

PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM UNTUK PERBANDINGAN UNJUK KERJA *LINE CODING* RZ DAN NRZ PADA JARINGAN FIBER OPTIK

I Putu Aldha Rasjman Sayoga¹, Pande Ketut Sudiarta², Nyoman Putra Sastra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

Email : aldharasjman35@gmail.com¹, sudiarta@unud.ac.id², putra.sastra@unud.ac.id³

Abstrak

Hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam proses pengiriman sinyal jaringan fiber optik yaitu pemilihan jenis *line coding*. *Line coding* merupakan suatu proses konversi data digital menjadi sinyal digital agar dapat ditransmisikan dalam jaringan fiber optik. *Line coding* yang umum digunakan adalah NRZ dan RZ. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibahas perbandingan unjuk kerja *line coding* NRZ dan RZ dalam jaringan fiber optik ditinjau dari Q-Factor, BER dan Eye Diagram. Hasil penelitian adalah karakteristik bentuk sinyal listrik *line coding* NRZ dengan satu elemen data menggunakan satu elemen sinyal sedangkan pada *line coding* RZ, satu elemen data menggunakan dua elemen sinyal. Variabel *rise time* maksimum menggunakan *line coding* RZ adalah 0.3 bit sedangkan *line coding* NRZ adalah 0.7 bit. Model rectangle shape terbaik menggunakan *line coding* RZ adalah sine sedangkan *line coding* NRZ adalah exponential. *Bit rate* maksimum menggunakan *line coding* RZ adalah 11,5 Gbps sedangkan menggunakan *line coding* NRZ adalah 18 Gbps. Jarak transmisi maksimum menggunakan *line coding* RZ dan NRZ adalah 75 km. Luaran lain dari penelitian ini berupa modul praktikum yang dapat digunakan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro untuk memahami sistem komunikasi optik khususnya *line coding* RZ dan NRZ. Berdasarkan hasil penilaian mahasiswa sebesar 87,6% dan nilai *post test* yang lebih tinggi dari nilai *pre test*, maka modul praktikum layak sebagai bahan ajar.

Kata kunci : Fiber Optik, *Line coding*, RZ, NRZ

Abstract

The important thing to consider in the process of sending optical fiber network signals is the selection of line coding types. Line coding is a process of converting digital data into digital signals so that they can be transmitted in optical fiber networks. Line codings commonly used are NRZ and RZ. Therefore, this research discussed the comparison of the performance of NRZ and RZ line codings in fiber-optic networks in terms of Q-Factor, BER, and Eye Diagram. The result of this research was the characteristic form of the electric signal line coding NRZ with one data element using one signal element, while in the RZ coding line, one data element used two signal elements. The maximum rise time variable using the RZ coding line is 0.3 bits, while the NRZ coding line is 0.7 bits. The best rectangle shape model using line coding RZ is sine while line coding NRZ is exponential. The maximum bit rate using the RZ coding line is 11.5 Gbps while using the NRZ coding line is 18 Gbps. The maximum transmission distance using the RZ and NRZ coding line is 75 km. Another output of this research is a practicum module that can be used by students of the Electrical Engineering Study Program to understand optical communication systems, especially line coding RZ and NRZ. Based on the results of student assessments of 87.6% and the post-test score which is higher than the pre-test score, the practicum module is feasible as teaching material.

Keywords: *Line coding, Optical Fiber, RZ, NRZ*

1. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi jaringan fiber optik sudah berkembang pesat. Hal ini menyebabkan kebutuhan sumber daya manusia yang handal di bidangnya semakin meningkat. Sehingga penting bagi mahasiswa, khususnya di Program Studi

Teknik Elektro untuk memahami dasar-dasar jaringan fiber optik mulai dari proses pengiriman informasi di *central office* hingga informasi tersebut sampai ke pelanggan. Dalam sistem komunikasi optik, banyak hal yang perlu dipertimbangkan agar mendapatkan kualitas jaringan yang

baik sesuai standar ITU-T. Salah satunya adalah pemilihan jenis *line coding*.

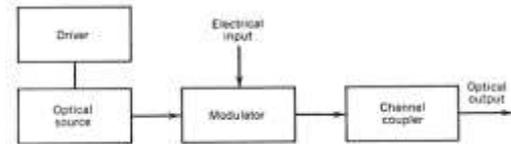
Line coding merupakan proses konversi data digital menjadi sinyal digital agar dapat ditransmisikan pada jaringan fiber optik [1]. Ada beberapa jenis *line coding*, yaitu Non Return to Zero (NRZ), Return to Zero (RZ), Biphasic, Manchester, dan Differential Manchester. Jenis *line coding* yang umum digunakan pada jaringan fiber optik adalah NRZ dan RZ [2]. Setiap *line coding* memiliki kelebihan dan kekurangan, namun tujuan dari *line coding* secara umum untuk merekayasa spektrum sinyal digital agar sesuai dengan medium transmisi yang digunakan dan untuk menaikkan data rate. Pemilihan jenis *line coding* yang tepat menjadi penting karena akan secara langsung memengaruhi deteksi sinyal yang ditransmisikan dan menjadikannya hal mendasar untuk dipelajari dalam jaringan fiber optik [1]. Penelitian sebelumnya menyebutkan mengenai perbandingan *line coding* NRZ dan RZ berdasarkan unjuk kerja Bit Error Rate, Threshold, Eye Height, dan Q-Factor dengan hasil bahwa jenis *line coding* NRZ memiliki unjuk kerja lebih baik daripada *line coding* RZ pada jarak 100 km [3]. Namun, pada penelitian ini tidak menampilkan pengaruh perubahan jarak transmisi dan bit rate, serta tidak menampilkan hasil link power budget dan eye diagram.

Penelitian ini akan dikhususkan pada pemilihan jenis *line coding* yang tepat guna meminimalisir jumlah bit error yang mungkin terjadi pada proses pengirimannya dengan melihat perbandingan unjuk kerja *line coding* NRZ dan RZ dalam jaringan fiber optik. Luaran dari penelitian ini berupa modul praktikum yang dapat digunakan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro untuk memahami sistem komunikasi optik khususnya *line coding* NRZ dan RZ. Modul praktikum nantinya akan menjadi materi pembelajaran mengenai karakteristik *line coding* serta membandingkan unjuk kerja *line coding* tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan variabel *rise time*, *rectangle shape*, *bitrate*, dan jarak transmisi pada jaringan fiber optik sehingga didapat hasil yang optimal. Unjuk kerja dari penelitian ini ditinjau dari hasil *Bit Error Rate* (BER), *Q-Factor*, dan *Eye Diagram* menggunakan simulator Optisystem 7.0.

