

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA DAN EFISIENSI LINK AGGREGATION CONTROL PROTOCOL (LACP) DENGAN PARALLEL LINK DALAM MENINGKATKAN KAPASITAS JARINGAN PADA KETERBATASAN PORT 1 GBPS DI PT. INDOSAT OOREDOO HUTCHISON

Abdul Rahman, Giri Purnama

Teknik Informatika, Universitas Dian Nusantara
Jalan Tanjung Duren Barat II No. 1 Grogol Jakarta Barat, Indonesia, Indonesia
giri.purnama@undira.ac.id

ABSTRAK

Infrastruktur jaringan di PT. Indosat Ooredoo Hutchison (IOH) menghadapi tantangan peningkatan trafik data yang pesat sementara kapasitas perangkat masih terbatas oleh port 1 Gbps. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja dan efisiensi dua solusi agregasi link, yaitu Link Aggregation Control Protocol (LACP) dan Parallel Link, untuk menentukan solusi optimal bagi peningkatan kapasitas jaringan. Metodologi yang digunakan adalah kualitatif dengan pendekatan PPDIIO (Prepare, Plan, Design, Implement, Operate, and Optimize), di mana pengujian dilakukan pada perangkat ZTE ZXMW NR9000TR dan NEC iPASOLINK VR10. Parameter pengukuran meliputi analisis kapasitas, throughput, distribusi beban (load balancing), dan redundansi (failover). Hasil penelitian menunjukkan bahwa LACP memiliki performa lebih unggul dengan total kapasitas 3000 Mbps dan throughput 1605.15 Mbps. LACP mampu mendistribusikan trafik secara otomatis dan menyediakan mekanisme failover otomatis yang menjaga layanan tetap berjalan saat terjadi gangguan link. Sebaliknya, Parallel Link mengalami ketidakseimbangan beban trafik dengan selisih throughput antar link mencapai 387.52 Mbps dan memerlukan konfigurasi manual karena tidak memiliki sistem pemulihan otomatis. Penelitian menyimpulkan bahwa LACP adalah solusi paling optimal untuk mengatasi keterbatasan port 1 Gbps di PT. IOH demi menjaga keandalan layanan telekomunikasi.

Kata kunci : *Link Aggregation, Parallel link, Link Aggregation Control Protocol (LACP), Jaringan Komputer, Jaringan Telekomunikasi*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang PT. Indosat Ooredoo Hutchison (IOH) merupakan salah satu penyedia layanan telekomunikasi terbesar di Indonesia yang saat ini menghadapi lonjakan konsumsi data yang sangat pesat. Munculnya teknologi 5G memberikan kemajuan kinerja luar biasa dengan rata-rata kecepatan unduh mencapai 500 Mbps, jauh melampaui teknologi 4G yang hanya berkisar antara 41-58 Mbps. Peningkatan trafik ini menuntut kapasitas jaringan yang lebih besar untuk mendukung aktivitas seperti streaming video 4K, game online, dan virtual reality tanpa hambatan.[1]

Permasalahan Meskipun peluang ekspansi konektivitas sangat besar, implementasi di lapangan menghadapi kendala pada infrastruktur yang ada. Aktualnya, IOH masih memiliki keterbatasan fisik pada perangkat jaringan yang hanya mendukung kecepatan port maksimal 1 Gbps. Infrastruktur eksisting seringkali belum siap menampung peningkatan drastis kapasitas data yang dibutuhkan oleh transmisi layanan 5G karena keterbatasan bandwidth pada port fisik tersebut.[2]

Tujuan Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja serta efisiensi dari dua metode solusi penggabungan link (link aggregation), yaitu Link Aggregation Control Protocol (LACP) dan Parallel Link. Perbandingan ini difokuskan pada aspek kapasitas, throughput,

distribusi beban (load balancing), dan mekanisme redundansi (failover) untuk menentukan solusi yang paling optimal dalam meningkatkan kapasitas jaringan di lingkungan PT. IOH.

Rencana Penyelesaian Masalah Untuk mengatasi masalah keterbatasan port tersebut, peneliti akan mengimplementasikan kedua metode tersebut menggunakan pendekatan metodologi kualitatif dengan kerangka kerja PPDIIO (Prepare, Plan, Design, Implement, Operate, and Optimize). Rencana penyelesaian mencakup penggabungan beberapa port fisik 1 Gbps menjadi satu kesatuan logis pada perangkat ZTE ZXMW NR9000TR dan NEC iPASOLINK VR10. Selanjutnya, dilakukan pengujian operasional menggunakan Network Monitoring System (NMS) untuk memvalidasi metode mana yang memberikan distribusi trafik paling merata dan pemulihan otomatis terbaik saat terjadi kegagalan link.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sebelumnya terkait penurunan kualitas jaringan *local area network* (LAN) di SMK Kartika XX-I Makassar pada tahun 2023, yang disebabkan oleh peningkatan jumlah pengguna, sehingga dibutuhkan solusi untuk meningkatkan performa jaringan. Penelitian bertujuan untuk menganalisis dan mengimplementasikan teknologi EtherChannel, dengan membandingkan *Port Aggregation Protocol* (PagP) dan *(Link Aggregation Control Protocol)*

LACP, sebagai metode untuk meningkatkan performa jaringan. Pengambilan data dengan eksperimental di laboratorium, melakukan pengujian kualitas jaringan LACP dengan aplikasi *File Transfer Protocol* (FTP). Penggunaan LACP sangat cocok dan memberikan peningkatan kualitas jaringan dan penggabungan 4 jalur adalah batasan optimal pada LACP [3]. PagP adalah protokol milik perangkat Cisco dan LACP adalah protokol yang didefinisikan dalam IEEE 802.3ad, yang digunakan oleh perangkat atau *vendor* selain Cisco, LACP yang dapat melakukan *link aggregation* beberapa *physical links* menjadi satu *logical link*, disebut juga *Link Aggregation Group* (LAG) [4].

