

Analisis Implementasi *Link Aggregation* dengan *PIECES Framework* pada Jaringan Transmisi Seluler

IRFAN HERMAWAN, REZA CHANDRA

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gunadarma, Indonesia
Email: irfanher@gmail.com

Received 27 Oktober 2022 | *Revised* 29 November 2022 | *Accepted* 20 Desember 2022

ABSTRAK

Perkembangan layanan data seluler mulai teknologi 2G Enhanced GPRS (EGPRS) berkecepatan 473,6 kbps terus meningkat sampai teknologi 5G enhanced Mobile Broadband (eMBB) berkecepatan 10 Gbps berdampak pada penggunaan aplikasi eCommerce, media sosial, platform video dan meeting online juga semakin tinggi. Lokasi perangkat 2G sampai 5G berada dalam satu lokasi yang sama berdampak pada penggunaan perangkat dan jalur transmisi yang sama pula, sehingga utilisasi transmisi cepat mengalami congestion. Untuk mengatasi congestion digunakan metode Link Aggregation (LAG) untuk menambah kapasitas antara koneksi Indoor Unit (IDU) dengan router. Untuk mengevaluasi efektivitas implementasi LAG digunakan kerangka kerja Performance Information Economics Control Efficiency Service (PIECES). Dari evaluasi kerangka kerja PIECES dapat disimpulkan dengan implementasi LAG kapasitas link bertambah dari 1x1 Gbps menjadi 2x1 Gbps, congestion turun dari 68,07% menjadi 34,60%, performance meningkat 50% dan throughput meningkat 10,63 Mbps.

Kata kunci: *Transmisi seluler, congestion, kapasitas, LAG, PIECES*

ABSTRACT

The development of cellular data services is always growing from 2G Enhanced GPRS (EGPRS) with speed 473.6 kbps continues to 5G enhanced Mobile Broadband (eMBB) with speed up to 10 Gbps has an impact on the use of eCommerce, social media, video platforms and online meeting applications is also increasing. The location of 2G to 5G devices in the same location has an impact on the use of the same devices and transmission lines, so the utilization of transmission also getting congestion. To overcome congestion the Link Aggregation (LAG) method is used to add the capacity between Indoor Unit (IDU) and router connection. To evaluate the effectiveness of LAG implementation, the Performance Information Economics Control Efficiency Service (PIECES) framework is used. From the evaluation of PIECES framework, it can be concluded that implementation LAG make link capacity increased from 1x1 Gbps to 2x1 Gbps, congestion decreased from 68.07% to 34.60%, performance increased 50% and throughput increased 10.63 Mbps.

Keywords: *Cellular transmission, congestion, capacity, LAG, PIECES*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi seluler khususnya layanan data selalu berkembang, dimulai dari 2G *Enhanced GPRS* (EGPRS) berkecepatan 473,6 kbps (**ETSI TS 143.064, 2020**) hingga saat ini teknologi 5G *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) berkecepatan 10 Gbps (**ITU-R M.2083-0, 2015**). Saat ini, trafik video diperkirakan mencapai 69% dari semua trafik data seluler, pangsa yang diperkirakan akan meningkat menjadi 79% pada tahun 2027 (**Ericsson, 2022**). Survei indikator TIK tahun 2016 menemukan bahwa 24,2% atau 19,5 juta penduduk Indonesia melakukan aktivitas *e-commerce* dengan proporsi 23,8% pembelian *online*, 0,8% penjualan *online* dan 0,4% pembelian sekaligus penjualan *online* (**Susanto, dkk, 2016**). Situs yang paling banyak dikunjungi di web pada tahun 2021 adalah Google, YouTube, Facebook, Twitter, Instagram dan 45% orang di seluruh dunia menonton konten video *online* selama satu jam atau lebih setiap hari (**Key Internet Statistics to Know in 2022, 2022**), sehingga kebutuhan *throughput* selalu meningkat. Pada prakteknya di dalam sebuah *site/tower* operator seluler terdapat perangkat 2G sampai 5G pada ruangan yang sama sehingga berdampak penggunaan perangkat dan jalur transmisi yang sama. Hal inilah yang menyebabkan jaringan transmisi seluler cepat mengalami *congestion*. Tujuan penelitian ini adalah memberikan solusi dari masalah *congestion* jaringan transmisi seluler yang sering terjadi pada koneksi antar perangkat transmisi pada Site *High Utilization Transport* (HUT) agar tidak terjadi *bottleneck*.

Pada penelitian sebelumnya *congestion* dapat dipecahkan dengan metode *rewiring*. Metode *rewiring* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu memodifikasi topologi koneksi antar perangkat dan mengubah penggunaan kabel *ethernet* (100 Mbps) menjadi kabel optik (1 Gbps). Modifikasi koneksi akan menjadikan urutan aliran trafik yang awalnya dikirim dengan susunan serial, berubah menjadi paralel sehingga mengurangi tumpukan trafik pada perangkat bagian depan (**Kusuma & Surjati, 2017**).

