

Prototipe Jaringan Akses Internet Dengan Menggabungkan Dua *Link* Radio *Microwave* Menggunakan Metode *Load Balancing*

Sutrisno[#], Vitrasia, Hanny Madiawati

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

[#]sutrisno@polban.ac.id

Abstrak

Masyarakat yang tinggal di pedesaan masih sering menghadapi persoalan atau kendala dalam mengakses informasi melalui internet. Persoalan yang umum mereka hadapi adalah konektivitas penyedia layanan *Internet Service Provider* (ISP) yang buruk, misalnya jaringan putus dan lambat. Tujuan penelitian ini adalah membangun sebuah prototipe jaringan akses internet untuk masyarakat yang tinggal di daerah pedesaan menggunakan dua buah *link* radio *microwave* berbasis teknologi *Ethernet over Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH) sebagai *backhaul* yang terhubung dengan ISP. Metode yang digunakan untuk mengintegrasikan kedua radio *link* tersebut adalah menggunakan metode *load balancing* dimana merupakan sebuah fitur yang terdapat pada *router* mikrotik yang berfungsi menggabungkan trafik internet dari kedua ISP secara bersamaan dan disalurkan ke jaringan lokal yang disediakan untuk akses internet masyarakat. Selain dari pada itu, *router load balancing* juga berfungsi sebagai sistem proteksi dimana bila salah satu trafik putus yang mungkin disebabkan oleh salah satu link radio yang *outage* (mati) atau layanan dari ISP yang mati diharapkan trafik masih ada sehingga pengguna masih tetap mendapatkan layanan internet. Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran dengan kecepatan data trafik 1,3 Mbps, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil dalam membangun sebuah prototipe jaringan akses internet yang handal dan stabil bagi masyarakat dalam memperoleh informasi.

Kata kunci: *load balance, protection system, Ethernet over Plesiochronous Digital Hierarchy, router*

Abstract

People who live in rural areas still often face problems or obstacles in accessing information via the internet. The common problem they face is poor Internet Service Provider (ISP) service provider connectivity, such as network drops and slowness. The purpose of this study is to build a prototype internet access network for people living in rural areas using two microwave radio links based on Ethernet over Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) technology as a backhaul connected to an ISP. The method used to integrate the two radio links is to use the load balancing method which is a feature found on the Mikrotik router that functions to combine internet traffic from both ISPs simultaneously and channel it to a local network provided for public internet access. Apart from that, the load balancing router also functions as a protection system where if one of the traffic drops which may be caused by an outage (dead) radio link or a service from an ISP that dies, it is hoped that the traffic will still be there so that users can still get internet service. Based on the results of testing and measurements with a traffic data rate of 1.3 Mbps, it can be concluded that this research was successful in building a prototype of a reliable and stable internet access network for the public to obtain information.

Keywords: *load balance, protection system, Ethernet over Plesiochronous Digital Hierarchy, router*

I. PENDAHULUAN

Laporan Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) mencatat jumlah pengguna internet saat ini diperkirakan ada sebesar 196,7 juta pengguna. Sebanyak 73% masyarakat Indonesia

telah terhubung ke internet, namun ada sekitar kurang lebih 12.500 desa yang saat ini belum punya koneksi internet. Perkembangan infrastruktur telekomunikasi dan informasi di daerah-daerah *remote* sebagai bagian dari program *Universal Service Obligation* (USO) telah memungkinkan

penduduk di daerah *remote* tersebut mempunyai kesempatan yang sama dalam berpartisipasi dalam komunikasi global [1].

Internet sudah menjadi keperluan sehari-hari bagi masyarakat dimana konten berbasis audio-visual memberikan dampak positif yang kuat dalam membangun pengetahuan umum masyarakat secara umum [2]. Salah satu operator telekomunikasi terbesar di Indonesia mencatat kenaikan 16% pemakaian layanan *broadband* selama krisis Covid-19 yang disebabkan oleh kenaikan yang sangat tajam dalam penggunaan *platform* pembelajaran jarak jauh [3], [4].

Untuk membangun infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) pedesaan, diperlukan konektivitas dengan *Internet Service Provider* (ISP) yang pada umumnya terletak jauh dari pedesaan tersebut. Salah satu alternatif cara yang dapat ditawarkan ialah dengan membangun *link backhaul* yang menghubungkan antara infrastruktur TIK dengan beberapa ISP. *Link backhaul* yang dapat diajukan untuk membangun konektivitas ialah dengan menggunakan perangkat radio *microwave* digital berbasis teknologi *Ethernet over Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH) dimana *link* radio tersebut harus memenuhi syarat kondisi *line of sight* (LOS), artinya propagasi berkas gelombang radio tidak mengalami *obstruction* (rintangan) seperti pegunungan, perbukitan, sungai, hutan, dan lain-lain.

Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan referensi pada penelitian ini telah banyak dilakukan. Penelitian [5] mengusulkan metode *load balancing* yang dapat bermanfaat untuk analisis secara intensif data paralel dengan berbagai macam strategi aksesnya. Ketika menjalankan aplikasi paralel ganda pada sistem *file* yang terdistribusi, permintaan data dari beberapa proses yang berbeda akan dilayani dengan gaya yang tidak seimbang pada *server* penyimpanan *file* yang terdistribusi tersebut. Penelitian [6] menjelaskan tentang penggunaan jembatan yang sering digunakan dalam jaringan *Ethernet*, tetapi protokol *spanning tree* memblok semua *link* redundan untuk mencegah terjadinya *looping*. Oleh karena itu protokol tersebut tidak dapat mengambil keuntungan dari topologi lintasan ganda (*multipath*) untuk menyeimbangkan beban trafik. Kemudian pada kajian [7] membahas tentang pemakaian teknik *load balancing* dalam suatu jaringan pusat data (*Data Center Network*, DCN) dimana berisi server yang diorganisir oleh sejumlah *switch* untuk menyalurkan data yang sangat *massive* dalam layanan *cloud service*. Penerapan *load balance model* untuk semua jenis jaringan juga telah diteliti [8]. Dalam jurnalnya, model yang diusulkan ialah *comprehensive load-*

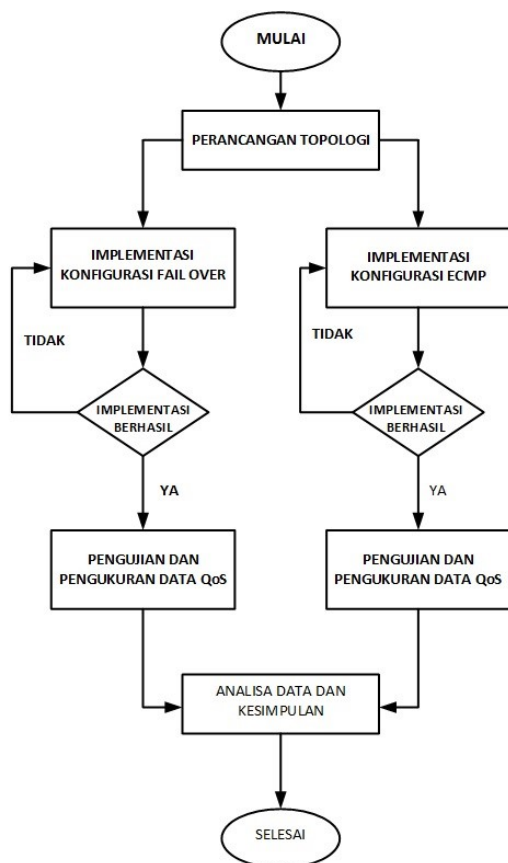
balancing model. Model yang diusulkan ini didasarkan pada pembagian diantara lintasan-lintasan secara teratur dan komunikasi antara perangkat yang akan dikontrol secara konsekuen. Selanjutnya, peneliti [9] menjelaskan hasil studi tentang masalah *load balance* dalam menyetel sistem penyimpanan *deduplication* yang handal. Penelitian [10] menjelaskan bahwa *Ethernet* merupakan pilihan teknologi yang tidak terbantahkan untuk *Local Area Network* (LAN) selama lebih dari 30 tahun. Kepopuleran ini dikarenakan fitur kemudahan, *plug and play*, dan murah. Selain itu, juga dibahas mengenai perpindahan dari *basic Ethernet* (LAN) ke *carrier grade Ethernet* untuk *Metropolitan Area Networks* (MAN). Terakhir, penelitian [11] menjelaskan tentang desain topologi jaringan MAN. Kendala utamanya adalah masalah optimasi diperlukan mempertimbangkan beberapa kriteria dengan satuan yang berbeda. Dalam paper ini dibahas tiga kriteria utama, yaitu *load balancing* pada *link*, *load balancing* pada *switch*, dan pemilihan lintasan terpendek [11].

Berdasarkan kajian jurnal-jurnal terdahulu di atas dapat disimpulkan bahwa metode *load balance* banyak digunakan dalam jaringan komputer. Dalam penelitian ini metode *load balance* digunakan untuk mengintegrasikan dua *microwave link* radio. Tujuan penelitian ini adalah membangun sebuah prototipe jaringan akses internet untuk masyarakat pedesaan melalui dua buah jalur *link* radio *microwave* berbasis teknologi PDH sebagai *backbone*. Integrasi kedua *link* radio *microwave* yang membawa layanan internet dari ISP menggunakan metode *Equal Cost Multiple Path* (ECMP) *load balancing*. Manfaat dari hasil penelitian ini adalah tersedianya akses masyarakat ke internet untuk memperoleh informasi dalam rangka meningkatkan taraf hidup masyarakat di berbagai sektor kehidupan.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Proses Penelitian