Pada tahun 2024, jaringan komputer di Yayasan Sukses Abadi sering mengalami penurunan kualitas dan risiko gangguan karena hanya mengandalkan satu router tanpa adanya backup link, terutama pada saat *high traffic user*. Bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *failover* dengan menambahkan *router backup* dan menerapkan metode *Hot Standby Routing Protocol* (HSRP). Penerapan HSRP yang dirancang memberikan keberhasilan *failover* saat lalu lintas terjadi gangguan pada jalur utama, korelasi dengan penelitian ini, mengenai metode uji coba redundansi atau failover [5]. Di PLN UID Jakarta Raya untuk memiliki jaringan *redundant*, merancang jaringan yang menggunakan konsep EtherChannel, *Hot Standby Routing Protocol* (HSRP), dan InterVLAN Routing pada PLN UID Jakarta Raya. Melalui pengujian InterVLAN Routing, EtherChannel, dan HSRP, memastikan komunikasi antar-VLAN yang lancar serta ketersediaan jaringan. Menunjukkan bahwa hasil tercapainya jaringan yang *redundant*. Korelasi dengan penelitian ini, mengenai metode uji coba redundansi atau failover [6].

Pada tahun 2020, kebutuhan *redundant* jaringan seperti kerusakan kabel dan potensi *overload* jaringan, sehingga bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan *redundancy link* dan *load balancing* menggunakan LACP. Pengujian kinerja jaringan dilakukan diberikan beban 30, 40 dan 50 *Personal Computer* (PC), hasilnya berhasil memberikan proteksi jaringan dan kinerja jaringan terbukti, dengan *packet loss* di bawah 1% dan *delay* tidak lebih dari 150 ms, bahkan dalam kondisi beban yang berbeda. Korelasi dengan laporan penelitian ini, tentang *redundancy link* dan *load balancing* pada LACP [7].

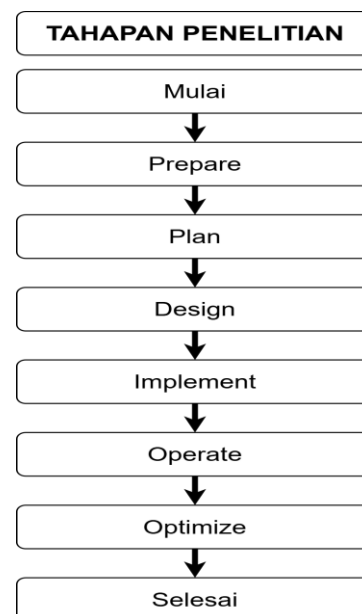
Perangkat jaringan wajib terintegrasi dengan sistem pemantauan jaringan atau *network monitoring system* (NMS). Sistem ini diharapkan dapat memantau secara *real-time* maupun *history-time* perangkat jaringan seperti status kondisi perangkat (*alarm*), kapasitas (*bandwidth*), pemakaian (*throughput*) dan utilitas (*utilization*), serta dapat melakukan pengujian *failover* dan *load balancing*. Dengan pemantauan yang efektif, dapat dengan sigap mendeteksi, menganalisis, dan memperbaiki masalah pada jaringan. Data historis yang dikumpulkan oleh sistem pemantauan akan

sangat berguna untuk menganalisis tren, merencanakan pengembangan kapasitas jaringan di masa depan, dan mengoptimalkan konfigurasi LACP pada infrastruktur jaringan [8], [9].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif, dan sebagai kerangka kerja tahapan penelitian, peneliti mengadaptasi pendekatan *Prepare, Plan, Design, Implement, Operate, and Optimize* (PPDIOO) yang masing-masing tahapan dijelaskan pada Gambar 1.

PPDIOO merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan dan pengelolaan jaringan, dimana pada tahap *Prepare* dilakukan pengumpulan data dan identifikasi kebutuhan jaringan di PT. IOH untuk memahami permasalahan keterbatasan port 1 Gbps, kemudian pada tahap *Plan* disusun rencana solusi dengan menentukan parameter pengujian serta topologi jaringan yang akan digunakan, selanjutnya pada tahap *Design* dilakukan perancangan konfigurasi jaringan menggunakan dua metode yaitu LACP dan *Parallel Link*, lalu pada tahap *Implement* dilakukan penerapan konfigurasi kedua metode tersebut pada perangkat jaringan yang telah disiapkan untuk diuji, setelah itu pada tahap *Operate* dilakukan proses pengujian dan pemantauan kinerja jaringan untuk melihat performa nyata dari kedua metode dalam kondisi operasional, dan akhirnya pada tahap *Optimize* dilakukan analisis hasil pengujian untuk menilai efisiensi serta memberikan rekomendasi peningkatan kinerja jaringan berdasarkan perbandingan antara LACP dan *Parallel Link*.



Gambar 1. Tahap Penelitian

Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan pendekatan metode kualitatif, dimana penelitian kualitatif merupakan penelitian yang digunakan untuk menyelidiki, menemukan,

menggambarkan, dan menjelaskan kualitas atau keistimewaan dari pengaruh sosial yang tidak dapat dijelaskan [10]. Ada beberapa jenis penelitian pada metode pengumpulan data kualitatif, penelitian ini menggunakan pendekatan pada jenis penelitian terapan (*applied research*) dan evaluasi (*evaluation research*), penelitian yang tujuannya bukan menciptakan ilmu baru, tapi memakai ilmu yang sudah ada untuk membuat aplikasi atau solusi baru yang bisa langsung digunakan [11].