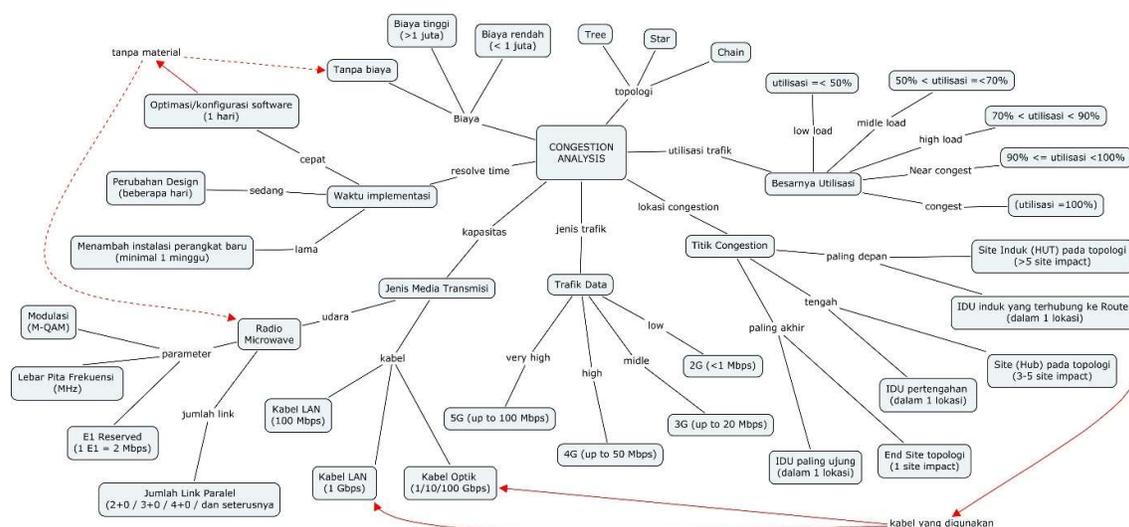
Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk memecahkan *congestion* pada jaringan transmisi seluler adalah *Link Aggregation* (LAG) (**Law, dkk, 2013**). Metode LAG adalah teknik solusi pemecahan *congestion* dengan cara menggabungkan beberapa koneksi *ethernet* pada *physical layer* menjadi sebuah (*bundle*) *interface link* (**Juniper Networks, Inc, 2013**). Pada penggabungan dua koneksi atau lebih ini harus mempunyai karakteristik fisik yang sama, seperti *port mode*, kecepatan dan *duplex mode* (**Juniper Networks, Inc, 2014**). Untuk mengevaluasi implementasi metode LAG dari sisi operasional dalam memecahkan *congestion*, James Wetherbe mengembangkan suatu kerangka kerja yang disebut *PIECES Framework* yaitu *Performance, Information, Economics, Control/Security, Efficiency, Service* (**Asbar & Saptari, 2017**).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (**Prayogi, dkk, 2021**), penerapan *PIECES Framework* dalam analisis dan evaluasi aplikasi M-BCA, dapat dilihat tingkat kepuasan pengguna dari masing-masing aspek memperoleh nilai berada di 3.4 - 4.91, yang berarti pengguna merasa PUAS terhadap aplikasi m-BCA. Pada penelitian yang dilakukan oleh (**Pangri, dkk, 2021**), mengemukakan bahwa hasil dari perhitungan susunan pernyataan yang telah diberikan pada responden dikategori PUAS, yang berarti penggunaan sistem informasi perpustakaan telah diterima dan telah berjalan baik. Pada penelitian yang dilakukan oleh (**Agustina, 2018**), menghasilkan data semua variabel baik dengan total penilaian *performance* sebesar 3,81, *Information* data sebesar 4,11, *Economic* menghasilkan nilai 4,07, *security/control* mendapatkan nilai 4,13, *Efficiency* dengan nilai 4,13, dan *service* mendapatkan nilai 4,06, yang berarti sistem informasi ERP sudah berjalan dengan baik. Berdasarkan penerapan *PIECES Framework* pada tiga hal tersebut, maka peneliti akan menerapkan *PIECES Framework* untuk mengevaluasi efektivitas implementasi LAG pada jaringan transmisi seluler.

2. METODE

2.1 *PIECES Framework*

PIECES Framework adalah suatu metode yang digunakan untuk proses pengklasifikasian masalah dan arahan (*directives*) yang ada dalam definisi ruang lingkup, analisis dan perancangan sistem. *PIECES Framework* dapat menghasilkan hal baru yang dapat dijadikan pertimbangan dalam pengembangan suatu hal (**Pangri, dkk, 2021**). Metode *PIECES framework* memiliki enam variabel yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja (**Tullah & Hanafri, 2014**), yaitu *Performance* (Keandalan), tingkat keandalan/kualitas jaringan transmisi salah satunya adalah utilisasi, jika utilisasi sudah mendekati atau terjadi *congestion* artinya kehandalan jaringan transmisi tersebut sudah menurun. *Information* (Informasi), informasi yang dibutuhkan untuk mengantisipasi dan membuat perencanaan pemecahan masalah *congestion* pada jaringan transmisi seluler, salah satunya informasi titik *congestion* dan informasi topologi yang digunakan. *Economics* (Nilai Ekonomis), merupakan biaya yang dibutuhkan untuk pemeliharaan jaringan transmisi dan pemecahan masalah *congestion*, meliputi biaya pengadaan material/barang dan biaya pelayanan/jasa instalasi. *Control and Security* (Pengendalian dan Pengamanan), pengendalian pada jaringan transmisi seluler dapat diartikan pengaturan terhadap kepadatan trafik jaringan (*traffic engineering*), sedangkan keamanan pada jaringan transmisi seluler dapat diartikan keamanan dalam mengakses (*login*) ke perangkat transmisi dan menjaga keamanan jaringan agar trafik tidak terputus. *Efficiency* (Efisiensi), tingkat efisiensi metode pemecahan *congestion* jaringan transmisi seluler dapat diartikan seberapa mudah dan cepat cara implementasinya serta seberapa besar perbedaan kapasitas yang dihasilkan, semakin besar perbedaan kapasitasnya, maka semakin efisien dalam memecahkan *congestion*. *Service* (Pelayanan), pelayanan pada jaringan transmisi seluler dapat diartikan besarnya trafik (*throughput*) yang dapat dilewatkan dalam suatu kanal transmisi. Semakin besar *throughput* yang dapat dilewatkan suatu kanal transmisi, maka semakin tinggi tingkat pelayanan yang dihasilkan. Hubungan antara enam variabel tersebut berdasarkan analisis peneliti pada kondisi riil jaringan transmisi salah satu operator seluler di Indonesia dapat dilihat pada peta konsep *congestion* Gambar 1.