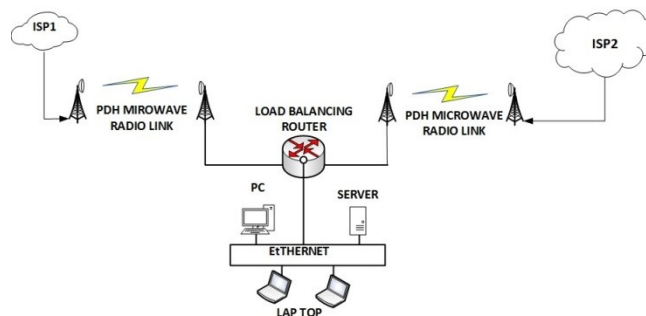
Penelitian dilaksanakan secara bertahap dimana proses tahapan penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sebagaimana telah diuraikan pada perumusan masalah, dalam penelitian ini adalah bagaimana membangun sebuah prototipe jaringan akses internet dengan menggabungkan dua buah *link* radio *microwave* yang masing-masing terhubung ke dua ISP yang berbeda dan secara demografi terletak pada lokasi yang berbeda. Kedua *link* radio tersebut akan digabungkan oleh *router* yang memiliki fitur *load balancing* secara bersamaan. *Load balancing* adalah fitur yang



Gambar 1. Diagram alir penelitian

terdapat pada *router* mikrotik yang berlaku sebagai penyeimbang beban di sisi pengguna. Demikian pula apabila salah satu *link* radio mengalami gangguan atau putus sehingga ISP tidak memberikan layanan internet, maka *router* akan mengalihkan trafik ke *link* yang masih aktif, atau sering disebut sebagai *fail over*.

Gambar 1 adalah diagram alir penelitian yang menunjukkan bagaimana proses penelitian dilaksanakan yang meliputi perancangan, implementasi, dan pengujian. Sebagai langkah awal penelitian adalah melakukan survei lapangan mencari lokasi desa yang terisolasi dan belum memiliki infrastruktur jaringan TIK. Dalam penelitian ini lokasi yang dipilih ialah sebuah desa yang namanya Desa Pagerwangi yang terletak di daerah Lembang Kabupaten Bandung Barat. Desa Pagerwangi ini adalah desa yang direncanakan menjadi target untuk memperoleh layanan internet dari operator ISP dan memiliki medan (*terrain*) yang cocok untuk membangun sebuah *link* radio *microwave* yang berfungsi sebagai pembawa sinyal Internet dari ISP. Sebagai tahap pertama dalam proses penelitian adalah merancang topologi jaringan yang terdiri dari dua buah *link* radio *microwave* berbasis teknologi Ethernet PDH, *router*, dan jaringan LAN atau WLAN seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Topologi jaringan

Langkah kedua adalah mengkonfigurasi dan mengimplementasi *router* untuk fitur (*Equal Cost Multiple Path ECMP*) dan *fail over* sekaligus secara bersamaan. Router ini menggabungkan kedua *link* radio dan *microwave* yang terhubung ke ISP. Apabila konfigurasi fitur ECMP dan *fail over* telah diimplementasikan, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian dan pengukuran data dan kualitas layanan terhadap fungsi fitur ECMP dan *fail over* tersebut. Sebagai langkah terakhir, bila mana pengujian dan pengukuran berhasil adalah membangun jaringan LAN atau WLAN.

Lokasi ISP1 yang dipilih yaitu berlokasi di Kampus Politeknik Negeri Bandung (Polban), sedangkan ISP2 berlokasi di Gedung Perkantoran Tulip Cimahi. Kedua ISP ini mengirimkan layanan sinyal internet ke masyarakat pengguna melalui *link* radio *microwave* ke Desa Pagerwangi. Lokasi ini dipilih sebagai desa yang menjadi target menerima layanan Internet dari ISP1 dan ISP2. Kedua *link* radio tersebut kemudian diintegrasikan dengan sebuah *router* menggunakan metode ECMP *load balance*. *Router* tersebut berfungsi selain menggabungkan kedua *link* radio tersebut juga mendistribusikan layanan internet ke pengguna (*load*). Selain itu juga mengalihkan jalur trafik dari ISP yang putus (*disconnect*) atau mati ke jalur trafik ISP yang masih beroperasi normal. Fungsi ini disebut sebagai *fail over*. Masyarakat yang tinggal di wilayah terpencil yang ditargetkan memperoleh layanan Internet kemudian dapat mengaksesnya melalui jaringan akses terakhir (*last mile*) yang dapat berupa jaringan LAN atau WLAN.

B. Spesifikasi Perancangan Link Radio

Dalam merancang *link* radio *microwave*, perlu menentukan spesifikasi perancangannya yang mengacu kepada buku referensi [13] agar *link* radio dapat bekerja dengan performansi yang optimal. Tabel 1 adalah spesifikasi perancangan *link* radio *microwave* yang akan dibangun.