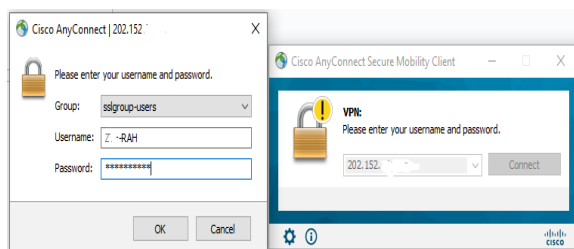
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perangkat yang Digunakan

Untuk menghasilkan penelitian yang lengkap dan akurat, penelitian ini memerlukan beberapa perangkat yang digunakan dalam pengumpulan data, analisis kinerja, visualisasi hasil, dan penyusunan dokumen penelitian yang terstruktur.

4.2. software

- Virtual private network* (VPN) termasuk akun (*username* dan *password*), di IOH menggunakan Cisco AnyConnect Secure Mobility Client, dapat dilihat pada Gambar 2., yang berfungsi sebagai koneksi ke jaringan perangkat.



Gambar 2. Tampilan Login VPN

- Web Browser menggunakan Google Chrome, karena aplikasi dari perangkat dan aplikasi dari *Network Monitoring System* (NMS) berbasis *Web Based*, maka membutuhkan web browser untuk membuka tampilan atau GUI.
- Aplikasi manajemen jaringan sistem atau NMS yang memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data, menampilkan data, dan pengujian, dengan menggunakan aplikasi zenic one produk dari ZTE.
- Aplikasi pengolah kata seperti Microsoft Word atau Google Docs digunakan untuk menyusun narasi penelitian, menjelaskan masing-masing metode penelitian, menyajikan temuan, dan memberikan kesimpulan.

4.3. Hardware

- Kebutuhan utama berpusat pada infrastruktur jaringan yang mendukung LACP, yaitu perangkat *indoor unit* (IDU) pada perangkat *microwave*, yang memiliki fitur *switch layer 2* yang memiliki kemampuan LACP, yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat ZTE ZXMW NR9000TR.
- Laptop sebagai alat yang digunakan untuk

mengoperasikan seluruh kegiatan ini, mulai dari menulis, *remote* perangkat, konfigurasi, dan lain sebagainya. Laptop yang digunakan produk dari Lenovo yaitu ThinkPad X390 Yoga, Intel Core i5 Gen-8, Ram 16Gb, SSD 512Gb.

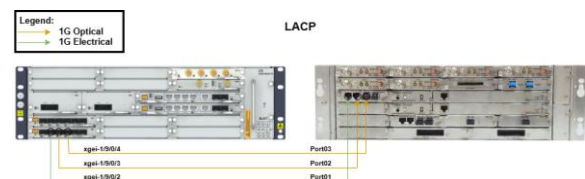
- Material yang digunakan sebagai koneksi antar perangkat, kabel *fiber optic* atau *patch cord*, kabel ethernet CAT5E dengan konektor RG45 yang sudah di *crimping* dengan koneksi *cross* dan *small form-factor pluggable* (SFP) *module electrical* dan *optical*.
- Penelitian ini menggunakan perangkat Microwave yang berbasis *switch layer 2* seperti pada Gambar 3., perangkat yang digunakan adalah Microwave NR9000TR produk ZTE (kiri) dan Microwave iPASOLINK VR10 produk NEC (kanan).



Gambar 3. NR9000TR (kiri) dan VR10 (kanan)

4.4. Instalasi

Pada Gambar 5. terlihat instalasi kabel, dimana port fisik xgei-1/9/0/2, xgei-1/9/0/3, dan xgei-1/9/0/4 di sisi NR9000TR serta port01, port02, dan port03 di sisi NEC. Setiap kabel yang terhubung baik *optical* maupun *electrical*, diarahkan ke port tujuan yang berbeda tetapi tetap bekerja sebagai satu kesatuan setelah konfigurasi LACP aktif. Dalam kondisi ini alur data tidak lagi bergantung pada satu kabel saja, melainkan dapat mengalir melalui tiga jalur sekaligus secara seimbang sesuai mekanisme *load balancing*. Hal ini membuat konektivitas lebih stabil karena apabila salah satu link mengalami gangguan, dua link lainnya tetap dapat menyalurkan data tanpa perlu penyesuaian manual disebut juga redundansi. Instalasi seperti ini sangat membantu ketika kapasitas jaringan terbatas oleh jumlah port fisik yang tersedia, sehingga penggabungan link menjadi solusi.



Gambar 5. Wiring diagram LACP

Pada Gambar 6. terlihat instalasi kabel, dimana port fisik xgei-1/9/0/3 dan xgei-1/9/0/4 di sisi NR9000TR serta port03 dan port04 di sisi NEC, menggunakan kabel *fiber optic*, setiap *link* berdiri sendiri dan mengarah ke port tujuan tertentu tanpa proses metode seperti pada LACP. Dalam metode ini arus data berjalan secara terpisah di tiap link, sehingga tidak ada mekanisme otomatis untuk *load balancing* atau melakukan *failover*. Jika salah satu link bermasalah harus melakukan perubahan konfigurasi atau pengalihan rute secara manual, sehingga *Parallel Link* biasanya kurang efisien.