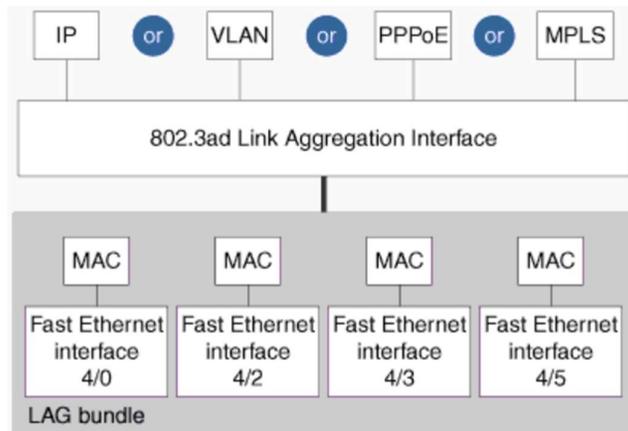


Gambar 1. Peta Konsep *Congestion*

2.2 Metode *Link Aggregation* (LAG)

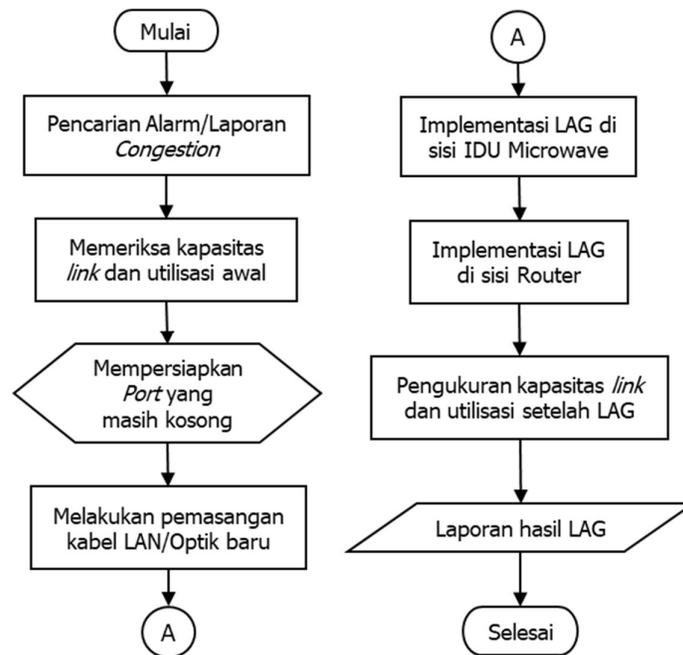
Link Aggregation merupakan standar teknologi yang dikeluarkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.3ad pada tanggal 30 Maret 2000. Standar IEEE 802.3ad

disebut juga sebagai *Link Aggregation Control Protocol* (LACP). Pada *layer* OSI LACP berkedudukan pada *layer Datalink*. Protokol ini mewajibkan LACP pada kedua ujung koneksi harus aktif. LACP menyediakan fitur kontrol untuk penambahan atau pengurangan koneksi tanpa harus ada *frame* yang hilang saat pengiriman (**Muhammad, dkk, 2021**). LACP akan mendeteksi semua koneksi pada *bundle* LAG dan mengumpulkan trafik (IP/VLAN) dari setiap koneksi kemudian mendistribusikannya kepada MAC *clients*.



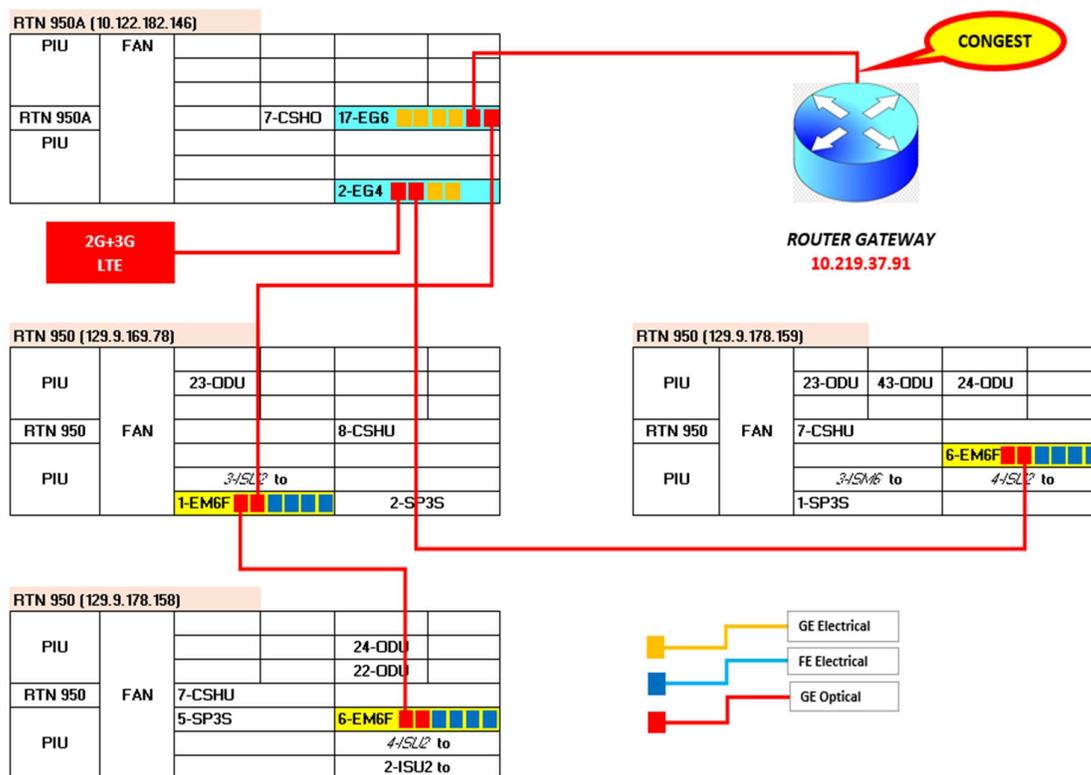
Gambar 2. Interface Stack pada Link Aggregation 802.3ad (Juniper Networks, Inc, 2013)

