

## PERBANDINGAN BIT ERROR RATE DARI LINE CODE RZ DAN NRZ PADA NG-PON2

### COMPARISON OF BIT ERROR RATE OF RZ AND NRZ LINE CODE IN NG-PON2

Mohammad Bima Putra Brayoga<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, M.T<sup>2</sup>, M. Irfan Maulana, S.T.,M.T<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[bimaputrabrayoga@telkomuniversity.ac.id](mailto:bimaputrabrayoga@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[ahambali@telkomuniveristv.co.id](mailto:ahambali@telkomuniveristv.co.id), <sup>3</sup>

[muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id](mailto:muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Pada era digitalisasi ini kebutuhan manusia akan layanan super cepat merupakan prioritas utama untuk dapat bersaing di pasar dunia. Layanan tersebut adalah layanan untuk berkomunikasi jarak jauh maupun dekat. Pertumbuhan pencakar langit pada kota besar membuat komunikasi *radio frequency* menjadi tidak efektif untuk digunakan. NG-PON2 merupakan pengembangan teknologi optik PON yang distandarisasikan oleh ITU-T pada tahun 2015. Teknologi ini dapat melakukan transfer data hingga 40Gbps. Teknologi *broadband* ini sangat cocok untuk melayani kebutuhan layanan *voice*, *video*, dan *data* dengan kualitas yang tinggi. Salah satu hal penting yang harus diperhatikan dalam mewujudkan layanan ini adalah memilih teknik modulasi atau *line code* yang tepat dan meminimalisir jumlah *Bit Error* yang mungkin terjadi pada proses pengirimannya. Penelitian ini akan dibuat beberapa skenario penelitian dimana Skenario 1 dibuat untuk menentukan sistem jaringan NG-PON2 yang akan dianalisa performansinya, skenario menggunakan *bitrate* total 40Gbps dengan menggunakan OLT 4 *lambda*, kemudian dari jaringan tersebut dibuatkan 2 skenario simulasi dengan jenis *line code* berbeda guna melihat pengaruh perbedaan penggunaan jenis *line code* terhadap performansi *Bit Error Rate*-nya. Penelitian ini menghasilkan jenis *line code* NRZ yang bekerja dengan optimal digunakan untuk NG-PON2 dengan jarak tranmit maksimal 60km dengan BER yang kecil sesuai dengna standar yang telah ditetapkan ITU-T. Sedangkan RZ hanya bekerja optimal pada 20km saja.

Kata kunci : NG-PON2, ITU-T, *Line code*, NRZ, RZ, BER, OLT, PON.

#### Abstract

*In this digitalization era, the community's need for super-fast service is a top priority to be able to compete in the world market. These services are the ability to communicate long and near. Producing skyscrapers in big cities makes radio frequency communication ineffective to use. NG-PON2 is the development of PON optical technology standardized by ITU-T in 2015. This technology can transfer data up to 40Gbps. This broadband technology is very suitable to serve the needs of high quality voice, video and data services. One important thing that must be considered in realizing this service is choosing the right modulation technique or line code and minimizing the number of Bit Errors that might occur in the sending process. This study will make several research scenarios where Scenario 1 is made to determine the NG-PON2 network system that will analyze its performance, the scenario uses a total bitrate of 40Gbps using OLT 4 lambda, then two scenarios are created from this network with different types of line codes to the Bit Error Rate performance. This research produces NRZ line code that works optimally to be used for NG-PON2 with a maximum transmit distance of 60 km with a small BER corresponding to the standards set by ITU-T. While the RZ only works optimally at 20km.*