2. KAJIAN PUSTAKA

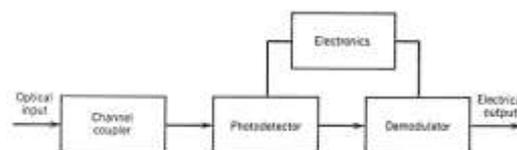
2.1 Sistem Komunikasi Optik

Sistem komunikasi optik secara umum terdiri dari pemancar, kanal, dan penerima. Peran pemancar optik adalah untuk mengubah sinyal listrik menjadi bentuk optik. Gambar 1 menunjukkan diagram blok pemancar optik, terdiri dari sumber optik, modulator, dan coupler saluran. Laser semikonduktor digunakan sebagai optik sumber karena kompatibilitasnya dengan saluran komunikasi serat optik [4].



Gambar 1. Blok Diagram Pemancar Optik [4]

Penerima optik mengubah sinyal optik yang diterima output serat optik kembali menjadi sinyal listrik asli. Gambar 2 menunjukkan diagram blok dari penerima optik, semikonduktor fotodioda digunakan sebagai fotodetektor karena kompatibilitasnya dengan keseluruhan sistem. Desain demodulator tergantung pada format modulasi yang digunakan oleh sistem gelombang cahaya. Demodulasi dalam hal ini dilakukan oleh sebuah sirkuit keputusan yang mengidentifikasi bit sebagai 1 atau 0, tergantung pada amplitudo listrik sinyal. Keakuratan sirkuit keputusan tergantung pada SNR sinyal listrik dihasilkan di photodetector [4].



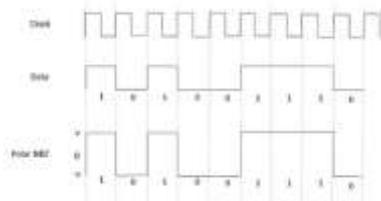
Gambar 2. Blok Diagram Penerima Optik [4]

2.2 Line coding

Pertimbangan penting dalam merancang link serat optik adalah format sinyal optik yang ditransmisikan. Hal ini penting pada setiap link data serat optik digital, sirkuit keputusan dalam penerima harus dapat mengekstraksi informasi waktu yang tepat dari sinyal optik yang masuk. Pengkodean sinyal menggunakan seperangkat aturan untuk mengatur simbol sinyal dalam pola tertentu. Proses ini disebut *line coding*. Tujuan dari bagian ini adalah untuk memeriksa berbagai jenis kode garis yang cocok untuk transmisi digital pada tautan serat optik [1].

2.2.1 Non Return to Zero (NRZ)

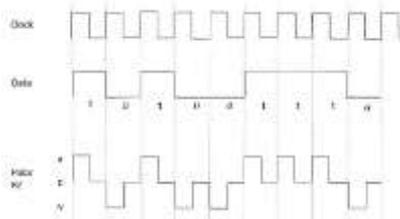
NRZ adalah bentuk paling umum dari sinyal listrik yang digunakan secara internal dalam sistem digital. Setiap simbol memiliki nilai konstan yang sesuai dengan nilai simbol biner 1 dan 0. Sesuai Gambar 3, satu elemen data pada NRZ terdiri dari 1 elemen sinyal. Keuntungan NRZ adalah bahwa transisi yang lebih sedikit antara 0' dan 1' diperlukan dibandingkan dengan RZ, karena amplitudo sinyal tetap sama jika bit berturut-turut adalah 1' atau 0'. Oleh karena itu, bandwidth sinyal NRZ kurang dari sinyal RZ [5].



Gambar 3. Line coding NRZ [5]

2.2.2 Return to Zero (RZ)

Masalah utama dengan pengkodean NRZ terjadi ketika clock antara pengirim dan penerima tidak disinkronkan. Penerima tidak tahu kapan salah satu bit telah berakhir dan bit berikutnya mulai. Salah satu solusinya adalah kembali ke nol yaitu skema RZ, yang menggunakan tiga nilai yaitu positif, negatif dan nol. Setiap simbol pada RZ dipotong menjadi dua bagian. Bagian pertama dari simbol mewakili nilai biner dan sisa simbol selalu diatur ke nol. Karena pulsa lebih pendek daripada NRZ spektrum lebih luas, dan spektrum data acak memiliki komponen frekuensi diskrit yang kuat pada frekuensi harmonik dari laju data. Gambar 4 menunjukkan bahwa satu elemen data pada RZ terdiri dari dua elemen sinyal [5].



Gambar 4. Line coding RZ [5]

2.3 Bit Error Rate (BER)

Dalam transmisi telekomunikasi, bit error rate (BER) adalah jumlah bit yang mempunyai nilai salah relatif terhadap total jumlah bit total yang diterima dalam suatu transmisi. Sebagai contoh, suatu transmisi jika memiliki BER dari 10^{-9} , berarti dari

1.000.000.000 bit dikirimkan, jumlah maksimum bit salah adalah satu. BER adalah indikasi seberapa sering data harus dikirim ulang karena kesalahan [6].

Semakin rendah nilai *bit error rate* maka semakin baik kondisi suatu jaringan telekomunikasi [7]. Sinyal optik yang dikirimkan melalui jaringan fiber optik berupa pulsa-pulsa cahaya yang masing-masing membawa satu bit data [6]. Tidak semua bit dapat terkirim sempurna. BER didefinisikan sebagai jumlah terjadinya error tiap jumlah bit data terkirim pada suatu sistem digital. Menurut standar ITU-T G.984.2, BER maksimum untuk sistem komunikasi optik sebesar 10^{-9} . Apabila jumlah *bit error* adalah N_E dan jumlah bit total terkirim adalah N_T maka [8].

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (1)$$

Nilai BER dapat pula dinyatakan dalam Q-factor melalui persamaan berikut.