Metode LAG dapat digunakan untuk pemecahan *congestion* jaringan transmisi seluler dengan cara menambah satu koneksi baru atau lebih yang digabung (*bundling*) secara *logical* untuk membentuk sebuah LAG dan menjadikannya seolah-olah itu adalah satu *link*. Persyaratan agar metode LAG dapat dilakukan yaitu kedua perangkat mendukung untuk protokol LACP dan setiap koneksinya mempunyai *rate* yang sama. Langkah-langkah persiapan dan implementasi metode LAG seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Implementasi Metode LAG

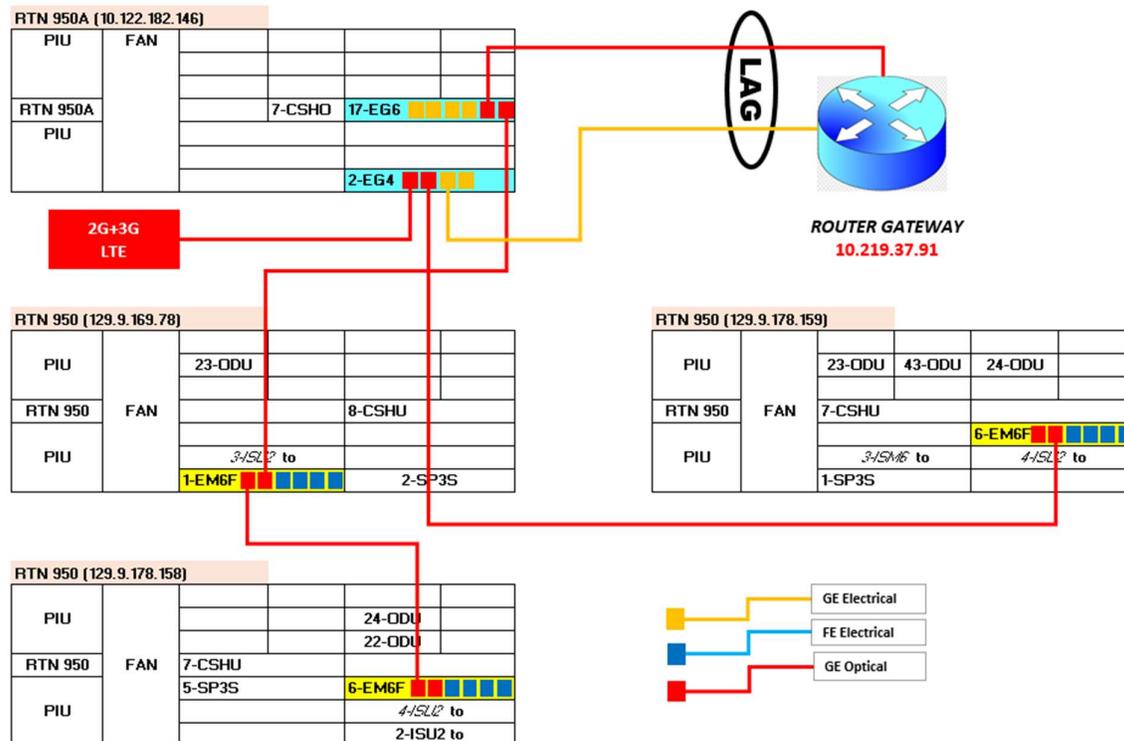
Langkah pertama perlu mendapatkan data tentang laporan *congestion* yang terjadi pada suatu *site* atau bisa dari alarm *congestion* yang muncul pada perangkat tersebut. Setelah mengetahui keberadaan titik *congestion* tersebut, kemudian cek kapasitas yang tersedia dan utilisasi pada *link* tersebut untuk memastikan dan mencari tahu seberapa besar tingkat *congestion*-nya.



Gambar 4. Topologi Koneksi Awal

Gambar 4 adalah topologi riil koneksi antar perangkat transmisi di salah satu *site* operator seluler. Pada *site* ini terdapat empat perangkat *Indoor Unit* (IDU) OptiX RTN 950/A yang selanjutnya disebut dengan IDU dan sebuah perangkat *router* sebagai *gateway* ke transmisi *backbone*. Pada koneksi kabel optik antara IDU 10.122.182.146 dengan *router gateway* sedang mengalami *congestion*. Langkah pertama yang dibutuhkan adalah memeriksa terlebih dahulu apakah pada IDU 10.122.182.146 dan *router gateway* yang telah terhubung ini masih memiliki *port* dengan jenis yang sama yang masih kosong atau tidak. Setelah mengetahui kondisi ketersediaan *port* kosong pada kedua perangkat tersebut, kemudian mempersiapkan kabel yang sesuai dengan jenis *port*-nya, lalu memasang kabel tersebut pada kedua sisi perangkat seperti pada Gambar 5.

