



## ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI OPTIK DALAM HUBUNGAN ANTAR BSC KE BTS UNTUK TELEKOMUNIKASI GENERASI KE-5 (5G)

Lulu Robiatul Adawiah<sup>1</sup>, Bambang Sugiarto<sup>2</sup>, Tri Arif Wiharso<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Universitas Garut, Garut, Jawa Barat, 44151, Indonesia

Korespondensi: <sup>1</sup>lulurobiatuladawiah12@gmail.com

### ARTICLE HISTORY

Received:05-06-2023

Revised:23-06-2023

Accepted:26-06-2023

#### Abstrak

Perkembangan teknologi dibidang telekomunikasi telah berkembang pesat diiringi oleh kebutuhan pengguna yang terus meningkat. Teknologi generasi kelima (5G) merupakan teknologi jaringan nirkabel yang menawarkan akses dengan *data rate* yang sangat tinggi dan *bandwidth* yang lebih besar. Untuk mendukung spesifikasi diatas tidak dapat terlepas dari sistem *Backbone* serat optik. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai redaman, mempertahankan nilai daya terima, *Bit Error Rate* dan *rise time budget* yang dibutuhkan sesuai dengan sistem telekomunikasi 5G. Penelitian ini menggunakan metode *power link budget* dan *rise time budget*. Lokasi yang digunakan untuk penelitian ini sebanyak 3 lokasi berdasarkan trafik penggunaan seluler diantaranya HUT Garut – Samarang, HUT Garut – Malangbong dan HUT Garut – HCPT Leles. Berdasarkan hasil hitungan dan simulasi dalam menentukan nilai daya terima dan *nilai rise time budget* dikatakan layak karena tidak melebihi nilai sensitivitas sebesar -24 dBm dan nilai maksimumnya yaitu 4501.03 ps, sedangkan untuk nilai BER pada lokasi kedua yaitu HUT Garut – Malangbong dikatakan kurang bagus karena tidak lebih rendah dari standar optik yang digunakan yaitu sebesar  $10^{-12}$ .

**Kata kunci:** Telekomunikasi 5G, *Data Rate*, *Bandwidth*, *Backbone Serat Optik*, *Redaman*, *Power Link Budget*, *Rise Time Budget* dan *Bit Error Rate*.

## PERFORMANCE ANALYSIS OF OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS IN THE BSC TO BTS RELATIONSHIP FOR 5TH GENERATION TELECOMMUNICATION (5G)

#### Abstract

The development of technology in the field of telecommunications has grown rapidly accompanied by the needs of users who continue to increase. Fifth generation technology (5G) is a wireless network technology that offers access at very high data rates and greater bandwidth. To support the above specifications can not be separated from the optical fiber backbone system. This study aims to obtain the attenuation value, maintain the acceptability value, *Bit Error Rate*, and the required *rise time budget* in accordance with the 5G telecommunication system. This research uses *power link budget* and *rise time budget* method. The locations used for this study were 3 locations based on cellular

*usage traffic this is HUT Garut – Samarang, HUT Garut – Malangbong and HUT Garut - Leles. The results based on calculations and simulations in determining the acceptability value and the rise time budget value are considered feasible because they do not exceed the sensitivity value is -24 dBm and the maximum value is 4501.03 ps, while the BER value at the second location, namely the Anniversary of Garut – Malangbong, is said to be less good because it does not lower than the standard optical used, which is  $10^{-12}$ .*

**Keywords:** *5G Telecommunications, Data Rate, Bandwidth, Fiber Optic Backbone, Attenuation, Power Link Budget, Rise Time Budget and Bit Error Rate.*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi telah berkembang pesat diiringi oleh kebutuhan pengguna yang terus meningkat di bidang telekomunikasi[1]. Teknologi generasi kelima (5G) merupakan teknologi jaringan nirkabel yang menawarkan akses dengan kecepatan data (*data rate*) yang sangat tinggi dan kapasitas yang lebih besar. Menurut *International Mobile and Communication (IMT) 2020* spesifikasi teknologi 5G diantaranya yaitu kecepatan data *downlink* 20 Gbps, kecepatan data *uplink* 10 Gbps, bandwidth 10x lebih besar dari bandwidth 4G, dan latensinya sebesar 1ms[2].