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-Q^2/2}}{Q} \quad (2)$$

dengan nilai Q-factor adalah

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (3)$$

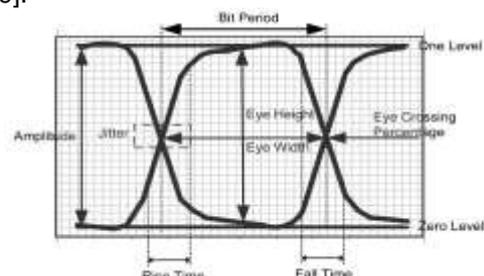
nilai ONSR dalam Q-factor adalah

$$Q = \frac{2\sqrt{2} OSNR}{1 + \sqrt{1 + 4OSNR}} \quad (4)$$

μ dan σ berturut-turut adalah rata-rata dari varians kemunculan bit 1 dan 0. Nilai BER pada persamaan 2 merupakan estimasi dari *error function* $[erfc(Q/\sqrt{2})]$ yang akurat pada nilai $Q > 3$. Pada saat BER bernilai 10^{-9} bersesuaian dengan $Q = 6$ [4].

2.4 Eye Diagram

Eye diagram, Gambar 5, adalah metodologi untuk mewakili dan menganalisis sinyal listrik berkecepatan tinggi. *Eye diagram* memungkinkan parameter kunci dari sinyal divisualisasikan dan ditentukan. yang sesuai dengan setiap bit dengan amplitudo sinyal pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal [9].



Gambar 5. Pengukuran Eye Diagram [9]

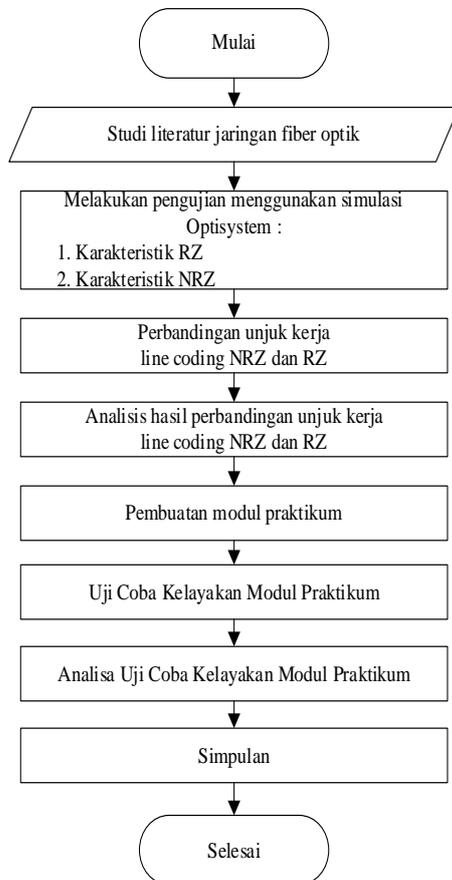
2.5 Skala Likert

Skala likert merupakan skala yang digunakan untuk mengukur sikap, pendapat dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena sosial [10]. Pilihan terhadap masing-masing jawaban untuk tanggapan responden atas dimensi kualitas pelayanan (X) dan keputusan tamu (Y) diberi skor sebagai berikut:

- a. Bobot nilai 5 berarti sangat setuju yang berada pada tingkat sangat tinggi.
- b. Bobot nilai 4 berarti setuju yang berada pada tingkat tinggi.
- c. Bobot nilai 3 berarti kurang setuju yang berada pada tingkat sedang.
- d. Bobot nilai 2 berarti tidak setuju yang berada pada tingkat rendah.
- e. Bobot nilai 1 berarti sangat tidak setuju yang berada pada tingkat sangat rendah.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Lab. DSK PSTE FT UNUD. Penelitian ini dimulai pada bulan November 2019 sampai Desember 2020. Tahapan dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur jaringan yang berkaitan dengan *line coding*, jaringan fiber optik yang terbaru. Dilanjutkan dengan pengujian pada simulator Optisystem yang terdiri dari 5 pengujian yaitu 1) pengujian bentuk sinyal listrik dengan cara membangkitkan bit 10110010 lalu mengidentifikasi bentuk keluaran sinyal listrik, 2) pengujian pengaruh *rise time* dengan memberikan peningkatan setiap 0.1 bit dimulai dari 0.1–1 bit, 3) pengujian dengan model *rectangle shape* dilakukan dengan mengujikan model *exponential, sine, gaussian, dan linear*, 4) pengujian pengaruh perubahan *bitrate* dilakukan dengan cara meningkatkan *bitrate* setiap 500 Mbps dan 5) pengujian pengaruh perubahan jarak dengan penambahan jarak setiap 5 km hingga mencapai standar ITU-T, yaitu *Q-factor* ≥ 6 dan *BER* $\leq 10^{-9}$. Setelah itu dilakukan perbandingan hasil dan analisis unjuk kerja *line coding* RZ dan NRZ. Selanjutnya dilakukan pembuatan modul praktikum dan diuji coba kelayakan modulnya dengan mahasiswa di Prodi Teknik Elektro FT UNUD hingga diperoleh analisa kelayakan modul. Tahap akhir adalah menarik simpulan dari hasil penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Simulasi Jaringan Fiber Optik