Setelah koneksi pertama (*master*) dan koneksi kedua (*slave*) dilakukan penambahan konfigurasi LAG pada sisi IDU dan sisi *router* (**Cisco Systems, Inc., 2019**), maka akan didapatkan kapasitas dari IDU ke *router gateway* menjadi 2x1 Gbps atau total kapasitas adalah 2 Gbps secara logical (*Layer-2*) seperti pada Gambar 7.



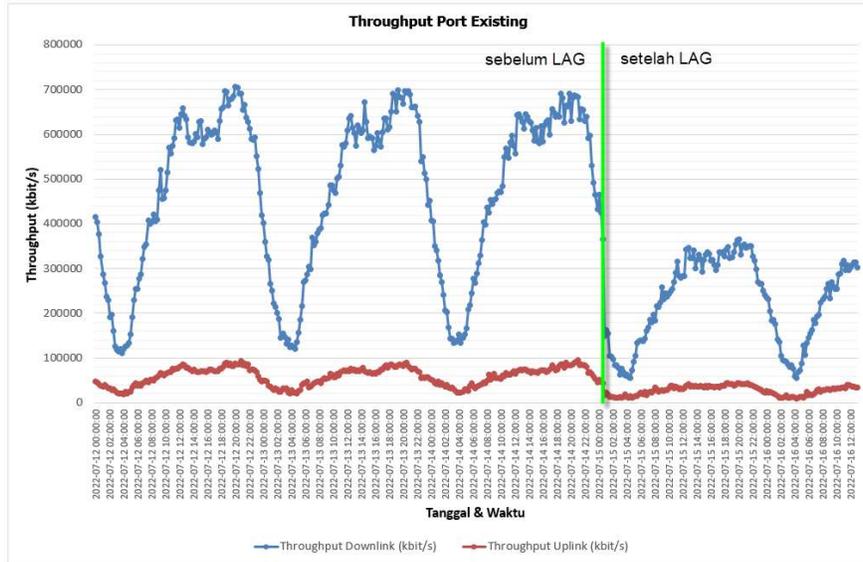
Gambar 7. Topologi Setelah Implementasi LAG

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data trafik yang dianalisis didapat dari remote login ke perangkat IDU yang terhubung dengan perangkat *Router*, lalu men-*download* data trafik dan utilisasi pada *port-port* yang diimplementasi LAG. Pengambilan data trafik, utilisasi sebelum dan setelah proses implementasi LAG pada salah satu *site* operator seluler diambil mulai tanggal 12 Juli 2022 sampai 16 Juli 2022. Kondisi koneksi awal IDU ke *Router* sebesar 1x1 Gbps dengan utilisasi 68,07% yang termasuk kategori *high utilization*. Setelah diimplementasi LAG koneksi IDU ke *Router* menjadi 2x1 Gbps. Pengukuran trafik dan utilisasi setelah implementasi LAG dilakukan pada masing-masing *port* secara terpisah. Namun total kapasitas LAG adalah penjumlahan dari *port* pertama (*master/existing port*) dan *port* kedua (*slave/new port*).

3.1 Pengukuran *Port Existing*

Dari grafik Gambar 8 dapat dilihat bahwa sebelum implementasi LAG diketahui *throughput port* pertama pada jam sibuk, yaitu jam 18.30 – 21.30 selama tiga hari berturut-turut mempunyai rata-rata sebesar 676,262 Mbps.



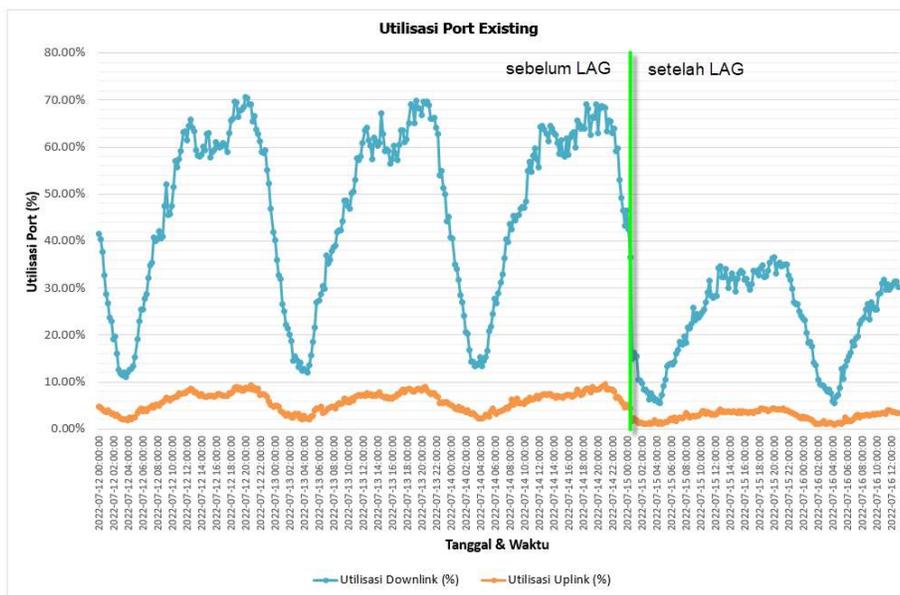
Gambar 8. Throughput Port Master (Existing) Sebelum dan Setelah LAG

Setelah implementasi LAG, *throughput port* pertama pada jam 18.30 – 21.30 turun menjadi 346,028 Mbps, atau sebesar 51,17% dari rata-rata sebelumnya. Hal ini dikarenakan setengah dari total trafik tersebut telah pindah ke *port* kedua (*port* baru).