*Keywords: NG-PON2, ITU-T, Line Code, NRZ, RZ, BER, OLT, PON.*

#### 1. Pendahuluan

Pada era digitalisasi ini kebutuhan manusia akan layanan super cepat merupakan prioritas utama untuk dapat bersaing di pasar dunia. Salah satu kebutuhan tersebut adalah layanan untuk berkomunikasi satu sama lain baik jarak jauh maupun dekat. Pertumbuhan bangunan pencakar langit pada kota besar membuat komunikasi *radio frequency* menjadi kurang efektif untuk diterapkan di dalam nya. Maka dibutuhkan teknologi yang tepat dan mudah untuk diatur guna mewujudkan kebutuhan akan layanan tersebut. *Next Generation Passive Optical Network 2* atau yang disingkat NG-PON2 merupakan hasil pengembangan teknologi komunikasi optik PON yang distandarisasikan oleh ITU-T pada tahun 2015. Teknologi ini dapat melakukan transfer data hingga 40Gbps. Teknologi *broadband* ini sangat cocok untuk melayani kebutuhan layanan *voice*, *video*, dan *data* dengan kualitas yang tinggi. Teknologi ini memiliki kelebihan dibanding komunikasi *radio frequency* antara lain performansinya

tidak dipengaruhi oleh cuaca, *obstacle*, dan induksi gelombang listrik sehingga tidak memungkinkan terjadinya crosstalk. Selain NG-PON2 hal lain yang harus diperhatikan adalah meminimalisir kesalahan atau *error bit* selama pengiriman data berlangsung. BER merupakan indikasi jumlah kegagalan *bit data* dari pengirim. Untuk mewujudkan sistem komunikasi yang baik maka harus dipastikan jaringan komunikasi tersebut memiliki nilai BER yang kecil. Penelitian [12] sebelumnya yang dilakukan oleh Radek Fujdiak dari Brno University of Technology adalah membandingkan *Line Code* buatannya sendiri dengan *Line Code* yang ada sebelumnya. Dalam penelitian tersebut *Miller's Code* lebih baik dibanding dengan *Line Code* yang lain karena *Miller's Code* memiliki nilai BER =  $10^{12}$  dengan LPB = -27.1 dB. Metode penelitiannya adalah dengan membandingkan BER yang dihasilkan dari perbedaan penggunaan jenis *Line Code*. Penelitian dilakukan dalam bentuk simulasi pada perangkat lunak optik. Jarak yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah 20km dengan menggunakan Passive Splitter rasio 1:64. Penelitian [11] menggunakan *Line Code* RZ, NRZ, RZ-DPSK, RZ-DQPSK, NRZ-DPSK, dan NRZ-DQPSK diterapkan pada teknologi G-PON. Dari penelitian tersebut maka didapatkan hasil yang baik untuk digunakan pada G-PON dengan format modulasi RZ-DQPSK. BER yang didapatkan pada *single wavelength* yaitu  $6,522 \times 10^{-57}$  dan *dual wavelength* yaitu  $2,449 \times 10^{-55}$  yang mana telah mencukupi batas toleransi pada sistem komunikasi optik. Berdasarkan jurnal [12], [9] saya coba kembali untuk merekonstruksi penelitian tersebut dengan membuat beberapa skenario dan menganalisis *Line PON2*.

## 2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

### 2.1 Next Generation Passive Optical Network Stage 2 (NG-PON2)

Dalam dunia telekomunikasi saat ini membutuhkan layanan hemat *bandwidth* atau jaringan pasif optik (PON) dan telah berkembang dalam satu dekade terakhir. Jaringan pasif ini memberikan peningkatan dalam ketersediaan kecepatan data dan layanan. NG-PON2 berada pada *bitrate* 4 Gigabit/sekon dan mampu multi *wavelength* hingga 80 Gigabit/sekon. Pada sisi *downstream* memiliki *bitrate* 10 Gigabit/sekon dan sisi *upstream* 2,5 Gigabit/sekon. TWDM-PON dipilih sebagai solusi utama untuk NG-PON2 yang berdasarkan pada pertimbangan anggaran biaya sistem, anggaran kerugian dan kematangan teknologi[3].

### 2.2 Wavelength Division Multiplexing

Kanal *Time Wavelength Division Multiplexing* (TWDM) pada *link downstream* L-band berada pada panjang gelombang 1596 nm – 1603 nm sedangkan pada sisi kanal *Time Wavelength Division Multiplexing* (TWDM) pada *link upstream* bekerja pada panjang gelombang C-band 1524 nm – 1544 nm. Pemilihan panjang gelombang pada sisi *link upstream* disebabkan oleh perbedaan kemampuan pemancar ONU untuk mengendalikan panjang gelombang. Teknologi NG-PON2 telah mendefinisikan tiga kelas panjang gelombang dari sisi *transceiver* dan sisi *receiver*[3].