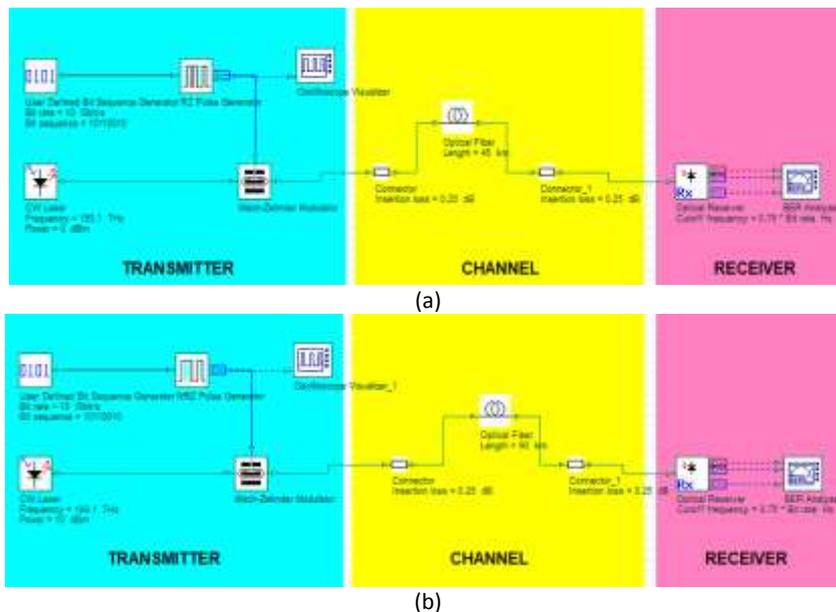
Simulator *Optisystem* digunakan pada penelitian ini. Tabel 1 merupakan parameter simulasi yang digunakan. Gambar 7 (a) dan (b) merupakan model jaringan fiber optik *point-to-point* yang terdiri dari 3 bagian yaitu *transmitter, channel, dan receiver*. Alat ukur (*visualizer*) yang digunakan pada bagian *transmitter* untuk mengetahui keluaran sinyal hasil proses *line coding* dan pada bagian *receiver* untuk mengetahui kondisi sinyal optik setelah melalui transmisi fiber optik. Pada bagian *transmitter* terdiri atas 4 komponen yaitu *bit generator, pulse generator, CW laser, dan MZ Modulator*. *Bit generator* berfungsi membangkitkan *deretan bit* untuk diuji ke dalam sistem yang dirancang. Bit diubah ke dalam sinyal elektrik sesuai dengan moda prinsip NRZ atau RZ. CW Laser memancarkan cahaya dalam frekuensi yang dipilih, sebelum meneruskan cahaya ke modulator Mach-Zehnder. Pada bagian *receiver* memiliki

komponen utama berupa *photodetector*, *filter*, dan *regenerator*.

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
General	
Bit sequence	10110010
Sequence length	128 bits
Samples per bit	64
Number of samples	8192
Transmitter	
Bitrate	10 Gbps

Daya pancar laser	10 dBm (10 mW)
Frekuensi	228.84 THz
<i>Line coding</i>	RZ dan NRZ
Channel	
Mode Fiber Optik	<i>Single Mode</i>
Jarak Transmisi	75 km
Panjang Gelombang	1310 nm
Redaman kabel	0.35 dB/km
Dispersi kromatis (D)	0.1 ps/nm/km
Redaman konektor	0.25 dB/buah
Receiver	
Photodetector	PIN
Filter	Bessel



Gambar 7. Simulasi Jaringan Fiber Optik Menggunakan *Line coding* (a) RZ (b) NRZ

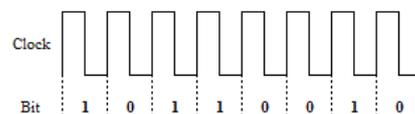
4.2 Pembahasan

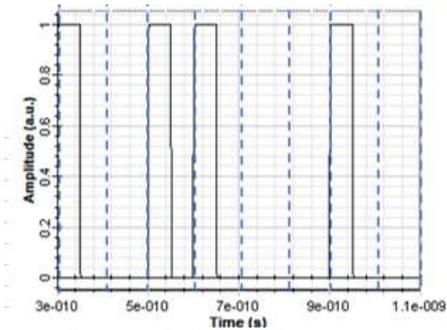
4.2.1 Analisa Hasil Pengujian Bentuk Sinyal Listrik

Pada subbab ini membahas perbandingan bentuk sinyal listrik *line coding* RZ dan NRZ. Gambar 8 yaitu bentuk sinyal listrik *line coding* RZ, terlihat bahwa bit 1 diwakili oleh sinyal listrik dengan amplitudo 1 dan bit 0 diwakili oleh sinyal listrik dengan amplitudo 0. Bagian pertama dari simbol mewakili nilai biner dan sisa simbol selalu diatur ke nol. Dari Grafik pada Gambar 9, terlihat bahwa bit 1 diwakili oleh sinyal listrik dengan amplitudo 1 dan

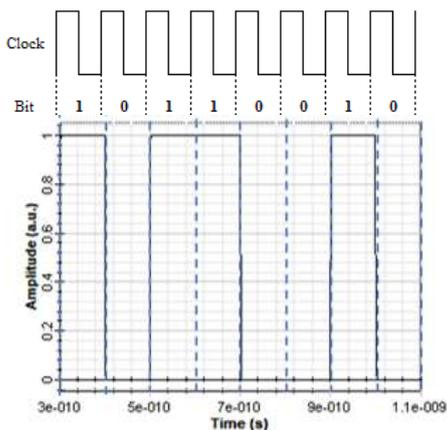
bit 0 diwakili oleh sinyal listrik dengan amplitudo 0. Setiap simbol memiliki nilai konstan yang sesuai dengan nilai simbol biner 1 dan 0.

Perbandingan antara bentuk sinyal listrik *line coding* RZ dan NRZ yaitu pada *line coding* RZ, satu elemen data terdiri dari dua elemen sinyal sedangkan pada bentuk sinyal *line coding* NRZ, satu elemen data pada NRZ hanya terdiri dari 1 elemen sinyal.





Gambar 8. Bentuk Sinyal Listrik Line coding RZ



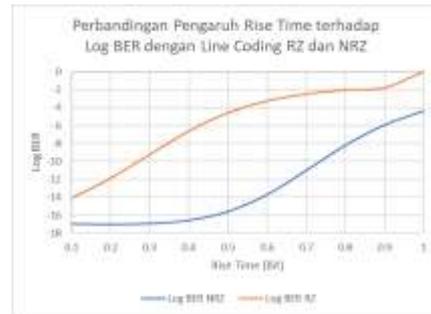
Gambar 9. Bentuk Sinyal Listrik Line coding NRZ

4.2.2 Pengujian Perubahan Variabel Rise Time

Pada subbab ini membahas mengenai perbandingan unjuk kerja *line* RZ dan NRZ berdasarkan pengaruh perubahan *rise time* ditinjau dari Q-Factor, BER, dan Eye Diagram. Peningkatan *rise time* dilakukan setiap 0.1 bit mulai dari 0.1 – 1 bit. Variabel *bit rate* yang digunakan yaitu 10 Gbps, sedangkan jarak transmisi adalah 75 km, serta power adalah 10 dBm. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.