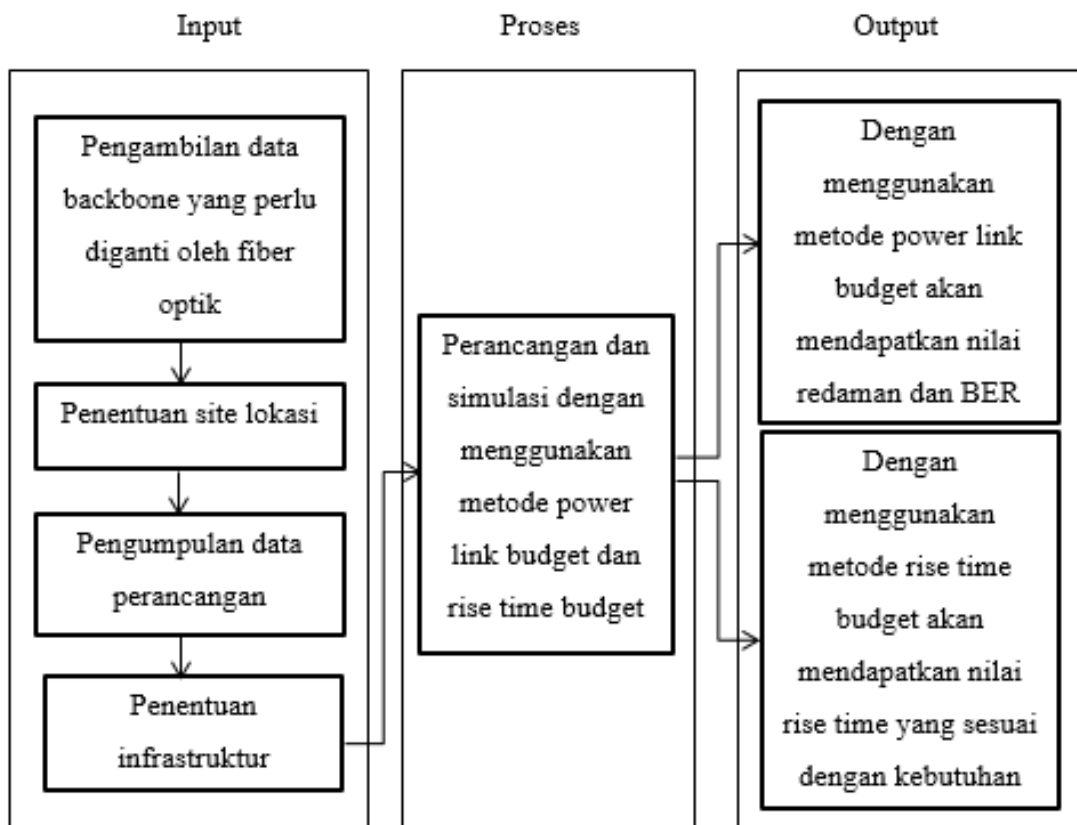
Untuk mendukung spesifikasi telekomunikasi 5G diatas, maka telekomunikasi 5G tidak dapat terlepas dari sistem *Backbone* serat optik untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan telekomunikasi 4G, karena jika masih menggunakan sistem *backbone* transmisi radio spesifikasi telekomunikasi 5G tidak akan terlaksana. Serat optik merupakan media transmisi yang dapat meningkatkan pelayanan sistem komunikasi data, suara dan video seperti peningkatan jumlah kanal yang tersedia dengan menggunakan media cahaya[3]. Kelebihan dari serat optik ini yaitu ketersediaannya *bandwidth* yang besar, kemampuan mengirim data dengan kecepatan tinggi, terjaminnya keamanan data yang dikirim, dan tidak terganggu dengan adanya pengaruh dari gelombang elektromagnetik[4].