Tabel 1. Throughput Port Existing Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	Throughput Port Existing (jam sibuk)
12 Juli 2022	sebelum LAG	680,655 Mbps
13 Juli 2022	sebelum LAG	680,993 Mbps
14 Juli 2022	sebelum LAG	667,138 Mbps
15 Juli 2022	setelah LAG	346,028 Mbps

Untuk utilisasi *port* pertama (*existing*) sesuai Gambar 8 di bawah, selama tiga hari berturut-turut sebelum implementasi LAG mempunyai rata-rata sebesar 67,63%.



Gambar 9. Utilisasi Port Master (Existing) Sebelum dan Setelah LAG

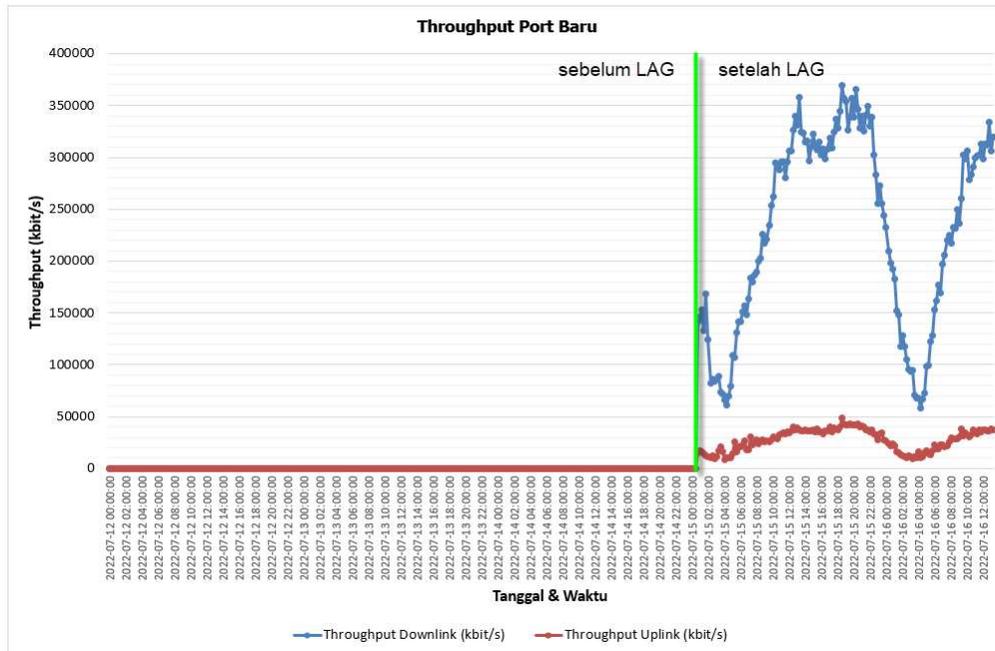
Setelah implementasi LAG, utilisasi *port* pertama pada jam sibuk jam 18.30 – 21.30 WIB turun menjadi 34,60%, atau turun sebesar 51,16% dari rata-rata sebelumnya. Nilai ini sejalan dengan nilai penurunan *throughput* dikarenakan setengah dari total trafik tersebut telah pindah ke *port* kedua (*port* baru).

Tabel 2. Utilisasi *Port Existing* Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	Utilisasi <i>Port Existing</i> (jam sibuk)
12 Juli 2022	sebelum LAG	68,07%
13 Juli 2022	sebelum LAG	68,10%
14 Juli 2022	sebelum LAG	66,71%
15 Juli 2022	setelah LAG	34,60%

3.2 Pengukuran *Port* Baru

Pada grafik Gambar 10 menunjukkan *throughput* pada *port* kedua (*port* baru) selama tiga hari berturut-turut masih bernilai 0 Mbps dikarenakan *port* sudah *Up*, namun belum dieksekusi implementasi LAG, sehingga trafik belum mengalir pada *port* kedua.



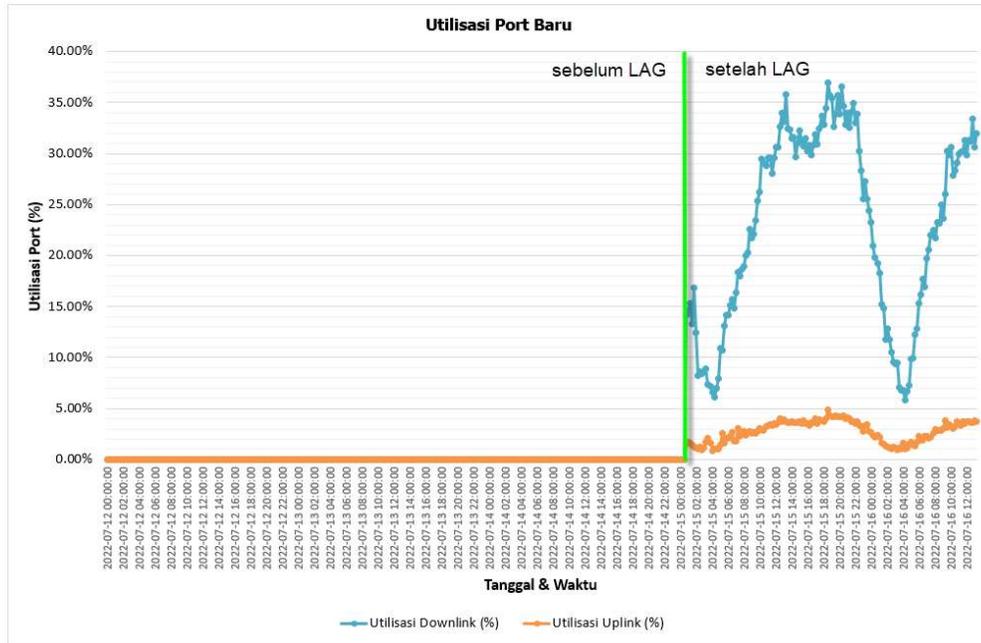
Gambar 10. *Throughput Port* Baru Sebelum dan Setelah LAG

Setelah implementasi LAG, *throughput port* kedua pada jam sibuk, yaitu jam 18.30 – 21.30 naik dari 0 Mbps menjadi 345,257 Mbps, atau sebesar 51,05% dari rata-rata sebelumnya. Hal ini dikarenakan *port* kedua (*port* baru) telah mendapatkan limpahan trafik sebesar setengah dari *port* pertama (*existing*).