### 2.3 Parameter performansi

Terdapat beberapa parameter pengujian pada penelitian ini antara lain *Signal to Noise Ratio*, *Q-factor*, *Bit Error Rate*, *Link Power Budget* dan *Rise Time Budget*. Berikut ini merupakan persamaan LPB pada jaringan serat optik.

$$\alpha_{\text{tot}} = (L \cdot \alpha_{\text{serat}}) + \alpha_{\text{Mux}} + \alpha_{\text{Demux}} \quad (1)$$

Nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) dapat dinyatakan menggunakan persamaan.

$$\text{SNR} = \frac{(\text{Pr} \cdot R \cdot M)^2}{2 \cdot q \cdot \text{Pr} \cdot R \cdot M^2 \cdot F(M) \cdot \text{Be} + \frac{4 \cdot \text{Kb} \cdot T \cdot \text{Be}}{\text{RL}}} \quad (2)$$

Untuk menghitung nilai *Q factor* dapat dinyatakan pada persamaan.

$$Q = \frac{\text{snr}}{2} \quad (3)$$

Nilai *Bit Error Rate* dapat dinyatakan pada persamaan.

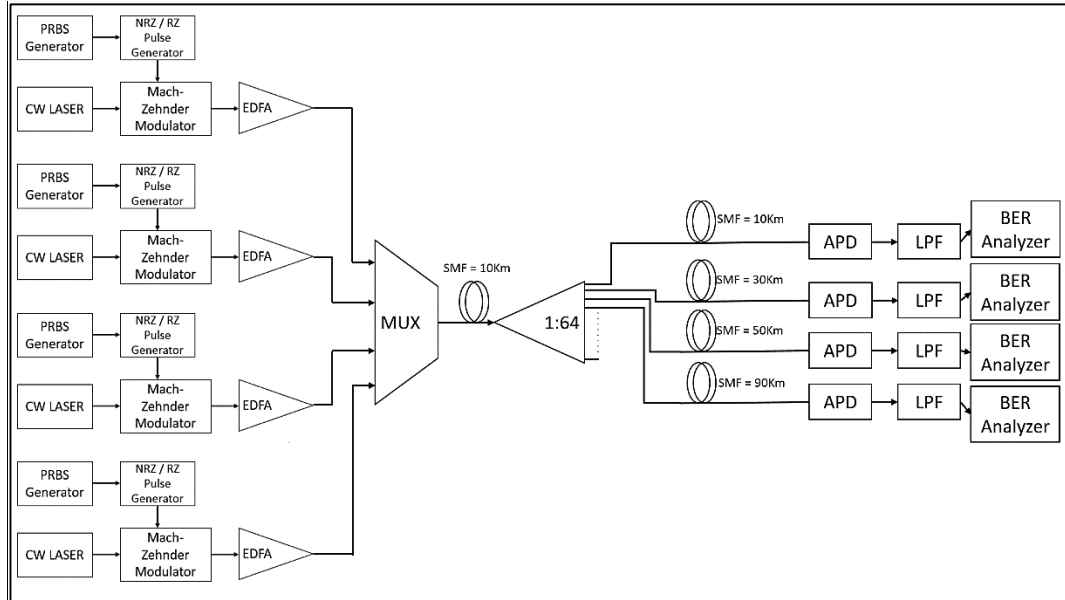
$$\text{BER} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (4)$$

Untuk menghitung *Rise Time Budget* dapat menggunakan persamaan.

$$T_{system} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2} \quad (5)$$

### 3. Perancangan Model Sistem

#### 3.1 Model Sistem



Gambar 1 Blok Diagram NG-PON2

Perancangan model sistem didesain sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh ITU-T. Dapat diperhatikan pada Gambar 3.2 diatas jaringan NG-PON2 dapat dibagi menjadi tiga bagian. Bagian tersebut adalah OLT (*Optical Line Terminal*), ODN (*Optical Distribution Network*), dan ONU (*Optical Network Unit*).