Tabel 1. Spesifikasi perancangan *link* radio

Persyaratan minimum	Nilai
LOS dengan bebas obstraksi	F1 = 60%
<i>Fade margin</i>	≥40dB (Ref. 24 CCITT)
RSL (<i>Received Signal Level</i>)	-44 dBm up to -55 dBm
<i>Link quality</i>	BER <10 ⁻⁹
<i>Annual availability</i>	99,995%

C. Perancangan Link Radio

Tahapan yang dilakukan dalam perancangan *link* radio adalah sebagai berikut:

- 1) *Data koordinat dan ketinggian di site Polban:*
 - a. Lintang selatan: 6° 52' 11,3" S
 - b. Bujur timur: 107° 34' 22,0" E
 - c. Ketinggian (*altitude*): 835,5 mdpl
- 2) *Data koordinat dan ketinggian di site Pagerwangi:*
 - a. Lintang selatan: 6° 49' 48,6" S
 - b. Bujur timur: 107° 37' 50,5" E
 - c. Ketinggian (*altitude*): 1268,8 mdpl
- 3) *Data koordinat dan ketinggian di site Gd. Tulip:*
 - a. Lintang selatan: 6° 53' 52,5" S
 - b. Bujur timur: 107° 32' 48,1" E
 - c. ketinggian (*altitude*): 1065,8 mdpl
- 4) *Spesifikasi umum radio microwave digital Alcatel 9413:*
 - a. *Data rate:* 2 x 8 Mbps (240 channel), *standard* E1 (2048 Kbps), CCITT PCM30, G703.
 - b. *Receiver min threshold level:* -89 dBm @ BER 1x10⁻³, *data rate* 8Mbps.
 - c. *Modulation type:* 4QAM
 - d. *Antena type: integrated antennas, gain antenna:* 35 dBi
 - e. *RF power:* + 24 dBm
- 5) *Perhitungan budget link Polban - Pagerwangi*
 - a. *Free Space Loss (FSL)*

$$FSL = 32,45 + 20 \log d + 20 \log f \quad (1)$$

untuk jarak $d = 7,76$ km dan $f = 13000$ MHz, maka diperoleh $FSL = 132,55$ dB

- b. *Received Signal Level (RSL)*

$$RSL = PTX + (GTX + GRX) - (LTX + LRX) - FSL \quad (2)$$

Diperoleh:

$$RSL = 24 + (35 + 35) - (0 + 0) - 132,55 = -38,55 \text{ dBm}$$

- c. *Fade Margin (FM)*

$$FM = RSL - Cmin \quad (3)$$

Diperoleh FM = 51,05 dB

- 6) *Perhitungan budget link Gd.Tulip – Pagerwangi*

- a. *Free Space Loss (FSL)*

Menggunakan persamaan (1) untuk $d = 11,96$ km dan $f = 13000$ MHz maka $FSL = 136,3$ dB

- b. *Received Signal Level (RSL)*

Menggunakan persamaan (2) diperoleh $RSL = 42,3$ dBm

- c. *Fade Margin (FM)*

Menggunakan persamaan (3) diperoleh FM = 46,7dB

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Link Radio

Simulasi *link* radio dilakukan menggunakan aplikasi *software* radio Mobile Deluxe. Berdasarkan hasil simulasi *link* radio Polban-Pagerwangi, diperoleh panjang lintasan 7,76 km, *path loss* 138 dB, level daya yang diterima -46,2 dBm, dan FM (*Rx relative*) 42,8 dB. Untuk hasil simulasi *link* radio Gd. Tulip-Pagerwangi, diperoleh panjang lintasan 11,96 km, *path loss* 141 dB, level daya yang diterima -49,6 dBm, dan FM (*Rx relative*) 39,4 dB. Dengan hasil parameter utama tersebut dapat disimpulkan bahwa *link* antara Polban-Pagerwangi dan Gd. Tulip-Pagerwangi secara teknis layak (*feasible*) untuk diimplementasikan.

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan *link* radio. FM diperoleh rata-rata 40dB dan level sinyal yang diterima adalah rata-rata -47 dBm seperti yang dipersyaratkan pada Tabel 1. FM 40 dB adalah FM maksimal menurut A. J. GIGER dan W. T. BARNETT (Ref. 24 CCITT) karena berdasarkan eksperimen yang dilaksanakan oleh kedua orang tersebut dinyatakan bahwa *fading* terburuk pada *link* radio *microwave* adalah 40dB. Level sinyal optimal yang diterima biasanya dikisaran -44 hingga -55 dBm [12], [13].

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 hasil perancangan lebih baik dari pada hasil simulai karena pada perancangan tidak melibatkan perhitungan faktor medan yang dilalui berkas gelombang radio karena sudah diperhitungkan oleh *digital elevation model* pada aplikasi *software* simulasi Radio Mobile Deluxe. Dengan hasil parameter utama tersebut dapat disimpulkan bahwa *link* antara Polban-Pagerwangi dan Gd. Tulip-Pagerwangi secara teknis sudah layak untuk diimplementasi.