Gambar 6. Wiring diagram Parallel Link

Untuk mendukung instalasi jaringan, dibutuhkan beberapa material yang digunakan seperti pada Tabel 1., baik koneksi serat optik maupun koneksi tembaga. Material pertama adalah kabel *fiber optic* LC-LC sebanyak 4 pasang dengan jenis *multi mode*. Kabel ini berfungsi sebagai media transmisi untuk menghubungkan perangkat jaringan berkecepatan tinggi. Kabel *Ethernet Enhanced Category 5* (CAT5E) sebanyak 1 pcs dengan tipe *cross*, CAT5E adalah standar kabel twisted pair tembaga yang didesain untuk mendukung kecepatan ethernet 1000 Mbps atau 1 Gbps, terdapat 4 pasang kawat tembaga yang dipelintir (*twisted pairs*), pasangan kawat dipelintir dan di dalamnya terpisah dengan pasangan lain nya untuk mengurangi *crosstalk* (interferensi elektromagnetik antar pasangan kawat) dan meningkatkan kualitas sinyal. Selanjutnya adalah *Small Form-factor Pluggable* (SFP) *Optical* sebanyak 4 pcs dengan kecepatan 1 Gbps. SFP ini digunakan bersama kabel *fiber optic* untuk mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya, sehingga data dapat dikirim melalui serat optik. SFP *Electrical* sebanyak 2 pcs dengan kecepatan 1 Gbps, berbeda dengan SFP *Optical*, SFP ini digunakan untuk koneksi tembaga melalui kabel *Ethernet* [12].

Tabel 1. Kebutuhan kabel dan SFP

Material	Jumlah	Keterangan
Kabel <i>Fiber Optic</i> , Lc - Lc	4 pasang	<i>Multi Mode</i>
SFP <i>Optical</i>	4 pcs	1 Gbps
Kabel <i>Ethernet</i> CAT5E	1 pcs	<i>Cross</i>
SFP <i>Electrical</i>	2 pcs	1 Gbps

Berikut contoh gambar *Small Form-factor Pluggable* (SFP) *module* yang digunakan pada penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 7. Gambar kiri adalah SFP untuk kabel *fiber optic* atau *optical* dan gambar kanan adalah SFP untuk kabel *ethernet* atau *electrical*. Pada Gambar 4.4 menggunakan tambahan 1 pasang SFP *electrical* karena port *optical* pada perangkat NEC sudah tidak tersedia atau terpakai semua.



Gambar 7. SFP Optical (kiri) dan Electrical (kanan)

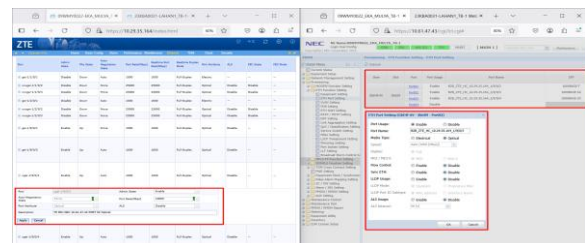
Port yang digunakan pada perangkat NR9000TR adalah *gei-1/9/0/2*, *xgei-1/9/0/3* dan *xgei-1/9/0/4*, sedangkan pada perangkat NEC menggunakan Port02, Port03 dan Port04, seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kabel yang digunakan

NR9000TR Port	NEC Port	Cable	SFP
<i>gei-1/9/0/2</i>	Port02	<i>Ethernet</i>	<i>Electrical</i>
<i>xgei-1/9/0/3</i>	Port03	<i>Fiber Optic</i>	<i>Optical</i>
<i>xgei-1/9/0/4</i>	Port04	<i>Fiber Optic</i>	<i>Optical</i>

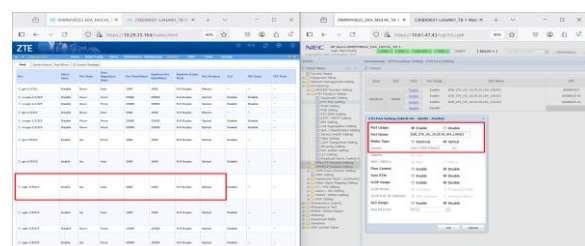
4.5. Konfigurasi

Tahap pertama, sebelum *Link Aggregation* dikonfigurasi, terlebih dahulu dilakukan konfigurasi pada port. Pada Gambar 8., tampilan sebelah kiri adalah tipe port NR9000TR terdapat informasi tipe port *xgei-1/9/0/3*, dimana nilai *xgei* adalah port dengan kecepatan 10 Gbps. Sedangkan sebelah kanan adalah informasi tipe Port02 NEC yaitu GbE, dimana GbE adalah port dengan kecepatan 1 Gbps.



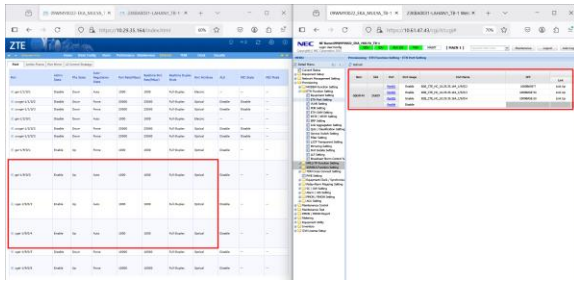
Gambar 8. Informasi tipe port perangkat

Tahap kedua, karena tipe port pada kedua perangkat berbeda, harus menyamakan konfigurasi kecepatan port terlebih dahulu menjadi 1 Gbps pada perangkat NR9000TR, agar dapat saling komunikasi antara perangkat NR9000TR dengan perangkat NEC, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9.



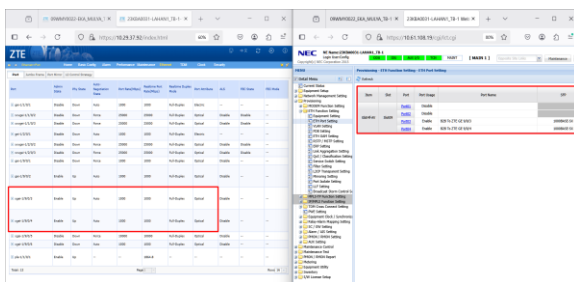
Gambar 9. Menyamakan konfigurasi port 1 Gbps

Tahap ketiga, setelah konfigurasi kecepatan port di kedua perangkat sudah disamakan, selanjutnya memilih port yang akan digunakan untuk konfigurasi LACP pada perangkat NR9000TR dan perangkat NEC. Pada Gambar 10., port pada perangkat NR9000TR yang akan dipilih adalah *xgei-1/9/0/2*, *xgei-1/9/0/3*, dan *xgei-1/9/0/4*, sedangkan port pada perangkat NEC yang akan dipilih port01, port02, dan port03.