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai redaman, mempertahankan nilai daya terima, BER dan *rise time budget* yang dibutuhkan sesuai dengan sistem telekomunikasi 5G. Proses penelitian ini menggunakan salah satu parameter yaitu dengan metode *power link budget* dan *rise time budget*. *Power link budget* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis kebutuhan daya dalam proses mentransmisikan kebutuhan sinyal informasi pada serat optik yang dipengaruhi oleh redaman disepanjang kabel serat optik tersebut. Sedangkan *Rise Time Budget* merupakan metode untuk menentukan batasan *disperse* (pelebaran pulsa) pada saluran transmisi, tujuannya untuk menganalisis kerja sistem secara keseluruhan [5]. Oleh karena itu, untuk menjaga kestabilan *roaming* pada penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai kinerja sistem optik dengan menggunakan metode *link budget* dan *rise time budget* dalam hubungan antar BSC ke BTS untuk telekomunikasi generasi ke-5 (5G). Penelitian tersebut dilakukan oleh Trilochan Patra dan Swarup Kumar M dengan judul “*Link Budget Analysis For 5G Communication In The Tropical Regions*” yang diterbitkan pada tahun 2022 terdapat persamaan sama penelitian ini yaitu menganalisis komunikasi fiber optic untuk

5G dengan menggunakan metode link budget, sedangkan perbedaannya adalah objek yang akan di teliti pada penelitian tersebut objek yang digunakan adalah cuaca [6].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Diagram Blok

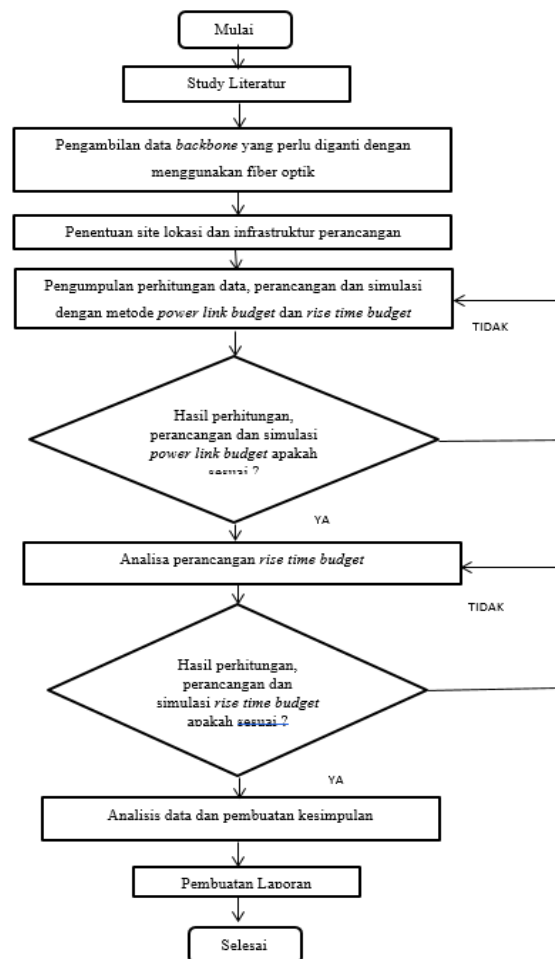


**Gambar 1.** Diagram blok pada penelitian analisis kinerja sistem optik

Terdapat proses kerja penelitian ini mulai dari input hingga mendapatkan output. Berdasarkan diagram blok pada gambar 1, pada bagian input terdapat empat langkah yaitu proses pengambilan data *backbone* yang perlu diganti oleh fiber optik dengan tujuan agar sistem telekomunikasi 5G dapat mengirim dan menerima data dari pelanggan dengan cepat terutama dalam hubungan antara *Base Station Control* (BSC) dan *Base Transceiver Station* (BTS), langkah kedua yaitu penentuan site lokasi penelitian yang diambil dari provider XL dan dibantu dengan aplikasi *Google Earth Pro*, langkah selanjutnya yaitu proses pengumpulan data dan perancangan dengan menggunakan aplikasi *optisystem*, dan langkah yang terakhir pada bagian input ini yaitu proses penentuan infrastruktur. Pada bagian proses yaitu melakukan perhitungan secara manual, perancangan dan simulasi metode *power link budget* dan *rise time budget* untuk sistem telekomunikasi dengan menggunakan bantuan *software optisystem* dan Matlab. Pada bagian output penelitian ini yaitu mendapatkan hasil nilai redaman, *Bit Error Rate* (BER) dan nilai *rise time* yang sesuai dengan kebutuhan. Setelah itu peneliti melakukan analisis dari hasil penelitian dan dapat menarik kesimpulan.