#### 3.2 Parameter

##### 3.2.1 Parameter Transmitter

Tabel 1 Parameter Transmitter[5]

No.	Parameter	Nilai
1	Line code	NRZ / RZ
2	Transmit power	3-7 dBm
3	Channel Spacing	100 Ghz
4	Number of Channel	4

##### 3.2.2 Parameter Link Transmit

Tabel 2 SMF G.652[6]

No.	Parameter	Attenuasi	Satuan
1.	Attenuasi	0.3	dB/Km
2.	Dispersi	17.46	Ps/nm-km
3.	Dispersion Slope	0.056 ; -0.3	Ps/nm <sup>2</sup> -km
4.	Effective Core Area	70;22	µm <sup>2</sup>
5.	Reference Wavelength	1550	nm

##### 3.2.3 Parameter Penguat Optik

Tabel 3 Parameter Penguat Optik

Parameters	Value	Unit
Wavelength	1528-1562 and 1570-1605	nm
Saturated output power	13 – 21	dBm
Gain	15 – 26	dB

Noise Figure	< 6.5	dB
Operating temperature	0 – 70	°C

### 3.2.4 Parameter AWG MUX dan DEMUX

**Tabel 4** Spesifikasi MUX dan DEMUX

Parameters	Unit		Value
Channel count	-		8,16,32,40
Channel spacing	GHz		100
Wavelength range	nm	1530-1562	1575-1608
Frequency range	THz	186.4-190.4	191.4-195.5
Insertion loss	dB	< 4.8	< 7.5
Insertion loss uniformity	dB		< 1.7
Adjacent channel crosstalk	dB		< -25
Total optical crosstalk	dB		< -22
Return loss	dB		> 40

### 3.2.5 Parameter Receiver

**Tabel 5** Parameter Receiver

No.	Komponen	Nilai
1.	Photodetector	APD
2.	Wavelength band	1596.34 – 1609.19
3.	Sensitivity	-28 dBm
4.	Filter type	Bessel
5.	Temperature	298 Kelvin
6.	Responsitivity	0.85 A/W
7.	Avalanched Gain	10
8.	Resistenace	50 Ohm
9.	Power	2 dBm – 7 dBm
10.	Ionization Ratio	0.45