Tabel 3. *Throughput Port* Baru Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	<i>Throughput Port</i> baru (jam sibuk)
12 Juli 2022	sebelum LAG	0 Mbps
13 Juli 2022	sebelum LAG	0 Mbps
14 Juli 2022	sebelum LAG	0 Mbps
15 Juli 2022	setelah LAG	345,257 Mbps

Demikian juga untuk utilisasi pada *port* kedua (*port* baru), sejalan dengan *throughput* pada Gambar 11 menunjukkan sebelum implementasi LAG utilisasi *port* kedua masih bernilai 0%.



Gambar 11. Utilisasi *Port* Baru Sebelum dan Setelah LAG

Setelah implementasi LAG, utilisasi *port* kedua pada jam sibuk 18.30 – 21.30 naik dari 0% menjadi 34,53%, atau sebesar 51,06% dari rata-rata *port* pertama. Hal ini dikarenakan *port* kedua (*port* baru) telah mendapatkan limpahan trafik sebesar setengah dari *port* pertama.

Tabel 4. Utilisasi *Port* Baru Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	Utilisasi <i>Port</i> baru (jam sibuk)
12 Juli 2022	sebelum LAG	0%
13 Juli 2022	sebelum LAG	0%
14 Juli 2022	sebelum LAG	0%
15 Juli 2022	setelah LAG	34,53%

3.3 *Throughput* dan Utilisasi LAG

Dari hasil analisis pada kedua *port* LAG, bila digabung dalam satu tabel terlihat bahwa ada sedikit kenaikan *throughput* sebesar 15,023 Mbps dibanding dengan rata-rata *throughput* sebelum di LAG pada *port* pertama (Tabel 5). Pada sisi utilisasi bila dijumlah utilisasi pada kedua *port* LAG terlihat ikut sedikit naik sebesar 1,50% dibanding dengan rata-rata utilisasi sebelum di LAG (Tabel 6). Angka ini sejalan dengan nilai kenaikan *throughput*.

Tabel 5. *Throughput* 2 *Port* Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	<i>Throughput Port Existing</i> (jam sibuk)	<i>Throughput Port baru</i> (jam sibuk)	Total <i>Throughput</i> (2 <i>Port</i>)
12 Juli 2022	sebelum LAG	680,655 Mbps	0 Mbps	680,655 Mbps
13 Juli 2022	sebelum LAG	680,993 Mbps	0 Mbps	680,993 Mbps
14 Juli 2022	sebelum LAG	667,138 Mbps	0 Mbps	667,138 Mbps
15 Juli 2022	setelah LAG	346,028 Mbps	345,257 Mbps	691,285 Mbps

Tabel 6. Utilisasi 2 Port Sebelum dan Setelah LAG

Tanggal	Kondisi	Utilisasi Port Existing (jam sibuk)	Utilisasi Port baru (jam sibuk)	Total Utilisasi (2 Port)
12 Juli 2022	sebelum LAG	68,07%	0%	68,07%
13 Juli 2022	sebelum LAG	68,10%	0%	68,10%
14 Juli 2022	sebelum LAG	66,71%	0%	66,71%
15 Juli 2022	setelah LAG	34,60%	34,53%	69,13%

Pada LAG trafik akan terdistribusi seimbang pada masing-masing koneksi, sehingga bila salah satu koneksi mengalami *congestion / high utilization*, maka trafik pada koneksi tersebut secara otomatis akan dialihkan pada koneksi lainnya yang masih lebih rendah utilitasinya sampai utilisasi semua koneksi dalam LAG seimbang. Berdasarkan persiapan, proses dan hasil implemetasi LAG di atas dalam memecahkan *congestion* jaringan transmisi, dengan menggunakan *PIECES Framework* (Hariyanti, dkk, 2019) dapat dievaluasi sesuai Tabel 7.

Tabel 7. Analisis PIECES pada Implementasi Metode LAG

Jenis Analisis	Hasil implementasi	Keterangan
<i>Performance</i>	Utilisasi <i>link</i> sebelum LAG 68,07% (1 Gbps), setelah LAG utilisasi terbagi menjadi dua, yaitu 34,60% dan 34,53% (2 Gbps)	Performansi meningkat 50% karena kapasitas bertambah 2x sehingga utilisasi turun sebesar 0,5x
<i>Information</i>	Mebutuhkan informasi terkait ketersediaan <i>port</i> yang kosong pada kedua sisi perangkat dan jenis kabel maupun konektor yang akan digunakan untuk implementasi LAG	Mebutuhkan dua macam informasi fisik untuk persiapan eksekusinya
<i>Economic</i>	Implementasi LAG hanya membutuhkan biaya pembelian kabel <i>patchcord</i> optik / LAN saja.	Biaya implementasi murah
<i>Control / Security</i>	Pemasangan kabel optik membutuhkan kehati-hatian agar kabel optik tidak <i>bending</i> . Pembuatan <i>script</i> pada <i>router</i> harus sangat teliti agar tidak berdampak <i>service down</i> .	Berisiko tinggi saat implementasinya
<i>Efficiency</i>	Cara implementasi tidak terlalu rumit, namun kapasitas <i>link</i> bertambah 2x lipat, sehingga dapat melewatkan trafik yang besar.	Sangat efisien untuk menambah kapasitas <i>link</i> dan memecahkan <i>congestion</i> transmisi
<i>Service</i>	<i>Throughput</i> sebelum LAG sebesar 680,655 Mbps, setelah LAG naik menjadi 691,285 Mbps	Pelayanan data meningkat 10.63 Mbps

