sumber : Penelitian (2025)
Gambar 10. Konfigurasi IP Address

Untuk memberikan IP secara otomatis konfigurasi dhcp dilakukan tiap vlan yang ada, terlihat pada gambar 11, Vlan 10 dan 20

```
[admin@MikroTik] > ip dhcp-server setup
Select interface to run DHCP server on

dhcp server interface: vlan10
Select network for DHCP addresses

dhcp address space: 10.10.10.0/24
Select gateway for given network

gateway for dhcp network: 10.10.10.245
Select pool of ip addresses given out by DHCP server

addresses to give out: 10.10.10.1-10.10.10.244,10.10.10.246-10.10.10.254
Select DNS servers

dns servers: 172.19.60.1
Select lease time

lease time: 1800

[admin@MikroTik] > ip dhcp-server setup
Select interface to run DHCP server on

dhcp server interface: vlan20
Select network for DHCP addresses

dhcp address space: 192.30.10.0/24
Select gateway for given network

gateway for dhcp network: 192.30.10.1
Select pool of ip addresses given out by DHCP server

addresses to give out: 192.30.10.2-192.30.10.254
Select DNS servers

dns servers: 172.19.60.1
Select lease time

lease time: 1800
[admin@MikroTik] >
```

Sumber : Penelitian (2025)

Gambar 11. DHCP Setup pada VLAN 10 dan 20

4. Pengujian Topologi A

Pada skenario pengujian pertama yaitu dengan topologi A, terlihat pada gambar 2, dalam skema jaringan yang sudah terinstall dapat diasumsikan bahwa setiap switch/CRS langsung terhubung dengan Mikrotik Utama sebagai Gateway. Kemudian pengujian dilakukan dengan cara Transfer file dari 1 client di tiap lantai menuju NAS Server dengan spesifikasi file : 1 GB = Dokumen file, 8 GB : ISO Operating System, 16 GB : ISO Aplikasi sedangkan NAS Server yang digunakan dengan tipe QNAP TS-864eU-RP-8G 8-Bay Rackmount. hasil yang terdokumentasi pada tabel 1.

TABEL I.
PENGUJIAN TOPOLOGI A

Mode	Konfigurasi	Durasi Transfer File			CPU Usage R1
		1 GB	8 GB	16 GB	
Bridging	VLAN 10,20 Tanpa Bonding	00:01:23	00:04:45	00:08:21	32%
Bridging	VLAN 10,20 Dengan Bonding	00:00:30	00:02:33	00:05:04	54%