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi dan perancangan *link* radio Polban-Pagerwangi

No	Parameter	Simulasi	Perancangan (Perhitungan)
1	<i>Path Loss</i>	138 dB	132,55 dB
2	<i>Received Signal Level, RSL</i>	-46,2 dBm	-38,55 dBm
3	<i>Fade Margin, FM</i>	39,4 dB	51,05 dB

Tabel 3. Perbandingan hasil simulasi dan perancangan *link* radio Gd. Tulip-Pagerwangi

No	Parameter	Simulasi	Perancangan (Perhitungan)
1	<i>Path Loss</i>	141 dB	136,3 dB
2	<i>Received Signal Level, RSL</i>	-49,6 dBm	-42,3 dBm
3	<i>Fade Margin, FM</i>	39,4 dB	51,05 dB

B. Hasil Perancangan Link Radio

Hasil dari perancangan link radio Polban-Pagerwangi dan Gd. Tulip-Pagerwangi bahwa semua sistem parameter dari *budget link* yang dihitung, seperti FSL RSL FM, menunjukkan hasil yang masih standar. Khusus untuk perhitungan *performance objective* yaitu kualitas dan *availabilitas* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Kualitas

Kualitas sebuah link radio dinyatakan dalam laju kesalahan atau *Bit Error Rate* (BER), dimana batas mati *link* radio adalah ketika $BER \geq 1 \times 10^{-3}$. BER dihitung berdasarkan persamaan [13].

$$\text{Error rate, } \tau = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{C}{N_0 \times D}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E}{N_0}} \quad (4)$$

dimana *error rate* akan tergantung pada *Carrier to Noise Ratio* (C/N) dB seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5).

$$10 \log\left(\frac{C}{N_0 \times D}\right) \quad (5)$$

Dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) maka kualitas *link* radio Polban-Pagerwangi dapat dihitung sebagai berikut:

Untuk level daya terima, C atau RSL = -38,55 dBm, *data rate* D = 4 Mbps = $10 \log 4 \times 10^6 = 66$ dB, dan tipikal *noise figure* F = 7 dB, maka *power noise density* $N_0 = -167$ dBm. Dengan memasukan harga-harga C, N_0 , dan D ke dalam persamaan (4) dan (5) maka diperoleh perbandingan C/N = 62,3 dB yang mana nilai ini lebih besar dari 15 dB maka dapat dianggap bahwa tidak ada *error* atau BER, T = 0 [12]. Sedangkan untuk *link* radio Gd. Tulip-Pagerwangi seperti perhitungan sebelumnya, telah diketahui bahwa level daya terima C atau RSL = -

42,3 dBm. Dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) diperoleh C/N = 58,7 dB maka *link* radio ini pun tidak ada *error* atau BER, T = 0.

2) Availabilitas

Sistem *unavailabilitas* (1-p) biasanya juga disebut sebagai *system outage* didefinisikan sebagai persentase dari total waktu layanan dalam periode tertentu dan pada panjang *link* tertentu pada saat kejadian dimana sistem BER jatuh dibawah harga objektif kualitas minimumnya ($BER > 1 \times 10^{-3}$) yang disebabkan oleh kegagalan *hardware* atau propagasi [12]. Sistem *availabilitas* (p) dapat dihitung mengacu kepada persamaan *availabilitas* Barnett-Vigant sebagai berikut:

$$Df = 30 \log d \text{ (km)} + 10 \log (6 A B f) - 10 \log (1 - p) - 70 \text{ (dB)} \quad (6)$$

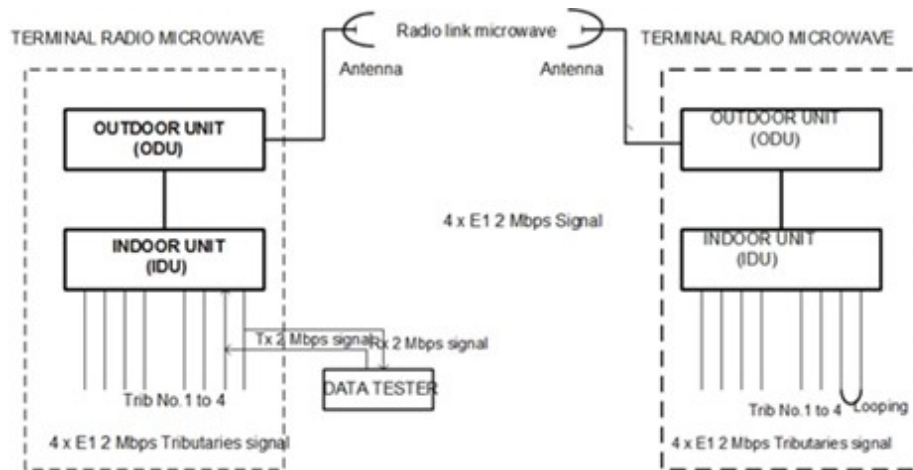
maka *annual availabilitas* $p = 1 - 10^{-4} = 0,9999 \times 100\% = 99,99\%$. Hasil perhitungan ini telah sesuai dengan spesifikasi *link* yang sudah ditetapkan sebelumnya pada Tabel 1.