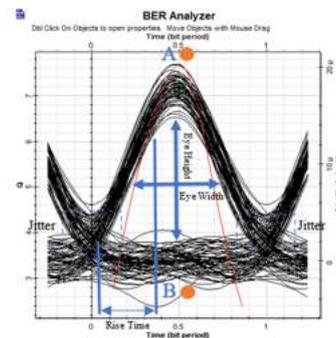


(a)

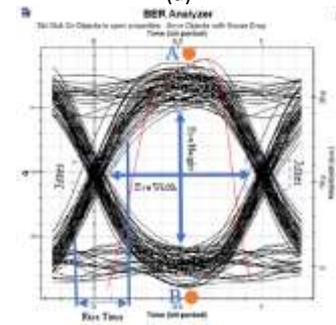


(b)

Gambar 10. Pengaruh perubahan *rise time* terhadap (a) Q-factor dan (b) BER menggunakan *line coding* RZ dan NRZ



(a)



(b)

Gambar 11. Tampilan *eye diagram* (a) *rise time* 0.1 bit dengan *line coding* RZ (b) *rise time* 0.1 bit dengan *line coding* NRZ

Gambar 10a dan 10b menunjukkan pengaruh peningkatan *rise time* terhadap unjuk kerja *line coding* RZ dan NRZ ditinjau dari Q-factor dan BER. Dari grafik tersebut terlihat bahwa peningkatan nilai *rise time* mengakibatkan penurunan terhadap nilai Q-factor dan peningkatan nilai BER. Perbandingan antara *line coding* RZ dan NRZ menunjukkan bahwa *line coding* NRZ memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan *line coding* RZ karena *line coding* RZ memerlukan *bandwidth* yang lebih lebar daripada *line coding* NRZ [11]. Selain itu, grafik pengaruh *rise time* terhadap Q-factor menggunakan *line coding* RZ dan NRZ menghasilkan grafik

dengan *trendline* polinomial dengan nilai koefisien determinasi menggunakan *line coding* RZ lebih besar daripada *line coding* NRZ. Hal ini berarti peningkatan *rise time* menggunakan *line coding* RZ memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan *Q-factor*, yaitu sebesar 99,57% dibandingkan menggunakan *line coding* NRZ, yaitu sebesar 99,51%.

Berdasarkan tampilan *eye diagram* pada Gambar 11, perbandingan *eye height* dan *eye width* dari *line coding* RZ lebih kecil dibandingkan dengan *line coding* NRZ. Hal itu berarti kemunculan ISI pada *line coding* RZ lebih besar. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah [11]. Nilai SNR terhadap nilai *Q-factor* akan berbanding lurus menurut Persamaan 4. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. *Line coding* RZ memiliki *jitter* lebih besar yang berarti adanya dispersi yang lebih besar. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga terlihat pada *eye diagram* banyak pulsa-pulsa yang melebar dan tidak ideal [11].

4.2.3 Pengujian Perubahan Variabel Rise Time

Pada subbab ini dibahas perbandingan unjuk kerja *line* RZ dan NRZ berdasarkan pengaruh perubahan model *rectangle shape* ditinjau dari *Q-Factor*, BER dan Eye Diagram. Pada pengujian ini *bitrate* yang digunakan adalah 10 Gbps, jarak transmisi adalah 75 km, dan power sebesar 10 dBm. Model yang diujikan yaitu *exponential*, *gaussian*, *sine*, dan *linear*. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.

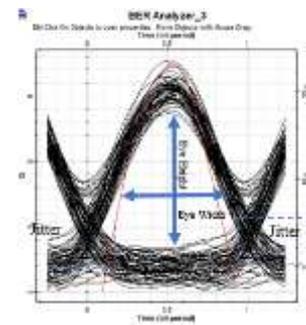


(a)

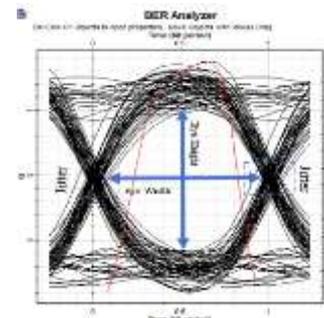


(b)

Gambar 12. Pengaruh model *rectangle shape* terhadap terhadap (a) *Q-factor* dan (b) BER menggunakan *line coding* RZ dan NRZ



(a)



(b)

Gambar 13. Tampilan *eye diagram* (a) model *exponential line coding* NRZ (b) model *sine line coding* RZ

Gambar 12a dan 12b menunjukkan perbandingan nilai *Q-factor* dan BER berdasarkan model *rectangle shape* menggunakan *line coding* RZ dan NRZ. Model terbaik menggunakan *line coding* NRZ adalah *exponential* sedangkan model terbaik menggunakan *line coding* RZ adalah *sine*. Hal itu disebabkan oleh durasi pulsa model *exponential* pada NRZ lebih besar dari durasi pulsa model lainnya menggunakan *line coding* NRZ. Sedangkan pada *line coding* RZ, model *sine* memiliki durasi pulsanya lebih besar dari model lainnya. Semakin lama durasi pulsa maka

bandwidth akan semakin kecil [5]. Penurunan *bandwidth* akan berbanding lurus dengan penurunan SNR menurut Persamaan 2 sehingga nilai *Q-factor* akan semakin menurun dan nilai BER akan meningkat. Perbandingan antara *line coding* RZ dan NRZ menunjukkan bahwa *line coding* NRZ memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan *line coding* RZ karena *line coding* RZ memerlukan *bandwidth* yang lebih lebar daripada *line coding* NRZ [11].

Berdasarkan tampilan *eye diagram* pada Gambar 11, perbandingan *eye height* dan *eye width* dari *line coding* RZ lebih kecil dibandingkan dengan *line coding* NRZ. Hal itu berarti kemunculan ISI pada *line coding* RZ lebih besar. Semakin besar ISI menunjukkan nilai SNR yang lebih rendah [11]. Nilai SNR terhadap nilai *Q-factor* akan berbanding lurus menurut Persamaan 4. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. *Line coding* RZ memiliki *jitter* lebih besar yang berarti adanya dispersi yang lebih besar. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga terlihat pada *eye diagram* banyak pulsa yang melebar dan tidak ideal [11].