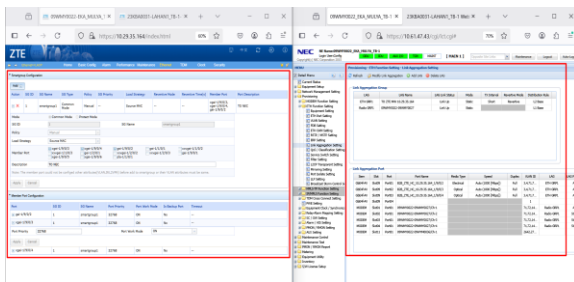
Gambar 10. Pemilihan port untuk LACP

Begitu pula port yang akan digunakan untuk *Parallel Link*, dapat dilihat pada Gambar 11., port pada perangkat NR9000TR yang akan dipilih adalah xgei-1/9/0/3 dan xgei-1/9/0/4, sedangkan port pada perangkat NEC yang akan dipilih port03 dan port04.



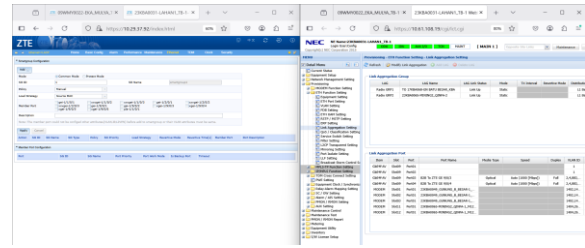
Gambar 11. Pemilihan port untuk Parallel Link

Tahap keempat, selanjutnya membuat konfigurasi LACP pada perangkat NR9000TR dan perangkat NEC. Dapat dilihat pada Gambar 12., penamaan LACP pada perangkat NR9000TR adalah *SmartGroup* (SG), sedangkan pada perangkat NEC *Link Aggregation Group* (LAG). Walaupun adanya perbedaan nama, protokol yang digunakan masih sama yaitu LACP.



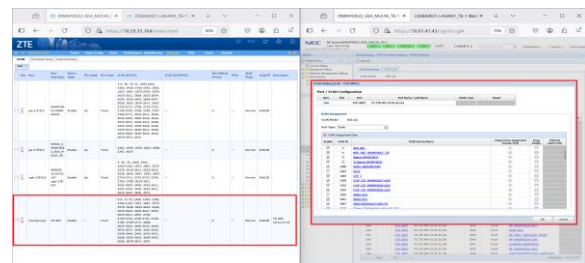
Gambar 12. LACP NR9000TR SmartGroup (SG) dan NEC Link Aggregation Group (LAG)

Penggunaan *Parallel Link* berbeda dengan LACP, dapat dilihat pada Gambar 13. untuk *Parallel Link* tanpa adanya konfigurasi protokol yang dibuat. Sehingga pembagian beban trafik dan redundansi harus dilakukan secara manual, melalui konfigurasi Vlan *tagging* di masing-masing *port*.



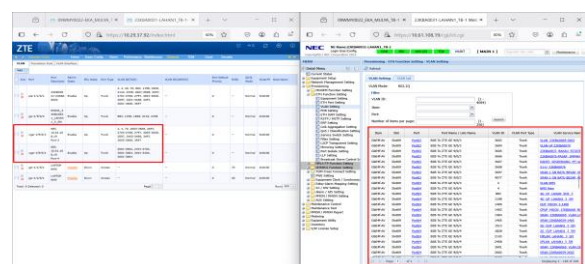
Gambar 13. Parallel Link tanpa konfigurasi protokol

Tahap kelima, ini adalah tahap terakhir konfigurasi, yaitu melakukan Vlan *tagging*. Pada Gambar 14. dapat dilihat bahwa setelah dilakukannya konfigurasi LACP, terdapat masing-masing satu link *logical* pada perangkat NR9000TR adalah *SmartGroup* (SG), sedangkan pada perangkat NEC *Link Aggregation Group* (LAG), maka Vlan *tagging* cukup dilakukan pada link *logical* tersebut.



Gambar 14. Vlan tagging pada konfigurasi LACP

Sedangkan *Parallel Link* tanpa adanya link *logical*, konfigurasi Vlan *tagging* dilakukan pada masing-masing *port* dapat dilihat pada Gambar 15. Pastikan Vlan yang di *tagging* tidak *duplicate* pada kedua *port* tersebut, karena beresiko terjadi Vlan looping. Penanggulangannya harus dilakukan oleh orang mengetahui history pada *link* tersebut, diberikan *label* atau *description*, dan memiliki pengetahuan *switching* dan *routing*.



Gambar 15. Vlan tagging pada Parallel Link

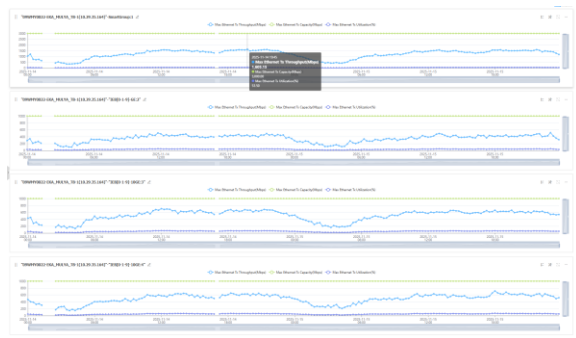
4.6. Testing dan Validasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan LACP dan *Parallel Link* mampu meningkatkan kapasitas apabila dibanding dengan koneksi tunggal, namun *Parallel Link* distribusi trafiknya tidak seimbang dan membutuhkan konfigurasi manual tambahan. Pada Tabel 3. terlihat pengujian kinerja jaringan LACP yang didapat dari NMS, total kapasitas 3 Gbps, terbagi dari 3 link, dan setiap masing-masing trafik data dibagi merata secara otomatis oleh konfigurasi LACP.