E. Hasil Pengujian Link Radio**1) Bit Error Rate (BER) dan Error Performance**

Pengujian BER dan *error performance* dari *link* radio Polban-Pagerwangi dan *link* radio Gd. Tulip-Pagerwangi dilakukan berdasarkan *set-up* diagram pengukuran yang ditunjukan pada Gambar 3. Hasil pengujian dari kedua *link* tersebut hampir sama karena jaraknya tidak terpaut jauh maka hasil pengujiannya diwakili oleh *link* Polban-Pagerwangi saja seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Berdasarkan rekomendasi ITU-R F557 tentang *availability objective* untuk *radio relay hypothetical referene digital path* menunjukkan bahwa hasil pengukuran BER untuk setiap tributari yang diukur seperti ditunjukkan pada Tabel 4 telah memenuhi rekomendasi ITU tersebut. Sementara itu untuk hasil pengukuran *error performance* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 menunjukkan hasil yang baik mengacu kepada rekomendasi ITU-T G.821 yang direvisi oleh *study group* 13 (2001-2004) dan disetujui oleh *WTSA Resolution 1 procedure on 14 December 2002*.

2) End to End Performance

Dalam pengukuran *End to End Ethernet over PDH* ini, parameter yang diukur adalah *throughput* sinyal Ethernet luaran dari perangkat *E1 to Ethernet converter* dari masing-masing link-1 dan link-2 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. *Throughput* ini merupakan hasil konversi dari sinyal PDH *tributary* ke sinyal Ethernet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik hasil pengukuran *throughput* ditunjukkan seperti pada Gambar 5 dan Gambar 6.



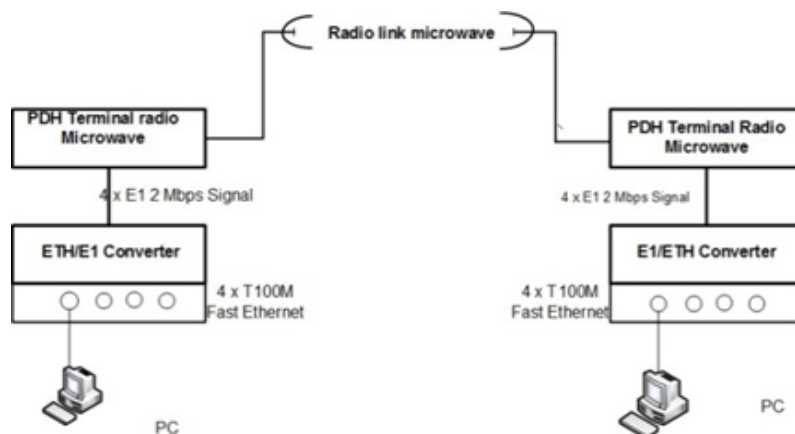
Gambar 3. Set-up pengujian link radio

Tabel 4. Hasil pengukuran BER sinyal tributary

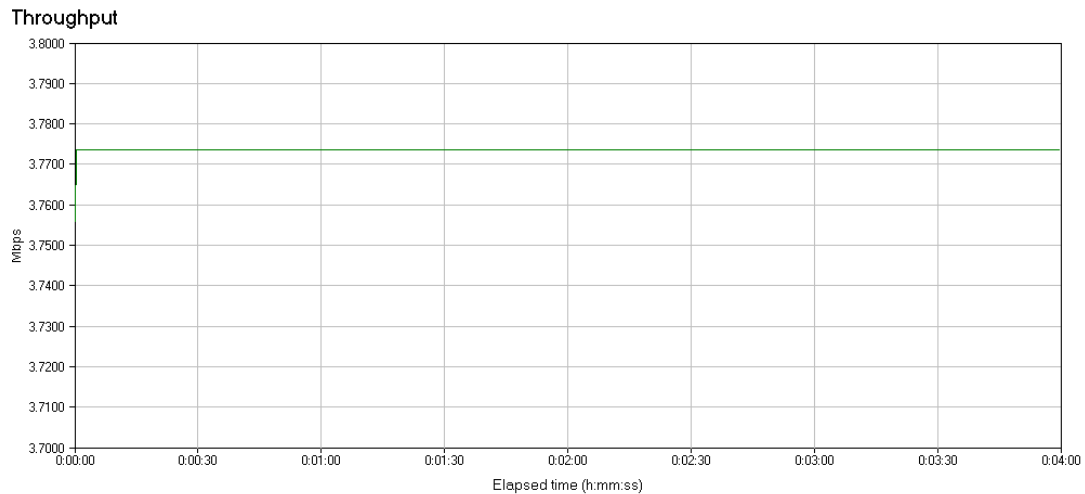
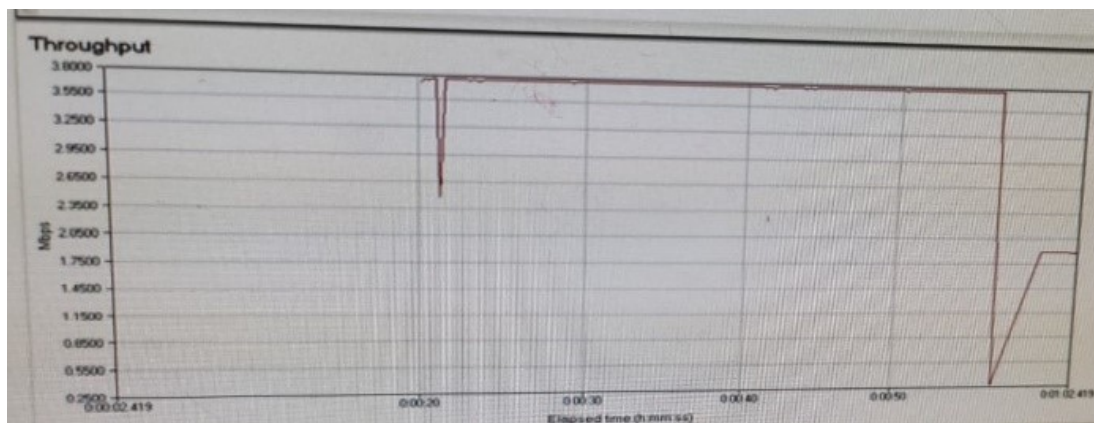
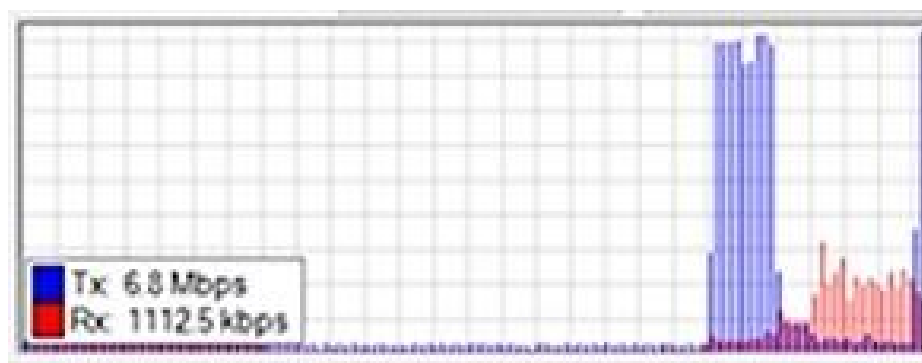
Nomor Tributary	Line Rate	Code Error Rate	Bit Rate	Bit Error Ratio	Code Error	Total Bit	Bit Error
1	2047969	0,00E+00	63999	0,00E+00	0	3,840E+7	0
2	2047977	0,00E+00	63999	0,00E+00	0	3,827E+7	0
3	2047988	0,00E+00	63999	0,00E+00	0	3,840E+7	0
4	2047728	0,00E+00	63991	0,00E+00	0	3,839E+7	0