4.2.4 Pengujian Pengaruh Perubahan Variabel *Bit Rate*

Pada subbab ini dibahas perbandingan unjuk kerja *line coding* RZ dan NRZ berdasarkan perubahan *bit rate* ditinjau dari nilai *Q-Factor*, Min. BER dan Eye Diagram. Pada pengujian ini *bitrate* yang digunakan yaitu 10 Gbps, jarak transmisi yaitu 75 km, dan power 10 dBm. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.

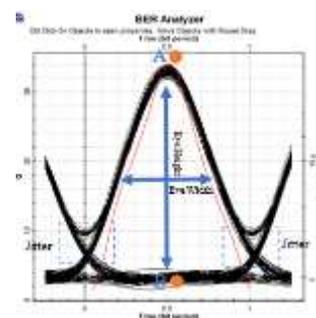


(a)

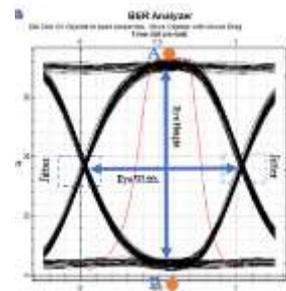


(b)

Gambar 14. Pengaruh perubahan *bit rate* terhadap (a) *Q-factor* dan (b) BER menggunakan *line coding* RZ dan NRZ



(a)



(b)

Gambar 15. Tampilan *eye diagram* pada *bitrate* 0.5 Gbps dengan *line coding* (a) RZ dan (b) NRZ

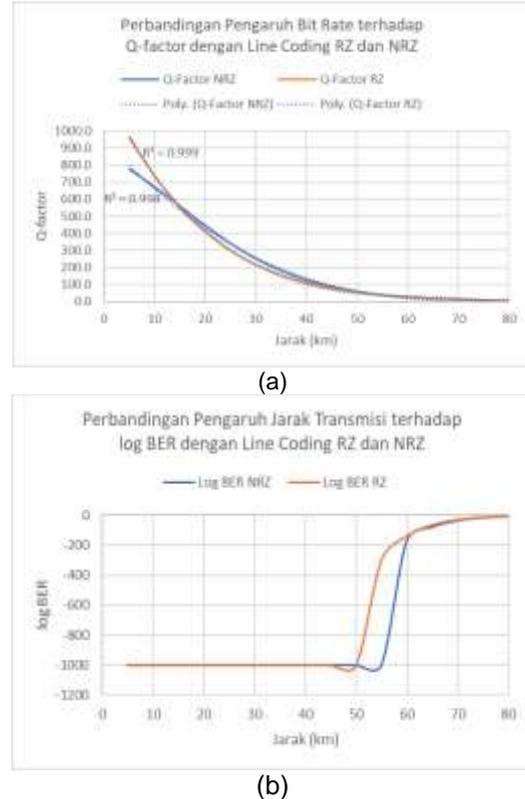
Gambar 14a dan Gambar 14b menunjukkan bahwa peningkatan variabel *bitrate* mengakibatkan penurunan terhadap nilai *Q-factor* dan peningkatan terhadap nilai BER. Peningkatan variabel *bit rate* menyebabkan terjadinya dispersi sehingga terjadi ISI. Keberadaan ISI mengakibatkan penurunan nilai SNR [11]. Penurunan nilai SNR menyebabkan penurunan nilai *Q-factor* dan peningkatan nilai BER sesuai dengan Persamaan 4. Perbandingan antara *line coding* RZ dan NRZ berdasarkan perubahan *bitrate* menunjukkan bahwa *line coding* NRZ memiliki unjuk kerja yang lebih baik

dibandingkan *line coding* RZ karena *line coding* RZ memerlukan *bandwidth* yang lebih lebar dari *line coding* NRZ [11]. Selain itu, grafik pengaruh *bit rate* terhadap nilai *Q-factor* menggunakan *line coding* RZ dan NRZ menghasilkan grafik dengan *trendline* polinomial dengan nilai koefisien determinasi *line coding* RZ lebih besar dari *line coding* NRZ yang berarti peningkatan *bit rate* menggunakan *line coding* RZ memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan *Q-factor*, yaitu sebesar 99,77% sedangkan menggunakan *line coding* NRZ sebesar 99,29%.

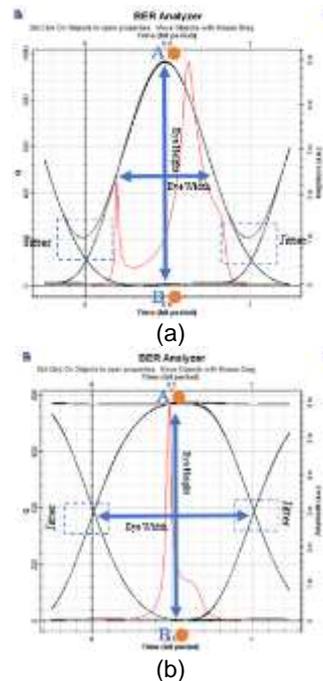
Berdasarkan tampilan *eye diagram* pada Gambar 15a dan Gambar 15b, perbandingan *eye height* dan *eye width* dari *line coding* RZ lebih kecil dibandingkan dengan *line coding* NRZ. Hal itu berarti ISI pada *line coding* RZ lebih besar. Semakin besar ISI maka nilai SNR semakin kecil [11]. SNR terhadap *Q-factor* akan berbanding lurus menurut Persamaan 4. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. *Line coding* RZ memiliki *jitter* lebih besar yang berarti adanya dispersi yang lebih besar. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga terlihat pada *eye diagram* banyak pulsa yang melebar dan tidak ideal [11].

4.2.5 Pengujian Pengaruh Perubahan Variabel Jarak Transmisi

Pada subbab ini dibahas perbandingan unjuk kerja *line coding* RZ dan NRZ berdasarkan perubahan variabel jarak transmisi ditinjau dari nilai *Q-Factor*, Min. BER dan *Eye Diagram*. Pada simulasi ini jarak yang diujikan mulai dari 5 km dengan peningkatan setiap 5 km. *Bit rate* yang digunakan adalah 10 Gbps dan power sebesar 10 dBm. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17.