Tabel 3. Pengujian kinerja jaringan LACP

Port	Media	Bandwidth (Mbps)	Throughput (Mbps)	Utilization (%)
Smart Group LAG	LACP	3000	1605.15	53.50
gei-1/9/0/2 Port01	Ethernet	1000	451.43	45.14
xgei-1/9/0/3 Port02	Fiber Optic	1000	662.65	66.27
xgei-1/9/0/4 Port03	Fiber Optic	1000	629.78	62.97

Dapat dilihat pada Gambar 16., tampilan grafik dan nilai dari kapasitas, *throughput*, dan utilisasi pada tanggal 14 November 2025 pukul 19.45, yang sudah dimasukkan ke Tabel 4.6. Pada waktu tersebut adalah titik maksimum dari waktu lainnya, karena bertepatan pada hari libur dan jam sibuk penggunaan internet.

Gambar 16. Kapasitas, *throughput*, dan utilisasi LACP

Untuk memastikan atau mengidentifikasi kondisi link LACP, maka ditampilkan grafik dan nilai dari

dropped packet transmit (frame). Terlihat pada Gambar 17. bahwa pada waktu yang sama tersebut, tidak ada nilai yang muncul, sehingga dipastikan bahwa traffic data tidak ada hambatan atau data yang terbuang.



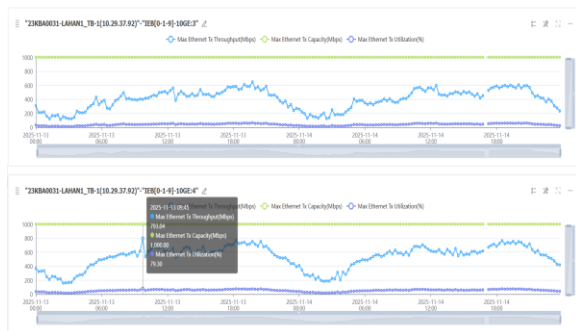
Gambar 17. Dropped packet transmit (frame) dari port LACP

Selanjutnya akan menampilkan Tabel 4. pengujian kinerja jaringan *Parallel Link*, yang didapat dari NMS, total kapasitas 2 Gbps, terbagi dari 2 link, dan setiap masing-masing trafik data dibagi secara manual, berdasarkan dari Vlan tagging.

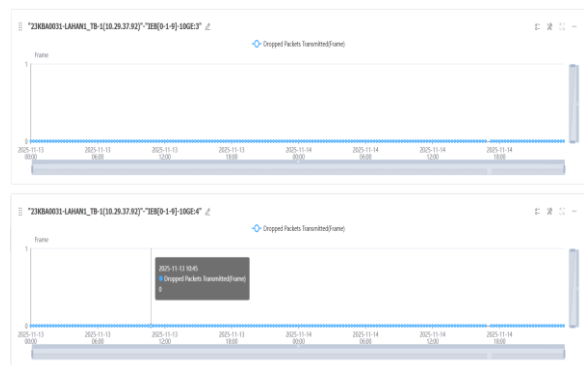
Tabel 4. Pengujian kinerja jaringan *Parallel Link*

Port	Media	Bandwidth (Mbps)	Throughput (Mbps)	Utilization (%)
xgei-1/9/0/3 Port03	Fiber Optic	1000	395.52	39.82
xgei-1/9/0/4 Port04	Fiber Optic	1000	783.04	79.30

Gambar 18. menampilkan grafik dan nilai dari kapasitas, *throughput*, dan utilisasi pada tanggal 13 November 2025 pukul 09.45, yang sudah dimasukkan ke Tabel 4.7. Terdapat selisih nilai antara link no. 1 dengan link no. 2, dimana *throughput* link no. 1 adalah 395.52 Mbps dan *throughput* link no. 2 adalah 783.04 Mbps. Selisih antara kedua link tersebut sekitar 387.52 Mbps, nilai selisih yang cukup besar dan tentunya kurang efisien apabila dibandingkan dengan konfigurasi LACP.

Gambar 18. Kapasitas, *throughput*, dan utilisasi Parallel Link

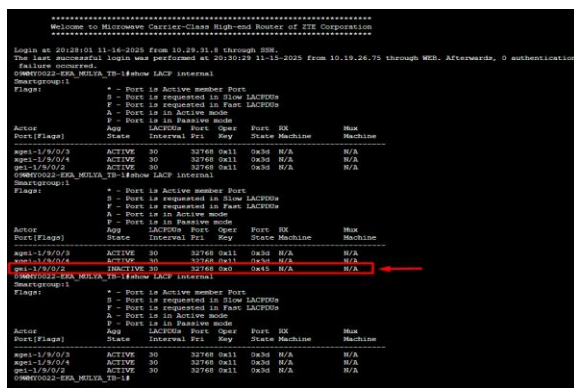
Sama halnya seperti link LACP, pada port *Parallel Link* juga ditampilkan grafik dan nilai dari *dropped packet transmit (frame)*. Terlihat pada Gambar 19. bahwa pada waktu yang sama tidak ada nilai yang muncul, dapat dinyatakan bahwa traffic data tidak ada hambatan atau data yang terbuang.