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari implementasi *Link Aggregation* (LAG) pada jaringan transmisi seluler, dapat memecahkan *congestion* transmisi dengan cara menambah kapasitas menjadi dua kali dari kapasitas sebelumnya dari 1x1 Gbps menjadi 2x1 Gbps, sehingga *congestion port* setelah implementasi LAG turun dari utilisasi *port* awal 68,07% menjadi 34,60%. Berdasarkan evaluasi dari *PIECES Framework* dapat dikemukakan untuk aspek *performance* meningkat sebesar 50%, pada aspek *information* membutuhkan informasi ketersediaan *port* yang kosong dan jenis kabel maupun konektor untuk persiapan eksekusi LAG, pada aspek *economic* biaya implementasi yang dibutuhkan relatif murah, pada aspek *control and security* saat implementasi LAG cukup berisiko tinggi karena dapat berdampak *service down* bila tidak hati-hati. Pada aspek *service, throughput* meningkat sebesar 10,63 Mbps, sehingga dapat disimpulkan pada aspek *efficiency* bahwa implementasi LAG sangat efisien dalam mengatasi *congestion* transmisi, menambah kapasitas *link* dan meningkatkan layanan data.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustina, N. (2018). Evaluasi Penggunaan Sistem Informasi ERP Dengan Metode Pieces Framework. *Jurnal Informatika*, 278-286.
- Asbar, Y., & Saptari, M. A. (2017). Analisa Dalam Mengukur Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Konsumen Menggunakan Metode PIECES. *Jurnal Visioner & Strategis*, 6, 39-47.
- Cisco Systems, Inc. (2019). *Cisco Nexus 5000 Series NX-OS Software Configuration Guide*. Retrieved from [www.cisco.com: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus5000/sw/configuration/guide/cli/CLIConfigurationGuide/EtherChannel.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus5000/sw/configuration/guide/cli/CLIConfigurationGuide/EtherChannel.html)
- Ericsson. (2022). *Mobile data traffic outlook*. Retrieved September 11, 2022, from <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast>
- ETSI TS 143.064. (2020). Overall Description of the GPRS Radio Interface; Stage 2. *3GPP, Technical Specification 43.064 version 15.3.0 Release 15*.
- Hariyanti, dkk. (2019). Implementasi Jaringan LAN Dalam Upaya Peningkatan Pelayanan Di Kantor Desa Pikat Kecamatan Dawan Kabupaten Klungkung. *Prosiding SENADIMAS Ke-4*. Bali.
- ITU-R M.2083-0. (2015). IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. Geneva
- Juniper Networks, Inc. (2013). *Understanding IEEE 802.3ad Link Aggregation*. (Juniper Networks) Retrieved September 13, 2022, from www.juniper.net:

- https://www.juniper.net/documentation/en_US/junose14.2/topics/concept/802.3ad-link-aggregation-understanding.html
- Juniper Networks, Inc. (2014, 08 14). *Configuring 802.3ad Link Aggregation*. Retrieved from www.juniper.net:
- https://www.juniper.net/documentation/en_US/junose15.1/topics/task/configuration/802.3ad-link-aggregation-configuring.html#jd0e49
- Juniper Networks, Inc. (2013). Understanding IEEE 802.3ad Link Aggregation. Retrieved from https://www.juniper.net/documentation/en_US/junose14.2/topics/concept/802.3ad-link-aggregation-understanding.html
- Key Internet Statistics to Know in 2022. (2022). Retrieved September 12, 2022, from <https://www.broadbandsearch.net/blog/internet-statistics>
- Kusuma, R. A., & Surjati, I. (2017). Analisis Implementasi Metode Rewiring Berbasis Modifikasi Topologi Untuk Pemecahan Masalah Kepadatan Trafik Jaringan. *Jurnal Elektro*, 10(30), 29-44.
- Law, dkk. (2013). Evolution of Ethernet Standards in the IEEE 802.3 Working Group. *IEEE Communications Magazine*, 88-89.
- Muhammad, R., dkk. (2021). Implementasi dan Analisis Performa Bonding Interface Mode 802.3ad sebagai Link Redundancy pada Router Mikrotik. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2108.02935>: <https://>
- Pangri, dkk. (2021). Metode PIECES Framework Pada Tingkat Kepuasan Pengguna Sistem Informasi Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Sorong. *Bina Insani ICT Journal*, 8, 63-72.
- Prayogi, dkk. (2021). Penerapan Metode PIECES Framework Dalam Analisis dan Evaluasi Aplikasi M-BCA. *Jurnal Infortech*, 3, 7-12.
- Susanto, dkk. (2016). *Buku Putih Komunikasi Dan Informatika 2016*. Jakarta: Kementerian Komunikasi dan Informatika.
- Tullah, R., & Hanafri, M. I. (2014). Evaluasi Penerapan Sistem Informasi Pada Politeknik LP3I Jakarta Dengan Metode Pieces. *Jurnal Sisfotek Global*, 22-28.
doi.org/10.48550/arXiv.2108.02935