Gambar 16. Pengaruh perubahan jarak terhadap (a) *Q-factor* dan (b) BER menggunakan *line coding* RZ dan NRZ



Gambar 17. Tampilan *eye diagram* pada jarak 5 km dengan *line coding* (a) RZ dan (b) NRZ

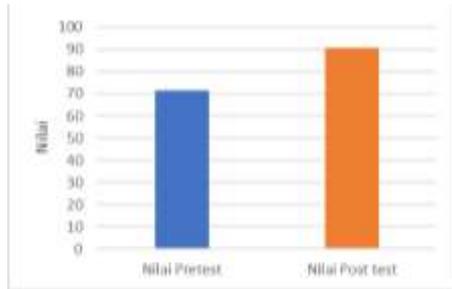
Gambar 16a dan 16b menunjukkan bahwa bahwa peningkatan variabel jarak mengakibatkan penurunan terhadap nilai

Q-factor dan peningkatan terhadap nilai BER. Peningkatan variabel jarak menyebabkan terjadinya dispersi sehingga terjadi ISI. Keberadaan ISI mengakibatkan penurunan nilai SNR [11]. Penurunan nilai SNR menyebabkan penurunan nilai *Q-factor* dan peningkatan nilai BER sesuai dengan Persamaan 4. Perbandingan antara *line coding* RZ dan NRZ menunjukkan bahwa nilai *Q-factor* dan BER *line coding* RZ lebih baik dibandingkan dengan *line coding* NRZ pada jarak kurang dari 10 km. Namun, nilai *Q-factor* dan BER dari *line coding* NRZ menjadi lebih baik jika dibandingkan dengan *line coding* RZ pada saat jarak lebih dari 10 km. Hal itu disebabkan oleh *line coding* NRZ lebih dipengaruhi oleh non-linearitas sedangkan *line coding* RZ lebih dipengaruhi oleh dispersi [12]. Pada saat jarak kurang dari 10 km, nilai dispersi belum memengaruhi kinerja jaringan fiber optik secara signifikan [13]. Namun, efek non-linearitas sudah memengaruhi kinerja jaringan fiber optik [14]. Hal tersebut menyebabkan nilai *Q-factor* dan BER *line coding* RZ lebih baik dari *line coding* NRZ pada jarak kurang dari 10 km. Peningkatan jarak transmisi mengakibatkan terjadinya peningkatan dispersi yang begitu besar sehingga terjadi penurunan kinerja jaringan fiber optik menggunakan *line coding* RZ yang sangat signifikan [13]. Sedangkan non-linearitas terhadap peningkatan jarak transmisi tidak begitu berpengaruh signifikan. Hal ini berarti penurunan kinerja jaringan fiber optik yang tidak signifikan menggunakan *line coding* NRZ [14]. Hal tersebut menyebabkan terjadinya penurunan kinerja jaringan fiber optik ditinjau dari *Q-factor* dan BER lebih signifikan ketika menggunakan *line coding* RZ jika dibandingkan dengan penggunaan *line coding* NRZ. Sehingga pada jarak lebih dari 10 km nilai *Q-factor* dan BER dari *line coding* NRZ lebih baik dibandingkan *line coding* RZ. Selain itu, grafik pengaruh jarak terhadap nilai *Q-factor* menggunakan *line coding* RZ dan NRZ menghasilkan grafik dengan *trendline* polinomial dengan nilai koefisien determinasi *line coding* RZ lebih besar dari nilai koefisien *line coding* NRZ. Hal ini berarti peningkatan jarak menggunakan *line coding* RZ memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan *Q-factor*, dengan nilai sebesar 99,99% daripada menggunakan *line coding* NRZ, dengan nilai sebesar 99,98%.

Berdasarkan tampilan *eye diagram* pada Gambar 15a dan Gambar 15b, perbandingan *eye height* dan *eye width* dari *line coding* RZ lebih kecil dibandingkan dengan *line coding* NRZ. Hal itu berarti ISI pada *line coding* RZ lebih besar. Semakin besar ISI maka nilai SNR semakin kecil [11]. SNR terhadap *Q-factor* akan berbanding lurus menurut Persamaan 4. *Jitter* pada *eye diagram* menunjukkan adanya distorsi sinyal pada jaringan fiber optik. *Line coding* RZ memiliki *jitter* lebih besar yang berarti adanya dispersi yang lebih besar. Dispersi menyebabkan terjadinya pelebaran pulsa cahaya yang dikirim sehingga terlihat pada *eye diagram* banyak pulsa-pulsa yang melebar dan tidak ideal [11].

4.2.6 Uji Kelayakan Modul Praktikum

Uji kelayakan modul praktikum dilakukan oleh 10 mahasiswa Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana yang telah lulus Mata Kuliah Sistem Komunikasi Optik. Berdasarkan data hasil perbandingan nilai *pre test* dan *post test* mahasiswa, diperoleh nilai *post test* lebih tinggi daripada nilai *pre test*, yaitu rata-rata *pre test* mahasiswa sebesar 71.5 sedangkan rata-rata *post test* mahasiswa adalah 90.5, hal ini ditunjukkan pada Gambar 18. Hasil ini menunjukkan bahwa modul praktikum perbandingan *line coding* RZ dan NRZ pada jaringan fiber optik mampu memberikan peningkatan pemahaman bagi mahasiswa mengenai materi tersebut. Modul praktikum mampu memberikan panduan yang jelas, sistematis dan tepat sasaran sehingga mudah dipahami oleh mahasiswa. Namun, nilai *post test* praktikan belum mencapai nilai yang maksimum karena jawaban yang diberikan oleh praktikan belum detail seperti yang diharapkan dari tujuan praktikum ini. Hal itu dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal dari praktikan. Faktor internal seperti tingkat intelegensi dan motivasi sedangkan faktor eksternal yaitu pengaruh lingkungan sosialnya seperti lingkungan tempat tinggal [15].