Gambar 19. Dropped packet transmit (frame) dari port Parallel Link

LACP terbukti lebih andal karena mendukung mekanisme *failover* dan *load balancing* secara otomatis. Pada saat dilakukan pengujian *failover*

terhadap konfigurasi LACP, terlihat pada Gambar 20. bahwa salah satu port berubah status dari *active* menjadi *inactive*, status port yang berubah menjadi *inactive* ini menandakan bahwa mekanisme proteksi LACP bekerja dengan baik ketika port gei-1/9/0/2 di *disable*. Kondisi ini menunjukkan bahwa port tersebut tidak lagi berpartisipasi dalam proses agregasi link, meskipun secara fisik masih terhubung ke perangkat. Secara otomatis mengevaluasi setiap anggota port dalam kelompok agregasi, dan apabila ada port yang tidak memenuhi parameter LACP, misalnya kehilangan sinkronisasi, tidak adanya respon dari sisi lawan, atau terjadinya ketidaksesuaian konfigurasi, maka perangkat akan memindahkan port tersebut ke status *inactive*. Hal ini dilakukan agar lalu lintas jaringan tetap bekerja dan stabil, atau tidak ada paket hilang akibat port yang tidak mendukung.

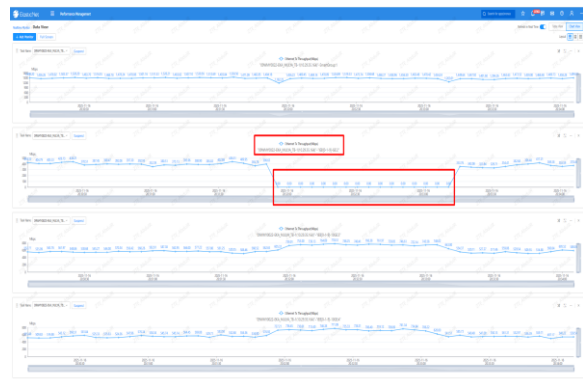


Gambar 20. LACP port status pada saat failover test

Dapat dilihat tampilan grafik dan nilai *throughput* yang ada pada pada Gambar 21., saat dilakukan pengujian failover terhadap konfigurasi LACP, terlihat bahwa port gei-1/9/0/2 mengalami penurunan ketika status menjadi *inactive*. Hal ini terjadi karena pada proses *failover*, perangkat secara otomatis menilai kemampuan setiap port yang ada di dalam LACP untuk tetap menjaga sinkronisasi dan mengirim atau menerima paket *Link Aggregation Control Protocol Data Units* (LACPDU). Ketika salah satu port dalam hal ini gei-1/9/0/2, tidak merespon dengan benar atau tidak memenuhi parameter yang disyaratkan, perangkat akan mengeluarkan port tersebut dari kelompok agregasi untuk menjaga kinerja

jaringan. Pada grafik *throughput* kondisi ini terlihat jelas dengan nilai trafik yang turun menjadi 0 Mbps pada waktu tertentu, menandakan bahwa port tersebut benar-benar tidak lagi membawa trafik data selama proses failover berlangsung.

Ketika gei-1/9/0/2 dinonaktifkan secara otomatis, mekanisme LACP melakukan redistribusi trafik ke port lain yang masih aktif, yaitu gei-1/9/0/3 dan gei-1/9/0/4. Grafik menunjukkan bahwa kedua port ini bersamaan mengalami peningkatan *throughput* yang lebih stabil dan merata setelah port gei-1/9/0/2 berhenti mengalirkan trafik. Hal ini menunjukkan bahwa LACP bekerja sesuai fungsinya, yaitu membagi beban trafik secara otomatis ke port-port yang tersisa. Meskipun salah satu port mengalami kegagalan, layanan jaringan tetap berjalan tanpa putus dan total kapasitas masih dapat dipertahankan. Kondisi ini juga menggambarkan keunggulan LACP dalam memberikan redundansi dan *load balancing* saat terjadi gangguan. Berbeda pada *Parallel Link*, gangguan pada satu port menyebabkan sebagian trafik gagal, karena tidak ada sistem *failover* otomatis.



Gambar 21. Keandalan redundansi saat melakukan failover test

Untuk meningkatkan *load balancing* pada konfigurasi LACP, disarankan untuk menggunakan tipe *port* dan jenis kabel yang sama. Dapat dilihat pada Tabel 5., hasil pengujian pada link no. 2 terlihat adanya ketidak seimbangan *throughput*, dikarenakan link no.2 menggunakan kabel *ethernet*, sedangkan link no. 3 dan no.4 menggunakan kabel *fiber optic*.

Tabel 5. Keandalan *load balancing*

Port	Media	Bandwidth (Mbps)	Throughput (Mbps)	Load Balancing
Smart Group LAG	LACP	3000	1605.15	---
gei-1/9/0/2 Port01	Ethernet	1000	451.43	not Balance
xgei-1/9/0/3 Port02	Fiber Optic	1000	662.65	Balance
xgei-1/9/0/4 Port03	Fiber Optic	1000	629.78	Balance

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan pada jaringan PT. Indosat Ooredoo Hutchison (IOH), bahwa baik *Link Aggregation Control Protocol* (LACP) maupun *Parallel Link* mampu meningkatkan kapasitas jaringan dengan memanfaatkan infrastruktur

yang sudah tersedia, tanpa perlu melakukan penggantian perangkat atau penambahan modul baru pada perangkat. Peningkatan kapasitas ini terjadi karena kedua metode tersebut dapat menggabungkan beberapa port fisik menjadi jalur transmisi yang lebih besar, sehingga total kapasitas meningkat sesuai

dengan jumlah dan kecepatan port yang digunakan. *Link aggregation* juga bersifat fleksibel, karena dapat diperluas dengan menambah jumlah port sesuai kebutuhan jaringan.