## 2.2. Diagram Alir

Langkah-langkah pengerjaan penelitian ini dapat ditunjukkan pada diagram alir yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian analisis kinerja sistem optik

Terdapat Langkah-langkah pada proses pengerjaan penelitian ini di mulai dari proses pengambilan data dan penentuan site lokasi berdasarkan jam *traffic*, setelah itu melakukan proses perhitungan secara manual dan menggunakan simulasi jika terdapat kesenjangan yang terlalu besar maka akan dilakukan perhitungan ulang dan jika hasilnya sudah sesuai maka akan lanjut ke tahap selanjutnya.

## 2.3. Parameter Fiber Optik

Adapun beberapa parameter-parameter *Fiber Optik* yang digunakan dalam pengukuran performansi suatu jaringan sebagai berikut:

### 2.3.1. Redaman Transmisi Serat Optik

Redaman adalah turunya level tegangan sinyal yang diterima akibat karakteristik media [7]. Redaman merupakan gangguan dalam sistem komunikasi yang mempengaruhi performance dari sistem komunikasi. Menurut rekomendasi ITU-T, kabel serat optik jenis G.654.B harus mempunyai koefisien redaman 0,175 dB/km untuk panjang gelombang 1550 nm.

a. Rugi-rugi Serat Optik :

$$\alpha_f = L \times \alpha \dots\dots\dots(2.1)$$

b. Splicing(Rugi penyambungan)

$$\alpha_{ST} = \alpha_S \times Y \dots\dots\dots(2.2)$$

c. Redaman Konektor

$$\alpha_{CT} = \alpha_C \times X \dots\dots\dots(2.3)$$

**2.3.2. Power Link Budget**

Link budget dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) atau dengan menghitung loss tiap komponen dalam sistem atau jaringan[8]. Beberapa persamaan terkait perhitungan *Link Power Budget* adalah :

$$P_B = P_T - P_R \dots\dots\dots(2.4)$$

$$a_{tot} = L \cdot \alpha_f + N_c \cdot a_c + N_s \cdot a_s + a_{sp} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$M = P_B + a_{tot} - M_S \dots\dots\dots(2.6)$$

**2.3.3. Rise Time Budget**

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan disperse suatu link fiber optik. Secara sederhana persamaan perhitungan *rise time budget* sebagai berikut persamaannya:

$$t_{GVD} = D \times \sigma_\lambda \times L \dots\dots\dots(2.7)$$

$$t_{sys} = \sqrt{(t_{tx}^2 + t_{GVD}^2 + t_{rx}^2)} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$t_{Max\_sys} = \frac{70\% (NRZ)}{Data Rate (bps)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Rise time budget memiliki hubungan yang erat dengan *bandwidth* atau *bit rate*. Dalam hal ini, disperse pulsa yang dialami keseluruhan sistem 5G tidak boleh melebihi kapasitas *bandwidth*.

**2.3.4. Bit Error Rate (BER)**

Bit Error Rate (BER) merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital [9]. Dimana BER dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut. Standar S/N untuk sistem komunikasi serat optik adalah (BER =10<sup>-12</sup>).

$$(BER) = Pe (Q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \times \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q} \dots\dots\dots(2.13)$$

**2.3.5. Q-Faktor**

Q-Faktor merupakan factor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kulaitas suatu link atau jaringan. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya GPON, minimal ukuran Q-Faktor yang bagus adalah angka 6 atau 10<sup>-12</sup> dalam Bit Error Rate (BER)[10]. Rumus untuk menghitung nilai dari Q-Faktor yaitu:

$$(Q) = \frac{\mu1-\mu0}{\sigma1+\sigma0} \dots\dots\dots(2.14)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