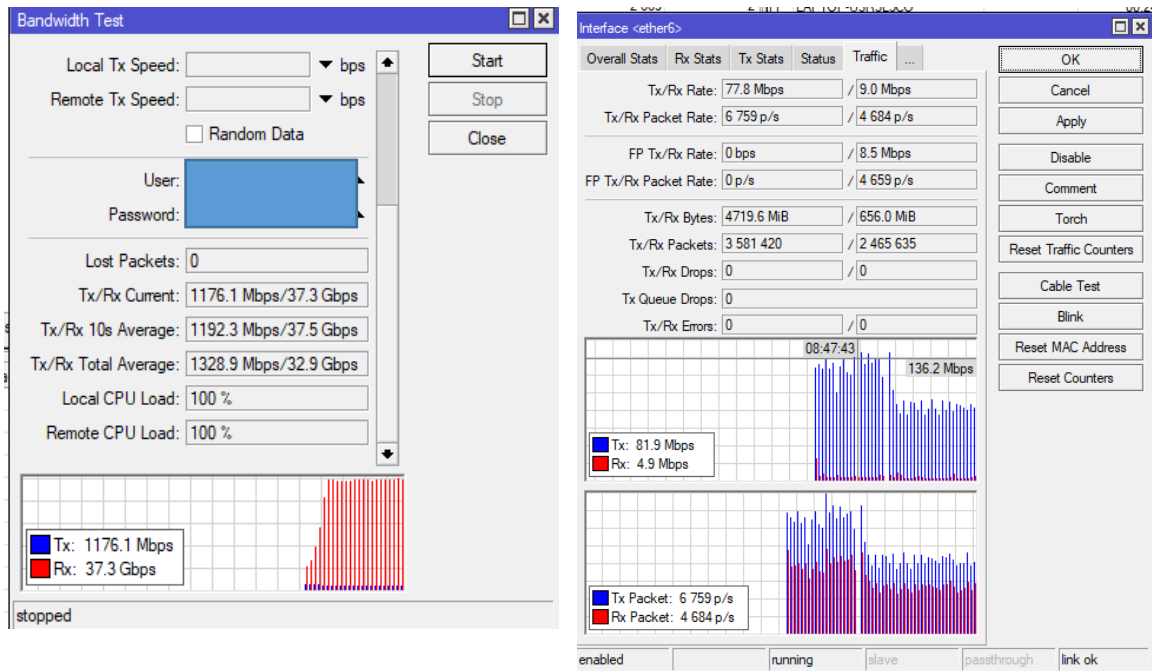
5. Pengujian Topologi B

Pada skenario pengujian kedua dengan topologi B, terlihat pada gambar 3, dalam skema jaringan router utama akan memberikan distribusikan internet via bonding dengan melewati Switch/CRS yang ada dilantai 3, kemudian dilanjutkan ke switch/CRS yang dilantai 2 dan terakhir dilantai 1. Pengujian akan dilakukan dengan cara Transfer file dari 1 client di tiap lantai menuju NAS Server dengan spesifikasi file : 1 GB = Dokumen file, 8 GB : ISO Operating System, 16 GB : ISO Aplikasi sedangkan NAS Server yang digunakan dengan tipe QNAP TS-864eU-RP-8G 8-Bay Rackmount. hasil yang terdokumentasi pada tabel 2.

TABEL II.
PENGUJIAN TOPOLOGI B

Mode	Konfigurasi	Durasi Transfer File			CPU Usage R1
		1 GB	8 GB	16 GB	
Bridging	VLAN 10,20 Tanpa Bonding	00:01:53	00:05:56	00:10:12	29%
Bridging	VLAN 10,20 Dengan Bonding	00:00:40	00:03:19	00:07:03	47%

6. Pengujian Troughput Bonding



Sumber : Penelitian (2025)

Gambar 12. Throughput Bonding

Pada gambar 12 terlihat pengujian bandwidth yang terjadi jika dilakukan bonding pada jaringan, dari gambar jika 100% CPU digunakan maka throughput yang dapat di hasilkan sebesar 37.3 Gbps (Rx) dan 1176.1 Mbps (Tx).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada analisa performa vlan dengan link aggregation control protocol (lACP) layer 3 pada kasus penentuan topologi dapat disimpulkan jika topologi berpengaruh kepada durasi pengiriman data yang dilakukan oleh masing-masing pengguna. Dari pengujian pada topologi A setiap client jika menggunakan VLAN tanpa bonding durasi pengiriman data akan terasa sama dengan durasi yang ditampilkan pada Tabel 1. Namun, setelah diimplementasikan bonding perbedaan mulai terasa signifikan pada file dengan besar 1 GB dapat menghemat 53 detik pada pengiriman, file 8GB dapat menghemat 2 Menit 12 Detik serta file 16 GB dapat menghemat 3 Menit 17 Detik, untuk mendapatkan hasil tersebut Router Bonding akan menggunakan CPU akibatnya CPU Load yang dihasilkan 54% dan semua port pada router akan menyisakan 1 ether yang kosong artinya performa akan mendapatkan hasil memuaskan tapi mengorbankan port router yang tersedia. Kemudian, pada topologi B pengujian dengan menggunakan VLAN tanpa bonding dapat dilihat pada Tabel 2. Pada topologi B berbeda dengan topologi A secara struktural, karena hanya menggunakan 2 ether yang diaktifkan sebagai VLAN dan akan diteruskan oleh Switch/CRS, sebagai perbandingan VLAN dengan menggunakan Bonding, pengiriman file dengan besar 1 GB dapat menghemat 1 Menit 13 Detik, file 8 GB dapat menghemat 2 Menit 37 Detik, serta file 16 GB dapat menghemat 3 Menit 9 Detik. Bedanya pada topologi B Router dapat menghemat port yang digunakan serta beban yang terdapat di router tidak terlalu besar. Pada prinsip sederhana bonding bisa bekerja dengan menggunakan VLAN untuk meningkatkan performa jaringan.