Tabel 5. Hasil pengukuran error performance sinyal tributary

Nomor Tributary	ITU G.821				
	Error Free Secs (sec/%)	Error secs (sec/%)	Sev Error secs (sec/%)	Available Time (sec/%)	Unavailable Time (sec/%)
1	60/100	0/0 (pass)	0/0 (pass)	60/100	0/0
2	60/100	0/0 (pass)	0/0 (pass)	60/100	0/0
3	60/100	0/0 (pass)	0/0 (pass)	60/100	0/0
4	60/100	0/0 (pass)	0/0 (pass)	60/100	0/0



Gambar 4. Set-up diagram pengukuran end to end performance

Gambar 5. Grafik *throughput* sinyal Ethernet *link 1*Gambar 6. Grafik *throughput* sinyal Ethernet *link 2*Gambar 7. Total *throughput* pada output load balancing router

Hasil pengukuran *throughput* sinyal Ethernet dari *link 1* dengan kapasitas transmisi 2 x 2 Mbps rata-rata adalah 3,700 Mbps dan hasil pengukuran *throughput* dari *link 2* adalah 3,800 Mbps. Harga-harga tersebut lebih kecil dari data rate 2 x 2 Mbps sinyal *tributary* 4 Mbps. Hal ini disebabkan sebagian *byte* pada format sinyal digital *tributary* digunakan untuk *framing* sinyal Ethernet seperti *header* dan lain-lain.

3) *Quality of Service (QoS)*

QoS atau kualitas layanan adalah metode pengukuran yang digunakan untuk menentukan kemampuan sebuah jaringan seperti aplikasi jaringan, *host*, atau *router* dengan tujuan memberikan *network service* yang lebih baik dan terencana sehingga dapat memenuhi kebutuhan suatu layanan. Pengukuran QoS ini menggunakan aplikasi *Speed Test* dari Indihome melalui akses

WiFi *router* yang terhubung dengan saluran internet yang diperoleh dari output *load balancing router* yang terhubung ke kedua Ethernet over PDH based *microwave radio link*. Pada dasarnya pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran kecepatan dan *responsiveness*. Untuk hasil pengukuran kecepatan diperoleh hasil kecepatan *download* 8,77 Mbps dan kecepatan *upload* adalah 15,6 Mbps. Sedangkan hasil pengukuran *responsiveness* diperoleh hasil *ping idle* 29 ms, *ping download* 838 ms, *ping upload* 542 ms, *jitter idle* 8 ms, *jitter download* 94 ms, dan *jitter upload* 85 ms.