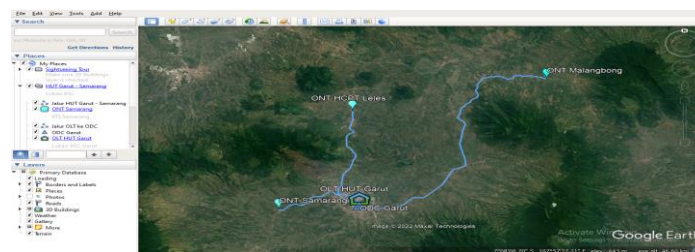
#### 3.1 Penentuan site lokasi

Dalam penentuan site lokasi dilihat dari nilai trafik yang diperoleh dari hasil kepadatan penduduk dan kepadatan pengguna seluler. Dengan menggunakan metode perhitungan trafik sehingga dapat diperoleh hasilnya seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Total Trafik Pelanggan

No	Lokasi BSC	Lokasi BTS	Total Trafik Pelanggan (Erlang)
1	HUT Garut	Samarang	17874
2	HUT Garut	Malangbong	9488
3	HUT Garut	HCPT Leles	6406
4	HUT Garut	Nagreg	3486
5	HUT Garut	Ciawi	2397

Dari nilai total trafik pelanggan tersebut, peneliti memilih 3 lokasi, seperti pada gambar 3, yang memiliki nilai terbesar diantaranya yaitu lokasi jalur HUT Garut – Samarang, HUT Garut – Malangbong dan HUT Garut - HCPT Leles.



**Gambar 3.** Hasil Penentuan Lokasi.

#### 3.2 Loss Perkomponen

Total panjang kabel serat optik ini ditentukan sebesar 10% dari jarak yang digunakan. Sehingga dapat diperoleh datanya seperti pada tabel 2.

**Tabel 2.** Jarak Lokasi Penelitian

No	Lokasi BSC	Lokasi BTS	Distansi (km)	Total Panjang Kabel (km)
1	HUT Garut	Samarang	11.6	12.76
2	HUT Garut	Malangbong	41.2	45.32
3	HUT Garut	HCPT Leles	12.7	13.97

Pada proses penelitian ini diperoleh hasil perhitungan *loss* perkomponen dengan menggunakan spesifikasi jenis kabel optik G.654.B. Proses analisis *loss* perkomponen ini dilakukan agar bisa menghitung metode *power link budget* dan dapat menghasilkan daya terima yang sesuai dengan penelitian. Adapun hasil dari perhitungan *loss* perkomponen ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Analisis Hasil Loss Perkomponen

No	Cable Loss (dB)	Splicing Loss (dB)	Connector Loss (dB)	System Margin (dB)	Total Power Loss (dB)
1	2.233	0.65	1	8	11.883
2	7.931	2.3	1	8	19.231
3	2.445	0.7	1	8	12.145

### 3.3 Metode Link Budget

Analisis dengan menggunakan metode ini dapat mengetahui nilai *power budget* fiber optik yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tujuan perhitungan dengan menggunakan metode ini untuk menentukan nilai daya terima dan BER telekomunikasi 5G yang sesuai dengan ketentuan fiber optik. Sehingga dapat diperoleh nilai daya terima yang dihasilkan dari nilai *loss*.

**Tabel 4.** Analisis Hasil Metode Power Link Budget

No	Lokasi <i>Base Station Control</i> (BSC)	Lokasi <i>Base Transceiver Station</i> (BTS)	Distansi (km)	Total Panjang Kabel (km)
1	HUT Garut	Samarang	11.6	12.76
2	HUT Garut	Malangbong	41.2	45.32
3	HUT Garut	HCPT Leles	12.7	13.97

Proses perhitungan metode *power link budget* ini dilakukan dengan dua cara yaitu perhitungan secara manual dan perhitungan hasil simulasi yang dibantu dengan menggunakan *software optisystem*. Sehingga diperoleh hasilnya seperti pada tabel 5.

**Tabel 5.** Analisis Perbandingan Hasil Metode Power Link Budget

Route (Jalur Penelitian)	Total Power Loss (dB)	Source Power (dBm)	Received Power (dBm)	Sensitivity (dBm)
HUT Garut – Samarang	11.883	4	-7.883	-24
HUT Garut – Malangbong	19.231	4	-15.231	-24
HUT Garut – HCPT Leles	12.145	4	-8.145	-24

Pada proses perhitungan dengan menggunakan metode ini terjadi selisih diantara perhitungan secara manual dan perhitungan hasil simulasi. Perbedaan pada jalur HUT Garut – Samarang sebesar 0.105, jalur HUT Garut – Malangbong sebesar 5.594 dan jalur HUT Garut – HCPT Leles sebesar 0,080.