## 4. Perancangan Model Sistem

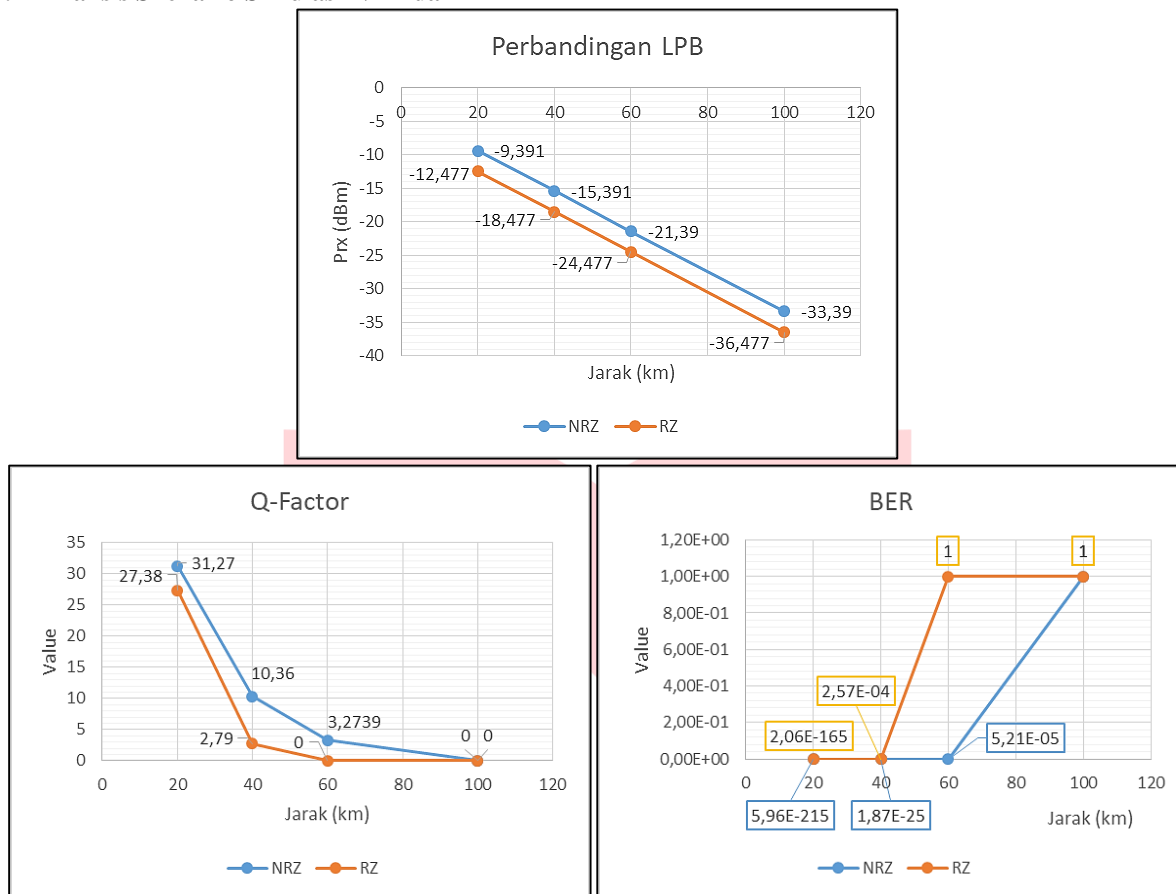
### 4.1 Analisis Skenario 1

**Tabel 6** Hasil Perhitungan Power Link Budget, Q-factor dan Bit Error Rate

Perhitungan Skenario 1								
no.	Jarak (km)	LPB (dBm)	Q-Factor	BER	Bitrate	Tsystem	NRZ	RZ
1	20	-17,57	14,1	$1,22 \times 10^{-44}$	10 Gbps / Channel	0,005197	Yes	Yes
2	40	-23,57	7,06	$2,21 \times 10^{-12}$		0,007976	Yes	No
3	60	-29,57	3,54	$2,81 \times 10^{-04}$		0,011164	Yes	No
4	100	-41,57	0,889	$9,89 \times 10^{-02}$		0,017885	No	No

Berdasarkan analisis kelayakan perhitungan manual maka jaringan NG-PON2 skenario 1 ini layak untuk digunakan dan dibuat kedalam bentuk simulasi perangkat lunak optik pada skenario berikutnya dikarenakan mampu mengakomodir jaringan dengan kualitas yang masuk kedalam standar ITU-T yaitu LPB  $\leq$  -28dBm, Q-Factor  $>$  6, dan BER  $>$   $1 \times 10^{-9}$ .

4.2 Analisis Skenario Simulasi NRZ dan RZ



Gambar 2 Grafik Perbandingan LPB, Q-Factor dan BER Skenario Simulasi NRZ dan RZ

Dari ketiga grafik diatas dapat di simpulkan bahwa *line code* jenis NRZ lebih baik dibandingkan dengan *line code* RZ. Hal ini dikarenakan Performansi Jaringan NG-PON2 pada jarak 20km *line code* NRZ memiliki nilai LPB terkecil yaitu -9,391dBm, Q-Factor terbaik yaitu 31,27, dan BER terkecil yaitu  $5,96 \times 10^{-215}$ . Sedangkan *line code* RZ hanya memili LPB terbaik di -12,477dBm, Q-Factor sebesar 27,38, dan BER yaitu  $2,06 \times 10^{-165}$ . *Line code* NRZ dengan konfigurasi ini mampu mengakomodir jaringan dengan kualitas yang bagus sampai dengan jarak tempuh 40km yang kemudian mengalami pelemahan pada jarak berikutnya. Sedangkan *line code* RZ hanya sampai jarak 20km saja dan langsung mengalami pelemahan pada jarak berikutnya.