REFERENSI

- Benyamin, J., Mualim, M., & Duarte, E. P. (2023). Information Security Risk Management In Minimizing Cyber Threats At The Data Center And Communication Information Technology Of The National Cyber And Crypto Agency To Improve Cyber Defense And Security. *Jurnal Manajemen Pertahanan*, 9(1), 40–54.
- Firmansyah, F., Wahyudi, M., & Purnama, R. A. (2020). Virtual Link Aggregation Network Performance Using MikroTik Bonding. *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, 2(2), 131–139. <https://doi.org/10.34306/itsdi.v2i2.394>
- Kurniawan, D. E., Iqbal, M., & Adhitya, A. (2021). Implementation and Analysis of The EtherChannel Technology Using PAgP and LACP Protocols on Cisco Switch Devices. *2021 4th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*, 255–259. <https://doi.org/10.1109/IC2IE53219.2021.9649157>

- Munawar, Z., Kom, M., & Putri, N. I. (2020). Keamanan Jaringan Komputer Pada Era Big Data. *Jurnal Sistem Informasi-J-SIKA*, 02(01), 14–20.
- Muwajihan, I. I., & Jatikusumo, D. (2021). Perancangan Jaringan Ethernet Link Dengan Menggunakan Teknologi Link Aggregation dan Auto Failover. *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, 6(2), 128–137. <https://doi.org/10.31294/ijcit.v6i2.10866>
- Nurhadi, A. I., Petrus, G. B. K., Firdaus, M., & Muhammad, R. (2020). A Review of Link Aggregation Control Protocol (LACP) as a Link Redundancy in SDN Based Network Using Ryu-Controller. *ArXiv*, 1–7.
- Octaviana, R. A., & Soewito, B. (2023). Perancangan Ulang Topologi Jaringan Dengan Kerangka Kerja Ppdioo. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 13(1)(1), 34–41. <https://doi.org/10.26594/teknologi.v13i1.3624>
- Parashar, V., Kashyap, R., Rizwan, A., Karras, D. A., Altamirano, G. C., Dixit, E., & Ahmadi, F. (2022). Aggregation-Based Dynamic Channel Bonding to Maximise the Performance of Wireless Local Area Networks (WLAN). In *Wireless Communications and Mobile Computing* (Vol. 2022). <https://doi.org/10.1155/2022/4464447>
- Pinem, R. S. L. dan M. (2024). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet di SMK Telkom Medan. *Singuda Ensikom*, 7(3), 1.
- Raditya Muhammad, Iqbal, M., & Mayasari, R. (2018). IMPLEMENTASI dan ANALISIS PERFORMA BONDING INTERFACE MODE 802.3ad sebagai LINK REDUNDANCY pada ROUTER MIKROTIK. 53–54.
- So, J., Güler, B., & Avestimehr, A. S. (2021). Turbo-aggregate: Breaking the quadratic aggregation barrier in secure federated learning. *IEEE Journal on Selected Areas in Information Theory*, 2(1), 479–489. <https://doi.org/10.1109/JSAIT.2021.3054610>
- Sowjanya, N. L. (2020). An Efficient VLAN Implementation to decrease Traffic Load in a Network. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(2), 2147–2153. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/189922020>
- Yang, P., Dan, B., & Latency, L. O. W. (2023). *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi* KLASIFIKASI PEMANFAATAN OPEN SOURCE RESOURCE PADA MULTI-EDGE COMPUTING DENGAN JARINGAN Abstrak *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi*. 4(3), 1609–1617.
- Yunanri, W., & Yasinta Bella Fitriana. (2021). Analisis Network Security Komputer Tingkat Desa Menggunakan Metode Security Policy Development Life Cycle (SPDLC). *Jurnal Teknik Juara Aktif Global Optimis*, 1(2), 11–21. <https://doi.org/10.53620/jtg.v1i2.28>