### 3.4 Metode Rise Time Budget

*Rise-time* adalah waktu respon yang dibutuhkan oleh sistem mulai dari 10-90% untuk menuju sinyal input atau sinyal masukan. Keterbatasan metode ini akan menyebabkan data terdistorsi sehingga proses penerimaan atau pengiriman data akan mengalami *Loss*.

**Tabel 6.** Analisis Hasil Metode Rise Time Budget

Route (Jalur Penelitian)	$t_{GVD}$ (ps)	$t_{tx}$ (ps)	$t_{rx}$ (ps)	$t_{sys}$ (ps)	$t_{Max\_sys}$ (ps) NRZ 155.52 (Mbps)	Feasibility
HUT Garut – Samarang	11.484	28	28	41.229	4501.03	YES
HUT Garut – Malangbong	40.788	28	28	56.848	4501.03	YES
HUT Garut – HCPT Leles	12.573	28	28	41.546	4501.03	YES

Pada penelitian ini untuk menghitung nilai rise time dibantu dengan alat ukur matlab. Hasilnya ditunjukkan pada tabel 7.

**Tabel 7.** Analisis Perbandingan Hasil Metode Rise Time Budget

Route (Jalur Peneletian)	Hitungan Manual (ps)	Hitungan Matlab (ps)
HUT Garut – Samarang	41.229	41.2296
HUT Garut – Malangbong	56.848	56.8477
HUT Garut – HCPT Leles	41.546	41.5461

Perhitungan ini memiliki sedikit perbedaan yang diakibatkan oleh penggunaan alat ukur yang berbeda saja.

### 3.5 Bit Error Rate

*Bit Error Rate* (BER) merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Standar S/N untuk sistem komunikasi serat optik adalah ( $BER = 10^{-12}$ ) sesuai dengan kabel jenis optik yang digunakan pada proses penelitian ini. Untuk mendapatkan nilai minimum BER ini peneliti menggunakan *software* simulasi *optisystem*. Adapun hasil dari simulasi diantaranya ditunjukkan pada tabel 8-10.

**Tabel 8.** Hasil Bit Error Rate Pengali 0.37

Route (Jalur Penelitian)	Nilai Q-Faktor	Nilai Minimum BER
HUT Garut – Samarang	6.54024	$3.07042 \times 10^{-11}$
HUT Garut – Malangbong	4.24415	$1.09673 \times 10^{-05}$
HUT Garut – HCPT Leles	6.50302	$3.93534 \times 10^{-11}$

**Tabel 9.** Hasil Bit Error Rate Pengali 0.75

Route (Jalur Penelitian )	Nilai Q-Faktor	Nilai minimum BER
HUT Garut – Samarang	36.0065	$3.26362 \times 10^{-284}$
HUT Garut – Malangbong	5.32624	$4.996 \times 10^{-08}$
HUT Garut – HCPT Leles	32.0371	$1.6215 \times 10^{-225}$

**Tabel 10.** Hasil Bit Error Rate

Route (Jalur Penelitian)	Nilai Minimum BER (Pengali 0.37)	Nilai Minimum BER (Pengali 0.75)
HUT Garut – Samarang	$3.07042 \times 10^{-11}$	$3.26362 \times 10^{-284}$
HUT Garut – Malangbong	$1.09673 \times 10^{-05}$	$4.996 \times 10^{-08}$
HUT Garut – HCPT Leles	$3.93534 \times 10^{-11}$	$1.6215 \times 10^{-225}$