4.3 Analisis Skenario 3

Tabel 7 Hasil Pengukuran Bit Error Rate Dengan Variasi Bitrate NRZ

BER NG-PON2 NRZ					
No	jarak (km)	2,5 Gbps	5 Gbps	10 Gbps	20 Gbps
1	20	0	$6,6676 \times 10^{-317}$	$5,9595 \times 10^{-215}$	$8,3387 \times 10^{-5}$
2	40	$1,0079 \times 10^{-132}$	$1,1359 \times 10^{-59}$	$1,8718 \times 10^{-25}$	$4,7139 \times 10^{-4}$
3	60	$3,9866 \times 10^{-20}$	$6,1317 \times 10^{-13}$	$5,2067 \times 10^{-5}$	1
4	100	1	1	1	1

Tabel 8 Hasil Pengukuran Bit Error Rate Dengan Variasi Bitrate RZ

BER NG-PON2 RZ					
No.	jarak (km)	2,5Gbps	5Gbps	10Gbps	20Gbps
1	20	0	0	$2,0650 \times 10^{-165}$	$5,778 \times 10^{-5}$
2	40	$1,9616 \times 10^{-80}$	$6,6132 \times 10^{-36}$	$2,566 \times 10^{-4}$	$1,5959 \times 10^{-4}$

3	60	$1,6256 \times 10^{-8}$	$1,2197 \times 10^{-5}$	1	1
4	100	1	1	1	1

Pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dilihat jaringan NG-PON2 diukur kedalam variasi jarak kanal transmit yang sama dengan skenario 1, namun pada skenario 3 ini *bitrate* divariasikan menjadi 2,5Gbps, 5Gbps, 10Gbps, dan 20Gbps. BER terbaik didapatkan pada penggunaan *bitrate* 2,5Gbps dengan jarak transmit 20km pada kedua *line code* dimana BER-nya bernilai 0 atau dengan kata lain sama sekali tidak ada data yang *error* pada proses pengiriman data berlangsung. BER terburuk didapatkan pada semua kanal transmisi untuk kedua *line code* jarak 100km untuk semua variasi *bitrate* dimana nilai BER nya adalah 1 atau dengan kata lain terjadi kerusakan pada seluruh data yang ditransmisikan pada saat proses pengiriman.

#### 4.4 Analisa Batas Performansi NG-PON2

Analisa ini dibuat guna mengetahui batasan kualitas performansi jaringan NG-PON2 baik menggunakan *line code* NRZ maupun RZ. Untuk jaringan NG-PON2 menggunakan *line code* NRZ, pada nilai BER =  $\pm 10^{-9}$  didapatkan jarak kerja pada 45km dengan LPB = -16,890dBm. Untuk *line code* RZ pada nilai BER =  $\pm 10^{-9}$  didapatkan jarak kerja pada 38km s/d 39km dengan LPB = -15,091dBm.