Hasil pengujian LACP, total kapasitas yang tersedia mencapai 3000 Mbps, dan mampu menghasilkan *throughput* sebesar 1605.15 Mbps, dengan tingkat utilisasi 53.50%. Setiap port anggota LACP memiliki performa yang berbeda, yaitu 451.43 Mbps (45.14%) untuk port gei-1/9/0/2, 662.65 Mbps (66.27%) untuk port gei-1/9/0/3, dan 629.78 Mbps (62.97%) untuk port gei-1/9/0/4. Ketidakseimbangan *throughput* ini terutama disebabkan oleh perbedaan jenis media transmisi, di mana port nomor 2 menggunakan kabel *ethernet*, sedangkan port nomor 3 dan nomor 4 menggunakan *fiber optic* yang memiliki kualitas transmisi lebih baik. Keunggulan lain dari LACP adalah kemampuannya melakukan *failover* otomatis, ketika port gei-1/9/0/2 dinonaktifkan pada saat pengujian, sistem LACP langsung melakukan redistribusi trafik ke port gei-1/9/0/3 dan gei-1/9/0/4 tanpa mengganggu layanan.

Hasil pengujian *Parallel Link*, total bandwidth efektif berasal dari jalur independen tanpa ada proses agregasi, yaitu masing-masing 1000 Mbps pada kedua port. Port xgei-1/9/0/3 menghasilkan *throughput* sebesar 395.52 Mbps (39.82%), sedangkan port xgei-1/9/0/4 menghasilkan 783.04 Mbps (79.30%). Perbedaan ini terjadi karena masing-masing link berjalan sendiri-sendiri tanpa ada mekanisme pembagian trafik atau pengaturan beban otomatis yang biasa disebut *load balancing*. *Parallel Link* juga tidak memiliki mekanisme *failover*, seperti yang dimiliki LACP. Dengan demikian kinerja dan efisiensi LACP menunjukkan hasil yang lebih unggul dari *Parallel Link*.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa baik pada konfigurasi LACP maupun *Parallel Link*, *Dropped Packet Transmit (frame)* bernilai nol, artinya tidak ada kehilangan paket selama pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas jaringan berada pada tingkat yang baik dan *end user* tidak mengalami gangguan dalam penggunaan layanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Irmayani and R. D. R. Satrija, "Implementasi 4G Carrier Aggregation-3CC Untuk Meningkatkan Throughput Pada Smartphone Berbasis LTE-Cat9," *SAINSTECH J. Penelit. DAN Pengkaj. SAINS DAN Teknol.*, vol. 34, no. 2, pp. 75–87, Jun. 2024, doi: 10.37277/stch.v34i2.2085.
- [2] F. P. E. Putra, D. A. M. Putra, A. Firdaus, and A. Hamzah, "Analisis Kecepatan Dan Kinerja Jaringan 5G (generasi ke 5) Pada Wilayah Perkotaan," *Inform. Educ. Prof. J. Inform.*, vol. 8, no. 1, p. 47, Jul. 2023, doi: 10.51211/itbi.v8i1.2439.
- [3] F. Baso, N. Hanifa A, A. S. Putri Azzahra, and N. A. Mukhtar, "Analisis Jaringan LAN Menggunakan Teknologi EtherChannel untuk Meningkatkan Performa Jaringan pada SMK Kartika XX-I Makassar," *Progress. Inf. Secur. Comput. Embed. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, Mar. 2023, doi: 10.61255/pisces.v1i1.25.
- [4] S. Empson, *CCNA 200-301 Portable Command Guide*, Fifth edition. London: Cisco Press, 2020.
- [5] V. Rahma Dewi and G. Purnama, "PERANCANGAN JARINGAN SISTEM FAILOVER DENGAN METODE HOT STANDBY ROUTING PROTOCOL (HSRP) STUDI KASUS DI YAYASAN SUKSES ABADI," *JATI J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 339–345, Feb. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8523.
- [6] A. Octavian and G. Purnama, "PERANCANGAN JARINGAN REDUNDANCY MENGGUNAKAN KONSEP ETHERCHANNEL DAN HSRP DENGAN INTERVLAN ROUTING PADA PLN UID JAKARTA RAYA," *J. Inform. Dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4193.
- [7] A. Syaifudin, Moh. I. Wahyuddin, and S. Ningsih, "PERANCANGAN REDUNDANCY LINK DAN LOAD BALANCING MENGGUNAKAN METODE ETHERCHANNEL LACP DENGAN INTERVLAN ROUTING," *J. Teknoinfo*, vol. 14, no. 2, p. 131, Jul. 2020, doi: 10.33365/jti.v14i2.545.
- [8] L. Adi Putra, M. Alfian Rosid, H. Setiawan, and A. Eviyanti, "Implementasi Sistem Monitoring Jaringan Menggunakan Libre Nms Pada Kecamatan Tarik," *Indones. J. Appl. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–55, Jan. 2024, doi: 10.47134/ijat.v1i1.2119.
- [9] A. P. Wibowo and A. A. Rismayadi, "Implementasi The Dude Pada Sistem Jaringan Backbone PT. TIS Terintegrasi Dengan Telegram," *J. Nas. Komputasi Dan Teknol. Inf. JNKTI*, vol. 6, no. 1, pp. 10–18, Feb. 2023, doi: 10.32672/jnkti.v6i1.5541.
- [10] Dr. Prof. Sugiyono. (2023). *Metode Penelitian Studi Kasus (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, & Kombinasi (M. P. Dr. Rina Fadilah, Ed.; CV ALFABETA, Vol. 1). CV ALFABETA.*
- [11] Rita Fiantika, F., Wasil, M., Jumiyati, S., Honesti, L., Wahyuni, S., Mouw, E., Jonata, Mashudi, I., Hasanah, N., Maharani, A., Ambarwati, K., Noflidaputri, R., Nuryami, Waris, L., (2022). *PT. GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI*, No Anggota IKAPI: 033/SBA/2022. ISBN 978-623-99749-1-6.
- [12] D. Arius, *Komunikasi Data*. Universitas Amikom, 2021. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=X9EOEAAQBAJ&lpg=PP1&hl=id&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>.