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian sebagai berikut; 1). Tiga site lokasi penelitian terpilih berdasarkan jumlah total trafik pelanggan terbesar diantaranya yaitu jalur HUT Garut – Samarang 17874 E, HUT Garut –Malangbong 9488 E, dan HUT Garut – HCPT Leles 6404 E. 2). Berdasarkan hasil hitungan secara manual diperoleh untuk jalur HUT Garut – Samarang sebesar -7.883 dBm, jalur HUT Garut – Malangbong sebesar -15.231 dBm dan jalur HUT Garut – HCPT Leles sebesar -8.145 dBm. Sedangkan hasil perhitungan simulasi dengan menggunakan *software optisystem* diperoleh untuk jalur HUT Garut – Samarang sebesar -7.778 dBm, jalur HUT Garut – Malangbong sebesar -20.825 dBm dan jalur HUT Garut – HCPT sebesar -8.252 dBm. Terdapat perbedaan antara hasil perhitungan secara manual dan simulasi yang disebabkan oleh jauhnya jarak sehingga menimbulkan nilai attenuasi dan *loss* sambungan yang berbeda. Dengan menggunakan parameter jenis optik G.654.B



masih layak digunakan karena daya terima yang dihasilkan oleh setiap jalur tidak melebihi -24 dBm. 3). Berdasarkan hasil hitungan secara manual diperoleh nilai *rise time* untuk jalur HUT Garut – Samarang sebesar 41.229 ps, jalur HUT Garut -Malangbong sebesar 56.848 ps dan jalur HUT Garut – HCPT Leles sebesar 41.546 ps. Selain itu juga diperoleh nilai *maksimum rise time* nya sebesar 4501.03 ps yang bertujuan untuk mengetahui apakah sistem ini masih layak digunakan atau tidak. Berdasarkan dengan nilai *maksimum rise time* untuk semua jalur layak digunakan karena tidak melebihi nilai *maksimum rise time* nya. 4). Berdasarkan hasil simulasi diperoleh nilai minimum BER lebih bagus dengan menggunakan pengali bit rate sebesar 0.75 karena nilai minimum BER nya lebih rendah standar fiber optik  $10^{-12}$ . Untuk jalur HUT Garut – Samarang diperoleh hasil minimum BER nya sebesar  $3.26362 \times 10^{-284}$  dan jalur HUT Garut – HCPT Leles sebesar  $1.6215 \times 10^{-225}$ , sehingga untuk kedua jalur ini layak digunakan karena memiliki nilai minimum BER yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai standarnya. Sedangkan untuk jalur HUT Garut – Malangbong sebesar  $4.996 \times 10^{-08}$  dikatakan belum layak karena melebihi nilai standarnya.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Garut dan beserta pihak lain yang telah bekerja sama dalam penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] A. K. Muhidin, H. Madiawati, Y. Sulaeman, and K. Kunci, “Desain Antena MIMO 2x2 Patch Rectangular untuk Komunikasi 5G pada Frekuensi 3 , 5 GHz dengan Peningkatan Gain Menggunakan Akriklik,” pp. 26–27, 2020.
- [2] M. J. MARCUS, “5G and ‘Imt for 2020 and Beyond,’” *IEEE Wirel. Commun.*, no. August, pp. 2–3, 2015.
- [3] M. R. Darmawansyah, M. I. Maulana, F. T. Elektro, and U. Telkom, “Pengaruh Penggunaan Kompensator Dispersi Fiber Bragg Grating (FBG) pada Sistem Komunikasi Optik Long Haul,” vol. 5, no. 3, pp. 5237–5244, 2018.
- [4] N. Darmawan, “Analisa Pengembangan Jaringan Fiber Optic Site Nangka Semarang,” *Anal. Pengemb. Jar. Fiber Opt. Site Nangka Semarang*, p. 11, 2017.
- [5] O. Efriyanda, D. Faiza, and A. Hadi, “Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik dengan Menggunakan Metode Power Link Budget dan Rise Time Budget pada PT.TELKOM ( Studi Kasus Link Batusangkar – Lintau ),” *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.*, vol. 2, no. 2, 2018, doi: 10.24036/voteteknika.v2i2.4079.
- [6] D. Saptun *et al.*, “Analisis Bit Error Ratio , Optysistem . Power Link Budget , Rise Time Budget,” 1988.
- [7] N. Massa, “Fiber Optik Telecommunication”, University of Connecticut, 2000.
- [8] G. Keiser, *Optical Fiber Communications (Fourth Edition)*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [9] M. Mirza and E. Haqiqi, “Optical Fiber Communication Design and Analysis for A Railway Line,” 2014.
- [10] T. Peneliti and P. Sdppi, "*Analisis Industri Telekomunikasi Indonesia*". 2018.