#### 5. Kesimpulan

Pada hasil simulasi dari penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Format modulasi terbaik untuk jaringan NG-PON2 adalah NRZ, dimana secara umum *line code* ini memiliki kualitas performansi LPB, Q-Factor, dan BER yang lebih baik dibandingkan dengan *line code* RZ,
2. Jaringan NG-PON2 dengan jarak 20km, 40km, 60km, dan 100km mendapatkan  $P_{Tx}$  paling bagus menggunakan *line code* NRZ yaitu -9,391dBm, -15,391dBm, -21,39dBm, dan -33,39dBm, sedangkan  $P_{Tx}$  *line code* RZ bernilai -12,477dBm, -18,477dBm, -24,477dBm, dan -36,477dBm.
3. Jaringan NG-PON2 jarak 20km, 40km, 60km, dan 100km mendapatkan nilai Q-Factor terbaik menggunakan *line code* NRZ yaitu 31.27, 10.36, 3.27, dan 0. Sedangkan nilai Q-Factor untuk *line code* RZ mendapatkan nilai 27.38, 2.79, 0, dan 0.
4. Jaringan NG-PON2 jarak 20km 40km, 60km, 100km mendapatkan nilai BER terbaik menggunakan *line code* NRZ yaitu  $5,96 \times 10^{-215}$ ,  $1,87 \times 10^{-25}$ ,  $5,21 \times 10^{-5}$ , dan 1. Sedangkan nilai BER untuk *line code* RZ adalah  $2,06 \times 10^{-165}$ ,  $2,57 \times 10^{-4}$ , 1, dan 1.
5. Sesuai dengan skenario yang dibuat *line code* NRZ dapat digunakan pada jarak 20km, dan 40km sedangkan *line code* RZ hanya bisa digunakan pada jarak 20km saja. Hal ini dikarenakan nilai *rise time* dari *line code* NRZ sebesar 70%, ini lebih besar dibandingkan dengan nilai *rise time* dari *line code* RZ yang hanya sebesar 35%.
6. Berdasarkan analisis skenario 3 dapat disimpulkan bahwa penggunaan *line code* NRZ sangat baik digunakan untuk jarak transmit yang jauh karena dapat bekerja dengan baik pada jarak 60km untuk 2,5Gbps, 60km untuk 5Gbps, 40km untuk 10Gbps, namun tidak lagi bekerja untuk 20Gbps. Sedangkan pada *line code* RZ hanya memiliki kinerja yang baik pada jarak 40km untuk 2,5Gbps, 40km untuk 5Gbps, 20km untuk 10Gbps, dan juga tidak dapat bekerja pada *bitrate* 20Gbps.
7. Berdasarkan analisis skenario 3 dapat disimpulkan bahwa jaringan dengan *bitrate* yang kecil dapat bekerja lebih optimal pada kanal transmit dengan jarak yang jauh dari pada jaringan dengan *bitrate* yang besar,

**Daftar Pustaka:**

- [1] Agrawal, G. P. 2002. *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] E. Dwi, "PERANCANGAN DAN DESAIN JARINGAN LOKAL AKSES FIBER (JARLOKAF) DENGAN TEKNOLOGI PON KONFIGURASI JARINGAN FIBER TO THE HOME (FTTH)", Jakarta. 2017.
- [3] G. Keiser, "Chapter 11 Optical Amplifier," dalam *Optical Fiber Communication Fifth Edition*, Singapore, Mc Graw Hill Education, 2015, p. 398.
- [4] G. Keiser, *Optical Fiber Communications (Second Edition)*, McGraw-Hill, 1991.
- [5] ITU-T G.989.2, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2) : Physical media dependent (PMD) layer specification," 2014.
- [6] ITU-T G.652, "Characteristic of a single-mode fibre and cable," 2016.
- [7] ITU-T L.36, "Single-mode fibre optic connectors," 2015.
- [8] Marek Hajduczenia, Silvia Pato, "Channel Insertion Loss for 1x64 and 1x128 split EPONs", IEEE802.3 Plenary Meeting, Dallas, TX, November 14-16, 2006.
- [9] M. I. Anis, M. S. Qureshi and S. Zafar, "Evaluation of Advanced Modulation Formats using Triple-Play Services in GPON Based FTTH," 2015.
- [10] Prianggono, Satya (2017). *PERFORMANCE ANALYSIS OF OPTICAL DISTRIBUTION NETWORK (ODN) NG-PON2 USING TIME-AND-WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (TWDM) TECHNOLOGY*. Bandung : Universitas Telkom
- [11] V. Venkatramanan, "Optical Amplifier," Institute for Optical Science, Toronto.
- [12] Radek Fujdiak, "Comparison of Bit Error Rate of Line Codes in NG-PON2", Brno University of Technologies, May 2016
- [13] Satya Prianggono, "Analisis Performansi Optical Distribution Network (ODN) NG-PON2 menggunakan Teknologi Time and Wavelength Division Multiplexing (TWDM)". Bandung: Universitas Telkom, 2016.
- [14] S. Zhang, "Advanced Optical Modulation Formats in High-speed Lightwave System," *Thesis*, pp. 18-29.