Gambar 18. Perbandingan nilai *pre test* dan *post test*

Analisis kelayakan modul praktikum berdasarkan perhitungan skor hasil kuesioner menggunakan skala likert dengan rentang skor 1 sampai dengan 5 untuk 10 butir pernyataan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil penghitungan frekuensi observasi pada Tabel 3 menunjukkan persentase 87,6%

(delapan puluh tujuh koma enam persen). Persentase tersebut diperoleh dari penghitungan jumlah frekuensi observasi yaitu 438, dibagi jumlah frekuensi harapan yaitu 500, yang kemudian hasil pembagian tersebut dikalikan 100% [10]. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul praktikum berdasarkan penilaian mahasiswa masuk dalam kategori sangat layak. Oleh karena itu, modul praktikum ini layak menjadi sebuah modul praktikum di PSTE FT UNUD. Namun, persentase kelayakan modul praktikum yang diperoleh belum maksimum karena penyajian materi yang terlalu singkat dan sulit untuk dipahami secara cepat. Oleh karena itu, pembuatan desain jaringan fiber optik dapat dilakukan sebelum pelaksanaan praktikum secara mandiri.

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Kuesioner Praktikan

No	Aspek	Pernyataan	STS	KS	CS	S	SS
1	Tampilan	Modul praktikum ini memberikan kemudahan untuk memahami jaringan fiber optik	1			4	5
2		Modul praktikum ini membantu mahasiswa untuk memahami secara cepat dan tepat cara menggunakan <i>Optisystem</i>			1	4	5
3	Penyajian Materi	Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai bentuk sinyal listrik line coding RZ dan NRZ				5	5
4		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh peningkatan rise time terhadap unjuk kerja line coding RZ dan NRZ ditinjau dari Q-Factor, BER dan Eye Diagram.				4	6
5		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh model rectangle shape terhadap unjuk kerja line coding RZ dan NRZ ditinjau dari Q-Factor, BER dan Eye Diagram.			1	2	7
6		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh peningkatan bitrate terhadap unjuk kerja line coding RZ dan NRZ ditinjau dari Q-Factor, BER dan Eye Diagram.				4	6
7		Modul praktikum ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh jarak transmisi terhadap unjuk kerja line coding RZ dan NRZ ditinjau dari Q-Factor, BER dan Eye Diagram.			1	4	5
8	Manfaat	Setelah melihat modul praktikum ini, anda memahami materi line coding RZ			1	4	5
9		Setelah melihat modul praktikum ini, anda memahami materi line coding NRZ			1	5	4
10		Setelah melihat modul praktikum ini, anda memahami perbedaan antara line coding RZ dan NRZ pada jaringan fiber optik	1			3	5

Tabel 3. Frekuensi Penilaian oleh Mahasiswa

No. Butir	Frekuensi Observasi	Frekuensi Harapan
1	42	50
2	44	50
3	45	50
4	46	50
5	46	50
6	46	50
7	44	50
8	44	50
9	43	50
10	38	50
Jumlah	438	500

5. SIMPULAN

Hasil penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa karakteristik bentuk sinyal listrik *line coding* NRZ dengan menggunakan satu elemen sinyal untuk merepresentasikan satu elemen data sedangkan bentuk sinyal listrik *line coding* RZ menggunakan dua elemen sinyal untuk merepresentasikan satu elemen data. Variabel *rise time* maksimum menggunakan *line coding* RZ adalah 0.3 bit sedangkan *line coding* NRZ adalah 0.7 bit. Model rectangle shape terbaik menggunakan *line coding* RZ adalah sine sedangkan *line coding* NRZ adalah exponential. *Bit rate* maksimum menggunakan *line coding* RZ adalah 11,5 Gbps sedangkan menggunakan *line coding* NRZ adalah 18 Gbps. Jarak transmisi maksimum menggunakan *line coding* RZ dan NRZ adalah 75 km. Berdasarkan nilai post test yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai pre test, maka modul praktikum perbandingan *line coding* RZ dan NRZ pada jaringan fiber optik ini secara keseluruhan sangat layak digunakan bahan ajar.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. Forouzan, *Data Communications and Networking Fourth Edition*, Fourth. New York: McGraw-Hill Companies, 2007.
- [2] N. Massa, "Fiber Optic Telecommunication," in *Fundamental of Photonics*, Massachusetts: SPIE Digital Library, 2000, pp. 293–347.
- [3] S. Thuneibat, "Design and Simulation of Fiber to the Home (FTTH) Network," vol. 8, no. 4, pp. 35–50, 2019.
- [4] G. P. Agrawal, *Fiber Optic Communication System*, Third. New York: John Wiley & Sons Inc., 2002.
- [5] S. Kumar, *Fiber Optic Communications Fundamentals and Applications*, First., vol. 7, no. 2. Chichester: John Wiley & Sons Inc., 2014.
- [6] J. A. S. M, M. R. Alam, H. Guoqing, and Z. Mehrab, "Improvement of Bit Error Rate in Fiber Optic Communications," vol. 3, no. 4, 2014, doi: 10.7763/IJFCC.2014.V3.312.
- [7] A. Ghatak, *Introduction to Fiber Optics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [8] G. Keiser, *Optical Fiber Communications*, Third. Singapore: McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics., 2000.
- [9] OnSemiconductor, "Understanding Data Eye Diagram Methodology for Analyzing High Speed Digital Signals," pp. 1–7, 2012, [Online]. Available: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9075-D.PDF>.
- [10] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta, 2014.
- [11] J. Senior, *Optical Fiber Communications*, Third. Harlow: Pearson Education Limited, 2009.
- [12] J. Prat, *Fiber-to-the-home Technologies*. Boston: Springer Science Bussines Media, 2002.
- [13] A. F. Isnawati, R. Riyanto, and A. E. Wijayanti, "Pengaruh Dispersi Terhadap Kecepatan Data Komunikasi Optik Menggunakan Pengkodean Return To Zero (RZ) Dan Non Return To Zero (NRZ)," *J. INFOTEL - Inform. Telekomun. Elektron.*, vol. 1, no. 2, p. 1, 2009.

- doi: 10.20895/infotel.v1i2.65. 6, no. 2, pp. 3451–3460, 2019.
- [14] T. Mustika, “Analisis Performansi Pengaruh Non-Linearitas Four Wave Mixing (Fwm) Pada Sistem Komunikasi Jarak Jauh Berbasis Dwdm Performance Analysis Of The Effect Of Non-Linearity Of Four Wave Mixing (Fwm) On Dwdm-Based Distance Communication,” *e-Proceeding Eng. Telkom Univ.*, vol. [15] H. Purnomo, *Psikologi Pendidikan*, vol. 66. Yogyakarta: LP3M UMY, 2019.