Pengukuran *total throughput* pada output *load balancing router* diperoleh *throughput* sebesar 6,800 Mbps. Hasil ini merupakan gabungan *throughput* yang dihasilkan dari dua buah *link radio* dengan *throughput* masing-masing *link radio* 1 3,900 Mbps dan *link radio* 2 3,800 Mbps yang kemudian diintegrasikan melalui *load balancing router* dan menghasilkan *throughput* total seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

IV. KESIMPULAN

Infrastruktur TIK menggunakan *microwave link radio* berbasis PDH telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan hasil pengukuran BER = 0. Pengintegrasian kedua *link radio microwave* ini pun telah berhasil diimplementasikan dengan menggunakan metode ECMP *load balance*. *Throughput* sinyal Ethernet yang diperoleh pada pengukuran kedua *microwave link radio* berbasis PDH lebih kecil dari *bit rate* sinyal *tributary* yang telah ditentukan karena sebagian *byte* sinyal PDH digunakan untuk proses konversi ke sinyal Ethernet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *load balancing* dengan metode ECMP dapat menggabungkan *throughput* dari kedua *link radio microwave* ini. Penjumlahan *throughput* dari kedua *link* ini yang diperoleh pada output *load balancing router* adalah 6,8 Mbps. Sinyal Ethernet ini kemudian didistribusikan ke *user* melalui jaringan WLAN untuk akses internet. Saran pengembangan ke depan ialah dengan mencoba menggunakan *link radio microwave* berbasis teknologi internet protocol (IP). Dengan menggunakan IP-based *microwave radio*, kita tidak perlu ada konversi sinyal digital ke Ethernet lagi sebagaimana jika menggunakan teknologi Ethernet over PDH. Kemudian hasil penelitian dengan teknologi yang berbasis teknologi Ethernet over PDH ini dapat dibandingkan dengan penelitian ke depan ditinjau dari aspek kehandalan, QoS, dan biaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah mendanai penelitian ini berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Terapan Nomor B/79.8/PL1.R7/PG.00.03/2021 tanggal 1 April 2021.

REFERENSI

- [1] N. Dlodlo and J. Kalezhi, "The internet of things in agriculture for sustainable rural development," *2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)*, 2015, pp. 13-18.
- [2] R. A. E. Virgana, "Membangun Awareness Kesenjangan Telekomunikasi Pedesaan di Jawa Barat Dengan GIS Analysis for ICT Blank Spot Area menuju Jabar Cyber Province", *Prosiding - Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2018, pp. 10-17.
- [3] D. Jamaluddin, T. Ratnasih, H. Gunawan, and E. Paujiah, "Pembelajaran Daring Masa Pandemi Covid-19 Pada Calon Guru : Hambatan, Solusi dan Proyeksi," *Karya Tulis Ilmiah UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 2020.
- [4] Purwanto, R. Pramono, M. Asbari, P. B. Santoso, L. Mayesti, Wijayanti, and R. S. Putri, "Studi Eksploratif Dampak Pandemi COVID-19 Terhadap Proses Pembelajaran Online di Sekolah Dasar," *EduPsyCouns: Journal of Education, Psychology and Counseling*, vol. 2, no.1, pp. 1-12, 2020.
- [5] D. Huang, D. Han, J. Wang, J. Yin, X. Chen, X. Zhang, J. Zhou, and M. Ye, "Achieving Load Balance for Parallel Data Access on Distributed File Systems," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 67, no. 3, pp. 388-402, 2018.
- [6] A. Horcajo, D. Lopez-Pajares, J. M. Arco, J. A. Carral, and I. Martinez-Yelmo, "TCP-Path: Improving Load Balance by Network Exploration," *In 2017 IEEE 6th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, Prague, Czech Republic, 2017, pp. 1-6.
- [7] G. Mirjalily, F. Akhavan Sigari, and R. Saadat, "Best Multiple Spanning Tree in Metro Ethernet Networks." *In 2009 Second International Conference on Computer and Electrical Engineering*, Dubai, UAE: IEEE, 2009, pp. 117-121.
- [8] Y. T Hussein and A. Hashim, "Enhancement Load Balance (ELB) Model for Port Ether-Channel Technology," *Qalaai Zanist Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 213-226, 2017.
- [9] M. Xu, Y. Zhu, P. C. Lee, and Y. Xu, "Even Data Placement for Load Balance in Reliable Distributed Deduplication Storage Systems," *In 2015 IEEE 23rd International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, Portland, OR, USA, 2015, pp. 349-358.

- [10] A. Sousa and G. Soares, "Improving Load Balance and Minimizing Service Disruption on Ethernet Networks with IEEE 802.1 S MSTP," *In Workshop on IP QoS and Traffic Control*, 2007, pp. 25–35.
- [11] M. Huynh and P. Mohapatra, "Metropolitan Ethernet Network: A Move from LAN to MAN," *Computer Networks*, vol. 51, no. 17, pp. 4867–4894. 2007.
- [12] Ph. Magne, *Digital Link radio*, Thomson-CSF, 1982.
- [13] T. Manning, *Microwave Radio Transmission Design Guide*, Artech House, Boston London, 2009.

